Ассоциация технологов-машиностроителей Украины
Академия технологических наук Украины
Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины
Киевский национальный университет технологий и дизайна
Украинская государственная академия железнодорожного транспорта
ООО «НПП РЕММАШ»
ООО «ТМ.ВЕЛТЕК»
ПАО «Ильницкий завод механического сварочного оборудования»
Ассоциация инженеров-трибологов России
Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана
Брянский государственный технический университет
ГНПО «Центр» НАН Беларуси
Белорусский национальный технический университет
Машиностроительный факультет Белградского университета
Издательство «Машиностроение»

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА И РЕМОНТА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НА ТРАНСПОРТЕ

Материалы 14-го Международного научно-технического семинара
(24–28 февраля 2014 г., г. Свалява, Карпаты)

Киев – 2014

Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте : Материалы 14-го Международного научно-технического семинара, 24–28 февраля 2014 г., г. Свалява. – Киев : АТМ Украины, 2014. – 290 с.

Тематика семинара:

- Современные тенденции развития технологии машиностроения
- Подготовка производства как основа создания конкурентоспособной продукции
- Состояние и перспективы развития заготовительного производства
- Совершенствование технологий механической и физико-технической обработки поверхностей трения и деталей машин
- Упрочняющие технологии и покрытия
- Современные технологии и оборудование в сборочном и сварочном производстве
- Ремонт и восстановление деталей машин в промышленности и на транспорте, оборудование для изготовления, ремонта и восстановления
- Технологическое управление качеством и эксплуатационными свойствами изделий
- Технический контроль и диагностика в машино- и приборостроении
- Экологические проблемы и их решения в современном производстве

Материалы представлены в авторской редакции

© АТМ Украины,
2014 г.

Александров О.И., Свирский Д.Н., Жуковская Т.Е.
Белорусский государственный технологический
университет, Минск, Беларусь

ОПТИМАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ РЕМОНТОВ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Разработка графика отключений электросетевого оборудования — необходимая составная часть многоступенчатого автоматизированного процесса планирования ремонтов, имеющего целью повышение маневренности управления трудовыми ресурсами и ремонтно-техническими средствами с учетом динамики изменения режима энергосистемы, надежности электроснабжения потребителей, степени готовности производственных подразделений энергосистем к проведению ремонтов, технологичности и экономичности производства ремонтных работ. Процесс выработки окончательного варианта графика ремонтов оборудования состоит в последовательной коррекции вариантов с учетом различных критериев и ограничений. Коррекция очередного варианта заключается в поочередном перемещении ремонтов с ранее запланированных дней на более предпочтительные с точки зрения учитываемого в данном графике ограничения, которое игнорировалось в предыдущих вариантах.

При решении задачи перемещения ремонта очередного объекта, помимо типа рассматриваемого ограничения, учитываются также следующие факторы: а) характеристика ответственности ремонта; б) характеристика ответственности дней ремонтов; в) наличие сведений о ремонте объекта в проекте плана ремонтов; г) транзитный или радиальный режим работы объекта в нормальной схеме электрических соединений энергосистемы на планируемый месяц.

Основной характеристикой ответственности i-го дня ремонта является количество ремонтируемых объектов $N^{(t)}$. Для объектов, предусмотренных проектами планов ремонтов, помимо величины $N^{(t)}$, учитывается просимое время, а для остальных объектов более предпочтительными считаются предвыходные и выходные дни. Для объектов, предназначенных для работ в транзитном режиме, дополнительным ограничением является исключение случаев нарушение связности схемы при перемещении ремонта.

Множество А объектов, подлежащих включению в график отключений на следующий месяц, образуется из двух частей

$$A=A_1\cup A_2,$$

где A_1 — множество объектов, ремонт которых в следующем месяце предусмотрен только годовым планом; A_2 — множество объектов, ремонт которых предусматривается проектами планов сетевых предприятий на следующий год.

Ремонты совокупности объектов, составляющих единое технологическое целое (например, линии с линейными разъединителями и выключателями на концах), должны совмещаться с целью сокращения времени, в течение которого снижается надежность данного объекта, и снижения стоимости ремонта. Пусть $N^{(j)}$ – количество участков, ремонты которых подлежат совмещению; $N_1^{(j)} \in N^{(j)}$ – количество участков, для которых заданы сроки работ проектами планов ремонта; $N_2^{(j)} \in N^{(j)}$ – количество участков, ремонты которых намечены годовым планом на предстоящий месяц; $N_3^{(j)} \in N^{(j)}$ — количество участков, ремонты которых не вошли в годовой план и не включены в проекты месячных планов ремонтов.

Тогда

$$N^{(j)} = N_1^{(j)} \cup N_2^{(j)} \cup N_3^{(j)}.$$

Средневзвешенное просимое время по совокупности участков данной воздушной линии определяется, исходя из минимизации суммы квадратов отклонений значений времени по участкам, ремонты которых предусмотрены проектами планов на предстоящий месяц, т.е. как величина $t_{ср}$, равная значению t, минимизирующему функцию

$$\min_{t\in T^{(j)}} \sum_{v\in N_I^{(j)}} \left(t_v - t\right)^2,$$

где t_v– просимое время по участку; $T^{(j)}$ – множество дней предстоящего месяца, допустимых для проведения ремонтов персоналом участвующих в совмещенном ремонте энергообъединения

$$T_i = \bigcup_{\mu\in M^{(j)}} T_\mu,$$

где $M^{(j)}$ – множество предприятий, участвующих в совмещенном ремонте; T_μ – множество допустимых для ремонта дней μ-го сетевого предприятия.

В результате отбора из множества A, множества B объектов, ремонты которых подлежат совмещению, и определения характеристик объектов, по каждому из совмещенных множеств будет установлено число ремонтов, подлежащих включению в месячный график

$$D = (A \backslash B) \cup C,$$

где C – множество совмещенных ремонтов со всем набором показателей для этих ремонтов.

Алгоритм сортировки состоит в следующем. Все вершины-источники объединяются в одну вершину, причем множество инцидентных ей ветвей образуется как

$$\Gamma_0 = \bigoplus_{i \in I} \Gamma_i$$

где I – множество вершин источников; Γ_i – множество ветвей, инцидентных i-й вершине; $\oplus$ – операция кольцевого суммирования множеств, которая определяется формулой

$$\bigoplus_{i \in I} \Gamma_i = \left(\bigcup_{i \in I} \Gamma_i \right) \backslash \left(\bigcap_{i \in I} \Gamma_i \right).$$

После этого выполняются проверка составленного графика ремонтов по режимно-топологическим ограничениям и соответствующая коррекция.

Акулович Л.М., Ермашкевич Д.Б. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет, ОАО «Институт Белоргстанкинпром», Минск, Беларусь

АВТОМАТИЗАЦИЯ СКВОЗНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Основные показатели конкурентоспособности продукции машиностроения (качество, себестоимость, сроки освоения выпуска) формируются на первом этапе подготовки производства – проектировании технологических процессов изготовления изделий. За последние годы имеет место тенденция увеличения удельного веса работ по технологической подготовке производства. Это обусловлено как увеличением доли мелкосерийного производства, так и совершенствованием технологического оборудования на заготовительных и механообрабатывающих операциях, требующего разработки управляющих программ. Так, например, технологические возможности современного оборудования термической (лазерной и плазменной) резки материалов значительно расширились и обеспе-

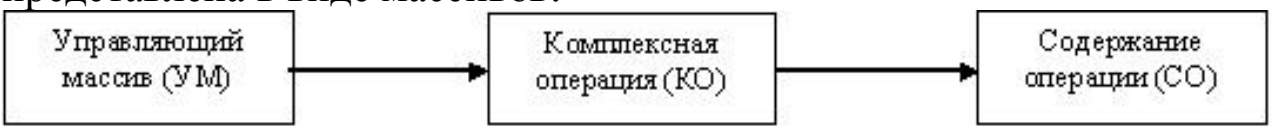
чивают точность позиционирования по управляемым осям ±0,01мм, а точность обработки – ±0,1мм. В результате стало возможным на заготовительных операциях производить обработку ряда отверстий, окон, контуров деталей окончательно с обеспечением заданных чертежом требований по точности и шероховатости поверхностей, то есть совмещать их с операциями механической обработки в единых технологических процессах. Все это обуславливает создание систем автоматизированного проектирования (САПР) сквозных технологических процессов изготовления деталей машин, позволяющих разрабатывать как единые технологические процессы изготовления деталей, так и управляющие программы для оборудования с числовым программным управлением.

Известные системы автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки (САПР ТП МО) и раскроя листовых материалов (САПР "Раскрой") решают задачи соответствующих технологических переделов и не могут функционировать совместно [1]. В ОАО «Институт Белоргстанкинпром» решена задача сквозного технологического проектирования путем представления информационной модели технологии раскроя листовых материалов на уровне операций механической обработки с учетом взаимосвязи компонентов структурного и параметрического синтеза для всех операций.

Структура технологического процесса $S_{m.n.} = \{V, S\}$ интегрированной САПР ТП представлена множеством $V = \{v_1, v_2, \ldots v_n\}$ элементов каждой системы и множеством связей $S = \{s_1, s_2, \ldots s_m\}$ между ними. Информация о размерах и точности всех элементов детали, о расположении элементарных поверхностей, шероховатости и т.п. представляется в виде конструкторско-технологического шифра, который служит ключом для поиска в таблицах кодированных сведений (ТКС) нужной при проектировании информации. Технологический процесс изготовления детали с одной стороны (стороны структуры) представляется как совокупность взаимосвязанных этапов, операций и переходов, а с другой (со стороны функции) – как часть производственного процесса, связанную с количественным и качественным преобразованием объектов производства из состояния заготовок $C_З$ в состояние готовых изделий $C_И$. Реализация технологических процессов приводит к изменению качественных и количественных характеристик объектов производства. В результате функция технологического процесса может быть описана как $C_З$

$\rightarrow C_И$. В соответствии с разделением технологического процесса на операции общая функция расчленяется на ряд операционных функций φ_j. Функция каждой φ_j -операции характеризует промежуточное изменение качественного состояния заготовки $C_{j-1} \rightarrow C_j$. Состояние заготовки C_j характеризуется формой, межоперационными размерами, их точностью, шероховатостью и физико-механическими свойствами поверхностей, полученных в результате выполнения j-й операции.

Разработанная САПР ТП основана на использовании комплексных технологических процессов (КТП) и функционирует в автоматическом режиме проектирования. Структура каждого КТП представлена в виде массивов:



С одной стороны, КТП в отличие от типового процесса представляет собой избыточный типовой технологический процесс для любой детали, входящей в группу с примерно общими конструктивными и технологическими признаками. С другой стороны, КТП представляет собой формализованный технологический алгоритм, содержащий операции, модели оборудования и переходы на определенную группу деталей с условиями их назначения. В УМ приводятся все возможные комплексные операции, которые могут встречаться при обработке деталей определенной группы с логическими условиями их назначения. В результате анализа логических условий выбираются комплексные операции, из которых формируется состав проектируемого технологического процесса. Имя массива КО формируется из используемого УМ. В нем описываются входящие операции, условия их назначения и модели оборудования. Массивы КО могут входить в несколько УМ, что дает возможность использовать один и тот же массив КО в разных УМ. Содержание операции представляет собой массив, имя которого получено из записи СО массива комплексной операции. В содержании операции задаются перечень переходов, которые входят в данную операцию, и условия их назначения.

Использование в САПР комплексных технологических процессов не требует высокой квалификации технологов-пользователей, так как в КТП заложена база знаний опытных специалистов. Внедрение САПР ТП на машиностроительных предприятиях позволит

улучшить качество технологических процессов изготовления деталей из листовых сталей, уменьшить сроки их разработки в 3…10 раз в зависимости от сложности конструкции деталей.

Литература

1. Акулович, Л.М. Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении : учеб. пособие / Л.М. Акулович, В.К. Шелег. – Мн. : Новое знание; М. : ИНФРА-М, 2012. – 488с.

Андреев Н.С. НИАТ, ГЕТНЕТ КОНСАЛТИНГ,
Москва, Россия

ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПО ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

В настоящее время, имитационные модели играют весомую роль в различных областях науки. Не является исключением и машиностроение.

При решении задач по оценки эффективности и функционирования производственных систем, такой метод, как имитационное моделирование является ключевым для проведения экспериментов и оптимизации. Для моделирования производственных процессов наиболее подходящим является метод дискретно-событийного моделирования. Метод дискретно-событийного моделирования позволяет смоделировать во времени поведение производственной системы как функционирование «реального» объекта.

В настоящее время существует ряд систем дискретно-событийного моделирования. Когда речь идет о построении имитационной модели сложной производственной системы с большим количеством связей, процесс создания модели является трудоемким, не смотря на широкий функционал систем представленных на рынке.

Каждая имитационная модель обладает своим собственным жизненным циклом. Жизненный цикл имитационной модели включает в себя стадии разработки, создания и эксплуатации. На этапах

разработки и эксплуатации модели может возникнуть вопрос о внесении изменений в модель.

Изменение значений параметров модели – процесс нетрудоемкий. Но если речь идет об изменении связей между элементами модели, и изменении принадлежности одних классов элементов другим, данный процесс становится продолжительным по времени и может повлечь за собой нежелательные изменения в модели, а также излишние затраты.

Создание дискретно-событийной имитационной модели производственной системы является важным шагом в процессе оценки эффективности рассматриваемой системы. Эксперименты на модели позволяют проиграть во времени возможные сценарии поведения системы.

Как правило, проекты технического перевооружения предприятий проводятся в сжатые сроки. Процесс создания имитационной модели, являясь трудоемким и нетривиальным, приводит к увеличению сроков выполнения проекта.

Таким образом, на основании выявленных проблем, можно судить о необходимости создания метода обработки входных данных, определенным образом сформированных, с целью автоматизированного формирования базовой имитационной модели. Задачей метода является не просто автоматизация создания имитационной модели, а автоматизированное создание *базовой* имитационной модели.

Под базовой имитационной моделью понимается имитационная модель, построенная в автоматизированном режиме, на основе обработанных и формализованных определенным образом входных данных, и обладающая определенными особенностями:

при некотором изменении входных данных, процесс внесения изменений в модель не перестраивает взаимосвязи между элементами модели, а затрагивает лишь изменение параметрических зависимостей.

при полном изменении входных данных модель может быть воссоздана в кратчайшие сроки;

для создания базовой модели, необходимы лишь формализованные определенным образом входные данные. Роль человеческого фактора на этапе создания сводится к минимуму. Процесс является автоматизированным и не требует от пользователя наличия высокой квалификации.

Идея метода заключается в использовании принципов организации нейронных сетей, и предопределении правил маршрутизации материальных потоков, пропускаемых через систему.

После того как сформирована базовая имитационная модель, следуют стадии дополнения (при необходимости), проведения экспериментов на модели и стадия оптимизации модели.

Таким образом, преимуществами применения предлагаемого метода являются:

- сокращение сроков создания имитационной модели, и как следствие возможность снижения сроков и стоимости всего проекта по оценке эффективности функционирования производственной системы;
- минимизация работы специалиста по имитационному моделированию на стадии создания модели, для высвобождения времени для решения задач по проведению экспериментов и оптимизации.

Анкуда С.Н., Хейфец И.М. Минский государственный высший радиотехнический колледж, Минск, Беларусь

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ В РЕМОНТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ, ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НА ТРАНСПОРТЕ

Управлением качества называется система мероприятий, обеспечивающих экономичное производство продукции, качество которой соответствует требованиям потребителей. В настоящее время всеобщее управление качеством является не просто контролем качества товарной продукции, работ и услуг, а представляет собой научные методы, применяющиеся на различных этапах жизненного цикла изделия в различных областях деятельности.

На современном этапе для внедрения управления качеством в ремонтном производстве, промышленности и на транспорте требуется максимально эффективное применение методов статистического контроля.

Основу статистического контроля составляют семь методов:

1) ***контрольный листок.*** Его используют для того, чтобы рассмотреть распределение частот появления значений исследуемого параметра в последовательности интервалов определенной ширины. Для этого составляют таблицу, в которой ограничены последовательности интервалов, присвоены номера классов и для каждого класса ведется подсчет частоты;

2) ***гистограмма.*** Это столбиковая диаграмма со шкалой абсолютных или относительных частот, построенная на основе контрольного листка. Соединенные ломаной линией центры столбиков образуют полигон. При уменьшении ширины класса полигон превращается в кривую плотности распределения вероятностей. По кривой определяют, какому вероятностному закону соответствует распределение;

3) ***диаграмма рассеяния и поле корреляции.*** Их используют для выявления силы связи между многочисленными парами случайных величин. Эти пары наносятся в виде точек на диаграмму рассеяния, называемую также полем корреляции, и для них вычисляется коэффициент корреляции;

4) ***расслоение или стратификация.*** При разделении статистических данных на группы их именуют слоями или стратами. Если проводить стратификацию по факторам, порождающим разброс параметров, то можно определить главную причину наблюдаемого разброса и уменьшить его;

5) ***диаграмма Парето.*** Это схема, построенная на основе группирования и ранжирования статистических данных в порядке убывания значимости дискретных признаков, таких как частота появления, и показывающая накопленную или кумулятивную частоту. Диаграмма позволяет выявить главные причины характера распределения для управления ими;

6) ***диаграмма «причины – результат».*** Эффективное средство выявления и систематизации как главных факторов, так следствий и причин, их порождающих. Диаграмма представляет собой схему («рыбья кость»), характеризующую зависимости между полученными результатами и причинами, воздействующими на эти результаты;

7) ***контрольная карта.*** Представляет собой специальный бланк, на котором проведены центральная линия и линии выше и ниже ее, называемые верхней и нижней контрольными границами. На карту точками наносятся данные контроля параметров и иссле-

дуются измерения данных для того, чтобы не допустить выхода точек графика за контрольные границы.

Для оценивания результатов контроля используют методы и критерии сравнений. Наибольшее распространение получили метод парных сравнений и многоугольник предпочтений, а также критерий Джурана и информационный критерий.

Метод парных сравнений. Когда объект А предпочтительнее В, то можно записать А←В или В→А. При этом, если из А←В и В←С сделан вывод, что А←С, то противоречия нет. Это можно выразить графически треугольником, у которого $\overrightarrow{CB}+\overrightarrow{BA}=\overrightarrow{CA}$. Он называется непротиворечивым или треугольником суммы. Если из А←В и В←С сделан вывод, что С←А, то возникает противоречие $\overrightarrow{CB}+\overrightarrow{BA}=-\overrightarrow{CA}$, графически представимое противоречивым, или циклическим треугольником.

Многоугольник предпочтений. При числе сравниваемых объектов n число пар, составленных из них, будет C_n^2. Для n сравниваемых объектов строится матрица предпочтений, представляющая собой таблицу, в которой на пересечении столбца и строки ставится при предпочтении 1, в противном случае – 0. Если эти предпочтения изобразить графически, то получится направленный граф, или многоугольник предпочтений.

Критерий Джурана. На практике существует опасность признания бракованной продукции годной и годной продукции бракованной. Пусть числа объектов n_{11} и n_{22}, правильно оцененных – годный как годный, бракованный как бракованный, а n_{12} и n_{21} – числа объектов, оцененных ошибочно – годный как бракованный, а бракованный как годный. Тогда можно рассчитать критерий Джурана: $\delta=(n_{22}-n_{12})/(n_{22}-n_{12}+n_{21})$.

Информационный критерий. Если обозначить объем контрольной выборки из l классов для передачи k и приема m информации i о них через $n=\sum_{k=1}^{l}\sum_{m=1}^{l}n_{km}$, вероятность правильной передачи сообщения и его приема через $P_1(k)=\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{l}n_{km}$, $P_2(m)=\frac{1}{n}\sum_{m=1}^{l}n_{km}$, а также $P(k,m)=\frac{n_{km}}{n}$, то можно оценить объем переданной информации I через энтропию

$$H\text{: } I(k, m) = H(k) + H(m) - H(k, m),$$

где $H(k) = -\sum_{k=1}^{l} P_1(k) \log_2 P_1(k)$, $H(m) = -\sum_{m=1}^{l} P_2(m) \log_2 P_2(m)$,

$H(k,m) = -\sum_{k=1}^{l} \sum_{m=1}^{l} P(k,m) \log_2 P(k,m)$.

Используя соотношение I/H для переданного сообщения, получим информационный критерий $E = I(k, m)/H(k)$, величина которого не зависит от выбора основания логарифмов. $E = 1$, когда вывод абсолютно верен, а $E = 0$, когда абсолютно случаен.

Информационный критерий позволяет оценить как эффективность регламентируемых процессов, так и надежность всей производственной системы.

Таким образом, специфика системы управления качеством в ремонтном производстве, промышленности и на транспорте учитывает особенности выпускаемой продукции, разнообразие работ и услуг на этапах жизненного цикла изделий и отражается как в применении традиционных методов статистического контроля (контрольный листок, гистограмма, поле корреляции, стратификация, диаграммы Парето и «причины – результат», контрольная карта), так и его оценок (метод парных сравнений и многоугольник предпочтений, критерий Джурана и информационный критерий).

Антонюк В.С. НТУУ «Киевский политехнический университет», Киев,
Коваленко Ю.И., Бондаренко М.А. Черкасский государственный технологический университет, Черкассы, Украина

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ ОПТИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Вопросы повышения износостойкости деталей оптического приборостроения приводят к развитию современных технологий и прикладной базы их реализации [1]. Это вызвано необходимостью применения таких деталей в приборах, используемых в экстремальных условиях (высоких или низких температур, давлений, по-

вышенной влажности и пили и т.д.), что приводит к снижению срока надежной эксплуатации и их преждевременного разрушения.

Перспективной технологией повышения износостойкости оптических деталей путем нанесения многослойного оксидного покрытия является комбинированная технология термического осаждения в вакууме наноразмерных оксидных покрытий с последующей поверхностной низкоэнергетической электронно-лучевой обработкой [2].

Перспективным в этом направлении, является нанесение трехслойного наноразмерного покрытия Al_2O_3, SiO_2, TiO_2, что имеет высокую твердость, износостойкость, гидрофобность, и, вместе с тем, не уменьшает технико-эксплуатационных свойств самих деталей (светопропускной способности, оптической прозрачности, диапазона рабочего спектра частот).

Целью работы является повышение износостойкости деталей оптического приборостроения путем привлечения комбинированной термовакуумных технологии нанесения многослойного наноразмерного покрытия и дальнейшее изучение технико - эксплутационных свойств этих покрытий.

Покрытие Al_2O_3, SiO_2 и TiO_2 толщиной 8–20 нм наносилось на плоскопараллельные пластины круглой формы (диаметром 20 мм и толщиной 6 мм) из оптического стекла К8 путем их резистивного осаждения в вакууме с последующей поверхностной электронно-лучевой обработкой в одном технологическом цикле.

Нанесение покрытия и электронная модификация проводились на специальной лабораторной установке, содержащей резистивный испаритель и электронную пушку Пирса [3].

Пластина из оптического стекла (основа), предварительно нагретая до температуры 840 К с помощью вращающегося механизма перемещения располагалась в вакуумной камере над блоком испарителя, где в течение 5–8 сек проводилось осаждение порошков оксидов на их поверхности при таких режимах: ток разогрева испарителя I = 185–305 А; напряжение на испарителе U = 20–26 В; расстояние от испарителя к поверхности основания h = 120 мм, время нанесения покрытия t = 3–8 с. Осаждения оксидов проводилось в следующей последовательности: $SiO_2 \rightarrow Al_2O_3 \rightarrow TiO_2$.

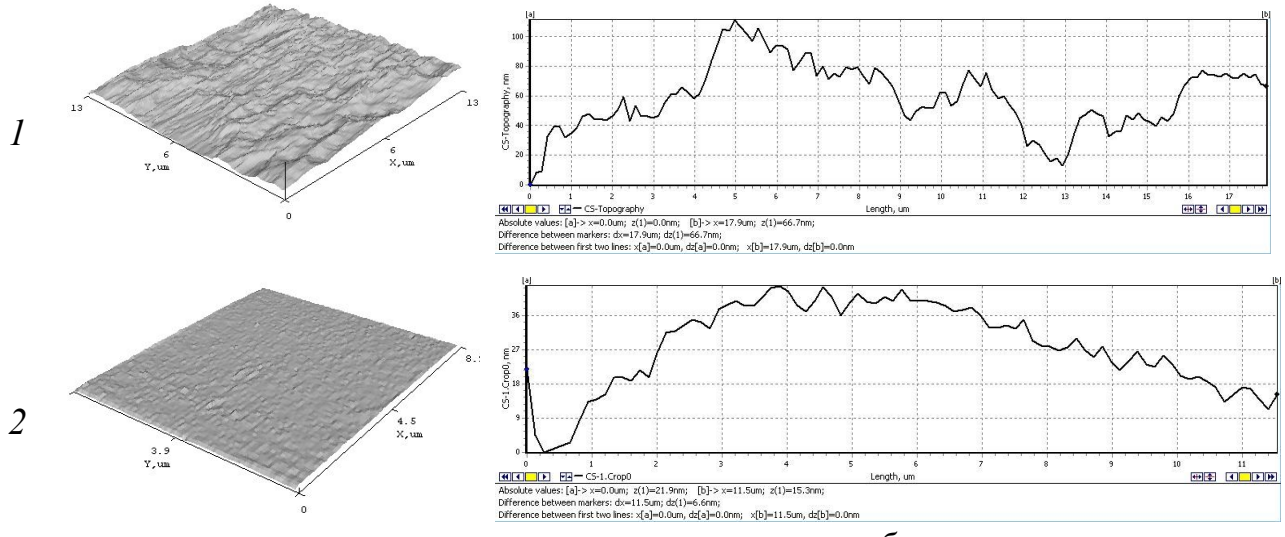
После завершения процесса нанесения покрытия, основа без остановки перемещалась над электронной пушкой. При этом на поверхность действовал низкоэнергетически электронный поток лен-

точной формы (ширина 3,0 мм, длина 60,0 мм). Электронная обработка проводилась при таких режимах: удельная мощность *P*п. = $3{,}5.10^3$ Вт/м^2; ток электронного потока I_f = 36 мА, время электронного действия $t = 1{,}2 \cdot 10^{-6}$ с; обработка однопроходная. Такая электронно-лучевая обработка позволяет вплавливать поверхностные оксидные слои в материал основы, и тем самым увеличивать их адгезионную прочность[4].

Микрогеометрия поверхности нанесенных покрытий исследовалась методом атомно-силовой микроскопии на приборе «NT-206V» с кремниевыми зондами «Ultrasharp CSC38».

В результате проведенных исследований установлено, что трехслойное оксидное покрытие (общей толщиной 40 нм), полученное путем термовакуумного испарения неоднородно, имеют высокую пористость и содержит микродефекты поверхности (трещины, точки и т.п.).

При этом среднестатистическая микронеровность поверхности таких покрытий составляет 6,7–14,3 нм. Прочность адгезии покрытий к основанию устанавливалась методом липкой ленты и составляла 1–2 класс для каждого покрытия. После обработки поверхностей электронным потоком ленточной формы происходит оплавление покрытия, несколько уменьшаются остаточные микронеровности с 3,6 нм до 11,1 нм и частично вплавляют его в поверхностный слой основания, чем увеличивается адгезионная прочность до 4–5 класса (рис. 1).



а *б*

Рисунок 1 – Микрорельеф (*а*) участка 13×13 мкм поверхности покрытия (SiO_2-Al_2O_3-TiO_2) на оптическом стекле К8 и профиль на участке поверхности (*б*) до (*1*) и после (*2*) модифицирования электронным потоком

В то же время, методом склерометрии с использованием атомно-силового микроскопа [5] были получены данные по износостойкости таких покрытий, которые составляли 18,3–24,2 у.е. для немодифицированных электронным потоком покрытий и 28,6–31,9 у.е. для покрытий модифицированых электронным потоком. Износостойкость исходного материала (оптического стекла К8) составляла 25,7 у.е. (за 100 у.е. принималась износостойкость алмаза)

Выводы.

1. Методом атомно-силовой микроскопии установлено, что после обработки поверхностей оптического стекла К8 с нанесенным многослойным оксидным покрытием низкоэнергетическим электронным потоком ленточной формы происходит уменьшение микронеровностей с 6,7–14,3 нм до 3,6–11,1 нм. Вместе с тем установлено, что поверхность покрытия после электронной обработки имеет более однородную структуру и лишена микродефектов по сравнению с покрытием без электронной обработки.

2. Методом склерометрии с привлечением атомно-силового микроскопа установлено, что износостойкость трехслойного оксидного покрытия после электронно-лучевой модификации увеличивается в 1,3–1,5 раза по сравнению с покрытием, модифицированным электронным потоком и в 1,1–1,25 раз по сравнению с исходным материалом (оптическое стекло К8), что доказывает перспективность комбинированной технологии нанесения многослойных оксидных покрытий нанометрических размеров в вакууме для повышения износостойкости деталей оптического приборостроения

Литература

1. Трение, износ и микротвердость материалов. Избранные работы / М.М.Хрущов, М.: Красанд. – 2012. – 512 с.

2. Канашевич Г.В., Котельніков Д.І., Ващенко В.А. Спеціальні методи обробки оптичного скла / Під ред. Д.І. Котельникова. – Чернігів: “Сіверська думка”, 2002. – 215 с.

3. Пат. 4177 Україна, МКИ С03В29/00; Н01J37/305. Пристрій для електронно-променевого полірування виробів / Г.В. Канашевич, Ю.І. Коваленко, М.О. Бондаренко [та інші] (Україна); Заявл. 20.02.04; Опубл. 17.01.2005; Бюл. № 1.

4. Антонюк В.С. Модифицированние металлизированных поверхностей ленточным електронным потоком / В.С. Антонюк,

Ю.И. Коваленко, М.А. Бондаренко, И.В. Яценко // Инженерия поверхности и реновации изделий: Мат. 13-й Международной науч.-техн. конф. 03 – 07 июня 2013 г., г. Ялта – К.: АТМ Украины. – 2013. – С. 15–19.

5. Study of ordered oxide patterns got on the dielectric surfaces with the combined electronic technology / Y.I. Kovalenko, M.A. Bondarenko, E.V. Vertsanova // XIV Int. conf. on physics and techn. of thin films and nanosystems, Ivano-Frankivsk, May, 20–25, 2013. – 301 p.

Антонюк В.С., Мережаный Ю.Г., Паткевич О.И.
НТУУ «Киевский политехнический университет»,
Киев, Украина

АВТОМАТИЗОВАНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА МИКРОКЛИМАТА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Современное производство невозможно представить без контроля технологических процессов, от соблюдения параметров которых зависит качество и себестоимость выпускаемой продукции. Внедрение в промышленность новых прецизионных технологий сборки и регулировки приборов и систем требует высокой надежности, быстродействия и точности функционирования систем контроля состояния технологической среды, а именно – параметров микроклимата производственного помещения. Для этого необходимо контролировать и оптимизировать совокупность параметров производственной среды.

Система мониторинга микроклимата обеспечивает в промышленном помещении заданный уровень влажности и температуры, необходимый для нормального функционирования активного оборудования независимо от времени года, и должна быть рассчитана на круглосуточную непрерывную работу. Для обеспечения надежности вышеуказанной системы и для предупреждения возникновения аварийных ситуаций используются система мониторинга микроклимата [1].

Система мониторинга должна выполнять следующие функции: контролировать температуру и влажность в серверном помещении; архивировать значения параметров микроклимата, подавать сигнал аварии при превышении установленных значений параметров мик-

роклимата в помещении; сообщать пользователям о возникновении аварийных ситуаций

Таким образом, исследования и создания надежных и эффективных систем мониторинга параметров микроклимата специальных производственных помещений с соответствующим классом чистоты является важной задачей для отрасли.

Актуальность постановки задачи обеспечения параметров микроклимата специальных производственных помещений повышенного класса чистоты обусловливается рациональностью выбора и внедрением перспективных и эффективных систем контроля параметров микроклимата на основе системного подхода к разработке методологии измерения и контроля состояния микроклимата и технологического обеспечения системы прогнозирования изменения состояния микроклимата во времени. Решение поставленной задачи возможно в сочетании технологических и математических методов измерения параметров микроклимата, которые позволяют контролировать свойства технологической среды и тем самым непосредственно влиять на качество протекания технологического процесса сборки. Для реализации системы мониторинга параметров микроклимата специальных производственных помещений, с повышенным классом чистоты воздуха, необходимо создать автоматизированную систему контроля.

Основой разработанной автоматизированной системы контроля параметров микроклимата является микро-ЭВМ, созданная на базе микропроцессоров, которые способны проводить необходимую математическую обработку измерительной информации и представлять ее в наиболее удобном виде для восприятия и дальнейшей математической обработки. Внедрение микропроцессорной техники в измерительную подсистему системы контроля приводит к унификации ее структур, обеспечивающих управление процессом измерения и обработки полученных данных [2].

Автоматизированная система обеспечивает постоянный мониторинг и контроль процесса вентиляции чистого производственного помещения и степень загрязненности воздушного HEPA фильтра. Загрязненность воздушного фильтра непосредственно влияет на степень чистоты производственного помещения, и скорость потоков воздуха в нем (при ламинарных потоках воздуха). Для того чтобы исключить инфильтрацию воздуха в чистое производственное помещение из соседних помещений, с более низким классом

чистоты, системой предусматривается мониторинг избыточного давления внутри рабочего помещения. Создание избыточного давления достигается средствами системы вентиляции путем подачи в рабочее помещение большого количества воздуха с определенной скоростью. Возможно использование системы и в том случае, когда необходимо проводить мониторинг разницы давления в нескольких чистых помещениях. Например, если в основном производственном помещении где выполняется прецизионная сборка, необходимо устанавливать и контролировать класс чистоты 6 ISO и в это же время процесс сборки предполагает использование еще одного помещения с классом чистоты – 8 ISO, например, для выполнения доводочных операций. При этом предполагается использование шлюза (тамбура) между основным помещением класса чистоты 6 ISO и вспомогательным помещениям класса 8 ISO, в котором необходимо поддерживать класс чистоты на уровне 9 ISO. В таком случае система может обеспечивать мониторинг необходимых перепадов давления (воздушные подпоры) в каждом из помещений.

Применение в автоматизированной системе контроля параметров микроклимата электронных схем требует проведения расчетов параметрической надежности системы. Надежность работы автоматизированной системы в первую очередь определяется надежностью работы ее электронных схем. Для определения параметрической надежности системы необходимо определить интенсивности параметрических отказов незагруженных схем блока управления и блока задания и отображения в течение наработки 9000 часов с начала эксплуатации. Процессы старения элементов схемы, в частности эквивалентных сопротивлений БК ($R_{бк}$) и БЗ/В ($R_{бз}/y$), являются равномерными линейными случайными процессами [3]:

$$R_{бк}(t) = R_{01} + b_1 t;$$

$$R_{бз/в}(t) = R_{02} + b_2 t;$$

где $R_{бк}$ – эквивалентное сопротивление БК, $R_{бз/в}$ – эквивалентное сопротивление БЗ/В, R_{01}, R_{02} – случайные величины.

Случайные величины R_{01}, R_{02} распределены нормально с математическим ожиданием m_{01} = 4,3 кОм, m_{01} = 6,2 кОм и среднее квадратичными отклонениями σ_{01} = 0,3 кОм, σ_{02} = 0,4 кОм. Скорость старения b_1 и b_2 можно считать неслучайными, равными b_1 = 0,4 Ом/год, b_2 = 0,025 Ом/год. За критерий отказа автоматизирован-

ной системы принято изменение напряжения на выходе схем на величину, большую, нежели 18,7 %, [4].

Определяющим параметром схем есть коэффициент передачи

$$K = \frac{R_{бз/в}}{R_{бк} + R_{бз/в}}.$$

Математическое ожидание определяющего параметра

$$m_{K_i} = \frac{m_{02} + b_2 t_i}{m_{01} + m_{02} + (b_1 + b_2)t_i}.$$

Значения частых производных:

$$\left(\frac{\partial K}{\partial R_{01}}\right)_{m_i} = -\frac{m_{02} + b_2 t_i}{\left[m_{01} + m_{02} + (b_1 + b_2)t_i\right]^2} \text{ і}$$

$$\left(\frac{\partial K}{\partial R_{02}}\right)_{m_i} = -\frac{m_{01} + b_2 t_i}{\left[m_{01} + m_{02} + (b_1 + b_2)t_i\right]^2}.$$

Дисперсия определяющего параметра:

$$\sigma^2_{K_i} = \frac{(m_{02} + b_2 t_i)^2 \sigma^2_{01} + (m_{01} + b_1 t_i)^2 \sigma^2_{02}}{\left[m_{01} + m_{02} + (b_1 + b_2)t_i\right]^4}$$

Для 10 дискретных точек интервала 0-9000 часов определяем значения m_{K_i} і σ_{K_i} (табл. 1).

Таблица 1 – Значения параметров надежности автоматизированной системы мониторинка

Значения наработки	Середнее значение m_{K_i}	Середнее квадратичное отклонение σ_{K_i}
0	0,591	0,023
1000	0,570	0,0221
2000	0,551	0,0215
3000	0,534	0,0209
4000	0,517	0,0202
5000	0,504	0,0197
6000	0,487	0,0193
7000	0,474	0,0189
8000	0,461	0,0184
9000	0,448	0,0179

Аппроксимируя случайный процесс изменения определяющего параметра K(t) равномерным линейным случайным процессом $K(t) = K_0 + b_i$.

Определив m_{K_i}, методом наименьших квадратов вычисляем значение b. Соответственно минимизируется сумма $J_1 = \sum_{i=1}^{y} \left[m_{K_0} + bt_i - m_{K_j} \right]^2 = \min$.

Приравняв нулю частную производную суммы J_1 по b, получим уравнение для определения величины b:

$$\frac{\partial J_1}{\partial b} = 2\sum_{i=1}^{9} \left[m_{K_0} + bt_i - m_{K_i} \right] t_i = 0,$$

откуда

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{9} m_{K_i} t_i - m_{K_0} \sum_{i=1}^{9} t_i}{\sum_{i=1}^{9} t_i^2} \frac{\partial J_1}{\partial b} \approx -1{,}7 \cdot 10^{-5} \text{ кОм/год.}$$

Аналогично находим среднее на интервале 0-9000 годин значения среднего квадратичного отклонения

$$\sigma_{K\,cp} = \frac{1}{10} \sum_{i=0}^{9} \sigma_{K_i} \approx 2{,}02 \cdot 10^{-2}.$$

Проведенные расчеты позволяют определить числовые характеристики m_t і σ_t нормального распределения наработки на отказ и интенсивность отказов $\lambda(t)$.

Выводы. Интенсивность параметрических отказов электрических схем автоматизированной системы мониторинга параметров микроклимата находится около нуля на промежутке работы системы от 0 до 4000 часов. Дальнейшая непрерывная работа системы контроля приводит к постепенному увеличению параметрических отказов электрических схем, по гиперболическому закону. Однако в пределах расчетного интервала (0–9000 ч) значения параметрических отказов не превышает допустимые значения.

Літератури

1. Антонюк В.С., Мережаный Ю.Г., Пономаренко А.И. Автоматизированный контроль микроклимата производственных помещений для сборки прецизионных приборов. // Сборка в машиностроение и приборостроении. – 2012. – № 2 – С. 38–43.

2. Трамперт В. Измерение, управление и регулирование с помощью AVR микроконтроллеров: Пер. с нем. – К.: «МК-Пресс», 2006. – 208 с.

3. Наукові дослідження в галузі вимірювання механічних величин. Інформаційно-комп'ютерні системи та технології: / О.М. Безвесільна, Ю.О. Подчашинський, Г.С. Тимчик. – Житомир: ЖДТУ, 2011. – 876 с.

4. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных систем. – М.: Энергия, 1977. – 536 с.

Барандич К.С., Вислоух С.П. НТУУ «Київський політехнічний інститут», Київ, Україна

ЗВ'ЯЗОК МІЖ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ УМОВАМИ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ТА ГРАНИЦЕЮ ВИТРИВАЛОСТІ ДЕТАЛЕЙ

Надійність, довговічність – основні показники якості приладів, які в значній мірі залежать від експлуатаційних властивостей деталей та їх з’єднань. Під час експлуатації багатьох приладів, механізмів та конструкцій до них висуваються вимоги, що за гарантованих термін роботи буде забезпечена безаварійність та безвідмовність. Проте режими експлуатації відповідальних конструкцій часто пов’язані зі знакозмінними навантаженнями на їх складові частини, що призводить до втомного руйнування. За таких умов одним з найважливіших експлуатаційних показників деталей є опір втоми, що чисельно характеризується границею витривалості.

Наукові дослідження багатьох вчених показують, що руйнування деталей під дією знакозмінних навантажень починається саме з поверхні і викликане утворенням втомних тріщин. Причиною цього є недостатній опір втоми матеріалу деталей після обробки, що зумовлено наявністю поверхневих дефектів, рисок, нерівностей, які сприяють концентрації напружень та порушенню цілісності матеріалу.

Тому для збільшення надійності роботи відповідальних приладів та механізмів дієвим є створення деталей з певними параметрами якості поверхневого шару. Відомо, що їх формування відбувається при безпосередньому впливі технологічних умов обробки.

Так, механічна обробка викликає пластичну деформацію, нагрівання та структурні перетворення в поверхневому шарі матеріалу оброблюваної деталі. Це призводить до утворення певної шорсткості поверхні, формування різних за значеннями ступеня та глибини наклепу, залишкових напружень.

У зв'язку з цим, актуальною є задача технологічного забезпечення параметрів якості та границі витривалості деталей. При цьому необхідно враховувати взаємозв'язок між параметрами якості поверхневого шару, оскільки сукупність різних параметрів якості поверхневого шару можуть забезпечувати одні і ті ж значення експлуатаційних властивостей деталей.

Для вирішення цієї задачі пропонується створення науково обґрунтованих теоретико-експериментальних залежностей між значеннями границі витривалості та режимами механічної обробки, а також методики призначення оптимальних режимів різання на основі використання отриманих залежностей.

Таким чином, використання даної методики дозволить на етапі технологічної підготовки виробництва забезпечити необхідні значення границі витривалості деталей, а отже і надійність та безвідмовність роботи приладів, механізмів та конструкцій в цілому.

Белоусов Ю.В. Приазовский государственный
технический университет, Мариуполь, Украина

ОСНОВЫ ПРЕЦИЗИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДУГОВОГО СПОСОБА СВАРКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ВРЕМЕНИ

Преимущества автоматической дуговой сварки под флюсом доказаны многолетней практикой применения этого способа с использованием многочисленных технологических вариантов, разработанных с целью повышения производительности процесса и улучшения качества сварных соединений и наплавленных слоев металла. Констатация этого факта означает, что, при известном влиянии параметров режима на технико-экономические показатели, уже исчерпаны все резервы бесспорно прогрессивного и широко

распространенного способа сварки, предложенного более 70 лет тому назад.

Вниманию участников семинара предлагается удивительный результат, полученный в условиях промышленного предприятия «Азовобщемаш» с использованием серийного, далеко не нового сварочного автомата А-1416, укомплектованного серийным источником питания ВДУ- 1250.

Речь идет об оценке эффективности плавления основного металла в зависимости от скорости сварки $V_{св}$. Каждому понятно, что показатель погонной мощности дуги $q/V_{св}$, утверждает, что чем больше скорость сварки при неизменной величине q = const, тем меньше тепловой энергии вкладывается в основной металл. Для объективной количественной оценки более всего подходит глубина проплавления $h_{пр}$, мм.

При обычной скорости сварки V_o под флюсом АН-60, получили глубину проплавления 6,6 мм. И здесь нет ничего удивительного, т.к. параметры дуги, горящей на торце плавящегося электрода диаметром d = 4 мм, согласно измерениям, были $I_{св}$ = 650–700 А, $U_д$ = 32–35 В.

Для удобства расчета ожидаемой $h_{пр}$, очередную наплавку выполнили при неизменных параметрах дуги на скорости в 6 раз большей, чем V_o, т.е. $h_{пр}(q/6V_o)$ = 6,6,мм /6 = 1,1 мм. Уже первые результаты показали глубину провара в 4–5 раз большую в сравнении с расчетной $h_{пр}(6V_o)$= 1,1, мм.

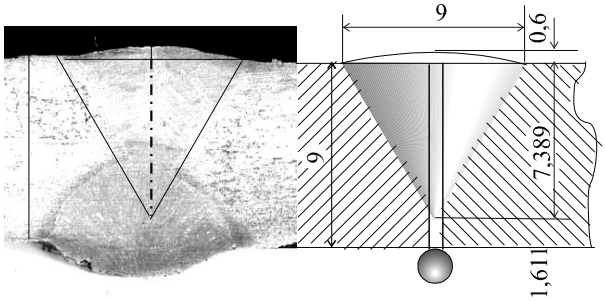


Рисунок 1

В конечном итоге удалось достичь строго расчетного (математически) физического результата (с точностью до микрона) при сварке на весу (без подкладных устройств) стыкового соединения металла толщиной δ = 9 мм (рис. 1)

$$h_{пр}(p) = e^2,\text{мм} = 7{,}3890 \text{ мм},$$

где e – основание натуральных логарифмов (трансцендентное число).

Т.о., ученый мир поставлен перед фактом, сварное соединение есть, современной науки, объясняющей реальный и при этом строго расчетный результат – нет. Надеюсь понятно, что бесполезно искать объяснение в теории теплопроводности, либо в законах гидродинамики сварочной ванны, наконец, в теории дугового разряда,

выведенной из уравнения индийского физика Саха. Нужны принципиально новые знания о материи, автора Натуральной Теории.

Неразрешимая для науки загадка здесь решается на удивление просто:

$$\frac{q}{V} = \frac{q}{\frac{l}{t}} = \frac{q \cdot t}{l} .$$

В формуле погонной мощности скорость представлена отношением символов l/*t*. Это позволяет преобразовать выражение, согласно правилам арифметики. Символ *t* из «нижнего этажа трехэтажной» дроби перенесен в числитель (при конкретной величине критической скорости $V_к$). При этом время преобразуется в естественную теплоту примерно с той же эффективностью, какая генерируется искусственно организованным дуговым разрядом.

Естественно, закон превращения времени в тепловую энергию во времена М.В. Ломоносова был неизвестен, как неизвестен он и современной физической науке.

Не что иное, как непривычное понятие антискорости $V^{-1} = 1/V = t/l$, раскрывает удивительные физические свойства времени, ответственного за линейный размер 1/l в данном случае равный $h_{пр}(p) = e^2$,мм. Ведь размерностную величину $h_{пр}$ = 7,389 мм определяет лишь простое число 2 в показателе экспоненты, надо полагать, с размерностью времени!?

Теперь есть все основания сравнить: с одной стороны - проплавляющую эффективность дуги в 1,1 мм, обусловленную кинетической энергией потока отрицательно заряженных частиц, бомбардирующих поверхность основного металла, а в действительности, обусловленную величиной постоянного тока I ≈ 110 А (при скорости Vo), генерируемого многотонной массой, так называемого источника питания, который лишь преобразует промышленную электроэнергию, соответственно физическим требованиям стационарного дугового разряда.

А с другой стороны – эффективность проплавления неизвестной доселе тепловой энергии времени [1–3] (от естественно неиссякаемого источника) более чем в 6 раз (600 %) превышающую научно обоснованную со всех позиций физической теории эффективность $h_{пр}$ ($q/6V_о$) = 1,1мм.

Необычно выглядит и сварное соединение встык без разделки кромок. Сварной шов первого прохода, как видим, имеет попереч-

ное сечение в виде правильного равностороннего треугольника со сторонами, равными 9 мм. Не иначе как световой конус, обращенный вершиной вниз, перемещавшийся со скоростью $6V_{\text{о}}$, образовал литую структуру сварного шва.

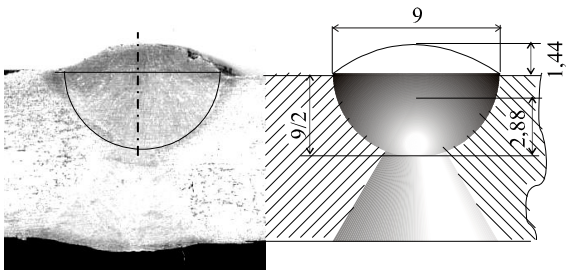


Рисунок 2

Второй проход выполняли на неизменных параметрах режима после кантовки пластины. Сечение второго сварного шва представлено в виде полукруга, описанного радиусом r = 9/2 = 4,5 мм, как если бы вместо дуги, на торце электрода была электрическая лампочка, свет и тепло от которой распространялись по всем направлениям в пространстве стальной пластины с одинаковой скоростью (рис. 2).

Этот факт говорит о том, что известные методы управления тепловой энергией дуги для управления физическими свойствами времени уже не пригодны.

В итоге, не вкладывая ни копейки в модернизацию и закупку нового оборудования, в изготовление специальных устройств, было обеспечено:

1. Повышение производительности труда в 4–6 раз.
2. Идеальное совпадение расчета сечения сварных швов с экспериментом.
3. Экономия электроэнергии, сварочных материалов и флюса на каждом погонном метре шва характеризуется теми же цифрами.
4. Снижение погонной мощности дуги того же порядка и отсутствие «лишнего» металла в сварочной ванне обуславливает существенное снижение деформаций сварного изделия (доказано при сварке металла толщиной 2 мм).
5. Уменьшение времени пребывания сварочной ванны в жидком состоянии в 6 раз обеспечивает мелкозернистую структуру сварного шва, невиданную опытными специалистами - металловедами.
6. Более того в ЗТВ не обнаруживается крупнозернистый участок неполного расплавления и перегрева. Лишь на микроструктуре сварного соединения установлено, что к линии сплавления непосредственно примыкает мелкозернистый участок нормализации.
7. Легко решается проблема дуговой наплавки тел вращения малого диаметра.

8. Наконец, количество вредных выделений при сварке в расчете на 1 погонный метр шва сокращено в 4–6 раз.

Литература

Белоусов Ю.В. Монография «Квантование векторных физических свойств времени при дуговом плавлении металла (ряд открытий)» Свідоцтво № 45935 Державної служби інтелектуальної власності України про реєстрацію авторського права от 08.10.2012.

Белоусов Ю.В. Физические свойства J- энергии времени Ю.В. Белоусова при дуговом плавлении металла. // В материалах 15-й Международной научно-практической конференции « Технологии упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика». С.-Петербург, изд-во Политехнического университета – 2013 г с. 212 – 226.

Белоусов Ю.В., Шаферовский В.А. Квантовый подход к разработке прецизионной технологии сварки. Удивительные свойства времени. // В сб. трудов IV Международной научно-практической конференции с элементами научной школы для молодых ученых «Инновационные технологии и экономика в машиностроении, г.Юрга. – 2013 с. 17-22.

Божидарнік В.В., Добровольська Л.Н. Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна

МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ НА ТРІЩИНОСТІЙКІСТЬ АНІЗОТРОПНИХ МАТЕРІАЛІВ З ТРІЩИНАМИ

Анізотропні, зокрема композитні матеріали, успішно застосовують в інженерній практиці і вони є перспективними матеріалами широкого спектра вжитку, проте методи їх розрахунку на тріщиновитримність (тріщиностійкість) і обчислення міцності виготовлених з них елементів конструкцій з тріщинами на даний час розвинуті слабо. Теоретичною основою таких розрахунків є методи механіки крихкого руйнування. Для ізотропних матеріалів такі методи добре відомі [1, 3, 4] і вже глибоко розвинуті. Проте згадані методи механіки руйнування ізотропних матеріалів не можна безпосередньо застосовувати до анізотропних матеріалів з тріщинами. Причина в тому, що для таких

матеріалів значно ускладнені розрахунки напруженого стану та кінетики поширення у ньому тріщин, недостатньо розвинуте експериментальне дослідження характеристик тріщиностійкості. Критерій Ірвіна [4] і згаданий критерій σ_{0f} до таких матеріалів безпосередньо застосовувати не можна. Тому в роботі формулюються нові критерії руйнування анізотропних пластин з тріщинами, в основі яких є нове поняття міри пошкодженості матеріалів у зоні передруйнування.

Нормування рівня напружень, деформацій чи енергії здатністю чинити опір руйнуванню коректніше оцінює витривалість матеріалу, оскільки вона залежить не так від напружено-деформованого стану, як від його співвідношення з опірністю ростові тріщин. На відміну від класичних критеріальних функцій рівня стану, такі міри можна вважати монотонно зростаючими: за розвантаження вони не зменшуються, сприяючи втомному руйнуванню. Для тонкостінного елемента конструкції завтовшки $2h$ із анізотропного матеріалу лінійні параметри a_i характеризують геометричну конфігурацію, силові параметри p — зовнішні навантаження розтягом-стиском. Цей елемент був підданий дефектоскопічному контролю, який констатував відсутність у ньому великих порівняно з a_i дефектів, що не перевищують певної величини l. Задача полягає у визначенні найменшого значення зовнішнього навантаження, після досягнення якого даний елемент зруйнується. Вважаємо, що в околі найбільш напруженої точки розглядуваного елемента знаходиться дефект з характерним розміром l, наприклад наскрізна прямолінійна тріщина завдовжки l. Аналогічно досліджуються гострокінцева порожнина, включення тощо. На основі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Урахування анізотропії матеріалу істотно впливає на передбачуване значення кута і меншою мірою на зведене граничне навантаження. Знак кута руху такий же, як у ізотропному матеріалі — від ближчого напряму розтягу.

2. Урахування кутової залежності K_{Ic} впливає на прогнозоване значення кута початкового руху тріщини.

Література

1. Андрейкив А.Е., Дарчук А.И. Усталостное разрушение и долговечность конструкций. – К.: Наук. думка, 1992. – 184 с.

2. Божидарнік В.В., Андрейків О.Є., Сулим Г.Т. Механіка руйнування, міцність і довговічність неперервно армованих композитів. – Луцьк: Надстир’я, 2007. – Т.1, Т.2. – 824 с.

3. Панасюк В.В. Механика квазихрупкого разрушения материалов. – К.: Наук. думка, 1991. – 146 с.

4. Панасюк В.В., Андрейкив А.Е., Партон В.З. Основы механики разрушения материалов. – К.: Наук. думка, 1988. – 488 с.

Бородин В.В., Щербинин А.В., Бердников А.А., Безносков Д.В. ОАО «ЕВРАЗ НТМК», ООО «Урал-Техно-Плазма НТ», НТИ(ф) УрФУ, Нижний Тагил, Россия

ПЛАЗМЕННАЯ ЗАКАЛКА ВАЛКОВ ДЛЯ ПРОКАТКИ ХРЕБТОВОЙ БАЛКИ Z310

В соответствии с Программой повышения стойкости и сниженияудельного расхода валков с целью сокращения их расхода и затрат на закуп предполагается расширение номенклатуры валков, упрочняемых поверхностной плазменной закалкой. Так, в рельсобалочном цехе ОАО «ЕВРАЗ НТМК» с учётом многолетнего опыта внедрения плазменной закалки были упрочнены валки черновой клети для прокатки хребтовой балки Z310. Материал валков – сталь 60ХН. Во избежание затруднений при механической обработке (переточке) валков на меньший диаметр после прокатной кампании (установки в стан «950») был проведён анализ износа рабочих калибров и выбраны участки с max износом, определяющие величину съёма при переточке всех валков комплекта. Это является важным моментом, поскольку даже при одной и той же стойкости «сырых» и закалённых валков меньший съём увеличивает наработку валков (т/мм) и снижает их удельный расход.

Учитывая вышеизложенное, упрочнению подвергали только фрагменты 3-го и 2-го калибров верхнего и нижнего валков (1-й средний и 2-й средний не упрочнялись) на расчётную глубину 0,65–0,80 мм. Твёрдость поверхности после закалки составила 56–59 HRC по центру упрочняемой дорожки и 50–53 HRC в местах их наложения. В качестве сравнительной базы в табл. 1 приведены показатели работы и расхода валков без упрочнения за период 2007–2013 гг. и результаты производственных испытаний упрочнённых комплектов.

Таблица 1 – показатели работы и расхода валков без упрочнения

№№ комплектов	Расход комплектов, кг	Прокатано комплектами, т	Удельный расход, кг/т	Количество закладок	Средняя стойкость за закладку, т
65–78	581747	563131	1,033	112	5028
после закалки с ноября 2013 г.					
77	5493	7330	0,749	1	7330
78	5493	6489	0,847	1	6489

В табл. 2 представлены сравнительные результаты, подтверждающие техническую эффективность применения плазменной закалки: повышение стойкости валков составило 29,1–45,8 %, удельный расход снизился на 18,1–27,5 %.

Таблица 2 – Сравнительные результаты, подтверждающие техническую эффективность применения плазменной закалки

№ комплекта	Изменение показателей	
	Увеличение стойкости, %	Снижение удельного расхода, %
77	45,8	27,5
78	29,1	18,1

Васильев А.С. МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия,
Хейфец М.Л., Гайко В.А., ПозыловаН.М.
ГНПО «Центр» НАН Беларуси, Минск, Беларусь

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ НАСЛЕДОВАНИЕМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Отличительной особенностью существующих подходов к определению и прогнозированию показателей качества машиностроительной продукции является использование принципа суперпозиции, согласно которой каждый из действующих технологических факторов действует независимо от других, а результат совместного

действия определяется их парциальной суммой, представляемой в той или иной форме.

Технологические системы многосвязны, объекты производства характеризуются нелинейностью, необратимостью и неравновесностью. Однако применение принципа суперпозиции сводит многосвязные взаимодействия, осуществляемые в технологических системах, к односвязным, игнорируя взаимное влияние технологических факторов.

Рост требований к качеству изготовления элементов машин делает методы определения и прогнозирования качества, основанные на принципе суперпозиции, малопригодными, так как эффект взаимного влияния факторов соизмерим с результатами их прямого воздействия. Процесс изменения свойств изделий должен рассматриваться как совокупность взаимодействующих процессов, изменения и сохранения свойств.

Множественность свойств изделий, каждое из которых характеризуется соответствующим множеством показателей качества, является также проявлением многосвязности технологических факторов при формировании качества изделия. Свойства изделия взаимосвязанно формируются при его изготовлении. Однако в производственной практике машиностроения этот факт недостаточно учитывается. Изолированное рассмотрение процесса формирования выделенных показателей качества может привести к серьезным ошибкам при проектировании и реализации технологических процессов.

Технические трудности, связанные с описанием многосвязных взаимодействий, при формировании множества показателей качества при изготовлении изделия могут быть преодолены на основе применения современных информационных технологий и методологии принятия проектных решений.

Математический аппарат методологии базируется на основных положениях:

- качество детали формируется на протяжении всей ее технологической предыстории и множество показателей качества является результатом предыстории;
- любое технологическое и связанное с ним воздействие на заготовку изменяет все показатели качества;
- любой показатель качества, изменяясь, приводит к изменению всех остальных показателей качества заготовки.

Характеристики технологических сред и закономерности их изменения позволили сформировать основную задачу направленного формирования показателей качества изделия: при известных начальных и конечных свойствах предмета производства определить наиболее оптимальную с точки зрения трансформации свойств технологическую среду.

Для успешного выполнения заданного множества функций технологическая среда должна быть обеспечена необходимыми резервами. Резерв технологической среды образуют множества ее характеристик и значений последних, не использующиеся при выполнении средой заданных функций и условий их реализации. Оценка среды по каждому из ее параметров может проводиться на основании предложенных количественных характеристик. Среда любого уровня должна обязательно обладать резервом по параметрам (возможностям), величина которого должна оптимально соответствовать множеству выполняемых функций и диапазону возможных изменений условий их реализации. Выбор технологических сред и любого из технологических объектов, обладающих рациональными резервами, может эффективно осуществляться на базе предложенного аппарата оценки качества соответствующих технологических решений. Формирование резерва среды может выполняться по каждому из отдельно взятых ее параметров и должно учитывать как стохастический характер последних, так и их взаимодействие.

С учетом влияния всего цикла изготовления детали на ее эксплуатационные свойства разработан алгоритм, в соответствии с которым по требуемым эксплуатационным свойствам рекомендуются значения параметров состояния поверхностного слоя готовой детали и формируется технологический процесс ее изготовления, обеспечивающий указанные параметры, назначаются режимы резания, характеристики инструмента и оборудования, марка СОТС (смазочно-охлаждающая технологическая среда), обеспечивающие необходимые параметры состояния поверхностного слоя заготовки и полуфабриката на каждом этапе обработки.

Технологический алгоритм включает следующие этапы:

- исходя из эксплуатационных свойств и условий эксплуатации элементарных поверхностей детали устанавливаются требования к состоянию поверхности детали;
- на основании математических моделей или в базе данных по требуемому состоянию поверхностного слоя определяются режимы

обработки, инструмент, оборудование, СОТС, необходимые для реализации окончательной обработки заданной детали;

• по параметрам состояния поверхностного слоя определяются режимы обработки, инструмент, оборудование, СОТС, необходимые для реализации предыдущей операции (перехода) обработки.

Проектирование технологических процессов изготовления изделий с учетом взаимного влияния формируемых показателей качества малоэффективно вне его автоматизации на базе современной вычислительной техники. Проектирование единичных маршрутных технологических процессов (МТП) изготовления деталей желательно осуществлять в режиме автоматизированного синтеза при минимальном диалоге пользователя с системой.

Стратегия разрешения проблемы автоматизированного синтеза МТП с учетом закономерностей изменения, сохранения и взаимного влияния формируемых показателей качества, предусматривает:

• выполнение синтеза МТП в автоматизированном режиме на основе общетехнологических принципов и получение основных характеристик маршрута;

• прогнозирование изменения показателей качества с учетом закономерностей трансформации свойств на основе структуры сформированного МТП;

• выполнение необходимой корректировки МТП в случае, если желательный уровень значений показателей качества не достигнут.

Автоматизированная генерация технологических сред заданного уровня относительно выделенного объекта принципиально возможна на основе их функциональных моделей, созданных с применением CALS-технологий. Функциональные модели многосвязных технологических сред позволяют в зависимости от постановки решаемой задачи осуществлять снижение ее размерности путем выделения множества существенных связей и подавления несущественных при сохранении корректности и адекватности.

Снижение чувствительности технологических сред к изменению условий реализации режимов производства и применения изделий позволяет с наименьшими затратами осуществлять направленное формирование показателей качества в жизненном цикле изделий машиностроения.

Таким образом, преемственность решений при математическом моделировании, конструкторско-технологическом проектировании, производстве и эксплуатации сложных технических систем базиру-

ется на принципах передачи свойств в жизненном цикле изделий. Компьютерная поддержка жизненного цикла изделий с использованием CALS-технологий требует разработки сквозных математических моделей наследования комплекса показателей качества изделий. Применение синергетической концепции позволяет сформировать математическую модель наследования показателей качества, описывающую различные режимы поведения при производстве и применении технических систем. Использование математической модели при компьютерном проектировании предоставляет широкие возможности для сокращения затрат при изготовлении и эксплуатации конструктивно-сложных изделий машиностроения.

Виговський Г.М., Сироїд Є.С. Житомирський державний технологічний університет, Житомир, Україна

ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕСУ ВИСОКОШВИДКІСНОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ

В умовах сучасного розвитку техніки, комплексна механізація і автоматизація виробничих процесів і вдосконалення методів підготовки та управління виробництвом стають одними з головних завдань в машинобудуваній галузі.

У технологічних процесах обробки металів різанням значну частину операцій – фрезерування становить до 35 % від загальної кількості операцій металообробки, з яких частина операцій, торцевого фрезерування, складає 25 %. Дані цифри свідчать про те, що операції фрезерування в значній мірі визначають витрати пов’язані з виготовленням великої номенклатури деталей різної форми.

Швидкість різання значною мірою впливає на всі характеристики процесу різання. Прагнення досягти по можливості найвищої швидкості обробки при фрезеруванні визначається необхідністю зниження основного часу. У поєднанні з можливостями інтегрованого процесу прискореного формоутворення це відкриває нові можливості у створенні конкурентоспроможної продукції.

Технологія високошвидкісної механічної обробки (в закордонній літературі High Speed Machining або HSM) належить до найпрогресивніших методів обробки деталей різних конфігурацій. Вже

сьогодні промисловість різних країн світу досить ефективно використовує високошвидкісне фрезерування для обробки різних металів і сплавів. Тому, на сьогоднішній день високошвидкісне фрезерування є важливим етапом розвитку процесів різання.

Відомо, що для отримання якісних характеристик поверхнонь деталей різних конфігурацій при високошвидкісному фрезеруванні потрібно забезпечити сталий рух заготовки та інструменту по заданим траєкторіям. Проте, при вказаному способі обробки деталей, процес торцевого фрезерування супроводжують різні динамічні характеристики, які суттєво впливають на сам процес різання і геометричне формоутворення. Внаслідок чого знижується продуктивність обробки при високошвидкісному фрезеруванні, стійкість різального інструменту, відчувається негативний вплив на якість обробленої поверхні: знижується точність та підвищується в декілька разів шорсткість.

Приведемо приклад динамічних характеристик при високошвидкісному фрезеруванні:

- рівень і характеристика вібрацій, що виникають у оброблювальній системі під час різання;
- сили різання, що виникають в процесі обробки;
- підвищення високих температур в зоні різання тощо.

Опис характерних особливостей динаміки процесу високошвидкісного фрезерування пов’язаний, в першу чергу, з іменами таких вчених, як: Дроздов Н.А., Каширін А.І., Кудінов В.А., Соколовський А.П., Амосов І.С. У цих дослідженнях були виявлені основні механізми збудження автоколивань при фрезеруванні, отримані диференціальні рівняння, досліджено стійкість руху технологічної системи. Незважаючи на те, що описані підходи дозволяють моделювати динаміку процесу фрезерування, кожен з них має деякі недоліки, а саме: не враховується зміна динамічних характеристик заготовки в міру зняття матеріалу, алгоритм геометричного моделювання містить у собі можливість виникнення суттєвих похибок, непридатний для моделювання обробки складнопрофільних деталей, досліджується тільки стійкість процесу обробки і при цьому не може бути розрахована амплітуда вібрацій і величина сил різання через нелінійність системи.

Таким чином, для дослідження динамічних явищ процесу торцевого фрезеруванні потрібно вивчити вплив всіх вхідних

параметрів на коливальні процеси, якими можна управляти для запобігання небажаних подібних явищ.

Більш детально розглянемо *вібрації в процесі фрезерування.* Коливання системи верстат-пристосування-інструмент-заготовка неминучі при будь-яких видах механічної обробки і є сумарним результатом накладених один на одного коливань кожного елемента системи. Однак при високих нормах точності і жорсткості використовуваного обладнання при обробці деталей з урахуванням умови отримання високої якості обробленої поверхні в першу чергу слід враховувати вібрацію в механічній підсистемі інструмент-заготовка, особливо в перехідний період процесу різання.

Використання торцевих фрез при високошвидкісному фрезеруванні деталей різної форми призводить до виникнення вібрацій і, як наслідок, до погіршення якості поверхневого шару та точності розмірів. При цьому найбільш нежорстким ланцюгом технологічно оброблювальної системи є різальний інструмент, причому конфігурація оброблюваних поверхонь деталі і їх розміри, як правило, не дозволять застосувати більш жорсткі інструменти, так як діаметр торцевих фрез, визначається конструктивними параметрами оброблюваних деталей.

Відомо, що при механічній обробці деталей спостерігаються два види коливань: вимушені і самозбуджувальні. Вимушені коливання з’являються через періодичності дії збуджуючої сили різання. Вони можуть виникнути внаслідок: переривчастого характеру процесу різання, дисбалансу складових верстата, деталі і інструменту, дефектів в механізмах верстата, нерівномірність припуску заготовки на обробку та її зміщення при закріпленні.

Температура, що виникає в зоні різання. Можливості високошвидкісного фрезерування значно зросли з появою нових конструкцій верстатів та різальних інструментів, які дозволяють знімати більшу кількість матеріалу за менший проміжок часу, тим самим зменшуючи основний час обробки і також поліпшуючи якість поверхневого шару деталей.

Найбільш важливим фактором при обробці деталей є перерозподіл тепла в зоні різання. Навіть при обробці загартованих сталей та чавунів доцільно переходити до діапазону високошвидкісної обробки. Деякі експериментальні дослідження показують, що при обробці з великими подачами поверхня оброблюваної деталі піддається меншим тепловим навантаженням. При великій подачі части-

на тепла різання, що надходить в оброблювану деталь, зменшується непропорційно, а температура поверхні різання оброблюваної деталі знижується. Високошвидкісне фрезерування зменшує знос різального інструменту та значно збільшує якість поверхневого шару.

Крім того, висока швидкість процесів пластичної деформації і теплових процесів при високошвидкісному фрезеруванні в сукупності з істотною нелінійністю залежності сили різання від товщини зрізу та швидкості різання призводять до виникнення хаотичного стану динамічної системи, внаслідок чого динамічна система верстата стає дуже чутливою навіть до незначних зовнішніх збуджень.

Температура поверхні різання збільшується при збільшенні швидкості різання, незважаючи на зменшення частини тепла різання, що надходить в оброблювану деталь. Отже, загальний обсяг тепла різання постійно збільшується при збільшенні швидкості різання.

Узагальнюючи дані дослідження динаміки процесу торцевого фрезерування, можна стверджувати, що при певних співвідношеннях параметрів технологічного процесу обов'язково виникає явище резонансу. Тому при визначенні режиму різання необхідно враховувати такі можливі колізії і змінювати частоту обертання фрези, а відповідно і швидкість різання для запобігання небажаного збільшення коливань, що може призвести навіть до руйнування елементів. Крім того, при визначенні оптимальних режимів різання при високошвидкісному торцевому фрезерування необхідно в традиційну систему обмежень вводити запропоновані обмеження щодо швидкості різання або перевіряти отримані рішення на можливість виникнення резонансу за допомогою розроблених прикладних програм.

Волкогон В.М., Горбань В.Ф., Федоран Ю.О.,
Аврамчук С.К., Кравчук А.В. Інститут проблем матеріалознавства
ім. І.М. Францевича НАН України, Київ, Україна

ФОРМУВАННЯ МІКРОМЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПНТМ ПРИ СПІКАННІ НАНОСТРУКТУРНИХ ПОРОШКІВ ВЮРЦИТНОГО НІТРИДУ БОРУ

Особливості ущільнення та фазових перетворень і формування структури при спіканні порошків вюрцитного нітриду бору в різ-

ному структурному стані при високих тисках і температурах свідчать про те, що вихідна щільність порошкової заготовки, структурні відмінності порошків і технологічні параметри процесу спікання суттєво впливають на формування фізико-механічних характеристик полікристалічного матеріалу. Якщо у випадку спікання попередньо деформованих прокаткою з різною величиною навантаження серійних порошків $BN_в$ спостерігається зниження температурного порогу фазового перетворення $BN_в \rightarrow BN_{сф}$ (активування процесу спікання), обумовленого збільшенням їх поверхні при прокатці і зменшенням, внаслідок цього, ефективної довжини ковзання в базисній площині таких часток, то для нанодисперсних вихідних порошків, незважаючи на значну величину їх поверхні, картина спікання має дещо відмінний характер. Насамперед це стосується величини густини отримуваних полікристалів консолідованих порошків і, пов'язаних з цим, формуванням їх твердості, як показника завершеності процесу спікання. Характерною для розгляду цього є температура спікання $T = 1600$ °С, наведена в табл. 1.

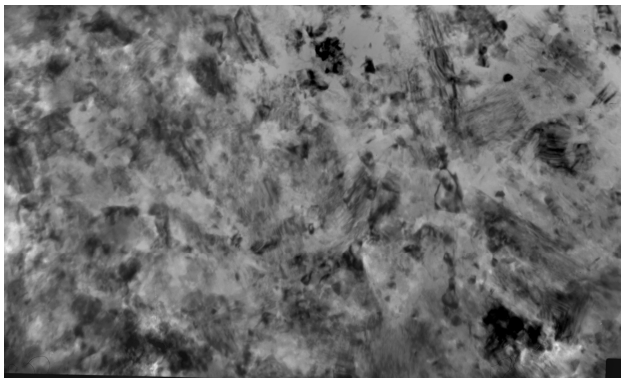
Таблиця 1 – Фазовий склад та мікромеханічні характеристики нанокристалічного ПНТМ на основі нітриду бору

Параметри спікання			Фазовий склад, %				Щільність ρ, г/см^3	$H_{1т}$, ГПа	E, ГПа
p, ГПа	T, °С	τ, с	$BN_в$	$BN_{сф}$	$BN_{Гст}$	$BN_{Гзв}$			
7,7	1600	5	95	-	-	5	2,86	14	217
	1600	15	95–96	-	4–5	-	3,0	33	361
	1600	25	93–95	5–7	-	-	3,2	28–35	250–294
	1600	45	80	20	-	-	3,0	37–48	306–324
	1600	60	75	25	-	-	3,02	28–52	227–357

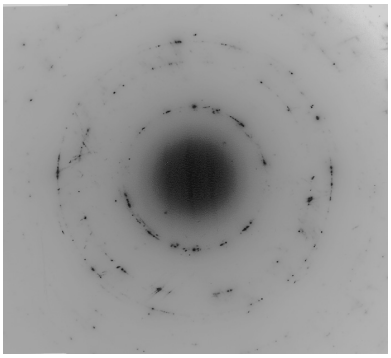
Дані характеристик мікроміцності вказують на те, що утворення сфалеритної фази сприяє їх підвищенню. На рис. 1 приведена мікроструктура матеріалу з твердістю до 52 ГПа.

За результатами дослідження зміни концентрації дефектів упакування у вюрцитної і сфалеритної фазах, у міру збільшення вмісту останньої, можна стверджувати, що максимальний вміст гетерофазних зерен у матеріалі на основі $BN_в$ може бути реалізований при вмісті $BN_{сф}$, який не перевищує ~ 40 %. У цьому випадку отриму-

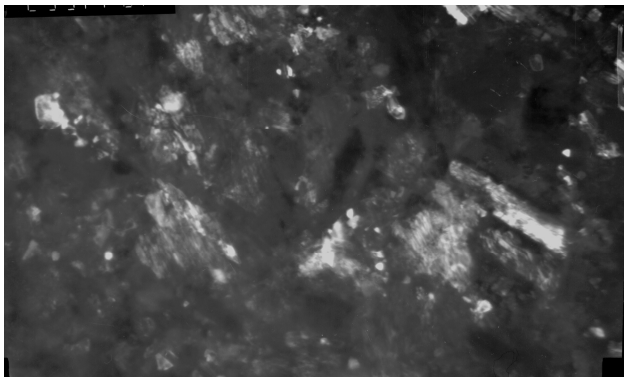
ється максимальна концентрація дефектів упакування в обох фазах. Представляється, що ці дані в сполученні з певними мікроміцностними характеристиками зразків матеріалу різного фазового складу, а також результатами наших досліджень про присутність у матеріалі такого складу cBN- фази у двох структурних станах (у здвійникованому виді в обсязі гетерофазних зерен і у формі монофазних зроблених зерен) можуть служити безпосереднім підтвердженням визначального впливу гетерофазних зерен і їх субструктури на мікромеханічні властивості матеріалу.



а



б



в

Рисунок 1 – Типова мікроструктура матеріалу на основі порошку $BN_в$,одержаного без добавок води
а – світлопольне зображення; *б* – мікроелектронограма; *в* – темнопольне зображення в фрагментах рядів *hkl*

Ступінь розвитку фазового перетворення $BN_в \rightarrow BN_{сф}$ впливає на структурний стан матеріалів. Це полягає в тому, що при вмісті в матеріалі $BN_{сф} \sim 40–60$ % ця фаза перебуває у двох структурних формах – монофазних одноорієнтованих зерен з добре сформованими границями й здвійникованою формою у вигляді прошарків пластинчастої форми в зернах, що містять $BN_в$ з базисними дефектами упаковки та багатошаровими політипами. Ця особливість спричиняє наявність у матеріалі міжфазних границь, у тому числі й композиційного типу, обумовлених гетерофазним складом зерен і мікропластинчатою субструктурою.

На основі дослідження матеріалу, спеченого з нанопорошків вюрцитного нітриду бору показано, що підвищення характеристик міцності матеріалу – мікротвердісті та модуля пружності (тобто його зміцнення) визначається наявністю сфалеритної фази, що перебуває в здвійникованому стані в складі гетерофазних зерен мікродоменної будови. Встановлено, що оптимальних характеристик нанокристалічного ПНТМ на основі нанорозмірних порошків $BN_в$ можна досягнути при їх спіканні в діапазоні температур T = 1500–1600 °С. Нанорозмірні порошки $BN_в$, потребують обов'язкової обробки багаторазовою прокаткою, яка забезпечує отримання порошкових заготовок високої щільності, що сприяє підвищенню кінцевої густини полікристалів при спіканні та їх фізико-механічних характеристик. Твердість полікристалів спечених із нанопорошків $BN_в$ у вихідному стані та після їх прокатки складає HV = 37–48 ГПа і HV = 43–52 ГПа, а модуль пружності E = 324-357 ГПа і E = 753-823 ГПа, відповідно.

Горанский Г.Г. Научно-технологический
парк БНТУ "Политехник",
Жорник В.И. Объединенный институт
машиностроения НАН Беларуси,
Поболь А.И. Белорусский национальный
технический университет, Минск, Беларусь

ИМПУЛЬСНОЕ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЕ СПЕКАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ ОТХОДОВ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

Ряд твердосплавных инструментов целесообразно изготавливать импульсным электроконтактным спеканием (ИЭС) порошков. ИЭС отличается минимальным временем термического воздействия на материал (~ 10^{-3} с), вследствие чего возможно получение ультрадисперсной структуры спека.

В работе в качестве компонентов порошковой композиции использованы: порошок твердого сплава, диспергированный в аттриторе из отходов (стружка) металлургического производства; синтезированный в аттриторе порошковый сплав на основе железа системы Fe-Ni-Cr-B-Si-Co-Mo с аморфными и наноразмерными фазовыми включениями (обозначение ВГ).

Средний размер карбидных зерен составлял 2–5 мкм и практически не менялся в процессе изготовления композиции. Гранулометрический состав конгломератов частиц твердого сплава WC-Co (40 мкм). Введение в шихту твердого сплава модифицирующей добавки ВГ – порошкового сплава на основе железа системы Fe-Ni-Cr-B-Si-Co-Mo с аморфными и наноразмерными фазовыми включениями – осуществлено с целью повышения формуемости композиции, снижения термобарических параметров ее компактирования. Содержание ВГ в композиции варьировалось для разных образцов от 2 до 15 вес. %.

Совместный сухой помол сопровождался измельчением частиц добавки ВГ до 2–5 мкм и плакированием ими поверхности конгломератов частиц твердого сплава (средний размер последних при этом практически не менялся). Степень плакирования зависела от количества добавки ВГ и составляла в пределе до 38 % поверхности конгломератов. Толщина слоя – 2–4 мкм. Разделения частиц со временем не происходило. Содержание аморфной фазы в порошковой композиции достигало 2,2–13,6%, содержание наноструктурированных (40–80 нм) интерметаллидных соединений – до 2,1–12,3 %.

Изготовление экспериментальных образцов деталей (пуансоны-толкатели, направляющие втулки для волочильного производства) ИЭС осуществлялось на установке УЭКС-2 с модернизированным блоком управления РКС-801М. Концентрация модифицирующей добавки ВГ составляла 5 и 10 мас.%.

Для первого состава композита оптимальный режим спекания: $I_н$ = 7,5 кА; p = 40 МПа; $t_н$ = 10 с; время импульсов и пауз $t_{им,пауз}$ = 0,02с; общее время цикла $t_ц$ = 60 с, для второго состава композита оптимальный режим спекания: $I_н$ = 6,2 кА; p = 35 МПа; $t_н$ = 10 с; время импульсов и пауз $t_{им, пауз}$ = 0,02 с; общее время цикла $t_ц$ = 60 с.

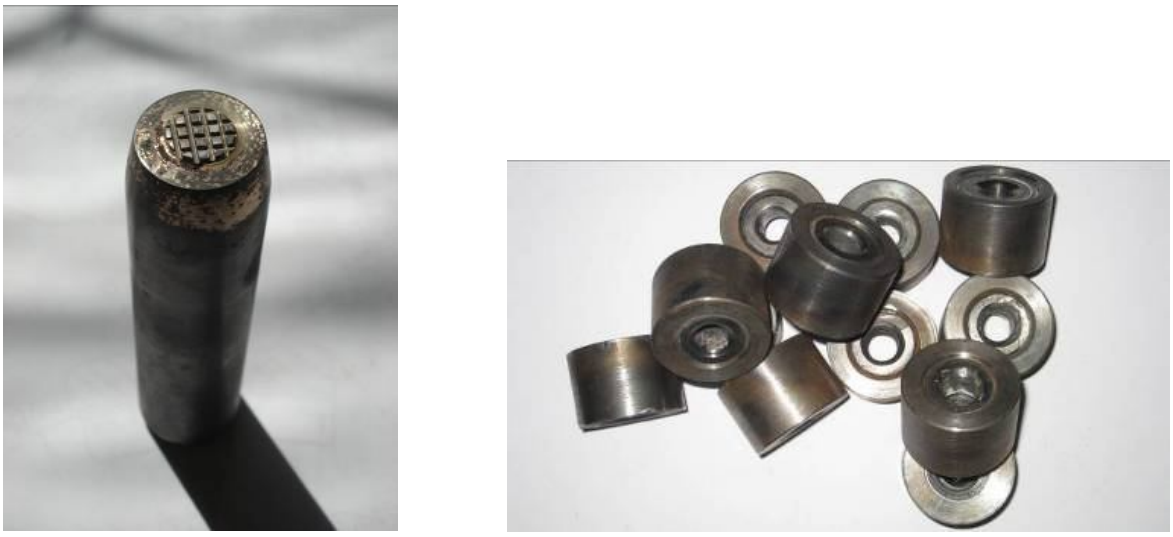
Пористость образцов после ЭИС на нетравленых шлифах распределена относительно равномерно по высоте и радиальному сечению и составляла около 6–8 %. Средний размер пор – 5–7 мкм, отдельные поры достигали максимальных размеров в 56 мкм.

