Министерство образования и науки Украины
Одесский национальный политехнический университет
Одесская государственная академия холода
Инженерная Академия Украины
УкрНИИстанков и приборов
Академия инженерных наук Украины
Академия технологических наук Украины
Ассоциация технологов-машиностроителей Украины
Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины
ГП «Одессастандартметрология»
ОАО "Микрон"
ОАО "Одесский кабельный завод"
Кафедра ЮНЕСКО «Интеллектуальное моделирование и адаптация нетрадиционных технологий к проблемам перспективного обучения и общественного прогресса»

НОВЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ

Материалы научно-технической конференции
(22–24 сентября 2014 г., г. Одесса)

Киев – 2014

Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: материалы научно-технической конференции, 22–24 сентября 2014 г., г. Одесса. – Киев: АТМ Украины, 2014. – 176 с.

Тематика конференции

1. Перспективные технологии и производственные процессы будущего.
2. Пути экономии материальных ресурсов и энергоресурсов при изготовлении машин.
3. Микро- и нанотехнологии в машиностроении.
4. Высокоэффективные технологии комбинированной обработки.
5. Высокопроизводительные инструменты в металлообработке.
6. Современные ресурсосберегающие технологии.
7. Пути автоматизации технологических процессов в машиностроении.
8. Адаптивные и интеллектуальные системы управления производственными процессами.
9. Экологоэнергетические нетрадиционные технологии и их продвижение в технику.
10. Методические вопросы высшего образования в области новых технологий.

Материалы представлены в авторской редакции

© АТМ Украины,
2014 г.

Акрабов Г.Г., Пчелинский С.В. Одесская железная дорога,
Тихенко В.Н. Одесский национальный
политехнический университет, Одесса, Украина

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КРАНОВЫХ БУКС

Для перемещения рельсоколесных кранов используются ходовые тележки с буксами. Буксы крановые – это корпусные детали, предназначенные для установки в них подшипников крановых колес и соединяющие ходовую тележку крана с колесом. Конструктивно букса имеет форму полукольца с четырьмя отверстиями для крепления болтами к ходовой тележке. Это позволяет свести к минимуму простой кранов при их техническом обслуживании и замене крановых колес, так как достаточно немного приподнять крановую тележку и выкатить колеса в сборе с осью. Габаритные размеры буксы: наружный диаметр 300 мм, внутренний – 230 мм, ширина 100 мм. Отсутствие централизованного изготовления запасных частей вынуждает изготавливать буксы индивидуально при ремонте ходовых частей кранов. Однако при формообразовании поверхностей буксы из цельной заготовки значительная часть металла уходит в мелкую стружку. Для ремонтных целей заказывать заготовки в виде отливок экономически невыгодно. Поэтому был выбран вариант изготовления букс из доступных материалов. Из листовой стали толщиной 16 мм методом газовой резки вырезались круглые заготовки (кольца), у которых фрезеровались боковые стороны до толщины 13 мм. Наружный и внутренний диаметры обрабатывались на токарном станке со снятием фасок под сварочные швы. Затем поочередно заготовки сваривались дуговой электросваркой между собой. Полученная сварная заготовка (из 8 колец) после токарной обработки до требуемых диаметральных размеров распиливалась пополам. После этого на заготовке обрабатывались канавки, поверхности и отверстия под крепеж.

При сварке металла структура переходных зон, а во многих случаях и наплавленного металла в целом либо в отдельных его частях, может быть неудовлетворительной по характеристикам твердости, прочности, обрабатываемости, коррозионной стойкости и др. В настоящее время в случае потребности в улучшении переходных зон по всей ширине сварного соединения используется способ местной термообработки. Однако, для этого необходимо

наличие термических печей или других сложных устройств для подогрева, причем затрачивается значительное количество тепла при соответствующей мощности устройства в течении длительного времени. Кроме того, необходимо иметь квалифицированный персонал, обслуживающий эти операции.

Для улучшения обрабатываемости заготовок, получаемых методом сварки, был использован способ, предложенный Кузмаком Е.М. и Курдиным А.И. еще в СССР, при котором ток от отдельного источника пропускается через свариваемые соединения во время сварочного процесса или непосредственно после него (пока металл еще не остыл).

Известно, что масса металла (детали, заготовки) нагревается за счет тепловой энергии электрического тока, протекающего по нему и преодолевающего электрическое сопротивление, оказываемое этим металлом, вследствие чего в последнем выделяется тепловая энергия, которая количественно определяется по закону Джоуля-Ленца.

Было установлено, что распределение электрического тока по сечению металла не является равномерным, а происходит в соответствии с микропроводимостью отдельных фаз (причем по границам фаз имеются места уплотнения тока). Вследствие этого при небольшом среднем нагреве металла отдельные его микроточки нагреваются до температуры достаточной для протекания фазовых превращений и образования наиболее желательной для последующей обработки металла резанием структуры кристаллической решетки и размеров зерна или микроструктуры заготовки. Следовательно, при прохождении через сварной шов электрического тока происходит распад твердых составляющих или их сильное измельчение.

Т.о., сущность рассмотренного способа сводится к улучшению структуры переходных зон, образующихся при сварке металлов, в частности по границам фаз. Способ является весьма эффективным, так как не требует больших режимов тока и может быть осуществлен простыми средствами. Значительно снижается необходимое на нагрев количество тепла и мощность источника тока. Существенно уменьшается время термообработки (до нескольких минут).

Для целей обработки может быть применен как постоянный, так и переменный токи. Переменный ток может быть как промышленной частоты (50 Гц), так и других частот. При этом конструкция электрического аппарата для пропускания вспомогательного тока является достаточно простой.

В общем случае он представляет собой источник тока пониженного напряжения в виде сварочного трансформатора, снабженного гибкими подводящими кабелями. На конце кабелей закрепляются контакты для подвода тока. Сами контакты могут быть разнообразных форм и размеров (плоские, в виде роликов и др.) из различных материалов (металл, уголь и др.) в зависимости от режима тока и форм изделий, подлежащих обработке. Контакты устанавливаются на заготовке таким образом, чтобы обеспечить прохождение тока через сварной шов и переходные зоны.

В отдельных случаях можно использовать для пропускания вспомогательного тока существующие сварочные аппараты, как для дуговой, так и для контактной сварки. Таким образом, использование в процессе сварки дополнительного нагрева не требует устройства термопечей и других сложных устройств, что приводит к экономии энергоресурсов. Применение заготовок, состоящих из сварных элементов, позволило снизить износ режущих инструментов, повысить производительность обработки букс.

Рассмотренная технология изготовления букс была успешно использована на Одесской железной дороге при ремонте электрокозлового крана.

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

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Приступая к построению статистической модели, исследователь обычно имеет начальные представления о том, как влияют изучаемые факторы на выходные параметры технологических процессов.

При выборе вида модели обычно заранее определяют, допустимо ли представлять функцию отклика линейной или заведомо известно, что технологические зависимости являются немонотонными. В области, где функция отклика имеет экстремум, предположение о линейном характере модели, скорее всего, не будет подтверждено. Если в дальнейшем потребуется, могут быть проведе-

ны дополнительные опыты по уточнению вида модели. При этом результаты первой серии опытов не пропадают и используются в полной мере для построения нелинейной модели.

При планировании экспериментов исходный этап включает определение основного уровня факторов и выбор интервалов их варьирования с учетом области действия разрабатываемой модели, предполагаемого характера поверхности отклика и вероятной погрешности определения параметров, а также точности фиксирования принятых уровней факторов. Чем больше погрешность опытов и ниже точность поддержания факторов, тем шире должны быть приняты их интервалы варьирования.

При разработке линейной модели, ограничиваются обычно варьированием факторов на двух уровнях. Для проведения *полного факторного эксперимента* (ПФЭ) при k факторах необходимо осуществить $N=2^k$ опытов со всевозможными сочетаниями двух $(x=-1$ и $x=+1)$ уровней факторов.

Матрица планирования ПФЭ 2^3 получается повторением матрицы ПФЭ 2^2 для факторов x_1 и x_2 при $x_3=-1$ и $x_3=+1$.

Аналогичным образом могут быть построены матрицы планирования с большим числом факторов, однако при этом число опытов быстро растет и при $k\geq5$ становится весьма значительным. При этом количество опытов (2^k) намного превышает число неизвестных коэффициентов регрессии $(k+1)$ линейной модели.

Для построения трехфакторной модели необходимо определить четыре коэффициента (b_0, b_1, b_2, b_3), поэтому достаточно всего четырех опытов и можно воспользоваться *дробным факторным экспериментом* (ДФЭ) - половиной ПФЭ 2^3, называемой *полурепликой* 2^{3-1} . Для этого надо выбрать из опытов, матрицы ПФЭ 2^3, такие, в которых бы факторы x_1, x_2, x_3, равномерно принимали все возможные значения. Если воспользоваться генерирующим соотношением, $x_3=+x_1x_2$ (или $x_3=-x_1x_2$), то можно получить две антисимметричные экономные матрицы ДФЭ, одинаково пригодные для построения модели 2^{3-1}.

Аналогичным образом могут быть построены полуреплики, четверть реплики, и реплики более высокой дробности ПФЭ 2^k, что дает существенную экономию количества опытов.

Так, для k = 6 ПФЭ требует проведения 2^6=64 опытов. Однако для определения 7 коэффициентов линейного уравнения регрессии задачу можно решать, проведя всего 8 опытов, т.е. осуществив

ДФЭ 2^{6-3} в котором реплика дробности 1/8. Рекомендуемыми генерирующими соотношениями при этом могут быть $x_4 = x_1x_2x_3$, $x_5 = x_1x_2$, $x_6 = x_1x_3$ или др.

При построении нелинейной модели, учитывающей кроме линейных членов также некоторые взаимодействия (x_ix_j), в матрицу вводят дополнительные столбцы, содержащие соответствующие произведения факторов и увеличивают число опытов.

Так, планируя выявить эффекты взаимодействия факторов x_1x_2, x_2x_4, и x_2x_3 при $k=4$ можно воспользоваться восемью опытами, если для построения матрицы экспериментов воспользоваться генерирующим соотношением, например $x_4 = x_1x_2x_3$. Это позволяет найти четыре коэффициента для линейных членов(b_1, b_2, b_3, b_4,), свободный член (b_0) и три эффекта взаимодействия (b_{12}, b_{24}, b_{23}).

Условия проведения опытов задают значения факторов в столбцах x_1, x_2, x_3, x_4. Столбец x_0 заполнен знаками «+», а столбцы x_1x_2, x_2x_4, x_2x_3, образованы как произведения соответствующих столбцов и применяются при последующем вычислении коэффициентов регрессии.

Матрицы планирования экспериментов формируются таким образом, чтобы выполнить обеспечивающие простоту вычисления и оптимальные оценки коэффициентов модели требования:

Нормировки – сумма квадратов элементов каждого столбца равна числу элементов N:

$$\sum_{u=1}^{N}\left(x_n^2\right)_u = N .$$

Симметрии – сумма элементов каждого столбца равна нулю:

$$\sum_{u=1}^{N}\left(x_n\right)_u = 0 .$$

Ортогональности – сумма произведений элементов каждой пары столбцов равна нулю.

$$\sum_{u=1}^{N}\left(x_n x_m\right)_u = 0 ; \left(n, m = 1,2,...,k; n \neq m\right).$$

При выполнении этих требований все коэффициенты регрессии определяются независимо друг от друга с одинаковой погрешностью по результатам всех N опытов.

При реализации намеченных планированием экспериментов важно учитывать требования *рандомизации* опытов, т.е. проведения

опытов в однородных условиях, с одинаковой погрешностью в случайном порядке. Рандомизация проводится для того, чтобы изменения свойств материалов, характеристик оборудования, средств оснащения, установок и измерительных приборов вследствие их износа и разрушения, смены персонала и т.д. не вызывали, искажающего влияния изучаемых факторов и временного «дрейфа» параметров. Поэтому рандомизируют опыты, проводя их в случайном порядке, в отличие от нумерации в матрице планирования.

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

ПОСТРОЕНИЕ СУЩЕСТВЕННО НЕЛИНЕЙНЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

При построении статистической модели управления технологическим процессом, зная заранее, что технологические зависимости являются немонотонными и ***существенно нелинейными***, в области, где функция отклика имеет ***экстремум***, обычно используют *ортогональное* или *рототабельное* планирование экспериментов.

Для этого в уравнение модели вводят квадратичные члены второго порядка и достраивают матрицу в соответствии с планами эксперимента второго порядка. При этом расширенная матрица содержит:

- N_1 опытов в точках ДФЭ – ядро плана, из которого определяются линейные члены и их взаимодействия;
- n_0 опытов в центре плана, для оценки ошибки опытов;
- $2k$ дополнительных опытов в «звездных» точках, расположенных по координатным осям на расстоянии $\pm\alpha$.

Отсюда общее число опытов:

$$N = N_1 + n_0 + 2k$$

Число уровней варьирования фактора ($-\alpha;-1;0;+1;+\alpha$) равно 5.

Для облегчения вычислений и для того, чтобы параметры модели определялись независимо, план должен быть ***ортогональным***. Это достигается введением вместо x_i^2 нового нормализованного фактора.

$$x_i' = x_i^2 - \frac{1}{N}\sum_{u=1}^{N} x_{iu}^2 = x_i^2 - \bar{x}_i^2$$

где u – номер опыта, $\bar{x}_i^2$ - среднее значение x_i^2.

При числе факторов k=2,3,4,5, x_i' соответственно равняется 0,667;0,73;0,80;0,776. (при k=5 применяется полуреплика). Кроме того выбирается «звездное» плечо α по формуле

$$\alpha = \sqrt{0{,}5\sqrt{N_1\left(N_1 + n_0 + 2k\right)} - N_1}\ .$$

В силу ортогональности планирования все параметры нормализованной модели второго порядка определяются независимо друг от друга:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{iu} y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{iu}^2};\ b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^{N} \left(x_i x_j\right)_u y_u}{\sum_{u=1}^{N} \left(x_i x_j\right)_u^2},\ (i \neq j);$$

$$b_{ii} = \frac{\sum_{u=1}^{N} \left(x_i'\right)_u y_u}{\sum_{u=1}^{N} \left(x_i'\right)_u^2};\ b_0 = \frac{\sum_{u=1}^{N} y_u}{N} - \sum_{i=1}^{k} b_{ii}\bar{x}_i^2\ .$$

В числителях данных формул находятся суммы произведений значений отклика y_u и значений нормализованного фактора в соответствующем столбце x_{iu}, а в знаменателе – сумма квадратов значений нормализованных факторов из соответствующих столбцов.

Дисперсия оценок параметров модели находится по формулам:

$$S^2\left(b_i\right) = \frac{S_b^2}{\sum_{u=1}^{N} \left(x_i\right)_u^2};\ S^2\left(b_{ij}\right) = \frac{S_b^2}{\sum_{u=1}^{N} \left(x_i x_j\right)_u^2};$$

$$S^2\left(b_{ii}\right) = \frac{S_b^2}{\sum_{u=1}^{N} \left(x_i'\right)_u^2};\ S^2\left(b_0\right) = \frac{S_b^2}{N} + \sum_{i=1}^{k} \left(\bar{x}_i^2\right) S^2\left(b_{ii}\right)$$

Недостатком *центрального композиционного ортогонального планирования* (ЦКОП) второго порядка является то, что параметры модели определяются с различной точностью, так как у них различны дисперсии. Поэтому информация о поверхности отклика, содержащаяся в модели, полученной после реализации ЦКОП второго порядка, различна в разных направлениях факторного пространства.

Другой способ центрального композиционного планирования второго порядка, позволяет при помощи модели описывать поверхность отклики с одинаковой точностью по всем направлениям, при этом остаточные дисперсии на одинаковых расстояниях от центра плана являются равными и наименьшими из возможных. Такое планирование получило название ***рототабельного.***

При центральном композиционном рототабельном планировании (ЦКРП) значение звездного плеча определяется о формуле:

$$\alpha = \sqrt[4]{N_1}$$

где N_1 – число опытов ядра плана.

В зависимости от выбора числа опытов в центре плана обеспечивается либо так называемая *униформность*, либо *ортогональность* плана. В первом случае дисперсия предсказания сравнительно мало изменяется или совсем не изменяется в радиусе $x_n=\pm 1$ от центра плана. Для обеспечения униформности плана должно соблюдаться равенство

$$n_0 = \lambda\left(N_1 + 4\sqrt{N_1} + 4\right) - N_1 - 2k,$$

в котором λ для числа факторов k =2,3,4,5,6,7 равно соответственно 0,7844; 0,8385; 0,8705; 0,8918; 0,9070; 0,9185.

Чтобы ***рототабельный*** план был ***ортогональным***, число опытов в центре плана должно соответствовать равенству

$$n_0 = 4\sqrt{N_1} - 2k + 4,$$

полученному из предыдущего при $\lambda = 1$. Расчет по нему в некоторых случаях дает дробные значения n_0, поэтому их приходится округлять до ближайшего целого числа, нарушая при этом условия униформности. Однако эти отклонения оказываются настолько незначительными, что ими можно пренебречь.

Матрицы рототабельного униформ-планирования не ортогональны, поэтому параметры модели рассчитываются более сложным способом, чем при ортогональном планировании:

$$b_0 = d_1 \sum_{u=1}^{N} y_u - d_2 \sum_{i=1}^{k} \sum_{u=1}^{N} x_{iu}^2 y_u ;$$

$$b_i = d_3 \sum_{u=1}^{N} x_{iu} y_u ;$$

$$b_{ij} = d_4 \sum_{u=1}^{N} \left(x_i x_j\right)_u y_u \ , \ (i \neq j);$$

$$b_{ii} = d_5 \sum_{u=1}^{N} x_{iu}^2 y_u + d_6 \sum_{i=1}^{k} \sum_{u=1}^{N} x_{iu}^2 y_u - d_2 \sum_{u=1}^{N} y_u \ .$$

Дисперсии параметров модели

$$S^2(b_0) = d_1 S_b^2 ; \ S^2(b_i) = d_3 S_b^2 ;$$
$$S^2(b_{ij}) = d_4 S_b^2 ; \ S^2(b_{ii}) = d_7 S_b^2 .$$

Соответствующие условиям опытов значения d_i выбираются для конкретных случаев планирования эксперимента.

Так как при планировании экспериментов несколько опытов проводятся параллельно при основном уровне факторов, то их результаты позволяют оценить дисперсию воспроизводимости

$$S_b^2 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} (y_{ou} - \bar{y}_o)^2}{n_0 - 1} .$$

Проверка адекватности модели производится при помощи критерия Фишера. Дисперсия адекватности в данном случае определяется по формуле:

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_{u=1}^{N} (y_{up} - y_{uэ})^2 - \sum_{u=1}^{n_0} (y_{ou} - \bar{y}_o)^2}{N - k' - (n_0 - 1)} .$$

где y_{up} и $y_{uэ}$ – расчетные и экспериментальные значения; k' – число статистически значимых параметров модели.

При использовании рототабельных планов исключать из модели без пересчета остальных можно только незначимые оценки b_i и b_{ij}. Исключение любого из незначимых параметров b_0 и b_{ii} требует пересчета остальных в данной группе.

Баланюк А.В., Творищук И.М. Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ СБОРКИ И ПРИКАТКИ КОНИЧЕСКИХ РОЛИКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ

Одним из эффективных способов повышения надежности и точности шпиндельных узлов является использование двухрядных роликовых подшипников качения. Однако при этом возникает

серьезная инженерная проблема, вызываемая погрешностью обработки конической посадочной поверхности шпинделя и кольца. В результате значительные неравномерные деформации внутреннего кольца, возникающие при сборке, вызывают нарушение нормальных условий контактирования роликов с поверхностью дорожек качения колец – линейный контакт переходит в точечный. Это приводит к преждевременной потере точности шпиндельного узла и необходимости дополнительных дорогостоящих регулировок.

В связи с изложенным в настоящей работе изучались:

а) деформация внутреннего кольца подшипника, возникающая при его напрессовке на шпиндель с различным осевым натягом;

б) взаимосвязь этой деформации с суммарной погрешностью изготовления посадочной поверхности кольца и шпинделя;

в) возможность устранения вредного влияния деформации кольца на нормальную работу подшипника методами прикатки [1].

Для решения поставленной задачи было спроектировано и изготовлено устройство, которое базировалось в центрах токарного станка 1К62. Устройство позволяло:

а) создавать фиксированный осевой натяг 0,1–1,8 мм, шаг 0,1 мм;

б) измерять величину радиального зазора между кольцами подшипника в процессе изменения осевого натяга;

в) фиксировать возникающие деформации внутреннего кольца подшипника;

г) выполнять прикатку подшипника на различных режимах;

д) измерять с помощью датчика и тензометрической аппаратуры момент трения качения в процессе прикатки и фиксировать динамику его изменения осциллографом Н107А.

В процессе эксперимента дорожки качения тщательно осматривались, измерения фиксировались, с поверхности дорожек качения наружного кольца до и после прикатки снимались профилограммы профилографом модели 201 завода «Калибр». Сравнительным испытаниям были подвергнуты роликовые, радиальные, двухрядные подшипники № 3017КР41 с размерами 85×130×34 производства ПНР. Схема устройства представлена на рис. 1.

Подшипник 1 напрессовывался на оправку 2 с различным осевым натягом (от 0,1 до 1,8 мм с шагом 0,1 мм), который регулировался разрезными упорными кольцами 3. Наружное кольцо подшипника 1 фиксировалось в обойме 4 двумя крышками 5 с помощью винтов 6. Вращение оправки 2 с внутренним кольцом подшипника 1

передавалось поводковым устройством от шпинделя станка. Измерение момента трения качения в подшипнике 1 осуществлялось тензобалкой 9 (рис. 1, *б*), связанной через рычаг 8 с обоймой 4. Зазор между наружным и внутренним кольцами подшипника фиксировался индикатором часового типа с ценой деления 0,001 мм путем отсчета его показаний в верхнем и нижнем положении в соответствии со схемой на рис. 1, а. Изменение диаметров d_1 и d_2 (рис. 2) внутреннего кольца фиксировалось измерительной скобой с ценой деления 0,001 мм. Учитывая, что при определении фактической конусности оправки и внутреннего кольца подшипника вносилась значительная погрешность, вызываемая неудобством измерения большего и меньшего диаметров конуса, оценка геометрии оправки и кольца проводились по параметру А относительной конусности:

$$A = \frac{\beta_1}{\beta_2}, \qquad (1)$$

где β_1 – конусность отверстия внутреннего кольца подшипника; β_2 – конусность оправки.

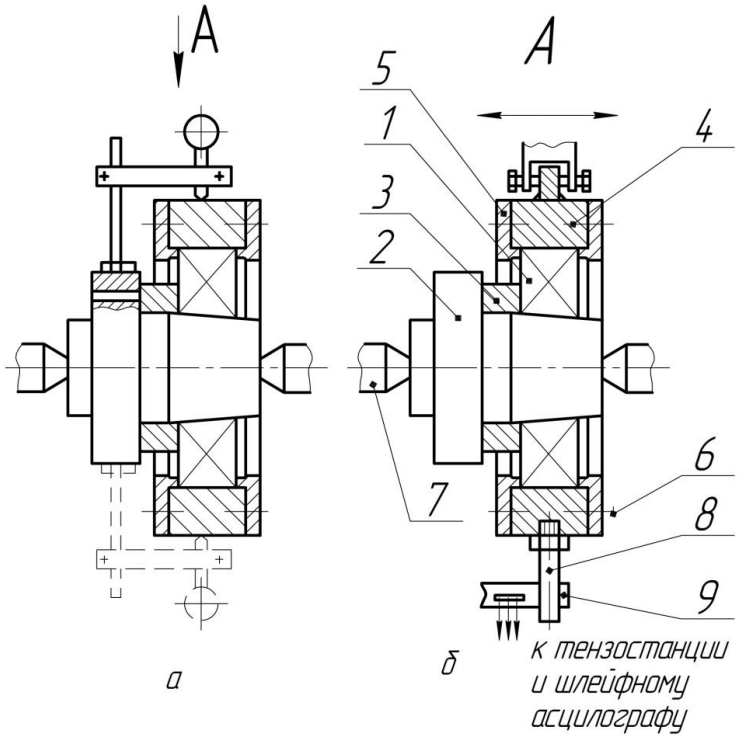


Рисунок 1 – Схема прикатки подшипника:
а – измерение зазора между кольцами в станке,
б – измерение момента трения качения в процессе прикатки с различным осевым натягом

Анализируя возможные варианты сочетания конусности оправки и кольца в соответствии со схемой на рисунке 2, не трудно заметить, что

$$\beta_1 = \frac{D_2 - D_1}{B}; \qquad \beta_2 = \frac{D_2 - D_1}{B \pm C}. \qquad (2)$$

Подставив 2 в 1 получим:

$$A = 1 \pm \frac{C}{B}, \qquad (3)$$

где B – ширина опорной поверхности внутреннего кольца подшипника, измеренная между кромками фасок на профилограмме

(рис. 2, B = 30,5 мм), С – параметр, определяемый экспериментально как предельная величина осевого натяга, при котором один из диаметров d_1 или d_2 (рис. 3) не увеличивается.

График приращения диаметров d_1 и d_2 поясков цилиндрической поверхности внутреннего кольца подшипника у торцев при различном осевом натяге представлен на рис. 2.