Травление показало типичную структуру твердого сплава (карбидные включения и кобальтовая связка). Размеры отдельных карбидных включений достигали 30-35 мкм при средней их величине в пределах 6–8 мкм, что близко к размерам включений WC, полученных после диспергирования. Размеры же зерен кобальтовой связки

составляли порядка 2 мкм, будучи обусловленными термосиловыми и временными параметрами электроимпульсного спекания. Это существенно ниже, чем при вакуумном спекании твердых сплавов, когда аналогичные размеры составили 6–8 мкм.

Распределение микротвердости в образцах твердого сплава после ЭИС: по высоте – характеризуется значениями 2000–1200 HV с наибольшей твердостью в верхней и нижней частях образцов, по диаметру – характеризуется значениями 1600–1200 HV с наибольшей твердостью по краям образцов.

Плотность отдельных образцов спеченного материала достигала 14,8 г/см^3, твердость 84,5 HRA. Общий вид деталей приведен на рис. 1, механические и эксплуатационные свойства твердосплавной композиции после ИЭС – в табл. 1.



а *б*

Рисунок 1 – Пуансон-толкатель (*а*) и направляющие втулки (*б*) волочильного производства, полученные методом ИЭС

Таблица 1 – Механические и эксплуатационные свойства твердосплавной композиции после ИЭС

Содержание добавки ВГ, %	HRA	$\sigma_{изг}$, МПа	$\sigma_{сж}$, МПа	$a_к$, кДж/м^2	Стойкость, тонн проволоки
Эталон, сталь 6ХВ2С	-	-	-	-	940
-	86	1312	4286	23,9	1580
2	81	1281	4272	25,4	2300
6	82	1340	4254	26,1	2590
10	85	1396	4235	16,9	2920

Горанский Г.Г. РИУП "Научно-технологический
парк БНТУ "Политехник",
Кункевич Д.П., Поболь А.И. Белорусский национальный
технический университет, Минск, Беларусь

О ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО СПЕКАНИЯ ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ WC

Целью работы является создание адекватной численной модели процесса импульсного электроконтактного спекания твердосплавной композиции, раскрывающей закономерности консолидации дисперсного материала и позволяющей, изменяя циклограммы тока и давления, управлять такими параметрами композита, как его плотность, пористость, структура, напряженно-деформированное состояние и, в конечном итоге, его эксплуатационными характеристиками. Для реализации численной модели использован метод конечно-элементного моделирования. Технология импульсного электроконтактного спекания является суперпозицией целого ряда электрических, термических и деформационных процессов. Последние описываются на основании уравнений механики дисперсных сред и, в частности, в рамках теории дискретного порошкового тела. Поэтому перед моделированием нового объекта, следует верифицировать модель по имеющимся экспериментальным данным. В работе принято ограничение плоской постановкой задачи, а за геометрию модели принят прямоугольный массив прессуемого порошка, ограниченный стенками пресс-формы по бокам и пуансонами сверху и снизу (рис. 1).

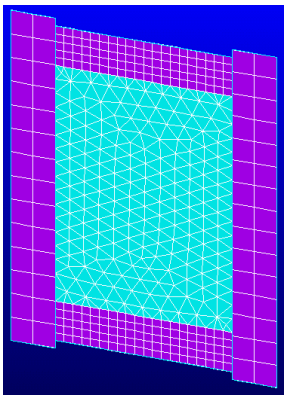
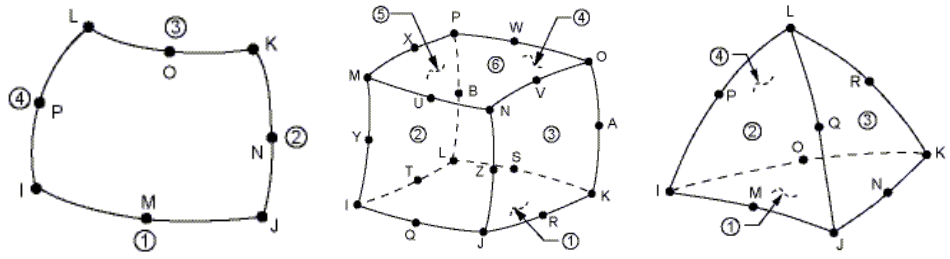


Рисунок 1 – Внешний вид геометрической модели

Важный элемент расчетной модели – конечно-элементная аппроксимация. Для решения поставленной задачи использовался элемент ***PLANE223***. Элемент плоский, включает 8 узлов (рис. 2, *а*). Для каждого узла допустимы четыре степени свободы: два перемещения вдоль взаимно перпендикулярных направлений, UX, UY, одна температурная степень свободы, TEMP, и одна электрическая, VOLT. Элемент позволяет выполнять анализ изменения электропроводности объекта в процессе уплотнения, определять характер распределения

температур в материале в процессе спекания, а также анализировать структуру (деформацию) частиц порошка. Допускается решение комплексных задач, в частности оценка сразу всех указанных выше факторов (электропроводность, температура, деформация).



а *б* *в*

Рисунок 2 – Конечные элементы

Предусмотрен треугольный вариант данного элемента, в котором часть узлов сливаются. Для моделирования процессов в трехмерной постановке можно использовать узловой элемент ***Solid226*** с 20 узлами (рис. 2, *б*). Если же ресурсы вычислительной системы ограничены, применяется элемент ***Solid227*** (рис. 2, *в*). Очевидно, что точность аппроксимации при этом теряется.

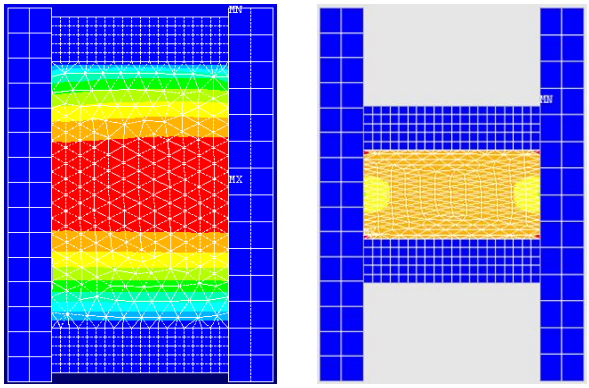
Важнейшая часть расчетной модели – модель материала, т.е. совокупность его свойств, выраженных численно в виде расчетных или экспериментальных зависимостей, а также известных физических констант и коэффициентов. Исходя из специфики моделируемого процесса, модель материала должна учитывать целый ряд механических, теплофизических и электрических свойств.

Механические свойства: плотность, модуль Юнга, коэффициент Пуассона, модуль сдвига. Эти параметры описывают поведение материала (металлический порошок) в пределах упругости. При прессовании порошок предварительно уплотняется без деформации частиц, затем идут упругие деформаций, и, наконец, пластические деформации непосредственно частиц металла. Для описания поведения сыпучих сред подходит модель непрерывной пластичной среды. Основной параметр этой модели – критерий текучести, определяемый как функция главных напряжений, возникающих в среде. В системах конечно-элементного моделирования (в пакете ANSYS) можно использовать модель Друкера-Прагера, которая в сочетании с моделями «металлического» поведения позволяет получить адекватные результаты.

Теплофизические свойства: удельная теплоемкость, коэффициенты теплопроводности, термического расширения и термической

деформации. Электрические свойства: удельное электросопротевление материала.

Используя в качестве вводимых данных свойства твердого сплава ВК6, проведено пробное численное моделирование процесса импульсного электроконтактного спекания. Результаты моделирования показаны на рисунке 3. Наибольшее температурное воздействие испытывают внутренние слои порошка (рис. 3, *а*). Зоны, прилегающие непосредственно к пуансонам нагреваются меньше. Эпюра деформаций (рис. 3, *б*) демонстрирует относительную равномерность их распределения. Меньшие значения деформаций в серединах боковых зон обусловлены силами внутреннего и граничного трения порошка. Трением о боковые формовочные поверхности и пуансоны можно объяснить незначительные зоны высоких деформаций в углах формы.



а *б*

Рисунок 3 – Эпюры результатов численного моделирования:
а – температурные поля;
б – деформации

Григор'єва Н.С. Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна

МОДУЛЬНЕ СКЛАДАЛЬНЕ МАШИНОБУДІВНЕ ВИРОБНИЦТВО

При високій актуальності та важливості цього науково-прикладного напрямку наукова проблема є ще недостатньо дослідженою і вимагає в першу чергу розробки основ модульного складального виробництва, з використан-ням яких можна одержати ітераційно-рекурентні методики проектування технологічних модульних складальних процесів і модульного переналагод-жуваного обладнання та оснащення. Тому розвиток модульного складального виробництва підвищує ефективність, якість та конкурентоспроможність виробів, скорочує технічну підготовку і є важливим для національної економіки України.

Причини відсутності поступу в розвитку модульного складального виробництва криються в неправильному підході до розробки проблеми, не застосуванні нових концепцій, не вирішеності низки питань, що суттєво гальмують їх широке виробниче впровадження, не дивлячись на значні потенційні переваги. Одним з напрямків підвищення ефективності модульного складального виробництва є розробка ефективних технологічних модульних складальних процесів і модульного переналагоджуваного складального обладнання з оснащенням. До першочергових технологічних завдань модульного складального виробництва відноситься розробка його науково-технологічних основ, на базі яких формується методологія побудови технологічних і конструкційних модулів, проектування модульних технологічних процесів гнучкого складання виробів і модульного переналагоджуваного складального обладнання з оснащенням.

Технологічне забезпечення виробів на модульному рівні включає формування модулів поверхонь, деталей та їх спряжень. В склад технологічного забезпечення входять модулі спряження, модулі технологічного процесу складання, технологічних баз, технологічного обладнання, інструментального налагодження, пристроїв. Таке представлення виробу сукупністю модулів дозволило створити елементну базу технологічного забезпечення на модульному рівні і за її допомогою використати системний метод при впровадженні модульного принципу в складальне виробництво.

Нова концепція модульного складання полягає в суміщеному застосуванні модульності, автоматизації та гнучкості, що передбачає одночасне формування технологічних і відповідних їм конструкційних складальних модулів, які забезпечують тісний взаємозв’язок між різновидами виробів, складальною технологією, переналагоджуваним обладнанням і оснащенням з повним використанням цих можливостей. Головними підходами при цьому є розробка та використання елементів *CALS-technologies,* переналагоджуваності, адаптивності, формування якості та конкурентоспроможності, уніфікованості технологічно-конструкційних рішень.

Методика розробки модульних технологічних процесів модульного складання виробів складається з ряду етапів: аналізу вхідних даних; формуванні груп автоматично складаних деталей, вузлів, виробів за їх конструкційно-технологічними ознаками з відпрацюванням технологічності конструкції за вимогами модульного складання; проведення розмірного аналізу конструкції складаного об’єкта; встанов-

лення методів забезпечення заданої точності; виявлення необхідних складальних основних і допоміжних рухів, дій для об'єктів групи; виборі способу модульного складання; визначення діапазону переналагодження; встановленні способів модульного складання та переналагодження; виборі технологічних баз і схем базування для групи складаних об'єктів; розробленні технологічної схеми модульного гнучкого складання для групи з виділенням розчленованих складальних робіт, які характеризуються закінченістю, послідовністю та наближено однаковим часом складання; виявленні раціональної структури і компоновки окремих технологічних модулів; наближеному паралельному встановленні реалізуючого конструкційного модуля; уточненні схеми та структури переналагодження; виборі режимів модульного складання виробів; при необхідності побудові модульних комплектів, комплексів і в цілому технологічного модульного процесу складання; оформленні технологічної документації. У випадку, коли вже є номенклатура розроблених і відпрацьованих технологічних модулів, методика розробки модульних процесів складання виробів значно спрощується і зводиться до простого їх підбору за необхідними параметрами та стикуванням. З використанням розробленої методики проектування модульних процесів складання було одержано ряд конструкцій переналагоджуваного модульного обладнання та оснащення, які від відомих відрізняються новизною та новим додатнім ефектом і захищені патентами.

З врахуванням взаємозв'язків і закономірностей між складальними елементами операції запропонований новий підхід до формування типових структур технологічних модулів і модульних технологічних процесів складання виробів. Одержані типові структури складальних модулів і технологічних модульних процесів модульного складання виробів, котрі оцінюються оперативним часом та продуктивністю. Сформовано 51 типову структуру та розроблена методика їх вибору, а також 18 типових структур переналагодження.

В результаті проведених комплексних досліджень модульного складального виробництва реалізований принципово новий напрямок в технології машинобудування – модульне складання виробів, яке забезпечує тісний взаємозв'язок між технологією, обладнанням і оснащенням шляхом формування технологічних модульних процесів з типових складальних модулів обмеженої номенклатури, що забезпечує повне використання можливостей технологічних засобів в кожному модульному складальному процесі та значно підвищує його

ефективність. Таке виробництво можна застосовувати і в інших галузях промисловості як для виготовлення деталей, так і їх складання.

Література

1. Григор'єва Н.С. Науково-технологічні основи гнучкого модульного автоматичного складання виробів. – Луцьк: Надстир'я, 2008. – 520 с.

Гуцаленко Ю.Г. НТУ «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ИЗНОСА КРУГОВ С ПОВЫШЕНИЕМ СКОРОСТИ АЛМАЗНО-ИСКРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ

Практические результаты алмазно-искрового шлифования (АИШ) показывают, что в исследуемом диапазоне изменения его скорости $V_{кр}$, характерном для круглого наружного алмазного шлифования, показательным для изменения расхода алмазов q_p от скорости круга $V_{кр}$ и поперечной подачи S_n является увеличение q_p с ростом $V_{кр}$ и S_n, причём интенсивность роста q_p тем выше, чем выше S_n. При этом увеличение $V_{кр}$ приводит к изменению характера влияния S_n на q_p: при меньшей скорости резания q_p меньше при большей глубине шлифования (эффект глубинной обработки с более равномерным нагружением большего числа одновременно работающих алмазных зёрен), а при увеличении скорости резания вектор изменения q_p совпадает с вектором изменения и $V_{кр}$, и S_n. В работе [1] эти выводы основываются на экспериментальных данных обработки твердого сплава ВК6, но их подтверждает исследовательская практика АИШ и других материалов, когда также наблюдается повышенный износ круга при повышении его скорости. В табл. 1 приведены результаты исследований АИШ теплостойкой наплавки 3Х2В8Ф: режимные тренды аналогичны [1], хотя и несколько мягче выражены. Неуменьшение q_p с ростом $V_{кр}$ является характерным общим для АИШ ВК6 [1] и 3Х2В8Ф. Для обработки наплавки (табл. 1) это выражается в практически неизменном уровне q_p для $V_{кр}$=25 м/с и $V_{кр}$=30 м/с с ростом при $V_{кр}$=35 м/с, причём уменьшающемся по относительным приращениям q_p с возрастанием S_n.

Таблица 1 – АИШ теплостойкой наплавки 3Х2В8Ф со скоростью заготовки $V_{заг}$ = 40 м/мин и продольной подачей $S_{пр}$ = 0,8 м/мин

Алмазный круг	Скорость резания $V_{кр}$, м/с	Попер.подача $S_{п}$, мм/дв.ход	Производительность Q мм^3/мин	Расход алмазов $q_{р}$, мг/г
IAI 200x10x5 AC6 160/125 4 M2-01	25	0,004	640	1,8
		0,008	1280	2,3
		0,012	1920	2,9
IAI 250x20x5 AC6 160/125 4 M2-01	30	0,004	640	1,8
		0,008	1280	2,4
		0,012	1920	2,9
IAI 300x20x5 AC6 160/125 4 M2-01	35	0,004	640	2,3
		0,008	1280	2,8
		0,012	1920	3,3

При сопоставлении минимальных в условиях проведения представленных экспериментов уровней q_p, относительных приращений с ростом $V_{кр}$ и максимальных уровней q_p при обработке наплавки (S_n = 0,012 мм/дв. ход.) и твёрдого сплава (S_n = 0,01мм/дв. ход.) соответственно наблюдаем 2,9 и 2,4 мг/г; 14 и 100 %; 3,3 и 4,8 мг/г (табл. 1 и [1]). При этом режим обработки наплавки заметно интенсивней режима обработки твёрдого сплава (по глубине на 20 %, по продольной подаче на 60 %, по номинальной (расчётной) производительности – в 3,8 раза). В то же время твёрдость ВК6 (не менее 88,5 HRA) значительно превосходит твёрдость 3Х2В8Ф (44–50 HRC или, в приведенной оценке чисел твёрдости, HRA 72,5–76,0), в чём, очевидно, и заключено основное объяснение полученных результатов, более заметно поддерживающих тренд повышенного износа круга с повышением его скорости при АИШ твердого сплава.

К тому же Fe, составляющий металлическую основу стали 3Х2В8Ф, в контексте оценки [2] способности испытывающих ударную нагрузку твердых металлов к взрыву за счёт квантовых процессов преобразования кинетической энергии в кристаллической решетке, несколько уступает W, являющемуся карбидообразующим металлом основы сплава ВК6, т. е. требует более скоростного (примерно на 10 %) разгона перед торможением о преграду для взрыва, минуя жидкое состояние, аналогично взрывному испарению металла связки шлифовального круга с образованием эрозионного следа (кратера) в пятне канала электрического разряда с достаточно большими характеристиками мощности и, соответственно, скорости волнового возбуждения, внутренней энергии и давления инициируемой им плазмы.

Для предупреждения интенсификации износа кругов с повышением скорости алмазно-искрового шлифования следует одновременно с таким повышением регулировать (понижать) вольтамперную характеристику электроразрядного разрешения зоны АИШ.

Литература

1. Гуцаленко Ю.Г. Влияние скорости резания на расход алмазов при круглом наружном алмазно-искровом шлифовании твердого сплава ВК 6 // Инженерия поверхности и реновация изделий: Мат. 13-й Международ. наук.-техн. конф., 03–07 июня 2013 г., г. Ялта. – К.: АТМ Украины, 2013. – С. 70–74.

2. Гуцаленко Ю.Г. Особенности электроэрозионного разрушения металлов при высокоскоростном алмазно-искровом шлифовании // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Матер. Міжнарод. наук.-практ. конф. 15–16 трав. 2003 р. – Харків: НТУ "ХПІ", 2003. – С. 17–26.

Гуцаленко Ю. Г., Севидова Е.К. НТУ «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина

АЛМАЗНО-ИСКРОВОЕ ШЛИФОВАНИЕ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Современную актуализацию внимания к методу алмазно-искрового шлифования (АИШ) [1], позволяющего надежно и высокопроизводительно обеспечивать технологическое наследование как структур отпуска, так и структур вторичной закалки, привлекает гипотеза о потенциальной возможности реализации нового подхода к его совершенствованию путем смещения производящего воздействия в область энергий разрушения металлических связей при высокоскоростной обработке, что экспериментально поддерживается тенденцией повышенного темпа обновления режущего рельефа шлифовальных кругов с повышением скорости резания в ее обычном диапазоне в условиях действия электрических разрядов [2]. Этот феномен АИШ в управлении качеством обработки привлекателен, например, для использования в финишных постпроцессах термофрикционной обработки с образованием в приповерхно-

стном слое стали, визуализируемом как белый, измененной микроструктуры повышенной твердости [3].

Метод АИШ предоставляет также возможность улучшения структуры и повышения плотности токопроводных нанокерамик искрово-плазменного спекания. На такую возможность, согласующуюся с теоретическими представлениями [4] об участии электрических разрядов в подавления пористости токопроводных керамических консолидатов указывает опыт [5].

Решение задач приспосабливаемости универсальных станков (инструментов) в шлифовальном станкостроении и на механообрабатывающих предприятиях (в инструментальном производстве шлифовальных кругов) к их использованию в технологиях АИШ предлагается обеспечивать в результате применения специально разработанных диэлектрических покрытий на прочную основу базовых деталей, конструктивно требующих электроизоляции [1].

Повышенная износостойкость предлагаемых электроизоляционных композиций на основе семейства эпоксидно-диановых смол [6], обеспечивается использованием в качестве наполнителя диэлектрических порошков триоксида алюминия Al_2O_3 или диоксида кремния SiO_2. Инверсия задачи электроизоляции металлического корпуса шлифовального круга от стальной планшайбы шлифовального станка в сторону инновационного решения инструмента может быть решена также с использованием специальных диэлектрических покрытий, например, аналогично [7], электролитическим оксидированием материала корпуса в ускоренном микродуговом режиме.

Разработанные решения повышают контактную жесткость посадки инструмента на планшайбу, а с ней и потенциальную точность обработки по сравнению с функционально альтернативным использованием в конвенциональной практике посадочных текстолитовых втулок и прокладок.

В машиностроительной промышленности разрабатываемые конструктивные решения расширения технологических возможностей универсального станочного оборудования и алмазно-абразивных инструментов предпочтительно использовать на предприятиях-производителях шлифовальных станков и инструментов, соответствующим расширением модельного ряда выпускаемого оборудования и номенклатуры переделов инструментального производства, чтобы избегать модернизационных рисков вмешательства предприятиями-

потребителями в формообразующую точность шлифовальных станков, обеспеченную в станкостроительной промышленности.

Литература

1. Беззубенко Н.К. Повышение эффективности алмазного шлифования путем введения в зону обработки дополнительной энергии в форме электрических разрядов: дис.... д-ра техн. наук: 05.03.01 – Процессы механической обработки, станки и инструмент. – Харьков, 1996. – 468с.

2. Гуцаленко Ю.Г. Влияние скорости резания на расход алмазов при круглом наружном алмазно-искровом шлифовании твердого сплава ВК 6 // Инженерия поверхности и реновация изделий: Мат. 13-й Международ. наук.-техн. конф., 03–07 июня 2013 г., г. Ялта. – К.: АТМ Украины, 2013. – С. 70–74.

3. Гуцаленко Ю.Г., Погребной Н.А., Волков О.А. Поддержка алмазно-искровым шлифованием упрочнения сталей термофрикционной обработкой // Инженерия поверхности и реновация изделий: Мат. 12-й Международ. наук.-техн. конф., 04–08 июня 2012 г., г. Ялта. – К.: АТМ Украины, 2012. – С. 83–85.

4. Гуцаленко Ю.Г. Применение закона Пашена для определения давления горячего прессования при электроконсолидации наноструктурной тугоплавкой керамики // Инженерия поверхности и реновация изделий: Мат. 13-й Международ. науч.-техн. конф., 03–07 июня 2013 г., г. Ялта. – К.: АТМ Украины, 2013. – С. 67–70.

5. Стрельчук Р.М. Визначення особливостей та раціональних умов алмазно-іскрового шліфування твердих сплавів з нанорозмірних зерен монокарбіду вольфраму: Дис. … канд. техн. наук: 05.03.01 – Процеси механічної обробки, верстати та інструменти / Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». – Харків, 2011. – 193 с.

6. Гуцаленко Ю.Г., Севидова Е.К., Руднев А.В. Современные подходы к универсализации станкоинструментальных решений для осуществления алмазно-искрового шлифования // Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: Мат. 13-го Международ. науч.-техн. семинара, 18-22 февр. 2013 г., г. Свалява. – К.: АТМ Украины, 2013. – С. 38–40.

7. Спосіб формування біоінертного покриття на імплантатах із титану та його сплавів: патент на корисну модель 58763 Україна: МПК (2011.01) C 25 D 11/00 / О.К. Севидова, І.І. Степанова, А.А. Симонова, І.Д. Рой. – №u201011436, заявл. 27.09.10; опубл. 26.04.11, Бюл. № 8.

Добровольская Л.Н. Луцкий национальный
технический университет, Луцк, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ ОКОЛО НЕПРЯМОЛИНЕЙНЫХ ПО ТОЛЩИНЕ ПЛАСТИН КОНТУРОВ СКВОЗНЫХ ТРЕЩИН

Проведено обобщение известного метода граничной интерполяции на случай приближенного определения коэффициентов интенсивности напряжений около непрямолинейных по толщине контуров сквозных трещин в пластинах. На основании этого получены приближенные формулы для вычисления коэффициентов интенсивности напряжений в случаях растяжения пластин со сквозными трещинами, в частности, бесконечной пластины с прямолинейной трещиной, полосы с центральной трещиной, полосы с боковой трещиной, пластинок с прямолинейными трещинами, длина которых намного больше от величины изменения контура трещины от прямолинейного по толщине пластины. Точность из некоторых полученных результатов подтверждена известными в литературе экспериментальными данными.

Определением остаточной прочности и остаточной долговечности элементов конструкций с трещинами занимается такая наука, как механика разрушения материалов [1–4]. В частности, когда элементы конструкций изготовлены из хрупких или квазихрупкого материалов, то для установления предельно равновесного состояния таких элементов с трещинами применяют линейную механику разрушения [1–4], определяющими параметрами которой являются коэффициенты интенсивности напряжений. Рассмотрим случай пластины толщины с прямолинейной внутренней сквозной трещиной поверхностных длин, контуры которой по толщине пластины изменяются как, например, на рис. 1

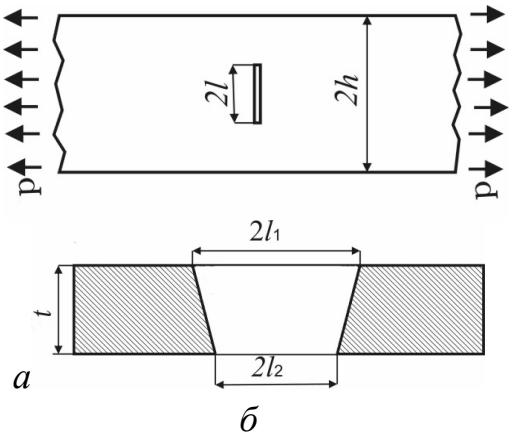


Рисунок 1 – Схемы нагрузки (*а*) и геометрии поперечного сечения (*б*) полосы с центральной трещиной

Считается, что геометрия контура пластины характеризуется параметрами, пластина нагружена внешними

усилиями, прикладные далеко от контура трещины и создают в ней симметричный относительно плоскости трещины напряженно-деформированное состояние, а плоскости размещения трещины на случай отсутствия трещины однородные растягивающие напряжение. При этом получим случай бесконечной пластины с прямолинейной трещиной, который рассмотрен ранее в первой главе данной работы, тогда коэффициент интенсивности напряжений $K_I(x,y)$ для общего случая будет определяться приближенно

$$K_I(x,y)=\sigma\sqrt{\pi l_2}[\varepsilon(1-\alpha)+\alpha+\beta(1-\varepsilon)(\gamma-\alpha)]\Psi_2(\lambda_1,...\lambda n),\lambda_i=l_2a_i^{-1}\ , \quad (1)$$

где $\Psi_2(\lambda_1,...,\lambda_n)$ функция, определяющая $K_I(x,y)$ для случая $l_1 = l_2$ и может быть построена для многих конфигураций пластины на основе известного [6] метода предельного интерполяции. Для случая, когда пластина имеет форму полосы с центральной трещиной функция $\Psi_2(\lambda_1,...,\lambda_n) = \Psi_1(\lambda)$, $\lambda_i = \lambda$.

Далее исследуем определения $K_I(x,y$, для случа, когда пластина ослаблена боковой сквозной плоской трещиной поверхностных длин $l_1 = l_2$, контур которой по толщине пластины меняются. Аналогично предыдущему, считаем, что геометрия контура пластины характеризуется параметрами a_i ($a_i > l_1,l_2$; $a_i >> l_1 - l_2$; $i = 1,...,n$, пластина нагружена внешними усилиями, прикладные далеко от контура трещины и создают в ней симметричный относительно плоскости трещины напряженно деформированное состояние, а плоскости размещения трещины на случай отсутствия трещины однородные растягивая напряжение σ.

Тогда коэффициент $K_I(x,y)$ интенсивности напряжений у контура трещины будет определяться, аналогично предыдущему, так,

$$K_I(x,y)=\sigma\sqrt{\pi l_2}[\varepsilon(1-\alpha)+\alpha+\beta(1-\varepsilon)(\gamma-\alpha)]\Psi_2(\lambda_1,...\lambda n),\lambda_i=l_2a_i^{-1} \quad (2)$$

где функция $\Psi_2(\lambda_1,...,\lambda_n)$, определяющая $K_I(x,y)$ для случая $l_1 = l_2$ и может быть построена для многих конфигураций пластины на основе известного [6] метода предельного интерполяции. Для случая $l_1 = l_2$, когда пластина имеет форму полосы с боковой трещиной функция $\Psi_2(\lambda_1,...,\lambda_n) = \Psi_1(\lambda)$, $\lambda_i = \lambda$.

Таким образом, полученные здесь выражения $K_I(x,y)$ для коэффициента интенсивности напряжений у контура трещины могут быть использованы при решении задач замедленного разрушения тонкостенных элементов конструкций, механические и прочностные характеристики которых неоднородны по толщине.

Литература

1. Панасюк В. В. Основы механики разрушения / В.В. Панасюк, А.Е. Андрейкив, В.З. Партон. – К.: Наук. думка, 1988. – 488 с.

2. Андрейкив А.Е. Пространственные задачи теории трещин. – К: Наук. думка, 1982. – 348 с.

3. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения.– М.: Наука, 1974.– 640 с.

4. Божидарник В.В., Сулим Г.Т. Елементи теорії пластичності та міцності. − Львів: Світ, 1999. − Т. 1. − 528 с.

5. Ковчик С.Е., Морозов Е.М. Характеристики кратковременной трещиностойкости материалов и методы их определения. – К.: Наук. думка, 1988. – 436 с.

6. Application of brittle fracture 0f epoxy resin to experimental K-value evaluation / Y. Murakami, S. Harada, T Endo., a Y. Harad, Y. Yagi // J. Soc. Japan. – 1982. – 31**,** № 344. – С. 515–519.

Девин Л.Н., Осадчий А.А., Назарчук С.Н. Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины,
Гончар В. НТУ Украины «Киевский политехнический институт», Киев, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЕМПФИРУЮЩИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОКОМПОЗИТОВ АЛМАЗ-КАРБИД ВОЛЬФРАМА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ СПЕКАНИЯ

При создании новых композиционных материалов, особенно на стадии оптимизации их качества и отработки режимов спекания, важную роль играет оценка свойств получаемых образцов. Наиболее перспективными методами такой оценки являются неразрушающие методы контроля, такие как измерение твердости, модуля упругости, внутреннего трения. Полезную информацию о качестве спекания может дать измерение демпфирующих характеристик, например, декремента затухания колебаний, который является чувствительным к пористости и наличию дефектов на границах зерен. Особенно полезным этот метод может оказаться для композитов, состоящих из

наночастиц, так как они имеют большую площадь межзеренных границ, изучение которой оптическими методами затруднительно.

Композиционный материал на основе алмазных нанопорошков с высокой твердостью и трещиностойкостью перспективен для применения в качестве рабочих элементов инструмента при чистовой обработке широкого класса материалов. Поэтому повышение качества спекания алмазных нанопорошков для получения таких материалов является актуальной задачей [1].

Для исследования демпфирующих свойств на малогабаритных дисковых образцах в лаб. 18/1 ИСМ им. В.Н.Бакуля была использована установка на базе измерительной стойки прибора «Звук-107», состоящая из анализатора спектра СК4-59, широкополосного усилителя У3-32, согласующего усилителя, аналогово-цифрового преобразователя ADA 1406 и персонального компьютера [2]. Предварительную обработку экспериментальных данных проводили в программном пакете PowerGraph 3.3 Professional.

Образцы изготавливали из алмазного нанопорошока статического синтеза АСМ5 0,1/0. В порошок вводили вольфрамосодержащие добавки различного генезиса. Добавки I, II, были получены электроискровым методом из вольфрама в среде дистиллированной воды и этилового спирта. В случае I частицы содержали различные оксиды вольфрама, II – частицы представляли собой ядра из чистого вольфрама, окруженные карбидами вольфрама (W_2C и WC). Добавка III –порошок вольфрама (W). Металл из оксида восстанавливали отжигом приготовленных смесей в среде водорода

Результаты исследований демпфирующих характеристик нанокомпозитов «алмаз-карбид вольфрама» с различными добавками, полученных при разных температурах спекания, представлены на рис. 1.

Для нанокомпозитов с добавкой W, W_2C, WC (II) увеличение температуры спекания приводило к увеличению логарифмического декремента затухания колебаний δ. Для нанокомпозитов с добавкой оксидов вольфрама (I) и чистого вольфрама W (III) увеличение температуры спекания до значений 1840 и 1785 °С соответственно приводило к уменьшению δ, однако при дальнейшем росте температуры до 1900 °С логарифмический декремент затухания колебаний увеличивался. Минимальные значения демпфирующих характеристик наблюдали при значениях температуры спекания 1750–1850 °С. Низкие значения демпфирующих свойств в этом

диапазоне температур спекания свидетельствуют о том, что полученные образцы имели низкую пористость и минимальное количество дефектов, что очень важно для режущих материалов.

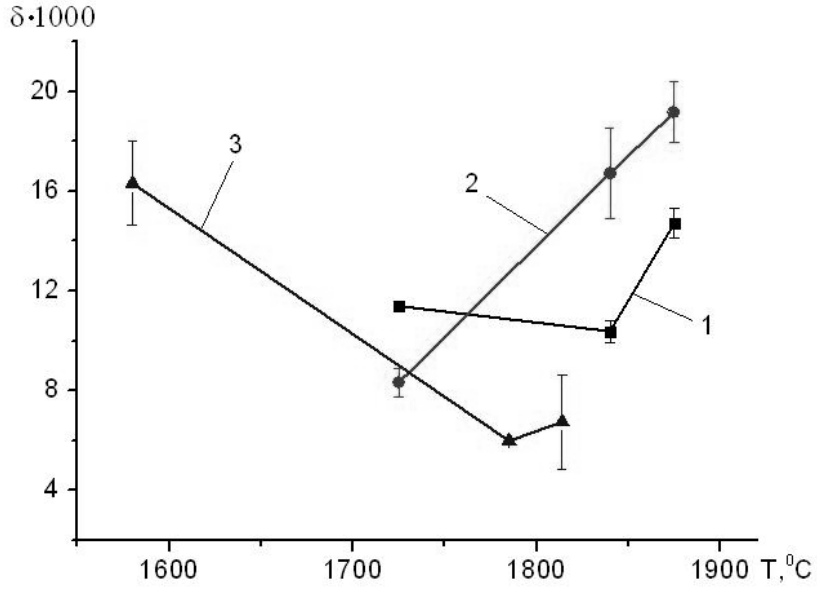


Рисунок 1 – Зависимости логарифмического декремента затухания колебаний δ от температуры спекания образцов:
1 – в качестве добавки использовали оксид вольфрама WO_2 (I); *2* – в качестве добавки использовали W, W_2C, WC (II); *3* – в качестве добавки использовали чистый вольфрам W (III)

В результате исследований установлен диапазон температур спекания (1750–1850 °С) которому соответствуют минимальные значения логарифмического декремента затухания колебаний в образцах, что свидетельствует о получении однородного нанокомпозита с минимальным количеством дефектов.

Литература

1. Контроль качества алмазного нанокомпозита с добавками вольфрама различного генезиса измерением демпфирующих характеристик / С. Н. Назарчук, Л. Н. Девин, О. А. Осадчий и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – Вып.15. – К.: ИСМ им.В.Н.Бакуля, НАН Украины, 2012. – С. 325–331.

2. Application of acoustic methods for the monitoring of products made of hard alloys / L.M. Devin, V.P. Bondarenko, O.A. Osadchy, T.V. Nimchenko // Materials Science. – 2009. – 45 (3). – P. 392–398.

Девин Л.Н., Стахнив Н.Е., Нечипоренко В.Н. Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины,
Ермаков М.С. НТУ Украины «Киевский политехнический институт», Киев, Украина

ВЛИЯНИЯ ИЗНОСА РЕЗЦА ИЗ КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ КНБ НА ВЕРОЯТНОСТЬ ЕГО РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ЧИСТОВОМ ТОЧЕНИИ

В Институте сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины разработан перспективный инструментальный материал – композит cNB/Si_3N_4, который возможно использовать при обработке закаленных сталей [1].

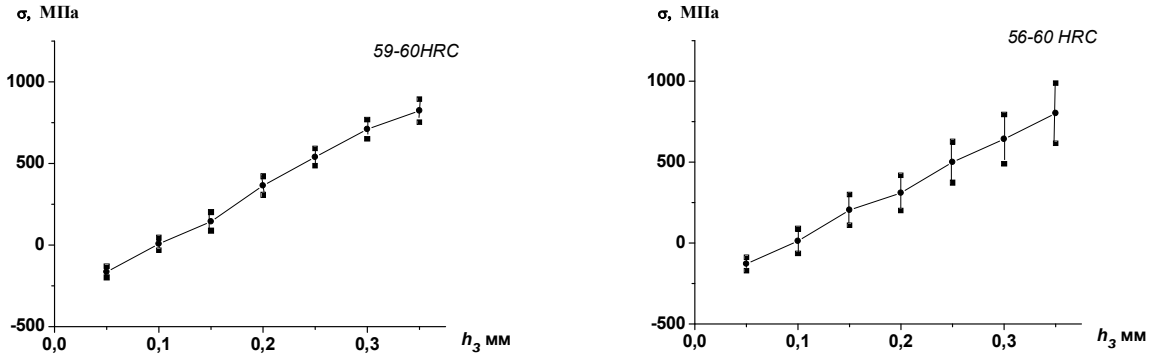
Работоспособность резцов из композита cBN/Si_3N_4 изучали на автоматизированном стенде [2] состоящем из высокоточного токарного станка с ЧПУ мод. ТПК 125ВМ и динамометра УДМ 100. Исследовали точение заготовок из закаленной стали ХВГ твердостью 56–60 и 59–60 HRC. Резец с механическим креплением круглой режущей пластины RNMN070300T из ПСТМ cBN/Si_3N_4 имел передний угол $\gamma = -10°$ и задний угол $\alpha = 10°$. Подача S, глубина резания t и скорость резания v были фиксированы: S = 0,25 мм/об, t = 0,1 мм, v = 2 м/с.

Образцы круглых режущих пластин диаметром 7 мм, толщиной 3,18 мм из композита cBN/Si_3N_4 были испытаны на прочность при одноосном растяжении по методике [3] в условиях динамического нагружения [4]. Скорость деформирования соответствовала оптимальной скорости резания для композита cBN/Si_3 и составляла примерно 2 м/с. Среднее значения предела прочности при растяжении и среднеквадратическое отклонение – 964,5 и 73,4 МПа соответственно, среднее значение предела прочности при сжатии и среднеквадратическое отклонение – 3497,2 и 311,4 МПа соответственно.

Сигналы от динамометра по трем каналам поступали на АЦП ADA-1406. Частота опроса составляла 85 кГц. Управление АЦП ADA-1406 и обработку информации проводили при помощи пакета Power Graph [5]. Это позволяло измерять значения составляющих силы резания $P_x(\tau)$, $P_y(\tau)$, $P_z(\tau)$, а также сформировать базы данных, которые в последующем использовали для расчетов.

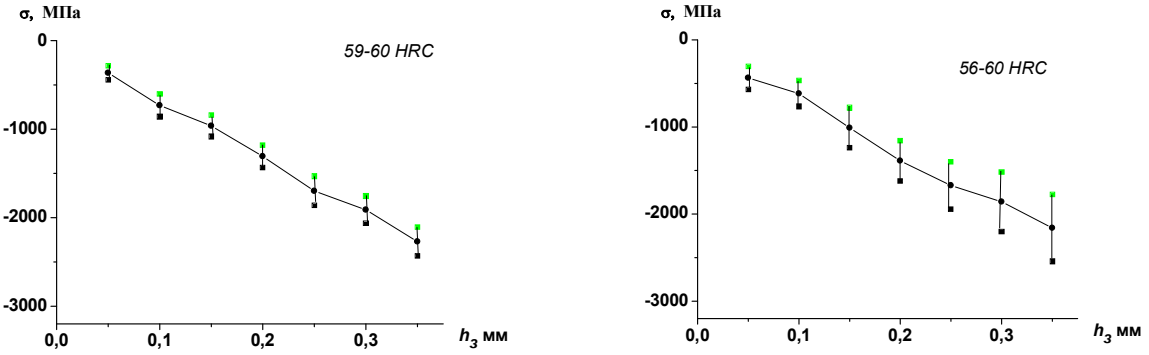
На основании полученных экспериментальных данных, по методике предложенной Т.Н. Лоладзе [6], были рассчитаны макси-

мальные (по модулю) напряжения растяжения и сжатия на передней и задней поверхностях резца. По мере износа резца эти напряжения изменялись. На рис. 1, 2 приведены зависимости максимальных напряжений и диапазонов их изменения на передней и задней поверхности резца от величины износа инструмента $h_з$ при обработке заготовок различной твердости.



а *б*

Рисунок 1 – Максимальные напряжения σ на передней поверхности резца при обработке заготовок с твердостью 59–60 HRC (*а*) 56–60 HRC(*б*)



а *б*

Рисунок 2 – Максимальные напряжения σ на задней поверхности резца при обработке заготовок с твердостью 59–60 HRC (*а*) 56–60 HRC(*б*)

Разработанная методика и программа расчета вероятности разрушения режущего инструмента со стороны передней $p_п$ и задней $p_з$ поверхностей учитывала характер напряжений (растяжение или сжатие), которые имели место на поверхностях резца в каждый конкретный момент времени.

Результаты исследований показывают, что вероятности разрушения инструмента по передней $p_п$ и задней $p_з$ поверхностях и общей вероятности разрушения p изменяются в широком диапазоне.

Для характеристики надежности инструмента выбирали максимальные значения вероятностей $p_п$, $p_з$, p, как наиболее опасные.

На рис. 3 показано изменение максимальных вероятностей разрушения $p_п$, $p_з$ и p в линейной и логарифмической шкалах в зависимости от величины износа инструмента $h_з$ при обработке заготовок с твердостью 59–60 и 56–60 HRC. Установлено, что до износа $h_з$ = 0,3 мм основное влияние на вероятность разрушения резца оказывают сжимающие напряжения на задней поверхности резца. При износе инструмента $h_з > 0{,}3$ мм преобладают напряжения растяжения на передней поверхности резца. Особую опасность представляет увеличение износа инструмента более 0,3 мм, когда наблюдается резкое увеличение вероятностей разрушения (см. рис. 3, *в, г*).

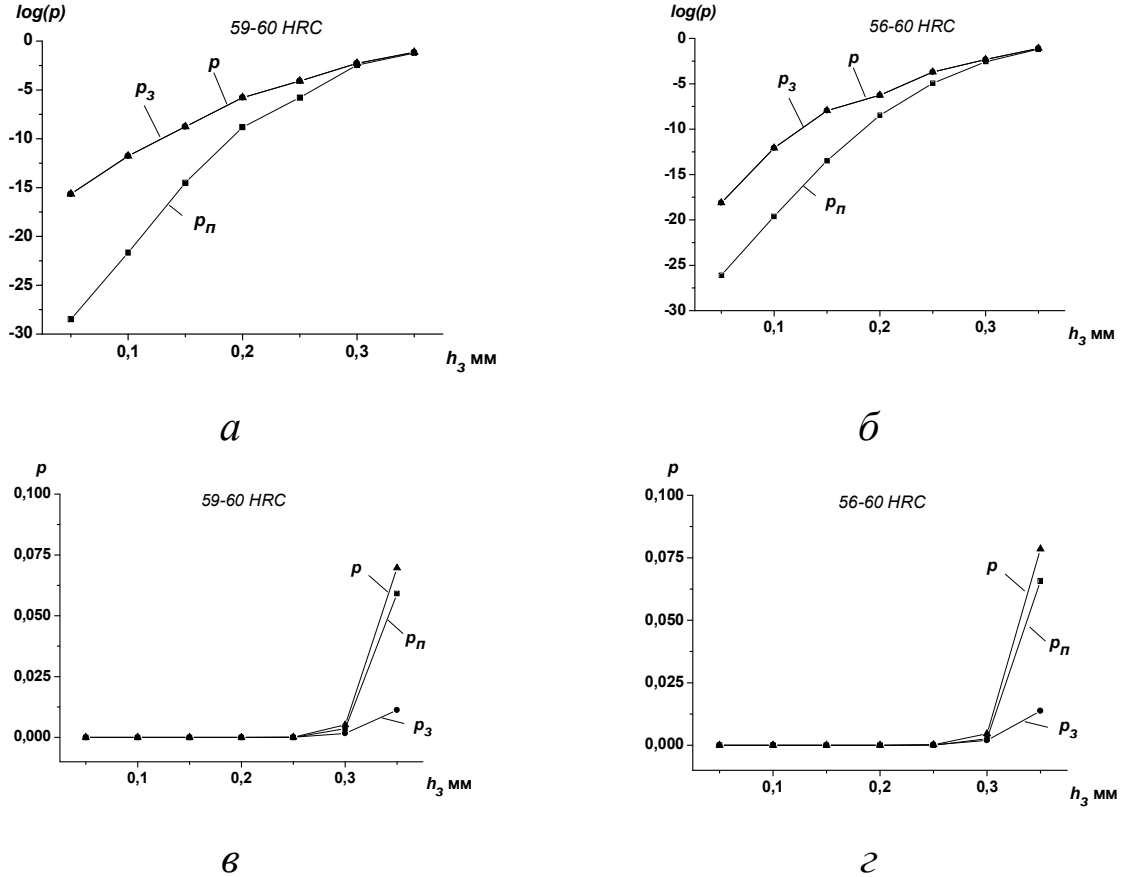


Рисунок 3 – Зависимости логарифмов вероятностей log(p) (*а, б*) и вероятностей p (*в, г*) разрушения резцов при обработке заготовок с твердостью 59–60 HRC (*а, в*) 56–60 HRC(*б, г*) от износа резцов $h_з$

Выводы

1. Критическая величина износа для инструмента, оснащенного режущими пластинами из композита cBN/Si_3N_4, составляет 0,3 мм, так как при этом резко возрастает вероятность разрушения резца.

2. При точении закаленной стали резцами с круглой режущей пластиной RNMN070300T из ПСТМ cBN/Si_3N_4 особо опасными являются растягивающие напряжения на передней поверхности при величине износа инструмента $h_з$> 0,3 мм.

Литература

1. Dynamic phenomena in finish turning of hardened steels with cBN-based tools / N.E. Stakhniv, L.N. Devin, I.A. Petrusha, A.S. Osipov // J. of Superhard Mat.. – 2009. – vol 31, № 3. – P. 196–202.

2. Девин Л.Н. Прогнозирование работоспособности металлорежущего инструмента. – К.: Наук. думка, 1992. – 131 с.

3. Девин Л. Н. Определение предела прочности при растяжении поликристаллических сверхтвердых материалов // Сверхтв. мат. – 1988. – № 2. – С. 24–28.

4. Новиков Н.В., Девин Л.Н., Иванов С.А. Силоизмерительное устройство для динамических испытаний // Заводская лаборатория. – 1980. – 46, № 7. – С. 665–667.

5. Девин Л. Н., Сулима А. Г. Применение пакета Power Graph для исследования процесса резания // Промышленные измерения контроль, автоматизация диагностика (ПиКАД). – 2008. – № 3. – С. 24–26.

6. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.

Домуладжанов И.Х., Мамадалиев А.У., Неъматуллаев М.Т., Мухамадалиев Д.Ф., Максудов С.С. Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ СТРОИТЕЛЬСТВА УСТАНОВКИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ МЕШКОВ НА ОАО «FERG'ANAAZOT»

Строящийся объект «Установка по производству полиэтиленовых мешков мощностью 20,0 млн. штук в год на ОАО «Ferg'anaazot» не будет оказывать существенного воздействия на водные объекты района расположения ОАО «Ferg'anaazot». Проектом предусмотрено водопотребление и водоотведение без воздей-

ствия на водные объекты (водозабор и сброс сточных вод будет осуществляться на территории ОАО из существующих сетей) [1].

Источником водоснабжения реконструируемого объекта являются существующие водопроводные и канализационные сети ОАО «Ferg'anaazot», которых отвечает требованиям ГОСТ 2874 «Вода питьевая». Для рационального использования питьевой воды, проектом предусматривается учёт и автоматическое регулирование расходов воды. Хозяйственно – бытовые стоки от объектов принимаются во внутриплощадочную самотечную сеть, по которой поступают заводскую канализационную сеть, а далее в городскую канализационную сеть. Полив зелёных насаждений осуществляется из проектируемой ирригационной сети. При производстве вертикальной планировки участка необходимо производится срезка растительного слоя грунта, складирование с последующим возвратом на участки для озеленения. Для отвода ливневых и сточных вод с поверхности территории предусматривается укладка железобетонных ирригационных лотков. Посадка деревьев и кустарников защищает от шума, пыли и газа.

Водоснабжение объектов принято от водопроводных сетей. Точка подсоединения к питьевой воде взято с водопроводной сети В1 ОАО «Ferg'anaazot». На предприятии предусмотрены несколько противопожарных емкостей, которые обеспечивают пожарную безопасность строящего объекта.

Водопотребление и водоотведение для объекта приведено в табл. 1. Водопотребление на хозяйственно – бытовые расходы и пожарное водоснабжение составит 53,4278 м^3/сут. или 11,5011 тыс. м^3/год воды. Анализ питьевой воды соответствует нормативным требованиям.

Количество сточных вод составит 13,6268 м3/сут. или 4,49687 тыс. м^3/год, которая будет сбрасываться в самотечную канализационную сеть, а затем в городскую канализацию.

Схема канализации объектов. Хозяйственно-бытовые сточные воды от зданий и сооружений, сбрасываются во внутриплощадочную самотечную сеть затем в заводские канализационные сети, далее городскую канализационную сеть, которая проходит через ОАО. Точка подключения по хоз-фекальной канализации взята от существующего колодца – К1 на территории ОАО.

Качественный состав сточных вод, отводимых в очистные устройства, представлен в табле. Из табл. 2 видно динамики изменения

качества сбрасываемых сточных вод за последний год. По всем показателям соблюдаются нормативные требования.

Таблица 1 – Расчётное водопотребление и водоотведение реконструируемого объекта

Наименование потребителей	Нормы потребления по СНиП - КМК 2.04.01-98	Потребность	Водопотребление		Водоотведение		Безвозвратные потери	
			$м^3$/сут	тыс. $м^3$/г	$м^3$/сут	тыс. $м^3$/г	$м^3$/сут	тыс. $м^3$/г
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Хозяйственно-бытовые расходы								
Рабочие	25 л /чел в смену объёма (330)	237 чел	5,925	1,9553	4,74	1,5642		
ИТР и служащие	16 л/сут на 1 человека (330)	15 чел.	0,24	0,0792	0,192	0,06336		
Полив зеленных насаждений	6 л на м2 (240)	Будет посажено 320 деревьев, на 1 дерево 1$м^2$, всего 320 $м^2$	1,92	0,4608			1,536	0,3686
Полив территории и спортплощадок	0,4 л на м2 (330)	1264 м2	0,5056	0,1668			0,5056	0,1668
Объекты туалеты (муж. жен.)	90 л/час (330)	16 шт.	1,44	0,4752	1,152	0,3802		
Умывальники (раковины)	60л/час (330)	8 шт.	0,48	0,1584	0,384	0,1267		
Душевая	500 л/час (330)	14 рожков	7,0	2,31	5,6	1,848		
Итого:			17,5106	5,6057	12,068	3,98246	2,0416	0,5354
Неучтенные потери	10%		1,7512	0,5606	1,2068	0,39825	0,2042	0,05354
Всего			19,2618	6,1663	13,2748	4,38071	2,2458	0,58894

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Производственные нужды								
Охлаждение нити	10%	4	0,4	0,132	0,32	0,1056		
Доувлажнение в системах кондиционирования	1 компр. по 0,22 $м^3$\сут	3 комплекта	0,66	0,2178			0,66	0,2178
Подпитка оборотных систем	10% (150)	300	30	4,5			30	4,5
Итого:			31,06	4,8498	0,32	0,1056	30,66	4,7178
Неучтенные потери	10%		3,106	0,485	0,032	0,01056	3,066	0,4718
Итого:			34,166	5,3348	0,352	0,11616	33,726	5,1896
Всего расходов и нужд:			53,4278	11,5011	13,6268	4,49687	35,9718	5,77854

Примечание: Полив осуществляется с 1 марта по 1 ноября, т. е. 8 месяцев.

Общая площадь занимаемой под реконструкцию территории – 7755 $м^2$. В том числе площадь озеленения – 3728 $м^2$, площадь твердых покрытий 1264 $м^2$, площадь застройки – 2763 $м^2$

Сброс хозбытовых сточных вод производится в канализацию.

Нормативно-расчётный объём водоотведения в канализацию – 4,49687 т.$м^3$/год (13,6268 $м^3$/сут).

Очистных сооружений нет.

Самотечная канализационная сеть запроектирована из керамических труб 150 ГОСТ 286 – 80. Глубина заложения труб – согласно профилю. В местах присоединения, изменения направления, уклонов, а также на прямых участках длиной 35 м предусмотрены смотровые колодцы диаметром 1000 мм из сборных ж/б элементов.

Таблица 2 – Анализ сточной воды

Наименование	Данные анализа с ванны	Данные анализа с трубы после ванны	Данные анализа с колодца	ПДК
1	2	3	4	5
Температура воды			18°С	
Окраска качество			Светло-серая	
Запах интенсивность			Нет	
Прозрачность				

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5
Сухой остаток при 105°С				
Остаток после прокаливания				
Взвешенные вещества, мг/л				
pH	7,8	7,9	8,0	6,5–8,0
Биохимическая потребность кислорода БПК 5				
Химическая потребность кислорода ХПК				
Нитриты, мгN/л	0,08	0,08	0,07	0,08
Нитраты мгN/л	3,7	2,8	2,6	10
Бикарбанатная щелочность м-60-3				
Нефтепродукты, мг/л				
Масла / жиры /				
Специфические вредные вещества				
Сурьма				
Мышьяк				
Натрий и калий				
Кальций				
Магний, мг/л				
Медь, мг/л				
Железа общее				
Фосфаты мг/л				
Хром				
Азот аммонийный	0,088	0,09	0,12	0,5
Фенол				
Хлориды	58,9	62,3	63,7	300,0
Сульфаты	130,5	132,6	134,7	300,0

Местонахождение объекта: г. Фергана. Дата отбора пробы: 23.08.2012 г. Место отбора: колодец в канализации. Характер производства:- производство полиэтиленовых мешков

Литература

1. Проект «Заявления об экологических последствиях (ЗЭП) «Установки по производству полиэтиленовых мешков мощностью 20,0 млн. штук в год на ОАО «Ferg'anaazot» / И.Х. Домуладжанов, И.Г. Мамиров, В.Г. Бояринова и др. – Фергана, 2012. – 116 с.

Жук В.В. Публичное АО «Фирма СЭЛМА»,
Симферополь, Украина

НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ ПУБЛИЧНОГО АО «ФИРМА СЭЛМА» В ОБЛАСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ И МЕХАНИЗАЦИИ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

Фирма СЭЛМА, основанная в 1946 г., является ведущим производителем оборудования для дуговой сварки и вспомогательного оборудования в Украине и странах СНГ.

Сегодня предприятие производит более 150 наименований сварочной техники, это – сварочные трансформаторы, выпрямители, полуавтоматы, автоматы и несущие конструкции для механизации сварки и резки, установки для аргонодуговой сварки, установки для воздушно-плазменной резки, машины для контактной точечной сварки и оборудование для управления контактными машинами, а также оборудование для механической подготовки кромок под сварку.

Все, что мы делаем, направлено на то, чтобы фирма СЭЛМА была лучшим выбором для наших Потребителей, Сотрудников, Акционеров и Партнеров.

В данный момент наши усилия направлены на разработку комплексных решений в области сварки, в том числе в области автоматизации и механизации сварочных процессов, позволяющим нашим клиентам повысить производительность труда, улучшить качество и условия труда, а также просто получать удовольствие от работы.

Рады представить Вам некоторые наши новые разработки:

Для автоматической сварки под слоем флюса и в среде защитных газов (рис. 1, *а*):

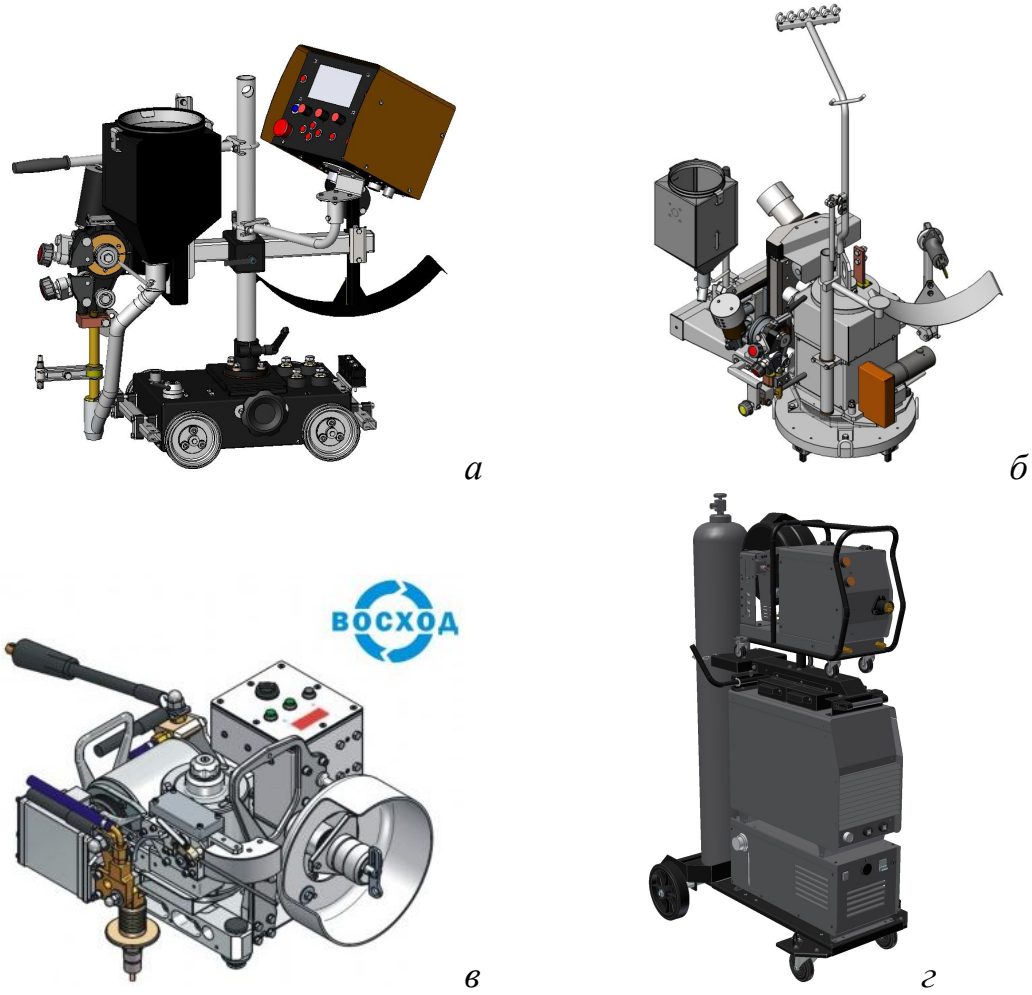
Сварочные автоматы типа АДФГ-300, АДФГ-500, АДФГ-630, АДФ-800, АДФГ-1000, АДФ-1002, АДФ-1250 позволяют производить сварку соединений встык с разделкой и без разделки кромок, угловых швов наклонным электродом, тавровых швов, а так же нахлесточных швов. АДФГ-1000 9 серии изготавливается в трех основных модификациях: для сварки под слоем флюса, для сварки в среде защитных газов, а также для сварки расщепленной дугой и может быть укомплектован устройством наклона стойки для сварки «в лодочку». Потребителю предлагается широкий спектр опций, от резиновых колес до микропроцессорного блока управления БАРС обеспечивающего плавную регулировку и стабилизацию скорости

подачи проволоки и скорости сварки, предварительную установку и индикацию сварочных режимов.

Разработана автоматическая установка *для дуговой сварки цилиндрических патрубков в корпусные изделия АДП-1203* (рис. 1, *б*).

Комплекс «ВОСХОД» – универсальная, автоматизированная и многопозиционная сварочная система, предназначенная *для автоматической сварки порошковыми проволоками прямолинейных, криволинейных швов, орбитальной сварки неповоротных стыков трубопроводов во всех пространственных положениях* (рис. 1, *в*).

Для комплектации сварочных и наплавочных комплексов мы можем предложить: целый ряд универсальных сварочных головок как для электродных проволок так и для сварочных лент; системы оборота флюса; пылеулавливающие агрегаты; магнитные отклоняющие устройства; системы слежения за стыком; ручные и механизированные суппорта, сварочные колонны, сварочные порталы, роликовые опоры, различные манипуляторы и многое другое.



а *б* *в* *г*

Рисунок 1 – Разработки АО «Фирма СЭЛМА»

Для полуавтоматической сварки в среде защитных газов(рис. 1,*г*):

Сварочный комплекс на базе инверторных сварочных источников типа ВДУ-358, ВДУ-508, ВДУ-608, ВДУ-1008, ВДУ-1258 обладающие семейством вольтамперных характеристик для реализации всех видов сварки (ММА, МИГ/МАГ, ТИГ), сварочных полуавтоматов типа ПДГО-421, ПДГО-515/518 (применен двухскоростной механизм подачи с непревзойденной системой стабилизации скорости подачи проволоки), ПДГО-615, блоков водяного охлаждения типа БВА-02 и тележек ТСК-01, ТСК-02.

Зяхор И.В., Завертанный М.С. Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ ТРЕНИЕМ РОТОРОВ ТУРБОКОМПРЕСОРОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Для современного автомобильного двигателестроения актуальной проблемой является изготовление и ремонт роторов турбокомпрессоров (ТКР) двигателей внутреннего сгорания. Валы роторов ТКР выполняются биметаллическими – колесо изготавливают из жаропрочных никелевых сплавов, стержень – из конструкционной стали. Для их соединения используется сварка трением (СТ).

Различие теплофизических и механических свойств жаропрочных сплавов и конструкционных сталей при СТ приводит к асимметрии температурных полей и смещении поверхности трения в никелевый сплав. При использовании конвенционной (обычной) СТ наблюдается образование периферийных непроваров и дефектов типа «блестящие кольца», снижающих механические свойства соединений.

В ИЭС им. Е.О. Патона разработаны технологии инерционной и комбинированной СТ роторов ТКР из жаропрочных никелевых сплавов ЖС3ДК, GMR235, Inconel 713C с конструкционной сталью, позволяющие устранить образование дефектов сварки и обеспечить соответствие механических свойств соединений требованиям стандартов автомобильного двигателестроения.

Для реализации технологий инерционной и комбинированной СТ разработаны и изготовлены установки СТ-109А и СТ-120.

Установка СТ-109А снабжена разработанным в ИЭС им. Е.О. Патона электромагнитным приводом осевого усилия, который отличается высокой динамикой приложения осевого усилия и позволяет изменять давление в контакте по заданной программе. Установка позволяет реализовать технологии как инерционной, так и комбинированной СТ. Система регулирования усилия с обратной связью по величине магнитного потока обеспечивает приложение постоянного, ступенчатого или пульсирующего осевого усилия.

Привод вращения шпинделя, выполненный на основе двигателя постоянного тока, позволяет изменять частоту вращения в диапазоне 500–3000 об/мин. Шпиндель снабжен набором сменных маховиков, диапазон изменения момента инерции вращающихся частей составляет 1,0–2,5 кг·м^2. При этом величина энергии, запасенной во вращающихся частях машины, составляет от 10 до 150 кДж.

За счет модернизации схемы управления приводом вращения реализована возможность принудительного электродинамического торможения вращения шпинделя на этапе проковки. Такая доработка позволила расширить технологические возможности машины за счет сварки заготовок малых диаметров (для которых минимальный момент инерции вращающихся масс является чрезмерным). При этом сохранена возможность реализации классической технологии инерционной сварки трением (при отключении электродинамического торможения) за счет программирования количества вводимой встык энергии путем варьирования начальной частоты вращения и момента инерции маховиков.

Установка СТ-109А успешно внедрена в производство для получения роторов ТКР из никелевого сплава ЖС3ДК и стали 40Х.

В настоящее время в ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины успешно эксплуатируется установка СТ-120, которая является базовой моделью нового поколения машин, реализующих технологию комбинированной СТ с регулируемым торможением вращения. В состав установки входят машина сварочная, гидростанция, шкаф управления, станция смазки.

Гидропривод обеспечивает трехступенчатую циклограмму приложения осевого усилия "притирка"- "нагрев"- "проковка" в диапазоне 5–120 кН.

Благодаря использованию электропривода постоянного тока, выдерживающего частые пуски и остановки, в конструкции маши-

ны удалось отказаться от муфты сцепления, существенно увеличивающей момент инерции вращающихся масс.

Система управления позволяет автоматически осуществлять остановку процесса сварки по заданному циклу, при достижении предварительно запрограммированного значения осадки.

Реализована возможность ступенчатого изменения частоты вращения шпинделя на стадии нагрева. На первой ступени (притирка) частота вращения задается максимальной для данного цикла сварки, затем ступенчато снижается до заданного значения и поддерживается определенное время, после чего производится регулируемое торможение и проковка.

Разработанная система контроля параметров режимов сварки на основе операционной системы Windows, позволяет на протяжении всего процесса выводить на интерфейс и фиксировать динамику изменения давления сжатия заготовок, частоты вращения шпинделя и величины осадки.

На установке СТ-120 реализованы технологии комбинированной СТ роторов ТКР различных типоразмеров для двигателей легковых и грузовых автомобилей.

Технологические и технические решения, заложенные в конструкции установок СТ-109А, СТ-120, и новые решения, реализованные при последующей их модернизации, являются базой для разработки ряда универсальных и специализированных машин с различным осевым усилием и для дальнейшего совершенствования оборудования для сварки трением.

Ивашко В.С., Буйкус К.В. Белорусский национальный технический университет,
Хейфиц М.Л. ГНПО «Центр» НАН Беларуси, Минск, Беларусь,
Клименко С.А. Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ НИКЕЛЬХРОМОВЫХ ПОКРЫТИЙ

Никельхромовое покрытие относится к интерметаллидам (Ni–Cr). Термореагирующие порошки на основе интерметаллидов отличаются хорошими адгезионными свойствами вследствие экзотерми-

ческих реакций компонентов и обеспечивают высокие плотность и износостойкость покрытий. Технология нанесения самофлюсующихся порошков предусматривает напыление с последующим оплавлением. Напыление с оплавлением проводится как вручную, так и в автоматизированном режиме. Для повышения адгезии и снижения теплового воздействия на основу нами предлагается следующая методика нанесения покрытия:

1) термическая активация до 60–80 °С поверхности в течение 15–20с;

2) для предотвращения окисления нанести тонкий защитный слой из напыляемого самофлюсующегося сплава (толщиной 0,1 мм) за один проход;

3) нагреть поверхность до 600–750 °С в течение 1–2 мин;

4) нанести покрытие в течение 30–40 с толщиной 0,4–1,5 мм, которое частично самооплавляется с образованием прочной связи;

5) окончательно оплавить покрытие.

При нанесении самофлюсующихся материалов самым важным параметром является температура оплавления. Изменяя время оплавления, можно регулировать температуру оплавляемой поверхности.

В табл. 1 и 2 приведены минимальные значения расхода и соответствующего времени оплавления для различных глубин проплавления h и радиусов пятна нагрева r на дистанции напыления 30 мм.

Таблица 1 – Оптимальные параметры оплавления при использовании ацетилено-кислородного пламени*

Время оплавления t, с	Расход горючей смеси Q_t, 10^{-4} м^3	Радиус пятна нагрева r, мм	Глубина проплавления h, мм
7	7,2	2,5	1,9/1,7
6	4,2	2,0	1,8/1,6
5	3,0	1,5	1,7,1,6
6	3,3	2,5	1,5/1,4
5	2,6	2,0	1,4/1,3
4	1,9	1,5	1,3/1,2
6	1,6	2,5	0,9/0,8
5	1,3	2,0	0,7/0,7
4	1,0	1,5	0,6/0,5

*в знаменателе – сплав на основе никеля, в числителе – на основе железа

Следует отметить, что учитывая теплотворные свойства пропан-бутановой смеси и ацетилена, радиус пятна оплавления для

пропан-бутаново-кислородной смеси в два раза больше, чем для ацетилено-кислородной смеси. В табл. 3 приведены параметры оптимальных режимов нанесения и оплавления никельхромовых покрытий при грануляции порошка 20–100 мкм.

Таблица 2 – Оптимальные параметры оплавления при использовании пропан-бутаново-кислородного пламени

Время оплавления t, с	Расход горючей смеси Q_t, 10^{-4} м^3	Радиус пятна нагрева r, мм	Глубина проплавления h, мм
13	6,85	5	1,9/1,7
11	5,52	4	1,8/1,6
9	4,12	3	1,5/1,3
10	4,45	5	1,4/1,3
9	3,44	4	1,3/1,2
8	2,47	3	1,2/1,1
9	2,21	5	0,9/0,8
8	1,65	4	0,8/0,7
7	1,25	3	0,7/0,6

*в знаменателе – сплав на основе никеля, в числителе – на основе железа

Таблица 3 – Расходы рабочих газов при напылении и оплавления ацетилено-кислородным пламенем*

Параметр режима	Значение
Давление рабочих газов, МПа:	
ацетилен (пропан-бутановая смесь)	0,01–0,03 (0,1–0,3)
кислород	0,2–0,3 (0,4–0,5)
Расход рабочих газов, м^3/ч:	
ацетилен (пропан-бутановая смесь)	0,25–0,4 (0,8–1,2)
кислород	0,26–0,42 (3,5–5,0)

*в скобках – пропан-бутано-кислородным пламенем

В результате исследований установлены температура нагрева образцов при нанесении самофлюсующихся материалов и зависимость глубины и радиуса проплавления от времени теплового воздействия и удельного расхода смеси горючего газа и окислителя при оплавлении покрытий с учетом динамического воздействия струи. Определены параметры оптимального режима напыления и оплавления самофлюсующихся материалов никельхромовых покрытий.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ № Т13К-033 и ГФФИ Украины № Ф54.2/022

Ивашко В.С., Комаровская Д.И. Белорусский
национальный технический университет,
Лойко В.А. Белорусский государственный
аграрный технический университет, Минск, Беларусь

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ РЕМОНТЕ УЗЛОВ

Одним из важных резервов снижения общей стоимости ремонта автомобильной техники является восстановление изношенных деталей, себестоимость которых, значительно ниже новых.

Однако восстановление узлов автомобильной техники сдерживается недостаточной обоснованностью применения современных технологий. Кроме применения метода ремонтных размеров, синтетических материалов, сварки остальные методы, в том числе упрочняющие технологии мало востребованы.

Для определения возможности восстановления конкретных деталей целесообразно использовать коэффициент конструктивной приспособленности деталей к восстановлению, предложенный Н.В. Молодыком и Л.И. Шаповалом, который должен учитывать уровень технологичности при восстановлении (возможность и удобство выполнения операций восстановления, необходимость выполнения дополнительных операций), трудоемкость и себестоимость восстановления.

Коэффициент конструктивной приспособленности деталей к восстановлению это возможность применения ремонтных размеров и использования сменных элементов, целесообразность и возможность расчленения детали или сборочной единицы, необходимость восстановления или создания технологических баз, необходимость и количество переустановок детали и дополнительной поднастройки в процессе восстановления, возможность использования серийного оборудования и унифицированной оснастки, массу детали, способ ее установки, унификацию и типизацию изнашиваемых поверхностей, возможность применения упрочняющих технологий.

Таким образом, при выборе технологического метода восстановления деталей при ремонте узлов необходимо учитывать:

• технические показатели, оценка уровня технологичности при восстановлении деталей, возможность и удобство выполнения операций восстановления, а также необходимость выполнения дополни-

тельных операций без использования специализированного оборудования;

• экономические показатели, оценку трудовых и денежных затрат на восстановление детали;

• коэффициент приспособленности детали к восстановлению, отношение расчетной себестоимости восстановления деталей с учетом ее конструктивной приспособленности и полученного коэффициента восстановления ресурса к цене новой детали.

Проанализировав технологические методы восстановления деталей при ремонта узлов, замененных в процессе регламентированного ремонта автомобильной техники можно рекомендовать восстанавливать посадку деталей соединений тремя методами:

1) без изменения размеров деталей (с помощью имеющихся регулировок, перестановкой детали, заменой на запасную);

2) применением деталей, восстановленных до номинальных размеров;

3) применением деталей ремонтных размеров или восстановленных с последующей установкой дополнительных деталей.

Наиболее экономически и технически оправданными технологиями являются применение ремонтно-восстановительных составов; ремонтных размеров и дополнительных деталей.

Учитывая коэффициенты повторяемости дефектов типовых поверхностей ремонтно пригодных деталей (0,1–0,5) и современные объемы восстановления деталей, в первом приближении, можно рекомендовать следующие методы восстановления деталей: холодное пластическое деформирование с последующей механической обработкой; нанесение полимерных материалов; термическая и химико-термическая обработкой с последующей механической обработкой; применение металлополимерных материалов; газотермическое напыление, сварка в защитных газах с применением специальных материалов. На рис. 1 приведена схема газопламенного напыления и оплавления самофлюсующихся сплавов.

При газопламенном напылении самофлюсующегося покрытия (см. рис. 1) поступающий из бункера порошок разгоняется потоком транспортирующего газа и на выходе из сопла попадает в пламя, где и нагревается до необходимой температуры (табл. 1, 2).

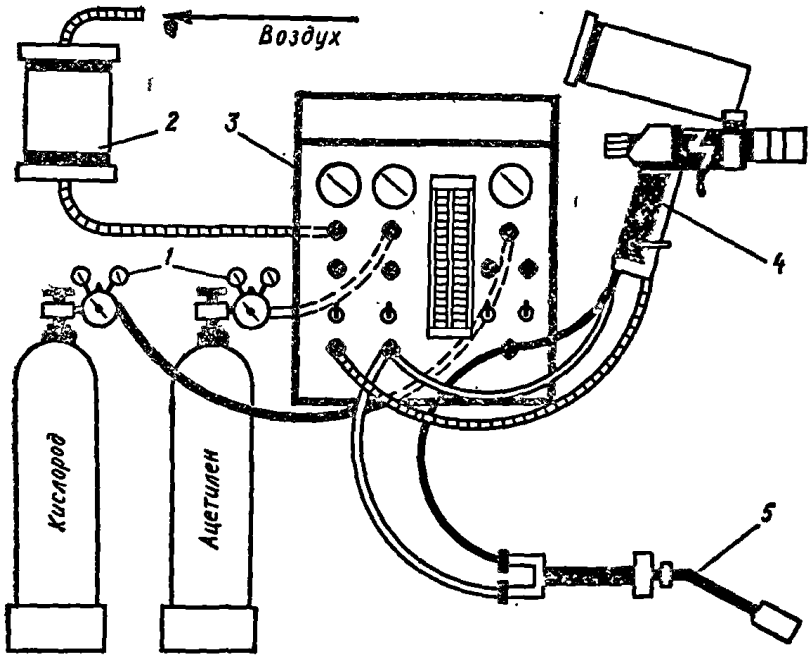


Рисунок 1 – Схема газопламенного напыления самофлюсующегося покрытия: 1 – редукторы; 2 – воздушный маслоотделительный фильтр; 3 – пульт управления; 4 – пистолет термораспылительный; 5 – горелка для оплавления покрытий из самофлюсующихся сплавов

Таблица 1 – Расходы рабочих газов при напылении и оплавлении пропан-бутано-кислородным пламенем

Параметр режима	Значение
Давление рабочих газов, МПа:	
пропан-бутановая смесь	0,1–0,3
кислород	0,4–0,5
Расход рабочих газов, $м^3$/ч:	
пропан-бутановая смесь	0,8–1,2
кислород	3,5–5,0

Таблица 2 – Расходы рабочих газов при напылении и оплавления ацетилено-кислородным пламенем

Параметр режима	Значение
Давление рабочих газов, МПа:	
ацетилен	0,01–0,03
кислород	0,2–0,3
Расход рабочих газов, $м^3$/ч:	
ацетилен	0,25–0,4
кислород	0,26–0,42

Ильиных С.А., Пономаренко А.А., Крашанинин В.А., Гельчинский Б.Р. Институт металлургии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ СИСТЕМЫ Al-Ti-Ni

Для системы Al-Ti-Ni с использованием программного комплекса «PLASMA» проведены расчеты теплофизических и динамических процессов, имеющих место на различных стадиях процесса плазменного напыления покрытий.

В качестве исходных данных использованы данные литературного поиска, а так же результаты экспериментальных исследований влияния температуры на теплофизические и механические свойства веществ, применяемых при плазменном напылении покрытий [1–7].

Исходные данные: плазмообразующий газ – N_2; начальный диаметр частиц 30-40 мкм, начальная температура – 300 К; дистанция напыления 200 мм.

Для Al-Ti-Ni установлено, что при мощности плазматрона 36 кВт оптимальная скорость ввода частиц в плазменную струю составляют 8 м/с, на расстоянии 20–40 мм от среза сопла достигается максимальная температура нагрева частиц порошка. Скорость частиц в момент соударения с подложкой Ст. 45 – 150–180 м/с. Пористость покрытия составила 2,1–4,05 %, шероховатость, *Rz* 20–30. В процессе напыления (5 сек) в интерфейсном слое формируются сжимающие напряжения (-55,0 МПа), которые снижаются после окончания процесса до (-6 МПа). На рис. 1, 2 представлены ламельные структуры смоделированных покрытий. Видно, что пористость получаемых покрытий зависит, как от числа проходов плазмотрона по поверхности изделия, так и от скорости перемещения плазмотрона.

Моделирование позволяет оптимизировать траекторию полета частиц до столкновения с основанием, методом подбора начальных параметров задается движение частицы в центральной зоне плазменной струи для получения максимального ускорения и теплового воздействие. Увеличение толщины покрытия возможно получать за несколько технологических циклов в зависимости от толщины и материала подложки. При напылении необходимо обеспечить дополнительный отвод тепла от напыляемой поверхности посредством обдува сжатым воздухом.

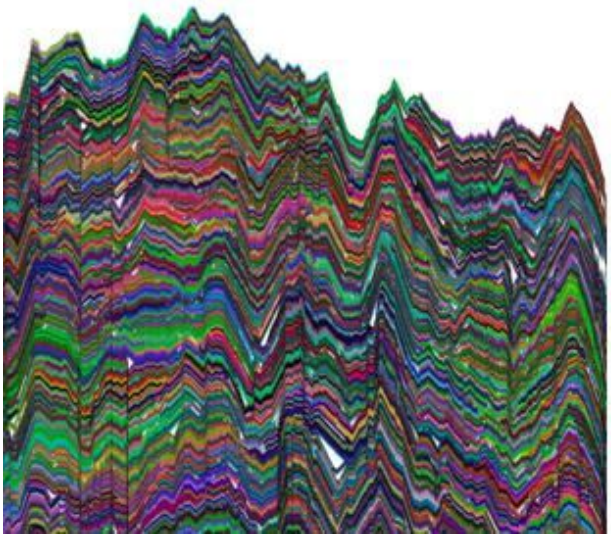


Рисунок 1 – Al-Ti-Ni (Число проходов – 10. Время напыления – 5 сек.). Пористость 2,1 %

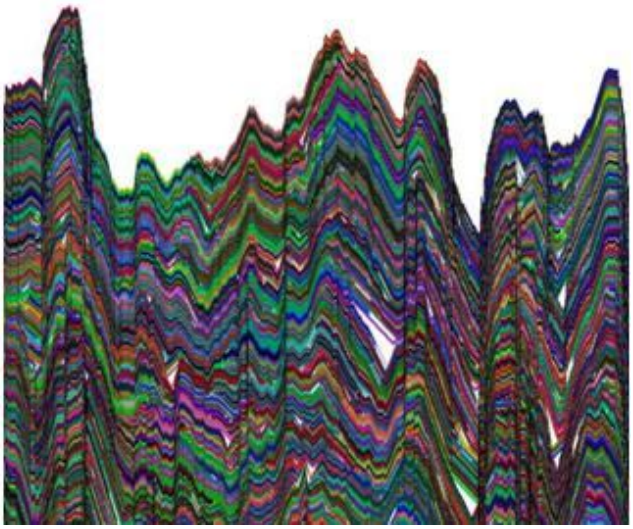


Рисунок 2 – Al-Ti-Ni (Число проходов – 10. Время напыления – 10 сек.). Пористость 4,0 %

Анализ результатов моделирования показывает, что скорость частиц и температура их нагрева в основном зависят от траектории движения частицы в плазменной струе, площади поверхности частицы и её массы, времени нахождения частицы в плазменной струе. Начальная скорость ввода частицы в плазменную струю существенно влияет на температуру, скорость и время пребывания в струе. Моделирование позволяет оптимизировать траекторию полета частиц до столкновения с основанием, методом подбора начальных параметров задается движение частицы в центральной зоне плазменной струи для получения максимального ускорение и тепловое воздействие.