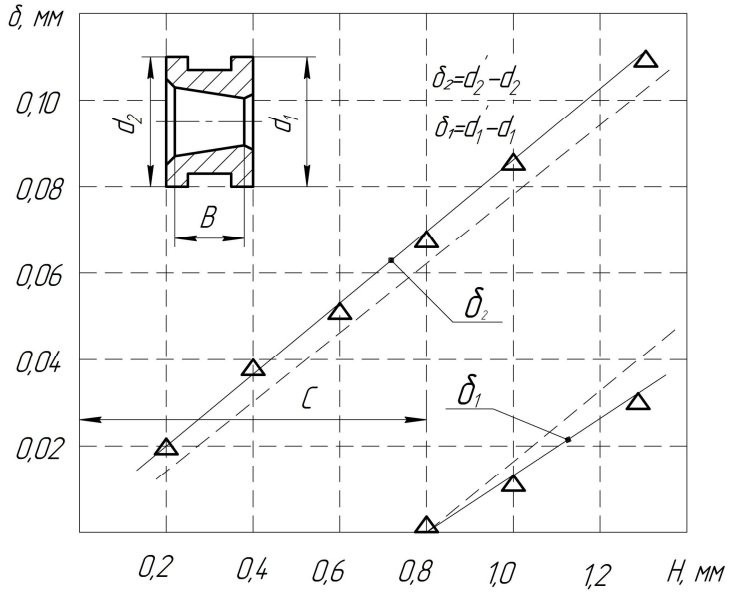


Рисунок 2 – Приращение δ диаметров d_1 и d_2 внутреннего кольца подшипника при изменении величины осевого натяга
(—— эксперимент; – – – расчет)

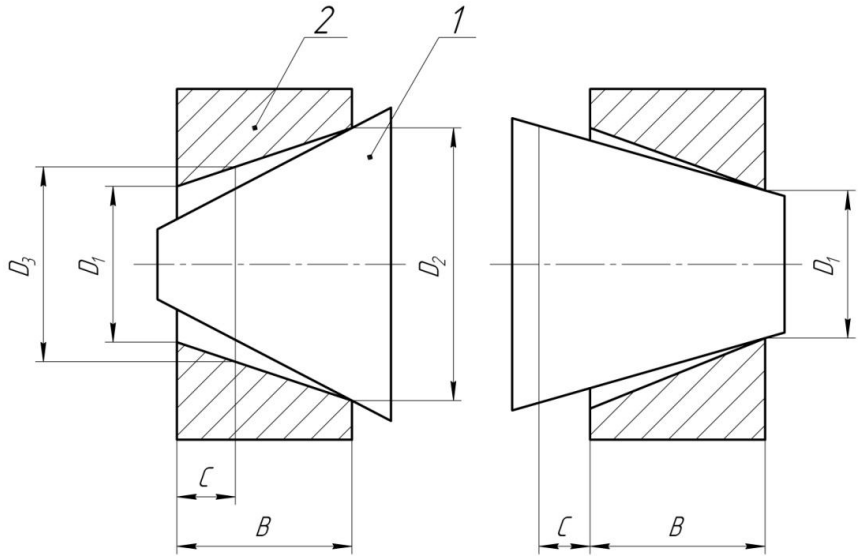


Рисунок 3 – Характерная картина несовпадения конусности оправки 1 и отверстия внутреннего кольца 2 подшипника

Наблюдаемая неравномерность деформирования поясков d_1 и d_2 вызвана несовпадением конусности оправки и кольца ($\beta_1 \neq \beta_2$). Нетрудно подсчитать, что для испытываемых подшипников и оп-

равки (C = 0,8; B = 30,5 мм) величина относительной конусности А оказалась равной 0,9737. Анализируя данные, представленные на рис. 2, можно прийти к выводу, что величина неравномерности деформирования поясков d_1 и d_2 внутреннего кольца подшипника может быть оценена параметром

$$\Delta = |\delta_1 - \delta_2| . \qquad (4)$$

Зависимость неравномерности деформирования Δ от величины относительной конусности А и параметра С показывает, что для испытываемых подшипников и оправки (А = 0,9737; С = 0,8) величина неравномерности Δ составила 0,07 мм, что почти в три раза превышает допустимую величину. Для нормальной работы подшипникового узла необходимо повысить требования к качеству изготавливаемых шпинделей, с тем, чтобы величина Δ не превышала 0,02 мм.

Известно, что немаловажное значение оказывает на нормальные условия работы величина нормального радиального зазора [2]

$$\partial_н = D_н - (D_н + D_т), \qquad (5)$$

где $D_н$ – внутренний диаметр наружного кольца; $D_в$ – наружный диаметр наружного кольца; $D_т$ – диаметр тела качения.

Анализ профилограмм дорожки качения наружного кольца подшипника после проведения прикатки показывает, что увеличение осевого натяга от 0,5 до 1,5 мм не вызывает заметных изменений профиля дорожки качения, если в процессе прикатки наружное кольцо не перемещается в осевом направлении относительно внутреннего.

Иная картина наблюдается при возвратно-поступательном перемещении наружного кольца. В этом случае наблюдается закругленная форма образующей дорожки качения с завалом кромок в пределах 2–3 мкм. Отмечается также и увеличение начального радиального зазора между кольцами на 0,01 мм. Шероховатость прикаточной поверхности не отличалась от исходной и составила *Ra* 0,36.

Как показали наши исследования, проверка размеров и геометрической формы конической посадочной шейки на шпинделе по краске с помощью внутреннего кольца подшипника является малоэффективной.

Предложена методика экспресс – контроля геометрии конической поверхности с помощью двух индикаторов, установленных в специальном устройстве.

Выводы

1. Предложенный метод определения конусности оправки и кольца по величине относительной конусности А достаточно четко отражает действительную картину сопряжения конической поверхности шпинделя и внутреннего кольца подшипника.

2. Установлено, что для нормальной работы подшипника величина относительной конусности должна быть не менее 0,993.

3. В процессе прикатки выявлена возможность формирования определенной геометрии дорожки качения наружного кольца седлообразной формы с разностью диаметров не более 6 *мкм*, а также незначительное увеличение (при необходимости) начального радиального зазора между кольцами.

4. Предложен экспресс-метод определения фактической конусности шейки шпинделя с помощью простейшего устройства и расчетной таблицы.

Литература

1. Предварительная прикатка радиально - упорных подшипников для шпиндельных узлов металлорежущих станков: Метод. указания: – Одесса: Укр. науч.-исслед. ин-т станков и инстр., 1984.

2. Подшипники качения / Р.Д. Бейдельман, Б.В. Цыпкин и др. – М., Машиностроение, 1975. – 574 с.

Бородавко В.И., Гайко В.А., Насыбулин А.Х.,
Позылова Н.М., Пынькин А.М., Хейфец М.Л.
ГНПО «Центр» НАН Беларуси, Минск, Беларусь

ПОСЛОЙНОЕ МАКЕТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Изготовление масштабных макетов, легко разрушаемых прототипов и деталей машин из композиционных материалов с рабочими поверхностями сложного профиля, различного функционального назначения, «прямым выращиванием» без использования дорогостоящей формообразующей оснастки, сокращая стадии технологической подготовки производства, наилучшим образом удовлетворяет требованию снижения материальных и трудовых затрат [1, 2].

Сущность большинства применяемых технологий «прямого выращивания» заключается в быстром переводе тонкого слоя жидкого или плавкого порошкообразного сырья в твердое (сохраняющее форму, состояние) и послойном синтезе изделия. Такой перевод осуществляется обычно лазерным излучением или плазменными потоками, при этом движение луча или концентрированного потока управляется по программе. В качестве сырья в настоящее время при послойном синтезе широко используются металлические порошки и порошки керамики с металлическими связующими [3–5].

Перспективные направления развития методов оперативного макетирования и производства. Анализ сущности и особенностей методов получения деталей машин без формообразующей оснастки: стереолитографией *(Stereolithography Application – SLA),* селективным лазерным спеканием *(Selective Laser Sintering – SLS),* послойным формированием моделей из листового материала *(Laminated Object Manufacturing – LOM),* послойной заливкой экструдируемым расплавом *(Fused Deposition Modeling – FDM)* и другими процессами [6–8], позволил выделить основные направления развития методов послойного синтеза [3, 4].

Традиционные технологии прямого выращивания деталей реализуются только для определенных материалов и формируют плоские непротяженные поверхностные слои. Перспективным представляется использование новых конструкционных материалов, в том числе пористых, композиционных, слоистых, с заданным формируемым градиентом свойств. Это требует применения новых технологий формообразования слоев, использующих для изменения свойств материала различные концентрированные источники энергии, что в свою очередь ставит задачи распределения потоков энергии не только по заданному контуру или поверхности, но по глубине и плотности распределения, а также по форме импульса энергии в целом [5].

Исследование технологий обработки слоев потоками энергии определило перспективные направления развития методов оперативного макетирования и производства [3]: 1) процессы оперативного макетирования и производства предполагают разработку как интенсивных технологий получения масштабных макетов, легко разрушаемых прототипов, деталей машин, так и информационных технологий их моделирования; 2) эффективными являются процессы прямого создания не только геометрической формы детали, но и ее композиционного, в том числе и пористого материала, пу-

тем последовательного формирования различных слоев и управления их свойствами; 3) информационные технологии должны моделировать не только изделие и процесс его получения, но и структуру материала совместно с процессом его послойного синтеза.

Послойная листовая сборка изделия. Из разнородных материалов спроектированы изделия, которые собираются из различных материалов с разной толщиной слоев в зависимости от величины местных контактных напряжений [9]. Для удаления ступенек на поверхностях изделия, сформированного послойным синтезом, используется специально разработанная технология гальванического осаждения материала во впадины изделия.

Послойное спекание изделий из порошков. Для послойного спекания металлических и металлокерамических порошковых материалов спроектировано устройство [10], в котором платформу с формирующимся изделием вращают вокруг своей оси и опускают вдоль этой оси (рис. 1).

Синтез изделий с регулируемой пористостью. Послойный синтез изделий с регулируемой пористостью обеспечивает применение специального устройства дозирования порошка и виброформирования каждого из спекаемых слоев материала (рис. 2).

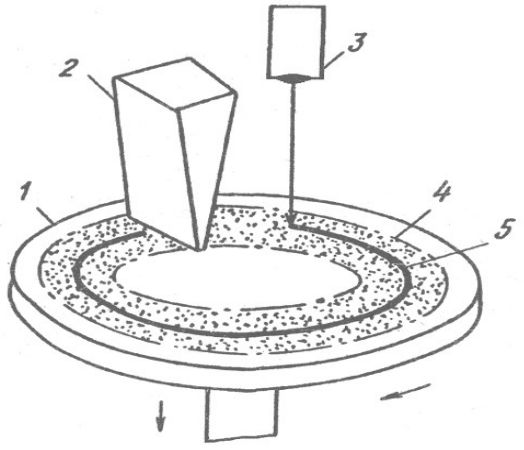


Рисунок 1 – Схема процесса послойного формирования и избирательного спекания порошковых материалов:
1 – вращающаяся и опускающаяся платформа, 2 – бункер-дозатор подачи порошкового материала, 3 – источник концентрированного потока энергии, 4 – порошковый слой на основе из сформированного материала, 5 – спеченный порошковый материал

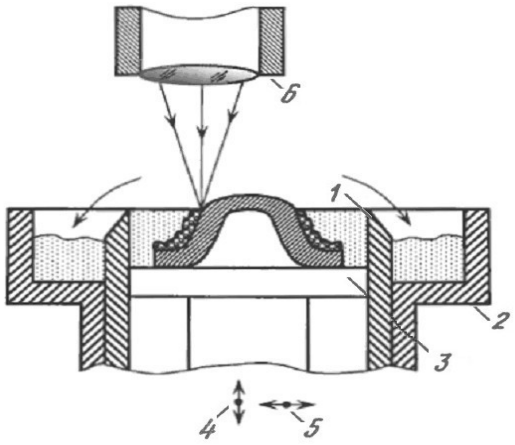


Рисунок 2 – Схема процесса виброформирования спекаемого порошкового материала:
1 – дозатор, 2 – бункер-накопитель, 3 – платформа, 4 – движения подачи, 5 – движения осцилляции, 6 – технологический лазер

Установка, реализующая процесс, включает [11]: рабочую камеру с дозатором порошка, устройство координатного перемещения с системой контроля процесса спекания и управляющий компьютер для технологической подготовки электронной модели и управления процессом послойного синтеза.

Выводы. Анализ процессов «прямого выращивания изделий» из композиционных материалов позволил выбрать рациональные методы оперативного макетирования и производства по геометрическим параметрам качества формируемой поверхности и по эффективности послойного синтеза композиционного материала. Синтез изделий послойной сборкой листовых материалов и осаждением покрытий показал необходимость учета конструктивных особенностей и специфических технологических условий выбранного метода послойного синтеза композиционного материала.

Литература

1. Reinhart G., Meindl M., Sigl M. Methoden für die reaktionsfähige Produktion. – Berlin: Werkstattstechnik, 2001.

2. Graph based process planning for mold shape deposition manufacturing / A.G. Cooper, J.M. Pinilla, J. Kao, F.B. Prinz. – Stanford University, 2001.

3. Послойное формирование поверхностей с сопутствующей сборкой сложнопрофильных изделий / М.Л.Хейфец, С.В.Кухта, В.В.Краснянский, О.П.Голубев // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2002. – № 11. – С. 2–7.

4. Хейфец М.Л., Кухта С.В., Голубев О.П. Технологии обработки слоев концентрированными потоками энергии с сопутствующей сборкой изделий // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2004. – № 5. – С. 26–32.

5. Combined physico-chemical treatment: synergetic aspects / A.I. Gordienko, M.L.Kheifetz, L.M.Kozhuro et al.–Minsk: Technoprint, 2004. –200 p.

6. Быстрое прототипирование <http://www.fian.smr.ru/rp. – 1999>.

7. Послойное селективное лазерное спекание <http://www.library.bmstu.ru. – 2001>.

8. Entwicklung einer Software Rapid Prototyping Plattform <http://www.ika.rwth-aachen.de. – 2001>.

9. Перспективные технологии машиностроительного производства / Под ред. Ж.Мрочека, М.Хейфеца.–Новополоцк: ПГУ, 2007.–204с.

10. Свирский Д.Н., Сухиненко Б.Н. Организация и технология компактного производства. Теория и практика. – Витебск: ВГТУ, 2008. – 200 с.

11. New technology of selective laser sintering / K.E. Belyavin, D.V. Minko, Yu.A. Chivel, V.K. Pavlenko // EURO PM 2005: Proceedings. – Prague, 2005, V.2. – P. 171–176.

Брижан Т.М. Приазовский государственный технический университет, Мариуполь, Украина

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ ПРИ РАЗВЕРТЫВАНИИ

Процесс развертывания глубоких отверстий характеризуется низкими показателями качества обработки, что связано, прежде всего, с возникновением в технологической системе интенсивных колебаний. Поэтому повышение виброустойчивости процесса развертывания глубоких отверстий с целью повышения качества их обработки является актуальной задачей технологии машиностроения. В работе приведены результаты экспериментальных исследований технологических закономерностей формирования параметров качества обработки глубоких отверстий разверткой с разнонаклонными зубьями (рис. 1), которая обеспечивает гашение колебаний при наличии факторов, способствующих их возбуждению, в условиях тянущего развертывания. Данный метод развертывания обладает улучшенными динамическими характеристиками. Благоприятные условия для выхода стружки позволяют увеличить жесткость развертки путем увеличения диаметра ее шейки, в результате предложенная конструкция развертки отличается повышенной жесткостью и пониженной виброактивностью.

Опыты проводились на токарно-винторезном станке мод. 16К10 с применением втулок из стали 40Х диаметрами Ø20 и Ø40 с отношением L/D =12–15. Инструмент крепился в специальном приспособлении, установленном на суппорте станка. Развертывание производилось после сверления и зенкерования без съема детали развертками из стали Р6М5.

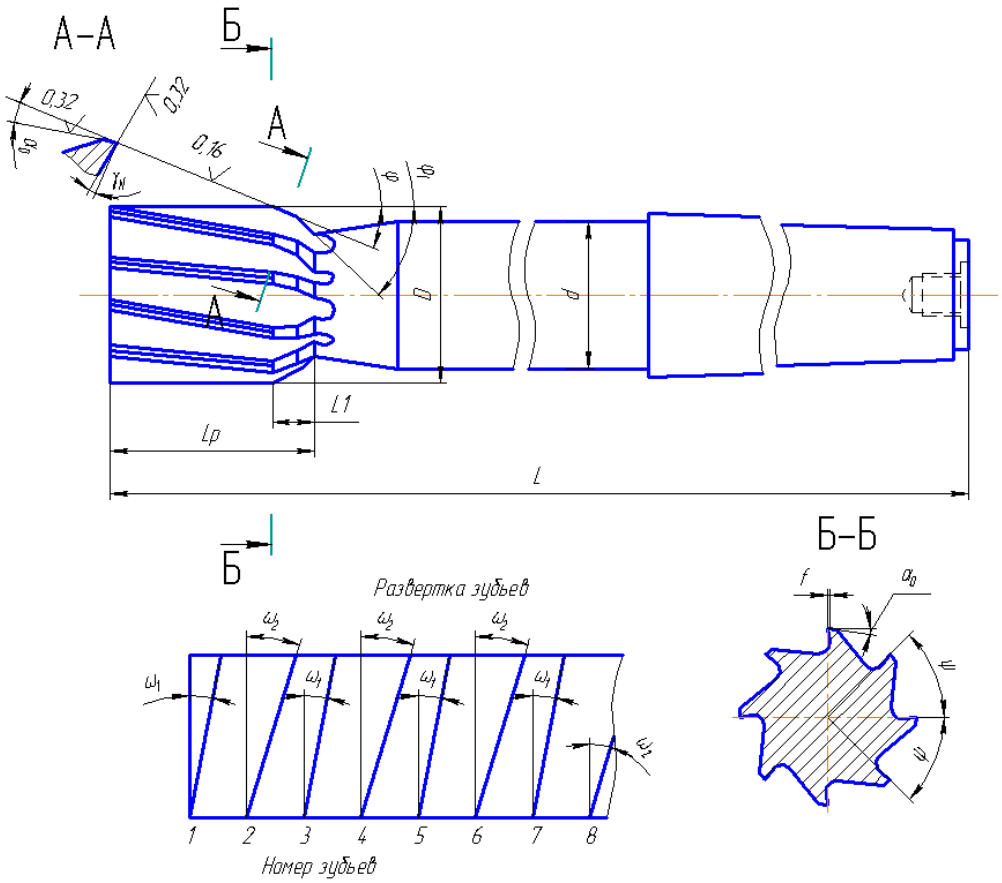
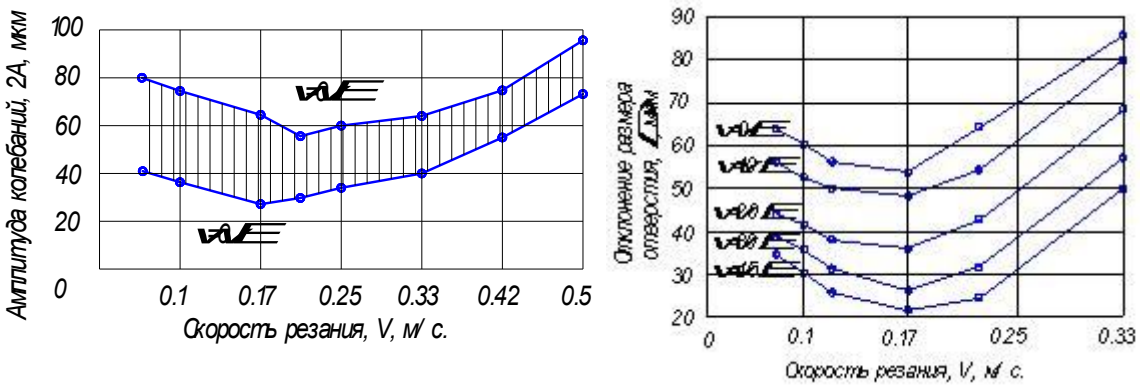


Рисунок 1 – Конструкция развертки для тянущего развертывания

Условия обработки: *Sz* = 0,1 мм/зуб; *t* = 0,2мм; *hз* =0,3 мм; φ = 13º; СОТС – Аквол II. Экспериментально установлено, что с увеличением скорости резания амплитуда колебаний первоначально уменьшается, а затем увеличивается (рис. 2, *а*).

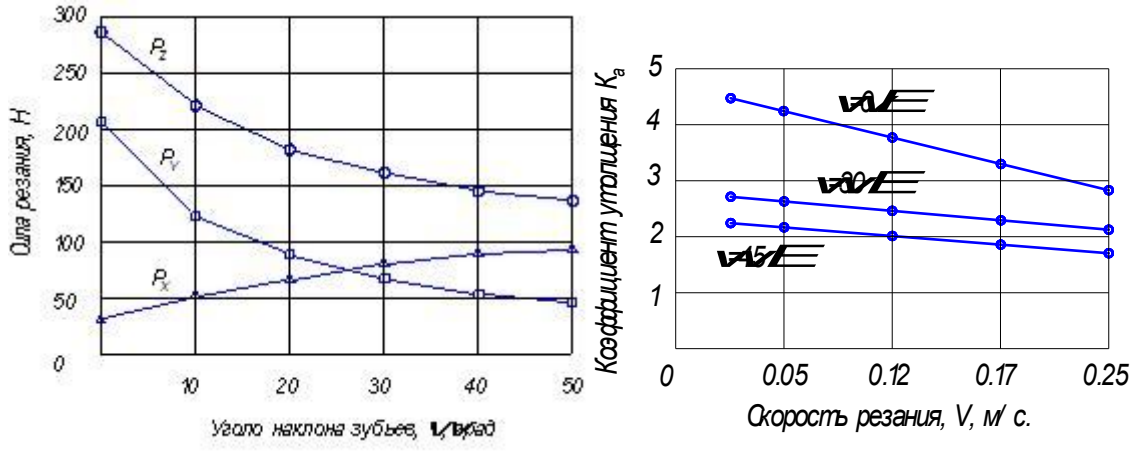


а *б*

Рисунок 2 – Зависимость амплитуды колебаний (*а*) и отклонения размера отверстия (*б*) от скорости резания

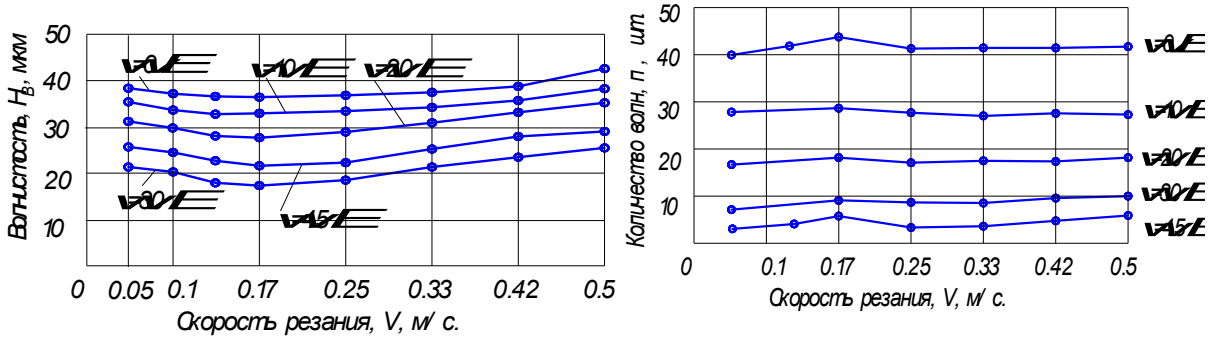
Такая же закономерность изменения отклонения размера отверстия (рис. 2, *б*), что связано с усилением динамического фактора процесса. С увеличением угла наклона зубьев развертки ω отклоне-

ние размера отверстия уменьшается, что обусловлено уменьшением составляющих силы резания и коэффициента усадки стружки (рис. 3). При этом волнистость и количество волн на обработанной поверхности уменьшается (рис. 4), что связано с уменьшением амплитуды колебаний (рис. 5, *а*). Еще в большей степени уменьшается амплитуда колебаний от угла разнонаклонности зубьев развертки (рис. 5, *б*), что приводит к уменьшению отклонения размера отверстия и параметра шероховатости поверхности *Ra* (рис. 6).



а *б*

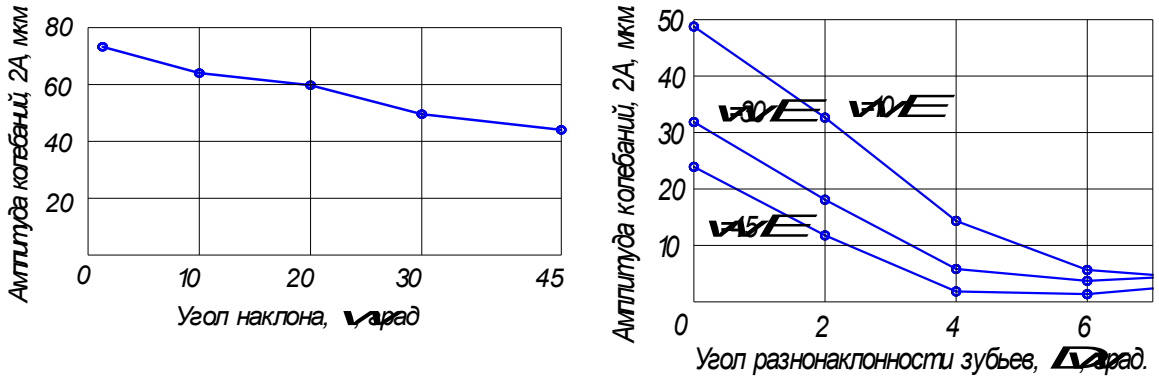
Рисунок 3 – Изменение составляющих силы резания *Pz, Py, Px* от угла наклона зубьев ω при *V*=0,12м/с (*а*) и коэффициента утолщения от скорости резания (*б*)



а *б*

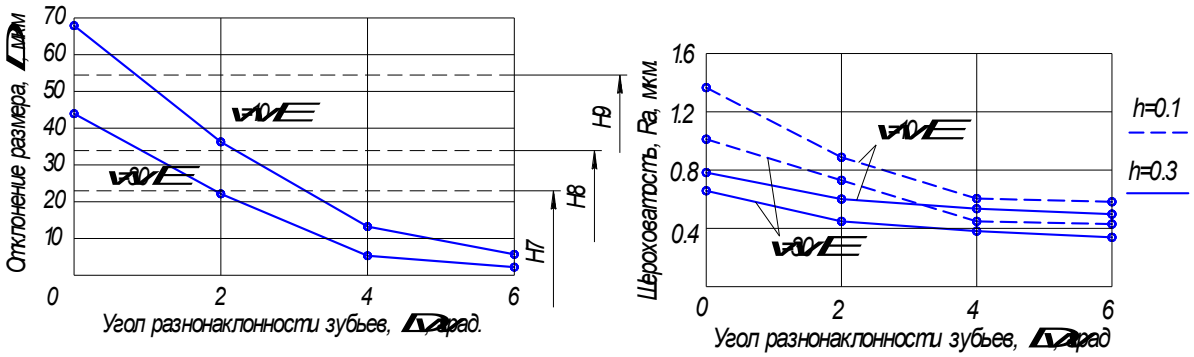
Рисунок 4 – Зависимость волнистости (*а*) и количества волн на обработанной поверхности (*б*) от скорости резания

Таким образом, безвибрационную обработку тянущим методом обеспечивают развертки с углом наклона зубьев ω ≥ 30° при разноналонности зубьев Δω = 6°. При этом точность отверстий на 11,5 квалитета выше, а шероховатость ниже на 1,5–2 класса по сравнению со стандартными развертками.