Литература

1. Фазообразование при металлотермическом получении сплавов Al-Ti-Ni-Mo / С.А. Ильиных, С.А. Красиков, А.А. Пономаренко и др. // Инженерия поверхности и реновация изделий: Мат. 13-й Международ. науч.-техн. конф., 03–07 июня 2013 г., г. Ялта. – К.: АТМ Украины, 2013. – С. 116–118.

2. Проведение металлографических исследований, степени упрочнения (твердость, микротвердость) напыленного слоя Zn-Me(Ni-Al-Ti) / С.А. Ильиных, И.В. Кирнос, Крашанинин В.А., Б.Р. Гельчинский // Инженерия поверхности и реновация изделий: Мат. 13-й Международ. науч.-техн. конф., 03–07 июня 2013 г., г. Ялта. – К.: АТМ Украины, 2013.– С. 114–116.

3. Исследования алюмоцинковых покрытий, полученных методом до и сверхзвуковогоплазменного напыления / С.А. Ильиных, И.В. Кирнос, Крашанинин В.А., Б.Р. Гельчинский // Сб. тр. 12-й Всерос. науч.-техн. конф. с международ. участием «Быстрозакаленные материалы и покрытия», Москва, 26–27 ноября 2013 г. – С. 29–34.

4. Расчет равновесного состояния итермодинамических характеристик системы «плазма+частица» // С.А. Ильиных, В.А. Крашанинин, Б.Р. Гельчинский, Н.И. Ильиных // Сб. тр. 12-й Всерос. науч.-техн. конф. с международ. участием «Быстрозакаленные материалы и покрытия», Москва, 26–27 ноября 2013 г. – С. 39–42.

Работа выполнена при финансовой поддержке УрО РАН (Программа ОХНМ РАН, грант N 12-Т-3-1028) и РФФИ (грант № 13-08-12111 офи-м)

Кабанов А.А. МАИ, ГЕТНЕТ КОНСАЛТИНГ,
Москва, Россия

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ДИСКРЕТНОГО МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ СЕТЕВОГО И ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Под эффективностью работы производственной системы в настоящей работе понимается эффективность ее функционирования с точки зрения распространения основных и вспомогательных материальных потоков в системе. При этом оцениваются: пропускная способность системы в целом, а также пропускная способность элементов производственной системы, в том числе и на основании данных расчетов коэффициентов загрузки оборудования. «Узкие места» в системе, а также избыточность элементов производственной системы – их недозагрузка являются индикаторами эффективности ее работы.

Предлагается метод оценки эффективности производственной системы дискретного машиностроительного производства, в основу которого положены методы сетевого и имитационного моделирования.

Сущность метода заключается в разбиении работ по исследованию эффективности производственной системы на два этапа:

• Предварительный, в рамках которого, на основе методов сетевого планирования и данных по производственной системе, выносятся предварительные результаты по ее эффективности.
• Детальный, с применением метода имитационного моделирования, по итогам которого дается заключительная оценка эффективности функционирования производственной системы с более высокой точностью.

Идея метода заключается в использовании, построенных на этапе «предварительный», сетевых моделей в качестве основы для построения более высокоуровневых имитационных моделей, использующих математический аппарат систем массового обслуживания и(или) сетей Петри. И состоит в том, чтобы для обоих этапов в качестве базы использовать одни и те же сетевые модели. В первом случае, для этапа «предварительный», они – статические и характеризуют производственную систему в идеальном ее состоянии, что позволяет оценить максимально возможную производительность производственной системы. Во втором, на этапе «детальный» – динамические, описывающие поведение системы, и учитывающие неизбежные факторы, следствием влияния которых является также неизбежное снижение максимальной производительности, вычисленной в ходе первого этапа.

Таким образом, по результатам этапа «предварительный» принимается решение о целесообразности работ по этапу «детальный». Тем самым существенно сокращается трудоемкость работ по оценки эффективности производственной системы.

Для достижения поставленной цели и практической реализации идеи предлагается метод перевода содержательной области исследования производственной системы в формальную, основанный на следующих положениях:

1. Рассматривается дискретное машиностроительное производство. В работе показано, что для серийных и массовых машиностроительных производств использование этапа «детальный» неактуально, поскольку для оценки эффективности функционирования производственной системы в этих случаях достаточно сетевого моделирования.

2. Изделия дискретного машиностроительного производства характеризуются большой номенклатурой как специфицируемых компонентов, так и неспецифицируемых компонентов.

3. Для описания изделий используется математическая интерпретация основного конструкторского документа – спецификации – граф сборочного состава изделия. Указанный граф является основой разрабатываемых далее сетевых моделей.

4. Сетевая модель на основе графа сборочного состава изделия трансформируется в сетевую модель другого характера, формируемая на основе данных технологической документации с использованием для ее описания широко известного процессного подхода.

5. Процессная сетевая модель по п. 4 трансформируется в ресурсную, на основании данных об имеющихся производственных ресурсах, у которой вершинами графа служат уже элементы производственной системы: рабочие места, оборудование, зоны складирования и хранения, элементы транспортной системы и др.

Модели по. 4 и п.5 являются основными сетевыми моделями, используемые в рамках этапа «предварительный». Результатом этапа «предварительный» является заключение о принципиальной возможности выполнения заданной производственной программы по изделиям представителям на основании расчета длительностей производственных циклов, а также степень загрузки производственного оборудования. Указанные результаты получены исходя из допущения о неограниченности производственных ресурсов и характеризуют эффективность применяемых технологических методов на производстве.

«Детальный» этап основан на дополнении сетевых моделей по п. 4, п.5 ограничениями, формировании на их базе имитационных моделей и постановке на них экспериментов, реализуемых в системах имитационного моделирования. Созданные на этом этапе модели учитывают не только ограниченность производственных мощностей, но и специфику работы производственной системы, в том числе график работы, запуск изделий в производство партиями, обработку операционными партиями, перерывы в работах по технических (ТОиР) и организационным причинам. Результатом данного этапа являются рассчитанные значения по загрузке элементов производственной системы, данные по объемам незавершенного производства и местам его скопления, а также размеры и время запуска партий изделий в производство.

Калашников И.Е., Колмаков А.Г., Болотова Л.К., Быков П.А. Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия
Клименко С.А., Копейкина М.Ю. Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина
Хейфец М.Л. Президиум НАН Беларуси, Минск, Беларусь

ИЗНОСОСТОЙКИЕ АЛЮМОМАТРИЧНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Износ деталей машин в парах трения скольжения является важной проблемой современного машиностроения. Затраты на ремонт и техническое обслуживание подвижных сопряжений обычно в несколько раз превышают их стоимость. Остро стоит вопрос о снижении энергозатрат на трение. В этой связи особую актуальность приобретают работы по созданию новых антифрикционных материалов, в том числе композиционных (КМ), в которых искусственно объединены высокопластичные металлические матрицы, например сплавы алюминия, и тугоплавкие высокопрочные, высокомодульные наполнители нано и микронного размера. При таком сочетании фаз достигается повышение несущей способности материалов в трибосопряжениях, износостойкости и задиростойкости [1]. Хорошие литейные свойства, возможность пластической и механической обработки, малый вес и низкая стоимость обеспечивают экономическую целесообразность применения таких материалов в машиностроении, особенно в подвижных сопряжениях механизмов и машин.

Задачу изготовления объемных металлических наноструктурированных материалов можно решить на основе направленной организации гетерофазных композиций, в том числе при их изготовлении жидкофазными методами. В этом случае, измельчение литой структуры матричных сплавов осуществляется за счет введения в расплавы наномодификаторов и ее стабилизация наноразмерными и микронными (интерметаллидными, нитридными, карбидными или др.) наполнителями. Размеры новых фаз можно регулировать путем выбора порядка введения и режимов совмещения компонентов, участвующих в реакциях in-situ, их размера и объемного содержания. Что касается методов введения в КМ модифицирующих добавок, то нами разработан и применен на практике метод введения в расплав нано-

размерных объектов на металлическом порошке – носителе микронного размера. В качестве модификаторов опробованы наноразмерные частицы Al_2O_3 и W (средний размер ~50 нм), TiCN и W-C (средний размер ~30 нм). Порошки получены плазмохимическим синтезом в лаборатории "Плазменных процессов в металлургии и обработке материалов" ИМЕТ РАН А.В. Самохиным и Н.В. Алексеевым. Работа выполнялась в рамках Научной школы академика Цветкова Ю.В. [2]. Опробованы природные наполнители из шунгитовых пород после специальных модифицирующих обработок [3]. Модифицирующая обработка шунгитовых пород и анализ полученных образцов проведены в Институте геологии, Карельского НЦ РАН в лаборатории шунгитов (зав. лаб. д.г.м.н. Ковалевский В.В.).

Для всестороннего изучения модифицирующего влияния наноразмерных порошков на структуру и фазовый состав гетерофазных КМ предложены модельные КМ с интерметаллидным упрочнением, полученные реакционным литьем [4].

В результате проведенных исследований установлены механизмы и закономерности фазовых превращений на различных стадиях формирования наноструктурированных металломатричных КМ, что позволило разработать технологию их получения, обосновать выбор состава модификаторов, лигатур, легирования сплавов основы.

На основе полученных результатов проведена апробация КМ с интерметаллидным упрочнением и полиармированием в присутствии наноразмерных модификаторов в узлах трения электрических центробежных насосов предприятия - изготовителя "ПК Борец". В качестве матричного сплава выбран промышленный сплав АК12М2МгН (ГОСТ 1583-93). Для модифицирования сплава применяли порошки TiCN размером 30нм. Втулки подшипника для пар трения изготавливали из литых заготовок КМ, а защитные втулки - из твердого сплава ВК8.

Проведены стендовые испытания втулок в три этапа: 1 – в имитате пластовой жидкости + сжатый воздух; 2 – в 100 % H_2O; 3 – в смеси H_2O+сжатый воздух. Результаты испытаний по определению интенсивности износа радиальных пар трения из КМ и результаты замера величины шероховатости на рабочей поверхности в зоне трения втулки подшипника после всех этапов испытаний на стенде СТИЗ-1 предприятия-изготовителя "ПК Борец" показали, что все радиальные пары трения выдержали испытания на износостойкость по методике «МИВ-1» при удельном радиальном давлении 100 Н/см².

Литература

1. Kryachek V.M. Friction Composites: Traditions and New Solutions (Review). Part 2. Composite Materials / Powder Metall. Met. Cer.– 2005.– vol. 44, №. 1–2. – P. 5–16.

2. Исследование модифицирующего влияния добавок нанопорошков, полученных плазмохимическим синтезом, на структуру литых алюмоматричных КМ / Т.А. Чернышова, И.Е. Калашников, А.В. Самохин и др. // Российские нанотехнологии. – 2009. – Т. 4, № 7-8. – С. 149–154.

3. Композиционные материалы с наполнителями из шунгитовых пород / И.Е. Калашников, В.В. Ковалевский, Т.А. Чернышова, Л.К. Болотова // Металлы. – 2010. – № 6. – С. 85–95.

4. Калашников И.Е. Исследование структуры и свойств алюмоматричных композиционных материалов, модифицированных наноразмерными частицами // Заготовительные производства в машиностроении. – 2011. – № 8. – С. 27–36.

Кирнос И.В., Чусов С.А., Ильиных С.А.,
Гельчинский Б.Р., Крашанинин В.А., Чачин А.И.
Институт металлургии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ СВЕРХЗВУКОВОГО НАПЫЛЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

В ИМЕТ УрО РАН разработан и создан действующий экспериментальный стенд «Корвет-4» для сверхзвукового напыления порошковых материалов. Изготовлен оригинальный тиристорный источник питания плазмотрона. Исследована его работа в диапазоне напряжения U = 220–400 В и тока I = 40 – 250 А. Результаты исследований использованы для моделирования функциональной схемы источника питания с целью оптимизации процессов возбуждения дуги, регулирования и стабилизации тока плазматрона в различных режимах, защиты схемы от несанкционированных воздействий и аварийных режимов. На основании полученных данных уточнены параметры дежурного, переходного и рабочего режимов, откорректирована конструкция ранее разработанного базового плазматрона «ПБ-08».

С целью повышения надежности работы установки изменена схема питания плазматрона:

заземление анода плазматрона позволило избежать аварийных режимов, возникающих при замыкании нижней (анодной) части плазматрона через электропроводную плазменную струю, заполненную металлическим порошком, на металлический напыляемый объект или конструктивные элементы манипулятора;

высокочастотное возбуждение дуги, прежде организованное как поочередный пробой катодного и анодного промежутков, в настоящей конструкции обеспечивает одновременный пробой обоих промежутков, оставляя межэлектродную вставку электрически изолированной от источника питания.

Конструкция плазматрона существенно упрощена, что повышает надежность его эксплуатации, увеличивает ресурс его термо и электро-нагруженных элементов, улучшает условия охлаждения в циклах дистиллированной и оборотной воды.

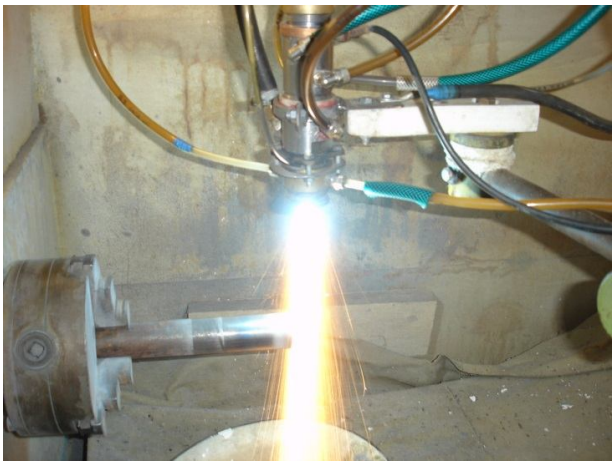


Рисунок 1 – Плазмотрон «ПБ-08»

Отработан вариант топливоснабжения плазмотрона с использованием сжатого газообразного метана. На рис. 1 представлен работающий плазмотрон «ПБ-08».

Разработан и опробован на стенде оригинальный электрический датчик, позволяющий надёжно поддерживать заданное соотношение «окислитель/топливо» в плазмообразующем газе.

Регламент плазменно-химического процесса в реакционном тракте плазматрона, в зависимости от типа наносимого покрытия и физико-химических свойств частиц порошков, может предъявлять различные требования как к составу радикалов в плазменном потоке, так и к термодинамическим параметрам реакционной среды. Поэтому, с целью повышения надежности охлаждения и упрощения адаптации оборудования к различным технологическим требованиям анод разделён на два функциональных элемента: верхний, ответственный за оптимальное взаимодействие с анодным пятном дуги плазматрона, и нижний, отвечающий за приём в струю по-

рошка, за его ускорение до сверхзвуковых скоростей и гомогенизацию частиц порошка в плазменной струе.

Доказана возможность ввода мелкодисперсных порошков, в том числе имеющих низкий удельный вес, в сверхзвуковую струю, транспортируемую в ограждённом канале, что позволяет организовать в канале целевую физико-химическую ситуацию. Это открывает возможность рассматривать анодный канал плазматрона как управляемый плазмохимический реактор с широким спектром реализации процессов. Следует отметить, что добавка в воздушный носитель стехиометрического количества метана приводит к резкому уменьшению износа катода и анода при эксплуатации, а также к регулируемому повышению энтальпии струи.

Разработана конструкция верхней части анода, на котором выполняется принудительное перемещение анодного пятна электромагнитным полем, что позволит отказаться от аэродинамического воздействия на дугу, увеличить ресурс анода, повысить управляемость в сложных режимах.

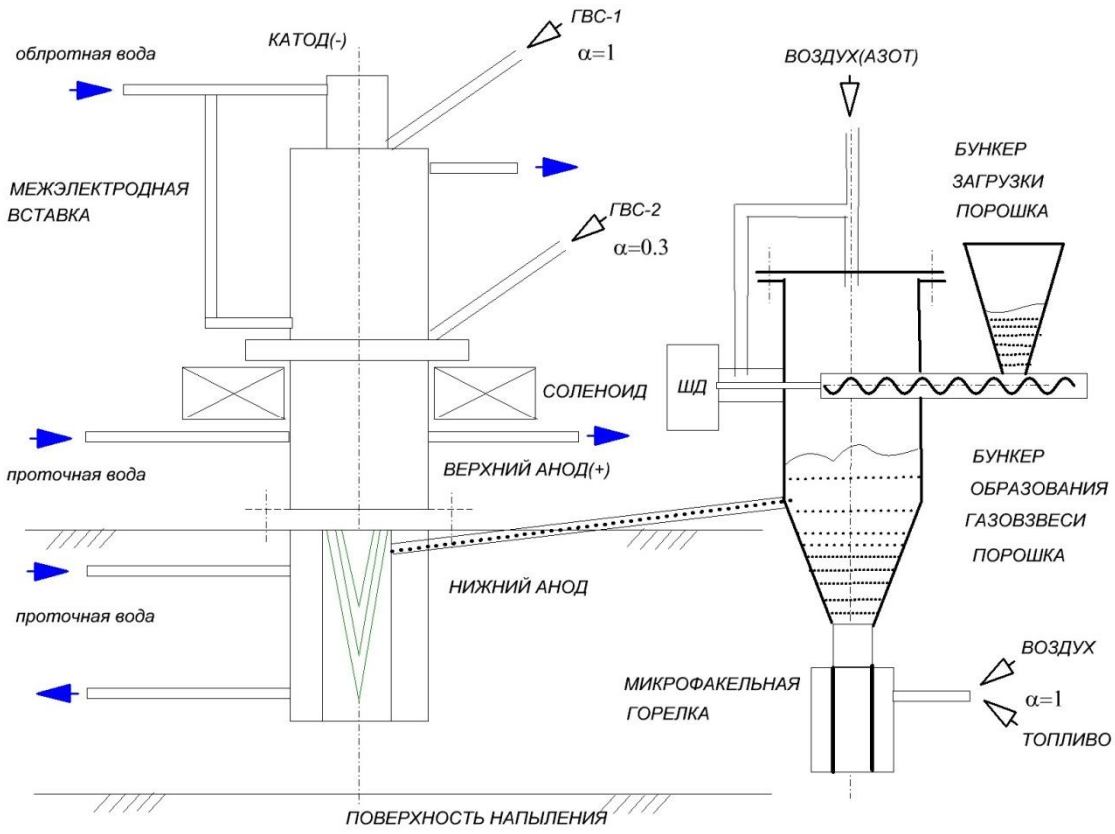


Рисунок 2 – Блок-схема «плазмотрон-порошковый питатель» установки «Корвет 4»

Исследованы процессы питания плазмотрона порошками с различными физико-химическими свойствами. Определены условия равномерной подачи порошка во внутреннее пространство нижней части анода и равномерного распределения твёрдой фазы по сечению диффузного канала. На рис. 2 представлена блок-схема «плазмотрон–порошковый питатель» установки «Корвет 4». Реализована система подачи порошка в канал нижней части анода через наклонные дюзы под действием давления, поддерживаемого топливо-воздушной смесью, подаваемой в бункер через специально организованный кипящий слой, состоящий из твёрдой фазы, транспортируемой регулирующим шнеком из верхнего бункера.

Такая система позволяет отказаться от использования воздуха в качестве транспортирующего газа (что часто мешает регламентному протеканию процесса) или дорогостоящего азота (аргона).

Работа выполнена при финансовой поддержке УрО РАН (Программа ОХНМ РАН, грант N 12-Т-3-1028) и РФФИ (грант № 13-08-12111 офи-м)

Клименко С.А., Копейкина М.Ю. Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина
Рощупкин В.В., Ляховицкий М.М. Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия,
Курьята П.В. ООО «НПС», Житомир, Украина

СОЗДАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРХТВЕРДЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ cBN

Развитие технологий механической обработки деталей из закаленных сталей, чугунов, твердых сплавов и др. материалов высокой твердости связано с повышением производительности за счет увеличения скорости резания и подачи, снижения стоимости обработки, что, в свою очередь, обусловлено созданием новых режущих инструментов в результате применения высокоэффективных инструментальных композитов, таких как сверхтвердые материалы на основе кубического нитрида бора (cBN).

Содержание cBN в инструментальных композитах может варьироваться в широких пределах. К группе *BL* (по классификации

ISO) относят композиты с 45–65 об. % cBN. Матрица, дисперсность структуры которой отвечает субмикронному диапазону, мультифазна и имеет сложный химический состав на основе элементов Ti, C, N, Al, O. Основное предназначение композитов группы *BL* – применение в инструментах при обработке закаленных сталей твердостью 55–65 HRC с высокими скоростями резания, в том числе в условиях прерывистого точения.

Композиты с содержанием cBN в диапазоне 70–95 об. % (группа *BH* по классификации ISO) предназначенны для использования в инструментах при точении и фрезеровании серых и отбеленных чугунов, наплавленных, а также других упрочненных, материалов. Такие инструменты обладают повышенной стойкостью к ударным нагрузкам и могут использоваться при обработке твердых сплавов с высоким содержанием кобальта.

К группе *BC* по классификации ISO относятся композиты с защитным покрытием.

Требуемая прочность композита достигается: – созданием комбинированной гетероструктуры, в которой матрица на основе cBN упрочняется путем введения высокопрочных изометричных частиц поликристаллического cBN; – созданием гетеромодульный структуры, в которой в матрицу на основе cBN вводятся низкомодульные включения в количестве 3–5 об. %.

В ИСМ НАН Украины первый подход использован при создании композита «гереронит», второй – композита «борсинит». Оба композита относятся к группе *BH*.

Композит «гетеронит» показал себя, как высокоэффективный материал для оснащения режущих инструментов, применяемых при обработке в тяжелых условиях точения закаленных сталей, чугунов и жаропрочных износостойких покрытий. Оценка величины ломащей подачи для инструмента, оснащенного композитом «гетеронит», при обработке напыленного покрытия показала, что ее величина находится на уровне 1,5 мм/об, что открывает перспективы создания на основе этого керамического композита резьбовых инструментов.

Инструмент, оснащенный композитом «борсинит», показал высокую эффективность при обработке закаленных сталей, чугунов, наплавленных и напыленных покрытий, твердых сплавов с содержанием Co > 15 %.

При создании композитов на основе cBN для оснащения режущих инструментов, кроме механических характеристик, следует

уделять внимание обеспечению химической стойкости композита, необходимой для реализации процесса обработки. Последнее особенно важно при обработке с высокой скоростью резания, при которой на контактных поверхностях инструмента имеет место средняя температура ~ 1200 °С.

На интенсивность изнашивания инструмента, оснащенного ПСТМ на основе cBN, оказывает влияние химическое взаимодействие инструментального материала с обрабатываемым, а также элементами окружающей среды, эффективно управлять которым можно за счет введения в состав композита соответствующего ингибитора, сдвигающего протекание реакций в более высокотемпературную область. Этот эффект учтен при изготовлении композита «борсинит».

Эффективным вариантом управления химическим взаимодействием инструментального материала с обрабатываемым, а также элементами окружающей среды является введение ингибитора в покрытие на режущем инструменте, например вакуум-плазменное.

Применение разработанных композитов групп *BH* и *BC* способствует повышению эффективности процесса обработки труднообрабатываемых материалов за счет повышения ее производительности и снижения интенсивности изнашивания инструмента (рис. 1).

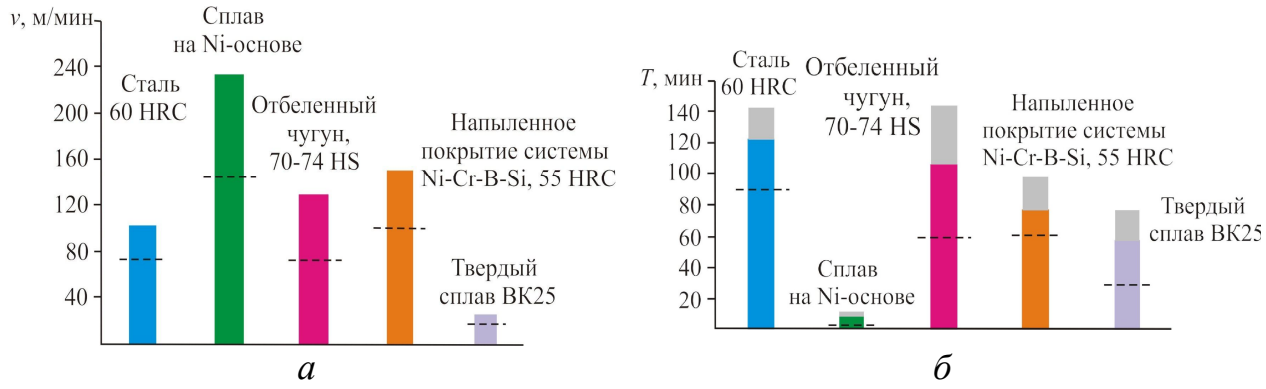


Рисунок 1 – Повышение скорости резания (*а*) и стойкости инструмента (*б*) за счет применения композита «борсинит» (выше черты) и композита «борсинит» с покрытием на основе NbN (□) (ниже черты – эталонный композит cBN-AlN, AlB_{12})

Перспективными направления в создании и дальнейшем совершенствовании сверхтвердых композитов на основе cBN для оснащения режущих инструментов представляются следующие:

• создание гаммы материалов для оснащения режущего инструмента, способных адаптироваться к условиям эксплуатационного нагружения в зоне обработки;
• разработка композитов с функционально-ориентированными свойствами участков, отвечающих различному эксплуатационному нагружению в режущем инструменте;
• разработка «интеллектуальных» материалов инструментального назначения, способных к самодиагностике.

Работа выполнена при поддержке ГФФИ Украины (проект Ф53.7/051) и РФФИ (грант 13-08-90429)

Клименко С.Ан., Манохин А.С. Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины,
Задорожний С.А. НТУУ «Киевский политехнический институт», Киев, Украина

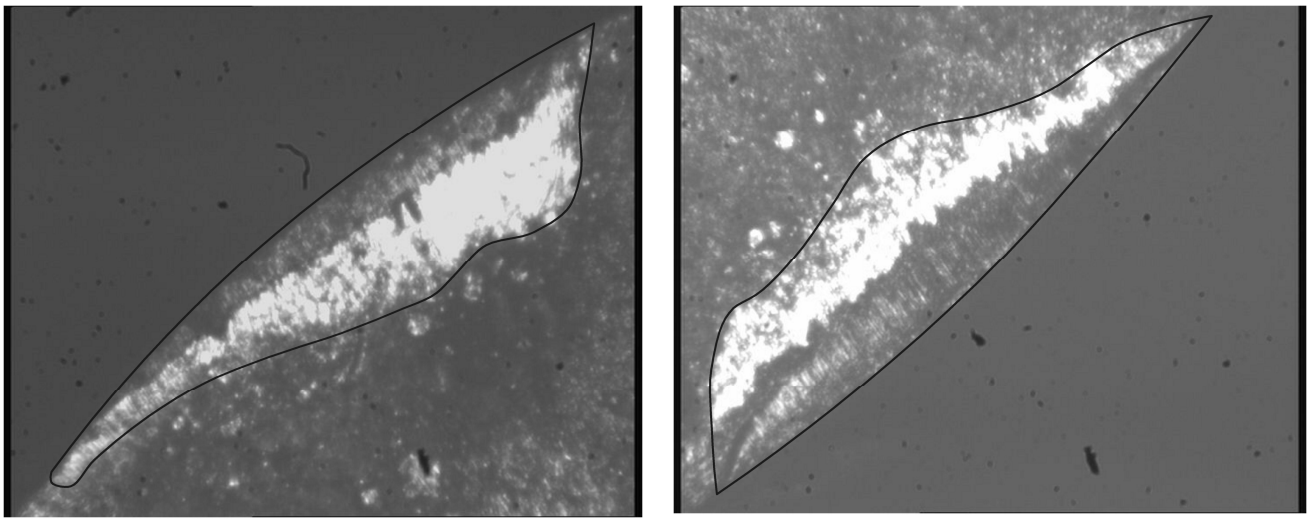
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ КОНТАКТА СТРУЖКИ С ПРЕДНЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ ПСТМ НА ОСНОВЕ КНБ

Определение величины длины контакта стружки (C) с передней поверхностью инструментов из ПСТМ на основе КНБ является важной задачей, поскольку точное определение этой величины играет важную роль при аналитических расчетах таких параметров процесса резания как: силы резания, напряженное состояние режущего инструмента, определение температур резания, коэффициента трения и т. д.

Наиболее часто длину контакта стружки с передней поверхностью определяют аналитически, используя эмпирические формулы, полученные с помощью теоретического анализа зоны стружкообразования. Анализ результатов расчетов, выполненных с использованием этих формул, показывает существенное отличие друг от друга. Поэтому наиболее достоверными данными будут экспериментальные данные, полученные для каждого отдельного случая обработки.

Для проведения экспериментов были использованы режущие пластины из ПСТМ на основе КНБ с нанесенным тонким слоем ме-

ди. Использование такого инструмента дает возможность четко видеть исследуемую зону контакта (рис. 1).



а *б*

Рисунок 1 – Вид контактных участков инструмента после точения стали ШХ15 (*S* = 0,14 мм/об; *t* = 0,2 мм); а – *v* = 1,0 м/с; б – *v* = 1,5 м/с

Экспериментально определялись такие характеристики как длина контакта, ширина активной части режущей кромки (*b*), а также площадь контакта (*A*). Результаты исследований представлены в табл. 1 и на рис. 2.

Таблица 1 – Усадка, расчетная и экспериментальная длина контакта стружки, активная длина режущей кромки и площадь контакта при точении стали ШХ15

v, м/с	*S*, мм/об	*t*, мм	ζ	$C_{эксп.}$, мм	$C_{расчт.}$, мм	$b_{эксп.}$, мм	$b_{расчт.}$, мм	*A*, $мм^2$
1,0	0,14	0,2	3,4	0,245	0,231	1,33	1,34	0,321
1,5			3,0	0,221	0,201	1,33	1,32	0,278
2,0			2,5	0,178	0,165	1,33	1,31	0,231
2,5			2,3	0,158	0,151	1,33	1,35	0,213

Расчетные значения длины контакта стружки с инструментом получены по формуле Ю. А. Розенберга [1]:

$$C = a \cdot \xi^{0,1} \left[\xi(1 - tg\gamma) + \frac{2}{\cos \gamma} \right]. \quad (1)$$

Значения усадки стружки по толщине определены экспериментально. С помощью микроскопа определялись поперечные размеры

стружки a_1 и с использованием (1.2) рассчитывали коэффициент усадки стружки.

$$\xi_a = \frac{a_1}{a}. \qquad (2)$$

Активная длина режущей кромки для цилиндрической пластины вычислялась по формуле:

$$b = r \cdot a\cos\left(\frac{r-t}{r}\right) + r \cdot a\sin\left(\frac{S}{r}\right), \qquad (3)$$

где r – радиус режущей пластины.

Анализ результатов исследований дает возможность сделать вывод, что экспериментально полученные значения длины контакта стружки с передней поверхностью инструмента из ПСТМ на основе КНБ подтверждаются теоретическим расчетом с использование (1.1). Это дает возможность их использовать для решения ряда теоретически и практически проблем обработки металлов резанием инструментами из ПСТМ на основе КНБ, что будет способствовать совершенствовать известных методик, а также разработке новых методов исследования процессов резания.

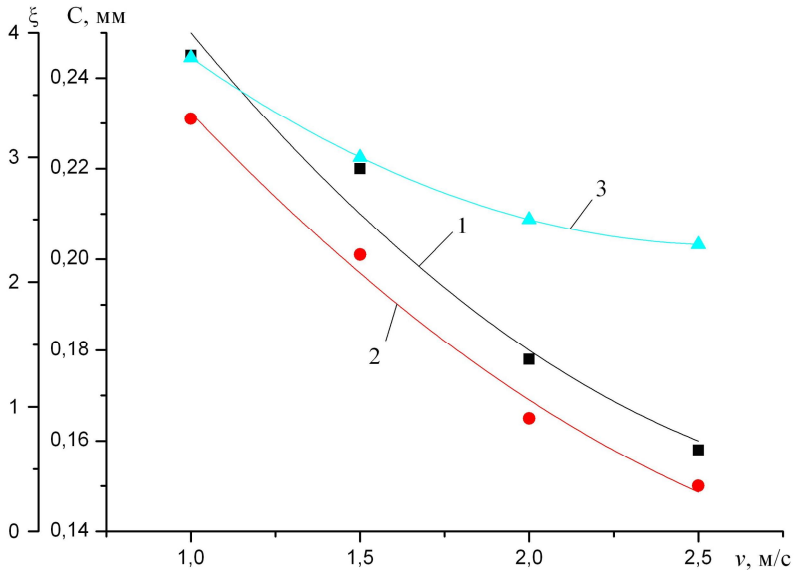


Рисунок 2 – Зависимость экспериментальной – *1* и расчетной – *2* длины контакта стружки с инструментом, а также усадки стружки – *3* от скорости резания при точении стали ШХ15 (*S* = 0,14 мм/об; *t* = 0,2 мм)

Литература

1. Розенберг Ю.А. Резание материалов: Учебник для техн. ВУЗов. – Курган: Изд-во ОАО «Полиграфический комбинат», Зауралье. – 2007. – 294 с.

Комарова А.Л., Федченко И.И. Украинская
государственная академия железнодорожного
транспорта, Харьков, Украина

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАТРАТ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Необходимым условием обеспечения эффективности управления затратами в системе качества является наличие экономических инструментов, обеспечивающих измерение затрат, связанных с управлением и эффектов управления.

Управление процессами и присущими им несоответствиями может осуществляться напрямую через общую систему управления предприятием и создаваемую на предприятии систему качества.

Для эффективного управления качеством на предприятии необходимо создание специального экономического механизма: системы управления затратами, связанными с качеством.

Система должна обеспечивать в отношении данных затрат выполнение всех функций управления, находящихся в рамках полномочий системы качества как субъекта управления, включая учет, анализ, выработку управляющих воздействий. В качестве основного методического подхода к управлению затратами, связанными с качеством, предложен финансовый подход, позволяющий осуществить комплексное решение задач управления, включая текущую и инвестиционную деятельность СК.

Структурно, система управления затратами должна включать организационное, информационное и методическое обеспечение.

Разработанная методика оценки эффективности СК в области управления затратами включает 3 этапа анализа: стратегический, оперативный статический и оперативный динамический.

Стратегический анализ эффективности проводится на этапе принятия решения о целесообразности внедрения на предприятии специализированной подсистемы управления качеством. Данный анализ рассматривает влияние деятельности в области качества в стратегическом аспекте и затрагивает все факторы формирования финансовых результатов, включая затраты и выручку предприятия.

Оперативный статический анализ является важным элементом функции контроля СК. Элемент статичности данного уровня анализа

состоит в том, что предметом оценки является эффективность функционирования СК в конкретный момент (период) времени без рассмотрения эффективности возможных управляющих воздействий, способных изменить параметры функционирования СК. Результатом анализа является констатация факта статической эффективности СК в определенный момент времени или ее неэффективности с выявлением области затрат, требующих осуществления управляющих воздействий и формулирование альтернативных вариантов управляющих воздействий на качественном уровне.

Оперативный динамический анализ предполагает обработку альтернативных вариантов управляющих воздействий, оценку их эффективности и построение оптимальной программы управляющих воздействий и включает три этапа:

- оценку управляющих воздействий в соответствии с индивидуальным критерием эффективности;
- оптимизацию программы управляющих воздействий в соответствии с внутренними критериями эффективности СК;
- оптимизацию программы управляющих воздействий в соответствии с общесистемными критериями эффективности.

Оптимизация программы управляющих воздействий с точки зрения внутренних критериев эффективности СК состоит в формировании набора не исключающих друг друга альтернатив, обеспечивающих максимизацию чистого приведенного эффекта реализации мероприятий. При этом не учитываются ограничения ликвидности (объемы свободных ресурсов предприятия) и общесистемные альтернативы использования ресурсов. Данные допущения делаются вследствие того, что СК не контролирует финансовые потоки предприятия, планирование ликвидности и осуществление инвестиционной активности производится на общесистемном уровне.

Оптимизация программы управляющих воздействий в соответствии с общесистемными критериями эффективности обеспечивает учет общесистемных альтернатив вложений и ограничения по ликвидности программы. Оптимизация программы управляющих воздействий производится на основе оригинальной модели синхронного финансового планирования. Реализация описанных процедур анализа эффективности обеспечивает согласование деятельности в области качества с общим управлением предприятием и достижение цели максимизации оперативного экономического эффекта в области качества.

Копылов В.И., Антоненко Д.А. НТУ Украины
«Киевский политехнический институт», Киев, Украина

ПРОЧНОСТЬ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ МНОГОФАЗНОЙ СТРУКТУРЫ

В технологиях нанесения газотермических покрытий наряду с использованием традиционных порошковых материалов разрабатываются новые, обеспечивающие уникальный комплекс физико-механических свойств, полученных путем реализации определенного структурного состояния в объеме композиции. Актуальными являются вопросы создания и оценки свойств различных комбинаций уже существующих порошков, а также создание принципиально новых композиций с учетом химического, фазового состава и размерных характеристик исходных материалов.

Целью исследования является определение уровня когезионной и адгезионной прочности покрытий нового состава, их сопоставление с параметрами трещиностойкости.

Исследовались многокомпонентные покрытия на основе металлов, сплавов, оксидов (Mo, Ni–Al, Ni–Cr, Al_2O_3, TiO_2), сложных комплексных оксидов в виде наночастиц аморфного диоксида кремния – аэросила (SiO_2).

Основополагающим параметром для оценки выше указанных характеристик является определение модуля упругости сформировавшегося покрытия. В данной работе была применена методика определения модуля упругости покрытия по параметрам его внутреннего трения (ВТ). Выражение для определения модуля упругости покрытия выводится на основе экспериментальных данных по ВТ чистого образца и образца с покрытием, используя компиляцию известных подходов к описанию ВТ в твердых телах. Трещиностойкость, когезионная и адгезионная прочность покрытий определялась расчетным путем, используя кривые изгиба образцов с покрытиями, с фиксацией напряжений, при которых возникает тот или иной вид разрушения системы (растрескивание и/или отслоение).

Согласно полученным результатам, наличие ультрадисперсных составляющих в материале покрытия оказало упрочняющий эффект на композицию. Например, когезионная прочность покрытия NiAl составила $\sigma_{ког}$= 198 МПа, а при использовании в качестве покрытия смеси NiAl+SiO_2 прочность возросла до $\sigma_{ког}$= 376 МПа. Получены

зависимости влияния размера ультрадисперсной фазы на прочность покрытия. Установлено значительное повышение трещиностойкости композиций с 6,44 МПа/м^2 до 12,42 МПа/м^2.

Была оценена демпфирующая способность композиций методом внутреннего трения. В качестве критерия демпфирующей способности принято произведение модуля упругости композиции на декремент затухания колебаний в ней (Eδ). Для покрытий из порошка NiAl критерий составил 0,345, а для покрытий с наносоставляющими он находился в диапазоне 0,5–1.

Корж В.М., Попіль Ю.С. НТУ України «Київський політехнічний інститут», Київ, Україна

РІЗАННЯ МЕТАЛУ КОМБІНОВАНИМИ ГАЗОТЕРМІЧНИМИ МЕТОДАМИ

Для різання металів товщиною 0,2–10 мм з високими вимогами до якості поверхні виробу широко застосовується лазерне різання. При збільшені товщини металу, потрібно збільшення потужності джерела нагрівання для підвищення ефективності процесу, що викликає підвищення вартості погонного метру різу. Застосування комбінованих методів різання, а саме газолазерного різання, з додатковим використанням підігріваю чого воднево-кисневого полум'я, дозволяє збільшити технологічні можливості процесу.

В якості газів для видалення металів використовують аргон, азот, а для підтриманням екзотермічних реакцій горіння металів, повітря та кисень.

Недоліком цього способу є те, що геометричній розмір газового струменю (кут розкриття газового потоку) і сфокусованої плями лазерного випромінювання, впливають на збільшення ширини різу та на якість поверхні різу розрізаного металу. Лазерне різання вуглецевих сталей проводиться частіш за все з використанням кисню. При взаємодії кисню з металом розігрітим лазерним променем відбувається екзотермічна реакція окислення і тепло, що виділяється в процесі окислення заліза в 3–5 разів більше, ніж підведеної потужності лазерного випромінювання. Продукти горіння - оксиди видуваються з порожнини різу цим же струменем кисню. Ширина різу

визначається діаметром сфокусованого променя і в залежності від швидкості різання може бути знижена до 0,15 мкм.

При лазерній обробці металів значне місце займає проблема, пов'язана з відбиванням лазерного випромінювання. Зменшити коефіцієнт відбивання можливо при застосуванні попереднього затемнення поверхні металу. Для збільшення поглинання, поверхню зразка покривають спеціальними речовинами, добре поглинаючими лазерне – випромінювання. З сторони лазерного променю попередньо наносять шар матеріалу з меншою відбиваючою здатністю. Недолік полягає в нерегламентованих розмірах шару цього матеріалу, в наслідок чого, при різних режимах процесу його ефективність не значна і може мати місце зниження коефіцієнта корисної дії (ККД). Крім того, нанесення шару присаджувального матеріалу є трудоємною операцією, що приводить до зниження технологічності процесу

Нагріта поверхня, яка окислюється сприяє поглинанню металом променевої енергії і підвищує ефективність нагрівання (чисті метали поглинають тільки 2–6 % теплової енергії променю, а окисиди металів – практично 100 %), що сприяє кращому поглинанню енергії лазерного променю.

В даній роботі вирішується задача вдосконалення способу різання тонколистових металів, а саме різання металів з високою відбиваючою здатністю поверхні не залежно від хімічного складу, за рахунок того, що до дії лазерного променя додається дія водневокисневого полум'я (ВКП), яке отримується при спаленні суміші, яка виробляться електролізно-водяними генераторами, нагріває метал і викликає окислення поверхні.

Використання ВКП отриманого при спаленні цієї суміші, дозволяє отримувати розміри факелу співрозмірні до діаметра лазерної плями, у співвідношенні між киснем і воднем (1:2), що дозволяє окислити поверхню і відповідно підвищити коефіцієнт поглинання поверхні лазерного променя.

До переваг цього полум'я можна віднести :

1. Отримання мікро-факелу з стабільним стійким горінням.
2. При різанні сталей за відсутністю вуглецю в продуктах горіння, знижується вірогідність гартування крайок різу.
3. Відсутність балонного господарства та транспортних витрат.

Метою роботи було дослідження впливу воднево-кисневого полум'я в комплексному поєднанні з лазерним променем на процес різання тонколистового металу.

В якості обладнання використовувався: експериментальний стенд Г-Ои-16-1, який оснащений лазерним випромінювачем на алюмо-ітрієвому гранаті (довжина хвилі випромінювання 1,06 мкм), що працює в режимі модульованої добротності (частота імпульсів 1–50 кГц) та середньою потужністю 27Вт. Лазерне випромінювання фокусувалось в пляму діаметром 50 мкм. Для отримання пальної суміші використовували електролізно-водний генератор з продуктивністю по виробленню пальної суміші 0,1–0,4 $м^3$/год.

Для досліджень була зібрана дослідна установка з механізованим переміщенням лазерної головки та пальника.

Для дослідження процесу різання, було вибрано анізотропну тонколистову сталь х/к 3411 (трансформаторну сталь) товщиною 0,20–0,50 мм, яка має складності при обробці механічними способами.

Для запобігання деформацій, при різанні трансформаторної сталі зразки металу механічно закріплювались. Різання проводились на трьох визначених швидкостях різання 1,4,8 мм/с.

При постійній потужності лазера, змінними параметрами були; витрати пальної суміші, довжина факелу, відстань від газового полум'я до лазерного променя, товщина металу. Досліджувався вплив, при переміщенні газового полум'я на фіксованій відстані перед лазерним променем, та суміщенням полум'я з лазерним променем.

Враховуючи, що ВКП має окислювальний характер горіння, це приводить до окислення поверхні металу. Відповідно ВКП, ще є додатковим джерелом енергії, що дозволяє підвищити теплову потужність комбінованого нагрівання полум'я і лазерного променю

Проведені дослідження показали, що максимальна товщина зразка, яку можна було розрізати лазерним променем потужністю 27 Вт, обмежується товщиною до 0,35 мм, в той час, як різання комбінованим способом за рахунок додаткової теплової потужності можна різати до 0,5мм, при витратах ВКС 0,05–0,1 $м^3$/год. Ефективна теплова потужність такого полум'я, яка вкладається в поверхню метала становить 6–12,5 Вт /с.

Найкращий ефект процесу різання спостерігається при попередньому підігріві газовим полум'ям перед лазерним випромінюванням. Ширина різу менша порівняно з різанням тільки одним лазерним випромінюванням. Це підтверджує те, що коефіцієнт по-

глинання нагрітої та окисленої поверхні металів лазерного випромінювання є більшим, що сприяє підвищенню ефективності різання за рахунок нагрівання металу газовим факелом.

При суміщенні ВКП з лазерним випромінюванням збільшується ширина різу і товщина металу, що ріжеться. Це пояснюється збільшенням об'єму розплаву між шлаковою оболонкою та твердим основним металом.

Висновки

1. При різанні тонколистових металів з високою відбиваючою здатністю (мідь, алюміній, нерж. сталь), нагрівання листа металу воднево-кисневим полум'ям перед лазерним променем, збільшує коефіцієнт поглинання металом лазерного променя, що підвищує ефективність процесу різання і зменшує ширину різу.

2. При суміщенні воднево-кисневого мікро-полум'я з лазерним променем підвищується теплова потужність процесу різання для металів, в тому числі і за рахунок окислюючої дії і утворення екзотермічних реакцій.

3. Для тонколистових металів з високою відбиваючою здатністю попередній нагрів полум'ям, в залежності від товщини, може здійснюватись при витратах пальної суміші 50–300 дм^3 /год., для процесу накладання полум'я на лазерний струмінь 25–100 дм^3 /год.

4. Комбіноване поєднання двух джерел енергії дозволяє підвищити технологічні можливості процесу різання тонколистових металів на підприємствах де використовуються малопотужні лазерні установки.

Кривощеков В.Е. Учебно-исследовательский центр
«Надежность в судоходстве», Одесса, Украина

МЕЖКУЛЬТУРНЫЕ КОММУНИКАЦИИ – ВОТ ПРОБЛЕМА В МАШИНОСТРОЕНИИ И НА ТРАНСПОРТЕ УКРАИНЫ

В докладе рассматривается актуальная проблема межкультурных коммуникаций как основная часть организационной культуры любого производства и транспортировки любой продукции на примере морской индустрии. Представлен анализ уже достигнутых результатов её решения в мировом судоходстве, что требует активи-

зации исследований в этом направлении украинских научных и учебных организаций. В условиях дальнейшей глобализации всех видов мировых процессов без определения и фиксации (стандартизации) этой составляющей всякий научно-технический прогресс в Украине либо затормаживается, либо вовсе останавливается.

По мнению автора, украинское высшее техническое морское образование и вся морская индустрия Украины в лице её формальных лидеров ни на йоту не приблизилось к пониманию актуальных уже сегодня во всём мире проблем за прошедший период своей, так называемой, независимости. Почему? Потому, что, во-первых, во-вторых, и, в-третьих, ещё не завершился 40-летний период «блуждания в пустыне», известный по библейским писаниям…. При этом общий уровень образования, профессиональной подготовки и культуры «новых» мореплавателей из Украины не обеспечивает их реальную конкурентоспособность для работы в составе смешанных судовых экипажей из стран с разными культурными доминантами и на торговых судах под любыми флагами мира. Собственного торгового флота в Украине фактически не осталось. Порты Украины, как последний бастион национальной морской индустрии, по всей вероятности с принятием «нового/старого» Закона «О морских портах Украины» (2013 год) вот-вот придут в упадок… Говорить о сегодняшнем украинском судостроении, судоремонте… с позиций действующих международных конвенций (стандартов, норм) и опыта мировых лидеров морской индустрии как-то даже и неудобно. Да и сказано уже достаточно. Не смотря на то, что многие лидеры бизнеса, ученые и политологи во всем мире уже длительное время бьются над проблемами значимости культурных различий людей и их воздействия на межнациональные отношения в современную эпоху глобализации, еще много вопросов в этой области остаются открытыми. Помочь в решении этих проблем может новая концепция «Культуры интеллекта» или Cultural Intelligence (CQ). Основная идея здесь заключается в том, что исследования (разработка методологии и практическая оценка) степени культуры интеллекта (коэффициента культурного развития – CQ) дают глобальные преимущества любого вида бизнес – организациям. Она позволяют дать ответ на следующий вопрос: почему некоторые индивидуумы (группы людей) обладают большими способностями, чем другие, к работе в ситуациях культурного разнообразия (в разных странах и в смешанных кампаниях, т.е. с другими людьми - но-

сителями других культур). Морская индустрия уже сейчас является самым ярким представителем всего самого разнообразного и глобализированного в мире, поэтому разработка и внедрение концепции Cultural Intelligence (CQ) должна стать главной целью и основной задачей исследований в морских (и не только) вузах НИИ Украины. В Морской академии Калифорнийского государственного университета (США), например, эта концепция уже доведено до современного уровня совершенства не только через инструкции к учебным программам, но и через экспериментальные исследования. Результаты оправдывают появление новой теории в области науки и практики менеджмента и организационной психологии под названием Cultural Intelligence, или просто CQ. Различные термины и определения, в том числе "интеркультурная компетентность", "глобальное мышление" и "глобальные компетентности" находятся в пользовании в течение уже целого ряда лет, но определение (дефиниция) Cultural Intelligence (CQ), как специального вида исследований и метода практической оценки интеллектуальных способностей (Intelligence) человека еще и сейчас находится в разработке. Считается, что первое обоснование этой темы принадлежит Христофору Еарли (Christopher Early), который описал это явление в 2002 в статье по результатам исследований организационного поведении, опубликованной издательством Стэндфордского Университета в 2003. Позже это направление исследований было развито и усовершенствовано консорциумом профессоров из США, Великобритании и Сингапура. Исследователи интеллектуальной культуры (Cultural Intelligence, CQ) стремятся в итоге создать шкалу и систематически оценить свойство (способности) индивидуума сосуществовать и работать с людьми различных культур. В то время как для большинства людей, уже стало обыденным понятие IQ (Intelligence Quotient = Коэффициент умственного развития) – мера способностей разума (мера ума = "intelligence") и, возможно, понятие EQ (Emotional Quotient = Коэффициент развития чувственности) - мера эмоциональных способностей (мера сердца = "emotional intelligence") – понятие и концепция CQ – это новая идея, которая выстроена на этих вышеуказанных и более ранних концепциях, объединяя их и позволяя ввести меру способностей человека взаимодействовать эффективно на перекрестках различных культур.

Глобализация – многомерный процесс, который, подобно всем значимым социальным (общественным) процессам, открывается од-

новременно во множестве сфер своего существования. Именно поэтому глобализация уже создала условия, при которых решение проблемы межкультурной коммуникации влияет на многие другие аспекты в мировой индустрии, в торговле и на транспорте. Анкетирование, обследование, тестирование и другие оценочные инструменты, которые призваны обеспечить измерение уровня культуры, становятся более разнообразными (усложненными, универсальными, детализированными), и все более пригодными для широкого использования в самых различных сферах общественных (публичных) и частных (личностных) отношений. Тем из нас, кто работает в сфере морского образования, воспитания, подготовки моряков и береговых специалистов, а также тем, кто формирует педагогические (дидактические) концепции необходимо отслеживать и приспосабливать эти, уже существующие в мире инструменты к использованию в достижениях наших общих целей вне зависимости от миссии каждого отдельного высшего учебного заведения или научного института. Подъем уровня культурности всех производственных отношений, а главное, уровня учащейся молодежи должен служить чрезвычайно существенным доказательством того, что без этого нельзя выжить и процветать во все более глобализируемых любых видах человеческой деятельности на планете Земля, и тем более, уже сегодня, на глобальном рынке труда в морской индустрии.

Кудряшов Б.А., Фатюхин Д.С. Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Россия

ПОЛУЧЕНИЕ ЗАДАННЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ СПОСОБОМ АЗОТИРОВАНИЯ С ПОСЛЕДУЮЩИМ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ППД

Транспортная, строительная, коммунальная и др. отрасли не могут обойтись без использования сложной специализированной техники. Эта техника задействована практически во всех процессах обеспечивающих жизнедеятельность человека. Выход из строя какого-то вида техники, может привести к простою, нарушению ре-

жима проведения работ, что приводит к дополнительным экономическим затратам. Вся автодорожная и специальная техника, у которой есть подвижные элементы, такие как подъемные кузова, стрелы, ковши и другое навесное оборудование имеет пальцевые соединения типа «вал-втулка». Такие соединения в процессе интенсивной работы в тяжелых условиях (запыленность, перепады температур) воспринимают высокие циклические нагрузки, что приводит к интенсивному износу и, вследствие этого, к выходу из строя техники. Обеспечение высокой надёжности работы техники на объекте, а так же снижение времени простоя техники в ремонте является важной задачей. Одним из путей повышения надежности является увеличение времени наработки на отказ. Это можно достичь при помощи увеличения износостойкости соединения «вал-втулка» путем создания оптимальной шероховатости поверхности и уникальных механических свойств поверхностного слоя.

Из года в год не подает интерес к технологиям поверхностного упрочнения, поскольку именно состояние поверхностного слоя определяет эксплуатационные свойства деталей машин и механизмов. Одним из известных способов целенаправленного модифицирования стальной поверхности является азотирование – повышение твердости и износостойкости детали в результате диффузии азота при повышенной температуре.

Другим способом является динамическое воздействии на сплав с помощью ультразвуковых колебаний (УЗ ППД).

Краткий анализ способов показал что, при азотировании и упрочнении происходит изменение физико-механических и эксплуатационных свойств изделий в результате принципиально разных процессов. При азотировании это образование нитридов и карбонитридов железа, при упрочнении это результат пластического деформирования. Очевидно, что применение комбинированного метода, включающего азотирование и упрочнение должно давать качественно новые результаты. При этом необходимо установить оптимальный порядок воздействия азотирование – ультразвуковое упрочнение или наоборот ультразвуковое упрочнение – азотирование.

В результате для максимального повышения эксплуатационных свойств деталей вал-втулка необходимо применять следующую последовательность обработки: нормализация – азотирование – УЗ ППД свободным деформирующим элементом – УЗ ППД связанным деформирующим элементом.

Повышение эксплуатационных свойств деталей класса вал-втулка, удовлетворяющего высоким требованиям к износостойкости и надежности узлов деталей машин, подразумевает применение комплекса технологий направленных на одновременное снижение стоимости, как производства, так и ремонта деталей и повышение их долговечности двигателя.

В этой связи проведен анализ показателей состояния поверхности деталей из различных сталей и оценка их износостойкости при обработке поверхностного слоя при помощи различных технологий. Данный анализ позволил следующие выводы и разработать ряд рекомендаций:

Метод комбинированной обработки с использованием УЗ ППД и азотирования позволяет значительно снизить основные параметры шероховатости поверхности деталей (Ra, Rz, Rmax, S, Sm) тем самым повысить надежность узлов дорожных машин.

По сравнению с азотированием, как основным промышленным методом обработки поверхностей деталей машин класса вал–втулка, предложенный метод комбинированной обработки УЗ ППД+азотирование обеспечивает значительно меньшую (в 3 раза) шероховатость обработанной поверхности *Ra* 0,08.

Приведённые результаты позволяют утверждать, что комплексное ультразвуковое воздействие и азотирование увеличивают микро-твердость поверхности материалов до 2–2,5 раз и увеличить толщину упрочненного слоя деталей класса вал-втулка до 350 мкм. Такое увеличение твердости и глубину слоя позволяет значительно снизить износ пар трения и повысить долговечность узлов дорожно-строительных машин.

Использование метода комбинированной ультразвуковой обработки выглаживанием и виброударной позволяет снизить износ поверхностей пар трения по сравнению с необработанной поверхностью по массе и размерам в 3 раза. Кроме того по сравнению с другими методами УЗ воздействия комбинированная обработка позволяет снизить износ деталей по массе на 15–20 %, по геометрическим размерам на 30 %.

Использование метода комбинированной ультразвуковой обработки выглаживанием и виброударной позволяет значительно сокращает технологическое время процесса. Кроме того, энергетические затраты уменьшаются не менее чем в 1,6–2 раза по сравнению с выпускаемыми ультразвуковыми колебательными системами.

На основании полученных результатов можно рекомендовать применение предложенных методов комбинированной обработки для улучшения эксплуатационных показателей поверхности деталей. При этом наиболее предпочтительным выглядит использование комбинированного метода на основе УЗ ППД и азотирования.

Курілович В.Д., Філатов Ю.Д., Ковальов В.А., Данильченко М.А. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, НТУУ «Київський політехнічний інститут», Київ, Україна

ЕФЕКТИВНІСТЬ ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ ІНСТРУМЕНТОМ ІЗ АЛМАЗНО-ПОЛІМЕРНОГО ВОЛОКНА

Вироби з природного каменю (ПК) характеризуються наявністю на їх поверхнях дефектів природного походження (подряпини і сколи, що залишились з попередніх операцій обробки) та нанесених безпосередньо полірувальним інструментом (подряпини, сітка дрібних подряпин тощо), а також пор та інших дефектів техногенного або природного походження. Це пояснюється недосконалістю технології фінішної обробки деталей з ПК, відсутністю інструментів, здатних забезпечувати необхідну якість обробки протягом тривалого часу та стабільну продуктивність знімання оброблюваного матеріалу, а також неможливістю повного контролю їх якості, особливо в умовах масового виробництва, та складністю її автоматичного забезпечення і регулювання. Тому для підвищення ефективності фінішної обробки виробів з природного каменю, а саме для забезпечення бездефектної підготовки поверхні під полірування, необхідно розробити такий абразивний інструмент, який би повністю виключав утворення конгломератів зерен абразивного порошку. Цього можна досягти шляхом виготовлення робочого шару інструменту з алмазно-полімерного волокна (АПВ), в якому унеможливлюється утворення конгломератів зерен в процесі його витягування з розплаву. Робочі елементи – таблетки виготовляли з алмазно-полімерного волокна, яке рівномірно напаковувалось в прес-форму діаметром 12 мм і висотою 40 мм, при пресуванні з зусиллям 500 Н і температурі 275 ^{o}C. Формування робо-

чого шару інструмента здійснювалось у прес-формі діаметром 160 мм, в яку викладували таблетки, вільний простір навколо яких заповнювали гранулами поліетилену високого тиску, при температурі 210 ±10 °С під пресом. Для забезпечення рівномірного зносу полімерної матриці і робочих елементів з АПВ, розроблена спеціальна конструкція інструмента, робочий шар якого виконаний у вигляді окремих елементів (таблеток) з АПВ, зафіксованих в полімерній матриці. Інструмент діаметром 160 мм з такою конструкцією робочого шару в процесі обробки плоских поверхонь виробів з ПК діаметром 60 мм, 100 мм та 140 мм зношується рівномірно.

Для дослідження закономірностей зняття оброблюваного матеріалу при фінішній обробці використовували зразки з плоскими поверхнями діаметром 60 мм і висотою 10–20 мм з граніту межиріченського, мармуру італійського Bianco Carrara, граніту покостівського, обсидіану чорного, кварциту. Шліфування, тонке алмазне шліфування (ТАШ) та надтонке алмазне шліфування (НТАШ) зразків здійснювались інструментами із АПВ із алмазів різної зернистості на шліфувально-полірувальному верстаті мод. 2ШП–200 при наступних режимах: зусилля притискання інструменту до оброблюваної деталі – 28,9 Н, частота обертання шпинделя – 70 об/хв, у якості мастильно-охолоджуючого технологічного середовища використовували воду. Після кожного досліду зразки просушували при температурі 100 °С на протязі 60 хв.

Продуктивність обробки визначалась за допомогою вагового методу. Для оцінки якості оброблених поверхонь використовувались методи профілометрії (профілограф-профілометр SJ201 Mitutoyo (Японія)), оптичної мікроскопії (ЛОМО «Метам Р-1» з камерою Vision «STD-Res Series») та лазерної рефлектометрії. Коефіцієнт відбиття світла на довжині хвилі 650 нм вимірювався за допомогою спеціальної установки, що складається із напівпровідникового лазера, напівпрозорої пластинки, фотодіодів, амплітудно-цифрового перетворювача (АЦП) та комп'ютера.

Результати визначення продуктивності фінішної обробки природного каменю наведені в табл. 1, з якої слідує, що при шліфуванні інструментом із АПВ – ПЕТФ+АС6 80/63 продуктивність зняття оброблюваного матеріалу становить 78,5–150,0 мг/хв. (10,0–19,5 мкм/хв.), при ТАШ інструментом із АПВ – ПЕТФ+АСМ 40/28 – 7,6–14,5 мг/хв. (1,0–2,2 мкм/хв.), при НТАШ інструментом із АПВ – ПЕТФ+АСМ 10/7 – 1,4–2,8 мг/хв. (0,18–0,43 мкм/хв.).

Таблиця 1 – Продуктивність зняття оброблюваного матеріалу при фінішній обробці виробів з природного каменю

	Продуктивність обробки, мг/хв. (мкм/хв.)		
	Шліфування (ПЕТФ+АС6 80/63)	ТАШ (ПЕТФ+АСМ 40/28)	НТАШ (ПЕТФ+АСМ 10/7)
Граніт Межирічинський	150,0 ± 20,0 (19,5 ± 2,0)	13,5 ± 1,0 (1,8 ± 0,2)	2,7 ± 0,1 (0,35 ± 0,04)
Граніт Покостовський	122,0 ± 10,0 (16,0 ± 2,0)	10,8 ± 1,0 (1,5 ± 0,2)	2,2 ± 0,2 (0,30 ± 0,04)
Обсидіан	147,5 ± 20,0 (23,0 ± 2,0)	14,5 ± 1,0 (2,2 ± 0,3)	2,8 ± 0,1 (0,43 ± 0,05)
Кварцит	108,0 ± 10,0 (15,5 ± 2,0)	10,0 ± 1,0 (1,4 ± 0,1)	2,1 ± 0,2 (0,28 ± 0,04)
Мармур Bianco Carrara	78,5 ± 10,0 (10,0 ± 1,0)	7,6 ± 1,0 (1,0 ± 0,1)	1,4 ± 0,2 (0,18 ± 0,02)

В результаті оцінки якості оброблених поверхонь виробів з природного каменю при НТАШ інструментом із АПВ – ПЕТФ+АСМ 10/7 показано, що шорсткість оброблених поверхонь за параметром *Ra* оцінюється значеннями 0,03–0,15, а їх відбиваюча здатність характеризується коефіцієнтом відбиття світла, що лежить в межах 7,7–8,1 %.

Таким чином, застосування інструменту з АПВ при НТАШ дозволяє суттєво зменшити технологічний час на операції полірування та досягти параметрів шорсткості, що задовольняють вимогам ГОСТ 9480-89 до полірованих плит з природного каменю.

Куць Н.Г. Луцкий национальный технический университет, Луцк, Украина

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ СЛОИСТЫХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СРЕД И ИХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

В двигателях внутреннего сгорания (ДВС) происходят сложные процессы теплопередачи и внутри камеры сгорания (КС), и в процессе взаимодействия с окружающей средой. Продольные и поперечные колебания кластеров в кристаллической решетке твердого тела формируют внутреннюю тепловую энергию. Следует учитывать энергию

хаотического поступательного движения частиц в межкластерных свободных объемах, а также энергию крутильных колебаний кластеров относительно их собственного центра тяжести.

Ранее при рассмотрении классической теории теплоемкости полагали, что внутренняя энергия в твердом теле определяется только гармоническими колебаниями отдельных атомов или молекул относительно своих положений равновесия. Такой подход противоречит закону равномерного распределения по степеням свободы, так как температура определяется максимальной энергией, которая содержится в одной степени свободы, а не отдельной ее долей. Всякое поглощение энергии обусловлено возбуждением определенной степени свободы относительно ее энергии связи. При значительной энергии связи отдельных атомов их возбуждение практически исключено.

Противоречия классической теории при низких температурах вблизи абсолютного нуля с экспериментальными данными были сняты квантовой теорией, в которой полагалось, что кристалл целиком совершает колебания как единое целое. Тогда кристалл при низких температурах должен бы создавать упругие колебания в окружающей среде, т.е. в окружающей среде должен распространяться звук. Однако такого явления не наблюдается.

Следовательно, внутренняя энергия твердого тела определяется не колебаниями отдельных атомов, молекул или всего кристалла относительно какого-то положения равновесия, а поведением отдельных кластеров и их взаимодействием с различными частицами в твердом теле. При низких температурах внутренняя энергия обусловлена величиной энергии связи частиц третьей координационной сферы с основным кластером. В этом случае все противоречия снимаются, как это продемонстрировано в [1].

Процесс распространения тепла в твердом теле следует рассматривать как последовательное возбуждение от кластера к кластеру всех степеней свободы с вероятностью их возбуждения крутильных, продольных и поперечных колебаний кластеров внутри кристаллической решетки. Воздействие теплового потока осуществляется не на чистый материал, а через промежуточный слой оксидов данного материала и слой адсорбированных атомов, молекул окружающей среды и со своей скоростью распространения теплового потока.

Возникает цель: создать теорию теплопроводности на наноуровне при распространении тепла по слоистой среде примени-

тельно к работе дизеля, у которого основными конструкционными материалами являются твердые жаропрочные стали и твердые сплавы алюминия. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- выяснить механизм формирования многослойного покрытия на конструкционных материалах, применяемых в дизелях;
- определить скорости распространения тепла в каждом материале;
- разработать теорию распространения тепла в слоистой среде и обосновать оптимальные условия работы дизеля с минимальными тепловыми потерями.

На основании полученных результатов теплоперенос в камере сгорания осуществляется конвективным и лучистым теплообменом между молекулами воздуха и мономолекулярным адсорбированным слоем молекул кислорода, а затем с оксидным слоем железа, и тепло распространяется по однородному материалу двигателя. Такая многослойная структура внутренней поверхности КС и приводит к существенному разогреву двигателя. На внешней поверхности двигателя теплоперенос происходит вследствие взаимодействия движущегося потока воздуха с нагретой твердой поверхностью, которая также представляет собой многослойную структуру.

В стационарных условиях конвективный теплообмен определяется удельной теплоемкостью корпуса двигателя и его охлаждением потоком воздуха через радиатор. Разогрев корпуса ДВС происходит при положительной разности температур окружающей среды и корпуса. В противном случае -- корпус двигателя будет разогревать газ окружающей среды. В установившемся режиме мощность передачи энергии внутри цилиндра компенсируется мощностью температурного охлаждения радиатором.

Двигаясь нормально к поверхности, эмитируемые частицы сталкиваются с молекулами воздуха, которые движутся вдоль поверхности. Полное их торможение произойдет после трех и более столкновений. Чтобы не происходило их обратное движение, следует эмитируемые с поверхности частицы уносить потоком воздуха, создаваемого вентилятором. Зная, какую необходимо обеспечить скорость движения воздуха, выбирается вентилятор соответствующей мощности.

На основании решения поставленных задач создана теория теплопроводности на наноуровне при распространении тепла по слоистой среде применительно к работе дизеля, у которого основными конструкционными материалами являются твердые жаро-

прочные стали и твердые сплавы алюминия. Выяснен механизм формирования многослойного покрытия на конструкционных материалах, применяемых в дизелях. Разработана общая теория распространения тепла в слоистой среде. Получены оптимальные условия работы дизеля с минимальными тепловыми потерями.

Литература

1. Гречихин Л.И. Наночастицы и нанотехнологии. – Мн.: ИООО «Право и экономика», 2008. – 403 с.

2.Лапцевич А.А., Гречихин Л.И., Куць Н.Г. Энергетическая база беспилотных летательных аппаратов / Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ.–2011. – № 3.

Лавріненко В.І., Дєвицький О.А., Кухаренко С.А. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ,
Солод В.Ю., Шевченко В.О. Дніпродзержинський державний технічний університет, Дніпродзержинськ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ВИНИКНЕННЯ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕРМОЕРС ПРИ ШЛІФУВАННІ СТАЛЕВОГО ІНСТРУМЕНТУ КРУГАМИ ІЗ МЕТАЛІЗОВАНИМ СКЛОПОКРИТТЯМ ЗЕРЕН КНБ

Вкажемо, що явище виникнення та функціонування термоЕРС при шліфуванні має певні дослідження. Разом з тим, жодних досліджень для шліфування кругами з надтвердих матеріалів нами не знайдено і у даній статті звернена увага на виникнення термоЕРС при шліфуванні сталевого інструменту кругами з КНБ. При абразивному обробленні основну роль у формування сигналу термоЕРС грають різальні зерна, тому реальним засобом впливу на зону різання є покриття зерен, оскільки це дозволяє вводити різні матеріали безпосередньо в зону контакту і, тим самим, зміщувати величини значень термоЕРС в необхідному напрямку. Вкажемо також на те, що для металевих зв’язок доцільно застосовувати не металеве, а склопокриття, що нами і було досліджено. Для зерен з кубічного нітриду бору КР 125/100 застосовували свинцевоборосилікатне скло системи $PbO–ZnO–B_2O_3–SiO_2$, а для введення різних металів в

зону обробки додатково металізували зерна із вказаним склопокриттям – титаном (9 мас %, як дифузійне технологічне покриття), титаном та нікелем (~20 мас. %), титаном та міддю (~20 мас. %).

З такими зернами виготовлені шліфувальні круги форми 12А2-45° 125×5×3××32 та металевій зв'язці М1-10 та шліфували швидкорізальну сталь Р6М5 при продуктивностях оброблення від 100 до 500 мм^3/хв. Визначали термоЕРС методом природної термопари. Апроксимовані графіки залежності термоЕРС від продуктивності обробки наведені на рис. 1. Результати дослідження засвідчили, що зі збільшенням продуктивності шліфування значення термоЕРС очікувано зростають. Значення величин термоЕРС при шліфуванні кругами без покриття та із склопокриттям майже співпадають, що свідчить про те, що саме склопокриття принципово не вносить суттєвого вкладу в термоЕРС. Наявність металізації на поверхні зерна із склопокриттям суттєво змінює перебіг процесу. Так, встановлено, що додаткова металізація зерен міддю сприяє зниженню величини термоЕРС, а ось металізація склопокриття нікелем та титаном сприяють збільшенню термоЕРС.

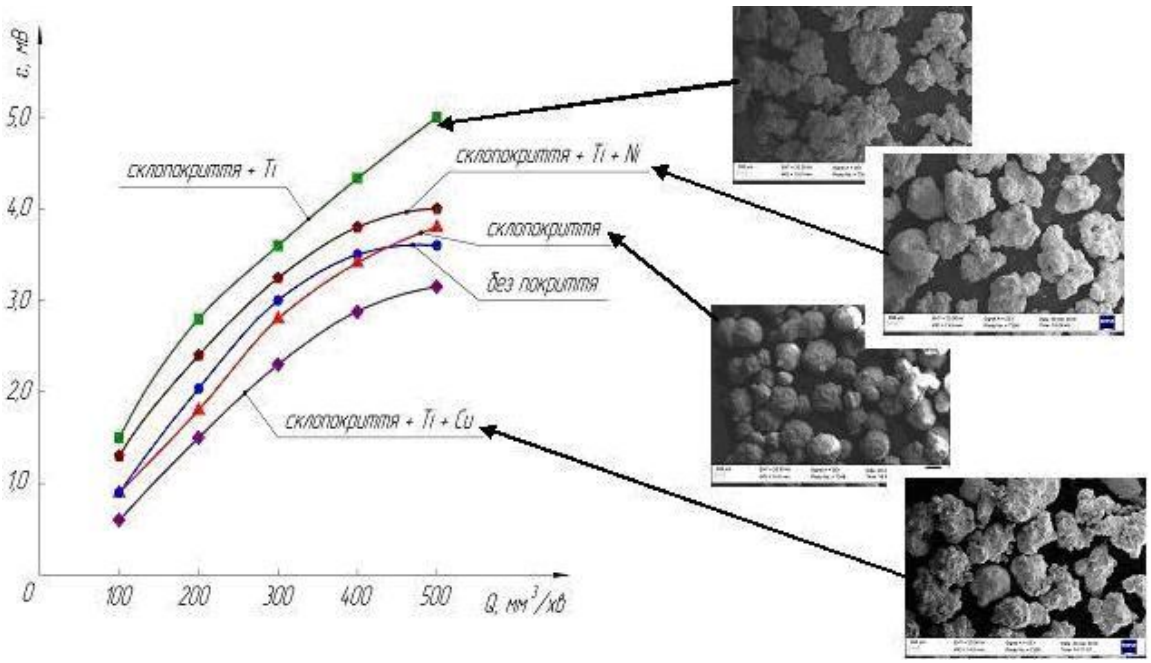


Рисунок 1 – Графіки залежності термоЕРС від продуктивності шліфування кубонітовими кругами з різним покриттям зерен

Для уточнення впливу металів, що застосовуються при металізації, на перебіг електричних процесів в зоні обробки та відповідної зміни експлуатаційних характеристик кругів була досліджена зносостійкість кругів при шліфуванні на продуктивності Q = 200 мм^3/хв. і

на рис. 2 подані дані по зв'язку між величиною термоЕРС та відносними витратами зерен КНБ в кругах при шліфуванні.

Видно, що технологічне покриття титаном значно погіршує зносостійкість, а інші склопокриття покращують зносостійкість у порівнянні із кругами без покриття зерен. Причому металізація склопокриття міддю дозволяє знизити значення термоЕРС, а металізація нікелем збільшує це значення відносно кругу без покриття. Разом з тим, зносостійкість кругів з КНБ є більш високою при застосування склопокриття з металізацією нікелем.

Таким чином, нашими дослідженнями встановлено, що для суттєвого зменшення величини термоЕРС при шліфуванні кругами з КНБ необхідно застосовувати металізацію склопокриття міддю, а для збільшення – металізацію титаном або нікелем, причому останній є більш сприйнятним з точки зору збільшення зносостійкості.

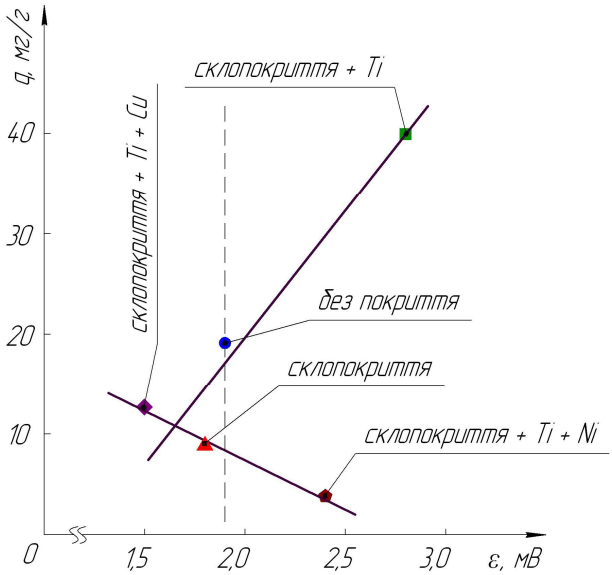


Рисунок 2 – Зв'язок між величиною термоЕРС та відносними витратами зерен КНБ з різним їх покриттям в кругах при шліфуванні

Лавріненко В.І., Дєвицький О.А., Полторацький В.Г., Бочечка О.О. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ,
Солод В.Ю., Шляхта Р.В. Дніпродзержинський державний технічний університет, Дніпродзержинськ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ВИНИКНЕННЯ ЕЛЕКТРИЗАЦІЇ ПРИ ШЛІФУВАННІ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ІНСТРУМЕНТУ КРУГАМИ ІЗ ВВЕДЕННЯМ В РОБОЧИЙ ШАР ЗЕРНИСТИХ КОМПАКТІВ З КНБ

Як встановлено нашими дослідженнями [1] при шліфуванні виникають певні електричні явища, одно з яких – електризація. Важли-

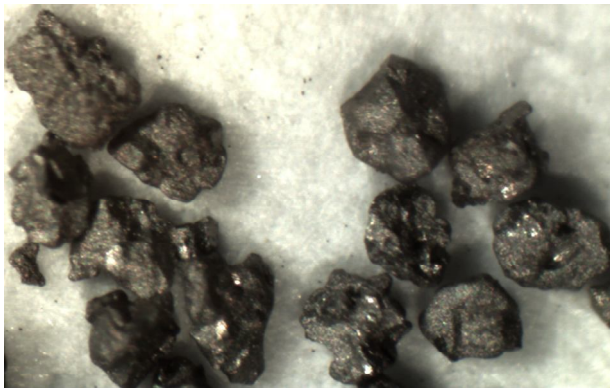
вою характерис-тикою абразивного шару кругів з НТМ є зв'язка, тому проведені дослідження впливу матеріалу зв'язки робочого шару кругів з НТМ на величину напруженості електростатичного поля при шліфуванні алмазними кругами на продуктивності оброблення 500 мм^3/хв. Згідно з результатами дослідження, використання кругів на металічній зв'язці сприяє більш інтенсивним поляризаційним процесам в зоні оброблення. Так при шліфуванні твердого сплаву Т15К6 алмазним кругом на полімерній зв'язці АС6 125/100–100–В2-08 напруженість електростатичного поля складає 2,1±0,11 кВ/м, а кругом на металічній зв'язці АС6 125/100–100–М2-01 – 2,7±0,14 кВ/м. Разом з тим, нашими дослідженнями [2] показано, що для збільшення зносостійкості полімерних зв'язуючих в їх склад вводяться зернисті наповнювачі, що відповідно змінює і умови фрикційного контакту робочого шару кругу з оброблюваним матеріалом.

В ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України розроблена технологія і методи компактування мікропорошків кубоніту фізико-хімічним синтезом і виготовлення з цих композиційних компактів шліфпорошків зернистостей від 630/500 до 50/40 мкм. У нашому випадку ми розглядали чисті компакти з КНБ (рис. 1, *а*) та металізовані нікелем (рис. 1, *б*) зернистостями 160/125 та 315/250. Введення таких компактів в зв'язку змінює умови фрикційного контакту зв'язки, шламу та обробленого матеріалу (рис. 2), що, як наслідок і повинно позначитися на показнику напруженості електростатичного поля.

Для визначення впливу компактів на величину напруженості електростатичного поля шламу проведено шліфування при продуктивності 500 мм^3/хв. твердого сплаву Т15К6 кругом 12А2-45° 125×5×3×32 АС6 125/100–В2-08–100, а також кругами із комбінованим вмістом в абразивному шарі алмазного порошку зернистості 125/100 та компактів зернистістю 160/125 та 315/250 (чистих та металізованих нікелем). З табл. 1 видно, що введення чистих компактів і збільшення їх концентрації у зв'язці приводить до певного зниження величини напруженості електростатичного поля, причому таке зниження зростає із підвищенням концентрації компактів у зв'язці. Введення в робочий шар кругу металізованих компактів (п.п. 6 та 7 табл. 1) навпаки – збільшує значення напруженості електростатичного поля шламу, як відносно алмазного кругу без введення компактів (п. 1 табл. 1), так і у порівнянні із кругам з чистими компактами (п.п. 5 та 7 табл. 1).

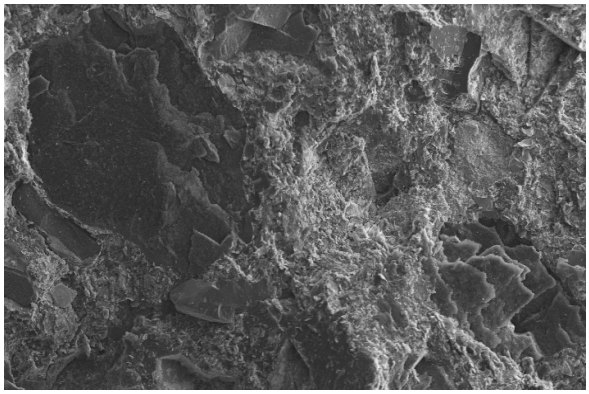


а

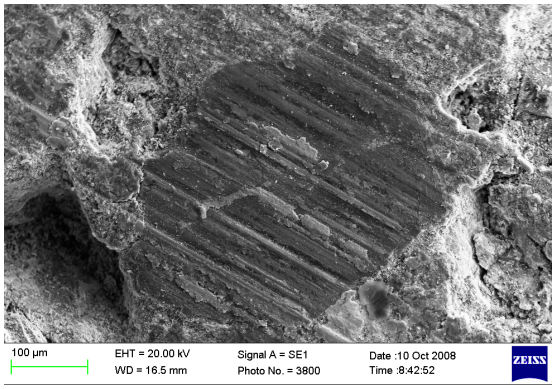


б

Рисунок 1 – Загальний вигляд чистих К160/125 (*а*) та металізованих К315/250 (*б*) шлифорошков компактів з мікропорошків кубоніту



а



б

Рисунок 2 – Виколка робочего шару кругу с компактами К315/250 (*а*) та стан поверхні робочого шару кругу з наявністю К315/250 компакта (*б*) при шліфуванні твердого сплаву Т15К6.