а *б*

Рисунок 5 – Зависимость амплитуды колебаний от угла наклона зубьев для V = 0,1 м/с (*а*) и угла разнонаклонности зубьев для V = 0,33 м/с (*б*)



а *б*

Рисунок 6 – Зависимость отклонения размера отверстия (*а*) и шероховатости поверхности (*б*) от угла разнонаклонности зубьев для V=0,1 м/с

Бурыкин В.В. Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина,
Бурыкин В.В. ООО «Деловое партнерство», Брянск, Россия

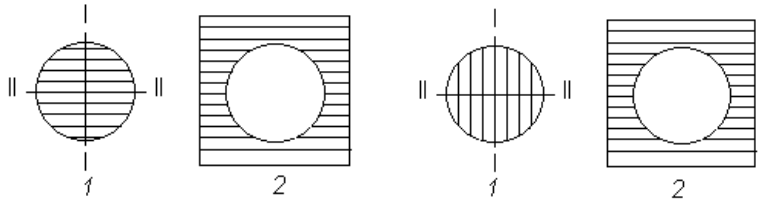
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ РАБОЧИХ ЧАСТЕЙ ШТАМПОВ

С целью повышения твердости поверхности вырубных штампов и другой технологической оснастки, уменьшения коэффициента трения между инструментом и обрабатываемым изделием, формирования на штампе защитного слоя, противодействующего образованию задиров и налипанию обрабатываемого материала, уменьшения параметров шероховатости рабочих поверхностей,

используют финишное плазменное упрочнение, ионно-плазменные покрытия, химико-термическую обработку и др.

В данной работе в результате исследований рабочих частей штампов, проведенных в производственных условиях, получена сравнительная оценка износостойкости штампового инструмента, изготовленного из сталей малой (У8А, У10А), повышенной (ХВГ, 9ХС) и высокой (Х12М) прокаливаемости. Стойкость инструмента устанавливалась исходя из фактического расхода штампов.

В результате проведенных испытаний установлены величины суммарного износа стальных пуансонов и матриц, изготовленных с различной исходной шероховатостью (табл.). Видно, что износ пуансонов штампов из стали Х12М наименьший, а шероховатость поверхностей рабочих частей должна составлять: по торцам – *Ra* 1,25–2,5; по боковым поверхностям *Ra* 0,63–1,25. Большая величина шероховатости по торцовой поверхности объясняется интенсификацией трения, что связано с необходимостью уменьшения скольжения металла заготовки. Можно сделать вывод, что следы обработки оказывают влияние на износ пуансонов и матриц во взаимно перпендикулярных сечениях (рис. 1, табл. 1). Наиболее благоприятен вариант "*а*" (рис. 1).



а *б*

Рисунок 1 – Схема вариантов расположения пуансона *1* и матрицы *2* в зависимости от следов обработки:

а – параллельное; *б* – перпендикулярное

Можно предложить несколько способов обработки поверхностей рабочих частей штампов – химико-термическая обработка (ХТО), поверхностное пластическое деформирование, электро–эррозионное легирование, лазерная термообработка, а также нанесение различных износостойких покрытий.

В результате алмазного выглаживания образуется поверхность с неровностями специфической формы, которую нельзя получить при лезвийных и абразивных способах обработки. Для вновь образованного микрорельефа упрочненной поверхности характерно большое отношение шага неровностей к их высоте; высокая степень однородности неровностей как по форме, так и по высоте; малые углы наклона; большие радиусы округления вершин выступов и дна впадин, что определяет пологую обтекаемую форму не-

ровностей. Специфический микрорельеф в сочетании с высокими микротвердостью и остаточными напряжениями сжатия в тонком поверхностном слое обеспечивает существенное повышение износостойкости рабочих частей штампов.

Таблица 1 – Сравнительные данные по износу пуансонов и матриц

Сталь	Исходная шероховатость на поверхностях, мкм		Суммарный износ деталей штампа (рис.1), мкм	
	торцовой	боковой	I–I	II–II
У10А	0,32	0,32	0,065	0,072
	0,63	0,63	0,070	0,076
	1,25	1,25	0,082	0,070
	2,50	2,50	0,086	0,090
	2,50	1,25	0,073	0,080
ХВГ	0,32	0,32	0,071	0,041
	0,63	0,63	0,075	0,064
	1,25	1,25	0,072	0,068
	2,50	2,50	0,072	0,078
	2,50	1,25	0,063	0,065
Х12М	0,32	0,32	0,014	0,016
	0,63	0,63	0,017	0,012
	1,25	1,25	0,017	0,020
	2,50	2,50	0,042	0,028
	2,50	1,25	0,017	0,018

В результате экспериментов получен ряд зависимостей шероховатости *Ra* от силы выглаживания P_y, радиуса рабочей части алмаза $r_{сф}$ и подачи *S* (рис. 2) при выглаживании боковых рабочих поверхностей пробивных пуансонов из стали У10А, термообработанной до HRC 50–55. Результаты производственных стойкостных испытаний шлифованных и выглаженных пуансонов при пробивке отверстий диаметром 4 мм в детали из стали 20 толщиной 1,6 мм приведены на рис. 3. Из полученных результатов видно, что износ выглаженных пуансонов примерно в 2–3 раза меньше шлифованных. Повышение износостойкости выглаженных пуансонов объясняется упрочнением металла в тонком поверхностном слое, улучшением условий смазки и теплоотвода из зоны пластической деформации.

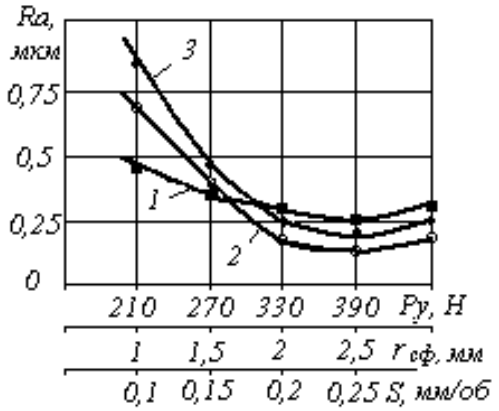


Рисунок 2 – Зависимость шероховатости поверхности *Ra* от силы выглаживания P_y (*1*), радиуса рабочей части алмаза $r_{сф}$ (*2*) и подачи *S* (*3*)

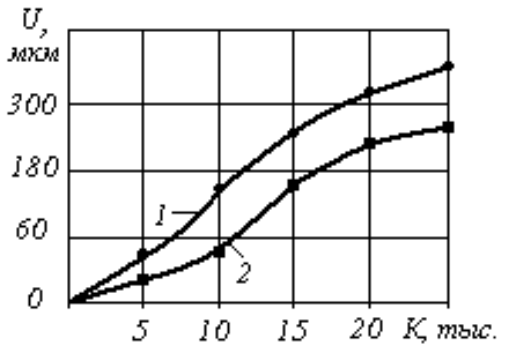


Рисунок 3 – Изменение линейного износа пуансона в зависимости от числа пробитых отверстий: *1* – шлифованных; *2* – выглаженных пуансонов

Методы ХТО позволяют получить покрытия толщиной до 40 мкм и дают возможность увеличить стойкость рабочих поверхностей: при азотировании в 1,7–3,0 раза; борировании в 1,5–3,0 раза; карбонитрации в 2–4 раза. В последнее время получил развитие способ физического осаждения покрытий. Возможность широкого изменения температуры в зоне нанесения покрытия, позволяет использовать этот метод в качестве универсального для нанесения покрытий на твердые сплавы, быстрорежущие стали, а также некоторые инструментальные легированные стали. Для этого метода является важным исходное состояние рабочих частей штампа. При применении износостойких покрытий изменяется характер износа режущих кромок рабочих частей.

Наиболее значительное повышение стойкости наблюдалось в штампах, рабочие детали которых подвергались интенсивному адгезионному изнашиванию. Так, применение покрытия из TiN повышает стойкость в 3–7 раз.

Исследования рабочих частей штампов с различными вариантами комбинированных покрытий (пуансон с покрытием – матрица без и наоборот; матрица и пуансон с различными покрытиями) показали, что это позволяет обеспечить равную стойкость рабочих частей штампа (сокращается число плановых ремонтов в 1,5–2,0 раза) с одновременным повышением периода их стойкости в 1,5–7,0 раз (в зависимости от варианта сочетания). Целесообразно комплексное применение различных методов повышения долговечности рабочих частей штампов. Применение ХТО позволяет проводить наиболее

эффективное упрочнение внутренних контуров матриц, интенсивно подвергающихся износу. Долговечность повышается в 2–3 раза. А использование пуансона с износостойким покрытием из TiN в совокупности с матрицей после ХТО значительно повышает границу экономической эффективности штампа (до 5–10 тыс. шт. отверстий) (рис. 4, *а* и *б*). При таком сочетании получен наилучший результат.

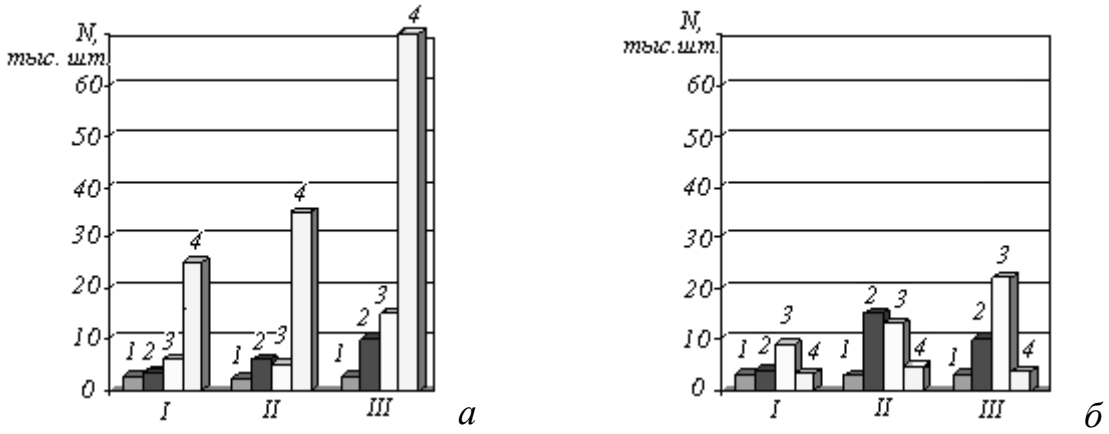


Рисунок 4 – Диаграммы стойкости *N* пуансонов (*а*) и матриц (*б*) для пробивки отверстий в листах толщиной 2,5 мм: I – сталь для глубокой вытяжки; II – сталь с содержанием углерода 0,6 %; III – конструкционная сталь с содержанием углерода 0,3 %; *1* – без покрытия; *2* – азотирование; *3* – борирование; *4* – покрытие карбида титана

Вывод: наиболее эффективно сочетание ионно-плазменного покрытия пуансона нитридом титана с химико-термической обработкой матрицы.

Воинова С.А. Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса, Украина

О ПОДХОДЕ К ФОРМИРОВАНИЮ РЕСУРСА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

В Украине в разных отраслях производства используют оборудование, значительная часть которого отработала 1,5–2 и более парковых ресурсов. Уровень показателей технологической эффективности ($E_т$) процесса функционирования таких технических объектов (ТО) низок вследствие продолжающегося стагнационного сценария развития производства.

Применение изношенного оборудования наносит общехозяйственный ущерб в виде низкого уровня $Е_т$ ТО, ее экологической ($Е_л$,) экономической ($Е_н$) и общетехнической ($Е_{общ}$) составляющих.

Предстоящий переход к инновационному сценарию развития требует обновления подхода к анализу и к оценке состояния основных производственных фондов, изменения подхода к прогнозированию показателей их развития. В этом контексте важное значение приобрела задача управления формированием ресурса ТО и процессом его расходования.

Сформировалась острая научно- и организационно-техническая проблема повышения уровня $Е_т$ функционирования производства. Ее осуществление представляет собой важную программу государственного значения.

Есть основание полагать, что программа должна содержать две части:

- часть первая: повышение уровня $Е_т$ существующего изношенного оборудования,
- часть вторая: создание и производство нового, инновационно насыщенного высокоэффективного оборудования.

Вторая часть существенно сложнее первой части.

Коснемся основных аспектов одной из этих задач, задачи формирования ресурса ТО применительно к условиям второй части программы. Существо задачи: совершенствование подхода к управляющему воздействию на уровень $Е_т$ изношенного ТО (в первой части программы), воздействию на уровень $Е_т$ создаваемого ТО (во второй части программы).

Выбор и анализ свойств ТО – сложная и ответственная задача, влияющая на выбор показателя $Е_т$ ТО и оценку его заданного уровня или размера ресурса.

$Е_т$ ТО – степень его совершенства. Она содержит информацию большого объема о свойствах, показателях, отражающих его (ТО) особенности разного рода, проявляющиеся в технологическом процессе. В целом, $Е_т$ – это информация о ТО, его информационный портрет.

При традиционном, консервативном подходе уровень $Е_т$ ТО выражают одним-двумя показателями, например, уровнем КПД, размером ресурса ТО. Этот подход характерен для первой части программы. При прогрессивном подходе к оценке свойств ТО, оценке уровня его $Е_т$,

необходимо исследование ТО, набора элементов информации о нем. Данный подход необходим при реализации второй части программы.

Собранные элементы информации необходимо разделить на группы, характеризующиеся определенными общими признаками – группы I, II, III, IV информационных уровней (рис. 1).