Таблиця 1 – Значення напруженості електростатичного поля шламу при шліфуванні алмазними кругами з наявністю компактів у робочому шарі

№	Характеристики НТМ	*E*, кВ/м
1	АС6 125/100–В2-08–100%	-2,1±0,11
2	АС6 125/100–75%+К160/125–25%–В2-08	-2,0±0,10
3	АС6 125/100–50%+К160/125–50%–В2-08	-1,8±0,09
4	АС6 125/100–25%+К160/125-75%–В2-08	-1,6±0,08
5	АС6 125/100–50%+К315/250–50%–В2-08	-1,7±0,09
6	АС6 125/100–75%+Кметал.315/250–25%–В2-08	-2,5±0,13
7	АС6 125/100–50%+Кметал.315/250–50%–В2-08	-2,5±0,13

Література

1. Дослідження зміни напруженості електростатичного поля при шліфуванні / В.І. Лавріненко, Б.В. Ситник, О.А. Дєвицький //

Високі технології в машинобудуванні: Зб. наук. праць НТУ „ХПІ”. – Харків, 2008. – 2 (17) – С. 215–220.

2. Исследование особенностей спеченного композита с упорядоченной структурой / В.И. Лавриненко, О.О. Пасичный, Б.В. Сытник, А.А. Девицкий // Процеси механічної обробки в машинобудуванні / Зб. наук. праць ЖДТУ. – Житомир: ЖДТУ, 2009. – Вип. 7. – С. 105–113.

Лавріненко В.І., Ситник Б.В., Полторацький В.Г., Черних В.П. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ,
Солод В.Ю. Дніпродзержинський державний технічний університет, Дніпродзержинськ, Україна

ЗЕРНИСТІ КОМПАКТИ НА ОСНОВІ МІКРОПОРОШКІВ КНБ, ОТРИМАНІ ПРИ НИЗЬКИХ ТИСКАХ

Виробництво порошків КНБ супроводжується накопиченням чималого обсягу малоходових дрібнодисперсних мікропорошків кубоніту зернистості 3/2, 3/1, 2/1, 1/0, 0,5/0. Невеликий об’єм цих мікропорошків використовується при виготовленні шліфувально-полірувальних сумішей (паст, суспензій), але значна частина їх залишається поза увагою спеціалістів з обробки різних матеріалів. Разом з тим, зернистість шліфпорошків з КНБ є обмеженою (50/40–200/160), що в багатьох випадках не дозволяє вирішувати актуальні задачі металообробки. Тому розробки в напрямку вирішення різних задач з виготовлення нових видів шліфпорошків КНБ більш великих зернистостей, компактів з мікропорошків і застосування їх в алмазно-абразивних інструментах є актуальними. Одним з напрямків вирішення цієї проблеми є розробка технології і методів компактування мікропорошків фізико-хімічним синтезом і виготовлення з цих композиційних компактів шліфпорошків усієї гами зернистості від 630/500 до 50/40 мкм. В зв’язку з цим, в Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України були проведені дослідження і розроблені теоретичні основи отримання достатньо міцних компактів кубічного нітриду бору (в середовищі вуглецевмісного газу – метану), придатних для виготовлення шліфпорошків; технологічних схем виготовлення компактів на дослідній установці; проведення вибірко-

вого подрібнення їх; класифікації і сортування шліфпорошків на обладнанні конструкції ІНМ НАНУ. Для вирішення цього завдання розроблені практичні рекомендації виготовлення композиційних компактів з мікропорошків кубоніту з розміром зерен менше 3 мкм методом фізико-хімічного синтезу і отримання міцного вуглецевого зв'язуючого зерен кубічного нітриду бору в умовах поліконденсації і дифузійної кінетики при високій температурі (~1250 °С) в реакторі та тиску метану нижче атмосферного при наявності молібденнового каталізатора. Були встановлені закономірності процесу спікання композиційних компактів із збрикетованих мікропорошків кубоніту різної зернистості з отриманням вуглецевого зв'язуючого, армованого нитками і коконами, а саме, для отримання компактів і шліфпорошків з максимальною щільністю та міцністю зерен при зменшенні зернистості вихідних мікропорошків 3/2→3/1→2/1→1/0→0,5/0, при цьому підвищується витрачання CH_4 ($3{,}1\cdot10^{-5}$ м^3/с→$3{,}5\cdot10^{-5}$ м^3/с), зменшуються тиск ($2{,}5\cdot10^4$ Па→$2{,}2\cdot10^4$ Па) і температура (1250 °С→1100 °С). Як наслідок, це дає змогу отримувати зернисті компакти з КНБ зернистістю від 50/40 до 800/630, які у подальшому можливо застосовувати в шліфувальному інструменті.

Лавріненко В.І., Ситник Б.В., Полторацький В.Г., Черних В.П. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ,
Солод В.Ю. Дніпродзержинський державний технічний університет, Дніпродзержинськ, Україна

ЗЕРНИСТІ КОМПАКТИ НА ОСНОВІ МІКРОПОРОШКІВ КНБ В СТРУКТУРІ РОБОЧОГО ШАРУ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОГО ІНСТРУМЕНТА

Компакти мікропорошків КНБ розроблені в Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України. За цією технологією були виготовлені композиційні компакти, з яких методами вибіркового дроблення, ситової класифікації і сортування по формі зерен отримані шліфпорошки широкого діапазону зернистості (630/500 – 50/40) і основні характеристики деяких компактів подані в табл. 1.

Таблиця 1 – Основні характеристики компактів з мікропорошків КНБ

Вихідні мікропорошки кубоніту	Міцність по зернистостям, Н			Вихід придатних порошків,%
	400/315	250/200	125/100	
КМ 3/2	7,5	4,9	3,0	92
КМ 3/1	7,1	4,8	2,9	90
КМ 2/1	6,3	4,5	2,8	89
КМ 1/0	6,0	4,1	2,5	87

З метою вивчення перспектив та шляхів вирішення проблеми використан-ня у виробництві композиційних шліфпорошків різної зернистості, отриманих з мікропорошків КМ 3/2-1/0, були виготовлені з них шліфувальні круги типорозміру 12А2-45° 125×5×3×32 на полімерній зв'язці. Дослідження процесу шліфування зразків з швидкорізальної сталі Р6М5 проводили на стенді, створеному на базі модернізованого універсально-заточувального верстата моделі 3В642. Шліфування проводили без охолодження аби не вносити побічного впливу на експлуатаційні показники кругів, в якості яких були використані наступні: відносні витрати НТМ в кругах при шліфуванні, q_p – мг/г; різальна здатність круга (продуктивність шліфування), Q – мм^3/хв.; ефективна потужність шліфування, $N_{еф}$ – кВт. Шорсткість оброблених поверхонь контролювали за допомогою профілографа-профілометра моделі «SurfTest SJ-201» фірми «Mitutoyo» (Японія). Загальні результати випробувань кругів з шліфпорошками на основі компактів мікропорошків кубоніту різної зернистості (від К160/125 до К630/500) при шліфуванні сталі Р6М5 наведені в табл. 2 (при цьому зазначимо, що деякі круги досліджувались при різній продуктивності шліфування, якщо це дозволяла їх різальна здатність і експерименти припиняли коли на оброблюваній поверхні виникали відчутні припікання).

З аналізу результатів випробувань кругів з зернами, отриманими з ком-пактів мікропорошків кубоніту (див. табл. 2), можна зробити наступні висновки:

• підвищення зернистості компактів погіршує їх різальну здатність, так, круг з найбільшою зернистістю 630/500 при мінімальній продуктивності шліфування (120 мм^3/хв.) почав працювати з «засалювання» ріжучої поверхні, це проявилось у втраті ним ріжучої здатності, різкому підвищенні ефективної потужності (зразу до 0,4 кВт), і, як наслідок, появі сильних припікань на оброблюваній поверхні;

• зменшення зернистості компактів до 160/125 дозволяє підвищити різальну здатність круга, так, круг з зернистістю 160/125 при продуктивності обробки 200 мм^3/хв. та відносних витратах кубоніту в 3,1 мг/г не дав припікань на оброблюваній поверхні, але подальше підвищення продуктивності шліфування (до 300 мм^3/хв.) призвело до значного підвищення зносу круга та появі припікання на обробленій поверхні.

Таблиця 2 – Результати випробувань кругів з шліфпорошками різної зернистості на основі компактів з мікропорошків кубоніту

Характеристика КНБ	Продуктивність шліфування Q, мм^3/хв.	Відносні витрати КНБ q_p, мг/г	Шорсткість обробленої поверхні, Ra, мкм	Ефективна потужність шліфування, $N_{еф}$, кВт
К 630/500	120	-*	0,44	0,4
К 250/200	120	36,5	0,37	0,3
	200	31,4*	0,93	0,2
К 160/125	120	3,7	0,46	0,1
	200	3,1	0,72	0,1
	300	25,0*	0,93	0,2

* – відчутне припікання на обробленій поверхні.

Таку роботу кругів можна пояснити, мабуть, особливим механізмом зносу зерен компактів з мікропорошків кубоніту – в значній мірі не сколюваннями, коли утворюються нові ріжучі кромки, відновлюючи різальну спроможність круга, а пошарово, з-за підвищеного вмісту в них гексагонального нітриду бору, тобто, спостерігається ефект «ковзання – згладжування» зернами компактів по обробленій поверхні, зменшуючи її шорсткість.

Отже, виходячи з наведеного вище, можна констатувати, що зерна ком-пактів з мікропорошків кубоніту працюють в кругах не дуже ефективно, при цьому зернистість їх не має особливого значення. Враховуючи наведений вище механізм їх зношування більш доцільним було б їх застосовувати не у вигляді абразивних елементів у різальному шарі круга, а у вигляді додаткових до кубонітових або алмазних зерен зернистих компактів. Тим самим визначено, що у подальшій роботі треба дослідити необхідність застосування компактів з КНБ у якості опорних елементів в суміші зі стандартними зернами алмазів та кубічного нітриду бору в шліфувальному інструменті.

Лапіга О.С., Вислоух С.П. НТУУ «Київський політехнічний інститут», Київ, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ ДЛЯ ОПИСУ ДАНИХ ПРИ АВТОМАТИЗОВАНОМУ ПРОЕКТУВАННІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

Однією із основних проблем вітчизнах підприємств є використання морально застарілих методів технологічної підготовки виробництва. При цьому, частка комп'ютерного проектування технологічних процесів є низькою. Як наслідок значно підвищується час на розробку технології виготовлення деталей та збільшується кількість помилок при написанні керуючих програм для верстатів ЧПК. Сучасний ринок пропонує значну кількість різноманітних САПР ТП. Проте такі системи є вартісними, не завжди задовольняють всім вимогам проектувальника, а початкова інформація, що характеризує форму і розміри поверхонь деталі, режими різання, послідовність операцій і переходів, задається проектувальником в режимі діалогу. Це потребує значних витрат часу та відповідної кваліфікації проектувальника. Для того, щоб підвищити рівень автоматизації САПР ТП та покращити якість проектних робіт, потрібно змінити підходи до побудови таких систем. Тому поставлена задача розробки модуля CAD/CAM системи на основі вищеописаного підходу, що дозволяє в автоматизованому режимі з 3D-моделі деталі отримати початкові дані, необхідні для проектування технологічних процесів, а також розроблену технологію обробки поверхонь деталі передати в автоматизовану систему проектування керуючих програм для верстатів з ЧПК.

Процес автоматизовано проектування можна розділити на три основні етапи. Перший етап – етап отримання масиву початкових даних. Масив початкових даних може вводитися проектувальником в режимі діалогу, формуватися на основі попередніх розрахунків або із кресленням деталі, вибиратися запитом із бази даних. Найбільш ефективнішим є комбінований спосіб отримання початкових даних, при якому частина інформації отримується із креслення деталі або її 3D-моделі (наприклад, розміри поверхонь, їх шорсткість, допуски тощо), частина вибирається із БД (наприклад, дані необхідні для визначення припусків на обробку або режими

різання), а частина даних, які неможливо отримати із креслення деталі або БД, задається проектувальником (наприклад, розміри заготовки, спосіб її отримання тощо). Наступним етапом є пошук варіантів готових рішень. При автоматизованому проектуванні існує два основні способи аналізу початкових даних і отримання рішень поставленої задачі:

1) аналіз вхідних параметрів виконує САПР, а рішення приймається самим проектувальником – такий спосіб характерний для САПР низького рівня, потребує значних затрат часу;

2) аналіз вхідних параметрів та знаходження рішення виконує САПР – такий спосіб є більш ефективним і характерний для САПР високого рівня. При цьому слід врахувати, що будь-яке рішення або масив рішень, отримуються на основі певних алгоритмів, а кожен такий алгоритм представляє собою шаблон рішення. Шаблонів може бути декілька – чим більше шаблонів, тим вища ймовірність знаходження оптимального рішення. Третій етап – пошук оптимального варіанту за певними критеріями. В результаті аналізу початкових даних може бути не одне конкретне рішення, а масив рішень. Для знаходження одного оптимального варіанту рішення необхідно на основі певних критеріїв виконати оптимізацію, тобто пошук одного конкретного рішення, яке буде задовольняти заданим критеріям. Наприклад, при проектуванні технологічного процесу виготовлення гладкого валу в результаті аналізу, виконаного за допомогою САПР ТП, було знайдено два рішення: ТП процес виготовлення деталі на токарно-гвинторізному верстаті та ТП процес виготовлення деталі на обробляючому центрі. В залежності від серійності виробництва, реальних виробничих умов оптимальним буде той чи інший ТП.

Запропоновано підхід, який ґрунтується на комплексі стандартів STEP та мови опису даних EXPRESS, що представляє пов’язані між собою за певними принципами дані в структурованому вигляді. Ці стандарти дозволяють поєднати в одній інформаційній моделі конструкцію деталі в вигляді сукупності поверхонь, технологію обробки окремих поверхонь та деталі в цілому й керуючі програми обробки на верстатах з ЧПК. Будь-який елемент технологічного процесу можливо представити як певну сутність (наприклад, точіння, інструмент, режими різання тощо). В свою чергу будь-яка сутність має свої атрибути. Наприклад, сутність «режими різання» має такі атрибути, як подача, швидкість та глибина різання. Крім того, атрибутом сутності також може виступати й інша сутність. Наприклад,

сутність «перехід» виступає атрибутом для сутності «операція». Таким чином виконується формалізація технологічного процесу і створюється певна конкретна структура елементів конкретного технологічного процесу, що дозволяє забезпечити взаємопов'язаність даних і легкість обробки інформації. Для кожної сутності можна визначити певні правила її опису, що обмежують її використання. Наприклад, для сутності «токарна операція» накладається обмеження за видом інструменту, який повинен відповідати різцям, а не протяжкам, наприклад. Сукупність тих чи інших сутностей з їх атрибутами утворює схему, тобто область визначення даних. Таким чином будь-який технологічний процес або частину технологічного процесу можна математично описати у вигляді структурованої схеми.

Представлена методика автоматизованого проектування операційної технології механічної обробки типових поверхонь деталей приладів і машин на основі єдиної інформаційної моделі деталі на основі комплексу стандартів STEP дозволяє скоротити та здешевити загальний цикл проектування й виробництва.

Лендел Ю.Ю., Пилипко В.И., Лендел В.И.,
Мудранинец И.Ф. ПАО «Ильницкий завод МСО»,
Ильница, Украина

РАЗВИТИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ НА ПАО «ИЛЬНИЦКИЙ ЗАВОД МСО»

Механическое сварочное оборудование (МСО) является средством механизации и автоматизации процессов сварки и наплавки. Оно предназначено для выполнения одной или нескольких из следующих функций: фиксирования свариваемого изделия в удобном для сварки или наплавки положении, поворота свариваемого изделия при наложении сварных швов в различных плоскостях, вращение свариваемого или наплавляемого изделия со сварочной скоростью или скоростью наплавки, перемещения сварочных или наплавочных автоматов в исходное положение и их рабочее (технологическое) передвижение и т.д. Механическое сварочное оборудование является одной из основных частей сварочных и наплавочных станков, устано-

вок и комплексов и от его технического уровня зависит уровень этого комплексного оборудования.

Перед основанным в 1964 г. по предложению ИЭС им. Е.О. Патона Ильницким заводом механического сварочного оборудования стояла задача обеспечить сварочное производство средствами механизации. Начав трудовую деятельность с выпуска сварочных горелок для полуавтоматов и роликовых стендов, завод за сравнительно короткий период времени в тесном сотрудничестве с профильными институтами ВИСП, ВНИИЭСО и ИЭС им. Е.О. Патона освоил широкую номенклатуру средств механизации сварочного производства.

В номенклатуру выпускаемых заводом изделий вошли различные типы сварочных горелок для полуавтоматов, различные модели сварочных вращателей, роликовых стендов, колонн, столов сварщика. Производство наращивалось и расширялось, но трудности 90-х годов болезненно, как и по всей экономике Украины, ударили по Ильницкому заводу МСО. Однако, выстояв, завод наметил пути выхода из кризиса. В качестве приоритетных было выбрано несколько направлений, а именно:

- совершенствование конструкций, расширение номенклатуры, улучшение качества и наращивание объема выпуска горелок для сварочных полуавтоматов;
- совершенствование конструкций, расширение типоразмерного ряда сварочных и не только сварочных вращателей, роликовых стендов, колонн с разработкой и изготовлением оборудования под индивидуальный заказ;
- переход к разработке и изготовлению сварочных и наплавочных установок.

Время показало, что направления были выбраны правильно, и они принесли и приносят положительные результаты.



Рисунок 1 – Общий вид горелок

Учитывая накопленный многолетний опыт производства горелок для сварочных полуавтоматов, сотрудничая со специалистами заводов-погребителей, Ильницкий завод МСО постоянно работает над совершен-

ствованием конструкции, повышением качества и надежности выпускаемых горелок, расширением их номенклатуры.

Появление на рынке Украины и пост-советских стран – традиционных покупателей горелок производства ИЗМСО – иностранных фирм BINZEL (Германия), KEMPPI (Финляндия) и других ведущих производителей сварочного оборудования, подтолкнуло к разработке продукции и освоению выпуска горелок, не уступающих этим производителям. Поэтому с середины 90-х годов завод занялся разработкой конструкции и внедрением в производство сварочных горелок нового поколения, которые принципиально отличаются от конструкции горелок, разработанных ранее. Одним из наиболее ярких и удачных представителей таких горелок являются горелки (рис. 1) моделей ГДПГ 305М (табл. 1), ГДП -305МЕ (табл. 2), ГДПГ 505 (табл. 3) и ГДПГ-505Е (табл. 4).

Таблица 1

Номинальный сварочный ток:	
при СО2,А	315
при газовой смеси аргона и СО2, А	260
ПВ при цикле 5 мин,%,	60
Диаметр стальной электродной проволоки, мм	1Д.1,4
Длина горелки, м	3,0+0,02
Интервал рабочих температур, С	от-10 до+40
Масса горелки, кг,не более	3,0

Таблица 2

Номинальный сварочный ток при С02,А	315
при газовой смеси аргона и С02,А	260
ПВ при цикле 5 мин,%	60
Длина горелки, м	-3,0+0,02
Интервал рабочих температур, С	от-10 до+40
Диаметр стальной электродной проволоки, мм	1,0.1,4
Масса горелки,кг,не более	3

Таблица 3

Номинальный сварочный ток при сварке в СО2, А	500
Номинальный сварочный ток при газовой смеси аргона иСО2, А	400
Номинальный сварочный ток при Пв цикле 5 мин., %	60
Диаметр стальной электродной проволоки, мм	1,6...2,0
Масса, кг	4.2
Длина шлангового провода, м	3,0

Таблица 4

Номинальный сварочный ток при сварке в СО2, А	500
Номинальный сварочный ток при газовой смеси аргона иСО2, А	400
Номинальный сварочный ток при Пв цикле 5 мин., %	60
Диаметр стальной электродной проволоки, мм	1,6...2,0
Масса, кг	4.2
Длина шлангового провода, м	3,0

Горелки предназначены для дуговой сварки стальной сплошной электродной проволокой в среде защитных газов во всех пространственных положениях.

Номинальный сварочный ток:	Тип 305	Тип 505
при сварке в среде CO2, А	315	500
при сварке в среде газовой смеси аргона и CO2, А	260	440
ПВ при цикле 5 мин., %	60	60
диаметр стальной электродной проволоки, мм	1,0...1,4	1,4...2,0

В конструкции горелок предусмотрены как штекерный разъем (ИГДГ-303) с диаметром хвостовика 12 и 15 мм, так и евроразъем (ИГДГ-3О3Е), дающий возможность применять горелку в комплекте с полуавтоматами иностранных фирм.

Конструкция горелок разработана с использованием плетёнки ПМЛ. Новый метод крепления сопла обеспечивает надёжную фиксацию в требуемом положении. Смена сопла выполняются быстро без применения вспомогательного инструмента. Рукоятка горелки выполнена из стеклонаполненного полиамида с применением современных красителей и с учётом требований эргономики. В данное время завод приступил к разработке горелки на токи 160 А и 200 А и в недалёком будущем получит хорошую, надёжную, конкурентоспособную горелку.

В настоящие время видеться внедрение ранее разработанной серии ИГД (рис. 2) горелки на основе коаксиального кабеля мощностью 150 А, 250 А, 315 А а также 400 А и 500 А с водяным охлаждением.

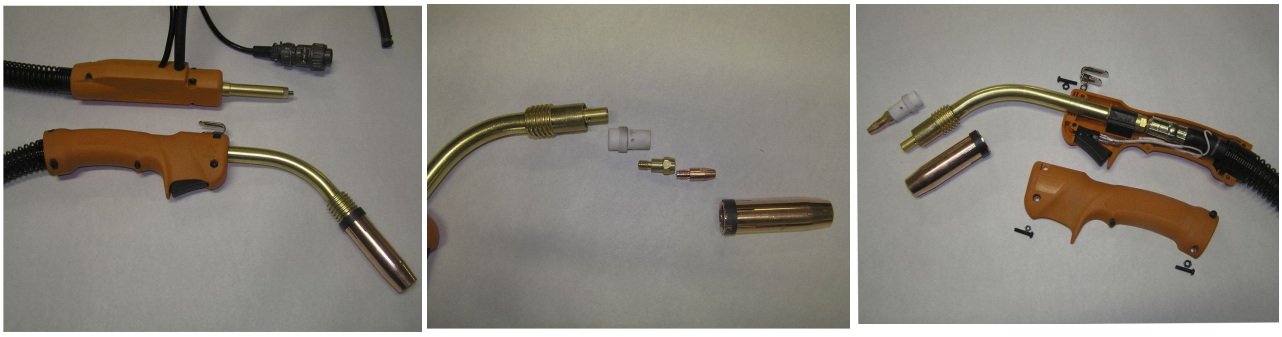


Рисунок 2 – Общий вид горелок серии ИГД

Совершенствование конструкций традиционной продукции завода – сварочных вращателей роликовых стендов и колонн – идёт в направлении уменьшения металлоемкости конструкций, повышения их надёжности и долговечности. Все механическое сварочное оборудование переведено на новую современную элементную базу. В

частности двигатели и привода управления постоянного тока заменены асинхронными двигателями и преобразователями частоты. Примером такой разработки является универсальный вращатель типа Ml1040 (рис. 3).



Рисунок 3 – Универсальный вращатель типа Ml1040

За последние несколько лет ИЗМСО кроме выпуска традиционного сварочного оборудования самостоятельно разработал и изготовил новые виды механического сварочного оборудования. Так, по заказу «Пропан-Бутан-Инжиниринг» г. Нижний Новгород была разработана техническая документация и освоен выпуск принципиально нового вида продукции – портала для сварки контейнер-цистерн для сжижения газа. По заказу НТЦ «Энергонасос» ЦКБМ» г. Санкт-Петербург был разработан и изготовлен специальный роликовый вращатель на тележке, с помощью которого выполняются сварные операции корпуса насоса, устанавливаемого на атомных реакторах электростанций. В тесном сотрудничестве со специалистами фирмы «Прогресс» г. Самара и «Акватик» г. Москва был разработан комплект оборудования для сварки труб, используемый при подводном бурении глубиной до 3000 м. Для фирмы «Анкорт» завод изготавливает рольганг для изоляции труб диаметром от 57 до 530 мм.

Однако понимая, что сегодняшнему покупателю очень часто нужны не только механическое сварочное оборудование, которым он может укомплектовать сварочно-наплавочные установки, но и установки в укомплектованном, полностью готовом для сварки и наплавки состоянии, последним из направлений стала разработка и изготовление таких установок. Так, в номенклатуре выпускаемых ИЗМСО оборудования появилась установка для сварки кольцевых швов модели 222С-Б. Дополнительный толчок в этом направлении дало тесное творческое сотрудничество с ООО «НПП РЕММАШ». Результатом совместной работы стали новые установки: РМ-10 – установка для автоматической наплавки роликов РПМ, КАС РМ-165 комплекс для сварки-наплавки малогабаритных роликов, РМ-15 – установка для автоматической наплавки канатных блоков, ИЗРМ-5 – установка для автомати-

ческой сварки-наплавки малогабаритных цилиндрических деталей, РМ УН-5 и РМ УН-15 – универсальные установки для наплавки крупногабаритных деталей массой до 5 и 15 т, РМ-11 РМ-12 – комплексы оборудования для комплектации установок наплавки прокатных валков на базе токарных станков, РМ-9 – универсальная установка для наплавки колес железнодорожных колесных пар (рис. 4) и др.



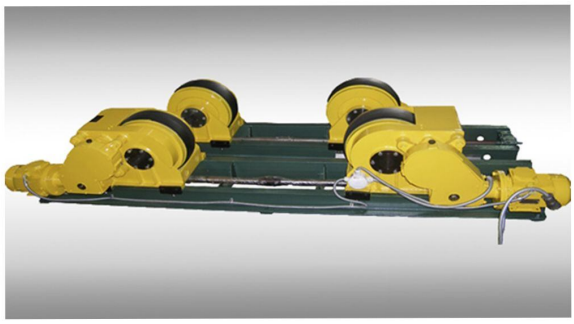
Рисунок 4 – Универсальная установка для наплавки колес РМ-9 железнодорожных колесных пар

При этом, работая над разработкой и изготовлением наплавочных установок, ИЗМСО обратил внимание и начал работу над сопутствующим наплавке оборудованием для термического нагрева. Так, в содружестве с ООО «НПП РЕММАШ», ООО «НИИПТМАШ-опытный завод» и другими предприятиями были созданы установки РМ-6 для индукционного нагрева наплавляемых деталей и установка РМ-14 для газокислородного нагрева наплавляемых прокатных валков.

В 2012–2013 гг. на Ильницком заводе МСО работа в этих направлениях была продолжена, были разработаны и изготовлены различным заказчикам несколько комплектов оборудования. В кооперации с СП ООО «Стан-Комплект» было завершено изготовление передвижной колонны ПКБ-23 (рис. 5, *в*, табл. 6) для сварки внутренних швов обечаек диаметром до 600 мм и длиной до 3 м. Для этого же предприятия был разработан и изготовлен портал ППБ-07 (рис. 5, *а*, табл. 6) для сварки продольного и кольцевого швов обечаек, где предусмотрено выполнение сварки передвижением сварочной головки вдоль балки портала. Для вращения обечайки применен роликовыйвращатель, изготовленный на базе роликового вращателя М61051 (рис. 5, *б*) и отличается от него тем, что приводные роликовые опоры размещаются на секциях с одной стороны и все они соединены между собой валом, а привод осуществляется от одного двигателя, что в свою очередь обеспечивает надежную работу частотного преобразователя и дает возможность получить более стабильную скорость вращения изделия.



а



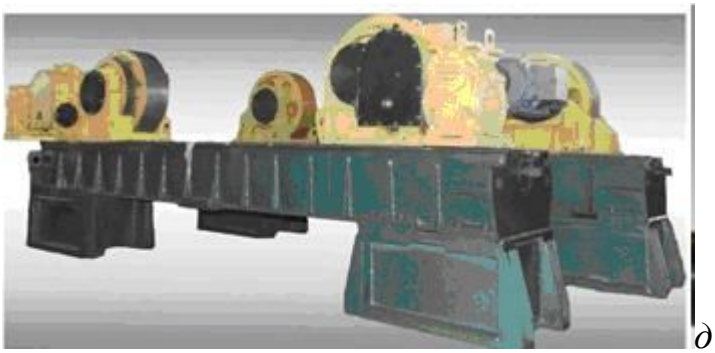
б



в



г



д



е

Рисунок 5 – Разработки ПАО «ИЗМСО»

Для ПАО "Крюковский вагоностроительный завод" г. Крюково были спроектированы и изготовлены три колонны велосипедного типа для сварочного автомата, ранее неизготавливаемые заводом, а также роликовые вращатели грузоодъемностью 10 и 3 т с увеличенной высотой центров роликовых опор. Вращатель РВ-50 на рис. 5, *д*, его характеристики в табл. 5.

Таблица 3

Вылет стрелы, мм	3000±10
Диаметр свариваемых изделий, мм, наибольший	2000
Диаметр свариваемых изделий, мм, наименший	1170 - 600
Высота от рельсового пути до оси стрелы, мм, в верхнемположении	1050
Высота от рельсового пути до оси стрелы, мм,в нижнемположении	550
Угол наклона стрелы с полуавтоматом градус	10±2
Наибольшая масса бухты электродной проволоки, кг:	15;
Скорость продольного перемещения колонны Сварочная, м/час:	4...40
Скорость продольного перемещения колонны Маршевая, м/ч ас	80
Установленная мощность (без выпрямителя сварочного)кВт	3х0,37
Род питающей сети Переменный трехфазный. 380 В. 50Гц	

Таблица 4

Горизонтальный ход рабочего органа мм.не менее	6000
Вертикальный ход рабочего органа, мм не менее	850
Скорость горизонтального перемещения, м/ч	
сварочная наименьшая, не более	9
сварочная наибольшая, не менее	60
Скорость вертикального перемещения балки, м/с	4(±2).
Пределы изменений наибольшей сварочной скоростиперемещения балки:	
-при изменении напряженияпитающей сетипеременноготока в пределах от минус 5 до плюс 10 от номинального,проценты	
Масса, (без источника питания) кг.	
Габаритные размеры, мм	
длина	7800
ширина	1700
Высота	3600
Наибольшая нагрузка на балку, кН	2
Номинальный сварочный ток при. ПВ 100%,А	1250
Род питающей сети Переменный трехфазный. 380 В. 50Гц	
Номинальная мощность элекгродвигателейприводов, кВт:	
Горизонтального перемещения консоли	
вертикального перемещения консоли	
перемещения колонны по рельсах	
Степень защиты шкафа управления по ГОСТ 14254-80	JP32

Таблица 5

Наибольший суммарный крутящий момент на оси вращения приводных роликов, Нм, неменее	30000
Наибольшая грузоподъёмность, кг, неменее	50000
Наружный диаметр роликов, мм	560
Диаметр свариваемых изделий, мм:	
наибольший	4000
наименьший	1500
Угловой люфт приводного ролика, градусы, (не более 4мм на радиус 280 мм)	0,83
Сварочная частота вращения приводных роликов, об/мин:	
наименьшая, не более	0,034
наибольшая, не менее,	1.02
что при ролике 0560 мм соответствует скорости сварки,м/с(м/ч):	
наименьшей, не более	0,001(3,6
наибольшей, не менее	0,03(108
Род питающей сети Переменный трехфазный. 380 В. 50Гц	
Установленная мощность кВт, не более	11
Габарит секции, ми:	
приводной 3265*780*1250	
3265*555*1250	
Масса, кг	2580

К числу последних разработок ПАО «ИЗМСО» относятся также спроектированные и изготовленные на заводе вращатель сварочный универсальный с охлаждаемым шпинделем М11080 (рис. 5, *г*, табл. 6) и вращатель для сварки труб М-405 (рис.5, *е*, табл. 7).

Таблица 6

Наибольшая грузоподъемность, кг	6300
Наибольший крутящийся момент на оси вращения, Н м	16000
Наибольший момент центра тяжести изделия относительно опорной планшайбы, Н м	25000
Частота вращения шпинделя, мин-?	0,034-1,35
Угол, град:	
поворота планшайбы	±360
наклона планшайбы	135
Скорость наклона планшайбы, мин-?	0,96
Сварочный ток (ПВ=100%), А	1600
Род питающей сети Переменный трехфазный. 330 В. 50Гц	
Мощность электродвигателя, кВт:	
привода вращения	5,5
привода наклона	5,5
Габариты вращателя	2210x2000xl96S
Масса вращателя, кг	3785

Таблица 7

Наибольшая грузоподъемность, кг не менее	500
Крутящий момент на оси вращения приводных роликов. Нм. не менее	150
Наружныйдиаметер роликов, мм	125
Диаметер свариваемых изделий, мм наибольший	630
Диаметер свариваемых изделий, мм наименьший	76
Сварочная высота вращения приводных роликов, об/мин наименшая. не более ПВ=100 %), А	0,5
Сварочная высота вращения приводных роликов, об/мин наибольшая, не менее	12
При ролике 125 мм соотвецтвуег сварочной скорости, м/мин наиеньшая	0.2
При ролике 125 мм соотвецтвуег сварочной скорости, м/мин наибольшая	2
Род питающей сети Переменный трехфазный. 380 В. 50Гц	
Масса кг. не более	325
Габаритные размеры, мм, ДхВхШ	1211x1805x660
Степень защиты по ГОСТ 14254-80 шкафа управления	JP-32

Работу в этих направлениях Ильницкий завод МСО планирует продолжать, совершенствуя существующие и разрабатывая новые модели оборудования, улучшая качество и надёжность продукции.

Лесная О.С., Фатюхин Д.С. Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Россия

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МОЩНОГО УЛЬТРАЗВУКА ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ИЗНОШЕННЫХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ШИН

По оценкам специалистов ежегодный объём российского рынка шин составляет более 40 млн. штук. Изношенные пневматические шины накапливаются в местах их эксплуатации, вывозятся на свалки, длительное время загрязняют окружающую среду вследствие своей высокой стойкости к действию внешних факторов. Кроме того шины обладают высокой пожароопасностью, а продукты их неконтролируемого сжигания крайне токсичны.

Переработка изношенных шин имеет существенное экономическое значение, поскольку потребность промышленности в природных ресурсах непрерывно возрастает, а сами ресурсы становятся все более ограниченными и дорогостоящими. Возможности использования материалов, получаемых при утилизации шин, очень широки.

Способы использования изношенных автомобильных и тракторных покрышек в % представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Способы использования изношенных автомобильных и тракторных покрышек

	Сжигание	Переработка в сырье	Восстановление	Вывоз на свалки
США	23	10	-	67
Япония	43	12	9	36
Германия	28	15	18	39
Великобритания	9	6	18	67
Европейский Союз	30	–	20	50
Россия	10	5	10	75

Одним из наиболее перспективных направлений утилизации является создание резинотехнических изделий за счет использования продуктов переработки изношенных шин.

Основными этапами технологии переработки являются:

• получение резиновой крошки;
• девулканизация резиновой крошки;
• производство резинотехнических изделий (РТИ) с полным или частичным использованием девулканизированного материала.

В США, Западной Европе, Японии и в России резиновую крошку получают из изношенных легковых, грузовых, автобусных и троллейбусных шин с текстильным и металлическим кордом. Крошка используется в основном как наполнитель для дорожных и конструкционных материалов, например, для производства асфальта.

Наиболее рациональным является комплексное использование резиновой крошки, при котором ценное вторичное сырье применяется не только в качестве наполнителя, но и для изготовления резинотехнических изделий. Блок-схема комплексной переработки изношенных шин представлена на рис. 1.

Основной проблемой реализации приведённого процесса является сложность девулканизации материала при переработке.

Наиболее часто используется метод, при котором резиновая крошка девулканизируется термомеханическим способом в экструдере. За счет высокой температуры и значительных сдвиговых усилий происходит не только измельчение материала, но и частичная девулканизация резины, причем не только на поверхности, но и по глубине частиц.



Рисунок 1 – Блок-схема переработки изношенных шин

Повысить степень девулканизации и снизить

энергозатраты метода позволяет наложение ультразвуковых колебаний на образовавшуюся в процессе экструзии массу. Воздействие высокочастотных колебаний приводит к повышению степени девулканизации на 30 %, снижению времени обработки и, как следствие, снижению энергозатрат.

Другим немаловажным преимуществом использования ультразвукового воздействия на эластомер является возможность повышения производительности технологии. Поскольку девулканизация резины определяется плотностью излучаемой акустической энергии в реакторе, производительность процесса может регулироваться количеством и мощностью ультразвуковых преобразователей.

Ливанский А.Н., Сундуков С.К. Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА ПРОЦЕСС ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ЖИДКОСТЕЙ

Характеристики процесса ультразвукового распыления жидкостей зависят от их физико-химических свойств и акустических параметров применяемых устройств. В данной работе рассмотрено влияние режима ультразвуковой обработки на дисперсность жидкостей различной вязкости.

Эксперименты проводились методом покадровой обработки видеоматериала, полученного при высокоскоростной съёмке, следующим образом: на торце излучателя стержневой колебательной системы размещалась капля исследуемой жидкости, на которую настраивался фокус камеры. Используемая оптика, позволяла получить изображение с размером пикселя – 7 мкм.

В качестве характеристики дисперсности аэрозоля принимался размер наибольшей капли на кадре с максимальным количеством капель, находящихся в фокусе, рассчитанный как $D = p \cdot n$, где p – размер пикселя, а n – количество пикселей. В качестве исследуемой жидкости использовалась смесь глицерин-вода различной концен-

трации. Концентрации смеси подбирались таким образом, чтобы охватить диапазон вязкости до 200 сПз.

Эксперименты проводились на частоте 20 кГц, так как аэрозоль при распылении на меньших частотах имеет слишком большой разброс размеров капель (даже для жидкостей с низкой вязкостью и плотностью – от 5 до 250 мкм), а при распылении на высоких частотах резко падает производительность процесса. Результаты эксперимента представлены на рис. 1.

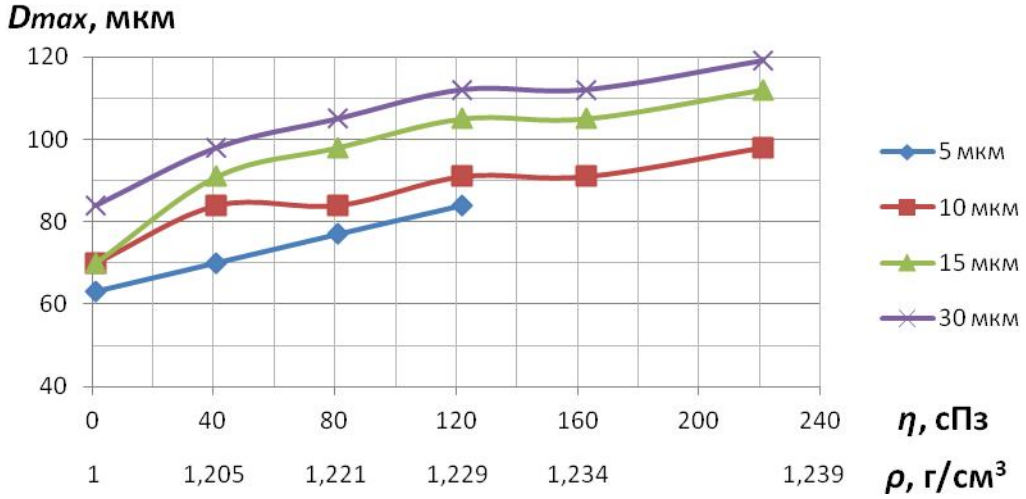


Рисунок 1 – Дисперсность капель аэрозоля при ультразвуковом распылении на различных режимах

С ростом вязкости и повышением амплитуды колебаний торца излучателя увеличивается максимальный диаметр капель, получаемого аэрозоля. Для низкоамплитудного режима рост диаметра происходит линейно, а для переходного и высокоамплитудных режимов наблюдаются изменения угла наклона графиков при вязкости жидкости 80 и 160 сПз; наиболее характерное изменение графика происходит при переходном режиме для вязкости 80 сПз.

Прерывание графика для режима ξ_m = 5 мкм после 120 сПз обусловлено прекращением распыления, что вызвано снижением производительности процесса при увеличении вязкости и уменьшении амплитуды колебаний.

Связь дисперсности капель аэрозоля со свойствами распыляемой жидкости описывается формулой [1], по которой с увеличением плотности диаметр капель уменьшается

$$d = 0{,}3 \cdot \sqrt[3]{\frac{8\pi\sigma_{\text{п}}}{\rho f^2}},$$

где σ_n– коэффициент поверхностного натяжения, ρ – плотность жидкости, f – частота звуковых колебаний.

Полученные результаты противоречат данному положению, что объясняется возрастанием сил поверхностного натяжения при увеличении вязкости.

Изменение производительности распыления характеризуется изменением концентрации аэрозоля, т.е. увеличение количества капель в единицу времени при распылении одинакового объёма, что говорит о возрастании скорости распыления. Это проиллюстрировано на рис. 2, в которой представлены кадры распыления капли смеси вязкостью 80 сПз на рассмотренных амплитудах. На изображениях визуально заметно и повышение диаметра капель, и увеличение их количества. Полное распыление на амплитудах от 10 мкм осуществлялось в течение 2 с после включения ультразвука, в то время как для полного распыления капли на амплитуде 5 мкм требовалось порядка 60 с.

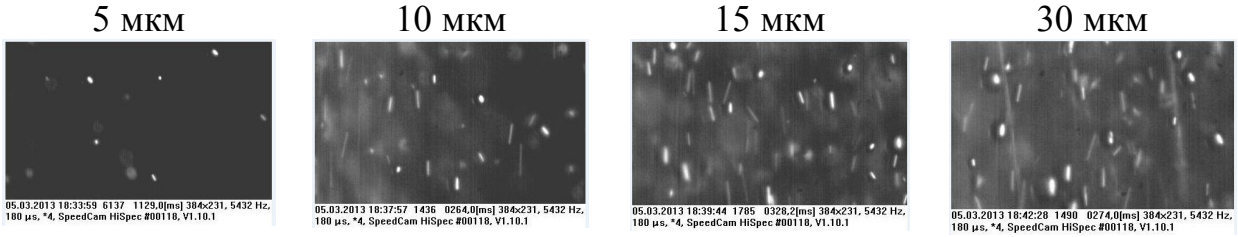


Рисунок 2 – Распыление капли смеси глицерин-вода вязкостью 80 сПз

Результаты проведённых исследований позволяют выбирать оптимальный режим ультразвукового воздействия при распылении жидкостей различной вязкости. Так, например: для распыления автоэмали МЛ-1110, имеющую рабочую вязкость от 80 до 200 сПз, оптимальной амплитудой распыления является 10 мкм, так как обеспечивает наилучшую дисперсность капель и позволяет производить распыление на всём диапазоне рабочей вязкости с высокой производительностью.

Литература

1. Розенберг Л.Д. Физика и техника мощного ультразвука. – М.: изд. «Наука», 1970. – Т.3. Физические основы ультразвуковой технологии.

Лойко В.А. Беларусский государственный
аграрный технический униерситет,
Саранцев В.В. Беларусский национальный технический
униерситет, Минск, Беларусь

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПАР ДИЗЕЛЬНОЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ

К прецизионным парам дизельной топливной аппаратуры предъявляются очень высокие требования по величине зазора, геометрической форме, шероховатости поверхности, физико-механическим характеристикам (твердости, износо- и коррозионной стойкости, размерной стабильности).

Даже незначительные отклонения параметров пар от величин, предусмотренных техническими условиями, приводят к снижению мощности, экономичности, надежности и других важных характеристик двигателя.

Проведем анализ разработанных и в различной мере используемых для восстановления характеристик прецизионных пар дизельной топливной аппаратуры технологий.

Селективная подборка пар (наиболее распространена) проводится после обработки деталей притирами (для устранения следов износа и восстановления параметров формы и шероховатости), формируют размерные группы через 0,0005–0,001 мм. Спаривание деталей (плунжер – втулка) производят по размерным группам так, чтобы плунжер мог войти во втулку на 1/3 свой длины с последующей притиркой пастами ГОИ или НЗТА М7 и М3. В хорошо промытой и притертой паре плунжер должен свободно опускаться под действием собственного веса.

Замена одной из деталей новой осуществляется в условиях специализированного ремонтного предприятия. Изношенную втулку хонингуют до выведения следов износа, азотируют и притирают притиром. Восстановление работоспособности плунжерной пары достигается комплектовкой пары новым плунжером увеличенного размера, проводят селективную подборку и совместную притирку плунжера к втулке.

Диффузионная металлизация (комплексная, хромированием, титанированием, борохромированием, борохромоникелированием,

хромосилицированием и др.). Методы диффузионного хромирования и титанирования позволяют получать высокотвердые покрытия лишь относительно небольшой толщины, поэтому для компенсации износа диффузионное покрытие необходимо наносить на обе детали прецизионной пары, что технологически сложно выполнить. Методы диффузионных покрытий повышает их ресурс в 2–4 раза по сравнению с новыми деталями, при этом поверхностная твердость составляет 18–24 ГПа, прецизионная механическая обработка деталей сложна весьма затратна.

Гальваническое хромирование. Пару разукомплектовывают, разбраковывают через 0,001 мм, шлифуют на бесцентрово-шлифовальном станке до выведения следов износа. Овальность и конусность плунжера устраняют прокаткой на доводочных станках при шероховатости *Ra* 0,63. Плунжеры хромируют, предварительно обезжирив электрохимическим способом, поверхностный слой обезводораживают термообработкой при 180–200 °С в течение 1,5–2 ч. Твердость покрытия должна быть не ниже 60–65 HRC. Способ не получил широкого распространения ввиду большой трудоемкости, большого процента брака и неэкологичности.

Электроосаждение композиционного хромо-алмазного (Cr-УДА) покрытия. Ультрадисперсные алмазы (УДА) с размером частиц (2–10 нм) и развитой (200–400 $м^2/г$) активной поверхностью способны внедряться в слой гальванически осаждаемого хрома на стадии его формирования. Частицы алмаза в электролите при хромировании участвуют в процессе осаждения хрома как затравочные кристаллы и процесс осаждения осуществляется по многозародышевому механизму. Слой композиционного хромо-алмазного (Cr-УДА) покрытия обладает сверхмалыми размерами структурных фрагментов, толщина составляет от 0,5 до 500 мкм в зависимости от необходимого размера, микротвердость покрытий от 100 до 120 МПа (1000–1200 $кг/м^2$, износостойкость в 2–3 раза выше, чем у покрытий, полученных другими гальваническими способами, значительно выше предельные напряжения сдвигового и нормального отрыва покрытия от основы, не отслаиваются даже при температурах до 1018 °С.

Нанесение тонкослойных (микронных) упрочняющих (на основе аморфных сплавов >800 HV) и самосмазывающих покрытий (на основе сплавов меди также является перспективным методом восстановления для прецизионных деталей.

Вакуумно-плазменная технология нанесения покрытий в вакууме с нашей точки зрения наиболее перспективна. Предварительно выполняют механическую или электромеханическую обработку плунжеров и втулок для восстановления формы и параметров шероховатости поверхности. Проводят замеры, формируют размерные группы втулок и плунжеров через 0,0005–0,001 мм. На каждую группу плунжеров наносят вакуумно-плазменное покрытие толщины, рассчитанной с достаточной высокой точностью для данной размерной группы и обеспечивающее зазор оптимальной величины в прецизионной паре. Последующая механическая обработка плунжеров не производится, пары формируют из деталей одноименных размерных групп, притирают и отправляют на сборку. Рекомендуем следующее композиционное покрытие для прецизионных деталей: внутренний адгезионный слой высокопрочного *металла Cr или Mo* толщиной 0,2–0,5 мкм, промежуточный (основной) слой – твердый износостойкий нитрид или карбид металла заданной толщины и наружный мягкий смазочный слой 0,2–0,5 мкм из соединения MoS_2 или твердосмазочного металла (сплава).

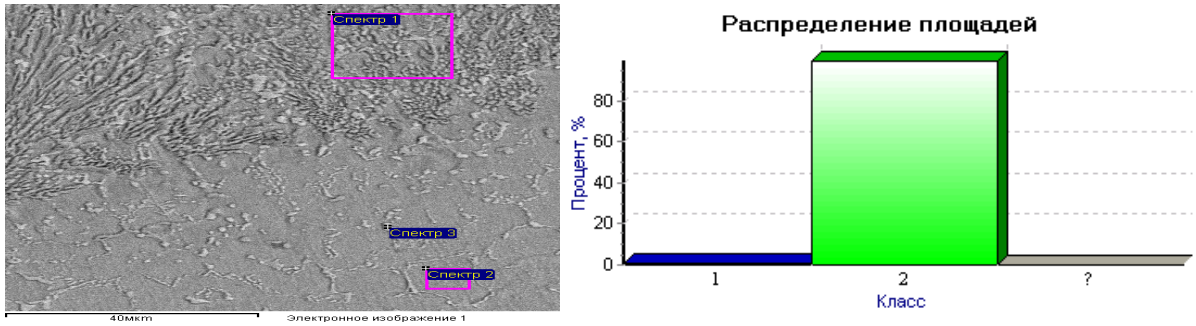
В целом экономическая эффективность восстановления работоспособности прецизионных пар топливной аппаратуры обеспечивается оптимальной в условиях ремонтного предприятия технологией восстановления параметров пар, уровнем технологического решения, долговечностью восстановленных деталей, а также организационными факторами.

Лопата Л.А., Корж В.Н. НТУУ «Киевский политехнический институт», Киев,
Волков Ю.В. Одесская национальная морская академия, Одесса,
Николайчук В.Я. Винницкий национальный аграрный университет, Винница, Украина

УПРОЧНЕНИЕ НИКЕЛЬ-ХРОМОВЫХ СПЛАВОВ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫМ ПРИПЕКАНИЕМ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОРОШКОВ СИСТЕМЫ ($NiCr-Cr_3C_2$)

В работе предоставлены результаты исследований, показывающие возможность и целесообразность получения покрытий на никель-хромовых суперсплавах семейства Inconel методом электрокон-

тактного припекания (ЭКПП) композиционных порошков системы (NiCr-Cr_3C_2) для повышения их износостойкости в интервале температур до 1000 °С. Электроконтактное припекание порошковых материалов (ЭКПП) осуществляется под давлением при прямом пропускании электрического тока, гарантируют сохранение в покрытии всего комплекса свойств, присущих исходной порошковой системе. Применение ЭКПП позволяет получать покрытия с минимально необходимым нагревом и малыми величинами припусков на финишную обработку, толщиной до 3 мм при минимальном уровне остаточных напряжений и прочности сцепления более 200МПа. Пористость покрытий не превышает 5 %. Высокое качество покрытий при ЭКПП обеспечивается импульсным характером процесса и такими физическими явлениями как аномальная диффузия и электропластический эффект. Покрытия наносили на плоские (пластина толщина 3 мм) и цилиндрические внешняя диаметр 122 мм, толщина 3 мм) образцы. Для проведения исследований в качестве материала образцов использовали жаропрочный сплав инконель 718. В качестве материала покрытий был использован карбид хрома Cr_3C_2 (70–90 %) с никелем Ni (10–30) как в виде порошковой смеси, так и в виде композиционного порошка КХН 15–30, и композиционный порошок карбид хрома Cr_3C_2 (70–90 %) с нихромом (Ni-Cr 80/20). Фракционный состав порошка выбирался в пределах 40–200мкм в зависимости от способа его предварительного формования. На цилиндрических образцах порошок перед спеканием предварительно формовали методом газопламенного напыления без подслоя и с использованием подслоя из нихрома. В случае пластины использовали свободную насыпку порошка. Результаты исследования образцов с покрытиями, полученные ЭКПП, представленны на рис. 1 и в табл.1.



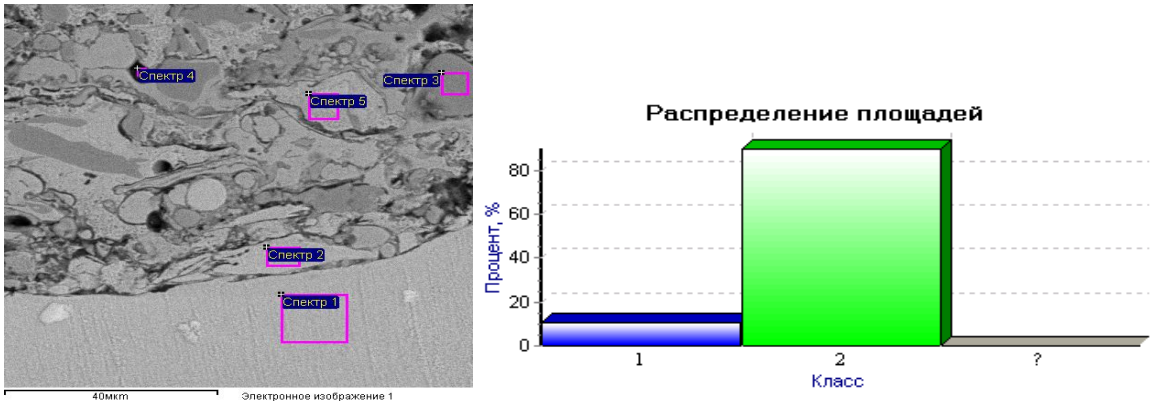
а *б*

Рисунок 1 – Результаты исследования образца с покрытием, полученным ЭКПП: *а* – структура, *б* – пористость (1 – поры 0,788 %, 2 – основа 99,22 %)

Таблица 1 – Распределение элементов

Спектр	C	F	Al	Ti	Cr	Fe	Ni	Nb
Спектр 1	10.63	2.83		0.59	27.49	11.06	40.65	6.76
Спектр 2	6.55	2.59	0.50	0.56	18.99	17.89	52.92	
Спектр 3	20.53		0.29	2.33	13.35	9.19	28.04	26.2

Для сравнения на рис. 2, табл. 2 представлены результаты исследований покрытия, полученного методом высокоскоростного газопламенного напыления (ГПН), а на рис. 3, табл. 3 – покрытия, полученные ГПН с последующей электроконтактной обработкой.



а *б*

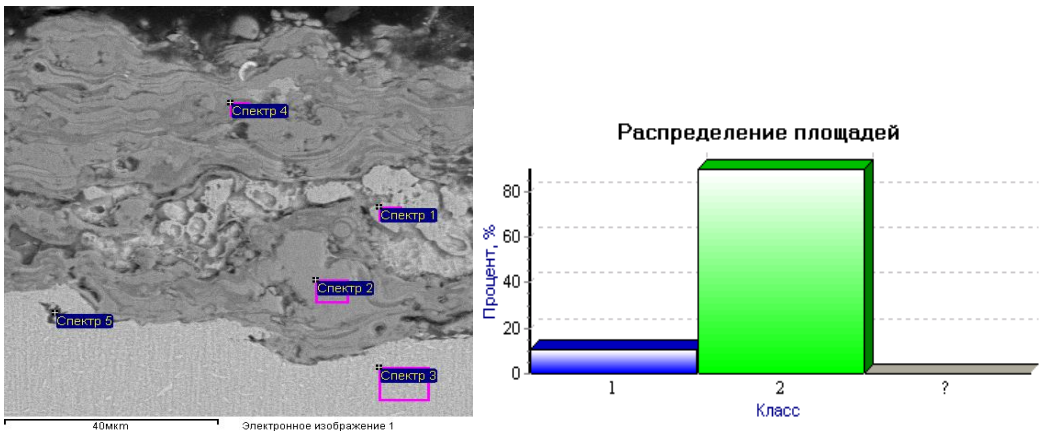
Рисунок 2 – Результаты исследования образца с покрытием, полученным газопламенным напылением (ГПН): *а* – структура; *б* – пористость (1 – поры 10,29 %, 2 – основа 89,71 %)

Таблица 2 – Распределение элементов

Спектр	C	O	F	Al	S	Ti	Cr	Fe	Ni	Nb
Спектр 1	8.2		2.6	0.4		0.9	17.5	17.2	47.0	5.9
Спектр 2	7.8		2.5	0.5	0.5	0.8	17.7	17.0	46.5	6.4
Спектр 3	16.						82.9		0.95	
Спектр 4	68.	6.9					11.5	1.72	11.8	
Спектр 5	14.	1.4					14.9		68.9	

Таблица 3 – Распределение элементов

Спектр	C	O	F	Al	Si	Ti	Cr	Fe	Ni	Nb
Спектр 1	9.1	1.5					2.16		87.1	
Спектр 2	12.35						87.1		0.51	
Спектр 3	8.3		2.	0.4		0.8	16.6	15.5	49.1	6.4
Спектр 4	5.4	26.4					68.0			
Спектр 5	33.97	31.5			16.5	0.2	4.40	3.47	8.24	1.5



а *б*

Рисунок 3 – Результаты исследования образца с покрытием, полученным ГПН с последующей электроконтактной обработкой: *а* – структура; *б* – пористость (1 – поры 6,21%, 2 – основа 93,79%)

Исследование микроструктуры проводилось на световом микроскопе «MeF-3» фирмы "Reichert" (Австрия).Фотографии микроструктур представлены на рис. 1–3. При исследования использовался метод сканирующей электронной микроскопии и микрорентгеноспектрального анализатора. Исследование проводили на сканирующем электронном микроскопе "CamScan" ("Oxford Instruments", Англия) с рентгеновским энергодисперсионным анализатором. Точечный микрорентгеноспектральный анализ проводился по программе количественного анализа. На рис. 1–3 представлено распределение пористости по классам, средняя пористость и гистограммы распределения пористости. Пористость покрытий определялась количественным стереологическим анализом образцов на автоматическом анализаторе изображения «Mini-Magiscan» фирмы "Joyce Loebl", Англия, по программе «Genias 26». Измерение микротвердости проводилось на микротвердомере "Micromet-II" с нагрузкой 100 г. по ГОСТ 9450-76 от края поверхности покрытия к основе с захватом переходной зоны и составляла 500–580 HV. Прочность сцепления покрытий определялась по расчетно-экспериментальной методике, разработанной в Институте проблем прочности им. Г.С. Писаренко Академии наук Украины. Прочность сцепления покрытий, полученных ЭКПП составляла 200МПа, ГПН – 80 МПа, ГПН после электроконтактной обработки – 160 МПа.

Эти предполагают дальнейшее развитие проведенных работ для восстановления и упрочнения жаропрочного никель-хромового суперсплава семейства Inconel 718 для работы при температурах до 1000 ^{o}C электроконтактным припеканием порошковых материалов системы (NiCr-Cr3C2).

Лужнов Ю.М., Иванов А.Ю. ОАО ВНИИЖТ,
Москва, Россия

РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ПРИРОДЕ ФРИКЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОЛЁС С РЕЛЬСАМИ КАК ОСНОВА ДАЛЬНЕЙШЕГО УЛУЧШЕНИЯ ИХ РАБОТЫ

С момента зарождения железнодорожного транспорта в основу его работы и для движения поездов был заложен наиболее экономный механизм передачи всех сил на рельсовый путь - трения качения колеса по рельсу, что во многом определяющий как расчетный коэффициент сцепления локомотивов с рельсами, так и другие технические и экономические показатели работы железных дорог.

В эксплуатационных условиях реализуемые локомотивами коэффициенты сцепления под влиянием погодных условий нередко отклоняются от расчетных величин на плюс-минус 20–30 %. Это значительно осложняет работу железных дорог. В тех случаях, когда коэффициенты сцепления реализуются ниже расчетных величин, это ведет к сбоям в движении поездов, скольжению колес, потерям энергии и ускоренному износу колес и рельсов. Для улучшения их работы приходится подавать песок на рельсы или допускать упругое скольжение колес с выделением дополнительного тепла трения в зоне их фрикционного контакта. Режим узла трения из экономичного переходит в разряд энергозатратного трения-качения со скольжением. В зоне трения начинают ускоряться физические и химические процессы, изменения механических свойств колёс и рельсов и изменяются сами механизмы трения и изнашивания [1]. Понимая это Н.П. Петров [2,3] еще в 1915 году писал: «Задачи инженерного характера, поддающиеся измерениям, должны быть выражены в виде математических формул. При этом математику следует применять тогда, когда выяснена физическая сторона явления. Пренебрежение этим приводило и приводит к чудовищным гипотезам, химерическим воззрениям, превращает исследования в простые математические упражнения».

В исследованиях С.И. Косикова, Ю.М. Лужнова и их соавторов [4] однозначно показано, что уровень трениях на рельсах преимущественно определяется свойствами поверхностных загрязнений колес и рельсов, во многом ответственных за реализацию скольжения колёс, потерю энергии, и ростом температуры в зоне трения,

влияющих на реализацию механизмов трения и уровни изнашивания трущихся тел [1, 6].

Важным шагом к пониманию природы фрикционного взаимодействия тел, проливающим свет на фундаментальные проблемы трибологии, такие как адгезионное и деформационное составляющие трения, а также усталостного, эрозионного, абразивного и адгезионного видов изнашивания стал анализ совместного рассмотрения масштабных факторов, моделей механизмов взаимодействия факторов влияния на механические свойства материалов, топографию, поверхностных сил и тепла разработанных групп и ученых во главе с Н.К. Мышкиным [5].

Использование этой работы открывает возможность при взаимодействии макротел обнаруживать и выявлять неклассические процессы, реализуемые в реальных узлах трения. (Такие, например, как явление реологии тел, адгезии их, граничных свойств поверхностей тел и т.п.). Это открывает возможности на основании последних достижений трибологии, в отличии от чисто механических подходов к ряду трибологических процессов, используемых порой для успешного решения проблем в узлах трения на железнодорожном транспорте, получать более полное объяснение таких процессов, как образование выщербин, ползунов, бокового изнашивания колёс и рельсов, а также определить пути улучшения работы смазочных материалов и другие. В этом направлении возможно решать возникающие перед железнодорожным транспортом такие актуальные задачи, как надежность реализации постоянно возрастающих сил тяги и торможения, уменьшения интенсивностей изнашивания колес и рельсов, экономии энергии транспортными средствами и улучшения безопасности движения поездов [6]. Однако, при этом необходимо отдавать отчет, что природа сцепления колес с рельсами не стоит на месте, и каждый раз усложняется по мере увеличения нагрузок на узел трения колесо-рельс.

Литература

1. Лужнов Ю.М. Физические основы и закономерности сцепления колёс локомотивов с рельсами: Дис…д-ра техн. наук. – М.: МИИТ, 1978.

2. Петров Н.П. Давление колес на рельсы // СПб, Известия технологического института, 1915.

3. Петров Н.П. Самые знаменитые железнодорожники России. – М.: Изд. ВЕЧЕ, 2005.

4. Косиков С.И. Фрикционные свойства железнодорожных рельсов. – М.: Наука, 1967.

5. Мышкин Н.К., Петраковец М.И. Трибология. Принципы и приложения». – Гомель: ИММС НАНБ, 2002.

6. Лужнов Ю.М. Нанотрибология сцепления колес с рельсами. Реальность и возможности. – М.: ИНТЕКСТ, 2009

Ляшенко Б.А., Калініченко В.І. Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України
Марчук В.Є. Національний авіаційний університет, Київ, Україна

ВПЛИВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ПОВЕРХОНЬ З ДИСКРЕТНО-ОРІЄНТОВАНОЮ СТРУКТУРОЮ

В останні роки процеси тертя та зношування досліджуються з урахуванням енергетичних позицій з метою найбільш повного врахування різних факторів, які можуть вплинути на цей процес. Відомо, що тертя розглядається як пружно-коливальний процес генерації тепла в поверхневому шарі і утворення вторинних структур. Поряд з генеруванням тепла при терті є і інші перетворення енергії, серед яких має місце збудження електричних і магнітних полів, створення термострумів, трибохімічні реакції та ін. Ці фактори відіграють важливу роль у процесах тертя та зношування.

В роботі [1] показано, що в умовах фретинг-корозії інтенсивність руйнування контактуючих металів залежить від їх електрохімічних і електрофізичних явищ. Термоелектричні струми, супутні фреттинг-корозії, не грають основної ролі в її виникненні, але, вони є одним з факторів, що впливають на дифузійні процеси на границі контакту. Результатом такого впливу є зміна швидкості окислення контактуючих поверхонь, що приводить до зміни інтенсивності розвитку процесів схоплювання. Теоретично обґрунтовано вплив електромагнітного поля дискретних поверхонь на процеси тертя та зношування трибосистеми [2]. Необхідно відмітити, що наукові дослідження магнітних явищ у трибоконтакту з дискретними поверх-

нями є актуальними. Крім того, дослідження магнітних явищ у дискретних поверхнях в літературі майже відсутні.

Дослідження напруженості магнітного поля здійснювали на виготовленому макеті за допомогою приладу вимірювання магнітної індукції – тесламетра ЭМ4305/1 (клас точності 2,5). Для виготовлення зразків, на поверхні яких формувалися дискретні ділянки (лунки) шляхом пластичної деформації матеріалу при динамічній дії індентора за допомогою спеціального пристрою, використовували сталі 30, 45, 30ХГСА, 14Х17Н2 та чавун. Робоча поверхня зразків шліфувалася до *Ra* 0,32.

Встановлено, що на кромках лунок напруженість магнітного поля різко збільшується і в залежності від пари контакту на 10–26 % вища, у порівнянні з напруженістю магнітного поля у між лунковому просторі, яка становить 44–65 мТл. Поза межами кромки (у лунці) величина напруженості магнітного поля зменшується до 13–17 мТл.

Отримані результати дозволяють стверджувати, що продукти зношування (феромагнетики) будуть концентруватися (контактувати) спочатку з великими виступами на поверхні (кромками лунок), які є концентратором найбільших магнітних силових ліній, у порівнянні з шорсткістю поверхні у між лунковому просторі (рис. 1). Кожна частка продуктів зношування у магнітному полі буде направлена до вершини кромки лунки більшою віссю. В залежності від навантаження пари тертя, швидкості ковзання та інших факторів здійснюється зношування вершин кромок лунок і затуплення вершин частинок зношування та їх переорієнтація таким чином, щоб знову створена найбільша вісь направлялася уздовж найбільших магнітних силових ліній. Тобто здійснюється ме-

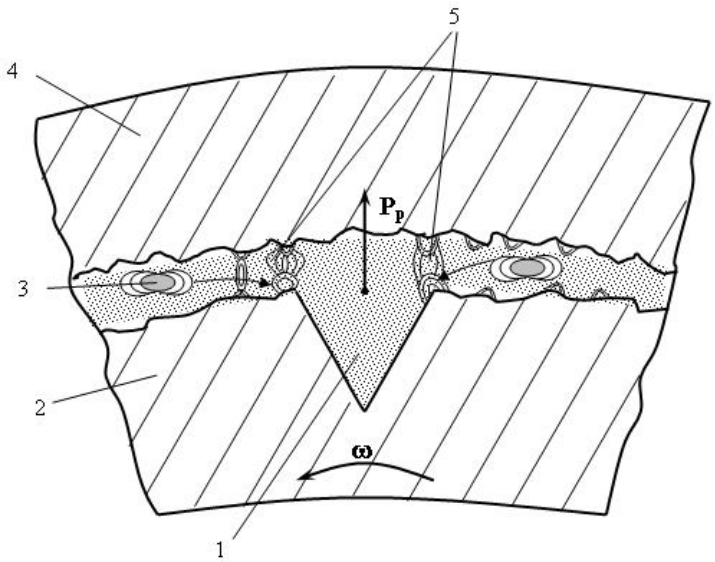


Рисунок 1 – Фізична модель зношування окремої дискретної ділянки в умовах граничного мащення: *1* – лунка; *2* – контртіло; *3* – продукт зношування; *4* – зразок; *5* – еквіпотенціальні поля рівного потенціалу; P_p – результуюча сила

ханічне зношування (згладжування) виступів кромок лунок і частинок продуктів зношування на субмікроскопічному (нано) рівні. При зношуванні кромок лунок силові лінії магнітного поля зменшуються до величини напруженості магнітного поля у між лунковому просторі і продукти зношування в подальшому вилучаються у лунки. Ці процеси дозволяють усунути ймовірність появи у зоні тертя критичних навантажень і температур та запобігатиме виникненню недопустимих процесів пошкодження поверхневого шару у між лунковому просторі в місцях фактичного контакту та покращити триботехнічні характеристики пар тертя.

Це підтверджуються даними, отриманими в результаті проведення експериментальних досліджень дискретних поверхонь в умовах граничного мащення. Встановлено високу зносостійкість текстурованих лункових поверхонь як без, так і додатково зміцнених методом іонно-плазмового термоциклічного азотування (ІПТА). Вони перевищують зносостійкість сталей 45 у 3,1–5,3 рази і 30ХГСА - 1,9–3,25 рази, сталі 30ХГСА, поверхневий шар якої зміцнений методом ІПТА у 1,3–2,3 рази [2]. Також покращились умови припрацювання пар тертя з дискретними поверхнями. Встановлено зменшення як тривалості припрацювання, так і величини коефіцієнта тертя зразків з дискретними поверхнями [3].

Література

1. Фреттинг-коррозия / Н.Л. Голего, А.Я. Алябьев, В.В. Шевеля. – К.: Техніка, 1974. – 272 с.

2. Зносостійкість текстурованих лункових поверхонь з дискретно-орієнтованою структурою в умовах граничного мащення / В.Є. Марчук, О.І. Духота, В.І. Морозов // Проблеми тертя та зношування : наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2012. – Вип. 57. – С. 128–138.

3. Управление свойствами поверхностей трения при приработке дискретных покрытий в условиях фреттинга / Г.В. Цыбанев, В.Е. Марчук, В.И. Калиниченко // Проблемы трибологии. – 2011. – № 1. – С. 52–57.

Ляшенко Б.А. Інститут проблем міцності
ім. Г.С. Писаренка НАН України,
Мірненко В.І. Національний університет
оборони України ім. Івана Черняховського,
Лапач С.М. НТУУ «Київський політехнічний інститут»,
Радько О.В. Національний авіаційний університет, Київ, Україна

ОЦІНКА ВПЛИВУ ВІДТВОРЮВАНОСТІ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ НА НАДІЙНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Питання надійності набувають великого значення при вирішенні проблем промислового виробництва, де задача досягнення потрібних механічних властивостей деталей і продуктивності виробничого процесу поєднана з обмеженістю ресурсів і необхідністю мінімізації їх витрат.

Аналіз сучасних технологічних процесів показує, що вони підпорядковуються характерним закономірностям, знання яких необхідно для їх прогнозування та ефективного управління, і чим достовірніше досліджені дані закономірності, тим точніша оцінка надійності деталей і виробу в цілому. Крім цього, важливою властивістю об'єкту управління, яким являється технологічний процес, є ступінь відтворюваності досягнутих результатів, для оцінки якої необхідно при одному і тому ж стані об'єкту у різні моменти часу здійснювати ряд паралельних експериментів. Для цього зараз для статистичної оцінки якості сформованих захисних покриттів та зміцнених поверхневих шарів найбільш часто використовують методи аналізу і математичного опису технологічних процесів. При цьому, основними проблемними питаннями є вибір і оцінка ефективності технологічних рішень, математичні методи розрахунку і аналізу надійності, способи оцінки надійності, а також методи планування керованих впливів.

Ефективність використання статистичних методів планування експерименту при дослідженні технологічних процесів пояснюється тим, що багато важливих характеристик цих процесів є випадковими величинами, розподіл яких близько слідує багатомірному нормальному закону.

Таким чином, оцінку надійності технологічного процесу або його елементів необхідно проводити за параметрами якості дета-

лей, якими і є механічні властивості, чи за їх сукупністю. Окрім цього, при аналізі точності і надійності технологічних процесів необхідно визначати та уточнювати:

- моделі формування похибок обробки;
- моделі зміни в часі точності (відтворюваності) отриманих механічних властивостей, яка забезпечується об'єктом управління;
- залежності між параметрами зміцнених й відновлених деталей і параметрів технологічних систем;
- основні фактори, які змінюють надійність технологічних систем.

Для виконання аналізу при контролі і управлінні технологічним процесом використовують апарат регресійного, дисперсійного, кореляційно-регресійного аналізів, а також загальні принципи математичної статистики. Вибір конкретного методу визначається перш за все повнотою інформації про об'єкт управління (технологічний процес), достатністю експериментальних даних і вибраним підходом до дослідження об'єкту.

Не слід забувати, що особливого значення при відтворенні механічних властивостей деталей набуває специфіка самого технологічного процесу, особливості його аналізу і оцінки надійності самого процесу, вірності прийняття технологічних рішень на основі його моделювання для ефективного його управління. Тобто, технологічні методи забезпечення надійності визначаються, перш за все, надійністю самих технологічних процесів, метою яких є відтворення досягнених показників і параметрів, заданих конструкторами при проектуванні деталей, агрегатів і машини в цілому.

Практика промислового виробництва показує, що імовірнісні методи розрахунку надійності і якості технологічних процесів дозволяють як якісно так і кількісно оцінити фактори, які здійснюють вплив на технологічні системи, виявити шляхи найбільш значимого впливу, розробити ефективні технологічні і конструктивні заходи щодо удосконалення технологій, які використовуються для створення виробів з необхідними властивостями.

Таким чином, надійність технологічного процесу щодо відтворення механічних властивостей повинна оцінюватися тільки тими показниками якості, рівень яких залежить від технології, яка використовується, чи значення яких змінюється у результаті виконаних операцій. При цьому, кількісну оцінку надійності технологічного процесу здійснюють по відтворюваності, стійкості і стабільності технологічних операцій.

Ляшенко Б.А., Рутковский А.В., Кумуржи А.Ю.
Институт проблем прочности им. Г.С. Писаренко
НАН Украины, Киев, Украина

ПОВЫШЕНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СТАЛИ 40Х13 МЕТОДОМ ВАКУУМНОГО ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОГО АЗОТИРОВАНИЯ

Одним из важнейших конструкционных материалов, используемых в машиностроении, является сталь 40Х13. Чаще всего, она применяется при изготовлении улучшаемых деталей, отличающихся повышенной прочностью, таких как: шпиндели, плунжеры, валы, оси, вал-шестерни, кольца, кулачковые и коленчатые валы, полуоси, болты, втулки, рейки, и другие. Данные изделия работают в условиях знакопеременных циклических нагрузкок.

Испытания материала в условиях циклической долговечности позволяют прогнозировать ресурс работы изделия и, в итоге, его надежность. Под действием знакопеременных нагрузок в материалах зарождаются и постепенно развиваются трещины, вызывающие, в конечном итоге, полное разрушение. Такие разрушения особенно опасны, потому что могут протекать под действием напряжений, намного меньших предела текучести. Более 80 % всех случаев эксплуатационного разрушения происходит в результате циклического разрушения. Для увеличения усталостной прочности изделий из стали 40Х13 был разработан новый метод поверхностного упрочнения – ионно-плазменное термоциклическое азотирование (ИПТА).

Разработанный метод поверхностного упрочнения деталей предназначен для модификации поверхности конструкционных, инструментальных, нержавеющих сталей и чугунов. Является финишным, не требующим дальнейшей обработки детали, в отличие от других методов поверхностного упрочнения деталей. Результат обработки – повышение предела выносливости и износостойкости, получение равномерного слоя по всей поверхности детали, в том числе и в глухих и сквозных отверстиях. Метод экологически чистый. Позволяет обрабатывать поверхность, как простых форм деталей, так и сложных (шнеки, коленвалы, шестерни, матрицы и др.).

Как известно, применение термоциклического метода азотирования позволяет интенсифицировать модифицирование поверхно-

сти с помощью предложенного физико-химического процесса. Он состоит из периодически повторяющихся нагревов и охлаждений.

Изучено влияние термоциклирования при азотировании на механические свойства материала. Для исследования применялись образцы, изготовленные из стали 40Х13. С помощью метода ИПТА, образцы нагревались до T = 500 ˚С и обрабатывались разными режимами циклов: ±20 ˚С, ±50 ˚С, ±100 ˚С.

Исследования многоцикловой усталостной прочности проводились на магнитострикционной установке, принцип работы которой основан на использовании явления магнитострикции, заключающегося в способности некоторых материалов и сплавов изменять свои линейные размеры под действием переменного магнитного поля. Таким образом, регулируя амплитуду колебаний магнитостриктора проводились усталостные испытания материала.

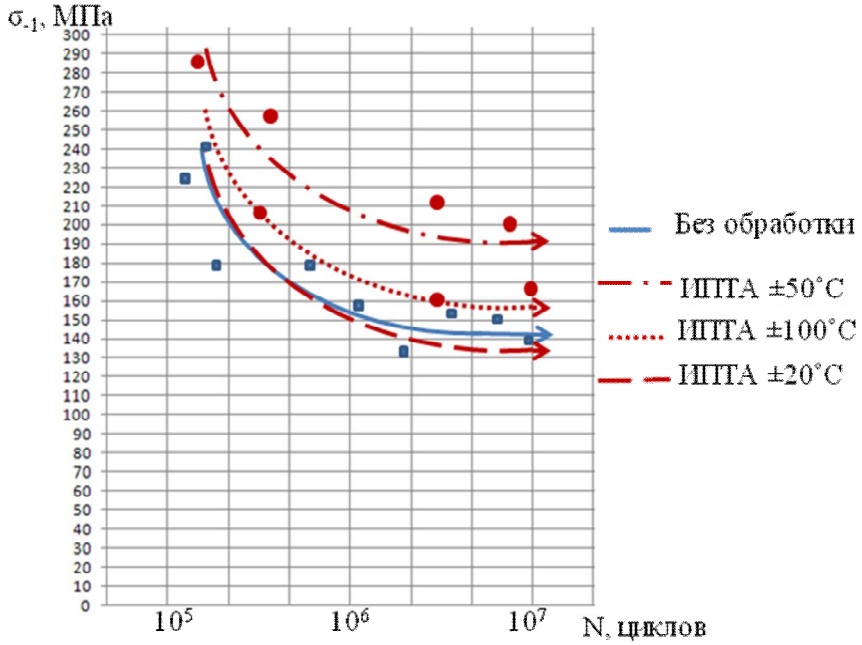


Рисунок 1 – Усталостная прочность стали 40Х13, обработанной методом ИПТА режимами: ±20 ˚С, ±50 ˚С, ±100 ˚С

В результате экспериментальных исследований (рис.1) установлено, что образцы из стали 40Х13, обработанные ИПТА при цикле ±50 ˚С, показали лучший результат при испытании на усталостную прочность. Многоцикловая усталостная прочность увеличилась на 20%. При обработке данным методом в режиме ±20 ˚С, образцы не показали лучшие результаты. Образцы, обработанные при режиме ±100 ˚С имели усталостную прочность на 5 % лучше, чем образцы без обработки.

Полученные результаты обусловлены возникшими остаточными напряжениями в поверхностном слое образцов.

Предложенная технология успешно применяется для обработки различных деталей машиностроительного комплекса, работающих в условиях знакопеременных напряжений.

Мановицкий А.С. Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

ШЕРОХОВАТОСТЬ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ ЗАКАЛЕННОЙ СТАЛИ ШХ15 КРУГЛЫМИ РЕЖУЩИМИ ПЛАСТИНАМИ ИЗ КИБОРИТА

На действительную высоту неровностей оказывают влияние те же факторы, что и на высоту расчетных неровностей, поэтому при уменьшении подачи, углов в плане инструмента и увеличении радиуса при вершине высота неровностей уменьшается. Кроме того, на высоту неровностей влияют все те факторы, которые изменяют процесс пластического деформирования материала и условия трения на контактных поверхностях инструмента. К ним можно отнести механические свойства обрабатываемого материала, скорость резания и свойства применяемой смазочно-охлаждающей жидкости. Глубина резания на высоту неровностей значительного влияния не оказывает. Передний угол влияет через изменение степени деформации. С повышением твердости и прочности обрабатываемого материала и снижением его пластичности объем пластической деформации уменьшается, и это приводит к уменьшению высоты неровностей. Скорость резания влияет на высоту неровностей через наростообразование и изменение степени деформации. Очевидно, что для получения высокого качества обработанной поверхности необходимо работать при скоростях резания, когда отсутствует наростообразование. По данным многих исследователей оптимальной скоростью резания по шероховатости обработанной поверхности является оптимальная же скорость резания по стойкости резцов; скорость резания при больших ее значениях и отсутствии нароста незначительно влияет на шероховатость обработанной поверхности.

Глубина резания заметного влияния на шероховатость обработанной поверхности также не оказывает. Поэтому не следует применять слишком малую глубину резания при чистовой и тонкой обработке, если нет необходимости повышать точность обработки при выполнении предшествующих операций.

Из параметров режимов резания на шероховатость обработанной поверхности наибольшее влияние оказывает подача. Так, при точении стали 45 резцом с r = 1 мм при увеличении скорости резания от 0,7 м/с до 1,4 м/с высота неровностей снизилась в 1,5 раза, а при уменьшении подачи с 0,3 мм/об до 0,15 мм/об высота неровностей уменьшилась в шесть раз. То же самое наблюдается и при срезании тонких стружек. Например, при точении стали 38ХМЮА с повышением скорости резания от 2 м/с до 4 м/с высота неровностей снизилась на 3 %, а при уменьшении подачи с 0,116 мм/об до 0,062 мм/об высота неровностей снизилась в два раза.

Уменьшение подачи при обработке конструкционной углеродистой стали с подачами меньше 0,06 мм/об не вызывает снижения высоты неровностей. Это объясняется наличием упругих и пластических деформаций упруго восстановленного слоя в результате контактного взаимодействия с округленной режущей кромкой инструмента.

Из геометрических параметров резца наибольшее влияние на шероховатость поверхности оказывает радиус r при вершине резца. Из формул для расчета высоты микронеровностей следует, что с увеличением r шероховатость снижается. В действительности же высота микронеровностей больше расчетной из-за значительных деформаций поверхностного слоя обработанной поверхности и вследствие воздействия на нее колебаний узлов станка и вибраций инструмента.

При достаточной виброустойчивости технологической системы расчетные закономерности влияния радиуса при вершине резца на шероховатость обработанной поверхности лучше согласуются с экспериментальными результатами. Если жесткость этой системы недостаточна, то с увеличением r вследствие повышения радиальной силы, вызывающей вибрации системы, высота неровностей возрастает. С уменьшением жесткости резца высота неровностей также увеличивается, поскольку увеличивается высокочастотная составляющая вибраций резца.

Увеличение радиуса r при вершине резца приводит не только к снижению шероховатости, но и к уменьшению темпа ее роста в процессе износа инструмента.

С возрастанием переднего угла γ резца высота неровностей снижается, так как уменьшается пластическая деформация срезаемого слоя. Увеличение заднего угла уменьшает площадь контакта задней поверхности инструмента с обрабатываемой поверхностью, а это приводит к снижению силы трения и уменьшению шероховатости.

Качество заточки и доводки режущего инструмента весьма существенно влияет на шероховатость обработанной поверхности детали. Например, при доводке резцов алмазным кругом зернистостью 80/63 высота неровностей обработанной поверхности при тонком точении на 40–50 % выше, чем при доводке кругом зернистостью 14/10.

Исследования влияния глубины резания и подачи на высоту микронеровностей обработанной поверхности проводили после продольного точения ступенчатого вала средним диаметром 60 мм из закаленной стали ШХ15 твердостью 58–62 HRC на токарно-винторезном станке мод. ФТ 11 резцом с сечением державки 25×25 мм, оснащенным механически закрепляемыми негативными пластинами RNMN 070300 ПКНБ киборит с диаметром пластины 7 мм. Геометрические параметры режущей части были следующими: передний угол γ = -10°, задний угол α = 10° без наклона режущей кромки. Скорость резания была выбрана из соображений обеспечения максимальной стойкости инструмента при достаточно высокой производительности процесса резания и равнялась v = 75 м/мин.

Целью исследования было получение экспериментальных зависимостей высотных характеристик микронеровностей от глубины резания и подачи резца с последующей компьютерной обработкой полученных результатов для выявления основных факторов процесса резания, формирующих шероховатость обработанной поверхности.

Точение производилось острыми резцами, т.е. производились замены режущих кромок и самих режущих пластин, изготовленных одной партией с целью обеспечения стабильности их физико-механических характеристик и постоянства остроты режущих кромок.

В процессе точения и измерения шероховатости реализовался полный факторный эксперимент, в котором нижний уровень глубины резания был t_1= 0,1 мм; средний t_2 = 0,3 мм и верхний уровень t_3 = 0,5 мм. Продольная подача также задавалась в трех уровнях: нижний S_1 = 0,08 мм/об; средний S_2 = 0,19 мм/об и верхний уровень S_3 = 0,38 мм/об.

Под геометрическими характеристиками качества поверхности понимают характеристики шероховатости, волнистости и макроотклонений. Поэтому современные приборы для измерения геометрических характеристик поверхности (например, Talysurf 5M120) предусматривают получение параметров, как шероховатости, так и волнистости. Недостатком данных приборов является то обстоятельство, что разделение на шероховатость и волнистость происходит посредством неизменных электрических фильтров, что обуславливает появление погрешности измерения. Разделение на шероховатость и волнистость необходимо выполнять с учетом конкретного измеренного профиля. С этой целью в ИСМ НАН Украины были разработана программа сглаживания с использованием окна сглаживания (количеством задействованных точек в процессе сглаживания), Характер сглаживания определялся количеством точек, которые были задействованы в данном процессе. Удачно выбранные размеры окна позволили выделить высокочастотную (шероховатость) и низкочастотную (волнистость) составляющие. Процесс разделения на эти две составляющие контролировался визуально, на экране дисплея, что позволяет достаточно точно выделять шероховатость и волнистость. Было реализовано соединение аналогового прибора для измерения шероховатости Surtronic (Великобритания) с ПК, а также написана программа, которая предусматривает коррекцию исходных данных, выделение волнистости и шероховатости, расчет параметров шероховатости и волнистости.

Измерялись высотные параметры: среднее арифметическое отклонение профиля *Ra* и высота неровностей профиля по 10 точкам *Rz*.

Измерения производились на профилографах-профилометрах трех моделей: производства завода «Калибр» мод.170311, Россия, фирмы Mitutoyo, Япония и «Surtronic», Великобритания. Перед измерением шероховатости исследуемых обработанных поверхностей производилось измерение шероховатости на эталонном образце с параметрами *Ra* 0,63 и *Rz* 1,60. Результаты измерений шероховатости эталонного образца показали высокую повторяемость показателей на всех приборах.

Вместе с тем, результаты измерений шероховатости обработанной с разными режимами резания поверхностей на различных приборах показали отличающиеся величины высотных параметров.

В табл. 1 приведены результаты проведенных измерений, пересчитанные, как среднее арифметическое по пяти точкам.

Таблица 1 – Результаты измерений, пересчитанные, как среднее арифметическое по пяти точкам

Режимы резания		Шероховатость *Ra*, мкм			Шероховатость *Rz*, мкм			Волнистость *Raw*, мкм	Волнистость *Rzw*, мкм
		Профилографы-профилометры			Профилографы-профилометры				
S, мм/об	*t*, мм	З-да «Калибр» мод.-170311	Mitutoyo	Surtronic	З-да «Калибр» мод.-170311	Mitutoyo	Surtronic	Surtronic	
0,08	0,1	0,50	-	0,85/0,26	4,07	-	1,9/1,61	0,81	2,64
0,19		0,80	0,75	1,05/0,35	5,64	5,9	2,41/2,13	0,99	3,02
0,38		1,21	-	1,72/0,34	4,92	-	2,67/2,11	1,66	5,94
0,08	0,3	0,51	0,56	1,12/0,25	4,21	4,195	1,3/1,48	1,10	3,40
0,19		0,84	0,82	1,18/0,26	3,82	4,54	1,93/1,7	1,14	4,22
0,38		1,10	1,43	1,99/0,28	4,10	7,01	2,00/1,81	1,92	6,53
0,08	0,5	0,74	0,80	1,33/0,26	4,38	4,19	1,82/1,66	1,26	4,09
0,19		0,94	1,09	1,63/0,31	4.21	6,04	2,35/2,18	1,51	5,86
0,38		1,10	1,29	3,55/0,24	3,44	7,51	2,45/2,22	3,20	8,70

При измерении шероховатости на приборе Surtronic в таблицу занесены данные измеренной шероховатости, а через дробь – пересчитанной после выделения отклонений микропрофиля, наложенных волнистостью.

Анализ полученных значений показывает, что показания профилографов-профилометров производства завода «Калибр» мод. 170311, Россия, и фирмы «Mitutoyo», Япония хорошо согласуются при измерении среднего арифметического отклонения профиля *Ra* и их показания сильно отличаются при измерении высоты неровностей профиля по 10 точкам *Rz*.

При этом, если показатели *Ra,* полученные на обоих приборах, дают близкие значения и соответствуют расчетному прогнозу роста микронеровностей с увеличением продольной подачи, то высоты неровностей профиля по 10 точкам *Rz* очень сильно отличаются и при анализе данных опытов №№ 7–9, полученные с помощью прибора завода «Калибр» мод.170311, дают результаты, противоположные прогнозируемым, тогда как данные, полученные на приборах «Surtronic» и «Mitutoyo», как в прямом измерении, так и пересчитанные после выделения составляющей микронеровности, накладываемых волнистостью, хорошо согласуются. На рис. 1 приведен микропрофиль измеренной поверхности. Выполняя сглаживания, получены профили волнистости (рис. 2) и шероховатости (рис. 3)

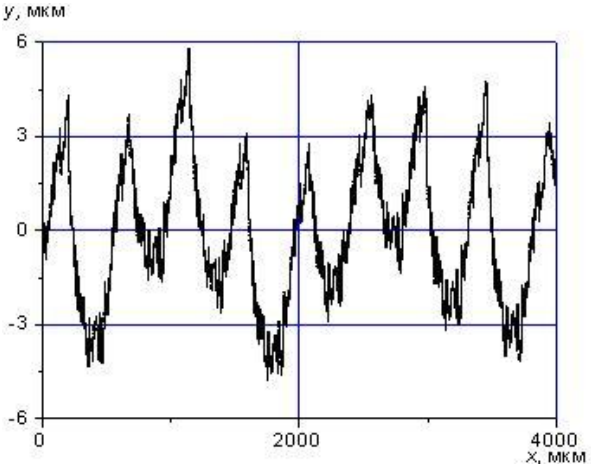


Рисунок 1 – Микропрофиль поверхности, полученной на закаленной детали из стали ШХ-15 при точении киборитом на режимах: v = 75 м/мин, t = 0,5 мм, S = 0,38 мм/об

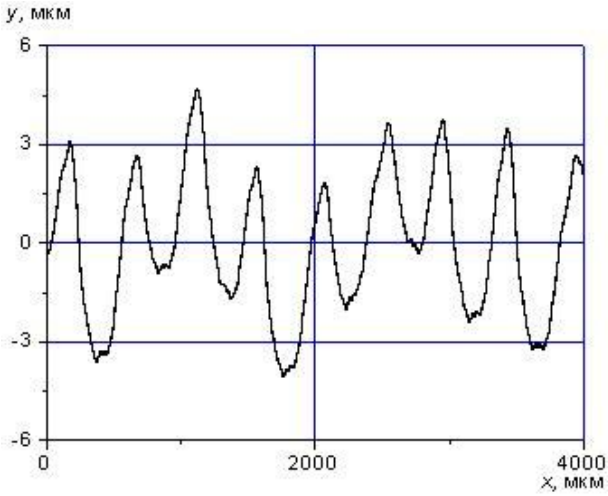


Рисунок 2 – Волнистость поверхности, полученная на закаленной детали из стали ШХ-15 при точении киборитом на режимах: v = 75 м/мин, t = 0,5 мм, S = 0,38 мм/об

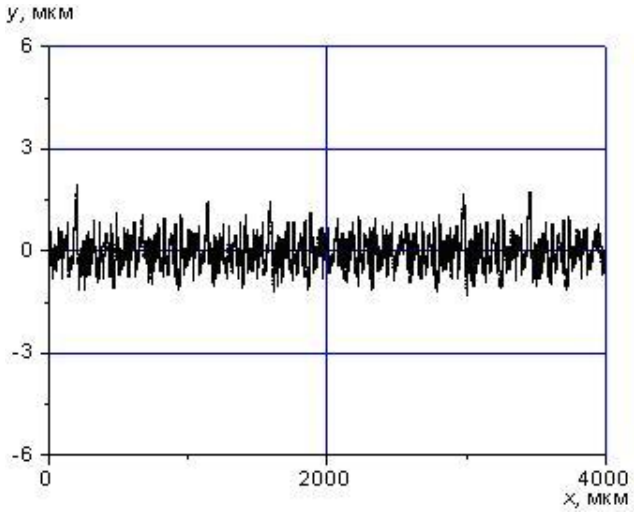


Рисунок 3 – Шероховатость поверхности при сглаженной волнистости, полученная на закаленной детали из стали ШХ-15 при точении киборитом на режимах: v = 75 м/мин, t = 0,5 мм, S = 0,38 мм/об

Экспериментальные исследования процессов резания указывают на то, что волнистость, как правило, связана с колебаниями элементов технологической системы.

Шероховатость поверхности обусловлена состоянием кромки режущего инструмента (рис. 4–6).

Анализ состояния режущих кромок после точения показал, что износа после двадцати секунд точения ни на одном из режимов не наблюдалось, кроме, как при точении на верхних уровнях подачи и глубины резания.

На рис. 7 приведен фрагмент режущих кромок пластины киборита после прохода с глубиной резания t = 0,5 мм и подачей S = 0,38 мм/об. Передняя поверхность режущей кромки имеет сколы, которые «спрямляют» ее, тем самым увеличивая радиус при вершине резца. Такая форма спрямленной режущей кромки резца близка к зачистной (дополнительной) режущей кромке, однако имеющиеся зазубрины от

сколов блоков микрокристаллитов ПКНБ при копировании на обработанной поверхности увеличивают высоту микронеровностей.

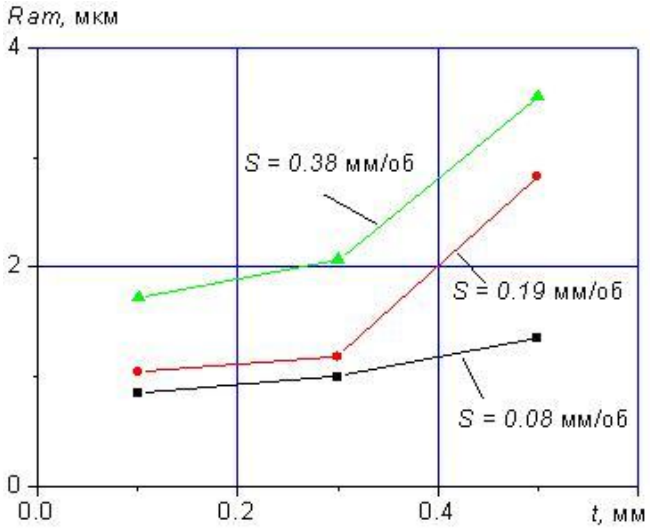


Рисунок 4 – Изменение параметр *Ram* микропрофиля поверхности в зависимости от глубины резания *t* и подачи *S*

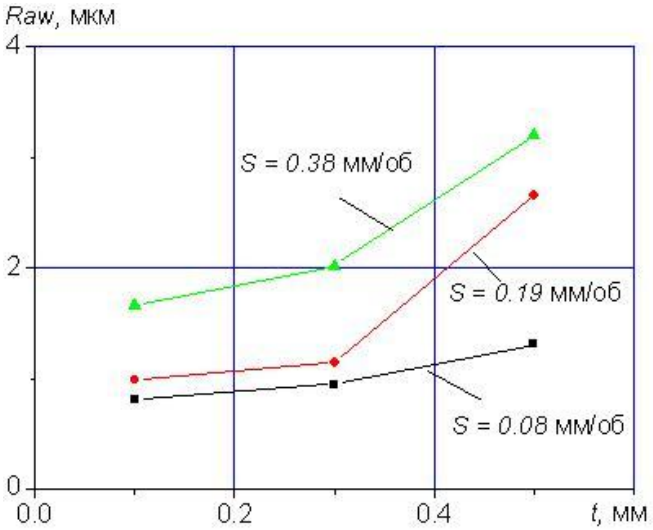


Рисунок 5 – Изменение параметра *Raw* волнистости поверхности в зависимости от глубины резания *t* и подачи *S*

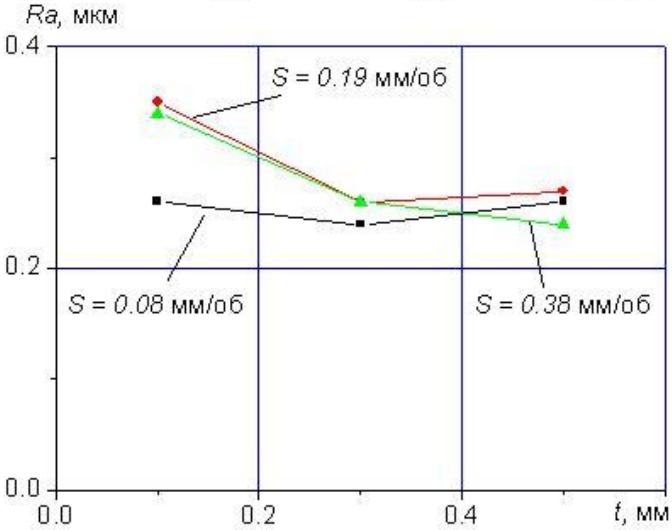


Рисунок 6 – Изменение параметра *Ra* шероховатости поверхности в зависимости от глубины резания *t* и подачи *S*

Наличие сколов на режущей кромке свидетельствует о том, что площадь сечения среза при точении с такими режимами превышает допустимые значения подачи при заданной глубине резания. При

этом рост показателей волнистости профиля обработанной поверхности говорит о повышении усилий резания, что при заданной жесткости технологической системы приводит к возникновению дополнительных колебаний инструмента и детали, ухудшающих качество обработанной поверхности. Ниспадающая ветвь графика зависимости выделенной шероховатости при назначении предельных значений подачи и глубины резания свидетельствует о наличии эффекта микрорезания несколькими локальными вершинками, образованными микросколами на режущей кромке, что уменьшает микронеровности на волнистом профиле шероховатости. При этом интегральные показатели высотных параметров показывают наивысшие значения, за исключением данных профилографа-профилометра производства завода «Калибр» при измерении высоты неровностей профиля по 10 точкам *Rz*. По-видимому, здесь также сказываетсяь эффект «микрорезания» сколотой режущей кромкой.

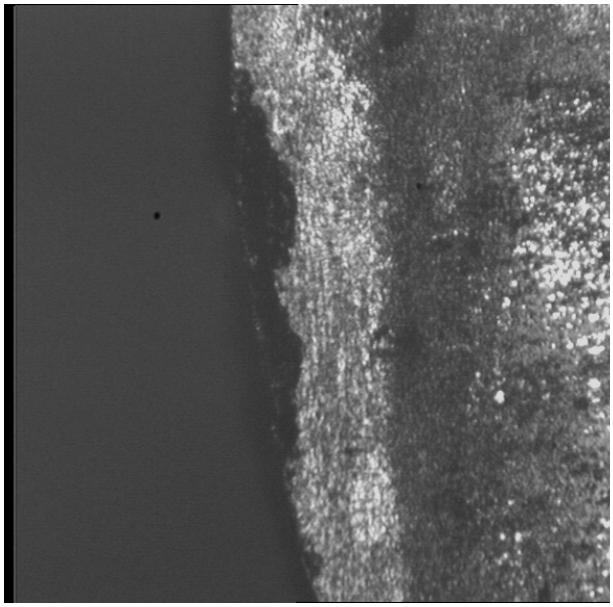


Рисунок7 – Режущая кромка круглой пластины из киборита после точения закаленной стали ШХ15 на режимах: v = 75 м/мин, t = 0,5 мм, S = 0,38 мм/об

Маслаков С.В., Богданович Д.В., Безгодков А.П., Сокольский В.И. ОАО «Стойленский ГОК», Старый Оскол, Россия
Титаренко В.И., Лантух В.Н. ООО НПП «РЕММАШ», Днепропетровск, Украина

РАБОТА НАД ПОВЫШЕНИЕМ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАПЛАВОЧНЫХ РАБОТ НА ОАО «СТОЙЛЕНСКИЙ ГОК»

Восстановительная и восстановительно-упрочняющая наплавка – очень важный способ эффективного выполнения ремонтов в горнодобывающей и перерабатывающей промышленности. На Стойленском ГОКе вопросам наплавки всегда уделялось большое внимание.

С приобретением новых наплавочных установок РМ УН-5 и РМ УН-15 эта работа вышла на новый, более высокий уровень.

Установка РМ УН-15 была приобретена с целью охватить автоматической электродуговой наплавкой крупногабаритные детали оборудования и в первую очередь наплавку конуса главного вала дробилки Sandvik, которые до этого наплавлялись с помощью полуавтоматов. Установка РМ УН-5, установленная в цехе ремонта горного оборудования должна помочь расширить номенклатуру восстанавливаемых автоматической наплавкой деталей, так как имеющаяся в цехе самодельная установка обладает ограниченными возможностями.

Установка РМ УН-15 (рис. 1, 2), как и установка РМ УН-5, состоит из устанавливаемого на фундаменте корпуса установки, на котором закреплен универсальный вращатель с токарным патроном и подвижная задняя стойка, тележки для наплавочного автомата с наплавочным автоматом, которая перемещается по раме тележки параллельно продольной оси наплавляемой детали, закрепленной в центрах вращателя и задней стойки, сварочного выпрямителя и электрической части. Вспомогательное оборудование установки включает в себя устройство для сбора флюса и шлака, которое передвигается по направляющим корпуса под наплавляемой деталью синхронно с тележкой и располагается в месте горения дуги. С этого устройства смесь отработанного флюса и шлака ссыпается на виброконвейер, установленный между корпусом установки и рамой тележки. По виброконвейеру смесь флюса и шлака подается к ситу, на котором флюс отделяется от шлака: флюс ссыпается в флюсонакопительный бункер, а шлак в специальный короб. Из флюсонакопительного бункера флюс с помощью эжектора, расположенного в его нижней части, работающего на сжатом воздухе, подается в флюсобункер наплавочного автомата. Конструкция обеих установок аналогичное, отличие только в габаритах и массе установок, габаритах и характеристиках комплектующих их агрегатов, габаритах и ассе наплавляемых деталей (табл. 1).

Работа установок осуществляется следующим образом. Наплавляемая деталь типа «вал» цеховым краном устанавливается в центрах, одним концом в центр универсального вращателя, другим в центр задней стойки и поджимается механизмом пиноли. Предварительно задняя стойка фиксируется стопором. Дополнительно деталь фиксируется кулачками токарного патрона, расположенного на планшайбе универсального вращателя.

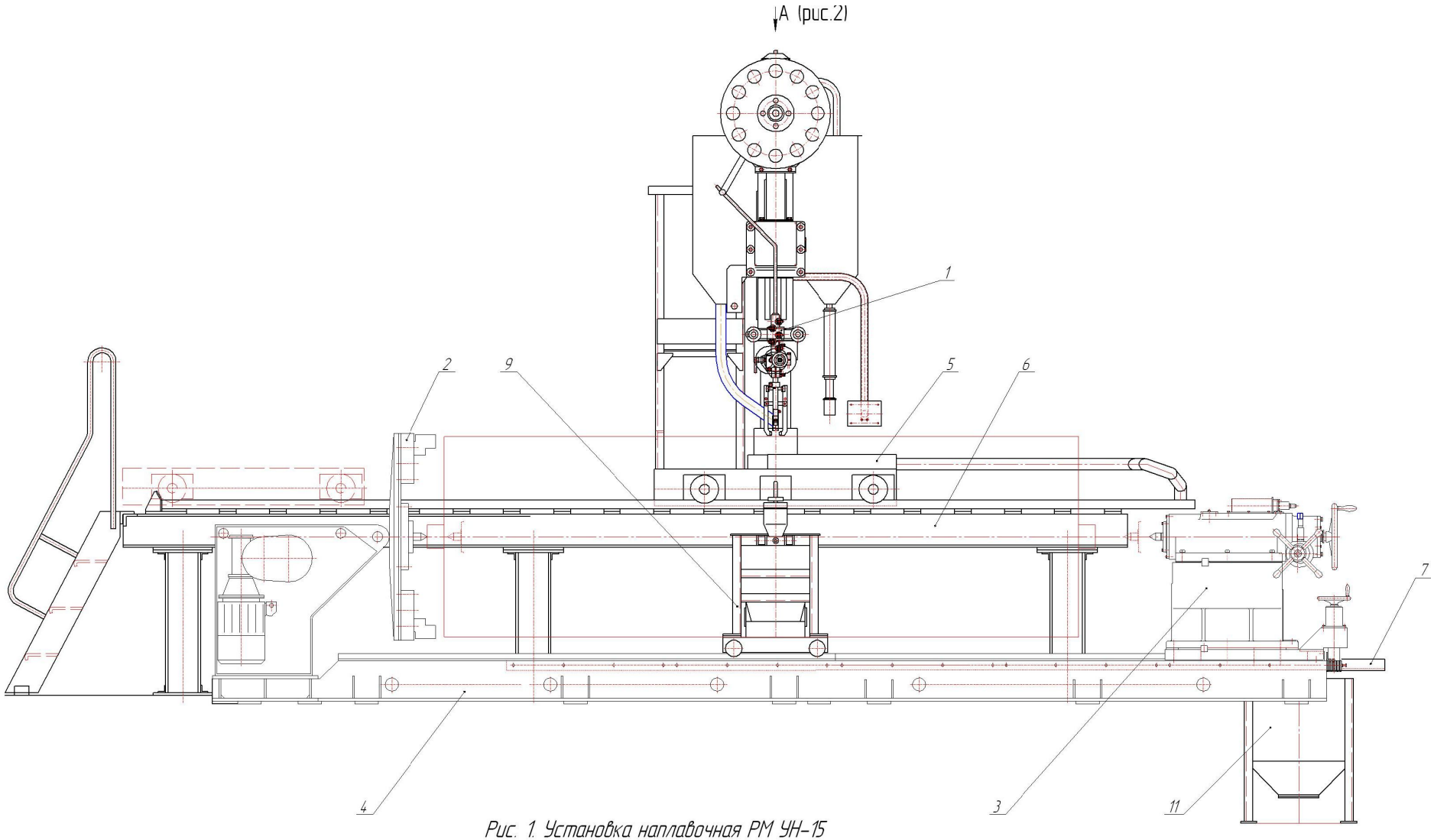


Рис. 1. Установка наплавочная РМ УН-15

1-наплавочный автомат (сварочная головка), 2-универсальный вращатель с токарным патроном, 3-задняя стойка, 4-корпус установки, 5-тележка для наплавочного автомата, 6-рама тележки, 7-вибротранспортер, 8-сварочный выпрямитель, 9-устройство для сбора флюса и шлака, 10-электрическая часть, 11-система флюсовозврата

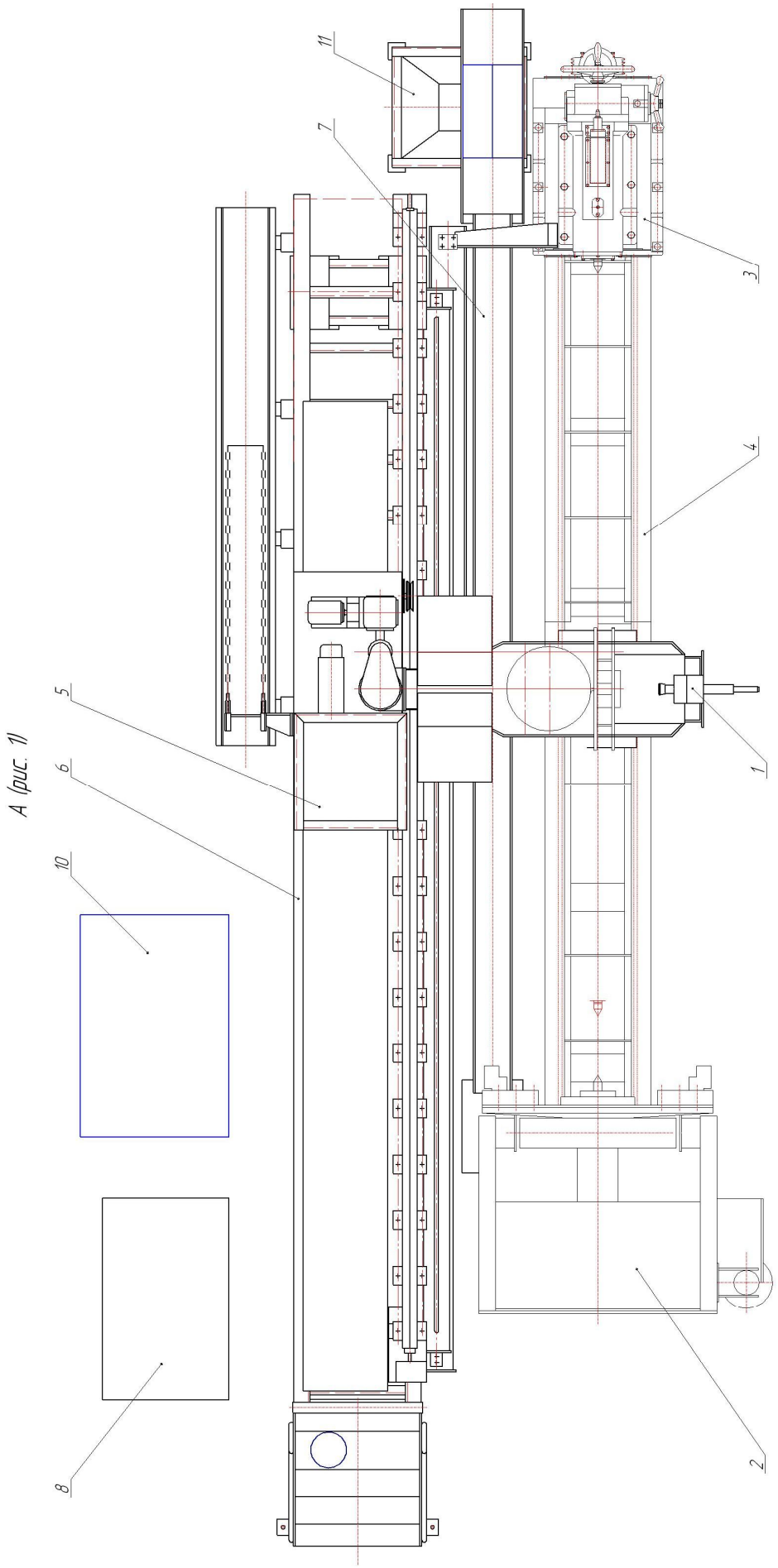


Рис. 2. Установка наплавочная РМ УН-15 (вид А, рис. 1)

Таблица 1 – Основные технические характеристики установок РМ УН-15 и РМ УН-5

Наименование параметра	Значение	
	РМ УН-5	РМ УН-15
Размеры наплавляемых деталей, мм		
- максимальный диаметр	1200	2000
- минимальный диаметр	80	80
- наибольшая длина	4000	6000
Наибольшая масса наплавляемых деталей, кг	5000	15000
Частота вращения детали, $мин^{-1}$	0,034-1,35	0,034÷1,35
Скорость горизонтального передвижения автомата, $мм*мин^{-1}$		
- рабочая, в пределах	0,85÷800	0,85÷800
- маршевая, не менее		800
Номинальный ток наплавки, А	1250	1250
Скорость подачи электродной проволоки, $м*ч^{-1}$, в пределах	10÷460	10÷460
Наплавочные материалы		
- проволока цельнотянутая диаметром, мм	2,0÷6,0	2,0÷6,0
- проволока порошковая диаметром, мм	3,0÷6,0	3,0÷6,0
- лента холоднокатаная или спеченная, мм	(2,0–4,0) x 20	(2,0–4,0) x 20
Габаритные размеры, мм, l x b x h	8500x2900x3900	11650x3500x4800
Масса, кг	10000	19500

При наплавке деталей типа «диск» такая деталь устанавливается цеховым краном на планшайбу универсального вращателя, при этом для удобства установки и закрепления планшайба вращателя устанавливается в горизонтальное положение, после чего деталь закрепляется на планшайбе с помощью токарного патрона, а затем устанавливается под необходимым углом, обеспечивающим наплавку восстанавливаемой поверхности детали в нижнем положении.

В зону наплавки подводится тележка для наплавочного автомата с наплавочным автоматом. При наплавке деталей типа «вал» и «диск» с помощью универсального вращателя обеспечивается необходимая частота вращения детали, остальные параметры – скорость перемещения тележки. Подачи наплавочной проволоки или ленты, ток наплавки другие технологические параметры наплавки выставляются при наплавке деталей любой формы.

После монтажа установки РМ УН-15 в РМЦ ОАО «Стойленский ГОК» начались работы по освоению технологии наплавки. Техноло-

гию наплавки осваивали на самой проблемной детали – главном валу дробилки фирмы Sandvik (фотография установки РМ УН-15 во время наплавки главного вала с конусом на рис. 3). Так как комплектация установки позволяла производить наплавку любой из разновидностей автоматической дуговой наплавки: самозащитной порошковой проволокой, под флюсом и в среде защитных газов, учитывая конусную поверхность наплавки, затрудняющую удерживание слоя флюса, вначале была опробована наплавка самозащитной порошковой проволокой марки ВЕЛТЕК-Н450 (тип наплавленного металла 25Х3Г1МТ, твердость 350-400 НВ). Первые наплавленные валики показали удовлетворительное качество и формирование, но с образованием трещин. Однако по мере покрытия наплавляемой поверхности брызгами расплавленного металла, ее интенсивным окислением выделяющимися газами, на поверхности наплавляемого металла начали появляться поры. Для повышения степени защиты и раскисления наплавляемого металла, в дальнейшем наплавка первого конуса была продолжена с добавлением защиты CO_2. Это помогло устранить поры, но оставило трещины при неудовлетворительном качестве формирования. Тем не менее, первый конус главного вала был наплавлен, обработан и направлен в эксплуатацию.

Проанализировав результаты наплавки первого конуса специалисты РМЗ пришли к выводу остановиться на автоматической дуговой наплавке под флюсом. Положительные стороны данного варианта заключаются в эргономике, защите дуги от светового излучения (учитывая работу установки в большом цехе), значительно меньшем выделении вредных примесей и лучшем формировании наплавленного металла. Для реализации этого варианта технологии специалистами РМЗ было разработано устройство удержания флюса на конусной поверхности (рис. 4) и устройство сбора отработанного флюса при наплавке крупногабаритных деталей (рис. 5). Пробная наплавка, выполненная проволокой Св-08Г2С под флюсом АН-348-А показала стабильность процесса, хорошее формирование и качество наплавленного металла. По этой технологии было восстановлено несколько конусов и роликов конвейеров.

Однако была продолжена работа по применению для наплавки посадочного место под бронь главного вала дробилки производства фирмы Sandvik более износостойких по сравнению с Св-08Г2С сварочно-наплавочных материалов. Для этой цели была заказана порошковая проволока марки ВЕЛТЕК-Н300G диаметром 3 мм.



Рисунок 3 – Наплавка конуса главного вала дробилки Sandvik на установке РМ УН-15



Рисунок 4 – Устройство удерживания флюса на конусной поверхности

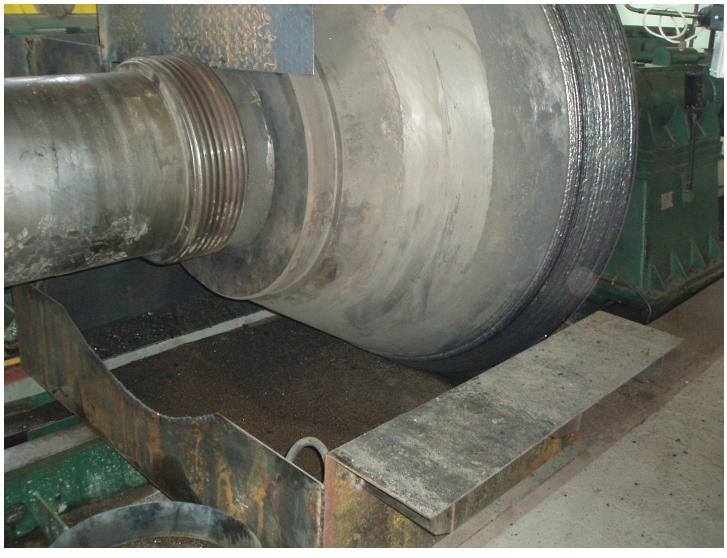


Рисунок 5 – Устройство сбора отработанного флюса и шлака



Рисунок 6 – поверхность конуса, наплавленная проволокой ВЕЛТЕК-Н300G

Перед наплавкой наплавляемая поверхность была проточена на лоботокарном станке на глубину 2 мм от внутренней поверхности дробящего конуса. Наплавка посадочного места конуса производилась на наплавочной установке РМ УН-15 порошковой проволокой марки ВЕЛТЕК-Н300G диаметром 3 мм под флюсом марки АН-348-А. Перед наплавкой порошковая проволока была просушена в течение 3-х часов при температуре 200 ^{o}С в термической камерной печи. Предварительный нагрев детали перед наплавкой не производился. Наплавка посадочного места производилась в направлении от меньшего диаметра к большему в два слоя. Наплавка производилась на следующих режимах:

Сварочный ток – 400 А;

Напряжение горения дуги – 28 В;

Скорость подачи проволоки – 240 м/час;

Шаг наплавки – 6 мм.

После наплавки каждого из слоев производился визуальный осмотр наплавленной поверхности, который показал полное отсутствие дефектов в виде пор и шлаковых включений, но по мере остывания наплавленной поверхности на ней появлялись радиальные трещины. На рис.6 фотография поверхности конуса, наплавленной проволокой ВЕЛТЕК-Н300G.

Выполненная после наплавки проточка показала отсутствие пор и шлаковых включений, но по-прежнему наличие радиальных трещин. Остаточная высота бурта наплавленного слоя ≈ 2 мм от внутренней поверхности дробящего конуса. Т.о., общая толщина наплавленного слоя после механической обработки составила 4 мм. Твердость наплавленного металла, замеренная переносным электронным твердомером ТЭМП-4 составила 290 НВ (средняя величина 10 измерений). Главный вал с наплавленным проволокой ВЕЛТЕК-Н300G конусом был собран и установлен в дробилку для эксплуатации и испытаний.

Учитывая технические характеристики установки РМ УН-15 на ней выполняются не только наплавочные, но и сварочные работы. Так, к примеру, сварка кольцевого шва обечайки барабана ленточного конвейера, диаметром 1250х2200 мм, ранее выполняемая ручной дуговой сваркой или с помощью полуавтоматической сварки, в настоящее время производится на установке РМ УН-15, что позволило повысить производительность и улучшить качество. В дальнейшем планируется улучшить эту практику, обеспечивая макси-

мальную загрузку установки не только наплавочными, но и сварочными работами.

В настоящее время на ОАО «Стойленский ГОК» ведется работа по совершенствованию технологии наплавки на установках РМ УН-5 и РМ УН-15, выбору оптимальных наплавочных материалов и максимальному расширению номенклатуры наплавляемых и свариваемых деталей.

Мельник В.Е., Стрижаков В.Л. Институт
сверхтвердых материалов им. В.М. Бакуля
НАН Украины, Киев, Украина

ТЕХНОЛОГИЯ ПЛАТОХОНИНГОВАНИЯ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ ДВС И ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ

При финишной обработке гильз цилиндров методом платохонингования (плосковершинного хонингования) важнейшей задачей является достижение такого состояния обрабатываемой поверхности, которое обеспечивает увеличение маслоемкости и площади опорной поверхности, оптимальную структуру поверхностного слоя. Поэтому процесс платохонингования очень точно должен реализовывать требования к состоянию поверхностного слоя после обработки (определенная глубина рисок и угол их пересечения, равномерность хонинговальной сетки в обоих направлениях, минимальная деформация поверхностного слоя и максимальное вскрытие на обрабатываемой поверхности включения графита).

По качеству обработки на операции платохонингования алмазные бруски уступают хонинговальным. Так при финишной обработке чугуна алмазными брусками глубина деформированного слоя достигает 30–50 мкм, при использовании абразивных – до 20 мкм. Несмотря на то, что процесс алмазного хонингования обеспечивает больший съем металла, чем абразивная обработка, алмазный инструмент, деформирую металл «закрывает» находящиеся в чугуне включения графита. При этом возникает «металлический кожух», способствующий появлению прижогов. Это обстоятельство приводит к задирам колец и поршней, а, следовательно, к их повышенному износу.

Если при использовании алмазных хонбрусков открытые графитовые включения составляют 15–20 %, то при применении абразивных этот показатель возрастает до 25–50 %.

Ведущие зарубежные и отечественные производители двигателей внутреннего сгорания выполняют операцию платохонингования специальными абразивными брусками производства инофирм. Этот метод и применяемые бруски с эффектом активного самозатачивания позволяют обеспечить:

- определенную структуру микронеровностей (платостурктура), состоящую из чередующихся относительно глубоких впадин – масляных карманов и плоских выступов, увеличивающих опорную длину (площадь) профиля обработанной поверхности;
- минимальную деформацию обработанной поверхности (≤ 20 мкм) и максимальное вскрытие включений графита (≥ 25 %);
- задание параметра шероховатости *Ra* 0,8–1,2, *Rz* 4–7, *Rзz* 1,5–3,5, R_{max} = 11 мкм и снимаемый припуск на диаметр 0,003–0,006 мм.

Именно такое качество платохонингования гильз цилиндров наряду с другими факторами обеспечивает минимизацию расхода масла, износа и увеличение срока службы деталей цилиндра поршневой группы и двигателя в целом.

В настоящее время возникла необходимость и целесообразность платохонингования гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания (ДВС) отечественным алмазным и абразивным инструментом, обепечивающим указанные показатели качества обработанной поверхности.

Плато-структура рабочей поверхности гильз цилиндров формируется двумя операциями хонингования (получистовое хонингование и чистовое хонингование).

Получистовое хонингование обеспечивает необходимый съем припуска, глубину рисок и их равномерное распределение, двухсторонний рез. В Институте сверхтвердых материалов НАН Украины разработан алмазный хонинговальный инструмент на металлополимерной связке ВС-13, обеспечивающий качество получистового хонингования.

Данный инструмент прошел апробацию на заводах России и Украины и имеет следующие преимущества по сравнению с хонбрускми на металлической связке:

- не требует длительной приработки;

• обеспечивает высокую стабильность и производительность;
• обеспечивает чистоту реза и гарантированный выход графитовых включений 30–40 %;
• не допускает развала рисок и их неравномерного распределения.

Для реализации процесса чистового платохонингования в ИСМ НАНУ разработан абразивный хонинговальный инструмент на полимерной связке ПГ твердостью СТ 2. Применяемый абразив – карбид кремния зеленый 63С с полимерным покрытием.

Производственными испытаниями установлено, что на операции платохонингования стойкость комплекта хонбрусков на связке марки ПГ до полного их износа составляет 2000–3000 гильз цилиндров в зависимости от типа.

Благодаря активному самозатачиванию и локальной жесткости покрытых полимером абразивных зерен в связке ПГ обеспечивается необходимая шероховатость на «плато» и опорная площадь обработанной поверхности.

По показателям работоспособности и качеству платохонингования данные инструменты конкурируют с хонбрусками инофирм и рекомендованы к промышленному применению на операциях платохонингования гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания.

Мірненко В.І. Національний університет
оборони України ім. Івана Черняховського,
Лапач С.М. НТУУ «Київський політехнічний інститут»,
Радько О.В. Національний авіаційний університет, Київ, Україна

ОЦІНКА ВПЛИВУ ВІДТВОРЮВАНОСТІ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ НА НАДІЙНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Питання надійності набувають великого значення при вирішенні проблем промислового виробництва, де задача досягнення потрібних механічних властивостей деталей і продуктивності виробничого процесу поєднана з обмеженістю ресурсів та необхідністю мінімізації їх витрат.

Аналіз сучасних технологічних процесів показує, що вони підпорядковуються характерним закономірностям, знання яких

необхідно для їх прогнозування та ефективного управління, і чим достовірніше досліджені дані закономірності, тим точніша оцінка надійності деталей і виробу в цілому. Крім цього, важливою властивістю об'єкту управління, яким є технологічний процес, є ступінь відтворюваності досягнутих результатів, для оцінки якої необхідно при одному і тому ж стані об'єкту у різні моменти часу здійснювати ряд паралельних експериментів. Для статистичної оцінки якості сформованих захисних покриттів та зміцнених поверхневих шарів найбільш часто використовують методи аналізу і математичного опису технологічних процесів. При цьому, основними проблемними питаннями є вибір і оцінка ефективності технологічних рішень, математичні методи розрахунку і аналізу надійності, способи оцінки надійності, а також методи планування керованих впливів.

Ефективність використання статистичних методів планування експерименту при дослідженні технологічних процесів пояснюється тим, що багато важливих характеристик цих процесів є випадковими величинами, розподіл яких близько слідує багатомірному нормальному закону.

Таким чином, оцінку надійності технологічного процесу або його елементів необхідно проводити за параметрами якості деталей, якими і є механічні властивості, чи за їх сукупністю. Окрім цього, при аналізі точності і надійності технологічних процесів необхідно визначати та уточнювати:

- моделі формування похибок обробки;
- моделі зміни у часі точності (відтворюваності) отриманих механічних властивостей, яка забезпечується об'єктом управління;
- залежності між параметрами зміцнених й відновлених деталей і параметрів технологічних систем;
- основні фактори, які змінюють надійність технологічних систем.

Для виконання аналізу при контролі і управлінні технологічним процесом використовують апарат регресійного, дисперсійного, кореляційно-регресійного аналізів, а також загальні принципи математичної статистики. Вибір конкретного методу визначається перш за все повнотою інформації про об'єкт управління (технологічний процес), достатністю експериментальних даних і вибраним підходом до дослідження об'єкту.

Не слід забувати, що особливого значення при відтворенні механічних властивостей деталей набуває специфіка самого

технологічного процесу, особливості його аналізу і оцінки надійності, вірності прийняття технологічних рішень на основі його моделювання для ефективного його управління. Тобто, технологічні методи забезпечення надійності визначаються, перш за все, надійністю самих технологічних процесів, метою яких є відтворення досягнених показників і параметрів, заданих конструкторами при проектуванні деталей, агрегатів і машини в цілому.

Практика промислового виробництва показує, що імовірнісні методи розрахунку надійності і якості технологічних процесів дозволяють як якісно так і кількісно оцінити фактори, які здійснюють вплив на технологічні системи, виявити шляхи найбільш значимого впливу, розробити ефективні технологічні і конструктивні заходи щодо удосконалення технологій, які використовуються для створення виробів з необхідними властивостями.

Таким чином, надійність технологічного процесу щодо відтворення механічних властивостей повинна оцінюватися тільки тими показниками якості, рівень яких залежить від технології, яка використовується, чи значення яких змінюється у результаті виконаних операцій. При цьому, кількісну оцінку надійності технологічного процесу здійснюють по відтворюваності, стійкості і стабільності технологічних операцій. Статистичний контроль стабільності технологічних операцій вимагається в міжнародних стандартах і при сертифікації виробництва як гарантія певного рівня якості продукції. Проте існують технологічні процеси з великим рівнем розсіювання (дисперсії відтворюваності). Для таких процесів важливою є можливість корегування тієї частини розсіювання, яка виникає від варіацій умов виробництва і технологічних факторів, або визначення умов при яких конкретний технологічний процес буде мати найбільшу стійкість (принцип Тагуті). Цього можливо досягти отримавши регресійні моделі процесу, спираючись на робастні плани експерименту. За такою моделлю можливо моделювання поведінки технологічного процесу в залежності від факторів, на нього впливаючих, і прийняття обґрунтованих рішень по забезпеченню стабільності процесу і, як результат, якості і надійності продукції.

Мірненко В.І. Національний університет оборони
України ім. Івана Черняховського,
Рутковський А.В. Інститут проблем міцності
ім. Г.С. Писаренка НАН України,
Ткач М.Я. Національний університет оборони
України ім. Івана Черняховського, Київ, Україна

СПОСІБ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ ЗАМКОВИХ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНМ ВАКУУМНИМ ІОННО-ПЛАЗМОВИМ АЗОТУВАННЯМ У ПУЛЬСУЮЧОМУ ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ

Потреба у забезпеченні високого рівня експлуатаційних властивостей замкових різьбових з'єднань бурильної колони створює актуальну задачу розробки нових і удосконалення існуючих технологій поверхневого зміцнення та активного впровадження цих методів у виробництво.

Авторами розроблена технологія вакуумного іонно-плазмового азотування у пульсуючому тліючому розряді. При такій організації процесу здійснюється поєднання переваг подачі на вхід вакуумної установки для азотування імпульсного струму з високою напругою і періодичним чередуванням циклів насичення и розсмоктування азоту як по насичувальній здатності атмосфери, так і по температурі. При цьому, обробку (нагрівання, дифузійне насичення і охолодження) здійснюють в середовищі робочого газу при нагріванні від температури 400 ºС до 600 ºС протягом 2–4 годин, а охолодження, безпосередньо після нагрівання, від температури 600 ºС до 400 ºС здійснюють у плазмі тліючого розряду, після досягнення мінімального значення температури електроживлення обладнання вимикається і деталь в середовищі робочого газу охолоджуються до кімнатної температури.

Мікроструктурний аналіз досліджуваних зразків показав, що спосіб поверхневого зміцнення сталевих деталей з різьбовою поверхнею іонно-плазмовим азотуванням у пульсуючому тліючому розряді забезпечує формування зміцненого, з підвищеними механічними властивостями, азотованого поверхневого шару по всій різьбовій поверхні в межах до 360 мкм, що відповідає конструкторським і технологічним вимогам.

Підвищення ефективності застосування способу поверхневого зміцнення сталевих деталей іонно-плазмовим азотуванням для де-

талей із різьбовою поверхнею досягається тим, що, завдяки подаванню робочої суміші протягом всього процесу вакуумного газотермоциклічного іонно-плазмового азотування та знаходження деталі у плазмі тліючого розряду на етапі нагрівання і охолодження, забезпечує підвищену концентрацію нітридних фаз для формування більш рівномірного і однорідного зміцненого шару, а також таке виконання операції дозволяє отримати азотований шар товщиною не більше 360 мкм та уникнути окрихчування, в свою чергу це сприяє зниженню і позитивному розподілу внутрішніх залишкових напружень у зміцненому поверхневому шарі та дозволяє отримати підвищення механічних властивостей.

Завдяки реалізації розробленого способу поверхневого зміцнення значно скорочуються час дифузійного насичення, витрати електроенергії і реакційних газів, підвищується безпека і якість обробки, створюється можливість керувати фазовим складом поверхневого шару для отримання заданих експлуатаційних характеристик.

Впровадження розробленої технології дозволить підвищити зносостійкість замкових різьбових з'єднань у 1,7–2,1 рази, межу витривалості на 15–20 %, корозійну стійкість в 1,7–3,1 рази, відповідно збільшивши їх довговічність. Це приведе до зменшення витрат на дорогі запасні частини, леговані сталі та інші дефіцитні матеріали.

Молчанов В.И. Орловский государственный
аграрный университет, Орёл, Россия

КОНСТРУИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЧЕРВЯЧНЫХ КОЛЁС ИЗ КАПРОЛОНА ДЛЯ ПРИВОДОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ И ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

В связи с резким повышением стоимости чёрных и, особенно, цветных металлов возникла необходимость ускорения поиска материалов-заменителей с высокими качественными характеристиками, малой массой и себестоимостью, обладающих конкурентоспособностью на мировом рынке. Решению этой задачи способствует применение в машинах полимерных деталей, в частности, из нового конструкционного материала – капролона [1].

Одним из направлений совершенствования приводов общемашиностроительного применения (ОМП) в настоящее время является исследование редукторов и мотор-редукторов с червячными передачами. Несмотря на относительно меньший по сравнению с цилиндрическими передачами КПД и необходимость применения дорогостоящих антифрикционных материалов, они благодаря меньшим размерам и удобной компановке востребованы на рынке приводов ОМП.

По сравнению с металлическими, пластмассовые червячные колёса имеют ограниченную стойкость к повышенным температурам, высокий коэффициент термического линейного расширения и сравнительно низкую нагрузочную способность. Поэтому при рассмотрении конструкции важным является обеспечение отвода тепла в собранном узле при изменяющихся условиях окружающей среды и эксплуатации.

При производстве капролоновых червячных колёс наиболее часто используются методы полимеризации в форме и механической обработки. Размеры колёс, изготавливаемых свободным литьём, практически не ограничиваются, а размеры механически обрабатываемых червячных колёс определяются размерами получаемых полимеризацией в форме заготовок. Экономия усилий и времени при конструировании обычно обеспечивается взаимными консультациями конструктора, технолога и производителя материала.

Производство изделий из капролона отличается от технологии изготовления деталей из известных типов полиамидов – капрона, смолы П – 68 и др. это отличие заключается в том, что полимер образуется из мономера и ионной полимеризацией непосредственно в форме. Отсутствие в технологическом процессе стадий получения расплава полимера, гранулирования, отмывки и сушки гранул с последующим повторным расплавлением полуфабриката при переработке в изделия является, по-видимому, причиной более высоких молекулярного веса и физико-химических свойств капролона по сравнения с обычными полиамидами.

Из многих известных методов переработки пластмасс для капролона рекомендуется полимеризация в форме (свободное литьё) как наиболее перспективный метод получения червячных колёс, совмещающий образование полимера с формообразованием изделия из него, так называемое «химическое формование».

По сравнению с металлическими капролоновые червячные колёса имеют ограниченную стойкость к повышенным температурам,

высокий коэффициент термического линейного расширения и сравнительно низкую нагрузочную способность. Поэтому была разработана конструкция армированного червячного колеса, защищённая свидетельством на полезную модель, позволившая повысить его долговечность в 2,5 раза [3].

Литература

1. Молчанов В.И. Особенности напряжённо-деформированного состояния полимерного материала при трении пары сталь-капролон // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2010. – №4. – С. 8-12.

2. Krause W. Grundlagen der Konstruktion. – Berlin: Lehrbuh fur Elektroingenieure, 1984.

3. Свидетельство № 1888. Червячное колесо / В.И. Молчанов, Ю.Г. Шестаков; зарегистрир. в Госреестре полезных моделей 16.03.1996. – 3 с.

4. Мелкомодульные металлополимерные зубчатые передачи / В.А. Гавриленко, М.А. Москалёв, О.И. Остапенко. – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.

Нигметзянов Р.И., Сенин А.Н. Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Россия, Москва

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ АЛЮМИНИЯ

Постоянное развитие техники повышает требования к качеству изготовляемых и восстанавливаемых деталей из-за увеличения нагрузки, работы техники условиях более агрессивной окружающей среды и работ в знакопеременных температурных интервалах. Поэтому возникает необходимость в улучшении качества узлов в целом и отдельных деталей в частности. Одним из способов такого улучшения является увеличение прочностных и геометрических характеристик поверхностного слоя деталей.

Большое значение для снижения удельной материалоемкости изделий имеет замена черных металлов более легкими цветными, в ча-

стности алюминием и его сплавами. Однако расширению сферы использования алюминиевых сплавов для изготовления корпусных деталей и разнообразных пар трения препятствует несоответствие высоким технологическим требованиям таких его эксплуатационных характеристик, как недостаточная твердость и низкая износостойкость. Устранение этих недостатков связано с улучшением состава и качества поверхностных слоев изделий, а также с возможностью применения современных методов поверхностной обработки алюминия.

В ряде работ связанных с ультразвуком описан механизм изменения поверхностного потенциала стали в агрессивной среде под воздействием ультразвука, который может быть реализован для деталей из алюминия и его сплавов. При классическом травлении стали в агрессивной среде, поверхностный потенциал стали отрицательный и он обеспечивает наводораживание поверхностных слоев стали. При этом при травлении с ультразвуком наводорожавание не происходит. Это связанно с тем, что в агрессивной среде под воздействием ультразвука на поверхности возникает положительные потенциал. В ряде работ это связывают с электрическими процессами, имеющими место при ультразвуковой кавитации.

Электрические процессы возникают в кавитационной полости на первоначальной стадии ее образования и развития, для которой характерным является возникновение больших электрических напряжений. Наличие больших электрических напряжений вызывает электрический пробой кавитационной полости. Таким образом в первоначальной стадии образования полости в происходит постоянное движение электрических зарядов.

Если при разрыве сплошности среды в местах разряжения образуется не сферическая, а «чичевице-» или линзообразная полость, то ионы, находившееся в полости жидкости, где образовалась линза, должны быть распределены по стенкам линзы. При этом наиболее вероятное распределение в линзе, когда ионы одного знака располагаются на одной стороне полости, а другого на противоположной.

Такое расположение ионов обеспечивает возникновение в образовавшейся полости электрического поля, таким образом данную полость можно рассматривать как плоско параллельный конденсатор.

Согласно ряду работ одним из результатов возникновения электрического поля является эффект сонолюминисценции – свечения озвучиваемой жидкости в результате электрического пробоя в кавитационной полости.

В условиях электрического разряда в кавитационной полости должны возникнуть частицы большой энергии: ионизированные и возбужденные молекулы и ионы, свободные радикалы и т.д.

Описанные химические процессы в случае с травлением стали приводят к изменению её потенциала. Как известно сталь в кислой среде имеют равновесный отрицательный потенциал. При воздействии ультразвуковой кавитации на стальной образец, находящийся в сильно агрессивной среде, отрицательный поверхностный потенциал его изменялся во времени в положительную сторону (рис. 1). Поверхность образца по достижении определенного времени становилась заряженной положительно.

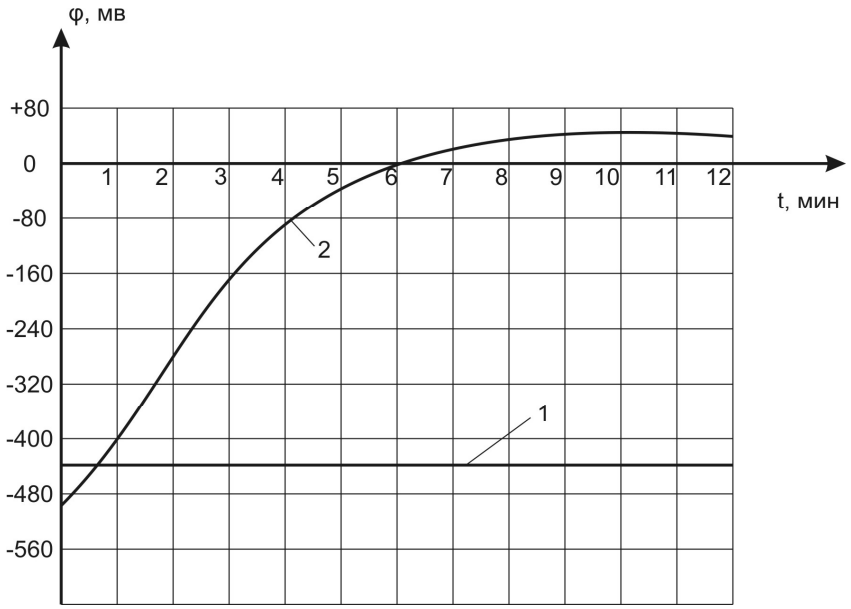


Рисунок 1 – Зависимость потенциала стального образца от времени выдержки в травильном растворе: 1 – химическое травление в растворе 10% HCl, 5% NaCl; 2 – ультразвуковое травление в рабочем растворе

При этом опыт ряда исследователей показал, что деполяризующий эффект ультразвука не зависит от материала деполяризуемой детали. Кроме того при неизменной интенсивности ультразвука максимальный деполяризующий эффект наблюдается при непрерывном режиме озвучивания.

Данный эффект можно использовать для внедрения ультразвуковой технологии в процесс химической обработки алюминия и его сплавов с целью интенсификации самого процесса и улучшения физико-механических свойств получаемой поверхности.

Новиков Н.В., Клименко С.А. Институт
сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля
НАН Украины, Киев, Украина

НАНОМАТЕРИАЛЫ В ТЕХНОЛОГИЯХ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Наноматериалы – материалы, содержащие структурные элементы (кристаллиты, волокна, слои, поры и др.), геометрические размеры которых хотя бы в одном направлении не превышают нанотехнологической границы – 100 нм, обладающие качественно иными по сравнению с традиционными физическими, химическими, механическими и биологическими свойствами, функциональными и эксплуатационными характеристиками.

В настоящее время наноматериалы находят все более широкое применение во всех отраслях промышленности, в том числе в процессах механической обработки и во многом являются базой для расширения возможностей технологий лезвийной и алмазно-абразивной обработки, позволяя высокопроизводительно и качественно изготавливать детали современной техники из конструкционных материалов с высокими физико-механическими свойствами.

Как известно, возможность эффективно использовать материалы в инструментах определяется широким комплексом их физико-механических свойств: – пределом прочности при растяжении, сжатии и изгибе; – величиной твердости и ее зависимостью от температуры; – температурной зависимостью предела выносливости; – модулем упругости; – коэффициентами Пуассона, линейного расширения, тепло- и температуропроводности и др. К этому перечню следует добавить химический состав и химические свойства инструментального материала. Применение в материалах наноразмерных составляющих оказывает положительное влияние практически на весь комплекс свойств, предопределяющий их работоспособность в инструментах для механической обработки. Анализ изменения свойств материалов при снижении величины зерна до наноразмеров показывает, что в материале увеличиваются твердость, прочность при изгибе, термостойкость, снижаются чувствительность к смене температуры, адгезионная активность к контактирующему материалу, диффузионная активность. Отмеченное самым непосредственным образом сказывается на эффективности технологий механической обработки (рис. 1).



Рисунок 1 – Влияние условий обработки на эффективность изготовления изделия

Наноматериалы используются во всех видах инструментов – стальных, из твердых сплавов, керамики или сверхтвердых материалов, как в традиционном виде, так и с защитными покрытиями. Кроме того, на основе наноразмерных составляющих изготавливаются пасты и суспензии для механической обработки, смазочно-охлаждающие технологические среды (СОТС) практически для всех видов обработки.

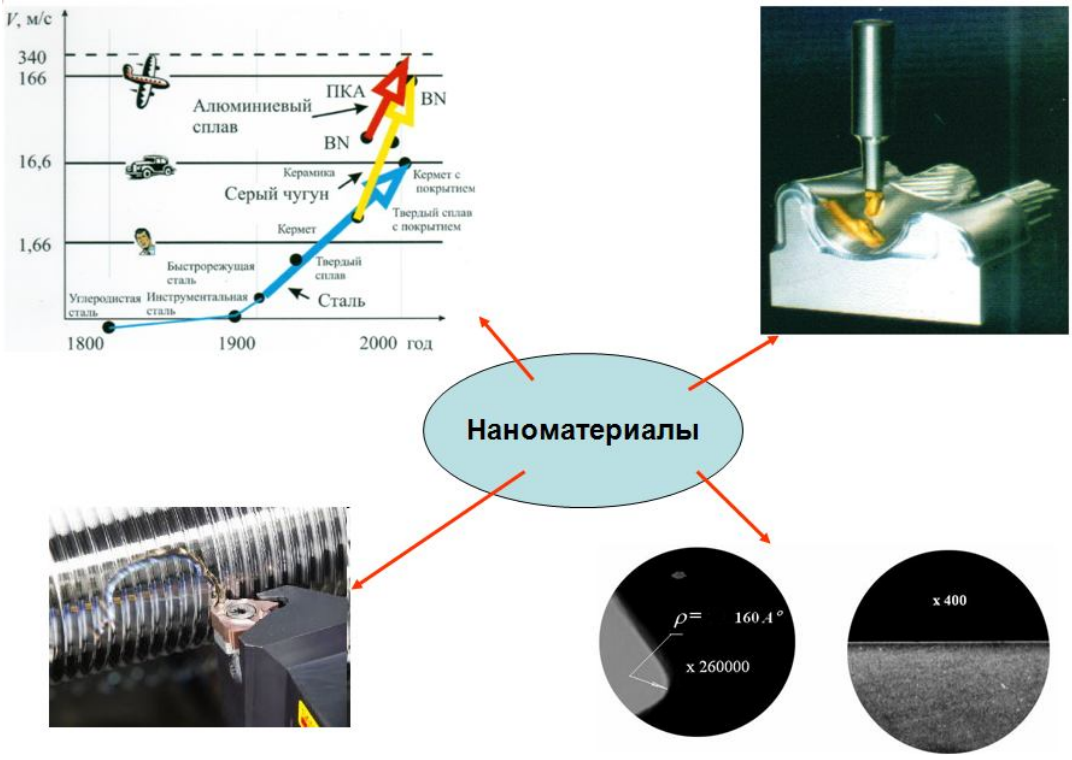


Рисунок 2 – Применения инструментов из наноматериалов

Применение наноматериалов обеспечивает принципиальные изменения в процессах механической обработки (рис. 2) за счет: – повышения производительности процессов формообразования за счет резкого увеличения скорости резания с получением изделий с требуемым состоянием поверхностного слоя; – расширения существующих и разработки новых областей применения инструментов; – эффективного получения и применения режущих инструментов с особо острыми режущими кромками для финишных технологий.

Нос А.О., Рижов Ю.Е. Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, Київ, Україна

МОЖЛИВОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ЗА ДОПОМОГОЮ КАРТ АДАПТАЦІЇ СТРУКТУР ЇХ МАТЕРІАЛІВ ДО ЗОВНІШНЬОГО ВПЛИВУ

З метою прогнозування експлуатаційних властивостей деталей машин і управління їх працездатністю велику роль відіграє розробка методів комплексної оцінки стану поверхневого шару за критеріями, що інтегрально враховують геометричні параметри, механічні властивості і структуру поверхневого шару і мають за основу статистичну обробку великого масиву даних.

Таку оцінку можна провести за допомогою методу мультифрактальної параметризації. Прогнозування експлуатаційних властивостей деталей машин за допомогою карт адаптації структури їх матеріалів до зовнішнього впливу є одним із прикладів подальшого використання сучасних підходів, заснованих на поняттях фрактального формалізму [1].

Перехід від оборотної пошкоджуваності матеріалу виробу до необоротної (руйнування) є нерівноважним фазовим переходом, розуміння якого дає важливу інформацію про критичний структурний стан матеріалу, в межах якого структура здатна адаптуватися до змінних зовнішніх умов без втрати своєї цілісності [2].

Так як поверхня покриття складається із ділянок з характеристиками, що відрізняються, то параметри, які визначаються повинні відображати статистичний характер параметрів, що оцінюються.

Концепція фрактальної симетрії структури матеріалів і розвинене на її основі трактування зародження мультифракталу, як результат порушення симетрії, дозволяє використовувати інформацію про порушення Ф-симетрії для аналізу механізму адаптації фрактальної структури до зовнішнього впливу з врахуванням цього встановлено зв'язок між критичним значенням узагальненої розмірності Реньї D_q^*, що відповідає виродженню мультифрактальної множини при максимальному порушенні Ф-симетрії і ступеня впорядкованості $|\Delta_q|$ структури для цього стану.

Карта адаптації структури матеріалу до зовнішнього впливу в загальному вигляді формується з трьох областей – адаптації, деградації та необоротної пошкоджуваності (руйнування). Область адаптації обмежена вертикальною лінією при $\Delta_q = 0$, горизонтальною при $D_q^* = 2$ і похилою лінією D_q^C, що характеризує перехід від оборотної пошкоджуваності до необоротної.

Границя, що відділяє область адаптаціїї від області деградації, відповідає відрізок вертикалі при $\Delta_q = 0{,}5$, що характеризує аморфізацію кристалічної структури в локальних областях металів і сплавів металів, що піддалися граничній деформації [2].

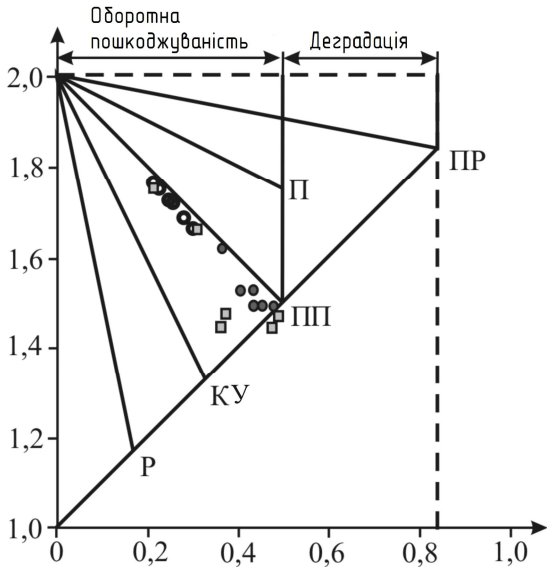


Рисунок 1 – Карта адаптації структур напилених покриттів серії ПГ-СР системи Ni-Cr-B-Si: ○ – ПГ-СР2; □ – ПГ-СР3; ○ – ПГ-СР4.

Механізми адаптації: Р – рекристалізація; КП – квазіпружна деформація; ПП – пружно-пластична деформація; П – пластична деформація; ПР – перколяція

За отриманими при дослідженні даними побудовано карту адаптації структури напилених покриттів серії ПГ-СР системи Ni-Cr-B-Si (рис. 1). При розміщенні критичних значень показників адаптивності структури в області пружно-пластичної деформації (ПП) покриття знаходиться в стійкому стані, а при виході з неї або наближенні до лінії, що характеризує перехід від оборотної пошкоджуваності до необоротної, відбувається порушення стійкості системи (покриття), що супроводжується зміною механізму адаптації.

Карти адаптації структур покриттів до зовнішнього впливу дають можливість наглядно порівняти зразки в межах однієї партії, а також при отриманні зображень з однієї поверхні показують відмінність структури матеріалу покриття по всій площині.

Література

1. Оксагоев А. А., Закирнычная М. М. Модифицированая карта адаптации структуры материалов к внешнему воздействию. // Прикладная синергетика синергетика. – II: Сб. науч. трудов. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2004. – Т. 2.– С. 45 – 51.

2. Чиркова А.Г., Авдеева Л.Г., Оксагоев А.А. Анализ адаптивности структуры стали 20Х23Н18 к необратимой повреждаемости в условиях эксплуатации в качестве материала труб змеевиков печей пиролиза углеводородов // Прикладная синергетика синергетика. – II: Сб. науч. тр. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2004. – Т. 2. – С. 15–21.

Ночвай В.М., Кундельський Я.А., Храпійчук Д.С.,
Кулікова О.І., Полонський Л.Г., Яновський В.А.
Житомирський державний технологічний
університет, Житомир, Україна

ВИПРОБУВАННЯ ОБРОБЛЕНИХ ПОКРИТТІВ НА СТІЙКІСТЬ ПРОТИ СПРАЦЮВАННЯ

Випробування покриттів на стійкість проти спрацювання проводились в лабораторних умовах на машині М-22П. Суть методу випробувань на цій машині полягає у тому, що нерухомий зразок зі спеціально обробленою притертою ввігнутою поверхнею притискається до поверхні циліндричного зразка з напиленим покриттям, що обертається, з заданим навантаженням.

Нерухомий зразок виготовлено із загартованої сталі 45 твердістю 45–50 HRC і має розміри 10×10×20 мм. Робочу поверхню нерухомого зразка оброблено циліндричною фрезою ∅ 40 мм. Рухомий зразок товщиною 12 мм і діаметром циліндричної поверхні 40 мм виготовлено зі сталі 45 (табл. 1).

Таблиця 1 – Параметри зразків для проведення випробувань на машині тертя М-22П

Параметр	Зразок типу 1	Зразок типу 2
Матеріал напилювання	Порошок ПГ-12Н-01	Порошок ПГ-12Н-01
Діаметр зразка до напилювання, мм	37,6	38,6
Діаметр зразка після напилювання, мм	40,6	41,6
Припуск на механічну обробку, мм	0,3	0,8
Товщина шару покриття після механічної обробки, мм	1,2	0,7

На його циліндричну поверхню нанесено шар покриття і виконано токарну обробку цього покриття. Номінальна площа контакту $A_a = 100$ мм^2. Покриття нанесенено газополуменевим апаратом ГАЛ-6П, робочі гази – кисень та пропан-бутан.

Випробування проводили при швидкості обертання рухомого зразка 1000 об/хв і при навантаженнях 0,06, 0,10 і 0,14 кН з оливою марки И-20. При заданому навантаженні визначали вагу спрацьованого матеріалу g шляхом зважування зразка до і після випробувань на вагах ВЛР-200 (табл. 2, 3).

Таблиця 2 – Вихідні дані проведення експерименту дослідження впливу тертя на стійкість проти спрацювання

№ досліду	Тип зразка	Час досліду t, хв	Навантажен-ня F, кН	Частота обертання вала n, об/хв	Кількість циклів, N, шт
1	1	60	0,06	1000	60000
2	1	60	0,10	1000	60000
3	1	60	0,14	1000	60000
4	2	60	0,06	1000	60000
5	2	60	0,10	1000	60000
6	2	60	0,14	1000	60000

По величині втрат ваги зразка визначено вагову інтенсивність спрацювання за виразом: $J_g = g/(A_a \times L)$, де J_g – вагова характеристика спрацювання, g – вага спрацьованого матеріалу, г, A_a – номінальна площа контакту, L – шлях тертя, мм.

Зважування зразків виконували через 60 хв. З метою визначення шляху тертя під час випробувань фіксується напрацювання зраз-

ка за допомогою лічильника циклів Ф5007 або тахометра 7ТЭ. Шлях тертя за цей проміжок часу визначено за виразом

$$L = \pi \times D \times t \times n,$$

де D – діаметр рухомого зразка, t – час досліду.

Таблиця 3 – Результати вимірювань та розрахунків експерименту дослідження впливу тертя на стійкість проти спрацювання

№ досліду	Тип зразка	Вага зразка		Вага спрацьованого матеріалу, $g = g_1 - g_2$, г	Вагова характеристика спрацювання, J_g, г/мм^3
		до випробування, g_1	після випробування, g_2		
1	1	84,83975	84,83680	0,00295	$3{,}9\times10^{-12}$
2	1	84,83650	84,83245	0,00405	$5{,}4\times10^{-12}$
3	1	84,83715	84,83020	0,00695	$9{,}2\times10^{-12}$
4	2	86,80545	86,80225	0,00320	$4{,}3\times10^{-12}$
5	2	86,42800	86,42210	0,00590	$7{,}8\times10^{-12}$
6	2	86,81665	86,80545	0,0112	$14{,}7\times10^{-12}$

За середньоарифметичним значенням вагових характеристик 20-х зразків типу 1 і 20 зразків типу 2 побудовано криві залежності вагової характеристики J_g від навантаження F (рис. 1).

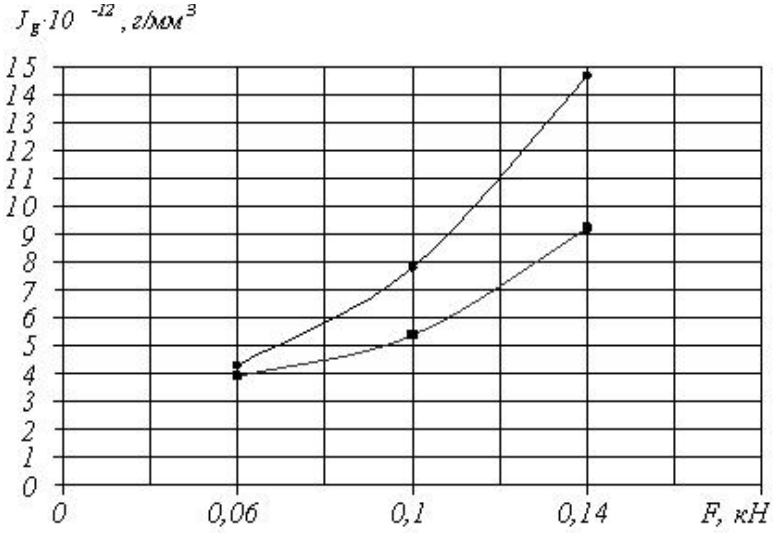


Рисунок 1 – Залежність вагової характеристики I_g від навантаження F:
■ – зразок типу 1; ● – зразок типу 2

Після виконання аналізу результатів експерименту шляхом порівняння значень вагових характеристик зразків типу 1 і типу 2 можна зробити висновок, що вагова характеристика зразка типу 2 більша вагової характеристики зразка типу 1 в 1,1, 1,44 та 1,6 разів при навантаженнях 0,06, 0,10 та 0,14 кН відповідно. Звідси витікає, що зносостійкість покриття на глибині 0,3 мм (зразок типу 1) більша зносостійкості покриття на глибині 0,8 мм (зразок типу 2) на 11,0, 14,4 та 16,0 % при навантаження 0,06; 0,10 та 0,14 кН відповідно.

Оборский И.Л., Зенкин А.С. Киевский национальный университет технологий и дизайна, Киев, Украина
Мусиал Я. Университет технологично-природоведческий, Быдгощ, Польща

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОДУЛЯ ДЛЯ СОВМЕЩЕНИЯ БАНДАЖА С ЦЕНТРОМ КОЛЕСНЫМ ПРИ СБОРКЕ СПОСОБОМ СКТС

На основании выполненного анализа установлено, что вертикальную сборку соединений деталей больших габаритов и массы необходимо проводить при наличии устройств, обеспечивающих торможение перемещения одной детали относительно другой базируемой другой. При этом сборка может идти при участии досылателя или без него, только под действием сил тяжести детали. При этом особую трудность при вертикальной сборке представляют детали с диаметром посадки, превышающим длину соединения. Поэтому в качестве исследуемого изделия принято соединение колесных центров с бандажами.

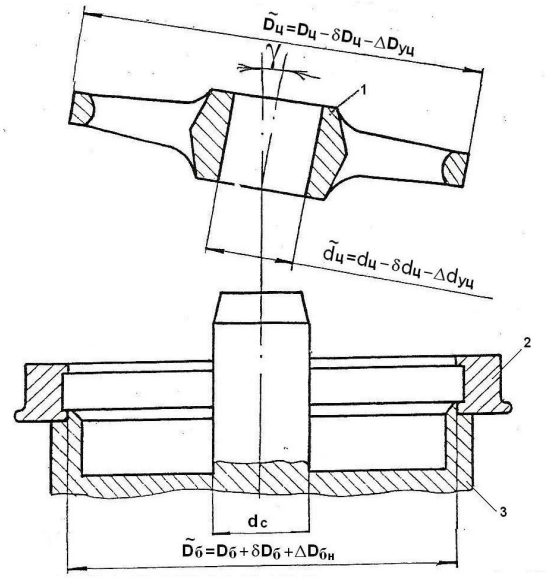


Рисунок 1 – Схема для выбора параметров вертикальной сборки бандажа с центром колесным при СКТС: *1* – центр; *2* – бандаж; *3* – приспособление для ориентирования

Анализ собираемости изделия показал, что ориентирование и взаимное совмещение следует выполнять с использованием специального ориентирующего приспособления. Оно должно позволить предварительно сориентировать относительно него охватывающую деталь, а затем проводить сборку, ориентируя охватываемую относительно промежуточной базы, сориентированной относительно охватывающей детали. Выполнять анализ собираемости целесообразно с использованием размерных цепей с учетом допустимого угла перекоса осей сопрягаемых деталей. Для исследований специфи-

ки ориентирования и взаимного соединения деталей разработана специальная структурная схема (рис. 1).

Предлагается ориентирующее приспособление в виде центрирующего стержня с основанием, неподвижно закрепленным в нижней части охватывающей детали. Приняв что, охватывающая деталь, нагретая до температуры сборки, имеет при этом условный диаметр посадки $\widetilde{D}_{\delta}$ в начальный момент окончательного ориентирования $\widetilde{D}_{\delta} = D_{\delta вв} + \delta D_{\delta в} + \Delta D_{\delta нагр}$, ориентирующий стержень $\widetilde{d}_c = d_c + \Delta d_c$, наружный диаметр $\widetilde{d}_{л}$ колесного центра составляет $\widetilde{d}_{л} = d_{л} - \delta d_{л} - \Delta d_{л''}$, а внутренний соответственно $\widetilde{d}_{1л}$ $\widetilde{d}_{1л} = d_{1л} - \delta d_{1л} - \Delta d_{1л''}$, длина центрального отверстия колесного центра $\widetilde{l} = l_k - \delta l_k - \Delta l_k$,где $D_{\delta в}, d_c, d_ц, d_{ц1}$ – соответственно диаметр бандажа, ориентирующего стержня, наружный и внутренний диаметры колесного центра; $\delta D_{\delta В}$, $\delta d_ц$, $\delta d_{ц1}$ – соответственно их допуски при изготовлении; $\Delta D_{\delta нагр}$, Δd_c, $\Delta d_{цохл}$, $\Delta d_{ц1охл}$ – соответственно изменения указанных диаметров при термовоздействии на них при ориентировании была получена размерная цепь

$$d_c + S_c'' - (d_w + \delta d_w - \Delta d_н)\cos\gamma - (l - \delta_1 - \Delta l_y)\sin\gamma - $$
$$- (\Delta D_{\delta н} + D_{\delta н} + \delta D_{\delta н}) + S' + (D_ц - \delta D_ц - \Delta D_ц)/\cos\gamma = 0.$$

где S',S'' – зазоры, необходимые при сборке бандажа с центром и ориентирующего стержня с центром без заклинивания.

Определяющим для сборки является угол γ скрещивания осей сопрягаемых деталей. Определяем его из условий начального контакта бандажа с центром колесным

$$\gamma = arc\cos\frac{D_{\delta в} + \delta D_{\delta в} + \Delta D_{\delta нагр} - S'_{мин}}{D_ц - \delta D_ц - \Delta D_{цу}}$$

Обязательным для ввода ориентирующего стержня в центральное отверстие охлажденного центра колесного и гарантирующим отсутствие повреждения торцовых кромок в начальный момент сборки является выполнение условия

$$S_{мин} = \gamma(1/\cos\gamma - 1) \le S_c''.$$

Дальнейшее осевое перемещение присоединяемой детали (охлажденного центра) относительно базового ориентирующего стержня приспособления для ориентирования определится соотно-

шением Sc<S, в котором зазор Sc определится силовым расчетом на не заклинивание для вертикальной сборки

$$S_c = d_{-‡} \frac{sin(\gamma + \Psi) - sin\,\Psi}{sin\,\Psi\, cos\,\Psi} sin\,\gamma\, sin\left(\frac{\gamma}{2} + \varphi\right),$$

где $\Psi = arctg\frac{d_{сб}}{h}$, – коэффициент трения при перемещении центра относительно бандажа при возможном их контактировании в процессе соединения деталей с временно образованным зазором; $\varphi = \text{arctgf}$.