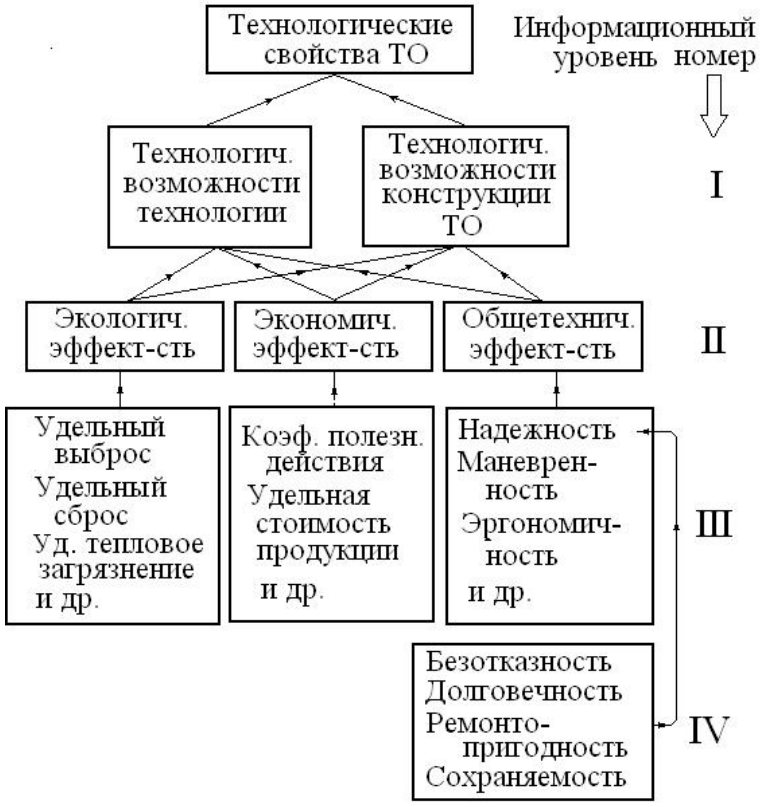


Рисунок 1 – структурно-логическая схема информационной системы факторов, влияющих на формирование свойств ТО

Т.о., исходные элементы информации образуют многоуровневую информационную пирамиду свойств ТО, его информационный портрет. На рис. 1, в качестве примера, свойства ТО IV уровня приведены только для одного из факторов III уровня – «надежность».

Последовательность операций формирования системы свойств ТО такова. Анализируют изложенные в техническом задании условия функционирования создаваемого ТО, требования к свойствам ТО и его технологического процесса.

В каждой из групп II уровня выбирают основное свойство ТО, отражающее эффективность ТО в экологическом, экономическом, общетехническом отношении.

Одно из трех основных свойств выбирают в качестве главного свойства, по которому следует судить об уровне $E_т$ ТО в условиях его предстоящего использования.

Необходимым условием реализации рассматриваемых задач является знание закономерностей влияния процесса износа ТО на изменение его свойств, снижение уровня его $E_т$. Для развития этой необходимо расширить исследования в сфере технической геронтологии, а также развивать технологию и средства оперативного контроля над показателями уровня $E_т$ ТО.

Далее. Опираясь на известные закономерности влияния процесса износа ТО на каждое из выделенных основных его свойств, для каждого из них строят траекторию движения ТО в координатах «$E_т$ – время» («$E_т$ – Т»). В этих же координатах отмечают минимально допустимый уровень каждого из трех основных свойств ТО $(E_л)_{min}$, $(E_н)_{min}$, $(E_{общ})_{min}$.

На трех графиках фиксируют координаты – абсциссы точек графиков $E_i(T)$ на уровне $(E_i)_{min}$. Эти координаты указывают размер ресурсов ТО по главному и по двум основным свойствам: $Рс_л$, $Рс_н$, $Рс_{общ}$ (рис. 2).

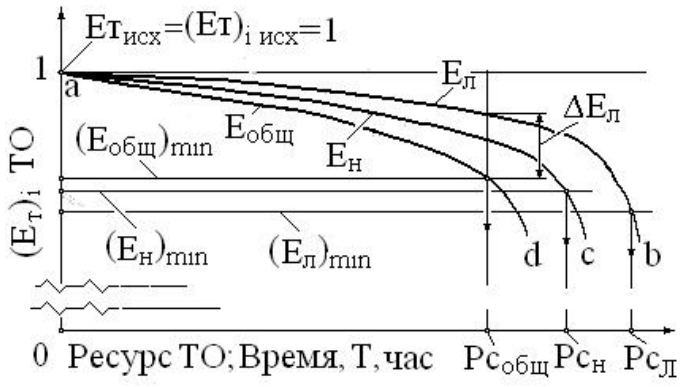


Рисунок 2 – Пример соотношения расчетных параметров $Рс_л$, $Рс_н$, $Рс_{общ}$

В процессе анализа полученных численных значений ресурсов необходимо их ранжировать по степени важности в конкретных заданных условиях эксплуатации ТО.

Ресурсом ТО логично считать выявленный ресурс по его главному из исследованных трех основных его свойств. В общем случае размер найденных трех ресурсов различен.

Исходя из необходимости исключить возможность использования ТО после исчерпания им ресурса - по главному свойству, необходимо, чтобы его размер превосходил размеры ресурсов по двум другим, основным свойствам. При этом условии ТО достигнет исчерпания ресурса по одному из двух других свойств и будет выведен из эксплуатации. При этом, у него фактически еще будет неиспользованным остаточный ресурс по главному свойству. То есть не будет допущено снижение текущего уровня главного технологического свойства ниже его принятого минимально допустимого уровня.

В качестве примера, приведен случай, когда ресурсом ТО был определен ресурс по экологическому свойству – $Рс_л$ (рис. 2). Данный объект необходимо вывести из эксплуатации по исчерпании им ресурса $Рс_{общ}$ (например, по надежности). У этого ТО в момент выведения его из эксплуатации остаточный ресурс составит период ($Рс_л$– $Рс_{общ}$).

В условиях первой части программы алгоритм действий проще. Необходимо выбрать для изучаемого действующего ТО главный и

два основных показателя эффективности. Измерением на ТО установить их текущее численное значение. Опираясь на типовую для подобных ТО зависимость $E_т(T)$ и приняв значение минимально допустимого уровня $E_т$, найти размер остаточного ресурса изучаемого ТО.

При внерегламентном режиме работы ТО, его износ опережает расчетный график расходования остаточного ресурса, который сокращается ускоренно. Негативно влияют также технические происшествия (отказы, аварии). В подобных случаях сокращению ресурса можно противопоставить проведение мероприятий по полному или частичному обновлению элементов ТО.

Воинов А.П. Одесский национальный
политехнический университет,
Воинова С.А. Одесская национальная академия
пищевых технологий, Одесса, Украина

ПРОБЛЕМАТИКА УПРАВЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В УКРАИНЕ ТВЕРДОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ТОПЛИВА

В энергомашиностроительной отрасли Украины наименее развито котлостроение. Вместе с тем, более 90% парка действующих котлов отработало ресурс и подлежит замене новыми котлами.

В структуре топливного баланса станционной и промышленно-отопительной энергетики недорогое твердое отечественное топливо составляет долю, превосходящую 50%; отечественный природный газ составляет менее 10%. Остальные – около 40% составляют импортные природный газ и мазут. Импортируемое топливо характеризуется весьма высокой ценой.

Поскольку цена топлива и цена продукции энергетики (электричества и теплоты) взаимосвязаны синергетически, отпускная цена электричества и теплоты высоки. Это негативно влияет на ценовую обстановку в стране. Сформировалась и ждет своего решения проблема нормализации структуры топливного баланса энергетической отрасли.

На территории Украины разведанные запасы ископаемого топлива значительны, – твердого топлива ~ 90%, нефти и природного газа ~ 10%.

Разительное несоответствие структуры запасов и структуры расходования топлива разных видов обусловили осложнение ситуации в сфере производства и потребления электричества и теплоты, сформировали острую научно- и организационно-техническую проблему государственного значения.

Углубленный системный анализ этой проблемы показывает, что приоритетным путем ее решения является вытеснение в структуре топливного баланса отрасли импортного газомазутного топлива отечественным твердым топливом.

Очевидны важность, масштабность, безотлагательность и ресурсоемкость данной проблемы.

Предстоящее преобразование, реформирование топливного хозяйства отрасли потребует осуществления государственной межведомственной Программы, ориентированной на среднедлительную перспективу. Ее выполнение позволит радикально улучшить экономическую и социальную обстановку в сфере производства и потребления электричества и теплоты.

Программа должна носить системный характер и содержать части, охватывающие комплекс задач каждой из областей первичной переработки добываемого твердого топлива, его транспортировки, хранения и использования потребителем.

Генеральной задачей Программы, ее частей и разделов должно быть повышение параметров качества товарного энергетического твердого топлива.

Параллельно необходимо повышать качество твердого топлива, технологического и бытового. В этом эффекте проявится межведомственный общегосударственный характер Программы.

Коснемся ее частей и основных задач.

Часть первая – первичная переработка свежедобытого твердого топлива (далее в тексте – «топливо»). Повышение качества топлива здесь состоит в его обогащении (снижении зольности) и в кондиционировании – разделении на размерные фракции (классы крупности частиц, кусков).

Снижение зольности топлива – важный фактор улучшения его технологических свойств, повышающий уровень технологической эффективности топливоиспользующего оборудования.

Степень кондиционности топлива каждой марки в высокой степени зависит от содержания в нем мелких размерных фракций. Как известно, повышение содержания мелких размерных фракций

(штыба, 0 – 6 мм) прогрессивно ухудшает технологические свойства топлива при сжигании его в топках с плотным слоем и в топках с псевдоожиженным слоем.

Часть вторая – транспортировка топлива. Сохранение технологических свойств топлива состоит в стабилизации его влажности и гранулометрического состава. Решение первой задачи состоит в защите топлива от воздействия атмосферных осадков. Решение второй – в минимизации числа и объема погрузочно-разгрузочных операций в процессе транспортировки топлива.

Часть третья – хранение и обработка топлива у потребителя.

Сохранение технологических свойств топлива при хранении и обработке также состоит в решении двух задач: стабилизации его влажности и гранулометрического состава. Решение первой задачи состоит в защите топлива от воздействия атмосферных осадков Решение второй задачи состоит в минимизации числа перегрузочных операций в процессе обработки топлива.

Часть четвертая – использование топлива, сжигание в топках котлов.

Высокоэффективное использование топлива в процессе его сжигания возможно при условии применения котлов, котельно-вспомогательного оборудования, насыщенных инновационными конструкторско-компоновочными, схемными и режимными решениями.

Котлостроение в Украине находится на пороге интенсивного развития. Его особенностью должно явиться создание котельно-топочных систем, основная часть которых должна быть рассчитана на сжигание энергетического топлива, то есть твердого топлива низкого и среднего качества.

Среди указанных задач Программы особого внимания заслуживает задача обеспечения перспективных котельно-топочных систем, их топочных устройств проектным топливом в полном смысле этого слова. Ибо только при соблюдении этого условия станет возможным обеспечение высокого проектного уровня технологических – экологических, экономических и общетехнических – показателей функционирования котлов и энергоустановок в целом.

Речь идет о решительном повышении уровня культуры в важной и сложной сфере подготовки и поставки потребителям заявленного ими товарного топлива надлежащего качества. При этом, важным и практически сложным является обеспечение нормативного гранулометрического состава (кусковатости) поставляемого

топлива. Важно не допускать сверх нормативного содержания в товарном топливе частиц, входящих в штыбовую фракцию.

Жесткое соблюдение этого условия позволит эксплуатировать котлы, оборудованные топками с плотным слоем и топками с псевдоожиженным слоем, с высоким уровнем технологической эффективности.

Повышенное содержание в топливе частиц штыбовой фракции снижает степень равномерности аэродинамической характеристики слоя по площади топки, также повышает потерю теплоты с механическим недожогом.

Указанное условие не распространяется на котлы с факельными (пылеугольными) топками.

Производственная система добычи топлива и получения электричества и теплоты предельно важна, сложна и ресурсоемка. Предстоящий перевод ее на инновационный сценарий развития потребует применения новых высокоэффективных решений во всех элементах системы, а также в особом ее элементе – автоматизированной системе управления (АСУ). Только высокое качество ее работы позволит реализовать высокие технологические свойства рассматриваемой перспективной системы.

Подобная АСУ будет иметь многоуровневую структуру в виде информационной пирамиды. На ее вершине расположена АСУ межведомственного уровня, а внизу – АСУ предприятий, цехов, участков и, наконец, система автоматического управления (САУ) техническими объектами – технологическими агрегатами.

Результаты оперативного контроля ответственных традиционных, а также новых, впервые введенных, параметров технологического процесса целесообразно вынести на экраны автоматизированных рабочих мест (АРМ) операторов, обслуживающих соответствующее оборудование.

Проблема обеспечения процесса осуществления рассматриваемой Программы может быть реализована только исполнителями высокого профессионального потенциала. Необходимо отметить особую важность и значимость ресурсного обеспечения Программы.

Научно- и организационно-технические элементы производственных процессов, отражающие новые идеи, методы, подходы и средства ведения технологических процессов, необходимо отразить в программах подготовки специалистов всех квалификационных уровней.