Определив величину зазора S_c и зная диаметр центрального отверстия охлажденного центра в начальный момент соединения деталей с временно образованным зазором, можно найти диаметр ориентирующего стержня

$$d_c = d_{\text{ц ор}} - S_c$$

Оборский И Л., Зенкин А.С. Киевский национальный университет технологий и дизайна, Киев, Украина
Тарновски Ю. AGH Университет науки и технологий, Краков, Польша

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ СОВМЕЩЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ С ВРЕМЕННЫМ ЗАЗОРОМ ПРИ СБОРКЕ СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ ТЕРМИЧЕСКИМИ СПОСОБАМИ

Обеспечение требуемой точности ориентации собираемых деталей перед их сопряжением с временным зазором является одной из основных при создании технологии автоматической сборки соединений с натягом. Для решения такой задачи необходимо знать условия взаимного беспрепятственного их сопряжения без непосредственного контакта сопрягаемых поверхностей, что является необходимым при проектировании сборочных механизмов.

При автоматической сборке цилиндрических соединений определение условий собираемости сводится к обеспечению точности совпадения осей или совмещения сопрягаемых поверхностей деталей и точности положения вдоль оси и в плоскости, перпендикулярной к оси.

Точность относительного положения деталей зависит от выбранной схемы базирования, характера и состояния исполнительных поверхностей базирующих устройств.

Операция совмещения нагретой охватывающей и охлажденной охватываемой сопрягаемых деталей при СКТС соединений с натягом требует проведения их предварительного ориентирования таким образом, чтобы одна деталь имела возможность перемещаться относительно другой или обе детали друг относительно друга. При этом обе детали должны совмещаться, окончательно ориентируясь и обеспечивая их соединение с временным зазором без непосредственного контакта сопрягаемых поверхностей или с локальным контактом. В обоих случаях требуется создание специфичных ориентирующих сборочных модулей, обеспечивающих условия начального контакта и скольжения деталей. Решить эту задачу возможно при установлении закономерностей при ориентировании и совмещении сопрягаемых деталей, взаимосвязанных с определением допустимых углов перекоса осей сопрягаемых деталей при их взаимном соединении. Эта технологическая операция включает одновременно перемещение, например, охватываемой охлажденной детали на открытом воздухе с температурой среды, создаваемой нагретой охватывающей деталью и перемещение внутри ее отверстия. Совмещение деталей может осуществляться по вертикальной схеме, горизонтальной или под наклоном.

При решении задачи качественного совмещения деталей по вертикальной и горизонтальной схемах авторами установлены закономерности изменения угла перекоса осей сопрягаемых деталей во времени их совмещения с учетом рациональной продолжительности выполнения указанной операции сборки и сокращения тепловых потерь.

Следует заметить, что сопрягаемые детали могут иметь различные геометрические размеры (массу), механические и теплофизические свойствами их материалов. При вертикальном совмещении деталей под действием собственной силы тяжести при равных параметрах и использовании бесконтактного способа сборки будет меньше затрачиваться времени, а также обеспечиваться уменьшение потерь тепла и холода. Однако при этом в процессе ориентирования возможен контакт одной детали по другой и могут происходить их повреждения. Очевидно, что для исключения этих явлений необходимо использовать дополнительные направляющие элементы, которые обеспечивали бы торможение крупногабаритных дета-

лей и снижение скорости транспортирования. При сборке малогабаритных деталей с целью исключения контакта деталей следует использовать бесконтактные способы совмещения. Это методы, использующие электромагнитные силы и различные потоки воздуха (“выхревой метод”, вакуумирование, замкнутый и разделяемый воздушный поток и др.). Поэтому вертикальная схема совмещения более приемлема при сборке малогабаритных и среднегабаритных деталей с достаточно высокими механическими характеристиками. Применение механических захватов при совмещении деталей на начальных стадиях сборки возможны тепловые потери, так как перепады температур между сопрягаемыми деталями и деталями сборочного устройства могут быть достаточно высокими. Горизонтальное совмещение деталей возможно только под действием внешних движителей. Это механических досылателей, электромагнитных сил, сил всасывания, замкнутого и разделяемого воздушных поток и др. При горизонтальном совмещении для исключения возможного контакта следует, вероятно, использовать механические досылатели, которые центрировали бы детали с одной или с двух сторон, что требует усложнения конструкции сборочных устройств. Применение электромагнитных сил, сил всасывания, замкнутого и разделяемого воздушных потоков обеспечивает теоретически исключение контакта деталей, однако их применение возможно при сборке деталей небольших габаритов. Совмещение деталей под углом имеет те же преимущества и недостатки, что и вертикальная и горизонтальная схемы.

Для вертикальной схемы сборки получены формулы по определению допустимого угла перекоса осей сопрягаемых деталей при наличии воздушной прослойки (1) или клеевой (2) между деталями при их совмещении

$$\gamma_в \le arctg\left(\frac{d - \Delta d_а - \Delta d_в + N + S_{мин}}{L}\right) \qquad (1)$$

$$\gamma_в \le arctg\left(\frac{d - \Delta d_а - \Delta d_в + N + S_{мин}}{L}\right)\frac{1 - f^2}{1 + f^2}. \qquad (2)$$

Для горизонтальной схемы сборки получена формула (3) по определению допустимого угла перекоса осей сопрягаемых деталей при сборке без контакта вида

$$\gamma_г \le arccos\frac{\widetilde{d}_в + N_{макс} + S_{мин}}{\widetilde{D}_а} = arccos\frac{d_в - \Delta d_{вОу} + N_{макс} + S_{мин}}{D_а + \Delta D_{аОу}}. \qquad (3)$$

Поликарпов А.А. НТИЦ «УкрТЕСТ»
ДП «Укрметертестстандарт»,
Федин С.С. Киевский национальный університет
технологии и дизайна, Киев, Украина

НОРМАТИВНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКИ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ БЕЗОПАСНОСТИ

Одним из основных направлений развития государственной политики в сфере технического регулирования Украины является защита здоровья и жизни людей, на основе разработки и применения технических регламентов. Техническим регламентом Украины «Про медицинские изделия» (Технический регламент), установлены обязательные требования к безопасности медицинских изделий, процессов их производства и использования. В техническом регламенте, установлено, что медицинские изделия, безопасность которых удовлетворяют требованиям национальных стандартов включенных в перечень стандартов, соответствуют требованиям Технического регламента.

В перечень стандартов, добровольное использование которых является доказательством соответствия Техническому регламенту и направлено на обеспечение качества изделий медицинской техники, включены национальные стандарты, требования которых гармонизированы с европейскими стандартами в области обеспечения безопасности медицинских изделий. Сравнительный анализ предлагаемого перечня национальных стандартов и перечня европейских стандартов, используемых для подтверждения соответствия директиве про медицинские изделия MDD 93/42, позволил установить следующее:

- Европейский перечень содержит 290 стандартов, в тоже время предлагаемый национальный перечень содержит 70 стандартов;
- требования 53-х стандартов из 70-ти включенных в национальный перечень не являются гармонизированными с требованиями соответствующих европейских стандартов.

Таким образом, использование предлагаемого перечня национальных стандартов создает условия для поставки на рынок Украины медицинских изделий, которые не соответствуют Европейским нормам безопасности. Сложившаяся ситуация, вызвана, прежде

всего, низким уровнем работ по стандартизации в области обеспечения безопасности медицинских изделий в Украине.

Основываясь на результатах проведенных нами исследований в области разработки национальных стандартов ДСТУ IEC 60601-1 (IEC 60601-1 [1]), ДСТУ IEC 60601-2-19 (IEC 60601-2-19 [2]), ДСТУ IEC 60601-2-20 (IEC 60601-2-20 [3]), позволяет сделать вывод о том, что к дате обязательного использования Технического регламента (01.07.2014), не может быть решена задача по разработке национальных стандартов, соответствующих европейскому перечню стандартов. Вызвано это, прежде всего недостаточным финансированием работ по стандартизации, вопросами, связанными с качеством перевода текста стандартов на украинский язык и согласования терминологии используемой в стандартах.

Для решения проблемы недостаточного в настоящий момент времени уровня стандартизации при обязательном использовании Технического регламента, считаем, что необходимые стандарты следует ввести в действие на языке оригинала. При этом необходимо увеличить финансирование по разработке национальных стандартов. Такое решение позволит до начала обязательного использования Технического регламента, привести национальный перечень стандартов в соответствие с Европейским перечнем и в тоже время повысить уровень работ по стандартизации в области безопасности медицинских изделий.

Литература

1. Medical electrical equipment Part 1. General requirements for basic safety and essential performance : IEC 60601-1:2005. − IEC, 2005. – 777 с.

2. Medical electrical equipment Part 2-19. Particular requirements for the basic safety and essential performance of infant incubators : IEC 60601-2-19:2009. – IEC, 2009. – 75 с.

3. Medical electrical equipment Part 2-20. Particular requirements for the basic safety and essential performance of infant transport incubators IEC 60601-2-20:2009. – IEC, 2009. – 84 с.

Посвятенко Е.К., Посвятенко Н.І. Національний транспортний університет, Київ,
Аксьом П.А. Мукачівський державний університет, Мукачево, Україна

ОСНОВНИЙ НАПРЯМОК ПІДВИЩЕННЯ ОБРОБЛЮВАНОСТІ АУСТЕНІТНИХ СТАЛЕЙ

Як відомо [1], аустенітні сталі належать до окремого структурного класу, де через зниження критичних точок A_1 і A_3 аустенітна область на діаграмі стану простягається до кімнатних температур і нижче. Отже, це високовуглецеві сталі, леговані значною кількістю марганцю, наприклад, сталь Гатфільда (110Г13Л), комплексно леговані хромонікелеві маловуглецеві (12Х18Н10Т та ін.) і середньовуглецеві сталі (40Х14Н14В2М, 60Х22Н8Г2АМБФ тощо), або маломагнітні та немагнітні сталі спеціального призначення. Паралельно високе легування аустенітних сталей призводить до зниження критичної точки A_2 (точки Кюрі), при якій парамагнітний стан матеріалу при охолодженні переходить у феромагнітний стан. Таким чином, сталі аустенітного класу при звичайних і низьких температурах є немагнітними. Аустеніт має твердість порядку 170–200 НВ, досить високу міцність ($\sigma_в$ = 500–800 МПа) і надзвичайно високу пластичність ($\delta \approx 50$ %; $\psi \approx 60$ %). Поєднання високих значень зносостійкості і в'язкості аустеніту з достатньою міцністю забезпечує необхідну довговічність виробів з високовуглецевих аустенітних сталей за умови абразивного зношування, посиленого ударними навантаженнями. Тому сталі типу 110Г13Л використовують при виготовленні траків гусеничних машин, зубків ковшів екскаваторів, стрілочних переводів залізничних рейок, деталей каменедробарок тощо. З іншого боку, мало- та середньовуглецеві аустенітні сталі є корозійностійкими та жаростійкими. При цьому висока корозійна стійкість досягається за рахунок утворення тонкої міцної оксидної плівки на поверхні сталі при забезпеченні доброго зчеплення плівки з основним металом. Введення у сталь великої кількості хрому ($\geq$ 13 %) викликає пасивацію останньої, тобто припинення електрохімічної корозії (атмосферної, ґрунтової, під впливом водних розчинів кислот лугів та солей). У жаростійкі сталі крім хрому додають також кремній та алюміній, що утворюють щільну плівку оксиду, яка перешкоджає проникненню кисню в глиб металу і припи-

няє корозію. Жаростійкі та жароміцні сталі використовуються у побутовій техніці, хімічному обладнанні, хірургічному інструменті, лопатках парових і газових турбін, клапанах дизелів, деталях реактивних двигунів та ін.

Разом з тим, загальним недоліком сталей аустенітного структурного класу є їхня низька оброблюваність лезовим та абразивним різальним інструментом. Нами висунута *гіпотеза*, що пояснює це явище. Оскільки ще з часів І.А. Тіме і О.М. Розенберга до теперішнього часу різання металів аргументовано ідентифікується як процес глибоких пластичних деформацій, головним чином простого зсуву, то аустенітні сталі у зонах стружкоутворення та контакту мають пройти усі стадії цього процесу від початку до руйнування. Але, оскільки сталі даного класу є високопластичними і, водночас міцними, то процес їхнього різання є надзвичайно напруженим. Про це, зокрема, можна судити зі значень коефіцієнта усадки стружки, якій квазикількісно характеризує процес, і може зазвичай сягати значень 5 і більших.

Враховуючи те, що вироби із аустенітних сталей широко застосовують у різних галузях машинобудування, зокрема, при виготовленні і ремонті деталей засобів транспорту, нами була сформульована *мета* даного дослідження як пошук і розвиток напрямків підвищення оброблюваності аустенітних сталей найбільш ефективними методами.

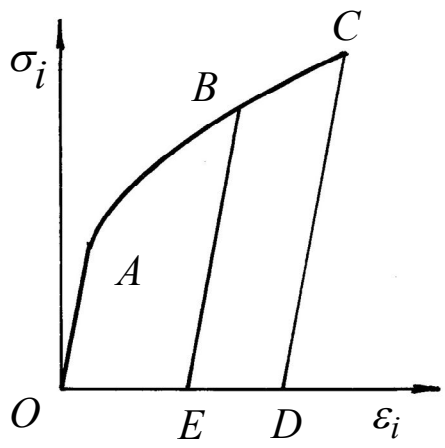


Рисунок 1 – Діаграма деформування при різанні незміцненої (*ОАСД*) і зміцненої (*ВСДЕ*) аустенітної сталі

Ці напрямки у загальному відомі, а основні з них полягають у попередньому впливові на геометрію та матеріал інструменту, режими різання, середовище та оброблюваний матеріал. Перші два, на нашу думку, малопридатні для вирішення завдання дослідження, оскільки можуть змінюватись у вузькому діапазоні в залежності від вимог до процесу. Дія МОР на ефективність останнього добре вивчена і має невеликі резерви, хіба що за рахунок екологічно чистих масел рослинного походження. Тому нами вивчалась попередня дія на аустенітні сталі холодного пластичного деформування (ХПД). Методи термічного і хіміко-термічного впливу були відкинуті, як такі, що під-

вищують межу міцності оброблюваного матеріалу, хоча знижують пластичність останнього. Навпаки, попереднє ХПД як процес фізично споріднений з різанням, має частково виконувати його роботу [2].

Спрощену фізичну модель дії ХПД на зону стружкоутворення можна подати у такому вигляді. При обробці незміцненого матеріалу вся робота пластичного деформування у зоні стружкоутворення виконується різальним інструментом. Кількісно вона визначається площею *OACД* діаграми деформування (рис. 1).

При попередньому ХПД частину цієї роботи виконує деформуючий інструмент (площа OABE), а на роботу різання залишиться та частина загальної деформації, що дорівнює площі фігури *BCДE*. Таким чином, ХПД оброблюваного матеріалу значно зменшує питому роботу пластичної деформації, що спричиняє зниження коефіцієнту усадки стружки, сил та температури різання, а також зміну напружено-деформованого стану (НДС) зони стружкоутворення у бік послаблення цього стану [3].

Експериментальна перевірки фізичної модулі ХПД на зону стружкоутворення при різання сталей аустенітного структурного класу була проведена за схемою вільного ортогонального різання сталей AISI 201 (аналог 12Х15Г9НД); AISI 304 (аналог 08Х18Н10); 12Х18Н10Т; 110Г13Л швидкорізальним інструментом. Сталь AISI 420 (аналог 40Х13) як нержавіюча мартенситного класу служила в експериментах контрольною. Попереднє ХПД здійснювалось одновісним стиском, деформуючим протягуванням, вигладжуванням, наклепуванням дробом та ударним інструментом.

Рис. 2 ілюструє різке зниження пластичності попередньо аустенізованої з температур 1100–1150 °С з охолодженням у воді сталі 12Х18Н10Т при застосуванні ХПД. Відносне видовження при цьому зменшується з 50 до 18 %, а межа текучості зростає з 230 до 700 МПа.

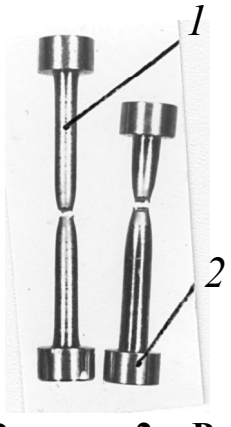


Рисунок 2 – Розірвані зразки із незміцненої (*1*) та зміцненої ХПД (*2*) сталі 12Х18Н10Т

На рис. 3 показано процес формування стружки у канавці протяжки при різанні незміцненої (HV 1950–1980 МПа; позиції *а–е*) та попередньо зміцненої ХПД (HV 2800–2900 МПа; позиції *ж–м*) сталі 12Х18Н10Т. У даному випадку попереднє ХПД дозволяє підвищити допустиму довжину протягування на 70 %.

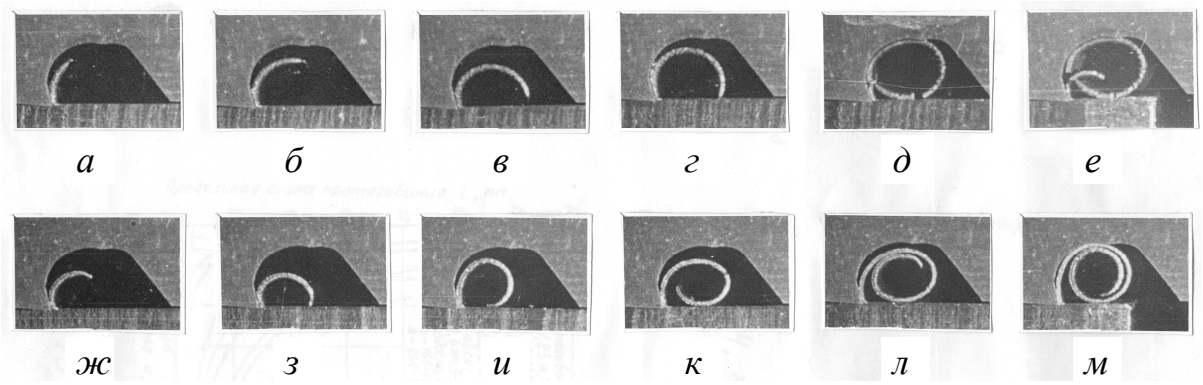


Рисунок 3 – Стадії формування валика стружки при протягуванні незміцненої (*а–е*) та зміцненої (*ж*–м) сталі 12Х18Н10Т. Глибина стружкової канавки 4,8 мм

Висновки.

Холодне пластичне деформування незалежно від кінематичної схеми останнього дозволяє різко підвищити оброблюваність сталей аустенітного структурного класу різанням. Викликане попереднім ХПД зміцнення оброблюваного матеріалу приводить до збільшення опору зсуву на початковій границі зони стружкоутворення, звуження цієї зони у 5–10 разів та збільшення кута зсуву на 5–15°. Довжина контакту стружки з передньою поверхнею інструменту при цьому знижується у 2–3 рази, коефіцієнт тертя – у 1,8–2,3 рази, а коефіцієнт усадки стружки з 4,5–5,0 до 1,8–2,0. Ступінь заповнення стружкових канавок протяжок зростає з 0,3–0,4 до 0,5–0,6.

Технологію обробки виробів із аустенітних сталей слід побудувати наступним чином: ХПД за будь-якою кінематичною схемою – обробка різанням лезовим або абразивним інструментом – повернення початкових властивостей матеріалу (зносо- та жаростійкість, жароміцність та ін.) відпусканням.

Література

1. Матеріалознавство: Підручник / С.С. Дяченко, І.В. Дощечкіна, А.О. Мовлян, Е.І. Плешаков. За ред. проф. С.С. Дяченко. – Харків: ХНАДУ, 2007. – 440 с.

2. Механіка процесу різання пластичних металів після холодного деформаційного зміцнення / Е.К. Посвятенко // Резание и инструмент в технологических системах: Сб.науч.тр. –1996. – Вып.50.–С. 149–154.

3. Особливості механіки різання матеріалів, зміцнених холодною деформацією / Е.К. Посвятенко, Н.І. Посвятенко, Р.В. Будяк // Резание и инструмент в технологических системах: Сб. науч. тр. – 2012. – Вып.81. – С. 238–248.

Приходько В.М., Юдаков Е.Г. Московский
автомобильно-дорожный государственный
технический университет, Москва, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОЧИСТКИ ОТВЕРСТИЙ

Удаление загрязнений с плоской поверхности, пусть и сложной формы, не настолько трудоемко, как очистка каналов и внутренних полостей. По этому критерию при очистке корпусных деталей предъявляются высокие требования. Проведенные исследования Т.Н. Ивановой [1], позволили выявить эффективность применения штырьковых излучателей для очистки сквозных и глухих отверстий. Для определения эффективности удаления модельного загрязнения была проведена серия экспериментов, в которых фиксировалось время смыва загрязнений из сквозного отверстия диаметром 5 мм при обработке на амплитудах колебаний торца излучателя ξ = 5–10 мкм и при глубинах отверстий h = 10–50 мм.

В результате обработки экспериментальных данных получена зависимость, представленная на рис. 1.

На графике (рис. 1) видно увеличение скорости выноса модельного загрязнения из отверстия при переходе от низкоамплитудного режима обработки к высокоамплитудному. Причиной этого является возникновение крупномасштабных акустических течений при высокоамплитудном режиме обработки. Глубина очищаемого отверстия оказывает влияние на скорость очистки, при ее увеличении наблюдается снижение скорости очистки. Предполагается, что причиной этого является уменьшение скорости движения акустического потока при увеличении расстояния от излучателя.

Иным способом очистки отверстий является подача струи технологической кавитирующей жидкости через излучатель с заданной скоростью. Принудительная подача струи позволяет создать дополнительный вынос кавитационно-активных пузырьков в очищаемое отверстие, обеспечить ускоренное разрушение пленки загрязнения и ее удаление из канала. Проведенные Ю.Н. Калачевым исследования [2] показали высокую технологическую эффективность применения метода. Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 2.

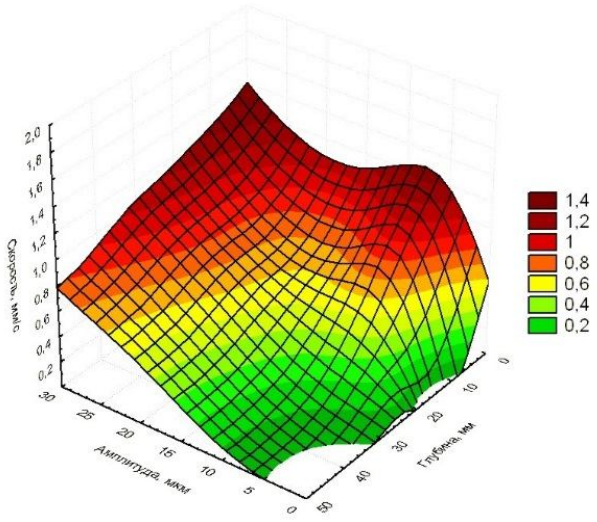


Рисунок 1 – Зависимость скорости очистки сквозного отверстия от режима обработки и глубины отверстия при использовании ступенчатого штырькового излучателя

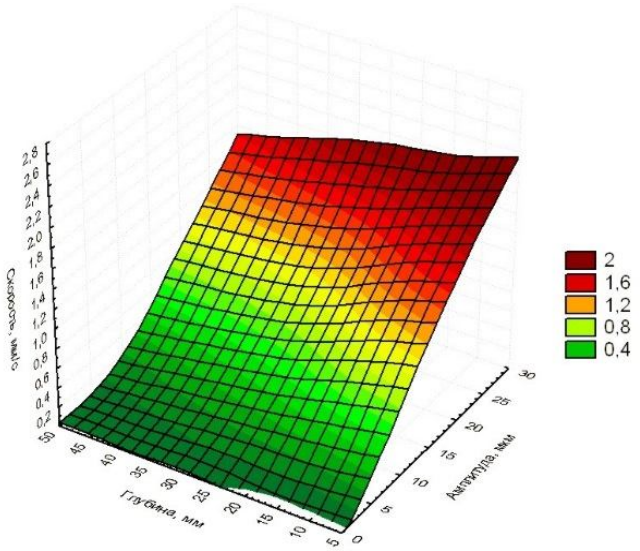


Рисунок 2 – Зависимость скорости очистки сквозного отверстия от амплитуды колебаний и глубины отверстия при использовании излучателя с подачей струи моющей жидкости

Сравнительный анализ графических зависимостей представленных на рис. 1 и 2 позволил выявить особенности предлагаемых способов очистки отверстий. В обоих случаях существенное влияние на скорость удаления загрязнений оказывает режим обработки. При озвучивании на высокоамплитудном режиме существенно увеличивается скорость очистки. Происходит это, во-первых, благодаря наличию пульсирующих пузырьков, которые внедряясь в слой загрязнения отслаивают его, во-вторых, крупномасштабные акустические течения, обладающие высокой энергией потока, ускоряют растворение, эмульгирование и смыв загрязнений.

Использование высокоамплитудного режима обработки на одинаковых амплитудах в обоих предложенных схемах дает различную скорость очистки. При использовании штырькового излучателя максимальная скорость очистки составляет 1,5 мм/с, а при подаче струи жидкости – 2,2 мм/с, что практически в полтора раза выше. Причиной этого является принудительная подача струи кавитирующей моющей жидкости во втором способе. Исходя из этого, можно сделать вывод о целесообразности применения стержневого излучателя с подачей моющей жидкости для очистки глухих и сквозных отверстий в деталях.

Литература

1. Иванова Т.Н. Особенности процесса ультразвуковой очистки деталей топливной аппаратуры дизельных двигателей: дис. канд. техн. наук. – М. – 1974. – 160 с.

2. Калачев Ю.Н. Разработка технологии ультразвуковой очистки, обеспечивающей кавитационную неповреждаемость конструкционных материалов: дис. канд. техн. наук. – М. – 1992. – 175 с.

Путятина Л.И. Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, Украина

ПРИМЕНЕНИЕ ВИБРОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА

На современном этапе все более широкое применение в машиностроении (в т.ч. на железнодорожном транспорте) находит высокопрочный чугун с шаровидным графитом (ВЧШГ). Благодаря своим физико-механическим и литейным свойствам он с успехом может использоваться вместо дорогого стального проката, серого и ковкого чугунов.

Разработанная технология лезвийно-упрочняющей механической обработки деталей из высокопрочного чугуна обеспечивает проведение чистовой механообработки со снятием припуска (при точении) и одновременным упрочнением поверхностного слоя изделия. В результате в поверхностном слое происходят структурные превращения с получением упрочненного (белого) слоя. Такой метод сопровождается значительными удельными давлениями и температурами в зоне обработки, что приводит к низкой работоспособности твердосплавного инструмента. А эффективность работы режущего инструмента является важным, а зачастую и решающим фактором интенсификации процесса обработки резанием.

В настоящее время наиболее перспективным методом упрочнения твердосплавного инструмента является виброабразивная обработка (ВАО). Такая технология является ресурсосберегающей и экологически чистой. В результате выполнения одной операции одновременно обеспечивается скругление режущих кромок, уменьшение

параметров шероховатости режущих кромок и поверхностей лезвия, образование в поверхностном слое твердого сплава сжимающих остаточных макронапряжений. Перечисленные изменения благоприятно влияют на прочность и износостойкость твердосплавного инструмента, что обеспечивает увеличение производительности обработки деталей, улучшение показателей безотказности и долговечности инструмента, уменьшение расхода твердых сплавов. Кроме того, процесс отличается простотой и экономичностью.

Технология виброабразивной обработки имеет опыт успешного внедрения на машиностроительных предприятиях. Однако упрочненный с помощью виброабразивной обработки инструмент эксплуатируется в основном при обработке углеродистых и легированных сталей. Аналогичного опыта при обработке деталей из высокопрочного чугуна нет. Поэтому научный и практический интерес представляет исследование характера износа и стойкости резцов с пластинами из твердого сплава Т15К6 после виброабразивного упрочнения при лезвийно-упрочняющей обработке высокопрочного чугуна с различной структурой металлической матрицы.

Виброабразивную обработку инструмента проводили на специальной виброабразивной установке ВМ40С с камерой объемом 40 л, предназначенной для упрочнения твердосплавных пластин, напайных резцов и ножей фрез. Установка отличается высокой производительностью, низким уровнем шума, удобством обслуживания, отсутствием вредных экологических воздействий. Твердосплавные пластины упрочняли в среде боя абразивных кругов грануляции 10–20 мм, массой 60 кг, с частотой 46 Гц, амплитудой 0,9 мм, продолжительность обработки 200 мин. Все пластины упрочняли одновременно с непрерывной промывкой содовым раствором.

Радиус скругления режущих кромок пластин при таких режимах был равный $\rho \approx 40$ мкм, отклонения радиуса не превышали 10 %, выкрашивание и другие дефекты отсутствовали, шероховатость режущих кромок и поверхностей значительно улучшилась, поверхность после упрочнения – матовая.

Анализируя экспериментальные данные, можно сделать вывод, что стойкость упрочненных виброабразивной обработкой пластин из твердого сплава Т15К6 по сравнению с необработанными пластинами при упрочняющем точении ВЧШГ увеличилась в 1,5–3,3 раза (в зависимости от структуры металлической матрицы чугуна). При этом следует отметить, что виброобработанные пластины практически не

имеют зоны приработки. Изнашивание упрочненных пластин происходит равномерно на всем периоде стойкости инструмента.

Характер износа упрочненных виброабразивной обработкой резцов практически не отличается от износа при работе неупрочненным инструментом: износ с самого начала развивается по передней и задним поверхностям резца.

Если на острозаточенных (неупрочненных) пластинах в первые минуты работы наблюдаются микровыкрашивания режущих кромок, по которым в дальнейшем развивается изнашивание, то при работе виброупрочненным инструментом на начальном этапе износ имеет явную тенденцию к абразивному: на работающих поверхностях твердосплавных пластин меньше микротрещин и выкрашиваний.

Виброабразивная обработка инструмента в исследуемых условиях обеспечивает рост среднего периода стойкости пластин $T_{ср}$ в 1,7–2,6 раза. Наибольшее повышение среднего периода стойкости имеет место для тех пластин, которые характеризуются наибольшим числом выкрашенных лезвий при работе неупрочненным инструментом.

Рощупкин В.В., Ляховицкий М.М., Покрасин М.А.,
Минина Н.А., Чернов А.И., Соболь Н.Л.,
Кольцов А.Г. Институт металлургии и материаловедения
им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия,
Копейкина М.Ю. Институт сверхтвердых материалов
им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛИ Р6М5

Исследованная сталь относится к быстрорежущим легированным сталям, предназначенным, главным образом, для изготовления металлорежущего инструмента, работающего при высоких скоростях резания. Отличительным свойством этих сталей является высокое сопротивление разрушению, твердость (в холодном и горячем состояниях) и красностойкость, т.е. сохранение своих механических свойств до ~ 600 °С. Основными легирующими элементами стали Р6М5 являются по данным [1]: W – 5.5-6.5, Mo – 4,8–5,3, V –

1,7–2,1, Cr – 3,8–4,4 мас. %. Проведенный химический анализ исследованной стали, показал следующее содержание легирующих элементов: W – 6,7, Mo – 4,8, V – 2,0, Cr – 4,1 мас. %.

Исследование температурных зависимостей скорости и коэффициента затухания ультразвука проводились на коротких проволочных образцах по методике [2], модернизированной авторами [3]. Методика измерений и ее особенности достаточно полно представлена в работе авторов [4]. Основное требование к опытным образцам состоит в том, чтобы качество их изготовления свело к минимуму посторонние шумы и искажения эхо-сигнала [5]. Коэффициент отражения ультразвука от акустической метки является безразмерной величиной и не зависит от температуры [5], что позволяет использовать при проведении акустических измерений другие конфигурации рабочего участка образца [6]. Как показано в [6] в расчетные формулы для скорости и коэффициента затухания ультразвука входит длина рабочего участка образца. Для учета температурного расширения длины образца были проведены дополнительные исследования относительного температурного расширения. Опытные данные об относительном температурном расширении позволили уточнить значения скорости и коэффициента затухания ультразвука и построить температурную зависимость плотности исследованной стали. Опытные данные о скорости звука и плотности позволяют рассчитать модуль Юнга по известному соотношению $E = \rho c^2$, где E – модуль Юнга, ρ – плотность, c – скорость звука.

Погрешность измерения скорости ультразвука составляет 0,2 %, коэффициента затухания – 3 %, относительного температурного расширения образца – 0,1 %.

Было проведено экспериментальное исследование акустических (скорость и коэффициент затухания ультразвука) и относительного температурного расширения стали Р6М5 в диапазоне от комнатной температуры до 1100 °С. Как следует из [1], в этой стали при температурах 815–880 °С наблюдается $\alpha \rightarrow \gamma$ фазовый переход при нагревании образца. На рис. 1 представлены результаты экспериментального исследования акустических свойств и относительного температурного расширения исследованной стали.

Из рис. 1 видно, что результаты для исходного и отожженного образцов заметно отличаются по своим значениям. По-видимому, при температурах порядка 700–800 ^{0}С в исследованном материале происходит отжиг, при этом температура отжига практически совпа-

дает с температурой магнитного фазового перехода в железе (769 °С). Подобное поведение исследованных в работе свойств сталей было отмечено и в других работах авторов [7]. В отожженных образцах отмечаются незначительные аномалии в поведении свойств в области α–γ фазового перехода.

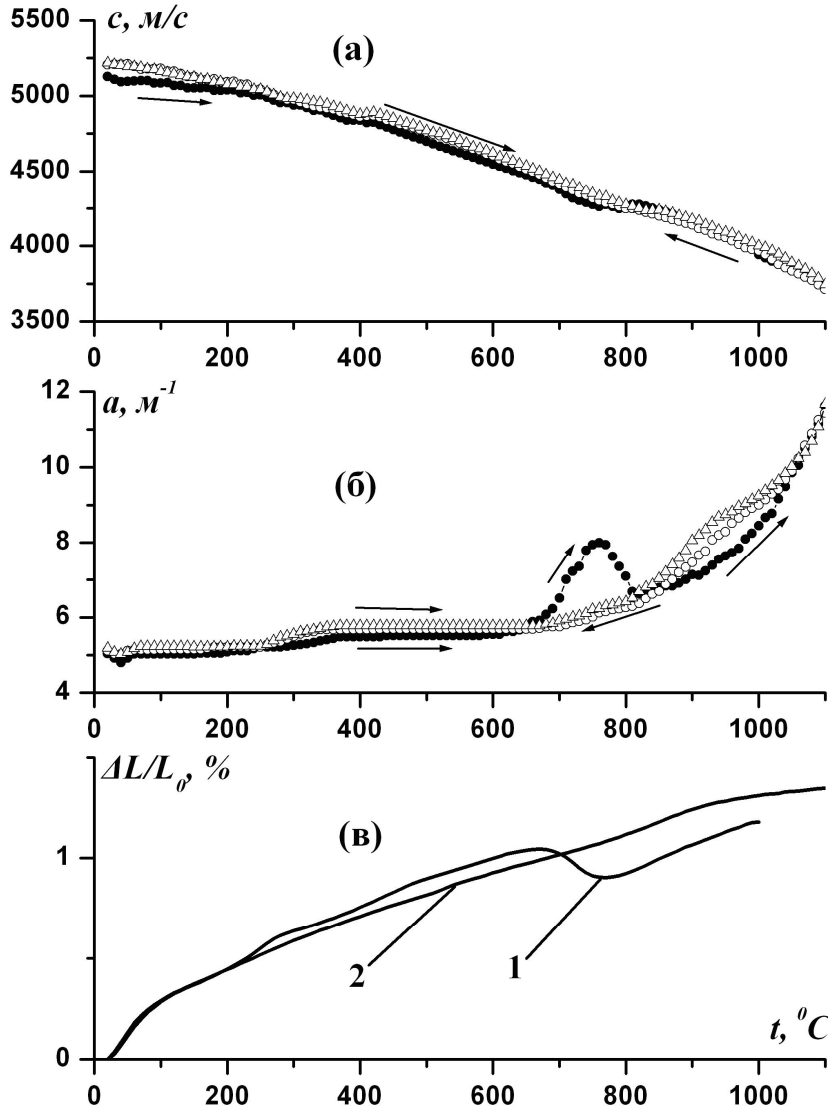


Рисунок 1 – Результаты экспериментального исследования скорости (*а*), коэффициента затухания (*б*) ультразвука и относительного температурного расширения (*в*: 1 – исходный, 2 – отожженный образец) стали Р6М5

Полученные экспериментальные и рассчитанные на их основе данные о свойствах стали Р6М5 обрабатывались методом наименьших квадратов для получения их температурных зависимостей в виде $Y = A + Bt + Ct^2 + \ldots$, где Y – свойство, t – температура в °С. Коэффициенты уравнений представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Значения коэффициентов аппроксимирующего уравнения для стали Р6М5

Свойство	A	B	C	D
Скорость звука c, м/с	5244.8	–0.71	$-5.6\cdot10^{-4}$	–
Коэффициент затухания ультразвука a, $м^{-1}$	4.676	0.007	$1.8\cdot10^{-5}$	$1.6\cdot10^{-8}$
Относительное температурное расширение $\Delta L/L_0$, %	$5.5\cdot10^{-2}$	$2.2\cdot10^{-3}$	$-1.5\cdot10^{-6}$	$-6.0\cdot10^{-10}$
Плотность ρ, $кг/м^3$	8570.0	–0,002	$-4.0\cdot10^{-7}$	–
Модуль Юнга E, ГПа	229.7	–0,07	$-3.0\cdot10^{-5}$	–

Литература

1. Марочник сталей и сплавов. 2-е изд., доп. и испр./ Под общей ред. А.С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.

2. Gobran N.K., Youssef H. New Method for the Measurement of Ultrasonic Attenuation in Solids at High Temperatures / J. of the Acoustical Society of America. – 1966.– V. 39, № 6. – P. 1120–1124.

3. Способ определения скорости звука / М.А. Покрасин, В.В. Рощупкин, Н.А. Семашко, А.И Чернов // Авторское свидетельство № 1211611. Бюллетень изобретений. 1986. № 6.

4. Исследование акустических свойств циркония / И.И. Новиков, В.В. Рощупкин, М.М. Ляховицкий и др. // Перспективные материалы. – 2013. – № 11. – С. 75–79.

5. Колесников А.Е. Ультразвуковые измерения. – М.: Изд-во стандартов, 1970. – 238 с.

6. Акустический и акустико-эмиссионный методы исследования физико-механических свойств конструкционных сталей / И.И. Новиков, В.В. Рощупкин, М.А. Покрасин и др. // Приборы. – 2012. – № 3. – С. 51–57.

7. Акустические и акустико-эмиссионные свойства ферритно-мартенситных хромистых сталей / И.И. Новиков, В.В. Рощупкин, А.Г. Кольцов и др. // Физика и химия обработки материалов. – 2012. – № 2. – С. 87–91.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № № 12-08-00221а, 12-08-00732а, 13-08-90429 Укр_а) и ГФФИ Украины (грант № Ф 53/051-2013)

Руднева Л.Ю. Московский государственный
машиностроительный университет, Москва, Россия

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ ВЫСОКОТОЧНЫХ АГРЕГАТОВ

Рассматривается моделирование операционных технологических систем сборки высокоточных агрегатов в виде логических схем алгоритмов.

Сборочные производства высокоточных агрегатов [1–7] на современных приборостроительных предприятиях представляют собой сложные организационно-технические системы и могут быть представлены в виде больших технических систем (БТС). В свою очередь, БТС включают в себя различные операционные технологические системы (ОТС), решающие специальные задачи, например системы промывки, очистки, обезгаживания, заполнения воздушной смесью и специальной жидкостью сборочных единиц, приборов и др. С усложнением задач, выполняемых высокоточными агрегатами, значительно возросли требования к точности СТО и существенно расширился круг вопросов по комплексному проектированию и выбору ОТС из имеющихся конструкций и решений.

Потребность в отыскании оптимальных, наивыгоднейших решений в области технологии и организации производства есть в любой отрасли техники, но в сборке высокоточных изделий при часто сменяемой номенклатуре приборов, выпускаемых неболь-ными сериями с постоянным ужесточением требований к точности производства, она наиболее остра.

Сроки подготовки производства при их освоении сокращаются, а точность изготовления определяющих деталей (корпусы, поплавки, рамы, крышки, роторы и др.) возрастает.

В связи с сокращением сроков изготовления агрегатов возникает необходимость в более короткие сроки сравнивать, анализировать, проектировать и конструировать технологическое оборудование и средства контроля. Качество и эффективность работы высокоточных изделий во многом зависит от правильности принятых технологических решений на ранних этапах проектирования изделий.

Сокращение сроков подготовки производства при обеспечении требуемого уровня. Качества выпускаемой продукции можно обеспечить различными методами, в том числе за счет моделирования

технологии [5, 11]. До настоящего времени вопросом моделирования технологии при проектировании и конструировании ОТС, СТО и средств контроля параметров приборов при сборке агрегатов внимания не уделялось. Рассматривались вопросы выбора и создания логически схем алгоритмов и математических моделей контрольно-испытательной аппаратуры (КИА) и оборудования применительно к летательным аппаратам (ЛА) [9, 10].

Центральное место в логическом проектировании *191* занимает проблема развития теории синтеза оптимальных структур оборудования и СТО, имеющая три основных аспекта: алгоритмический, структурный и количественной оценки надежности.

Алгоритмический аспект включает задачи выявления и формализации алгоритмом функционирования систем. Структурный синтез заключается в кодировании состояний систем. Количественная оценка функциональной надежности при заданных параметрах включает анализ функциональных элементов.

Анализ конструктивно-технологических характеристик изделий показал, что современные ОТС в процессе функционирования в зависимости от заданного цикла работы обеспечивают механические, электрические, оптические, электромагнитные и другие параметры сборочных единиц, чувствительных элементов (ЧЭ), приборов и стабилизаторов.

ОТС сборки состоят, как правило, из различных подсистем и устройств. Сопряжение основных подсистем ОТС можно описать соответствующими алгоритмами.

Например, при токовом обезгаживании внутренних полостей должны быть сопряжены система обогрева, вакуумная система и система контроля времени.

Технологические процессы сборки, базирующиеся на типовых СТО включают два устройства: управляющее, т.е. собственно СТО, и управляемое – объекты (сборочные единицы, агрегаты), которые подвергаются воздействиям со стороны СТО.

От управляющего устройства поступают команды, которые реализуются управляемым устройством. В свою очередь от управляемого устройства поступает осведомительная информация, которая позволяет судить о состоянии управляемого устройства и режиме работы управляющего устройства. Управляющее устройство, например при применении АСУТП, перерабатывает всю поступающую к нему информацию от управляемого устройства, на осно-

вании этой переработки принимает решение о том, какое требуется вмешательство в режим работы управляющего устройства (режим работы с обратной связью).

Если необходимо организовать процесс управления технологическим процессом, т.е. процесс переработки информации, то следует построить такой алгоритм работы, который реализует такую же переработку информации, как и данный технологический процесс.

Для описания алгоритмов, перерабатывающих информацию, применен математический аппарат ЛСА (логическая система алгоритмов) - конечная строка, составленная из символов рабочих операций (элементарных действий) *Ai* (*i* = 1,2,... *n*), логических операций (условий) *Pj* (*j*= 1,2,... *k*) и некоторых символов – стрелок с индексами $\uparrow^1,\uparrow^2, \ldots,\uparrow^k, \downarrow_1,\downarrow_2, \ldots, \downarrow_k$, таких, что для каждой стрелки $\uparrow^i$ найдется только одна стрелка $\downarrow_i$.. $Aipi\uparrow^1$, $Ajpj\uparrow^1$, ..., A_{k-1} ...$\uparrow^1 A_n$, означает последовательность выполнения одного оператора к выполнению другого оператора. A_i может зависеть от нескольких логических условий p_1, $p_2...p_m$ и записывается в виде булевой функции $a = a(p_x,p_2...p_m)$. Порядок выполнения элементарного действия алгоритма *Ai*(*i* = 1,2...,*n*) является однозначной функцией от значений логических условий *Pj*(*j*=1,2...*m*). В свою очередь логические условия изменяют значения *P*| = {0,1} в зависимости от результатов выполнения операторов.

Значения логических условий в зависимости от значений результатов выполнения операторов действия *A*; задавались с помощью матриц. Элементами матриц являлось множество логических условий *P*|, значения которых изменялись во время цикла выполнения оператора *A*;. Кроме ЛСА, для записи алгоритмов функционирования БТС и ее составных частей ОТС использовались граф-схемы алгоритмов (ГСА).

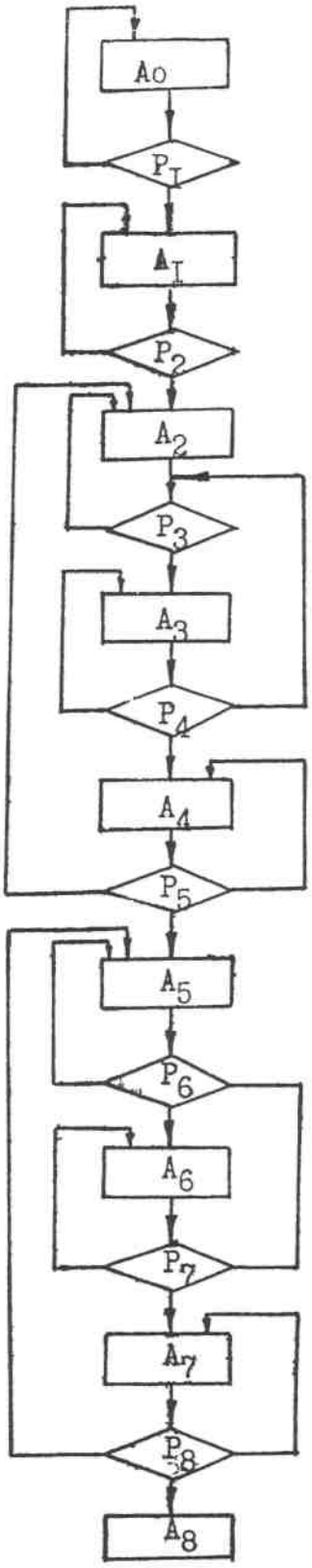
В общем виде граф-схему БТС сборки ЧЭ можно представить как конечные множества функциональных связей между операторами в процессе функционирования.

Граф-схема алгоритма БТС сборки ЧЭ представлена на рис. 1 и имеет вид:

$$A_0P_1\uparrow^1 A_1\downarrow_1 P_2\uparrow^2 A_2\downarrow_2 P_3\uparrow^3 A_3\downarrow_3 P_4\uparrow^4 A_4\downarrow_4 P_5\uparrow^5 A_5\downarrow_5 P_6\uparrow^6 A_6\downarrow_6 P_7\uparrow^7 A_7\downarrow_7 P_8\uparrow^8$$

С усложнением задач и технических требований к проектированию автоматизированных и механизированных систем сборки в ГСА следует ожидать только усложнения символики алгоритмов. Операторные и логические части ГСА по-прежнему будут отображать по-

следовательность выполнения действий и команд. Т.о., ГСА можно применять для СТО любых классов и групп приборов и агрегатов.



ОТС промывки

ОТС размагничивания

ОТС вакууммирования

ОТС обезгаживания

ОТС заливки жидкости

ОТС выставки осевых люфтов

ОТС динамической балансировки

ОТС статической балансировки

ОТС контроля параметров

Рисунок 1 – Граф-схема алгоритма БТС сборки

Любую неизолированную операционную систему сборки можно охарактеризовать входом, внутренней структурой, определяющей протекание физико-химических процессов, и выходом, связывающим систему с внешней средой.

Вход ОТС характеризует потоки веществ, энергии и информации, поступающие в систему из внешней среды и со стороны смежных систем через каналы связи. В управляемых системах ОТС через входные каналы поступают управляющие воздействия *191*.

Внутренние параметры системы подразделяются на собственно параметры а операционной системы и параметры процессов р протекающих в системе. Под собственными параметрами понимаются технические характеристики, величины, определяющие свойства материалов, а также изменения свойств исходных материалов во времени в связи с неоднородностью состава. Параметры процессов, протекающих в системе, характеризуют стационарное состояние системы (тепловое, вакуумное, напряженно-деформированное и т.д.) и стационарные процессы переноса массы, энергии и информации.

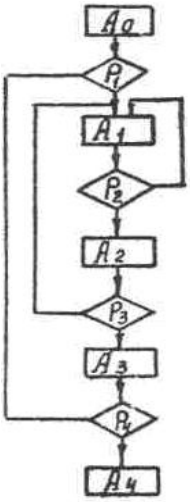
Выход системы характеризуется параметрами процессов, в которых заинтересованы потребители (точность, герметичность дисбаланс, потребляемая мощность, сопротивление изоляции проводников и т.д.).

Если ОТС относится к разряду БТС, то в число параметров α и β следует включить только обобщенные физические параметры, что сокращает число решаемых задач. Математическое описание операционных систем сборки позволяет наглядно представить взаимосвязь между параметрами и получить данные для прогнозирования параметров ОТС для новых приборов и агрегатов.

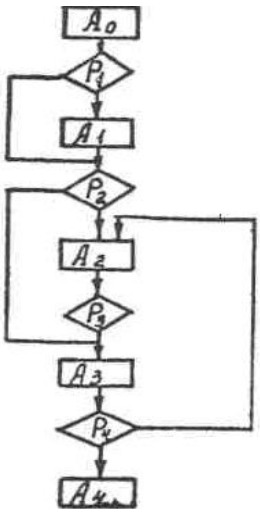
Были составлены модели ГСА операционных систем применительно к сборке ЧЭ по входу-выходу, т.е. внешние описания операционных систем. Внешнее описание операционных систем позволило рассматривать системы как устройства, преобразующие выходы физических параметров БТС.

В общем виде внешние описания системы БТС можно представить так: $f{:}X \rightarrow Г$, где X и $Г$ – множества возможных входов и выходов соответственно. Для систем сборки приборов и агрегатов с конечным числом состояний математическое описание будет иметь вид: $\sum = f : (X, Г, A, B)$.

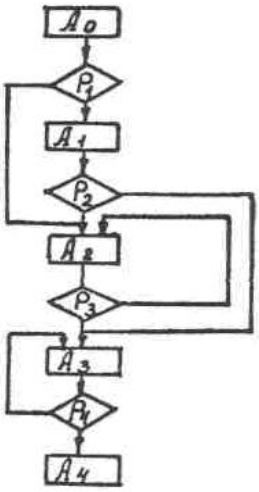
где A – множество собственных параметров ОТС; B – множество параметров процессов ОТС. Граф-схема ОТС сборки ЧЭ представлена на рис. 2, а схема входа-выхода ОТС сборки 40 – на рис. 3.



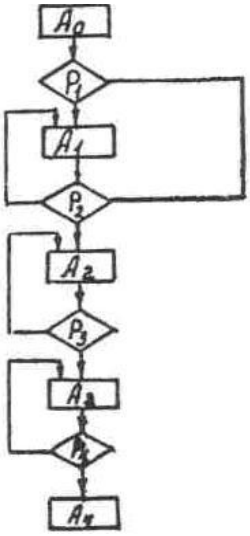
ОТС промывки



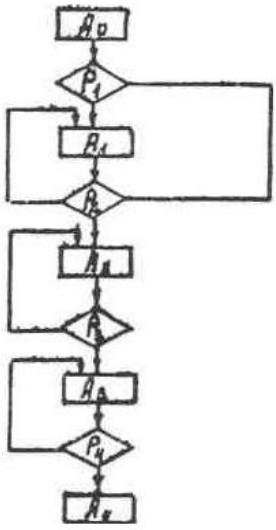
ОТС размагничивания



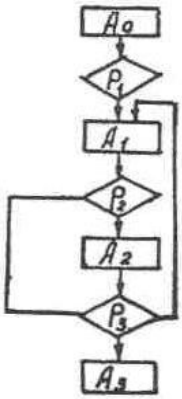
ОТС вакуумирования



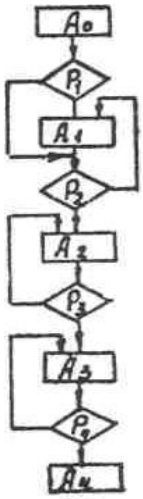
ОТС обезгаживания



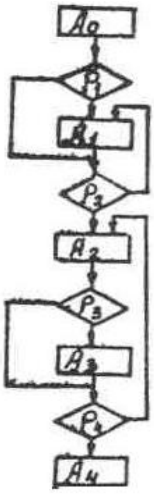
ОТС заливки жидкостью



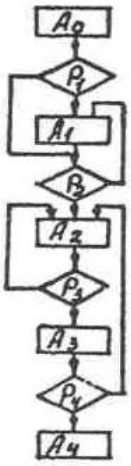
ОТС выставки осевых люфтов



Динамическая балансировка моторов



Статическая балансировка поплавков



Контроль параметров

Рисунок 2 – Граф-схема алгоритмов ОТС

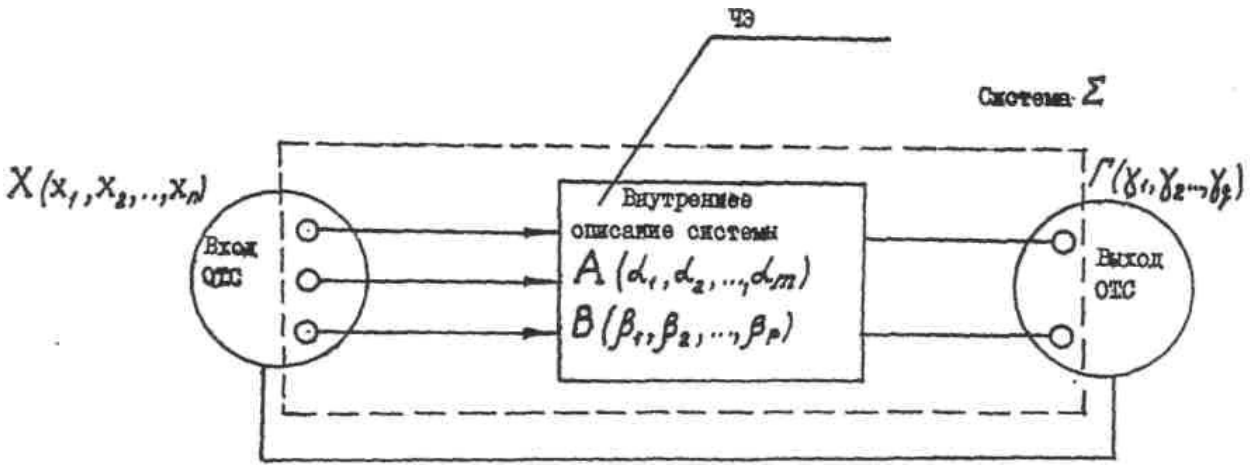


Рисунок 3 – Схема входа-выхода ОТС сборки ЧЭ

Созданные структурные схемы алгоритмов и математические модели ОТС позволяют описать исследуемый ЧЭ с любой степенью детализации, не нарушая общей структуры моделей.

В поставленной задаче можно провести декомпозицию ЧЭ до отдельных сборочных единиц и деталей, а технологических процессов – до отдельных операций, выполняемых на каждом виде оборудования с учетом проведения организационных мероприятий и других условий. При этом увеличивается лишь число элементов моделей, а структура остается неизменной.

Разработка ОТС сборки в общей БТС – сложная технико-экономическая задача, предполагающая реализацию чрезвычайно большого числа взаимосвязанных частных задач оптимизации различных по физической природе процессов. Для этого может быть использован оптимальный набор средств и режимов их работы либо выбраны оптимальные значения параметров ОТС в заданный интервал времени. Во втором случае можно воспользоваться принципом расчленения общих задач на частные: вначале решается задача оптимального выбора ОТС, затем проверяется реализуемость процессов в заданный интервал времени. При положительных результатах набор ОТС принимается за оптимальный, в противном случае оптимальный набор ОТС и последовательность выполнения операций определяется путем выбора наилучших оптимальных вариантов в первоначальном наборе. При таком подходе возникает возможность оптимизации выбора ОТС на основе просмотра небольшого числа возможных комбинаций.

Выводы

1. Создан единый алгоритм функционирования БТС сборки чувствительных элементов стабилизаторов, включающий операционные технологические системы.

2. Описание алгоритмов функционирования БТС и ОТС проведено на языке логических схем алгоритмов.

3. Применение математического аппарата – логических схем алгоритмов – позволяет организовать процесс управления технологическим процессом сборки, т.е. процесс переработки информации так, как это происходит в самом технологическом процессе.

4. Создание граф-схем и логических схем алгоритмов ОТС дает возможность установить взаимосвязь между параметрами блоков и модулей ОТС и выходными параметрами приборов и стабилизаторов и обеспечить сопряжение параметров, так как функционирование и контроль приборов и стабилизаторов также описывается системой ЛСА.

5. Определение взаимосвязи параметров на этапе разработки стабилизаторов – этапе НИР или предпроектной стадии – позволит сократить сроки проектирования новых ОТС и провести модернизацию существующих ОТС за счет начала проектирования ОТС на этапе разработки технического задания и в результате сократить срок подготовки сборочного производства в среднем на 2–3 года.

Литература

1. Венцлавский И.В., Сыроватченко П.В. Систематизация вариантов сборки прецизионных агрегатов летательных аппаратов // Технология приборостроения: Науч.-техн.сб. Сер.Х1У. – 1984. – Вып. 2.

2. Венцлавский И.В. Системный анализ качества технологии сборки командных и исполнительных агрегатов // Технология производства: Научн.-техн.сб. Сер.ХШ. – 1982. – Вып.6.

3. Технология производства прецизионных агрегатов и приборов / Под ред. И.В.Венцлавского // Технология производства: Науч.-техн.сб. – 1983. – Вып. 2.

4. Венцлавский И.В. Основные направления развития технологии сборки приборов // Технология производства: Науч.-техн.сб.-1983. – Юб. вып. – ДСП.

5. Венцлавский И.В. Методика организации и подготовки производства сборки агрегатов и приборов методом групповой взаимозаменяемости // Технология производства: Науч. -техн. сб. Сер.ХШ. – 1982. – Вып.2.

6. Технология производства и контроль приборов / Под ред. И.В.Венцлавского // Технология производства Науч.-техн.сб. Сер.ХШ. – 1982. – Вып.5. – ДСП.

7. Технология приборостроения / Под ред. Н.А. Гаврилова. – М.: Машиностроение, 1980.

8. Венцлавский И.В. Исследование конструкторско-технологических характеристик основных чувствительных элементов. // Технология приборостроения: Науч.-техн сб.Сер.Х1У.– 1981.– Вып.2.

9. Дементьев В.А. Комплексное проектирование систем управления и контроля ЛА. – М.: Машиностроение, 1980.

10. Дитрих Я. Проектирование и конструирование, системный подход. – М.: Машиностроение, 1981.

11. Венцлавский И.В., Щербаков Ю.М. Вопросы организация ускорения научно-технического прогресса в подотрасли: программный подход. – Л.: ЦНИИ "Румб", 1985. – ДСП.

Рябченко С.В. Институт сверхтвердых материалов
им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ЭФФЕКТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ ШЛИФОВАНИЯ

Анализ состояния технологических операций шлифования деталей с износостойкими наплавками и изделий тяжелого машиностроения показал, что имеется возможность более эффективного использования абразивного инструмента. Важным звеном в вопросе повышения эффективности шлифования деталей является применение новых абразивных материалов и инструмента.

Увеличение производительности обработки за счет внедрения нового абразивного и алмазного инструмента для высокопроизводительного шлифования сопровождается большими финансовыми затратами. Это связано во-первых, с необходимостью проведения исследований процесса шлифования новым инструментом, а во-вторых, последующими затратами на закупку этого инструмента.

Нами было разработано несколько технологических процессов шлифования деталей для машиностроения и авиадвигателестроения,

с применением современных абразивных материалов. Например, подбор технических характеристик и внедрение специальных тарельчатых кругов для зубошлифовальных станков фирмы "MAAG".

После проведенных исследований и производственных испытаний нами рекомендовано использовать для зубошлифования на станках фирмы "MAAG" тарельчатые круги из рубин-корунда – А89 по FEPA, диаметрами 225, 280 и 340 мм, зернистостью 60 и 45 по FEPA (25 и 40 по ГОСТ) твердостью K по FEPA (СМ1–СМ2 по ГОСТ).

Другой пример касается разработки технологии высокопроизводительного круглого шлифования роликов из жаропрочных сталей высокопористыми абразивными кругами.

После проведенных испытаний нами было рекомендовано использовать на операции шлифования печных роликов из жаропрочных сталей высокопористые (структурой до 12) абразивные круги из белого электрокорунда А99В по FEPA, диаметрами 500 и 750 мм, зернистостью 60 и 45 по FEPA (25 и 40 по ГОСТ), твердостью СТ1–СМ2.

Испытания показали хорошую производительность обработки при шлифовании печных роликов. Шероховатость поверхности роликов соответствовала *Ra* 0,4, что превышала требуемую чертежу *Ra* 0,8. Использование высокопористого абразивного инструмента снижает потребность в кругах на 20 %.

Эффективным является использование высокопористых абразивных кругов конического профиля диаметром до 400мм на операциях зубошлифования для авиационного моторостроения.

Применение специального абразивного инструмента из карбида кремния зеленого позволило повысить эффективность шлифования износостойких твердых наплавок.

Рекомендовано использовать на операции шлифования износостойких твердых наплавок «ПЛ-АН111» и «Релит-мельхиор» на деталях типа «седло» и «тарель», абразивные круги формы Т1 300×50×127×R11 С49 60 N 6V диаметрами 300 мм, зернистостью 60 по FEPA (25 по ГОСТ) и твердостью N по FEPA (С2 по ГОСТ). Испытания показали, что шероховатость поверхности изделий соответствовала требуемой чертежу *Ra* 1,6.

Так же можно рекомендовать алмазные круги диаметром 300×40×127×R11, алмазами АС32–АС65, зернистостью 200/160–125/100 на металлических связках (М6-02, МО16, МО4-2 или МХ5). Для финишного шлифования можно рекомендовать алмазные круги на органических связках.

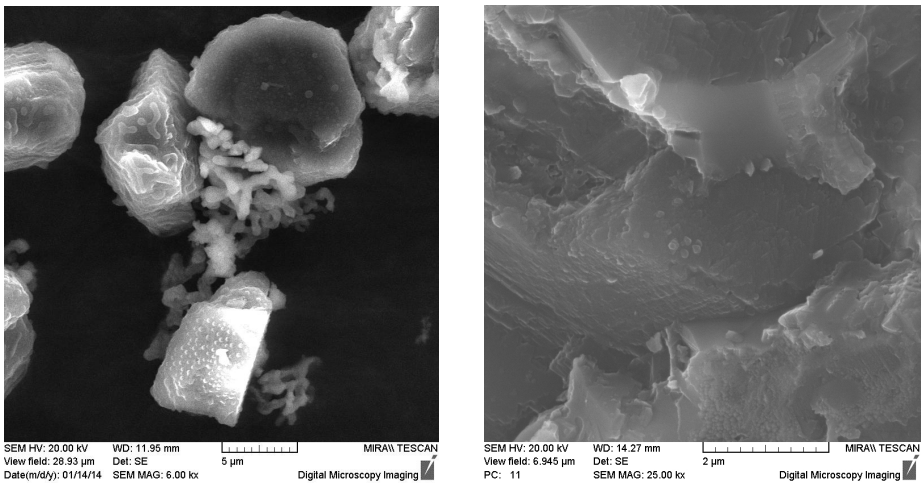
Сенють В.Т., Ржецкий В.А., Парницкий А.М. Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,
Хейфец М.Л. ГНПО «Центр» НАН Беларуси,
Маркова Л.М., Гамзелева Т.В. Институт порошковой металлургии, Минск, Беларусь

СВЕРХТВЕРДЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ АЛМАЗОВ ПОСЛЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ КРЕМНИЕМ

Традиционным методом получения сверхтвердых композитов на основе алмаза является спекание алмазных микропорошков в условиях высоких давлений и температур без использования связующих и каталитически активных металлов, активирующих процесс спекания алмазных зерен, либо с добавками металлов VIII-й группы, а также титана, содержание которых в шихте может составлять 6–50 мас.%. [1, 2]. Данные методы получения алмазных поликристаллов реализуются при сверхвысоких давлениях 7–12 ГПа, что существенно удорожает их производство. Снижение стоимости материала, улучшение его эксплуатационных свойств может быть достигнуто за счет исключения металлических примесей и снижения содержания в исходной шихте активаторов спекания, а также за счет использования кремния в качестве связующего компонента [3].

В настоящей работе представлены результаты спекания в условиях высоких статических давлений и температур алмазного микропорошка АСМ 14/10 после его газофазного модифицирования кремнием. В качестве исходного материала использовали микропорошок алмаза АСМ 14/10 производства ЗАИ ПО «Кристалл» (г. Гомель). Термобарическую обработку алмазного порошка выполняли в аппарате высокого давления (АВД) "наковальня с лункой" при давлениях 5,5 – 6,0 ГПа в диапазоне температур 1600 – 2000 ^{o}C. Исследование алмазного микропорошка после модифицирования, а также спеченных композитов осуществляли на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) высокого разрешения "Mira" фирмы "Tescan" (Чехия) с микрорентгеноспектральным анализатором «INCA Energy 350». Изучение элементного состава порошков и композитов осуществляли методом МРСА.

Модифицирующий отжиг (силицирование) алмазного порошка проводили в герметичном контейнере в парах кремнийсодержащих соединений в диапазоне температур 850–1000 ^{o}C и изотермической выдержке при данной температуре в течение нескольких часов. При этом содержание кремния в шихте после отжига находилось в зависимости от технологических режимов отжига от 8 до 15 мас. % от массы шихты. На рис. 1 показан внешний вид алмазного порошка после модифицирования.



а *б*

Рисунок 1 – Морфология образца алмаз АСМ 14/10 + Si: *а* – после модифицирования кремнием; *б* – после спекания под давлением 5,5 ГПа

Из анализа полученных изображений видно, что кремний адсорбируется на поверхности алмазных зерен в виде частиц округлой (каплевидной) формы размерами 100–200 нм, которые в процессе роста объединяются в сплошные области, частично либо полностью покрывающие алмаз, рис. 1, *а*. Кроме того, кремний в шихте образует отдельные, дендритные агломераты размерами до 5 мкм, которые состоят из частиц 200–800 нм, обладающих огранкой.

После операции модифицирования алмазный порошок спекали в условиях высоких давлений и температур. На рис. 1,б представлена морфология поверхности излома спеченного алмазного композита. В образце наряду с кристаллическими частицами алмаза наблюдается связка в виде прослоек, равномерно распределенных между алмазными зернами.

Полученный в оптимальных условиях спекания образец представляет собой монолитный материал, пор на поверхности и изломе

не наблюдается. Структура материала плотноупакованная, связка имеет хорошую адгезию с поверхностью алмазных частиц.

Выводы:

В результате модифицирующего отжига кремний адсорбируется на поверхности алмазных зерен в виде частиц каплевидной формы размерами 100–200 нм, которые объединяются в сплошные области, частично либо полностью покрывающие алмаз.

Спеченный композиционный материал характеризуются однородной структурой, при этом связка в виде прослоек равномерно распределена между алмазными зернами и имеет хорошую адгезию с поверхностями частиц алмаза.

Литература

1. Инструменты из сверхтвердых материалов / Под ред. Н.В. Новикова. – М.: Машиностроение, 2005. – 555 с.

2.. Патент РФ № 2065834. Способ получения поликристаллического алмазосодержащего материала / В.Б. Ракицкий, В.В. Ничипор, С.Н Малышев // Опубл. 27.08.1996.

3. Патент РФ № 1729086. Способ получения композиционного материала из алмаза и карбида кремния // А.А. Шульженко, Г.А. Воронин, А.С. Осипов // Опубл. 27.11.1995.

Соловых Е.К. Кировоградский национальный технический университет, Кировоград,
Борисов Ю.С. Институт электросварки им. Б. Е. Патона,
Ляшенко Б.А., Кобзарь С.Г. Институт проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины, Киев, Украина

ТРАНЗИТНЫЙ ТЕПЛОВОЙ ПОТОК ПРИ ПЛАЗМЕННОМ НАПЫЛЕНИИ ПОКРЫТИЙ

Поверхностная обработка высококонцентрированными источниками энергии находит все большее распространение в практике. Особенности этих технологических процессов заключаются в необходимости перемещения пятна нагрева и большие тепловые потоки вглубь детали. Во избежание коробления детали при плазменном напылении покрытия и для деталей небольших размеров применяют

принудительное охлаждение струей газа [1]. В качестве охлаждающих реагентов используют аргон, углекислый газ, воздух. Выбор охлаждающего агента зависит от характера изделия, состава напыляемого порошка и режима напыления. В процессе плазменного напыления изделия не должны нагреваться выше 180 °С, а стальные термообработанные, а также изделия из упрочненных сплавов алюминия – выше 100 °С [1].

Сложилось мнение, что интенсивность нагрева детали при плазменном напылении должна быть минимальна [1]. Амплитуду колебания температуры можно уменьшить увеличением скорости перемещения пятна нагрева. Интенсивность нагрева можно снизить, используя при напылении меньшее количество порошка с перерывами для охлаждения. Однако наиболее радикальным путем снизить тепловой поток вглубь изделия является принудительное охлаждение газовым потоком зоны, расположенной вблизи пятна напыления.

Цель работы: предложить модель транзитного теплового потока, обеспечивающую подачу минимально необходимой энергии для расплавления частиц и придания им необходимой скорости, а также отвод избыточного тепла после формирования покрытия. Этим обеспечивается прочность сцепления покрытия и не допускается перегрев и коробление изделия. Технологически транзитный тепловой поток реализуется таким образом, что синхронно с плазмотроном перемещается сопло охлаждающего газа, подающего хладагент в зону, следующую за пятном напыления. Зона охлаждения отделена от пятна напыления жаростойким экраном.

Модель транзитного тепла построена на уравнении баланса тепловых потоков:

$$P_c = Q_z + Q_x + Q_{z1} + Q_{\text{ox}} \qquad (1)$$

где P_c – минимально необходимая мощность плазмотрона, определена из условия оплавления напыляемых частиц [1]; Q_z – распространение теплоты в глубину металла; Q_x – транспорт теплоты в радиальном направлении; Q_{z1} – транспорт теплоты из массива металла к зоне принудительного конвективного охлаждения; Q_{ox} – количество теплоты, отведенное от поверхности покрытия струей хладагента.

Выражение Q_x описывает транспорт теплоты в теле детали от зоны плазменного пятна напыления покрытия в зону охлаждения. Вводим понятие «транзитной теплоты», ограничивающей перегрев детали. Увеличить Q_x можно, уменьшив расстояние между осями плазмотрона и охлаждающего сопла. Как входной технологический

параметр, влияющий на величину транзитной теплоты, является расход газового хладагента $G_{\text{ха}}$.

Баланс количества теплоты, подведенного и отведенного от детали, может быть записан в таком виде:

$$\Delta Q = Q_z - Q_{\text{ох}}$$

Для решения задачи распределения температур в зависимости от расхода охлаждающего газа $G_{\text{ха}}$ использованы методы компьютерного моделирования, основанные на конечноразностной аппроксимации уравнения движения и энергии [2].

Экспериментальная проверка модели транзитной теплоты проведена при оптимизации плазменного напыления по критериям прочности [3]. Только за счет коррекции технологических параметров повышена когезионная прочность покрытия $\sigma_{\text{к}}$ на 43 % и коэффициент использования материала (КИМ) на 19 %. Для этого понадобилось изменение технологических параметров: увеличить на 14,5 % мощность плазмотрона N, уменьшить на 8,7 % дистанцию напыления L и увеличить на 40 % расход охлаждающего газа $G_{\text{ха}}$. Повышение прочности покрытия связано с увеличением подводимой мощности в пятна напыления и увеличением транзитной теплоты за счет расхода охлаждающего газа.

Предложенная модель транзитной теплоты при поверхностном упрочнении высококонцентрированными источниками энергии на примере плазменного напыления покрытий ставит условие обеспечения достаточной теплоты для формирования прочности покрытия и не допускает при этом перегрева изделия. Одновременное повышение подводимой мощности и повышение количества транзитной теплоты существенно повышает прочность покрытия и коэффициент использования материала.

Литература

1. Інженерія поверхні / К.А. Ющенко, Ю.С. Борисов, В.Д Кузнецов., В.Н. Корж.– К.: Наук. думка, 2007. – 559 с.

2. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций MSC/NASTRAN for Windows. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 448 с.

3. Optimization of the procedure of plasma spraying of erosion-resistant coatings according to strength criteria / E.K. Solovykh, B.A. Lyashenko, Yu.V. Dmitriev, Yu.S. Borisov // Strength of Materials – 2008. – V. 40, № 6. – P. 699–710.

Степчин Я.А. Житомирський державний
технологічний університет, Житомир, Україна

ОЦІНКА ДИНАМІЧНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ ПРОЦЕСУ ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ ЗА МАТЕМАТИЧНОЮ МОДЕЛЛЮ

Одним з варіантів підвищення продуктивності чистової обробки плоских поверхонь корпусних, базових та інших деталей з чавунів і загартованих сталей є заміна шліфування чистовим торцевим фрезеруванням. Значний вплив на стійкість і продуктивність інструменту, якість обробленої поверхні мають відносні коливання інструменту та виробу.

Однією з основних причин виникнення автоколивань при різанні з втратою стійкості, погіршенням якості обробленої поверхні і зниженням ресурсу інструментів є обробка по сліду. При торцевому фрезеруванні оцінка цього впливу тільки ускладнюється, через змінну кількість ріжучих лез, що беруть участь в різанні, їх різної навантаженості.

Експериментальне дослідження коливальних процесів при торцевому фрезеруванні, враховуючи його високу вартість і значний діапазон варіювання досліджуваних параметрів, доцільно замінювати імітаційним математичним моделюванням. Дослідження відповідних моделей процесу дозволяє отримати узагальнюючі залежності основних характеристик процесу обробки, що спрощує кінцеве рішення поставленої проблеми.

З метою визначення умов виникнення автоколивань при чистовому торцевому фрезеруванні та основних напрямків підвищення його вибростійкості розроблена математична модель поперечних коливань торцевої фрези при різанні.

У розробленій моделі розглянута торцева фреза з ножами, встановленими з однаковим кутовим кроком. Домінуючою в поперечних коливаннях прийнята система інструменту (шпиндель і фреза) з приведенням маси системи до вільного кінця шпинделя. З метою спрощення осі координат прийняті незалежними, враховувалася тільки взаємозв'язок проекцій сили різання, крутильні коливання не розглядалися.

Поперечні коливання торцевої фрези описувалися системою лінійних диференціальних рівнянь другого порядку. Значення

складових сили різання, що діють на ріжучу кромку одного ножа, визначалися за формулами:

$$F_\varphi = Kb(s_z \sin\omega\, t + y(x,t-T-\tau) - y(x,t-\tau))^{y_p}$$
$$F_r = Kb(A_0(s_z \sin\omega\, t + y(x,t-T-\tau) - y(x,t-\tau))^{y_p} + B_0) \quad (1)$$

де s_z – подача на зуб фрези, t – поточний час, ω – кутова швидкість фрези, T – час вторинного запізнювання, τ – час відставання зміни сили різання від зміни товщини зрізаного шару.

Поточний кут фрезерування визначався для кожного різального ножа. Відповідно для торцевої фрези, що має z ножів, складові сили різання, що діють на фрезу, обчислювалися за формулами (2).

$$F_z^\Sigma = R_1(\varphi')\sin\varphi' + R_2(\varphi')\cos\varphi'$$
$$F_y^\Sigma = R_1(\varphi')\cos\varphi' - R_2(\varphi')\sin\varphi' \quad (2)$$

де $R_1(\varphi')$, $R_2(\varphi')$ – оператори сил F_φ и F_r.

Рішення системи диференціальних рівнянь, що описують поведінку коливальної системи, для вибраних варіантів коефіцієнтів і умов обробки виконано в програмному середовищі *MATCAD*. Для ітераційного інтегрування застосований метод Рунге-Кутта четвертого порядку. Отримані результати моделювання близькі до експериментальних і підтверджують адекватність моделі.

Отримано діаграми зміщення торцевої фрези в горизонтальній площині (по взаємно перпендикулярних осях z і y). Кут врізання першого ножа $\varphi_1 = 40°$, кут виходу 170°. Глибина різання $t = 2$ мм, подача на зуб фрези $s_z = 0{,}5$мм, частота обертання фрези $n = 600$ хв$^{-1}$. Крок інтегрування 0,0001 с. При дослідженні моделі розглянуто діапазони зміни дисипативного коефіцієнта від 10^3 до 5×10^4 Нс/м, коефіцієнта деформації від 5×10^6 до 10^8 Н/м.

***Висновки*:**

1. У широкому діапазоні зміни коефіцієнтів демпфування і жорсткості системи стабільний коливальний процес (автоколивання) виникає після врізанні першого ножа фрези і підтримується врізанням наступних з повільним зростанням амплітуди до рівня стабілізації, або присутній періодичний, швидко згасаючий сплеск вимушених коливань. Автоколивання мають вигляд биття з плавною зміною амплітуди і незначною зміною періоду коливань.

2. Основний вплив на виникнення автоколивань має коефіцієнт демпфування, жорсткість системи визначає їх амплітуду і частоту.

Струтинський В.Б., Юрчишин О.Я. НТУУ «Київський політехнічний інститут», Київ, Україна

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЮФТОВИХ ЗЄДНАНЬ В СИСТЕМІ ОПИРАННЯ ЗАГОТОВКИ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН

В сучасних ринкових умовах, для підвищення конкурентоспроможності верстатобудівної галузі промисловості, необхідно широко впроваджувати наукові розробки при проектуванні нового верстатного обладнання. Показники точності обробки на токарному верстаті визначаються в основному умовами закріплення заготовки та її статичними і динамічними деформаціями.

Дані умови залежать від процесів контактного деформування деталей механізмів і наявності люфтових з'єднань в системі опирання заготовки.

Заготовка, яка встановлена в цанговому патроні, періодично опирається в кінцевій частині шпинделя. Заготовка має значний динамічний дисбаланс, а її коливання залежать від умов опирання, що мають невизначений характер. Запропоновано описати умови опирання заготовки в термінах теорії нечітких (Fuzzy) множин. При цьому вводяться відповідні функції приналежності, які описують величину люфта та характеристики імпульсних (ударних) навантажень при періодичному опиранні заготовки.

В проміжку між імпульсним навантаженням заготовка здійснює вимушені коливання під дією стохастичних сил різання. Для розрахунку даних коливань розроблена спеціальна математична модель. Модель базується на розгляді власних коливань заготовки як системи з розподіленими параметрами. Поле радіальних переміщень перетинів заготовки визначається нормальними формами коливань, які є різними для різних умов опирання заготовки. Нормальні форми коливань заготовки розраховуються через функції Крилова.

Математична модель заготовки подана у вигляді графа зв'язку і включає нескінченну кількість коливальних ланок, коефіцієнти передачі яких пропорційні власним нормальним формам коливань, постійні часу обернено пропорційні власним частотам коливань по відповідним формам, а параметри затухання мають значення ξ = 0,0001–0,0002.

Для моделювання вібраційного поля заготовки випадкова збурюючи дія подана у вигляді канонічного розкладу випадкового процесу по системі гармонічних функцій. Вібраційне поле заготовки, одержано у вигляді полігармонічного процесу, амплітуди складових якого залежать від амплітудно-частотної характеристики заготовки, а фази гармонік залежать від фазо-частотних характеристик заготовки.

Відповідно амплітуди і початкові фази гармонік, що визначають вібраційне поле заготовки, визначені як нечіткі множини, які мають фіксовану та нечітко визначену (розмиту) складові. Для опису нечітко визначених складових встановлені відповідні функції приналежності.

Розроблена математична модель є більш точною, ніж відомі і дозволяє врахувати невизначеність параметрів люфтових з'єднань в системі опирання заготовки.

Студент М.М. Фізико-механічний Інститут
ім. Г.В. Карпенко НАН України, Львів,
Голякевич А.А., Упир В.М. ТОВ «ТМ.ВЕЛТЕК», Київ, Україна

АБРАЗИВНА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ НАПЛАВЛЕНИХ ШАРІВ ІЗ ПОРОШКОВИХ ДРОТІВ

Для наплавлення нових та відновлення зношених деталей автозчепних пристроїв залізничних вантажних вагонів використовується нанесення зносостійкого шару методом напівавтоматичного наплавлення порошковими дротами. Для вибору найбільш ефективного порошкового дроту були проведені випробовування абразивної зносостійкості наплавлених шарів різними порошковими дротами. Зносостійкі шари товщиною 4 мм наплавляли на пластини в два проходи із коефіцієнтом перекриття 30 %.

Абразивне зношування незакріпленим абразивом проводили згідно ГОСТ 23.208-79. рис. 1. Режим тертя: навантаження P = 2,4 Н, швидкість обертання диска – 25 м/хв, абразив – фракціонований (розмір частинок 200–1000 мкм) та просушений пісок. Абразивне зношування закріпленим абразивом проводили з використанням диску із електрокорунду СМ-2 на керамічній зв'язці 7К15 діаметром 150 мм та шириною 8 мм рис. 2.