Волкогон В.М., Котляр Д.А., Аврамчук С.К.,
Федоран Ю.А. Институт проблем материаловедения
им. И.Н. Францевича НАН Украины,
Белый А.И. Институт электросварки им. Е.О. Патона
НАН Украины, Киев, Украина

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕРМОЦЕНТРОБЕЖНОГО РАСПЫЛЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК НА ОСНОВЕ КАРБИДОВ ВОЛЬФРАМА, ПОЛУЧЕННЫХ В ПЕЧАХ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ

Карбиды вольфрама являются основной составляющей инструментальных, износостойких и других стратегически важных материалов. Особое место занимает релит, представляющий эвтектический сплав в котором содержится 20мас.% карбида и 80мас.% полукарбида вольфрама. Традиционно его получают плавлением вольфрам-углеродной смеси в печах электросопротивления при температуре ~3100 ºС с последующей кристаллизацией в литнике в виде цилиндрической заготовки диаметром ~ 30 мм и длиной ~ 200 мм [1, 2]. Использование релита (WC + W_2C) в качестве компонента износостойкого покрытия предполагает, что дисперсность его частиц должна соответствовать 50-150мкм. Получение порошков такой дисперсности осуществляется путем термоцентробежного распыления заготовок релита на установке, разработанной в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины [3]. Качество заготовок должно отвечать целому ряду требований, одно из которых – однородность химического состава по всему объему [4], что предполагает постоянство температуры расплава на протяжении всего периода распыления заготовки.

В данном случае распыляемая заготовка является элементом электрической цепи сопротивления и содержит два компонента WC и W_2C, которые имеют разное удельное электросопротивление. Карбиды вольфрама имеют низкое удельное электросопротивление, при этом оно меньше для монокарбида WC (табл. 1). С повышением температуры удельное электросопротивление карбидов вольфрама возростает [1], причем для полукарбида W_2C, в значительно большей степени.

Таблица 1 – Электрические характеристики карбидов вольфрама [1]

Фаза	Удельное электросопротивление (20 °С), мкОм·см	Удельная электропроводность, $Ом^{-1}·м^{-1}$	Коэффициент электросопротивления $\times 10^3$, $град^{-1}$
WC	19,2±0,3	52200	± 0,495 (20–1500 °С)
W_2C	75,7±0,1	13200	+ 1,95 (200–2000 °С)

Для монокарбида вольфрама увеличение электрического сопротивления незначительно. При этом с повышением температуры рост удельного электросопротивления карбидов происходит по линейному закону в силу металлического характера проводимости. Для монокарбида вольфрама зависимость удельного электросопротивления от температуры выражается уравнением:

$$\rho = 18{,}61 + 0{,}55\ t^{1{,}001}\ (\text{мкОм·см}).$$

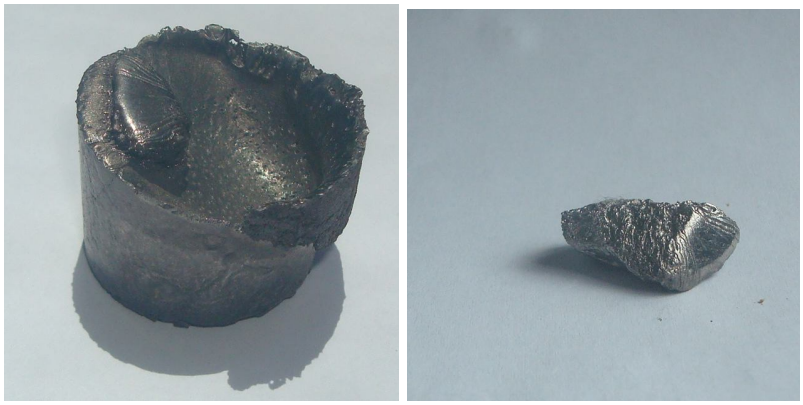
Как показывает опыт в ряде случаев распыление литых заготовок происходит неоднородно о чем свидетельствует анализ состояния их поверхности после завершения процесса. На рис. 1 приведен фрагмент заготовки релита после завершения процесса распыления. Он свидетельствует о том, что над краями заготовки расплав нависает, образуя овальные выступы в местах отрыва капель. В центре заготовки место углубления наблюдается холмообразная поверхность с небольшой площадкой на вершине.

Рисунок 1 – Фрагмент литой заготовки релита после распыления (×3,5)

Количественный рентгенофазовый анализ [5] проб с вершины и основания фрагмента заготовки показал, что составы обоих проб идентичны (65 мас. % W_2C и 35 мас. % WC). Следует отметить, что при изготовлении заготовки заливка расплава двойного карбида вольфрама в литник осуществляется под углом 45º, при этом из-за разницы в удельном весе его составляющих (расчетная плотность

W_2C -17,18 ,а WC - 15,67 г/см ^{3}) процент более тяжелой компоненты в нижней части стержня может быть больше чем в верхней (стандартный размер: диаметр – 29мм; длина – 200мм). Анализ проб показал, что содержание W_2C в нижней части стержня 68 мас. %, а в верхней – 64мас%. Кроме того коэффициент теплопроводности W_2C ниже в четыре раза чем у WC [1]. Неоднородностью состава заготовки можно также объяснить образование конусообразного непроплавленного элемента на другом фрагменте заготовки после распыления (рис. 2), на котором наблюдается кратерообразная поверхность с образовавшимся непроплавленным выступом. При механическом воздействии фрагмент разрушился на части, которые легко отделились от непроплавленного элемента.

По данным количественного рентгенофазового анализа этот фрагмент содержит вольфрам (80 мас.%) и полукарбид вольфрама (20 мас.%). Можно предположить, что данный элемент лишь частично прореагировал с углеродом при плавлении и из-за более высокой плотности (W-19,3 г/см^3, релит-17 г/см^3) опустился в расплаве при остывании на дно (низ) заготовки.



а *б*

Рисунок 2 – Фрагмент заготовки релита после распыления: *а* – общий вид; *б* – извлеченный из заготовки непроплавленный элемент (×1,0)

В процессе распыления, когда зона раслава достигла уровня залегания элемента, мощности дуги не хватило для его оплавления ($T_{пл.W}$ = 3380 ºС, $T_{пл.релита}$~ 2800 ºС).

Таким образом, совокупность перечисленных факторов при изменении концентрации компонент может привести к снижению величины необходимого перегрева а, следовательно, повышению вязкости расплава, что усложняет процесс распыления соответствующего участка стержня. Стабильность процесса термоцентробежного распыления заготовок релита, полученных в печах электросопротивления, зависит от способа их формования, определяющего объемную однородность по составу и, как следствие, различие физических характеристик по объему.

Литература

1. Самсонов Г.В., Витрянюк В.К., Чаплыгин Ф.И. Карбиды вольфрама. – К.: Наук. думка, 1974. – 174 с.

2. Киффер Р., Бенезовский Ф. Твердые материалы. – М.: Металлургиздат, 1968. – 312 с.

3. Пат. На изобретение № 20516 А Кл. B22F 9/10. Украина. Способ получения гранулированных тугоплавких материалов / К. А. Ющенко, А. П. Жудра, А. И. Білий, В. И. Дзыкович. – Заявл. 14. 10. 94; Опубл. 15.07.97.

4. Дзыкович В. И. Влияние процесса термоцентробежного распыления на свойства сферических частиц карбидов вольфрама // Автоматическая сварка. – 2009. – № 4. – С. 52–55.

5. Дослідження процессів формування в умовах гарячого пресування електродів з подвійного карбіду вольфраму при його взаємодії звольфрамом і вуглецем / Д.А. Котляр, С.К. Аврамчук, Ю.О. Федоран и др. // Вісник матеріалознавства. – 2014. – Вып. № 7. – С. 75–79.

Wroblewski T., Pawlak W., Wendler B., Progalskiy I. Lodz University of Technology, Lodz, Poland
Tikhenko V. Odessa National Politechnic University, Odessa, Ukraine

HIGH TEMPERATURE TRIBOLOGY OF TIN/A-SI_3N_4 COATING DEPOSITED ONTO SINTERED CARBIDE BY MEANS OF A NEW GAS IMPULSE MAGNETRON SPUTTERING TECHNIQUE

Cutting egdes of cutting tools are working at very severe conditions as, e.g., high mechanical loads, minimum quantity lubrication (MQL) or without lubrication as well as a high temperature which can reach 900°C. Due to that novel materials are in search which would resist well these harsh conditions and enlarge cutting capabilities of the cutting tools, in particular during High Speed Cutting of difficult to working special alloys as, e.g., titanium, nickel and cobalt alloys.

In the present paper high temperature tribological tests of a new type hard, wear resistant TiSiN coatings are presented. The coatings

were deposited with use of a newly elaborated (in 2010 in Institute of Materials Science and Engineering, Mechanical Engineering Faculty of the Lodz University of Technology) Gas Impulse Magnetron Sputtering deposition technique (GIMS) [1].

The deposition procedure was described in a recent paper [2]. The exchangeable inserts SM25T P25 from sintered carbides (produced by BAILDONIT, Poland) were chosen for coating's substrates. Coating's thickness was measured with use of the scanning electron microscopy technique after deposition on a monocrystalline silicone plate, chemical composition with use of electron energy dispersive spectrometry (EDS) and the phase composition of the coatings by means of the XRD diffractometry in the Bragg-Brentano geometry. The tribological investigations were carried out by means of the pin-on-disc technique at 850°C with use of a high-temperature tribotester from CSM (Switzerland). The applied load on a sintered Si_3N_4 sphere 1/8'' diam. was 5 N. The radius of the friction path was 3mm and the total length of the friction path was 100 m. The coefficient of the volume wear was measured after the friction test.

The following conclusions were drawn from the performed tribological tests:

- the exchangeable inserts SM25T P25 from the sintered carbides are submitted to an important oxidation during friction at 850°C;
- the TiN/a-Si_3N_4 coating protects well the sintered carbide substrate against oxidation at 850°C;
- the volume wear coefficient of the TiN/a-Si_3N_4 coating at 850°C is three orders of magnitude lower than that for the bare SM25T P25 substrate (i.e., without the coating);
- the friction coefficient of the TiN/a-Si_3N_4 coating at 850°C is lower than that of the sintered carbide substrate (at the same temperature of the testing).

References

1. Polish Patent P-399605 // B.G. Wendler, I.F. Progalskiy, J. Dora et all. – 2012.

2. Superhard, nanostructural TiN/a-Si_3N_4 coatings deposited onto Vanadis 23 steel by means of new metod of magnetron sputtering / B. Wendler, I. Progalski, T. Moskalewicz // Material Engineering. – 2013. – vol. XXXV, Iss. 4. – P. 563–567.

Голофеева М.А., Левинский А.С., Паленный Ю.Г.
Одесский национальный политехнический
университет, Одесса, Украина

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКОВ

Актуальность оценки рисков связана с переходом от системы технического регулирования на базе обязательной сертификации к техническому регулированию на базе Технических регламентов.

Для подтверждения соответствия продукции требованиям Технических регламентов изготовителю необходимо выполнить оценку рисков. Такая оценки позволит обеспечить уверенность в том что:

- все виды опасности идентифицированы;
- для каждого вида опасности проведена оценка рисков.

Отчет по оценке рисков является обязательным элементом технического файла, который в свою очередь является доказательной базой выполнения всех мер, направленных на снижение рисков.

Общий порядок выполнения работ, а также перечень возможных опасностей приведен в стандарте ДСТУ EN 1050:2003. Он аналогичен порядку, установленному в Европейских Директивах.

Оценка рисков в соответствии с требованиями Технических регламентов должна начинаться на стадии проектирования. Приступая к оценке, нужно отметить, что абсолютно безопасного оборудования не бывает, то есть, любая машина или ее элементы могут представлять опасность. Эту работу следует проводить таким образом, чтобы все шаги по оценке рисков были документированы, а результат был включен в техническое досье.

Оценивание риска представляет собой последовательность логических шагов, которые позволяют систематически исследовать опасность, обусловленную машиной. В случае необходимости, после оценивания выполняются действия по снижению риска согласно разделу 5 ДСТУ EN 292-1. Поскольку, получить абсолютно безопасную машину практически невозможно, то для каждого вида (типа) оборудования устанавливается приемлемый уровень риска, который определяется по принципу ALARA «as low as reasonably». Непрерывное повторение процесса оценки рисков направлено на то, что бы свести к минимуму уровень остаточных рисков.

Главной целью анализа опасностей является выявление опасных ситуаций связанных с использованием оборудования на всех этапах жизненного цикла. Такой анализ обеспечивает базу для оценки рисков, мероприятий по снижению выявленных рисков и принятию приемлемого их уровня. На этом этапе, важно не упустить какой либо вид опасностей, который может быть присущ подвергающемуся анализу оборудованию.

В приложение А стандарта ДСТУ EN 1050:2003 приведен перечень (реестр) видов опасностей и опасных ситуаций разработанный на основе опыта проведения подобных работ в странах ЕС. Использование этого реестра позволяет систематизировать работу по выявлению опасностей и опасных ситуаций и сводит к минимуму вероятность того, что какой либо вид опасности останется неучтенным.

Однако при выполнении практических работ по оценке рисков оказывается не достаточно иметь только перечень (реестр) видов опасностей и опасных ситуаций.

Существенную информацию о возможных рисках можно почерпнуть, проведя анализ таких аспектов как: операции, выполняемые оператором при эксплуатации оборудования; действия персонала по устранению быстро изнашиваемых деталей; наладочные работы; источники энергии, которые могут стать причиной возникновения опасных ситуаций и прочее.