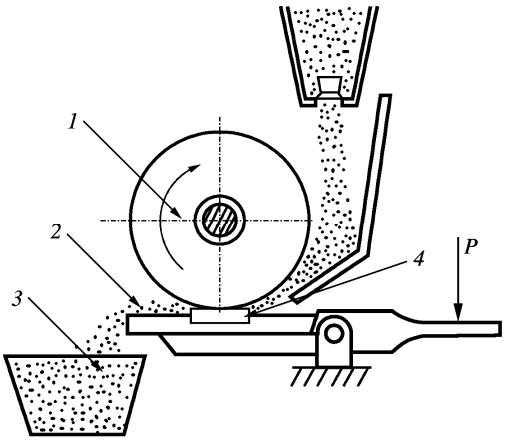


Рисунок 1 – Принципова схема установки для дослідження абразивного зношування: гумовий диск (*1*); пісок (*2*); ємність для збирання абразиву (3); зразок (4)

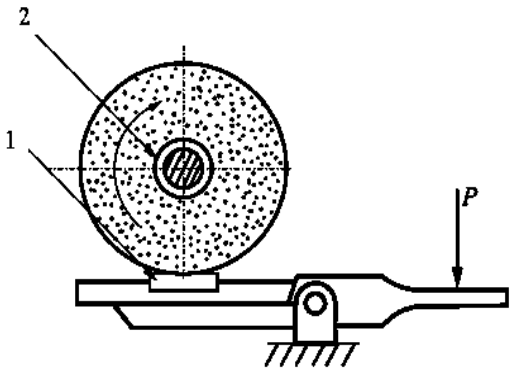


Рисунок Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует. – **Принципова схема установки для дослідження зношування зразків жорстко закріпленим абразивом:** зразок (*1*); абразивний круг (*2*)

За результатами експериментів найбільшою зносостійкістю як при абразивному зношуванні закріпленим так і не закріпленим абразивом володіє наплавлений метал, виконаний порошковим дротом ВЕЛТЕК-Н290 в середовищі CO_2. Порошковий дріт марки ПП-Нп-14ГСТ забезпечує значно меншу зносостійкість наплавленого металу. Метал, наплавлений порошковими дротами ПП-АН180МН (захист CO_2) та самозахисним порошковим дротом ВЕЛТЕК-Н290 по своїм властивостям наближається до найкращого зразка.

Тимофеев С.С., Дёмин А.Ю. Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, Украина

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Эффективным способом улучшения качества и эксплуатационных свойств поверхностей деталей цилиндропоршневой группы является использование стали 38Х2МЮА и легированных чугунов с последующим их упрочнением различными технологическими методами. Существующие технологии недостаточно и не всегда обеспечивают стабильную работу пар трения гильза цилиндра − поршневое кольцо. Поэтому, совершенствование технологии изготовле-

ния и ремонта деталей цилиндропоршневой группы, для обеспечения высокого качества их рабочих поверхностей и повышения эксплуатационных свойств, является актуальной научной задачей, которая имеет важное практическое значение.

Статистический анализ показывает, что большинство из пар трения выходит из строя в связи с их износом. Среди таких пар трения, доминирующую роль занимают детали цилиндропоршневой группы дизельных двигателей. Повышение их работоспособности является очень важной задачей. Отказы в работе двигателя, связанные с износом его деталей, требуют значительного расходования средств на замену запасных частей, а также увеличивают расходы на обслуживание и эксплуатацию.

Исследование процесса износа цилиндров двигателей внутреннего сгорания показало, что разрушение рабочей поверхности стенок цилиндров происходит вследствие увеличения содержания в них оксикарбонитридов, образующихся при фазовых превращениях металла под действием высокой температуры, пластических деформаций и диффузии. Для устранения таких эффектов необходимо, чтобы в результате термомеханохимических реакций, происходящих на поверхности детали, шла регенерация ее поверхностного слоя, без образования структур, которые по своим свойствам отличаются от исходных. Имеется ввиду, что вторичные структуры, сформировавшиеся в процессе трения, должны соответствовать исходным по химическому составу. Для достижения этой цели были проведены испытания деталей работающих в условиях трения и изнашивания. Детали подвергались обработке в известных насыщающих средах и новой с применением солей аммония, с последующим определением их эксплуатационных свойств. Детали испытывали на задиростойкость, теплостойкость, износостойкость и определяли время приработки.

Сравнение полученных показателей показывает, что поверхностный слой, образованный в насыщающей среде перегретого пара водного раствора солей аммония и имеющий слоистую структуру, позволяет повысить теплостойкость изделий и их срок службы в 1,6 раза, а также сократить время приработки. Данные исследования подтверждаются результатами произведенных замеров детали. Проведенные испытания выявили, что, несмотря на термомеханохимические реакции, происходящие на поверхности детали, полученный слой не разрушился.

Известно, что многие гильзы цилиндров изготавливают не только стальными, но и чугунными. Поэтому, с целью улучшения антифрикционных свойств поверхности чугунных гильз, были проведены испытания, в ходе которых, для чугунных гильз предлагается, в качестве насыщающей среды, использовать водный 20-% раствор тиосульфата. Поверхностный слой, полученный в процессе насыщения, в своем составе содержит такие химические элементы: кислород, железо, сера и углерод. Проведенные исследования, структуры полученного слоя, выявили, что образованный слой состоит из различных фаз. Эти фазы в поверхностном слое оказывают существенное влияние на износостойкость и антифрикционные свойства железоуглеродистых сплавов, а именно улучшается прирабатываемость, снижается значение коэффициента трения.

Проведенные исследования эксплуатационных свойств деталей, обработанных в новых насыщающих средах, показали, что применение солей аммония в обработке гильз из стали 38Х2МЮА и использование водного 20 % раствора тиосульфата для чугунных гильз позволяет повысить их антифрикционные свойства, а также увеличить срок службы деталей. Детали, обработанные в новой насыщающей среде, в 1,5 раза быстрее прирабатываются, чем детали со слоями, содержащими оксиды железа и прошедшими химико-термическую обработку в известных насыщающих средах. Антифрикционные свойства, полученного слоя, также улучшаются в 1,7−2 раза, на что указывает снижение значения коэффициента трения.

Тимофеева Л.А., Дёмин А.Ю. Украинская
государственная академия железнодорожного
транспорта, Харьков, Украина

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА ВОССТАНОВЛЕННЫХ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ

Ресурс работы и надежность мощных транспортных дизелей тесно связаны с работоспособностью коленчатых валов − наиболее ответственных и дорогостоящих деталей двигателей. Основными причинами отказов коленчатых валов являются износ и задир шеек. Задиры и повышенной износ шеек наблюдается на всех типах дизе-

лей независимо от твердости шеек. Задир шеек и расплавление антифрикционного слоя вкладышей, как правило, приводят к деформации коленчатых валов, реже — к поломке вала.

Восстановление полной работоспособности изношенных деталей должно вестись с приданием им начальных размеров, правильной геометрической формы и поверхностных свойств. Восстановление геометрических размеров для деталей класса валов осуществляется различными способами наплавки, металлизации, электрических покрытий и др. Наряду с этим существует большое количество технологий повышения эксплуатационной надежности восстановленной рабочей поверхности деталей, в том числе коленчатых валов, наиболее эффективными из которых являются закаливание токами высокой частоты (ТВЧ), лазерное упрочнение, нанесения на поверхность валов хромовых, детонационных, газотермических покрытий, ионно-плазменная обработка, электроискровое легирования, обработка струей высококонцентрированной плазмы, а также механическое упрочнение накатыванием роликами, наклепом дробью, чеканкой и т.д.

Проведенный анализ известных технологий восстановления показывает, что наиболее эффективным способом, для обеспечения требуемых эксплуатационных характеристик детали, является применение комбинированных методов и технологий, включающих восстановление геометрических размеров детали в сочетании со способами повышения износостойкости и задиростойкости ее поверхностного слоя. Использование комбинированных методов позволяет получить высокую износостойкость поверхности шеек валов, обеспечить достаточный уровень сопротивления усталости, снизить коэффициент трения и увеличить нагрузку задирообразования.

Таким способом может быть комплексная технология повышения эксплуатационных свойств детали, используемая как при изготовлении коленчатых валов, так и при их восстановлении. Она включает в себя термическую обработку и нанесение антифрикционного слоя в одном технологическом цикле. В части получения заданных эксплуатационных характеристик восстановленных валов важную роль играют микроструктура покрытия и ее свойства на поверхности и в зоне соединения с основным материалом.

Восстановления геометрических размеров детали достигают путем применения метода наплавки, а повышения износостойкости и задиростойкости, полученного наплавленного слоя, можно ДОСтичь путем применения традиционной термической обработки (ТО)

с нанесением антифрикционного слоя, путем погружения детали в раствор солей силикатов.

Для выявления влияния комплексной обработки на работоспособность пары шейка-вкладыш, были проведены сравнительные лабораторные исследования на образцах материалов, из которых изготовлены коренные и шатунные шейки коленчатого вала, а также их вкладыши.

Результаты проведенных исследований по применению комплексной технологии обработки, позволили заключить, что значение износа и значение коэффициента трения в модифицированном поверхностном слое уменьшилось, а нагрузка задирообразования, в сравнении с классической обработкой, увеличивается.

Полученные новые эксплуатационные свойства поверхности позволяют повысить работоспособность пары шейка-вкладыш и коленчатого вала в целом. Все это дает основание использовать комплексную технологию восстановления в ремонтном производстве коленчатых валов дизелей транспортного назначения.

Тимофеева Л.А., Ягодинский Е.С. Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, Украина

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

Повышение долговечности и надежности деталей машин и механизмов, работающих в условиях трения и изнашивания, обеспечивается: подбором пары трения с минимальным коэффициентом трения, увеличением твердости одной или обеих сопряженных деталей, созданием на поверхности специальных защитных слоев с требуемыми структурой и свойствами и др.

С этой точки зрения необходимо более детально рассматривать формирование поверхностного слоя триботехнического назначения.

Наиболее полную оценку свойств поверхностного слоя, применительно к конкретным условиям работы пары трения, дают эксплуатационные испытания. Получение характеристик эксплуатационных испытаний представляет собой длительный процесс. К не-

достаткам этих испытаний относится их дороговизна, трудность измерений и необходимость большого количества наблюдений.

Поэтому для выявления тенденций влияния состава и структуры поверхностного слоя на трение могут использоваться лабораторные испытания.

При лабораторных исследованиях можно получать сравнительные производственные характеристики материалов покрытия на износ в условиях, имитирующих службу деталей в эксплуатации, к которым относится давление, скорость, температура, вид и характер трения. Для проведения лабораторных испытаний могут быть использованы машины трения типа СМЦ и М-22М.

Для испытаний были выбраны контртела диаметром 40 мм и толщиной 12 мм, и образцы прямолинейной формы 16 мм с площадью рабочей поверхности 0,5 $см^2$. На машинах трения трудно фиксацию момента наступления задира по состоянию поверхности трения, поэтому в качестве характеристики противозадирных свойств поверхностных слоев была принята нагрузка, при которой появляются задиры и происходит резкое возрастание величины момента трения. Критерием износостойкости служила потеря веса испытуемых образцов. После каждого испытания определяли массовый износ контртела и образцов взвешиванием на аналитических весах с точностью до 10^{-4} г. Коэффициент трения подсчитывали по формуле, согласно, и фиксировали загрузку, при которой происходит изменение момента трения. Воспроизводимость экспериментов проверялась по критерию Кохрена. При разработке нового направления в области химико-термической обработки поверхности железоуглеродистых сплавов за базовый метод обработки был взят процесс парогазового насыщения в атмосфере перегретого водяного пара, поэтому сравнение предлагаемого направления обработки проводилось в основном паротермическим оксидированием железоуглеродистых сплавов, другими традиционными методами поверхностного упрочнения.

Проверялась прирабатываемость, задиростойкость, износостойкость, определялись значения коэффициента трения.

Результаты исследования применения химико-термической обработки с использованием насыщающей среды перегретого пара водного раствора солей, имеющего в своем составе такие элементы как сера, молибден, кислород, фосфор, позволили заключить следующее:

- в результате применения данной технологии обработки, уменьшилось значение коэффициента трения оксидного слоя железа;

• увеличилась задиростойкость слоя покрытия, а как результат повысились эксплуатационные свойства деталей и узлов машин и механизмов работающих в условиях трения.

Полученные данные, дают основание для использования предложенного метода упрочнения в процессе восстановления работоспособности деталей и узлов машин и механизмов работающих в условиях трения.

Титаренко В.И., Лантух В.Н. ООО НПП «РЕММАШ», Днепропетровск, Украина

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАПЛАВОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПУТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕГО УНИВЕРСАЛЬНОСТИ

Эффективность применения и степень загрузки наплавочного оборудования зависит от многих факторов. Одним из них, при этом довольно существенным, является его универсальность.

Универсальность наплавочного оборудования может иметь несколько аспектов. Это касается и применяемых способов защиты дуги (если речь идет об электродуговой наплавке) и типоразмеров наплавляемых деталей, для которых предназначено оборудование: «вал», «диск», «пластина»; и наплавляемых поверхностей (внутренние, наружные). Чем более универсальной является установка, тем она более востребована, загружена постоянной работой, а соответственно тем выше ее эффективность и срок окупаемости.

Разрабатывая и изготавливая станки и установки для электродуговой наплавки, ООО «НПП РЕММАШ» уделяет этому моменту большое внимание. Ниже коротко описаны некоторые установки производства ООО «НПП РЕММАШ» с характеристикой их универсальности и получаемой в результате эффективностью и окупаемостью.

Установка РМ УН-5 (рис. 1) предназначена для электродуговой наплавки деталей длинной до 4 м, диаметром до 1200 мм, массой до 5т. Ее универсальность заключается в возможности производить наплавку проволоками с различными вариантами защиты дуги (под флюсом, в среде защитных газов, самозащитной проволокой), лентами самозащитными и под флюсом; деталей типа «вал», «диск», «плита» и «пластина».

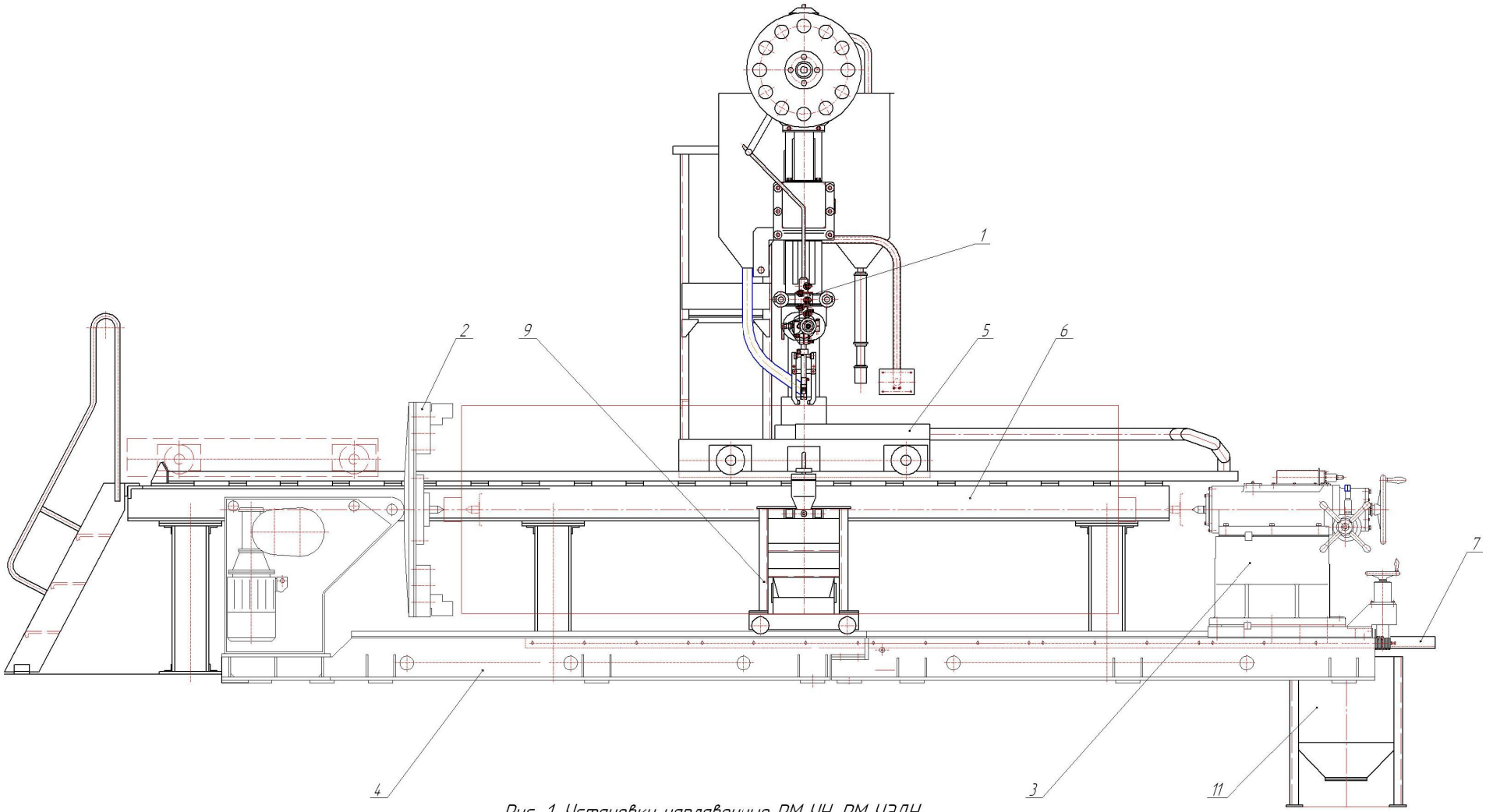


Рис. 1. Установки наплавочные РМ УН, РМ УЭДН

1-наплавочный автомат (сварочная головка), 2-универсальный вращатель с токарным патроном, 3-задняя стойка, 4-корпус установки, 5-тележка для наплавочного автомата, 6-рама тележки, 7-вибротранспортер, 8-сварочный выпрямитель, 9-устройство для сбора флюса и шлака, 10-электрическая часть, 11-система флюсовозврата

Конструкция установки позволяет наплавлять на ней широкую номенклатуру цилиндрических деталей, включающую ролики рольгангов, валы, оси и валки различных типоразмеров и назначения, крановые колеса, тормозные шкивы и многое другое. Наплавку можно производить цельнотянутыми и порошковыми проволоками, а также различного типа лентами под флюсом или самозащитными материалами. При комплектации установки столом для наплавки плоских деталей, на установке РМ УН-5 можно также наплавлять плоские детали весом до 2 т, длинной 2000 мм, шириной 1000 мм. Установка РМ УН-5 отличается от аналогов (УМН-4) наличием более объемного флюсобункера, флюса в котором хватает на наплавку без перерыва и дозагрузки на одну рабочую смену, а также наличием устройства удаления шлака, вибрационного конвейера для уборки с разделением флюса и шлака и системы подачи просеянного флюса в флюсобункер наплавочного автомата для повторного использования. Это позволяет освободить наплавщика от вспомогательных операций, сконцентрировав внимание на наплавке, в целом повысив производительность и качество наплавки. Установка нашла и находит применение на металлургических предприятиях. Две установки РМ УН-5 работают на ПАО «Арселор Миттал Кривой Рог», одна на ОАО «Стойленский ГОК». При 2-х сменной работе, 5-ти дневной рабочей неделе и минимальной производительности 12 т наплавленного металла в год, установка РМ УН-5 позволяет получить экономию 1,5–2 млн. грн. Установки РМ УН-15 и РМ УЭДН-5-6 по назначению и конструкции подобны РМ УН-5, отличаются только типом и габаритами комлпектующих, габаритами и весом наплавляемых деталей и самих установок. Так установка РМ УЭДН-5-6, изготовленная для ПАО «Днепроспецсталь», предназначена для наплавки деталей длиной до 6 м, диаметром до 1200 мм, весом до 5 т, а установка РМ УН-15, работающая на ОАО «Стойленский ГОК», применяется для наплавки деталей длиной до 6 м, диаметром до 2000 мм, весом до 15 т.

Установка РМ-15 (рис. 2) – это универсальная установка для электродуговой наплавки канатных блоков диаметром до 2500 мм и других цилиндрических и плоских деталей. Универсальность установки РМ-15 заключается: во-первых, в возможности наплавки проволоками с различными вариантами защиты дуги (под флюсом, в среде защитных газов, самозащитной проволокой); во-вторых, в возможности наплавки как цилиндрических, так и плоских деталей, при этом для перехода от одного типа деталей к другому необхо-

димо только повернуть колонну; в-третьих, для наплавки как наружных так и внутренних поверхностей цилиндрических деталей.

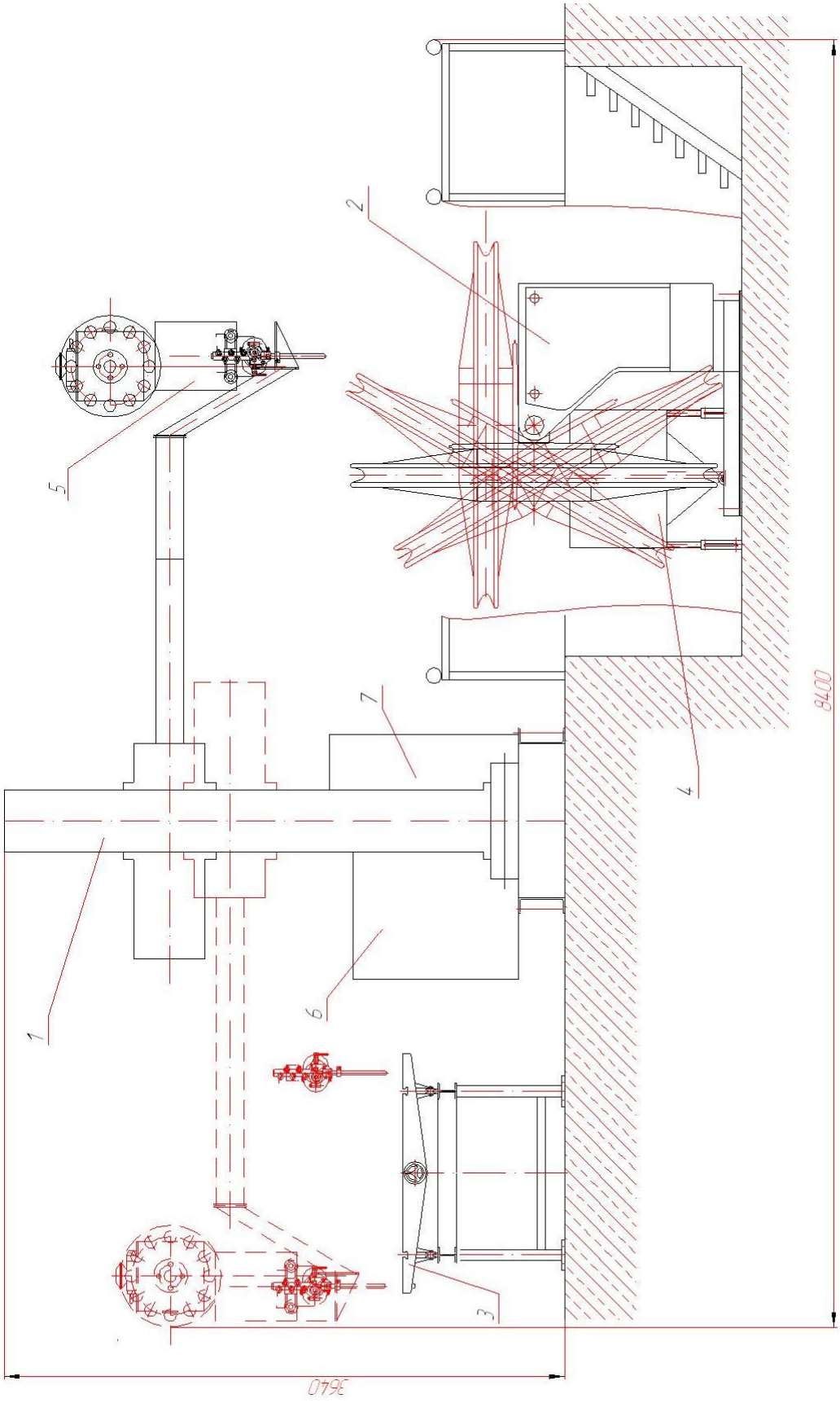


Рис.2. Установка наплавочная РМ-15

1-колонна поворотная стационарная, 2-вращатель сварочный универсальный, 3-стол для наплавки плоских деталей, 4-бункер для сбора флюса, 5-автомат сварочно-наплавочный А-1406, 6-сварочный выпрямитель КИУ-1201, 7-шкаф управления

Установка разрабатывалась под номенклатуру быстроизнашивающихся деталей горно-обогатительных комбинатов, в которую входят, прежде всего, различного типа канатные блоки шагающих экскаваторов. Кроме этого установка РМ-15 позволяет наплавлять, восстанавливая и упрочняя такие детали как: бронзовые втулки механизма шагания, очистители барабанов конвейеров и многое другое. С целью обеспечения максимальной универсальности (в т.ч. и для наплавки плоских деталей), входящий в комплектацию наплавочный автомат установлен на подвижной консоли поворотной колонны, позволяющей обслуживать два рабочих места – наплавку цилиндрических деталей, закрепленных в сварочном вращателе и плоских деталей, установленных на столе для наплавки плоских деталей. Такая комплектация позволяет максимально загрузить установку и обеспечить высокую эффективность ее работы. Первая такая установка успешно эксплуатируется на ОАО «ОГОК» в г. Орджоникидзе. При двухсменной работе, 5-ти дневной рабочей неделе и минимальной производительности 52 восстановленных блока в год, позволяет получить экономию 1,0–1,5 млн. грн.

Установка РМ-9 (рис. 3) – это специализированная установка для автоматической электродуговой наплавки гребней железнодорожных колесных пар. Наплавка гребней в 3,5 раза снижает темпы обточки восстанавливаемых ободьев железнодорожных колес и увеличивает срок службы колесных пар на 50–60 %. Универсальность установки РМ-9 состоит в возможности наплавки колесных пар всего парка железнодорожного транспорта как общего назначения, так и специального, как в разобранном состоянии (без букс), так и с буксами.

Установка РМ-9 разрабатывалась под нужды предприятий горно-металлургического комплекса имеющих на своей территории густую сеть железных дорог и владеющих большим количеством железнодорожного транспорта, куда наряду с тепловозами и товарными вагонами входит спецподвижной состав, состоящий из слитковозов, чугуновозов, щлаковозов. И если на «Укрзалізниці» проблема ремонта с восстановительной наплавкой гребней колесных пар решена в ремонтных депо с использованием установки КТ-68, то использовать ее на горно-металлургических предприятиях не позволяет узкая специализация этой установки – только для наплавки колес товарных вагонов без букс.

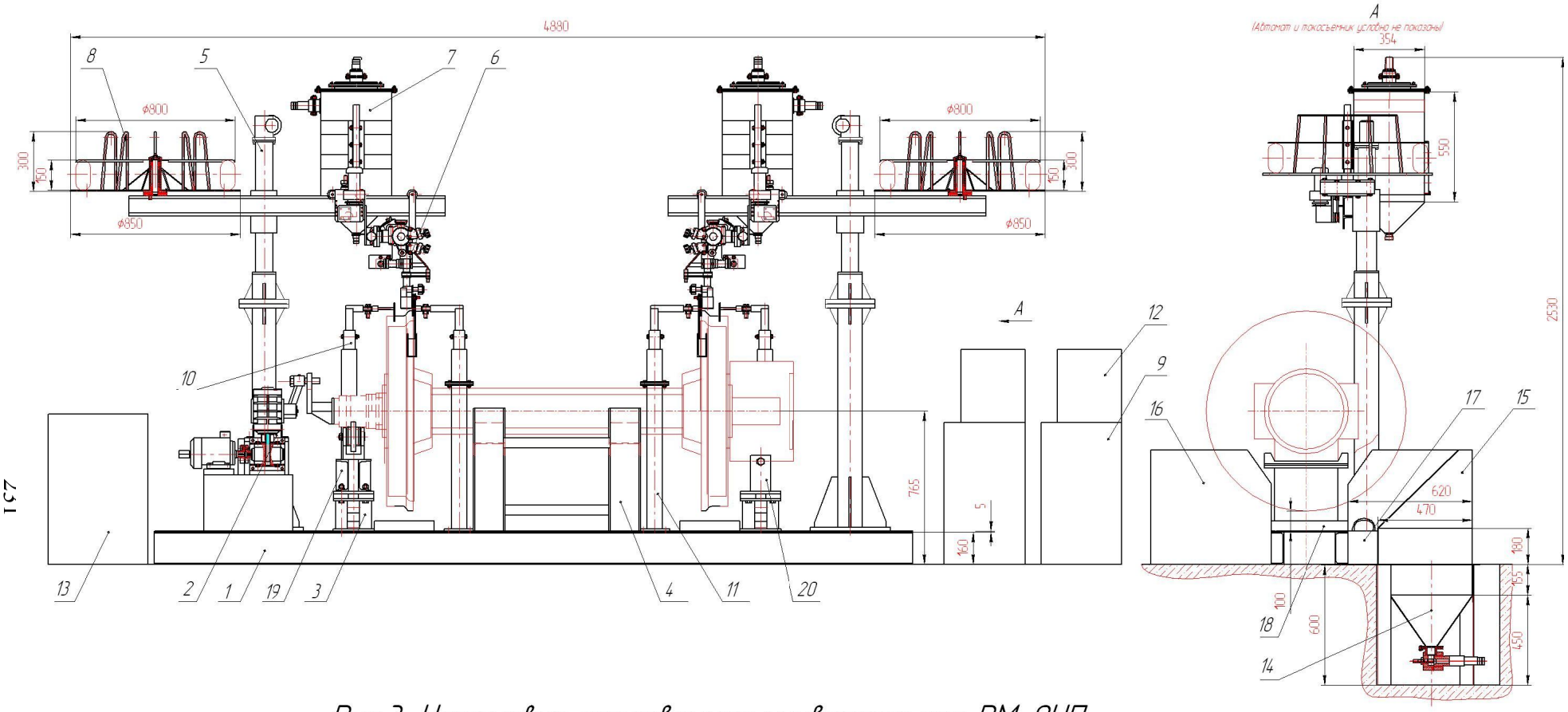


Рис.3. Установка наплавочная универсальная РМ-9НП

1-платформа, 2-вращатель колесной пары, 3-опоры под колесные пары, 4-осевой центратор, 5-поворотная колонна с траверсой, 6-наплавочный автомат, 7-бункер подачи флюса для наплавочного автомата, 8-кассета для проволоки, 9-универсальный сварочный выпрямитель КИУ-1201, 10-флюсоудерживающие устройства с наружной стороны колес, 11-флюсоудерживающие устройства с внутренней стороны колес, 12-шкаф управления КА002, 13-шкаф управления наплавочной частью установки, 14-флюсособирающее и подающее устройство, 15-большой короб для отработанного флюса, 16-большой короб для шлака, 17-малый короб для шлака, 18-промежуточный короб для флюса и шлака, 19-надставка для опор под колесные пары товарных вагонов, 20-надставки под колесные пары шлаковоза

Поэтому разработка и изготовление установки РМ-9 открыли перед металлургами возможность восстановления колесных пар всего парка вагонов и спецподвижного состава. При этом, обладая в отличие от КТ-68 универсальностью, позволяющей наплавлять железнодорожные колесные пары различного типа, как с буксами, так и без, установка РМ-9 имеет по сравнению с аналогом еще ряд преимуществ. К ним можно отнести: регулируемую скорость наплавки, наличие системы автоматического управления наплавкой, наличие системы сбора, переработки и подачи для повторного использования отработанного флюса. Первая установка РМ-9 работает в железнодорожном цехе ОАО «Никопольский завод ферросплавов». Даже при наплавке одной колесной пары в смену (потенциал три) и односменной работе позволяет восстанавливать в год более 150 колесных пар и получить годовой эффект более 3 млн. грн.

Установки РМ-165 и **ИЗРМ-5** (рис. 4) – это универсальные установки для автоматической электродуговой наплавки малогабаритных цилиндрических деталей. Универсальность установок РМ-165 и ИЗРМ-5 заключается в возможности наплавки на них проволокой с различными вариантами защиты (под флюсом, в среде защитных газов, самозащитной проволокой), а также наплавки наружных и внутренних поверхностей цилиндрических деталей. Промышленные предприятия эксплуатируют большое количество оборудования, в котором работают быстроизнашивающиеся малогабаритные детали. В гидравлическом оборудовании – это плунжера, в агломерационном и прокатном – это различного типа и назначения ролики, в волочильном – барабаны и т.д. При этом в основном это детали цилиндрической формы диаметром до 500 мм, длиной до 1000мм и весом до 100 кг. Использовать для их наплавки универсальные установки типа РМ УН-5 для деталей длиной до 4000 мм весом до 5 т нецелесообразно и затруднительно, так как требует применения наплавочных проволок диаметром от 2,0–3,0 мм. Поэтому были разработаны два типа наплавочных станков для наплавки таких малогабаритных деталей. Установка РМ-165 предназначена для наплавки цилиндрических деталей длиной до 500мм и диаметром до 400 мм весом до 60 кг. Универсальная установка ИЗРМ-5 предназначена для наплавки цилиндрических деталей диаметром до 500 мм длиной до 1000 мм, весом до 120 кг. Две установки РМ-165 успешно эксплуатируются для наплавки деталей металлургического оборудования на ПАО «Днепровский метком-

бинат» г. Днепродзержинск, а установка ИЗРМ-5 применяется на ООО «Данко-Изол» г. Докучаевск для восстановления наплавкой колес центрифуги розбрызга базальта.

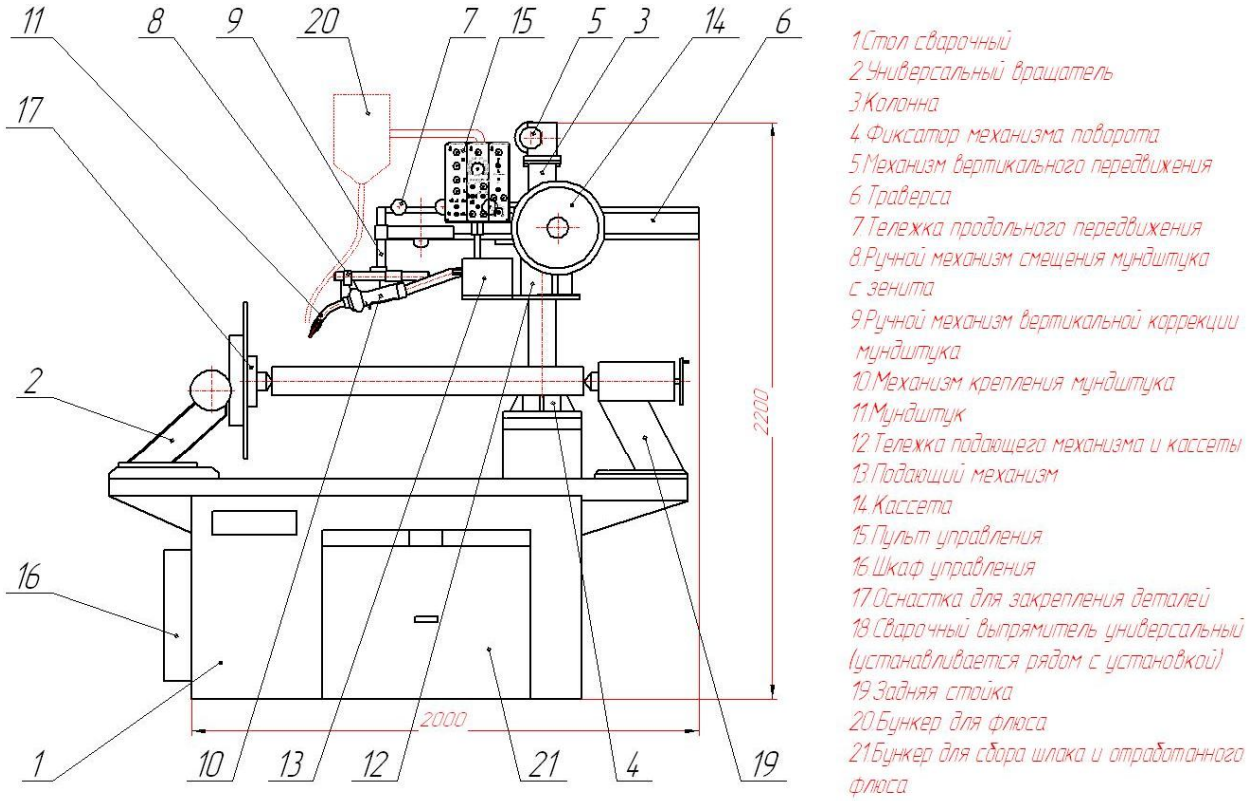


Рис.4. Установка сварочно-наплавочная ИЗРМ-5

Использование этих установок только для восстановительной наплавки (упрочнение еще более эффективно) при работе установок в две смены позволит восстанавливать в год более 100 т малогабаритных деталей. Годовой эффект от работы одной установки, полученный на экономии от сокращения затрат на приобретение новых деталей, составит 0,8–1,0 млн. грн.

Установка РМ-10 (рис. 5) – это универсальная установка для электродуговой наплавки прокатного инструмента диаметром до 600мм, длиной до 2000 мм, весом 5 т. Универсальность установки РМ-10 состоит в возможности наплавки на ней проволокой с различными вариантами защиты дуги (под флюсом, в среде защитных газов и самозащитной проволокой), а при комплектации столом для плоских деталей возможность наплавлять как цилиндрические, так и плоские детали, при этом легко и быстро перенастраиваться с помо-

щью поворота колонны. На установке могут наплавляться прокатные валки и правильные ролики сортовых прокатных станов.

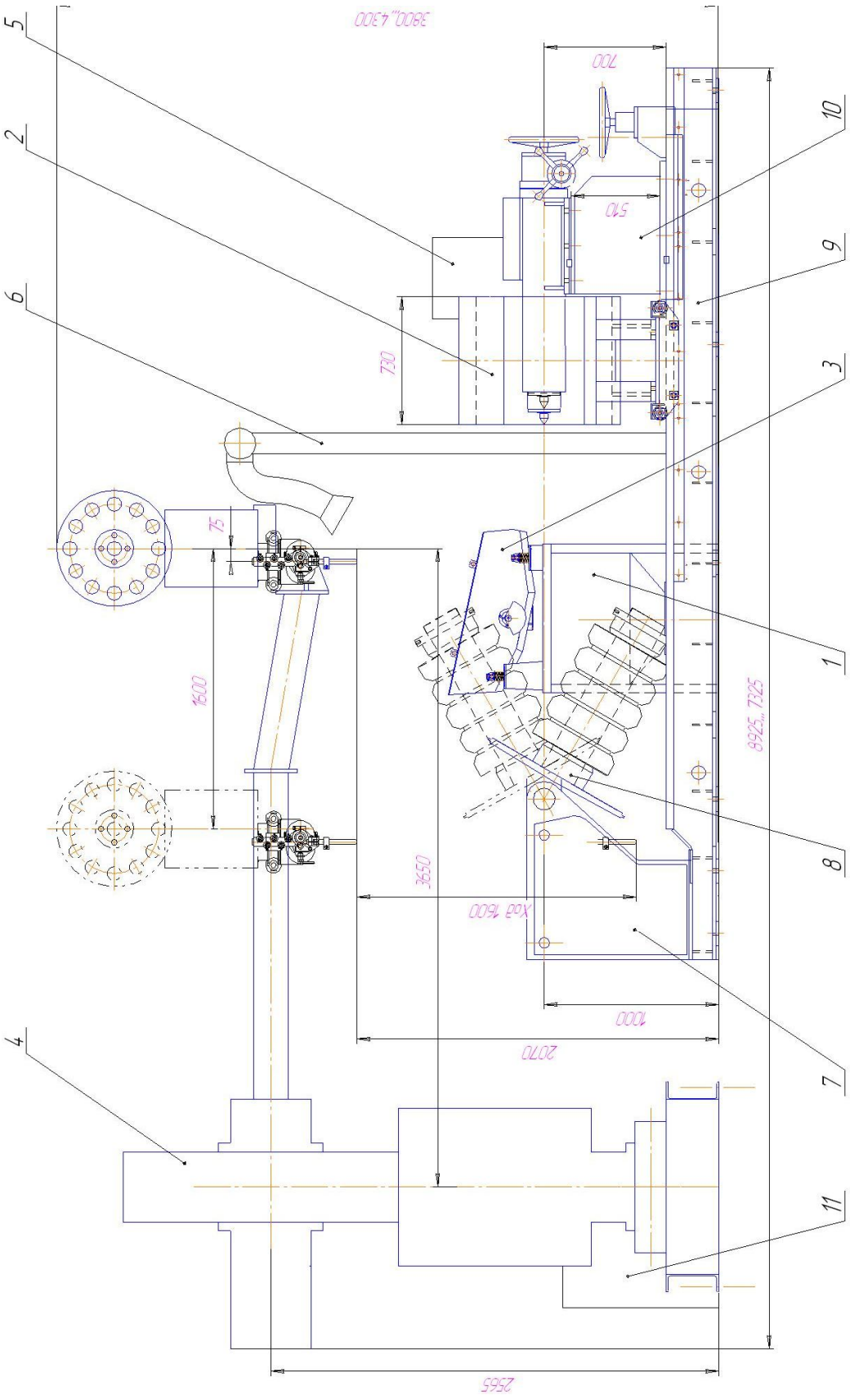


Рис.5. Установка наплавочная РМ-10

1-флюсобункер для сбора флюса и подачи во флюсобункер сварочного автомата, 2-индуктор для нагрева деталей, 3-вибросито для просева отработанного флюса, 4-стационарная колонна для сварочного автомата, 5-шкаф управления, 6-стойка с вентиляционным разводом, 7-вращатель сварочный, 8-оснастка, 9-корпус установки, 10-задняя бабка, 11-сварочный выпрямитель

Наплавляемые детали закрепляются либо в оснастке на планшайбе вращателя, либо в центрах вращателя и задней стойки. Наплавочный автомат установлен на передвигающейся вертикально и горизонтально консоли стационарной поворотной колонны. При наплавке калиброванных роликов и валков длиной до 1000 мм для удобства наплавки детали, закрепленные в оснастке на планшайбе вращателя, можно поворачивать вверх и вниз на угол до 30°. Установка оборудована электромагнитным индуктором токов промышленной частоты для предварительного и последующего после наплавки нагрева наплавляемых деталей, а также системой сбора, просева и подачи во флюсобункер наплавочного автомата отработанного и просеянного флюса для повторного использования. Установка изготовлена для ПАО «Днепровский металлургический комбинат им. Ф.Э. Дзержинского». При средней производительности 6т наплавленного металла в год при односменной работе установка РМ-10 позволяет получить годовую экономию более 1,5 млн. грн

Комплексы оборудования РМ-11 (рис. 6) и **РМ-12** (рис. 7) – разработаны на базе существующих вращателей (токарных станков) и включают в себя весь набор оборудования, в т.ч. вспомогательного, позволяющего проводить электродуговую наплавку прокатных валков. Универсальность этих комплексов заключается в том, что их можно использовать как с различными типами токарных станков, технические характеристики которых позволяют установить, закрепить и вращать валки требуемого типоразмера, так и с вращателем установки РМ-14. При необходимости можно модернизировать комплексы под тип вращателя, которым располагает заказчик.

При этом комплекс РМ-11 больше подходит для наплавки валков сортовых станов, а РМ-12 для наплавки валков как сортовых так и листовых станов. Так как комплексы разрабатывались и изготавливались под модернизацию и изготовление наплавочного оборудования на базе токарных станков, вращатели в комплектацию не включались. Однако ООО «НПП РЕММАШ» располагает разработанной, изготовленной и проверенной при эксплуатации конструкцией вращателя, входящего в установку РМ-14, позволяющего устанавливать и вращать с регулируемой наплавочной скоростью валки массой до 20 т (возможен вариант и 30-тонный). Комплекс РМ-11 успешно эксплуатируется на ПАО «Днепровский металлургический комбинат им. Ф.Э. Дзержинского», а РМ-12 на ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского». При средней производительно-

сти и загрузке, годовой экономический эффект от восстановления прокатных валков составит 2–3 млн. грн.

Из приведенных примеров видно, что благодаря универсальности разрабатываемых и изготавливаемых ООО «НПП РЕММАШ» наплавочных установок, удается достичь максимального уровня их загрузки, а в результате высокой эффективности и срока окупаемости не более 2 лет.

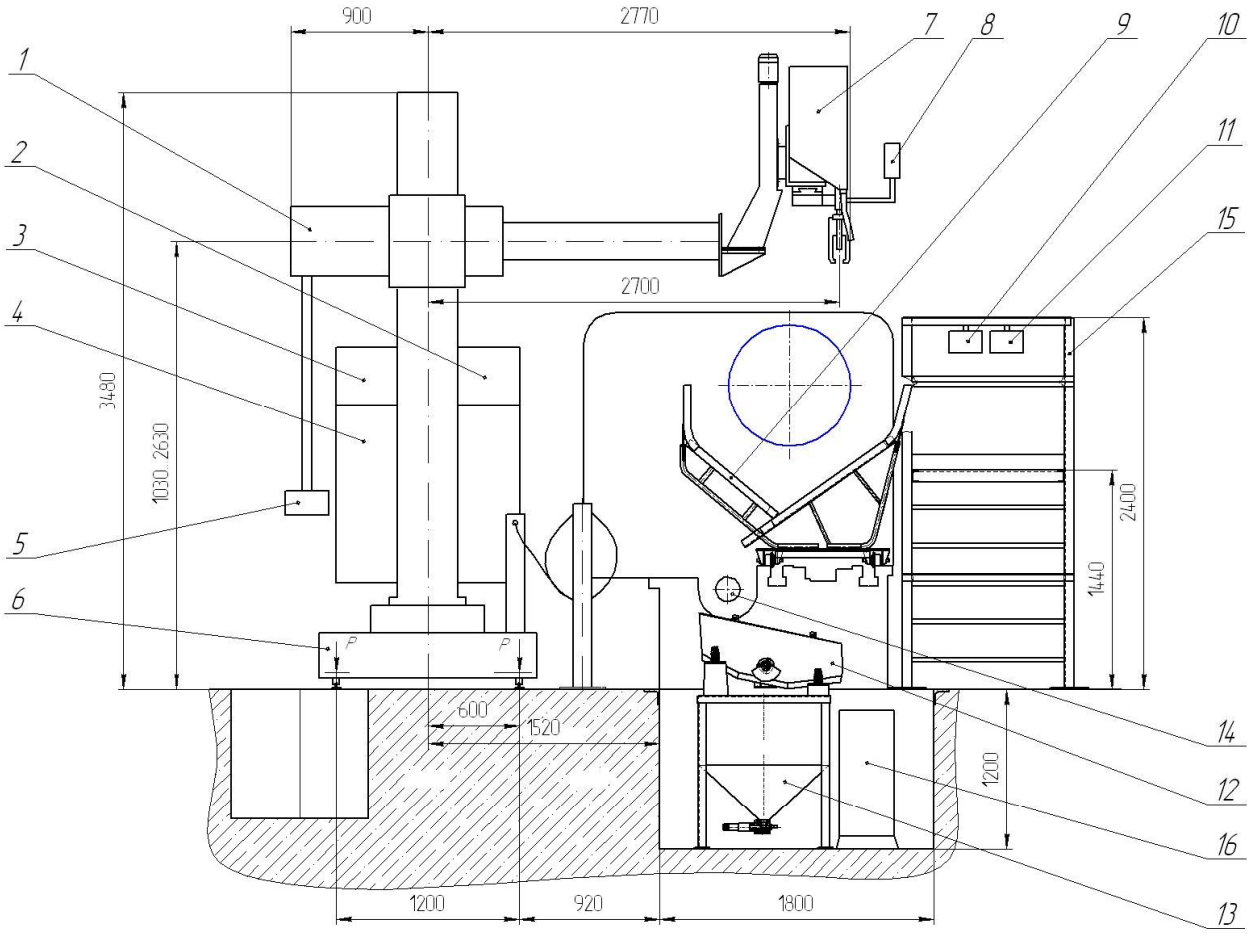


Рис.6. Наплавочный комплекс РМ-11

1-передвижная поворотная колонна, 2-шкаф управления, 3-шкаф управления, 4-сварочный выпрямитель КИУ-1201, 5-дополнительный пульт поворотной колонны, 6-шасси колонны, 7-наплавочный автомат, 8-основной пульт управления, 9-тележка для сбора шлака и флюса, 10-пульт управления виброситом, шнековым конвейером и наладочным вращением наплавляемого валка, 11-пульт управления подачей сжатого воздуха, 12-вибросито, 13-бункер-накопитель просеянного флюса, 14-шнековый конвейер, 15-рабочая площадка наплавщика, 16-емкость для сбора шлака

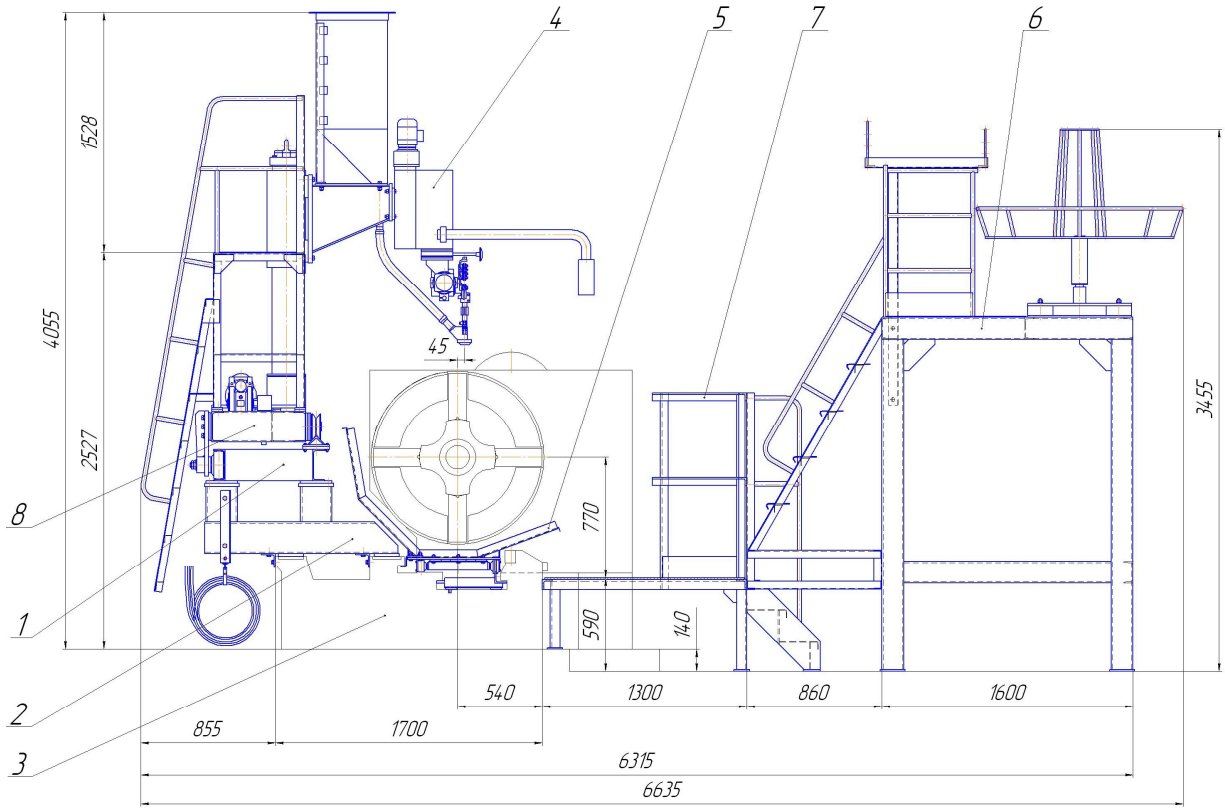


Рис. 7. Наплавочный комплекс РМ-12 на базе токарного станка DXW 1000/3×5000 РК-1

1 –рама для перемещения тележки; 2 –лапа; 3 –станок DXW 1000/3×5000 РК-1; 4 –автомат сварочный А-1416; 5 –устройство для сбора флюса и шлака; 6 –стойка для бухты проволоки; 7 –рабочая платформа для наплавщика; 8 –самоходная тележка для перемещения сварочного автомата

Тітов В. А., Тітов А.В. НТУУ «Київський політехнічний інститут», Київ, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ ВИРОБІВ З ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

Підвищення надійності та ресурсу виробів є актуальним науково-технічним завданням сучасного машинобудування.

Механічне зміцнення титанових сплавів використовується для підвищення ресурсу відповідальних деталей [1].

Найбільш поширеним процесом змінення поверхневого шару є ультразвукове зміцнення мікрокульками. Він застосовується як правило для дрібних деталей, що мають складну форму поверхні. Для зміцнення великогабаритних деталей вісесиметричної форми використовують алмазне вигладжування. Взаємодія вигладжуючого інструменту з поверхнею деталей з титанових сплавів пов’язано з

рядом труднощів внаслідок високої в’язкості цих сплавів та їх властивості холодного зварювання з інструментом [2].

На підставі комплексного дослідження процесу вигладжування встановлені значущі фактори контактної взаємодії інструменту і деталі: умови контактного тертя і питоме зусилля взаємодії інструмент-деталь, які залежать від наступних параметрів процесу обробки: зусилля, швидкість обробки, крок подачі інструменту, змащення, форма індентора та інше.

Авторами [3] розроблено способи та установка для обробки вигладжуванням з додатковим ультразвуковим навантаженням.

Теоретично та експериментально показано, що наявність додаткових ультразвукових коливань індентора покращує умови тертя та зменшує коефіцієнт тертя за рахунок використання гідродинамічного ефекту в процесі вигладжування. Проведені металографічні дослідження для виявлення зміцнення та структури поверхневого шару після обробки вигладжуванням з додатковим ультразвуковим навантаженням. Встановлено, що вигладжування з додатковим ультразвуковим навантаженням дозволяє отримати якісну поверхню з шорсткістю до *Ra* 0,8. Відбувається зміцнення поверхневого шару деталей та значне зменшення величини зерна у приповерхневому шарі обробленої поверхні деталей створюються залишкові напруження стиску.

Експериментально встановлено також, що отримані параметри якості поверхневого шару деталі забезпечують підвищення втомної міцності матеріалу деталі на 20–25 %.

Література

1. Богуслаев В.А., Яценко В.К., Притченко В.Ф. Технологическое обеспечение и прогнозирование несущей способности деталей ГТД. – К.: Манускрипт, 1993. - 333 с.

2. К вопросу разработки технологических смазок для деформирующего протягивания деталей из сплава ВТ 1-0 / О.А. Розенберг, Е.А. Пащенко, С.Е. Шейкин, И.Ю. Ростоцкий // Технологические системы. – 2007. – № 2(38). – С. 27–32.

3. Формирование поверхностного слоя деталей выглаживанием с ультразвуковым нагружением / В.А. Богуслаев, В.А. Титов, А.Я. Качан и др. – Запорожье: изд. АО "Мотор Сич", 2012. – 236 с.

Филатов А.Ю., Пащенко Е.А., Сидорко В.И.
Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля
НАН Украины, Киев, Украина

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРЕЦИЗИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ОПТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

В настоящее время на основе изучения механизма процесса полирования кремнеземсодержащих материалов, в частности, кварца и оптического стекла, а также так называемых труднообрабатываемых оптических материалов, в частности, монокристаллического сапфира и карбида кремния, разработаны высокоэффективные инструменты со связанным полировальным порошком и металлические, металлоорганические и полимерные полировальники со свободным абразивом на основе оксидов редкоземельных металлов, алмазных и кубонитовых микропорошков, а также новых MAX-материалов. При полировании оптических материалов эти инструменты обеспечивают возможность получения поверхности идеального качества. Однако, производительность этого процесса – недостаточная, а использование указанных инструментов с полировальными порошками в свободном или связанном состоянии на интенсивных режимах – невозможно из-за возможности его разрушения.

Таким образом, несмотря на принципиальную возможность получения высококачественной поверхности деталей из оптических материалов, разработка инструмента и технологии полирования, которые обеспечивают достаточную производительность обработки, является актуальной проблемой.

Механизм формообразования плоских прецизионных оптических поверхностей исследован достаточно полно, на его основе разработаны методы расчета конструкции рабочего слоя полировального инструмента и кинематических параметров процесса обработки, использование которых позволяет стабильно обеспечивать точность их геометрической формы в пределах 3–5 интерференционных колец. В то же время, для оптоэлектронных деталей другого назначения точность формы которых, в отличие от оптических деталей, не регламентируется, чрезвычайно важным является вопрос об условиях их контакта с поверхностью полировального инстру-

мента. Другими словами, для эффективного полирования поверхности необходимо совпадение ее формы с формой рабочей поверхности инструмента или способность последней изменяться в процессе полирования. Первое требование в реальных условиях не может быть выполнено, а второе требование может быть обеспечено за счет уменьшения модуля упругости рабочего слоя полировального инструмента или за счет повышения давления прижима инструмента к обрабатываемой детали.

Рассмотрено три типа деталей: деталь кино-фотооптики (точная оптика), очковая линза и деталь без требований по точности формы из керамического гранита. Первая из них характеризуется точностью формы $N<5$ интерференционных колец на диаметре 100 мм и обрабатывается полировальным инструментом, состоящим из элементов диаметром 10 мм, при давлении p_a = 0,05 МПа. Точность формы обрабатываемой поверхности очковой линзы характеризуется отклонением порядка 25 мкм на диаметре 60 мм, а процесс ее полирования осуществляется полировальным инструментом со сплошным рабочим слоем при таком же давлении прижима. Отклонение от плоскостности обрабатываемых поверхностей деталей третьего типа может быть оценено величиной порядка 100 мкм на диаметре 20 мм, толщина рабочего слоя инструмента – 10 мм, p_a = 0,05 МПа. Результаты расчета необходимого значения величины модуля упругости рабочего слоя полировального инструмента $E_{кр}$ для обработки указанных типов деталей составляют соответственно: 28,8; 18,7 ГПа и 7,2 МПа.

При рассмотрении закономерностей неравновесного процесса полирования показано, что при уменьшении расстояния между взаимодействующими поверхностями инструмента и детали можно достичь такого увеличения числа отрывающихся кластеров, что они будут отрываться послойно. Для этого необходимо это расстояние уменьшить до 0,3 мкм. Его дальнейшее уменьшение приведет к тому, что кластеры будут отрываться с более глубоких слоев и на обрабатываемой поверхности будут образовываться каскады дефектов.

Состояние рабочей поверхности инструментов и поверхностей обработанных образцов оценивалось при помощи микроскопа-анализатора «Кэмскан-4ДВ». По виду поверхностей можно судить о потере работоспособности инструментов в результате "засаливания", когда материал связующего экранирует алмазные зерна или зерна полировального порошка от обрабатываемой детали в про-

цессе обработки, или образования на рабочей поверхности налета фрагментов обрабатываемого материала.

Для анализа микропрофиля поверхностей образцов использовались параметры шероховатости Ra, Rz и Rmax, полученные при помощи профилографов-профилометров мод. 250 и «Talysurf-5-120» (фирмы «Taylor Hobson»), а также величины коэффициентов отражения света, определяемые на лазерной установке, специально приспособленной для этой цели. Сравнение величин коэффициентов отражения лазерного излучения от поверхностей деталей из оптических материалов с параметрами шероховатости показало, что для тонкошлифованых и полированных поверхностей коэффициент отражения увеличивается при уменьшении значений параметров шероховатости *Ra*, *Rz* и R_{max}. При шероховатости обработанной поверхности (*Ra* 0,25–0,01, *Rz* 0,45–0,15, R_{max} 1,3–0,2) величина коэффициента отражения света лежит в диапазоне от 8 до 15 %. При этом погрешность определения параметров шероховатости составляла 15–20 %, а коэффициента отражения света – не превышает 2 %. Зависимости коэффициента отражения света поверхностями деталей из оптических материалов от параметров шероховатости описываются убывающими гиперболическими функциями.

В результате экспериментальных исследований состояния поверхностей деталей из оптических материалов, а именно микрогеометрии и отражательной способности обработанных поверхностей, установлено, что для его количественной интегральной характеристики целесообразно использовать коэффициент отражения света, который зависит от шероховатости контролируемой поверхности детали.

Филоненко С.Ф., Нимченко Т.В. Национальный авиационный университет, Киев, Украина

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СКОРОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ ИЗНОСА ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗ КОМПОЗИТОВ

Одним из наиболее чувствительных методов, который находит применение при исследовании узлов трения из композиционных

материалов КМ, является метод акустической эмиссии (АЭ). Как показывают результаты опубликованных исследований, метод АЭ имеет высокую реакцию на изменение механизмов трения и износа и позволяет получать значительные объемы информации о протекающих процессах [1, 2]. Однако значительное количество анализируемых параметров АЭ (амплитудных и энергетических, их статистические характеристики) требует определения их информативности или чувствительности к изменению процессов, развивающих в поверхностных слоях КМ. Поэтому, значение приобретают теоретические исследования, направленные на анализ акустического излучения с получением ожидаемых закономерностей изменения его параметров при изменении условий трения и износа в зоне фрикционного контакта. Такие закономерности является основой в разработке методов контроля и диагностики узлов трения из КМ.

При моделировании результирующих сигналов АЭ принята методика расчетов, рассмотренная в работе [3]. Моделирование проводилось в относительных единицах. При этом рассматривалась стадия стабильного износа, стадия перехода к катастрофическому износу, стадия катастрофического износа и стадия непрерывного катастрофического износа. Выделение данных стадий обусловлено наблюдаемыми экспериментальными закономерностями видоизменения акустического излучения при трении и износе поверхностей из КМ.

Результат моделирования результирующего сигнала АЭ, согласно принятым условиям, формируемый на всех стадиях трения и износа, в виде графика изменения его энергии во времени в относительных единицах показан на рис. 1. Из рис. 1 видно, что при последовательном развитии процессов разрушения поверхностных слоев КМ и переходе с одной на другую стадию не наблюдается изменений в характере акустического излучения. В тоже время прирост среднего уровня амплитуды результирующего сигнала АЭ, его стандартного отклонения и дисперсии, а так же прирост среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ, его стандартного отклонения и дисперсии при переходе на каждую последующую стадию происходит по-разному. Это хорошо наблюдается на зависимостях скорости изменения анализируемых параметров, которые показаны на рис. 2 для стадии нормального износа, стадии, которая предшествует стадии катастрофического износа, стадии катастрофического износа и стадии стабильного катастрофического износа (стадии 1–4 на рис. 1).

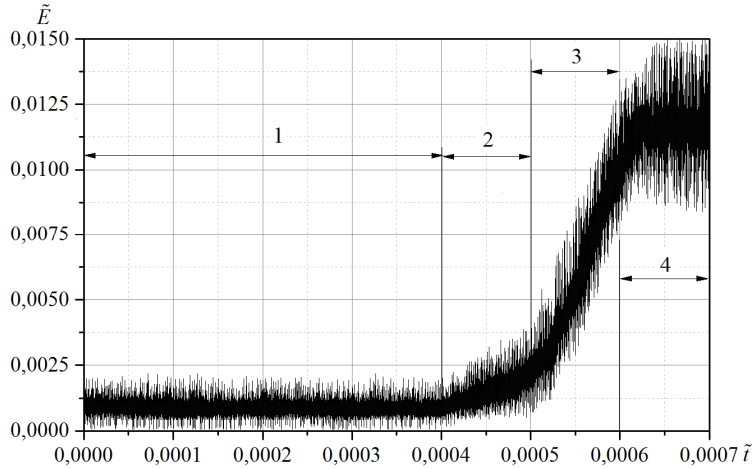
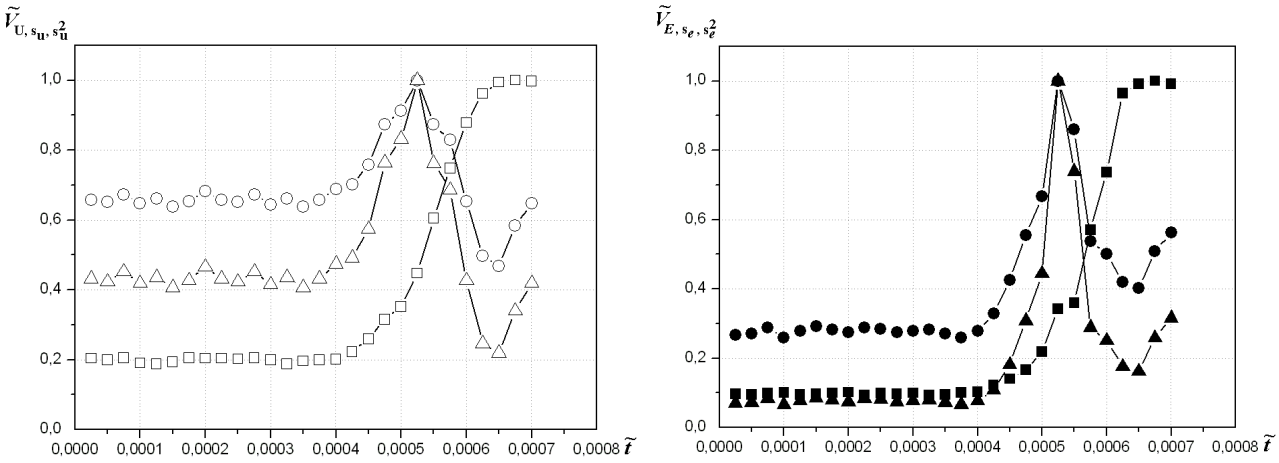


Рисунок 1 – График зависимости изменения энергии результирующего сигнала АЭ во времени в относительных единицах при трении поверхности из КМ: *1* – стадия нормального износа; *2* – стадия, которая предшествует катастрофическому разрушению поверхностей; *3* – стадия катастрофического разрушения поверхностей; *4* – стадия стабильного катастрофического разрушения

Из рис. 2 видно, что на стадии нормального износа (стадия 1 на рис. 1, при $\tilde{t}$ в диапазоне величин от 0 до 0,0004) скорости изменения анализируемых параметров практически остаются неизменными или имеют некоторое, достаточно малое приращение, как, например, для среднего уровня энергии и его дисперсии (рис. 2, *б*). Как показала обработка полученных данных, на стадии нормального износа при $\tilde{t}$ =0,0004 по отношению ко времени $\tilde{t}$ =0,000225 скорости изменения среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ и скорости изменения его дисперсии увеличились на 4% и 5%, соответственно. На стадии, которая предшествует стадии катастрофического износа (стадия 2 на рис. 1, при $\tilde{t}$ в диапазоне величин от 0,0004 до 0,0005) наблюдается непрерывное возрастание скорости изменения амплитудных и энергетических параметров результирующего сигнала АЭ (рис. 2, *а, б*). На стадии катастрофического износа (стадия 3 на рис. 1, при $\tilde{t}$ в диапазоне величин от 0,0005 до 0,0006) происходит непрерывное возрастание скорости изменения среднего уровня амплитуды и среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ (рис. 2, *а, б*). В тоже время, скорости изменения стандартного уровня амплитуды и его дисперсии, а так же скорости изменения стандартного отклонения среднего уровня энергии и его дисперсии вначале возрастают, а затем происходит их падение. В дальнейшем, на стадии непрерывного катастрофиче-

ского износа происходит постепенное возрастание скоростей изменения данных параметров (стадия 4 на рис. 1, при $\tilde{t}$ в диапазоне величин от 0,0006 до 0,0007) (рис. 2, *а, б*).



а *б*

Рисунок 2 – Графики скорости изменения амплитудных (*а*) и энергетических параметров (*б*) результирующего сигнала АЭ (см. рис. 1) на стадиях 1, 2, 3 и 4 во времени в нормированных единицах: □ – скорость изменения среднего уровня амплитуди $\tilde{V}_{\overline{U}}$; ○ – скорость изменения стандартного отклонения среднего уровня амплитуды $\tilde{V}_{S_{\overline{U}}}$; △ – скорость изменения дисперсии среднего уровня амплитуды $\tilde{V}_{S^2_{\overline{U}}}$; ■ – скорость изменения среднего уровня энергии $\tilde{V}_{\overline{E}}$; ● – скорость изменения стандартного отклонения среднего уровня энергии $\tilde{V}_{S_{\overline{E}}}$; ▲ – скорость изменения дисперсии среднего уровня энергии $\tilde{V}_{S^2_{\overline{E}}}$

Результаты проведенного моделирования в целом показали, что при переходе узла трения из КМ со стадии нормального износа к стадии, предшествующей стадии катастрофического разрушения, наблюдается возрастание скоростей изменения амплитудных и энергетических параметров результирующего сигнала АЭ. Наибольшей чувствительностью к такому переходу узла трения обладает дисперсия среднего уровня энергии результирующего сигнала АЭ – скорость изменения дисперсии среднего уровня энергии является максимальной. Результаты проведенных исследований так же показывают, что развитие процессов разрушения поверхностных слоев из КМ при трении с переходом к стадии катастрофического износа приводит к дальнейшему возрастанию амплитудных и энер-

гетических параметров акустического излучения. Однако, и в данном случае, скорость изменения дисперсии среднего уровня результирующего сигнала АЭ является наибольшей.

Литература

1. Закономірності зміни акустичного випромінювання при зростанні навантаження на пару тертя з композиційного матеріалу / С.Ф. Філоненко, О.П. Космач. – Вісник НАУ. – 2013. – № 2. – С. 79–89

2. Influence of friction surfaces properties of composite materials on acoustic emission / S.F. Filonenko, O.P. Kosmach // Proceedings of the NAU. – 2013. – № 1 – P. 70–77;

3. Моделювання сигналів акустичної емісії при терті та зношуванні поверхонь із композиційних матеріалів / С.Ф. Філоненко, О.П. Космач // Вісник ЧДТУ. – 2013. – №2 (63). – С. 22–31.

Харламов Ю.А., Али Аднан Мансур Аль-Джевахери
Восточноукраинский национальный университет
им. В. Даля, Луганск, Украина

ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ СВАРКИ И ОБРАБОТКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ

Сварка и обработка конструкционных материалов трением с перемешиванием (СТП) перспективны для внедрения во многие отрасли машиностроения. Одной из центральных проблем СТП является создание эффективных рабочих инструментов. Создание научных принципов конструирования инструмента для СТП только начинается. В русскоязычной литературе еще не установлены основные термины технологии и оснащения процессов СТП. Конструкция инструмента влияет на скорость образования тепла, продольную силу, крутящий момент, термомеханическое воздействие на инструмент, структуру и свойства формируемого соединения и эффективность технологического процесса. Течение пластифицированного материала в зоне формирования сварного шва зависит от геометрии инструмента, а также от его линейного и вращательного движения.

В настоящее время в мире выдано около трех тысяч патентов на технологию, оснащение и применение СТП. Значительная доля

этих патентов приходится на рабочий инструмент для СТП. Основными двумя элементами инструмента для СТП являются заплечик и пуансон. Многочисленные конструкции инструментов СТП отличаются геометрией этих элементов, их взаимным расположением и относительным движением.

Заплечики инструмента предназначены для генерирования тепла (в результате трения и деформации материала заготовки) на поверхности и в подповерхностных зонах заготовки. Заплечик инструмента вносит основной вклад в деформационный и фрикционный нагрев тонких листов, в то время как пуансон играет значительную роль в нагреве толстых заготовок. Кроме того, заплечик осуществляет ковочное действие, направленное вниз и необходимое для консолидации сварного шва.

Поскольку элементы инструмента (пуансон и заплечик) имеют различные функции, их целесообразно изготавливать из различных материалов.

Конструкции заплечиков. Определяется в основном формой рабочей поверхности (плоская, вогнутая, выпуклая, сложная). *Вогнутые заплечики*, которые часто относят к стандартному типу, в настоящее время являются наиболее распространенными. Инструментом с вогнутыми заплечиками получают качественные сварные швы, они также технологичны в изготовлении. Вогнутость заплечика достигается за счет небольшого угла между его краем и пуансоном в диапазоне от 6 до 10°. Во время погружения инструмента материал, вытесняемый пуансоном, перемещается в полость внутри заплечика и служит начальным запасом для ковочного действия заплечика. Движение продольной подачи инструмента обеспечивает поступление новых порций материала в полость заплечика. Правильное функционирование такой конструкции заплечика требует наклона инструмента от 2 до 4° к нормали к обрабатываемой детали в направления движения. Это необходимо для поддержания запаса материала и обеспечения возможности задней кромке заплечика создать ковочное усилие на сварной шов. Большинство получаемых сварных швов при СТП инструментом с вогнутым заплечиком являются линейными. Нелинейные сварные швы возможны только на многокоординатных машинах для СТП.

Для более интенсивного нагрева и контроля деформации поверхностных слоев обрабатываемых заготовок рабочая поверхность заплечика может снабжаться такими конструктивными элементами,

как спиральные нарезки, выступы или накатка, канавки, концентрические канавки и пр. Конструкция заплечика с выпуклой рабочей поверхностью обеспечивает повышенную гибкость в установлении контакта с заготовкой (степень взаимного контакта можно изменить без какой-либо потери качества сварки), создает возможность сварки нелинейных швов и пр. Профиль выпуклого заплечика может быть коническим или криволинейным.

Конструкции пуансонов инструмента для СТП отличаются большим разнообразием. Наиболее распространены цилиндрические и конические пуансоны, которые выполняются с плоской или закругленной вершиной, а также могут снабжаться резьбой или другими элементами (лысками, продольными и поперечными канавками) на цилиндрической (конической) части. Конструктивные особенности пуансонов позволяют изменить течение материала в зоне сварки, улучшить перемешивание и снизить технологические нагрузки, а тем самым потребную мощность сварочной машины. Часто для оценки эффективности конструкций инструмента используют отношение объема перемешиваемого материала к объему самого пуансона.

Инструменты с управляемым выдвижением пуансона позволяют осуществить сварку изделий переменной толщины, а также исключить выходное отверстие в кольцевых швах, но усложняют конструкцию машины СТП.

Сборный инструмент с двумя противоположно расположенными заплечиками и сквозным пуансоном не требует применения жесткой опоры для закрепления свариваемых заготовок.

Отдельную группу составляют **инструменты для сварки соединений внахлестку**. При использовании традиционных конструкций инструмента в этом случае сочетание интенсивного утонения пластин и сохранение оксидов на поверхности их сопряжения приводят к низкой прочности формируемых швов. Поэтому здесь предъявляются повышенные требования к организации течения деформируемого материала свариваемых заготовок. В простейшем случае используют частично нарезанный пуансон. Резьба была нарезана на верхней части штифта, но отсутствовала на его нижней части. Отсутствие резьбы на нижней части пуансона изменяет поток материала в нижнем листе. Удаление резьбы устраняет горизонтальное течение материала, вызванное резьбой, и которое является основной причиной образования дефектов сварного шва.

Разрабатываются конструкции инструменты для СТП со **сложным движением составляющих элементов**. Скошенные перемешивающие инструменты увеличивают отношение перемешиваемого пуансоном объема материала к объему пуансона путем смещения оси пуансона от оси шпинделя машины, осуществляя, таким образом, орбитальное движение. Фокусное расстояние инструмента может быть изменено, чтобы изменить амплитуду движения инструмента, в пределах от вращательного к орбитальному движению. Благодаря орбитальному движению инструмента, только часть пуансона находится в постоянном контакте с заготовкой. Таким образом, скошенный пуансон использует преимущество частичного контакта пуансона удалением внутренней части инструмента и улучшает течение материала во время перемешивания трением. В результате ядро формируемого этим инструментом шва больше, чем диаметр пуансона. Кроме того, орбитальное движение создает больше деформации в нижней части пуансона, уменьшая долю корневых дефектов. Скошенные перемешивающие инструменты также имеют преимущества для нахлесточных соединений, поскольку орбитальное движение этих инструментов не приводит к утонению пластины или смещению поверхностей, прилегающих к пуансону. В эту же группу входят реверсивные инструменты, инструменты двойного вращения и др.

Представляют интерес группы инструментов специального назначения – для точечной сварки, обработки поверхностных слоев литых заготовок, сварки и обработки тонкостенных конструкций (без пуансона) и др.

Харламов Ю.А. Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Луганск,
Харламов М.Ю. Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ОСАЖДЕННЫХ ЧАСТИЦ В ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ

Формирование газотермических покрытий является результатом последовательного многократного осуществления элементарных актов взаимодействия напыляемых частиц с поверхностью из-

делия. При оптимальных режимах газотермического напыления покрытий (ГТНП) основная доля «напыляемых частиц» напылительной струи переходит в состояние «напыленных частиц» («сплэтов»). Геометрические и другие параметры образующихся сплэтов являются определяющими факторами в формировании структуры и свойств газотермических покрытий. Широкое распространение при разработке технологии ГТНП получили аналитические и численные модели удара и растекания напыляемых частиц на гладких и шероховатых поверхностях. Однако большое количество параметров, характеризующих процесс взаимодействия в системе частица-подложка (СЧП), снижает достоверность расчетов и предполагает экспериментальную проверку режимов ГТНП. К факторам, влияющим на взаимодействие в СЧП, относятся: размеры и форма частиц; материал, структура и свойства; скорость удара и температура частиц; степень расплавления частицы; степень окисления частиц, состояние и параметры образующихся оксидов и т.д.; угол соударения с твердой поверхностью; шероховатость твердой поверхности, состав оксидного слоя и его толщина, свойства, десорбция адсорбатов и конденсатов, смачиваемость твердой поверхности ударяющей частицей и т.д.; состояние и параметры рабочей среды; параметры, относящиеся к теплообмену между растекающейся частицей и подложкой и пр.

Трудности экспериментального изучения процессов взаимодействия напыляемых частиц с подложкой при газотермическом напылении связаны с временными и размерными масштабами сопутствующих явлений. При плазменном и высокоскоростных методах напыления расплющивание частиц происходит в течение нескольких микросекунд, а затвердевание часто начинается до завершения процесса растекания частицы. Типичный диаметр напыляемых частиц порядка 30 мкм. После расплющивания напыленная частица имеет диаметр от 60 до 120 мкм и толщину не более нескольких мкм.

Подразделения и лаборатории, занимающиеся разработкой газотермических покрытий и технологии их получения, должны совершенствовать методические возможности для экспериментального анализа и исследования осажденных на твердую поверхность частиц. Рассмотрим состояние данной проблемы и соответствующие рекомендации в следующей последовательности: 1. Отбор и осаждение напыленных частиц; 2. Контроль геометрии и свойств осажденных частиц; 3. Контроль температуры частиц в процессе

соударения; 4. Прямое наблюдение процесса соударения частицы; 5. Моделирование СЧП каплями миллиметрового размера; 6. Измерение адгезионной прочности напыленных частиц.

Отбор и осаждение напыленных частиц. Простой метод быстрого относительного перемещения образца и напылительной струи недостоверен. Необходимо организовать сбор частиц из заданной зоны струи. Для этого применяют экраны с одним или несколькими отверстиями для прохода напыляемых частиц. В современных устройствах для сбора частиц применяют средства диагностики размеров, скорости и температуры напыляемых частиц, а также поддержания и контроля температуры напыляемого образца. При перемещении пистолета и подложки в двух противоположных направлениях можно значительно увеличить зону осаждения на твердой поверхности образца и собрать несколько тысяч сплэтов. Для минимизации дополнительного нагрева поверхности образца используют затворы, обеспечивающие осаждение сплэтов на образец в течение короткого времени. Используют также гибкую лазерную обработку для удаления поверхностных загрязнений, слоев оксидов и снижения уровня загрязнения поверхности адсорбатами/конденсатами при осаждении сплэтов.

Контроль геометрии, структуры и свойств осажденных частиц. К наиболее простым и доступным методам получения информации о формировании напыленных частиц относится визуальное изучение напыленных частиц на подложке с помощью оптической микроскопии, интерференционной микроскопии, сканирующей электронной микроскопии, атомной силовой микроскопии, профилометрии поверхности. Визуальный контроль позволяет оценить влияние технологических параметров, материала подложки, технологии подготовки и состояния поверхности на формирование сплэтов. Столбчатая или равноосная структура напыленных частиц, размеры столбчатых кристаллов и зерен, их регулярность позволяют оценить скорость охлаждения напыляемых частиц. Ориентация столбчатых кристаллов указывает направление, вдоль которого отводилось тепло. Для керамических материалов по расстоянию между трещинами, возникающих от закалочных напряжений можно также оценивать скорость охлаждения. Эквивалентный диаметр напыленных частиц рассчитывают по измеренным значениям их площади и периметра, в том числе с использованием средств автоматического анализа изображений.

Контроль температуры частиц в процессе соударения осуществляют с помощью быстродействующих двухцветных пирометров с дальнедействующими микроскопами для получения изображения расплющиваемой капли в различные моменты времени. Результаты используются для определения термического контактного сопротивления СЧП.

Прямое наблюдение процесса соударения частицы. К направлениям экспериментального изучения удара напыляемых частиц относятся: 1. Разработка быстродействующих пирометров (быстродействие 50 нс) для измерения температуры одиночных расплавленных капель как до, так и в процессе их расплющивания. 2. Фотографирование удара капель высокоскоростными камерами, синхронизированными с сигналом пирометра. 3. Фотографирование соударения напыляемых частиц только с идеально подготовленными плоскими поверхностями.

Моделирование СЧП каплями миллиметрового размера. Капли миллиметрового размера легче наблюдать в процессе соударения, поскольку время расплющивания находится в миллисекундном диапазоне и для наблюдения расплющивания частиц могут быть использованы быстродействующие камеры с частотой кадров до 10000 кадров/с. Разработаны методы экспериментального моделирования удара частицами миллиметровых размеров и скоростями удара несколько м/с, но приблизительно с такими же значениями чисел Рейнольдса и Пекле, как и для традиционных технологий напыления частицами микрометровых размеров. Однако при этом изменяются параметры сопутствующих явлений, таких как степень переохлаждения, задержка зародышеобразования, термическое контактное сопротивление. Их значения отличаются на два или три порядка в сравнении с традиционными условиями ГТНП. Известен ряд устройств с генераторами капель металлов и керамики с использованием свободного падения капель, в том оснащенными быстродействующими камерами и пирометрами.

Измерение адгезионной прочности напыленных частиц. Впервые реализовано в работах В.В. Кудинова для измерения прочности сцепления отдельных капель материала покрытия, осажденных на полированную подложку с помощью достаточно простого прибора. Новыми являются эксперименты по оценке силы адгезии отдельных напыленных частиц оксида алюминия со стальной подложкой методом микроиндентирования с помощью сканирующего элек-

тронного микроскопа. Непрерывные наблюдения за процессом могут быть записаны и проанализированы после эксперимента наряду с кривой сила-перемещение индентора для возможного сопоставления протекающих явлений.

Хейфец М.Л. ГНПО «Центр» НАН Беларуси, Минск

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУР МАТЕРИАЛА В ПРОЦЕССАХ ИНТЕНСИВНОЙ ОБРАБОТКИ

Для обеспечения свойств материала необходимо, чтобы в нем произошли в результате интенсивной обработки необратимые изменения, обусловленные фазовыми переходами. Если материал находится в структурно неравновесном состоянии, то обработка тоже необходима, хотя фазовые превращения в нем не происходят.

Для определения доминирующих процессов стуктурообразования при интенсивной обработке, целесообразно применить синергетическую концепцию Г. Хакена, использующую понятие моды непрерывной случайной величины контролируемого параметра. Под модой понимают такое значение параметра, при котором плотность его распределения имеет максимум.

Согласно синергетической концепции устойчивые моды подстраиваются под доминирующие неустойчивые моды и в результате могут быть исключены. Это приводит к резкому сокращению числа контролируемых параметров – степеней свободы термодинамической системы. Оставшиеся неустойчивые моды могут служить в качестве параметров порядка, определяющих процессы стуктурообразования.

Получившиеся в результате такого сокращения параметров уравнения группируются в несколько универсальных классов вида:

$$\frac{\partial}{\partial\tau}\mathrm{U} = \mathrm{G}\left(\mathrm{U}, \nabla\mathrm{U}\right) + \mathrm{D}\nabla^2\mathrm{U} + \mathrm{F}\left(\tau\right)$$

где U – контролируемый параметр; τ – текущее время; G – нелинейная функция U и возможно градиента U; D – коэффициент, описывающий диффузию, когда его значение действительно, или описывающий распространение волн, при мнимом значении; F – флуктирующие силы, обусловленные взаимодействием с внешней средой и диссипацией внутри системы.

Уравнения такого вида схожи с уравнениями, описывающими фазовые переходы первого и второго рода. В соответствии с синергетической концепцией фазовые переходы происходят в результате самоорганизации, процесс которой описывается тремя степенями свободы, отвечающими параметру порядка (П), сопряженному (С) ему полю и управляющему (У) параметру.

Использовать единственную степень свободы – параметр порядка, возможно для описания только квазистатического фазового превращения. В системах, значительно удаленных от состояния термодинамического равновесия, каждая из указанных степеней свободы приобретает самостоятельное значение. В них процесс самоорганизации складывается в результате конкуренции положительной обратной связи параметра порядка с управляющим параметром и отрицательной обратной связи с сопряженным полем. Поэтому, кроме процесса релаксации к равновесному состоянию в течение времени τ^{p} при участии двух степеней свободы может реализовываться автоколебательный режим, а при участии трех – возможен переход в хаотическое состояние.

В результате состояние технологической системы при интенсивной обработке характеризуется несколькими режимами:

• *запоминания* – который определяется "замороженным" беспорядком при переходе из неупорядоченного состояния и реализуется, когда время релаксации параметра порядка окажется намного меньше остальных времен $(\tau_{П}^{p} \ll \tau_{У}^{p}$ и $\tau_{П}^{p} \ll \tau_{С}^{p})$;

• *релаксационный* – реализуется, когда время релаксации параметра порядка намного превосходит времена релаксации остальных степеней свободы $(\tau_{П}^{p} \gg \tau_{У}^{p}$ и $\tau_{П}^{p} \gg \tau_{С}^{p})$;

• *автоколебательный* – который требует соизмеримости характерных времен изменения параметра порядка и управляющего параметра или сопряженного поля $(\tau_{П}^{p} \gtrless \tau_{У}^{p}$ или $\tau_{П}^{p} \gtrless \tau_{С}^{p})$;

• *стохастический* – характеризуется странным аттрактором и возможен при соизмеримости времен всех трех степеней свободы $\left(\tau_{У}^{p} \gtrless \tau_{П}^{p} \gtrless \tau_{С}^{p}\right)$.

Т.о., доминирующие процессы структурообразования определяются интенсивностью во времени переноса энергии и вещества в неравновесных технологических системах. При этом стабильность формирования структур обеспечивается управлением устойчиво-

стью технологического процесса интенсивной обработки путем применения положительных и отрицательных обратных связей.

Цель любого процесса термической обработки состоит в том, чтобы нагревом (или охлаждением) до определенной температуры и последующим ее изменением обеспечить желаемое строение материала. Режим термической обработки характеризуется следующими основными параметрами: температурой нагрева и временем выдержки при ней, скоростями нагрева и охлаждения материала.

Все виды термической обработки по А.А. Бочвару можно разделить на четыре основные группы операций, которые согласно синергетической концепции структурообразования, можно связать с режимами поведения термодинамической системы. Режимы определяются временами релаксации τ^p: параметра порядка (П) при охлаждении, сопряженного (С) параметра нагрева (препятствующего теплоотводу) и управляющего (У) структурообразованием параметра. Наличие двух степеней свободы определяет термический цикл, а трех – сопровождение цикла фазовыми переходами.

В итоге реализуются группы операций термической обработки:

• *Закалка* – нагрев выше температуры превращения с последующим быстрым охлаждением для получения структурно неустойчивого состояния.

• *Отпуск* – нагрев закаленного материала ниже температуры превращения для получения более устойчивого структурного состояния.

• *Отжиг первого рода* – нагрев материала в неустойчивом состоянии после предшествовавшей обработки, с последующим охлаждением, приводящий в более устойчивое состояние.

• *Отжиг второго рода* – нагрев выше температуры превращения с последующим медленным охлаждением для получения структурно устойчивого состояния.

Строение и свойства структур определяются во времени температурой их образования. Происходящие при обработке процессы описываются теорией термической обработки С.С. Штейнберга, отражающей кинетику превращений при разных температурах и влияющие на нее факторы.

Фазовые превращения, используемые при термической обработке, обусловлены изменением температуры, однако изменяя давление – другой термодинамический фактор, можно получить структурные превращения, которые отсутствуют при неизменном давлении.

Всестороннее давление пока еще не использовалось активно для структурообразования в материалах, как указывалось А.П. Гуляевым, из-за технологических сложностей, а также ввиду недостаточной ясности, насколько это эффективно оно для получения особых свойств материалов.

Разработанное государственным научно-производственным объединением «Центр» НАН Беларуси оборудование, позволяющее плавно изменять скорость вращения ротора и обеспечивать за счет центростремительного ускорения высокие давления, создает новые возможности для центробежного литья. Полученные при таком литье наноструктурные материалы свидетельствуют о перспективности использования режимов структурообразования с изменением давления для получения особых свойств материалов.

Цеханов Ю.А. Воронежский архитектурно-строительный университет, Воронеж, Россия

АНАЛИЗ МЕХАНИКИ РЕЗАНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ПОДОБИЯ И РАЗМЕРНОСТЕЙ

Пусть режущее тело (резец, абразивное зерно), движется с большой скоростью $V_р$, оставляя в заготовке след резания с номинальной глубиной h. Примем сначала, что материал заготовки идеально пластичный. Мощность резания $W_р = W_{пл} + W_к$; $W_{пл}$ – мощность пластических деформаций и трения, $W_к$ – мощность кинетической энергии стружки. Сила резания $P_z = W_р/V_р$. Величина зависит от: предела текучести материала заготовки $\sigma_т$, h, $V_р$, коэффициента трения об инструмент f и от геометрических параметров инструмента (ГПИ) $W_{пл} = W_{пл}(\sigma_т, V_р, h, f,$ ГПИ). Выбираем согласно [1] определяющие параметры: $\sigma_т, V_р$, h и выравнивая размерности левой и правой частей равенства, получаем: $W_{пл} = V_p \sigma_T h^2 \overline{W_{пл}}(f, БГПИ)$. На основе этой формулы выполняется модельный эксперимент по определению зависимости безразмерной мощности $\overline{W_{пл}}$ от f и БГПИ (безразмерных ГПИ). Мощность $W_к$ зависит от скорости стружки $V_с$ (которая определяется: $V_р$, усадкой стружки, на которую влияет коэффициент трения f), от ее массы, срезанной в единицу времени и зависящей от $V_р$, h, ρ (плотно-

сти стружки), ГПИ. Обобщая: $W_к = W_к(V_р,h,\rho,f,$ ГПИ)и выбирая определяющие параметры: $V_р$, h, ρ, получаем: $W_к = V_р^3 \rho h^2 \overline{W_к}(f, БГПИ)$; $W_р = V_р \sigma_T h^2 \overline{W_{пл}}\left(f, БГПИ + V_р^3 \rho h^2 \overline{W_к}(f, БГПИ)\right)$ или $\overline{W_р} = K_Д \overline{W_{пл}}(f, БГПИ)$; $K_Д = 1 + D\overline{W_к} / \overline{W_{пл}}$; $D = \sigma_д/\sigma_Т$; $\sigma_д = \rho V_р^2 / 2$ здесь $K_д$– динамический коэффициент, показывающий во сколько раз при скоростном резании за счет сил инерции возрастают мощность и сила резания, D – динамический параметр, который определяет соотношение между динамическим давлением стружки на основание срезаемого слоя $\sigma_д$ и $\sigma_Т$. Деформационное упрочнение можно учесть, если вместо $\sigma_Т$ подставить значение твердости [2], а термическое разупрочнение – если считать процесс адиабатическим; тогда при известной температурной зависимости $\sigma_Т = \varphi(\theta)$ получаем уравнение относительно $W_{пл}$: $W_{пл} = \varphi\left(\theta_0 + W_{пл}/CAV_р\rho\right)h^2 V_р \overline{W}_{пл}(f, БГПИ)$; C – удельная теплоемкость, A – площадь поперечного сечения срезаемого слоя, θ_0 – начальная температура.

При резании хрупких материалов взаимодействие инструмента с заготовкой осуществляется только его вершиной и носит дискретно-импульсный характер. Осколки разлетаются со скоростями до 200 м/с. Рассмотрим мощность их кинетической энергии $W_к$ и мощность энергии, идущей на образование поверхности при трещинообразовании $W_п$. Величина $W_п$ зависит от: площади поверхности одного осколка S_1; числа осколков N_1, образующихся в единицу времени; удельной энергии трещинообразования $\gamma_п$; S_1 зависит от характерного размера осколка l_1; N_1 зависит от: $V_р$; h; потенциальной энергии упругих деформаций U, накапливаемой в материале заготовки перед ее разрушением; его сопротивляемости хрупкому разрушению, определяемой $\gamma_п$. На l_1 влияют: $V_р$, h, U, $\gamma_п$. Величина U зависит от модуля упругости E. Обобщая: $W_п = W_п(V_р,h,E,\gamma_п)$. Величина $W_к$ зависит от: массы одного осколка m; его скорости V_1; N_1. В свою очередь m зависит от размера осколка l_1, ρ; V_1 зависит от $V_р$, ρ, U. Обобщая, получаем: $W_к = W_к(\rho,h,V_р,E)$.

Полная мощность $W_р = W_п + W_к$. Для $W_п$ в качестве определяющих параметров выбираем: $h,V_р,E,$ а размерность $\gamma_п$ выразим через их размерности составляя безразмерную комбинацию: $TS_п = \gamma_п / Eh$, которая является безразмерным критерием подобия для постановки модельного эксперимента. Аналогично проанализируем и преобразуем выраже-

ние для $W_к$, принимая в качестве определяющих параметров ρ, h, $V_р$: $W_к = V_р^3 \rho h^2 \overline{W_к}(TS_к)$, а размерность E выражается через их размерности с помощью еще одного безразмерного критерия подобия: $TS_к = \rho V_р^2 / E$. Модельный эксперимент поводится для выявления зависимостей безразмерных мощностей $\overline{W}_п$, $\overline{W}_к$ и $\overline{W}_р$ и от безразмерных критериев подобия $TS_п$ и $TS_к$. Для изучения трещиностойкости хрупких материалов широко используется коэффициент концентрации напряжений K_{I0}, который связан с удельной энергией трещинообразования зависимостью $\gamma = K_{10}^2 (1-\mu^2)/2E$, что позволяет представить $TS_п$ в более удобном виде: $TS_п = K_{10}^2 / E\sqrt{h}$.

Таким образом, на основе методов теории подобия и размерностей получены формулы, позволяющие спланировать модельный эксперимент для получения универсальных зависимостей безразмерных мощностей резания от выведенных критериев подобия процесса, и в дальнейшем использовать их для расчета энергетических и силовых параметров резания любых пластичных и хрупких материалов. Изложенный подход и полученные зависимости полезны и для более глубокого изучения механики резания на основе фундаментальных физических законов.

Литература

1. Седов Л. И. Методы подобия и размерности в механике. – М.: Наука, 1972. – 440 с.

2. Цеханов Ю.А., Шейкин С.Е. Механика формообразования заготовок при деформирующем протягивании. – Воронеж, ВГТА, 2001. – 200 с.

Шабайкович В.А. Львовский институт менеджмента, Львов, Украина

СОБИРАЕМОСТЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Сборка является завершающим этапом любого производства, где формируются показатели качества и уровни конкурентоспособности машин, которая имеет различные отличия и специфику в зависимости от особенностей сборки и многих других условий. Глав-

ным при этом считается *собираемость* деталей машин, под которой понимается комплекс конструктивных, технологических и производственных мероприятий, направленный на упрощение сборки, или кратко – осуществление сопряжения деталей с целью образования сборочного соединения. При осуществлении принципов собираемости сборка машин должна сводиться к простому соединению деталей в узлы, а узлов в машину. Но вопрос собираемости машин не сводится только к стремлению соблюдения принципа взаимозаменяемости, он охватывает более широкое понятие, включающее в себя: технологичность конструкций, высокое качество обработки и контроля деталей, соблюдение технологий всего процесса производства. При этом, видов сборочных соединений множество и нужна их обязательная унификация.

Вообще-то при собираемости используется принцип «*на дурака*», т.е. детали могут сопрягаться только в одном рабочем положении. Не смотря на это, и здесь полно нарушений: так недавно, запускаемая ракета взорвалась на старте и только потому, что при ее ручной сборке кто-то умудрился собрать соединение наоборот с помощью молотка. Убытки при этом оказались миллионными. При автоматической собираемости такое положение невозможно и с большей вероятностью, когда возможные положения деталей более отличимые друг от друга.

Собираемость тесно увязана с *ориентируемостью* деталей машин, т.е. ручной или автоматической возможностью простого придания предсборочного положения, обеспечивающего дальнейшую сборку деталей. Известно, что не сложные детали ориентируются более просто, а с усложнением их формы ориентирование становится сложным, а значит и не надежным. Есть детали, которые вообще не поддаются ориентированию, и в этом случае применяется только ручная сборка – это сложные корпусные детали, как по форме, так и размерам.

Получение сборочного соединения является основной сборочной операцией. В результате действия многообразных постоянных и случайных суммарных погрешностей как при изготовлении деталей, так и сборке машин возникают различные отклонения от правильной геометрической формы поверхностей сопряжения и их пространственного положения. В классическом широко распространенном сборочном соединении вал-втулка (рис. 1) в поперечном и продольном направлениях формы цилиндрического отвер-

стия и вала получаются случайными – 7, 8. Все это можно описать полиномами, но зачем, если в этом случае нет практического использования уравнения собираемости.

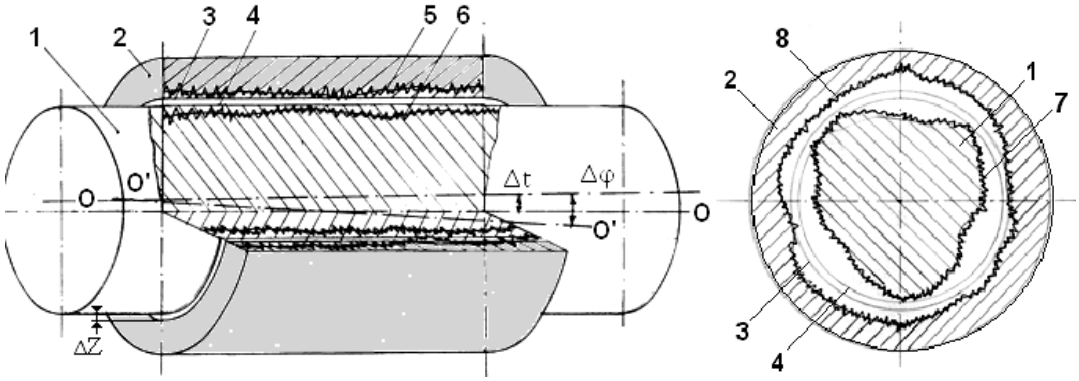


Рисунок 1 – Сборочное соединение вал-втулка

Динамика процесса сборки вала с втулкой в упрошенном варианте без учета фасок состоит из двух этапов. На первом ориентирующем этапе (рис. 2) осуществляется первичное движение детали, что описывается дифуравнениями

$$\begin{aligned} m\ddot{X}_C &= N_A - N_B \sin\varphi + F_{mB}\cos\varphi\,; \\ m\ddot{Z}_C &= F_{mA} - P + N_B\cos\varphi + F_{mB}\sin\varphi\,; \\ J_C\ddot{\varphi} &= N_A(Z_C - Z_A) - F_{mA}X_C - N_B l + F_{mB}d/2\,. \end{aligned} \qquad (1)$$

И втором сопрягающем этапе выполняется перемещение вала во втулке, описываемом другой системой уравнений

$$\begin{aligned} m\ddot{X}_C &= N_A - F_{mK}\,; \\ m\ddot{Z}_C &= F_{mA} - P + N_K\,; \\ J_C\ddot{\varphi} &= N_A(Z_C - Z_A) - F_{mA}X_C + N_K(X_K - X_C)\,. \end{aligned} \qquad (2)$$

Однако такие данные будут неверны из-за фактического отклонения форм и положений поверхностей деталей. Можно конечно вводить какие-то необоснованные коэффициенты уточнения, но это не решение вопроса.

Решить вопрос можно конструкторским и технологическим путем. Конструкторский подход состоит в выборе легко собираемой конструкции соединения, которую можно просто получить современной технологией. Здесь учитываются расширенные допуска и зазоры, компенсирующие отклонения формы соединяемых деталей и выбор наиболее подходящих форм деталей, использование направляющих элементов.

Обеспечение при сборке машин высокой точности является серьезной технологической проблемой. Технологический подход более широкий: можно применять как чистовую обработку, покрытия, обкатку, компенсирующие отклонения, термообработку, так и специальное технологическое оснащение. Чистовая обработка уменьшает макро и микро отклонения, но увеличивает технологическую себестоимость изготовления деталей. Можно применять различные покрытия деталей, которые не только уменьшат указанные погрешности, но и увеличат долговечность деталей. Однако лучшим решением будет использование адаптивных ориентирующе-сборочных устройств, компенсирующих имеющиеся погрешности деталей машин. Поэтому представляется возможным получать высокое качество сборки при сравнительно низкой точности деталей.

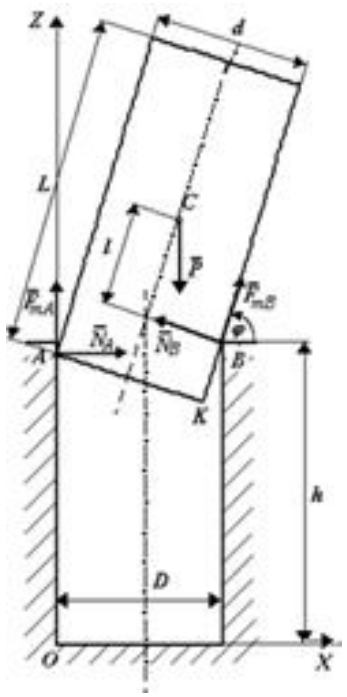


Рисунок 2 – Расчетная схема

Адаптивные ориентирующе-сборочные устройства осуществляют точную сборку соединяемых деталей по сигналам обратной связи с последующим управлением. Это ряд устройств от фотоэлектрических до голографических.

Литература

1. Божидарнік В.В., Григор’єва Н.С., Шабайкович В.А. Автоматичне складання виробів: Навчальний посібник. – Луцьк: Надстир’я, 2005. – 388 с.

Шаферовский В.А. Приазовский государственный технический университет, Мариуполь, Украина

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ С ПРОГРАММИРОВАНИЕМ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ КАССЕТ

В Мариупольском заводе металлоконструкций (ныне ОАО «Стальконструкция») при соединении листового металла толщиной 22–26 мм

используют механизированную двустороннюю сварку под флюсом без разделки кромок по гарантированному (не более 2 мм) зазору.

Сварку на флюсовой подушке стыковых соединений полотнищ (с последующей кантовкой) осуществляют, как правило, сварочными тракторами (например, типа АДФ-1201 и др.) на режимах: $I_{св}$ = 800–900 А, $U_д$ = 40–42 В, $V_{св}$ = 16–18 м/ч, диаметр электрода 4 мм.

К недостаткам этого способа сварки, по нашему мнению, следует отнести недостаточную производительность процесса, повышенный расход сварочных материалов и электроэнергии.

Для повышения эффективности электродуговой сварки толстолистового металла автором разработан и опробован на опытном участке новый высокопроизводительный способ сварки под флюсом с программированием параметров режима (ППР).

При разработке этого способа были учтены технологические особенности известных вариантов программирования параметров режима сварки [1].

Количество циклов сварки зависит от длины свариваемого стыка. Все операции технологического процесса сварки с программмированием режима выполняются автоматически.

Программирование параметров режима сварки осуществляется специальным программирующим блоком, включаемым в электрическую схему шкафа управления сварочным аппаратом типа А-1401.

Перед сваркой образцы из стали 09Г2С собирали без разделки кромок с зазором 5–6 мм с применением прихваток и выводных планок. Сварку вели на флюсомедной подушке. Сварочными материалами служили сварочная проволока Св-08ГА диаметром 4 мм и флюсы АН-348А и АН-60.

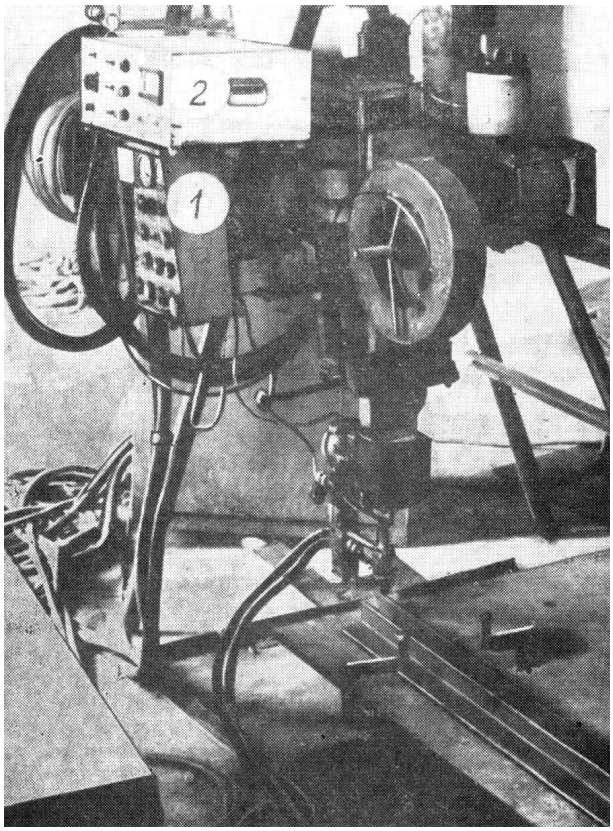


Рисунок 1 – Опытно-промышленная установка (пост) для сварки с ППР: 1 – сварочный аппарат; 2 – программирующий блок

Сварку осуществляли от сварочного выпрямителя ВДУ–1201 постоянным током обратной полярности на следующих режимах: $I_{мак}$ = 1350 А, $I_{мин}$ = 600 А, $U_б$ = 52 В, $U_{мак}$ = 56 В, $V_{св.ср}$ = 15,2 м/ч. Хорошие результаты получены при использовании флюса АН-60. Варьируя параметрами режима в определенном диапазоне, удалось получить за один проход корневой и лицевой швы с требуемыми геометрическими характеристиками.

Разработанный вариант сварки опробован в производственных условиях (рис. 1) применительно к стыковым соединениям прямолинейных швов элементов кассет толщиной 22–26 мм.

Анализ технико-экономических преимуществ разработанного варианта односторонней сварки с ППР по сравнению с базовой технологией позволяет в 2 раза повысить производительность процесса, на 10–30 % снизить расходы на сварочные материалы и электроэнергию, а также исключить кантовку свариваемых полотнищ.

Достигнута положительная условно-годовая экономия от внедрения одного поста сварки в условиях ОАО «Сталькон» (г. Мариуполь) применительно к стыковым соединениям элементов кассет толщиной 22–26 мм.

Литература

1. Серенко А.Н., Шаферовский В.А., Патрикеев А.И. Сварка толстолистовой стали с программированием процесса. Учебное пособие. – Мариуполь: Изд-во ПГТУ, 2000. – 296 с.

Шепелєв А.О., Сороченко В.Г Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України,
Головко Л.Ф. НТУУ "Київський політехнічний інститут", Київ, Україна

ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМОВЕ ТЕРМОДЕФОРМАЦІЙНЕ СПІКАННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ КОМПОЗИТІВ ІЗ НТМ

З метою зниження собівартості процесу лазерного термодеформаційного спікання інструментальних композитів із надтвердих матеріалів (НТМ) запропоновано, теоретично та експериментально досліджено новий високоефективний комбінований процес лазерно-

плазмового термодеформаційного спікання. Максимальна ефективність досягається в тому випадку, коли перша фаза комбінованого процесу – підігрівання порошкової суміші до температури T = (0,8–0,9)$T_{пл.}$ легкоплавкої складової композиту здійснюється виключно за рахунок енергії плазмового струменя (що становить 70–80 % від загальної кількості), а енергія лазерного променя витрачається відповідно на підплавлення основи і доведення до температури плавлення зв'язуючого композиту. В процесі охолодження закристалізована зв’язка з зернами НТМ ущільнюється деформуючим елементом. Спосіб дозволяє радикально підвищити продуктивність спікання без збільшення потужності лазерного випромінювання і суттєвого зростання його вартості.

На основі розробленої математичної моделі теплових процесів виконано теоретичне дослідження комбінованого процесу лазерно-плазмового термодеформаційного спікання функціональних композитів із синтетичного алмазу та кубічного нітриду бору (КНБ). У якості математичної моделі застосовано найбільш придатне тривимірне нестаціонарне диференціальне рівняння теплопровідності в частинних похідних, визначене на неканонічній області, частина якої змінюється з часом. Модель враховує залежність коефіцієнту теплопровідності складових композитів, що спікаються, від температури. Розроблено програмну систему, що реалізує математичну модель комбінованого процесу лазерно-плазмового термодеформаційного спікання композитів із НТМ безпосередньо на корпусу інструменту та дозволяє відстежити, як протікає процес в кожний момент часу і отримати інформацію про розподіл температури в зоні спікання при різних параметрах обробки (потужностях плазмового струменя і лазерного променя, швидкостях відносного руху, витратах в’язко-рідинної суміші і т. ін.)

Досліджено параметри плазмової дуги у залежності від величини струму розряду, напруги, тиску плазмоутворюючого газу та його виду, кута нахилу плазмотрона, відстані від зрізу сопла плазмотрону та способу підігрівання порошкової суміші зв’язки. Визначено рівень їх значень, при яких забезпечується підігрівання вибраного порошку зв’язки до визначених температур. Встановлено основні фактори та параметри процесу, досліджені основні зв’язки між ними. Робочий струм 50–250 А. Робоча напруга дуги 20–40 В. Тиск робочого газу 0,02–0,30 МПа. Тиск допоміжного газу (для подачі

порошку) 0,02–0,20 МПа. Діаметр сопла 1,5–3,2 мм. Довжина дуги 3–15 мм. Робочий газ – аргон. Діаметр струменю плазми 2–4 мм.

Досліджено головні зв’язки між технологічними параметрами комбінованого лазерно-плазмового термодеформаційного спікання, властивостями складових абразивних композитів і їх фізико-механічними характеристиками, геометричними і якісними параметрами робочих елементів інструментів із НТМ, визначені оптимальні режими та умови спікання. Встановлено основні закономірності поглинання лазерного випромінювання складовими композитів із НТМ. Особливістю взаємодії лазерного випромінювання з КНБ на відміну від синтетичного алмазу є його відносно висока поглинальна здатність (60–70 %) – для випромінювання з довжиною хвилі λ = 1,06 мкм і (40-50 %) – для λ = 10,6 мкм. З метою підвищення відбивної здатності, зменшення температури нагрівання зерен КНБ та розширення номенклатури складових компонентів зв'язок і діапазону технологічних режимів лазерного опромінювання розроблено та застосовано спосіб захисту зерен шліфувальних порошків КНБ від його впливу. Поглинальна здатність порошків КНБ залежить достатньо сильно від виду металу, його температури, дисперсності і форми зерен і змінюється досить в великих межах. Зокрема, нанесення на зерна КНБ плівки нікелю дозволяє на 20–30 % знизити їх поглинальну здатність і відповідне термічне навантаження. Досліджено вплив нанодисперсних плазмохімічних металічних порошків і функціональних домішок на фізико-механічні, технологічні і експлуатаційні характеристики компо–зитів із НТМ інструментального призначення отриманих при лазерно-плазмовому спіканні.

Розроблено макет установки для подальшого експериментального дослідження технологічного процесу комбінованого лазерно-плазмового термодеформаційного спікання композитів на базі волоконного лазера потужністю 350 Вт при довжині хвилі випромінювання 0,9 мкм.

Шепелев А.А., Сороченко В.Г., Шепелев А.А. (мл.) Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины,
Головко Л.Ф. НТУУ "Киевский политехнический институт", Киев, Украина

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ИНСТРУМЕНТАМИ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

В Институте сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины разработаны инновационные высокопродуктивные технологии абразивной обработки инструментами из сверхтвердых материалов (СТМ).

Технология алмазно-абразивной обработки высокопрочных и высокомодульных полимерных композиционных материалов (ПКМ) – бороволокнитов, углепластиков, стеклопластиков, органопластиков, гибридных композиционных материалов и др. базируется на разработанной концепции интенсификации алмазно-абразивной обработки, суть которой состоит в реализации механохимических и теплофизических процессов контактного взаимодействия в зоне обработки, минимизирующих механохимические, тепловые и структурные превращения в полимерной составляющей обрабатываемого материала. Влияние контактных процессов направлено на достижение высокой режущей способности однослойного алмазно-абразивного инструмента за счёт создания оптимальных эффективных функционально-ориентированных параметров контактных поверхностей рабочих элементов инструмента, а теплофизические процессы резания направлены на формирование бездефектного поверхностного слоя обрабатываемого материала. Разработанные однослойные алмазно-абразивные инструменты, изготовленные методом гальваностегии, обеспечивают механообработку резанием, шлифованием, сверлением и зенкованием, повышают производительность обработки в 2–3 раза при увеличении срока службы в 8–10 раз по сравнению с серийным инструментом.

Интегрированная технология производства инновационных крупногабаритных алмазно-абразивных инструментов форм 6А2SS, 1А1, 1ЕЕ1, 1А1R обеспечивают механическую обработку изделий из керамики, огнеупоров, стекла, фарфора, хрусталя и др. диаметром до 1000 мм и алмазосодержащей поверхностью до 10 000 см^2,

толщиной рабочего слоя до 10 мм. Данная технология основана на использовании концептуальных технологических основ производства алмазно-абразивного инструмента, оптимизации оптимального состава и характеристик металло- и металлополимерных инструментальных композитов и модифицированных порошков СТМ с коэффициентов однородности 1,2–1,3, рациональных конструкций рабочего слоя, компьютеризации процессов управления и оптимизации функциональных параметров процессов прессования, спекания и крепления рабочих элементов из СТМ. Механообработка данными инструментами обеспечивает показатели их работоспособности в 1,5–2,0 раза превышающие для инструментов, разработанных в Украине и равнозначные аналогичным инструментам Европейских фирм.

Прецизионная технология алмазного шлифования деталей типа "Шар" из современных твердых сплавов, керамики и др. материалов, в которой важную роль в процессе обработки играют такие факторы, как физико-механические свойства связки алмазного инструмента и его характеристика, кинематика рабочего движения в процессе обработки и др., определяют макро- и микроструктуру поверхности и тонкого поверхностного слоя сферической поверхности изделий. Новизной высокопродуктивного процесса шлифования является применение специальных функциональных схем высокопродуктивного шлифования и прецизионной обработки - кинематика алмазно-абразивной обработки деталей типа "Шар", которая реализуется с помощью специальных технологических устройств. Новизной используемых алмазно-абразивных кругов и доводочных инструментов является наличие оригинальных сложнопрофильных функциональных рабочих поверхностей.

Технологическими особенностями алмазного шлифования керамических шаров, включая шары из нанодисперсных и сверхтвердых материалов, является необходимость повышения точности геометрических параметров при увеличении производительности обработки не менее чем в 2–3 раза по сравнению с базовым процессом, который используется при изготовлении стальных шаров.

Алмазно-абразивные инструменты обеспечивают изготовление шаров для клапанных пар нефтяных и газовых насосов, гибридных подшипников качения, фасонных инструментов и позволяют обрабатывать детали типа "Шар" диаметром до 100 мм из керамики,

твердых сплавов, композиционных сверхтвердых и других материалов с обеспечением сферической формы порядка 0,3–0,5 мкм.

Технология лазерного термодеформационного спекания функциональных композитов из СТМ инструментального назначения, включающая взаимодействие лазерного излучения с составляющими композита, нагревание зерен СТМ (синтетический алмаз или кубический нитрид бора), нагревание и плавление компонентов порошковой смеси, смачивание расплавом зерен СТМ с образованием на их поверхности тонких металлических пленок, диффузионные и химические процессы на границах "зерно СТМ – плёнка – связка" и структурно-фазовые превращения при охлаждении закристаллизованного расплава. Технология позволяет в 2–3 раза повысить производительность спекания инструментов из СТМ и снизить на 40–50 % себестоимость производства.

Шин И.Г., Шодмонкулов З.А., Муминов М.Р., Назаров С.Р. Институт текстильной и легкой промышленности, Ташкент, Узбекистан

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ ППД ДЕТАЛЕЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ НАГРУЗКИ, РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПО «ПОЛУШАРУ»

Отделочно-упрочняющая обработка деталей машин обкатыванием и выглаживанием характеризуется локальностью пластического деформирования поверхностного слоя. В результате статического силового воздействия деформирующего тела на поверхности контакта создается очаг деформации, первоначальная форма которой соответствует лунке, обусловливающей определенное напряженно – деформированы состояние по толщине упрочняемого тела.

Вследствие локальности процесса при ППД напряженно – деформированное состояние поверхностного слоя детали оказывается неоднородным по глубине, т.е. имеет место неравномерная деформация с ее характерными признаками – повышение микротвердости H_μ, увеличение плотности дислокации ρ и искажение кристаллической решетки, формирование благоприятных сжимающих остаточных напряжений.

Для расчета напряженного состояния, создаваемого при деформационном упрочнении ППД, необходимо оценить силовое поле при одном вдавливании деформируемого элемента и его изменение при последующем деформировании близлежащих зон. Как известно, данная модель хорошо себя зарекомендовала в теории трения и износа, когда модель единичной неровности была представлена в виде выступа сферической или цилиндрической формы.

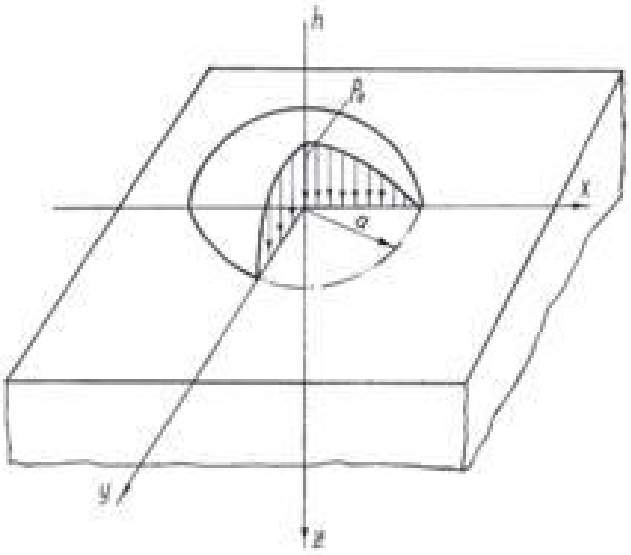


Рисунок 1 – Расчетная схема для напряженного состояния, создаваемого распределенной нагрузкой по “полушару” на границе полубесконечного тела

Напряженное состояние, создаваемое при контактном взаимодействии деформирующего индентора с упрочняемой поверхностью, можно моделировать (схематизировать) распределенной нагрузкой по «полушару», пропорциональной ординатам сферической поверхности, и приложенной по площади круга на границе полубесконечного тела (рис. 1)

Распределение нагрузки P по площади F круга с радиусом a представим ординатами h полусферы в пределах этой площадке:

$$\frac{p}{p_0}=\frac{h}{a}, \qquad p=p_0\cdot\frac{h}{a}=p_0\sqrt{\frac{a^2-(x^2+y^2)}{a^2}}=p_0\sqrt{1-\frac{x^2+y^2}{a^2}}, \qquad (1)$$

где p_0 –давление в центре круговой площадки F; p –давление, соответствующее ординате h полусферы.

Наибольшая нагрузка P составит:

$$P=\int_F pdF=\frac{p_0}{a}\int_F hdF, \qquad (2)$$

где $\int_F hdF=\frac{2}{3}\pi\cdot a^3$ – объем, ограниченный полусферой радиусом a. Поэтому, давление в центре круговой площадки

$$p_0=\frac{3}{2}\cdot\frac{P}{\pi\cdot a^2}. \qquad (3)$$

откуда следует, что при распределении по “полушару” наибольшее давление в 1,5 раза больше его среднего значение.

В направлении внедрения (оси z) касательные напряжения на площадках, параллельных координатным плоскостям, равны нулю ($\tau_{zy}= \tau_{zx}= \tau_{yx}=0$) и поэтому нормальные напряжения будут главными. Компоненты напряжений определим по зависимостям:

$$\sigma_Z = -p_0 \frac{1}{1+\left(\frac{z}{a}\right)^2}; \quad \sigma_Y = \sigma_X = -p_0 [(1+\mu) - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1+\left(\frac{z}{a}\right)^2} - (1+\mu) \cdot \frac{z}{a} \cdot arctg \frac{a}{z}] . \quad (4)$$

Из-за осевой симметрии напряженного состояния в случае круговой площадки контакта нормальные напряжения $\sigma_x = \sigma_y$ и в отличие от σ_z зависят от упругих свойств материала (коэффициента Пуассона). Если в формулах (4) принять $z = 0$, то соответственно получим:

$$\sigma_Z = -p_0; \sigma_X = -p_0 \frac{1+2\mu}{2} = \sigma_Y . \quad (5)$$

Так как $\sigma_Z = \sigma_1; \sigma_X = \sigma_Y = \sigma_2 = \sigma_3$ и $\sigma_i = |\sigma_1 - \sigma_2|$,

то интенсивность напряжений равна

$$\sigma_i = p_0 [\frac{3}{2 \cdot (1+\left(\frac{z}{a}\right)^2)} - (1+\mu) \cdot (1 - \frac{z}{a} \cdot arctg \frac{a}{z})] . \quad (6)$$

При обкатывании шариком (Ø 16 мм) цилиндрических стальных (сталь 35) образцов (d = 20 мм, длиной l = 150 мм, $\sigma_т$ = 300 Н/мм^2) с режимом обработки v = 190 м/мин, S = 0,1 мм/об, P = 600 и 2000 Н, количество проходов 1 интенсивность напряжений, рассчитанная по формуле (6), составила σ_i = 1435 Н/мм^2 на глубине z = 0,01мм. Важность аналитического определения данного параметра состоит в том, что от его значения зависит уровень запасенной (скрытой) энергии деформации U_s, которая в конечном итоге ответственна за формирование технологических остаточных напряжений, влияющих на усталостную прочность и долговечность деталей в эксплуатационных условиях.

Шин И.Г., Шодмонкулов З.А., Назаров С.Р., Нуруллаева Х.Т. Институт текстильной и легкой промышленности, Ташкент, Узбекистан

УРОВЕНЬ УДЕЛЬНОЙ ЗАПАСЕННОЙ ЭНЕРГИИ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПОВЕРХНОСТНО-ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ ДЕТАЛЕЙ

Параметры качества поверхностного слоя (остаточные напряжения, глубина и степень деформационного упрочнения, шероховатость обработанной поверхности, плотность дислокаций), каждый из которых, оказывая существенное влияние на поведение детали в эксплуатационных условиях, в то же время не является универсальным критерием оценки состояния поверхностного слоя. Как установлено в работах В.С.Ивановой, В.К.Старкова, В.В.Федорова и др. более объективным с физической точки зрения и информативным показателем является так называемая скрытая энергия деформации U_s, которая отражает способность контактных поверхностных слоев обрабатываемых деталей при резании или ППД накапливать (аккумулировать) энергию внешнего воздействия в результате термодинамических превращений и трансформации энергетических потоков в процессе пластической деформации металлов. Таким образом, пластическая деформация, сопровождающая механическую обработку материалов, в значительной степени может изменить внутреннюю энергию и, следовательно, энергетическое состояние поверхностного слоя обрабатываемых деталей, характеризуемое скрытой энергией деформации U_s.

Скрытая энергия деформирования определяет степень необратимых изменений кристаллического строения металлов при их пластической деформации, которые характеризуются точечными дефектами (вакансии, примесные атомы, дефекты упаковки), но главным образом дислокациями, что следует из дислокационного механизма пластического течения и подтверждается прямыми экспериментами (возрастанием плотности дислокаций на три – четыре порядка и резким увеличением плотности вакансий).

Изменение плотности внутренней энергии $\Delta U_д$ в поверхностном слое обрабатываемой детали в соответствии с первым законам термодинамики равно

$$\Delta U_Д = U_s = A - Q, \qquad (1)$$

где A – работа деформации; Q – часть внешней работы, превращающаяся в тепло.

Уточнение данной зависимости состоит в представлении $\Delta U_Д$ в виде суммы двух составляющих:

$$\Delta U_Д = \Delta U_Д{}^C + \Delta U_Д{}^T, \qquad (2)$$

где $\Delta U_д^с$, $\Delta U_д^т$ – соответственно потенциальная (скрытая) и тепловая составляющая плотности внутренней энергии.

Тепловая составляющая плотности внутренней энергии $\Delta U_д^т$ определяется изменением температуры – от температуры окружающей среды Θ_1 до температуры обработанного материала Θ_2:

$$\Delta U_Д{}^T = \int_{\Theta_1}^{\Theta_2} c_P \cdot \rho_M \cdot d\Theta = c_P \cdot \rho_M (\Theta_2 - \Theta_1), \qquad (3)$$

где c_p – удельная теплоемкость материала; ρ_M – плотность обрабатываемого материала.

Работу упруго-пластических деформаций А, совершенную при отделочно-упрочняющей обработке деталей, вычислим по известному соотношению: $A = \frac{1+\mu}{6E}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]$,

Или с учетом того, что

$$\frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} = \sigma_i \geq \sigma_T,$$

получим

$$A = \frac{1+\mu}{3E} \cdot \sigma_i^2, \qquad (4)$$

где σ_i – интенсивность напряжений; μ – коэффициент Пуассона; E – модуль упругости.

Тепловая энергия Q, выделяющаяся в процессе пластической деформации как на стадии зарождения, перемещения и аннигиляции дислокаций, может быть рассчитана по формуле:

$$Q = \frac{\rho}{b} \cdot q_0, \qquad (5)$$

где ρ – плотность дислокаций, см$^{-2}$; b – вектор Бюргерса, равный $2{,}5 \cdot 10^{-10}$ м; $q_0 \approx 5$ эв $= 8 \cdot 10^{-19}$ Дж – энергия связи.

При отсутствии экспериментальных данных плотности дислокаций ρ следует воспользоваться аналитической зависимостью интенсивности напряжений σ_i от плотности дислокаций $\rho(h)$ в соответствии:

$$p(h) = \left(\frac{\sigma_i - \sigma_{0,2}}{\alpha \cdot G \cdot b} \right)^2 .$$

Тогда тепловая энергия будет равна

$$Q = \frac{\rho}{b} \cdot q_0 = \left(\frac{\sigma_i - \sigma_{0,2}}{\alpha \cdot G \cdot b} \right)^2 \cdot \frac{q_0}{b}, \qquad (6)$$

С учетом приведенных соотношений получим формулу для плотности скрытой энергии деформаций:

$$\Delta U_Д{}^C = \frac{1+\mu}{3E} \cdot \sigma_i^2 - \left(\frac{\sigma_i - \sigma_{0,2}}{\alpha \cdot G \cdot b} \right)^2 \cdot \frac{q_0}{b} - c_P \cdot \rho_M (\Theta_2 - \Theta_1) - U_0, \qquad (7)$$

где $\sigma_{0,2}$ – условный предел текучести материала; G – модуль сдвига; α – численный коэффициент, равный 0,2–1,0 в зависимости от механизма упрочнения, α = 0,8 при статически независимом распределении препятствий; U_0 – значение внутренней энергии поверхностного слоя деталей до обработки.

Так как линейные несовершенства кристаллической структуры, дислокации играют ведущую роль в механизме пластической деформации металлов и одновременно являются аккумуляторами скрытой энергии, то естественно предположить, что вся плотность запасенной энергии есть энергия дислокаций:

$$\Delta U_Д{}^C = E_{дисл} = \frac{G \cdot b^2 \cdot \rho}{4\pi(1-\mu)} \cdot ln \frac{1}{b\sqrt{\rho}}, \qquad (8)$$

где вместо плотности дислокаций ρ используем уже известное и данное выше соотношение. Тогда получим:

$$\Delta U_Д{}^C = \frac{(\sigma_i - \sigma_{0,2})^2}{4\pi(1-\mu) \cdot G \cdot \alpha^2} \cdot ln \left(\frac{G \cdot \alpha}{\sigma_i - \sigma_{0,2}} \right). \qquad (9)$$

Уровень удельной скрытой энергии деформации, рассчитанный по дислокационному методу, составил U_s = 0,0829 Дж/мм^3 на глубине поверхностного слоя 0,01 мм при обкатывании шариком образцов из стали 35. Интенсивность остаточных напряжений, рассчитанная по ранее разработанной структурно – энергетической модели равна $\sigma_{i\ ост}$ = 728,4 Н/мм^2 и отличается от экспериментального значения не более, чем на 3%.

При алмазном выглаживании стали 20 в нормализованном состоянии удельная запасенная энергия U_s = 0,00527 Дж/мм^3. Режим – 3 мм, усилие P = 50–250 Н, подача S = 0,05 мм/об. Интенсивность

остаточных напряжений, рассчитанная по модифицированной формуле Фриделя, составила $\sigma_{i\ ост} = 581$ Н/мм^2.

Важность аналитического определения интенсивности остаточных напряжений состоит в том, что позволяет осуществить прогнозную оценку усталостной прочности и относительной долговечности деталей в эксплуатационных условиях через главные остаточные напряжения, которые легко можно найти через первый инвариант тензора напряжений.

Шодмонкулов З.А., Назаров С.Р., Шин И.Г.
Институт текстильной и легкой промышленности,
Ташкент, Узбекистан

РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ТВЕРДЫХ СПЛАВАХ ПО СХЕМАТИЗИРОВАННОЙ ДИАГРАММЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Для большинства конструкционных материалов (сталей и сплавов) напряженно – деформированное состояние, создаваемое в поверхностном слое изделия режущим или упрочняющим инструментом, соответствует условию «простого нагружения», когда усилия, приложенные к твердому телу, возрастают пропорционально изменению какого-либо одного параметра. При таком условии зависимость между интенсивностью напряжений σ_i и интенсивностью деформаций ε_i адекватно описывается диаграммой деформирования при растяжении – сжатии. В соответствии с одним из законов теории малых упругопластических деформаций, вытекающим из обобщения экспериментальных исследований, интенсивность напряжений σ_i для данного материала при активной деформации является определенной функцией от интенсивности деформации ε_i:

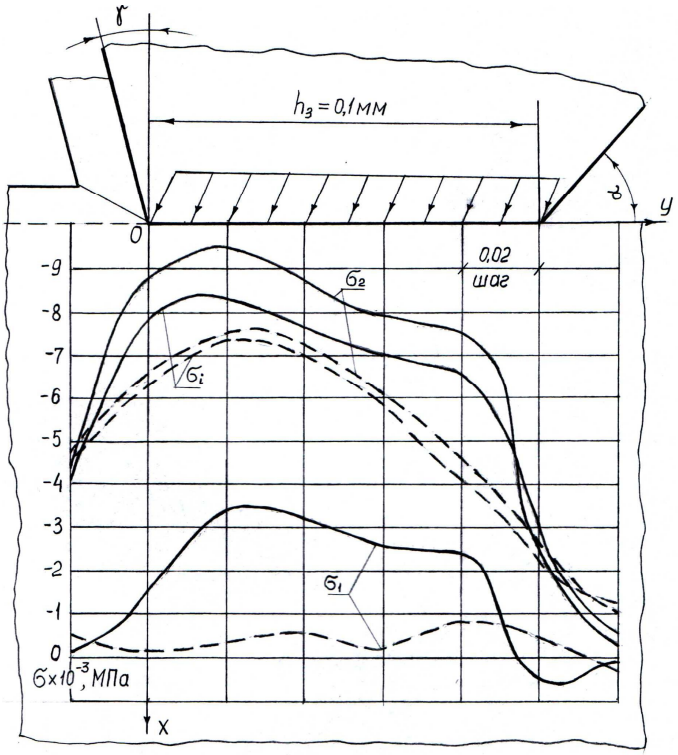
$$\sigma_i = f(\varepsilon_i). \qquad (1)$$

Скрытую энергию U_s деформации можно определить из диаграммы деформирования, предварительно выполнив ее схематизацию, например, с линейным упрочнением, по формуле

$$U_S = \frac{(\sigma_i - \sigma_T)^2 (E - E')}{2E \cdot E'}, \qquad (2)$$

где $\sigma_т$ – предел текучести обрабатываемого материала, МПа; E – модуль упругости, МПа; E' - модуль деформации (пластичности).

Таким образом, зная механические характеристики материала $\sigma_т$, E и E', а так же интенсивность напряжений σ_i, можно рассчитать удельную скрытую энергию деформации U_S. Причем, интенсивность напряжений определяют в зависимости от вида напряженного состояния, характер изменения которого показан на рис. 1, и характеризует процесс лезвийной обработки твердых сплавов.



_____ на глубине x = 0,1 мм; ------- на глубине x = 0,4 мм.

Рисунок 1 – Изменение интенсивности напряжений σ_i и главных напряжений σ_1 и σ_2 в подповерхностном слое x (мм) изделия от действия сил резания при обработке твердого сплава ВК15 инструментами из карбонадо с $h_з$ = 0,1 мм. (v = 20 м/мин; s = 0,04 мм/об; t = 0,2 мм)

Скрытая энергия деформации U_s, рассчитанная при точении вольфрамокобальтового твердого сплава ВК15 резцами из синтетического алмаза типа карбонадо (АСПК), составила 0,146 Дж/мм^3 на глубине поверхностного слоя x = 0,01мм при износе h_3 = 0,1 мм.

С учетом механических характеристик сплава ВК15 (E = 5,4·10^5 МПа, E' = 2,52·10^5 МПа, $\sigma_т$ = 1880 МПа) для данных условий резания и пластического деформирования при интенсивности напряжений σ_i = 5600 Н/мм^2 получено значение интенсивности тех-

нологических остаточных напряжений $\sigma_{i\ ост}$ = 1591 Н/мм^2, отличающееся от экспериментальных данных в пределах 7–12 %.

Превышение расчетных значений остаточных напряжений относительно экспериментальных объясняется тем, что они представляют интенсивность напряжений, т.е. учитывают еще и осевые напряжения.

Установлено, что и для остаточного поля напряжений выполняется первый инвариант тензора напряжений (линейный), совместное решение которого с зависимостью для интенсивности напряжений при плоском напряженном состоянии позволяет получить выражения для главных остаточных напряжений $\sigma_{1\ ост}$ и $\sigma_{2\ ост.}$

Шпара М.В., Зенкін А.С. Київський національний університет технології та дизайну, Київ, Україна

ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧА СИСТЕМА ЯКОСТІ МЕНЕДЖМЕНТУ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМНИХ МОДЕЛЕЙ

Аналіз системи управління машинобудівних і приладобудівних підприємств показує, що однією з найгостріших проблем таких підприємств є проблема доведення якості і собівартості виробів, що випускаються до рівня світових виробників, що вирішується шляхом впровадження сучасної системи менеджменту якості. У теж час аналіз показує, що створення формальної системи менеджменту якості, на жаль не дозволяє вирішити цю проблему. Для цих цілей необхідна системна інтеграція бізнес-процесів менеджменту якості в структурі основних, допоміжних і керуючих бізнес-процесів підприємства та подальше підвищення ефективності підприємств шляхом застосуванням процессного підходу до менеджменту.

Аналіз літератури показує, що якщо в даний час визначені й описані основні бізнес- процеси, пов'язані з виробництвом і іншими етапами життєвого циклу продукції, то бізнес-процеси менеджменту якості розроблені недостатньо. Як стверджують дослідники, незважаючи на наявність вимог до менеджменту якості, вони «в основному визначають принципи системи управління, але не показу-

ють шляхів їх реалізації, так само, як не обумовлюють вимог до продукції і послуг».

Проведені дослідження на кафедрі метрології, стандартизації та сертифікації Київського національного університету технології та дизайну (КНУТД) показали, що на певному етапі свого розвитку на підприємстві бізнес-процес менеджменту якості переходить у нову якість, що дозволяє оцінювати якість системи управління підприємством, тобто стає бізнес- процесом забезпечення якості менеджменту.

Слід зазначити,що проблема розробки в явному вигляді моделей бізнес-процесу якості менеджменту відрізняється складністю і має ряд особливостей, перш за все: рішення проблеми пов'язане із задоволенням вимог, що накладаються специфікою процессного підходу до менеджменту цього підприємства, а моделі бізнес- процессу повинні задовольняти специфічним вимогам предметної області. На жаль, в даний час на провідних машинобудівних підприємствах України не визначені в явному виглядіумови переходу від менеджменту якості до якості менеджменту.

Проведені в 2012–2013 роках на кафедрі КНУТД дослідження, ставимо на меті розробку системних моделей якості менеджменту стосовно до машинобудівним підприємствах, що випускають складну техніку, на основі аналізу його бізнес- процесів за критеріями ефективності. У роботі вирішуються такі завдання:

Дослідити і застосувати підходи до системної інтеграції менеджменту якості в структурі основних, допоміжних і керуючих бізнес- процесів підприємства.

Розробити та обгрунтувати показники структурної ефективності і ступеня автоматизації документообігу основних,допоміжних і керуючих бізнес- процесів як об'єкта управління при забезпеченні якості менеджменту для його формалізації.

В результаті досліджень запропоновані і обгрунтовані показники структурної ефективності і ступеня автоматизації документообігу основних, допоміжних і керуючих бізнес- процесів як об'єкта управління при забезпеченні якості менеджменту для його формалізації. При проведенні теоретичних та експериментальних дослідженнях особливу увагу було приділено створенню методики управління структурами бізнес-процесів для підвищення якості на основі критерію їх організованості та показника ступеня автоматизації їх документування.

Було запропоновано новее використання відомого показника структурної організованості для оцінки ступеня формалізації бізнес-процесів при забезпеченні якості управління ними з використанням системних моделей.

Таким чином, проведені дослідження показали, що системний аналіз специфіки процессного підходу до менеджменту і структур бізнес-процесів підприємства дозволив визначити умови структурної інтеграції бізнес-процесів менеджменту якості та основних, допоміжних і керуючих бізнес-процесів стосовно підприємств машинобудування, які полягають в: високого ступеня формалізації бізнес-процесів підприємства; використанні SADT для структурного моделювання бізнес-процесів; наявності параметрів для оцінки якості менеджменту; інтеграції в єдиному інформаційному просторі.

Література

1. Механізм формування покращення резервів якості продукції на машинобудівних підприємствах:монографія. – Черкаси: Вид. від. ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2011. – 288 с.

2. Менеджмент якості функціонування підприємств / О.І. Ковальов, А.С. Зенкін, А.І. Хімічева. – Хмельницький: ПП ЦЮПАК, 2010. – 520 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Александров О. И., Свирский Д. Н., Жуковская Т. Е.
ОПТИМАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ РЕМОНТОВ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ 3

Акулович Л.М., Ермашкевич Д.Б.
АВТОМАТИЗАЦИЯ СКВОЗНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ 5

Андреев Н.С.
ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПО ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ 8

Анкуда С.Н., Хейфец И.М.
СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ В РЕМОНТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ, ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НА ТРАНСПОРТЕ 10

Антонюк В.С., Коваленко Ю.И., Бондаренко М.А.
ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ ОПТИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ 13

Антонюк В.С., Мережаный Ю.Г., Паткевич О.И.
АВТОМАТИЗОВАНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА МИКРОКЛИМАТА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ 17

Барандич К.С., Вислоух С.П.
ЗВ'ЯЗОК МІЖ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ УМОВАМИ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ТА ГРАНИЦЕЮ ВИТРИВАЛОСТІ ДЕТАЛЕЙ 22

Белоусов Ю.В.
ОСНОВЫ ПРЕЦИЗИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДУГОВОГО СПОСОБА СВАРКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ВРЕМЕНИ 23

Божидарнік В.В., Добровольська Л.Н.
МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ НА ТРІЩИНОСТІЙКІСТЬ АНІЗОТРОПНИХ МАТЕРІАЛІВ З ТРІЩИНАМИ 27

Бородин В.В., Щербинин А.В., Бердников А.А., Безносков Д.В.
ПЛАЗМЕННАЯ ЗАКАЛКА ВАЛКОВ ДЛЯ ПРОКАТКИ ХРЕБТОВОЙ БАЛКИ Z310 29

Васильев А.С., Хейфец М.Л., Гайко В.А., ПозыловаН.М.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ НАСЛЕДОВАНИЕМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ МАШИН 30

Виговський Г.М., Сироїд Є.С.
ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕСУ ВИСОКОШВИДКІСНОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ 34

Волкогон В.М., Горбань В.Ф., Федоран Ю.О., Аврамчук С.К., Кравчук А.В.
ФОРМУВАННЯ МІКРОМЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПНТМ ПРИ СПІКАННІ НАНОСТРУКТУРНИХ ПОРОШКІВ ВЮРЦИТНОГО НІТРИДУ БОРУ 37

Горанский Г.Г., Жорник В.И., Поболь А.И.
ИМПУЛЬСНОЕ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЕ СПЕКАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ ОТХОДОВ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ 40

Горанский Г.Г., Кункевич Д.П., Поболь А.И.
О ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО СПЕКАНИЯ ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ WC 43

Григор'єва Н.С.
МОДУЛЬНЕ СКЛАДАЛЬНЕ МАШИНОБУДІВНЕ ВИРОБНИЦТВО 45

Гуцаленко Ю.Г.
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ИЗНОСА КРУГОВ С ПОВЫШЕНИЕМ СКОРОСТИ АЛМАЗНО-ИСКРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ 48

Гуцаленко Ю.Г., Севидова Е.К.
АЛМАЗНО-ИСКРОВОЕ ШЛИФОВАНИЕ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ 50

Добровольская Л.Н.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ ОКОЛО НЕПРЯМОЛИНЕЙНЫХ ПО ТОЛЩИНЕ ПЛАСТИН КОНТУРОВ СКВОЗНЫХ ТРЕЩИН 53

Девин Л.Н., Осадчий А.А., Назарчук С.Н., Гончар В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЕМПФИРУЮЩИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОКОМПОЗИТОВ АЛМАЗ-КАРБИД ВОЛЬФРАМА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ СПЕКАНИЯ 55

Девин Л.Н., Стахнив Н.Е., Нечипоренко В.Н., Ермаков М.С.
ВЛИЯНИЯ ИЗНОСА РЕЗЦА ИЗ КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ КНБ НА ВЕРОЯТНОСТЬ ЕГО РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ЧИСТОВОМ ТОЧЕНИИ 58

Домуладжанов И.Х., Мамадалиев А.У., Неъматуллаев М.Т., Мухамадалиев Д.Ф., Максудов С.С.
ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ СТРОИТЕЛЬСТВА УСТАНОВКИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ МЕШКОВ НА ОАО «FERG'ANAAZOT» 61

Жук В.В.
НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ ПУБЛИЧНОГО АО «ФИРМА СЭЛМА» В ОБЛАСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ И МЕХАНИЗАЦИИ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ 66

Зяхор И.В., Завертанный М.С.
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ ТРЕНИЕМ РОТОРОВ ТУРБОКОМПРЕСОРОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ 68

Ивашко В.С., Буйкус К.В., Хейфиц М.Л., Клименко С.А.
ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ НИКЕЛЬХРОМОВЫХ ПОКРЫТИЙ 70

Ивашко В.С., Комаровская Д.И., Лойко В.А.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ РЕМОНТЕ УЗЛОВ 73

Ильиных С.А., Пономаренко А.А., Крашанинин В.А., Гельчинский Б.Р.
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ СИСТЕМЫ Al-Ti-Ni 76

Кабанов А.А.
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ДИСКРЕТНОГО МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ СЕТЕВОГО И ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ 78

Калашников И.Е., Колмаков А.Г., Болотова Л.К., Быков П.А., Клименко С.А., Копейкина М.Ю., Хейфец М.Л.
ИЗНОСОСТОЙКИЕ АЛЮМОМАТРИЧНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ 81

Кирнос И.В., Чусов С.А., Ильиных С.А., Гельчинский Б.Р., Крашанинин В.А., Чачин А.И.
РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ СВЕРХЗВУКОВОГО НАПЫЛЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ 83

Клименко С.А., Копейкина М.Ю., Рощупкин В.В., Ляховицкий М.М., Курьята П.В.
СОЗДАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРХТВЕРДЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ cBN 86

Клименко С.Ан., Манохин А.С., Задорожний С.А.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ КОНТАКТА СТРУЖКИ С ПРЕДНЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ ПСТМ НА ОСНОВЕ КНБ 89

Комарова А.Л., Федченко И.И.
МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАТРАТ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МАШИНОСТРОЕНИЯ 92

Копылов В.И., Антоненко Д.А.
ПРОЧНОСТЬ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ МНОГОФАЗНОЙ СТРУКТУРЫ 94

Корж В.М., Попіль Ю.С.
РІЗАННЯ МЕТАЛУ КОМБІНОВАНИМИ ГАЗОТЕРМІЧНИМИ МЕТОДАМИ 95

Кривощеков В.Е.
МЕЖКУЛЬТУРНЫЕ КОММУНИКАЦИИ – ВОТ ПРОБЛЕМА В МАШИНОСТРОЕНИИ И НА ТРАНСПОРТЕ УКРАИНЫ 98

Кудряшов Б.А., Фатюхин Д.С.
ПОЛУЧЕНИЕ ЗАДАННЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ СПОСОБОМ АЗОТИРОВАНИЯ С ПОСЛЕДУЮЩИМ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ППД 101

Курілович В.Д., Філатов Ю.Д., Ковальов В.А., Данильченко М.А.
ЕФЕКТИВНІСТЬ ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ ІНСТРУМЕНТОМ ІЗ АЛМАЗНО-ПОЛІМЕРНОГО ВОЛОКНА 104

Куць Н.Г.
ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ СЛОИСТЫХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СРЕД И ИХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА 106

Лавріненко В.І., Дєвицький О.А., Кухаренко С.А., Солод В.Ю., Шевченко В.О.
ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ВИНИКНЕННЯ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕРМОЕРС ПРИ ШЛІФУВАННІ СТАЛЕВОГО ІНСТРУМЕНТУ КРУГАМИ ІЗ МЕТАЛІЗОВАНИМ СКЛОПОКРИТТЯМ ЗЕРЕН КНБ 109

Лавріненко В.І., Дєвицький О.А., Полторацький В.Г., Бочечка О.О., Солод В.Ю., Шляхта Р.В.
ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ВИНИКНЕННЯ ЕЛЕКТРИЗАЦІЇ ПРИ ШЛІФУВАННІ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ІНСТРУМЕНТУ КРУГАМИ ІЗ ВВЕДЕННЯМ В РОБОЧИЙ ШАР ЗЕРНИСТИХ КОМПАКТІВ З КНБ 111

Лавріненко В.І., Ситник Б.В., Полторацький В.Г., Черних В.П., Солод В.Ю.
ЗЕРНИСТІ КОМПАКТИ НА ОСНОВІ МІКРОПОРОШКІВ КНБ, ОТРИМАНІ ПРИ НИЗЬКИХ ТИСКАХ 114

Лавріненко В.І., Ситник Б.В., Полторацький В.Г., Черних В.П., Солод В.Ю.
ЗЕРНИСТІ КОМПАКТИ НА ОСНОВІ МІКРОПОРОШКІВ КНБ В СТРУКТУРІ РОБОЧОГО ШАРУ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОГО ІНСТРУМЕНТА 115

Лапіга О.С., Вислоух С.П.
ВИКОРИСТАННЯ ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ ДЛЯ ОПИСУ ДАНИХ ПРИ АВТОМАТИЗОВАНОМУ ПРОЕКТУВАННІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ 118

Лендел Ю.Ю., Пилипко В.И., Лендел В.И., Мудранинец И.Ф.
РАЗВИТИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ НА ПАО «ИЛЬНИЦКИЙ ЗАВОД МСО» 120

Лесная О.С., Фатюхин Д.С.
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МОЩНОГО УЛЬТРАЗВУКА ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ИЗНОШЕННЫХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ШИН 129

Ливанский А.Н., Сундуков С.К.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА ПРОЦЕСС ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ЖИДКОСТЕЙ 131

Лойко В.А., Саранцев В.В.
АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПАР ДИЗЕЛЬНОЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ 134

Лопата Л.А., Корж В.Н., Волков Ю.В., Николайчук В.Я.
УПРОЧНЕНИЕ НИКЕЛЬ-ХРОМОВЫХ СПЛАВОВ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫМ ПРИПЕКАНИЕМ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОРОШКОВ СИСТЕМЫ ($NiCr-Cr_3C_2$) 136

Лужнов Ю.М., Иванов А.Ю.
РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ПРИРОДЕ ФРИКЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОЛЁС С РЕЛЬСАМИ КАК ОСНОВА ДАЛЬНЕЙШЕГО УЛУЧШЕНИЯ ИХ РАБОТЫ 140

Ляшенко Б.А., Калініченко В.І., Марчук В.Є.
ВПЛИВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ПОВЕРХОНЬ З ДИСКРЕТНО-ОРІЄНТОВАНОЮ СТРУКТУРОЮ 142

Ляшенко Б.А., Мірненко В.І., Лапач С.М., Радько О.В.
ОЦІНКА ВПЛИВУ ВІДТВОРЮВАНОСТІ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ НА НАДІЙНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ 145

Ляшенко Б.А., Рутковский А.В., Кумуржи А.Ю.
ПОВЫШЕНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СТАЛИ 40Х13 МЕТОДОМ ВАКУУМНОГО ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОГО АЗОТИРОВАНИЯ 147

Мановицкий А.С.
ШЕРОХОВАТОСТЬ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ ЗАКАЛЕННОЙ СТАЛИ ШХ15 КРУГЛЫМИ РЕЖУЩИМИ ПЛАСТИНАМИ ИЗ КИБОРИТА 149

Маслаков С.В., Богданович Д.В., Безгодков А.П., Сокольский В.И., Титаренко В.И., Лантух В.Н.
РАБОТА НАД ПОВЫШЕНИЕМ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАПЛАВОЧНЫХ РАБОТ НА ОАО «СТОЙЛЕНСКИЙ ГОК» 156

Мельник В.Е., Стрижаков В.Л.
ТЕХНОЛОГИЯ ПЛАТОХОНИНГОВАНИЯ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ ДВС И ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ 164

Мірненко В.І., Лапач С.М.
ОЦІНКА ВПЛИВУ ВІДТВОРЮВАНОСТІ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ НА НАДІЙНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ 166

Мірненко В.І., Рутковський А.В., Ткач М.Я.
СПОСІБ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ ЗАМКОВИХ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНМ ВАКУУМНИМ ІОННО-ПЛАЗМОВИМ АЗОТУВАННЯМ У ПУЛЬСУЮЧОМУ ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ 169

Молчанов В.И.
КОНСТРУИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЧЕРВЯЧНЫХ КОЛЁС ИЗ КАПРОЛОНА ДЛЯ ПРИВОДОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ И ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН 170

Нигметзянов Р.И., Сенин А.Н.
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ АЛЮМИНИЯ 172

Новиков Н.В., Клименко С.А.
НАНОМАТЕРИАЛЫ В ТЕХНОЛОГИЯХ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ 175

Нос А.О., Рижов Ю.Е.
МОЖЛИВОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ЗА ДОПОМОГОЮ КАРТ АДАПТАЦІЇ СТРУКТУР ЇХ МАТЕРІАЛІВ ДО ЗОВНІШНЬОГО ВПЛИВУ 177

Ночвай В.М., Кундельський Я.А., Храпійчук Д.С., Кулікова О.І., Полонський Л.Г., Яновський В.А.
ВИПРОБУВАННЯ ОБРОБЛЕНИХ ПОКРИТТІВ НА СТІЙКІСТЬ ПРОТИ СПРАЦЮВАННЯ 179

Оборский И.Л., Зенкин А.С., Мусиал Я.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОДУЛЯ ДЛЯ СОВМЕЩЕНИЯ БАНДАЖА С ЦЕНТРОМ КОЛЕСНЫМ ПРИ СБОРКЕ СПОСОБОМ СКТС 182

Оборский И.Л., Зенкин А.С., Тарновски Ю.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ СОВМЕЩЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ С ВРЕМЕННЫМ ЗАЗОРОМ ПРИ СБОРКЕ СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ ТЕРМИЧЕСКИМИ СПОСОБАМИ 184

Поликарпов А.А., Федин С.С.
НОРМАТИВНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКИ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ БЕЗОПАСНОСТИ 187

Посвятенко Е.К., Посвятенко Н.І., Аксьом П.А.
ОСНОВНИЙ НАПРЯМОК ПІДВИЩЕННЯ ОБРОБЛЮВАНОСТІ АУСТЕНІТНИХ СТАЛЕЙ 189

Приходько В.М., Юдаков Е.Г.
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОЧИСТКИ ОТВЕРСТИЙ 193

Путятина Л.И.
ПРИМЕНЕНИЕ ВИБРОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА 195

Рощупкин В.В., Ляховицкий М.М., Покрасин М.А., Минина Н.А., Чернов А.И., Соболь Н.Л., Кольцов А.Г., Копейкина М.Ю.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛИ Р6М5 197

Руднева Л.Ю.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ ВЫСОКОТОЧНЫХ АГРЕГАТОВ 201

Рябченко С.В.
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ЭФФЕКТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ ШЛИФОВАНИЯ 209

Сенють В.Т., Ржецкий В.А., Парницкий А.М., Хейфец М.Л., Маркова Л.М., Гамзелева Т.В.
СВЕРХТВЕРДЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ АЛМАЗОВ ПОСЛЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ КРЕМНИЕМ 211

Соловых Е.К.Борисов Ю.С., Ляшенко Б.А., Кобзарь С.Г.
ТРАНЗИТНЫЙ ТЕПЛОВОЙ ПОТОК ПРИ ПЛАЗМЕННОМ НАПЫЛЕНИИ ПОКРЫТИЙ 213

Степчин Я.А.
ОЦІНКА ДИНАМІЧНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ ПРОЦЕСУ ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ ЗА МАТЕМАТИЧНОЮ МОДЕЛЛЮ 216

Струтинський В.Б., Юрчишин О.Я.
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЮФТОВИХ ЗЄДНАНЬ В СИСТЕМІ ОПИРАННЯ ЗАГОТОВКИ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН 218

Студент М.М., Голякевич А.А., Упир В.М.
АБРАЗИВНА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ НАПЛАВЛЕНИХ ШАРІВ ІЗ ПОРОШКОВИХ ДРОТІВ 219

Тимофеев С.С., Дёмин А.Ю.
ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ 220

Тимофеева Л.А., Дёмин А.Ю.
ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА ВОССТАНОВЛЕННЫХ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ 222

Тимофеева Л.А., Ягодинский Е.С.
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ 224

Титаренко В.И., Лантух В.Н.
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАПЛАВОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПУТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕГО УНИВЕРСАЛЬНОСТИ 226

Тітов В. А., Тітов А.В.
ОСОБЛИВОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ ВИРОБІВ З ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ 237

Филатов А.Ю., Пащенко Е.А., Сидорко В.И.
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРЕЦИЗИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ОПТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ 239

Филоненко С.Ф., Нимченко Т.В.
ЗАКОНОМЕРНОСТИ СКОРОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ ИЗНОСА ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗ КОМПОЗИТОВ 241

Харламов Ю.А., *Али Аднан Мансур Аль-Джевахери*
ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ СВАРКИ И ОБРАБОТКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ 245

Харламов Ю.А., *Харламов М.Ю.*
МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ОСАЖДЕННЫХ ЧАСТИЦ В ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ 248

Хейфец М.Л.
ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУР МАТЕРИАЛА В ПРОЦЕССАХ ИНТЕНСИВНОЙ ОБРАБОТКИ 252

Цеханов Ю.А.
АНАЛИЗ МЕХАНИКИ РЕЗАНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ПОДОБИЯ И РАЗМЕРНОСТЕЙ 255

Шабайкович В.А.
СОБИРАЕМОСТЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН 257

Шаферовский В.А.
ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ С ПРОГРАММИРОВАНИЕМ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ КАССЕТ 260

Шепелєв А.О., Сороченко В.Г, Головко Л.Ф.
ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМОВЕ ТЕРМОДЕФОРМАЦІЙНЕ СПІКАННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ КОМПОЗИТІВ ІЗ НТМ 262

Шепелев А.А., Сороченко В.Г., Шепелев А.А. (мл.), Головко Л.Ф.
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ИНСТРУМЕНТАМИ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ 265

Шин И.Г., Шодмонкулов З.А., Муминов М.Р., Назаров С.Р.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ ППД ДЕТАЛЕЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ НАГРУЗКИ, РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПО «ПОЛУШАРУ» 267

Шин И.Г., Шодмонкулов З.А., Назаров С.Р., Нуруллаева Х.Т.
УРОВЕНЬ УДЕЛЬНОЙ ЗАПАСЕННОЙ ЭНЕРГИИ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПОВЕРХНОСТНО-ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ ДЕТАЛЕЙ 270

Шодмонкулов З.А., Назаров С.Р., Шин И.Г.
РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ТВЕРДЫХ СПЛАВАХ ПО СХЕМАТИЗИРОВАННОЙ ДИАГРАММЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ 273

Шпара М.В., Зенкін А.С.
ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧА СИСТЕМА ЯКОСТІ МЕНЕДЖМЕНТУ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМНИХ МОДЕЛЕЙ 275

Уважаемые коллеги!
Всеукраинская общественная организация
Ассоциация технологов-машиностроителей Украины в 2014 г. проводит:

24-28 февраля 2014 г.
14-й Международный научно-технический семинар
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА И РЕМОНТА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НА ТРАНСПОРТЕ» (М14-1)
(г. Свалява, Карпаты)

Тематика семинара

- Современные тенденции развития технологии машиностроения
- Подготовка производства как основа создания конкурентоспособной продукции
- Состояние и перспективы развития заготовительного производства
- Совершенствование технологий механической и физико-технической обработки трения деталей машин
- Упрочняющие технологии и покрытия
- Современные технологии и оборудование в сборочном и сварочном производстве
- Ремонт и восстановление деталей машин в промышленности и на транспорте, оборудование для изготовления, ремонта и восстановления
- Технологическое управление качеством и эксплуатационными свойствами изделий
- Технический контроль и диагностика в машино- и приборостроении
- Экологические проблемы и их решения в современном производстве

02–06 июня 2014 г.
14-ю Международную научно-техническую конференцию
«ИНЖЕНЕРИЯ ПОВЕРХНОСТИ И РЕНОВАЦИЯ ИЗДЕЛИЙ» (М14-2)
(г. Ялта, Крым)

Тематика конференции

- Научные основы инженерии поверхности:

материаловедение; физико-химическая механика материалов; физикохимия контактного взаимодействия; износо- и коррозионная стойкость, прочность поверхностного слоя; функциональные покрытия и поверхности

- Трение, износ и смазка в машинах
- Технологическое управление качеством и эксплуатационными свойствами деталей машин
- Технология ремонта машин, восстановления и упрочнения деталей
- Метрологическое обеспечение ремонтного производства
- Экология ремонтно-восстановительных работ

В рамках конференции проводится практический семинар
«Сварка, наплавка и другие реновационные технологии на предприятиях горнометаллургической и машиностроительной промышленности»
Тематика семинара:

- Сварка при изготовлении и ремонте деталей: оборудование, материалы, технологии
- Наплавка при восстановлении и упрочнении деталей: оборудование, материалы, технологии
- Родственные реновационные процессы: оборудование, материалы, технологии

29 сентября–03 октября 2014 г.
14-ю Международную научно-практическую конференцию с действующими семинарами
«КАЧЕСТВО, СТАНДАРТИЗАЦИЯ, КОНТРОЛЬ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА»
(КСК-14) (г. Ялта, Крым)

Тематика конференции

- Построение национальных систем технического регулирования в условиях членства в ВТО и ЕС: теория и практика
- Процессно-ориентированные интегрированные системы управления: теория и практика
- Стандартизация, сертификация, управление качеством в промышленности, электроэнергетике, сельском хозяйстве и сфере услуг
- Внедрение стандартов ДСТУ 9001:2009 в высших учебных заведениях, медицинских учреждениях и органах государственной службы
- Метрологическое обеспечение и контроль качества продукции в промышленности, электроэнергетике, сельском хозяйстве и сфере услуг
- Обеспечение качества и конкурентоспособности продукции (услуг) на внутреннем и внешнем рынке
- Внедрение информационных технологий в процессы адаптации, сертификации и управления качеством
- Проблемы гармонизации законодательной и нормативно-технической документации

Сентябрь 2014 г.
Одесский национальный политехнический университет
совместно с АТМ Украины проводит
Международную научно-практическую конференцию
«НОВЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ”
(г. Одесса, ОНПУ)

Тематика конференции

- Перспективные технологии и производственные процессы будущего.
- Пути экономии материальных ресурсов и энергоресурсов при изготовлении машин.
- Микро- и нанотехнологии в машиностроении
- Высокоэффективные технологии комбинированной обработки.
- Высокопроизводительные инструменты в металлообработке.
- Современные ресурсосберегающие технологии.
- Пути автоматизации технологических процессов в машиностроении.
- Адаптивные и интеллектуальные системы управления производственными процессами.
- Экологоэнергетические нетрадиционные технологии и их продвижение в технику.
- Методические вопросы высшего образования в области новых технологий.

По вопросам участия в мероприятиях обращаться по адресу:
04074, г. Киев, ул. Автозаводская, 2. АТМ Украины.
Тел. /Факс +38-044-430-85-00, www.atmu.net.ua, www.atmu.org.ua
E-mail: **atmu@ism.kiev.ua, kopeykina@voliacable.com**, **atmu@meta.ua**

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА И РЕМОНТА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НА ТРАНСПОРТЕ

Материалы 14-го Международного научно-технического семинара,
24–28 февраля 2014 г., г. Свалява, Карпаты

Редактор Копейкина М.Ю.

Подписано в печать 08.02.2014
Формат 60×84×1/16. Бумага типографская
Печать офсетная. Уч. изд. л. 22.
Тираж 150 экз.

Ассоциация технологов-машиностроителей Украины
04074, г. Киев, ул. Автозаводская, 2