Учитывая вышесказанное, для уменьшения вероятности возникновения ошибок при выполнении работ предлагается до начала анализа опасностей и оценки рисков составить так называемый комплекс реестров, в который, в зависимости от объекта исследования, могут входить:

- реестр обрабатываемых материалов;
- реестр подвижных элементов оборудования;
- реестр операций, выполняемых персоналом;
- реестр наиболее быстро изнашиваемых деталей оборудования;
- реестр источников излучения и энергии (механической, тепловой, электрической).

Проведение этого дополнительного этапа работ позволит свести к минимуму так называемые ошибки первого и второго рода, а именно, уменьшит вероятность возникновения неучтенных и исключит избыточные опасности.

Гончар Н.В., Степанов Д.Н. Запорожский национальный технический университет,
Тришин П.Р. КП «Научно-производственный комплекс Искра», Запорожье, Украина

СНЯТИЕ ЗАУСЕНЦЕВ НА АЛЮМИНИЕВЫХ ЗАГОТОВКАХ, ПОЛУЧЕНЫХ ЛИТЬЕМ В КОКИЛЬ И ПОД ДАВЛЕНИЕМ, ПРИ ПОМОЩИ ПОЛИМЕРНО-АБРАЗИВНОГО ЩЕТОЧНОГО ИНСТРУМЕНТА

В результате постепенного износа литейных форм и отсутствия возможности их замены при получении отливок в кокиль и под давлением трудоемкость последующих слесарных операций доведения заготовок к потребительскому виду резко возрастает. К тому же часть ручного труда при обламывании и удалении излишнего облоя, заусенцев и скругления острых кромок из-за сложной конфигурации отливок занимает большую часть процесса их изготовления, – особенно в случае отсутствия дальнейшей механической обработки, например, только нанесение защитно-декоративных покрытий. Несмотря на то, что большинство алюминиевых сплавов считается легкообрабатываемыми, тонкие кромки, которые необходимо удалить, имеют повышенную твердость и хрупкость. Это затрудняет процесс обработки и уменьшает расчетную стойкость инструмента. В связи с этим использование для зачистки относительно новых инструментов на основе полимерно-абразивных волокон, которые имеют высокую стойкость, возможность самозатачивания, обеспечивают качественную обработку, являются стойкими к химически-активным веществам, используемым в составе СОТС, и дают возможность механизации данного процесса, является актуальным. Полимерно-абразивный инструмент (ПАИ) представляет собой нежесткий щеточный инструмент вращательного действия. Волокна, в полимерной основе которых равномерно распределены абразивные частицы определенной зернистости, закреплены в металлической или пластмассовой ступице.

Цель данной работы – поиск рациональных режимов обработки и параметров полимерно-абразивных инструментов для наиболее эффективной обработки мелко- и среднегабаритных отливок деталей колясок, «звездочек», небольших радиаторов и корпусов, изготовленных из алюминия и сплавов на его основе.

Для обработки использовали дисковые, чашечные и кистевые ПАИ фирмы OSBORN [1]: диаметр ПАИ 45–150 мм, диаметр волокон 0,6–1,2 мм, вылет волокон 8–32 мм, материал абразива 63С зернистостью F90–280. В ходе проведения исследований выяснили, что важным фактором при обработке таких изделий, является соблюдение температурного режима в рабочей зоне. Это связано с тем, что полимерная основа волокон начинает размягчаться после нагрева до 90 °С и может оставлять полимерную пленку на обрабатываемой поверхности. Алюминий относится к материалам с высокой теплопроводностью, он быстро отводит тепло в тело детали из зоны обработки, что дает возможность использовать «жесткие» режимы ПАИ (без применения СОТС), в отличие от других материалов.

Учитывая, что полимерно-абразивные волокна наиболее продуктивно работают торцевой частью, необходимо четко выдерживать назначенную величину натяга (перекрытие контуров инструмента и поверхности обработки).

Большинство операций слесарной обработки полимерно-абразивным щеточным инструментом вышеназванных отливок удалось механизировать, используя при этом обычные плоскошлифовальные станки или специально сконструированные установки несложной конструкции.

Таким образом, в результате проведенных исследований были определены рациональные режимы и условия обработки, а также параметры полимерно-абразивных щеточных инструментов для удаления остаточного облоя, заусенцев и скругления острых кромок на отливках из алюминия и сплавов на его основе, полученных литьем в кокиль и под давлением.

Литература

1. OSBORN International: Каталог продукции. – Osborn PRO, 2012. – 101 с.

Гутыря С.С., Моргун Ю.Б., Ляшевский А.М., Белозеров А.Г. Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина

ШАРИКОВЫЙ ПЛАНЕТАРНО-ФРИКЦИОННЫЙ МУЛЬТИПЛИКАТОР ДЛЯ ВЕТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Известными недостатками конструкций планетарных зубчатых мультипликаторов, применяемых в ветродвигателях, являются сложность и высокая стоимость изготовления передач необходимой степени точности, значительные габариты, повышенный уровень шума при работе, необходимость предохранения от поломок при перегрузках от порывов ветра.

Перспективными представляются разработки, исследования и применение в ветродвигателях оригинальных конструкций планетарно-фрикционных мультипликаторов на основе стандартных шариковых подшипников, отличающихся высокой технологичностью и низкой себестоимостью изготовления, компактностью конструкции, надежностью, бесшумностью при работе и самопредохранением от перегрузок [1].

Используемые в шариковых планетарно-фрикционных мультипликаторах (ШФПМ) подшипники, в кинематическом отношении подобны планетарным механизмам типа 2К-Н, в которых шарики, вращающиеся одновременно вокруг собственных осей и оси вала, являются сателлитами, наружное и внутреннее кольца – центральными колесами, а сепаратор – водилом. В зависимости от размера подшипника и того, какое из колец подшипника будет неподвижно закреплено, получают планетарную передачу с одной степенью свободы и различными передаточными отношениями.

Для каждой ступени шарикового фрикционно-планетарного механизма (ШФПМ) с заторможенным наружным кольцом передаточное отношение определяется по формуле Виллиса

$$i = \frac{D_{\text{В}} + D_{\text{Н}}}{D_{\text{В}}}, \qquad (1)$$

где $D_{\text{н}}$, $D_{\text{в}}$ – диаметр дорожки качения соответственно наружного и внутреннего кольца подшипника.

Разработанная конструкция двухступенчатого ШФПМ для ветродвигателей малой мощности состоит из входного вала 1, корпуса 2, в котором установлены подшипники 4 и 5, поводков 3 и 5, входящих в зацепление с сепараторами подшипников 4 и 5, крыш-

ки 7, поджимающей наружное кольцо подшипника 6, выходного вала 8, на котором жестко сидит внутреннее кольцо подшипника 6, и упорного подшипника 9, упирающегося в пружину 10 (рис. 1). Наружные кольца подшипников 4 и 6 фиксируются от поворота винтами. При повороте крышки 7, наружное кольцо подшипника 6 перемещается вдоль оси мультипликатора и через шарики и внутреннее кольцо вместе с выходным валом 8 сжимает пружину 10.

Так как наружное кольцо подшипника зафиксировано, пружина 10 раздвигает с определенным усилием внутренние кольца подшипников 4 и 6, создавая в них необходимый натяг, позволяющий передавать крутящий момент за счет трения шариков о кольца.

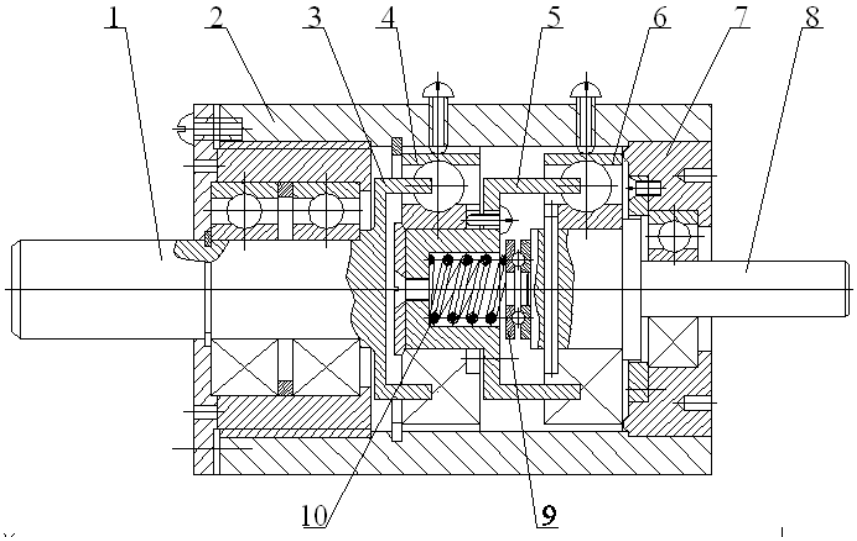


Рисунок 1 – Чертеж опытной конструкции ШФПМ

При вращении входного вала 1, поводок 3 вращает сепаратор с шариками подшипника 4. Вращение передается на внутреннее кольцо подшипника 4 с поводком 5 с передаточным отношением $i_M = i_1 \cdot i_2$, где i_1, i_2 – передаточные отношения 1-й и 2-й ступеней, определяемые по формуле (1).

Далее вращение передается на сепаратор подшипника 6 и через его внутреннее кольцо передается выходному валу. Так как внутренние кольца подшипников 4 и 6 вращаются с разными скоростями, то между выходным валом и пружиной 10, создающей натяг, установлен упорный подшипник 9.

Разработанная конструкция ШФПМ позволяет исключить передачу разжимного усилия через сепараторы, уменьшает соответствующее трение между сепараторами и шариками в осевом направлении, и в результате обеспечивает существенное повышение КПД механизма [2, 3]. Для предварительной оценки работоспособности предложенной оригинальной конструкции ШФПМ был изготовлен и испытан опытный образец на основе подшипников 306 с передаточным отношением $i_M = 6{,}8$.

Испытания проведены на холостом ходу с определением температуры подшипников посредством пирометра *FLUKE* 574, позволяющего бесконтактно и оперативно определить температуру поверхности на расстоянии до 30 м с точностью до 0,1 °С. Входной вал зажимался в патроне токарно-винторезного станка 1К62, конец выходного вала фиксировался вращающимся конусом, расположенным в задней бабке, корпус фиксировался на суппорте. С целью доступа к подшипникам, в корпусе вырезаны два овальных окна, через которые замерялась температура внутренних и наружных колец. По результатам испытаний получены графики изменения во времени температуры колец подшипника мультипликатора при максимально используемых на практике частотах вращения выходного вала (рис. 2).

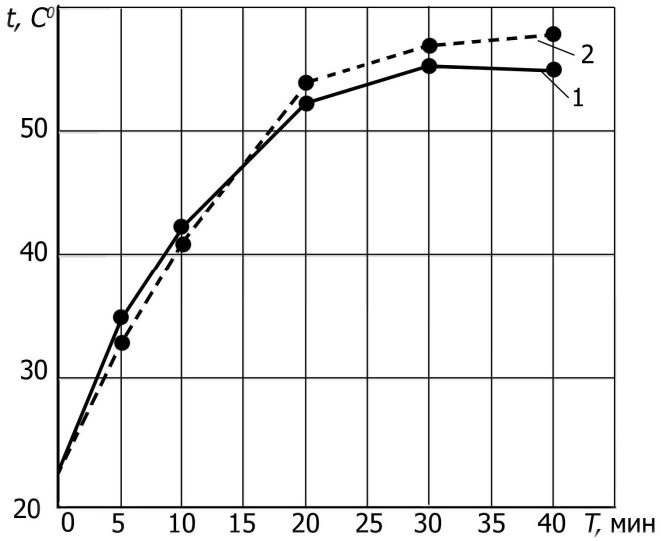


Рисунок 2 – График изменения во времени температуры подшипника выходного вала ШФПМ в режиме холостого хода:
1 – для наружного кольца;
2 – для внутреннего кольца

При этом на входном валу частота вращения составляла 630 об/мин, на выходном – 4280 об/мин. Установившаяся через 40 мин температура колец не превышала предельные значения 80–90 °С по нормативам для стандартных подшипников с консистентной смазкой. Испытания проведены в широком диапазоне скоростей и предварительно подтвердили приемлемую работоспособность конструкции при использовании в составе ветродвигателя малой мощности.

Литература

1. Кинематика планетарно-фрикционных коробок скоростей / С.С. Гутыря, Б.А. Моргун, Ю.Б. Моргун др. // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій: Зб. наук. праць. – Дніпропетровськ: ІМА-прес, 2009. – Вип. 13. – С. 43–49.

2. Патент України: UA 87778. Планетарно-фрикційна коробка швидкостей / С.С. Гутыря, Б.А. Моргун, Ю.Б. Моргун. – Опубл. 10.08.2009. – Бюл. № 15, 2009. – 3 с.

3. Increase of power efficiency of the ball friction-planetary mechanisms / S. Gutyrya, B. Morgun, Yu. Morgun // Les problemes contemporains du technosphere et de formations des cadres d'ingenieurs // Recueil d'ovrages du IV Conference international scientifique et methodique a Hammamet. – Donetsk: UNTD, 2010. – P. 65–74.

Драгобецкий В.В., Климов Э.С., Коноваленко А.Д., Воронин А.В. Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского, Кременчуг, Украина

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ВМЯТИН ПРИ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ РИХТОВКЕ ОБЛИЦОВОЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ

Сравнительно новым направлением технологического преимущества магнитно-импульсных полей является рихтовка кузовных деталей автомобилей и других транспортных средств без их разборки. Перспективность этого направления связана с ростом количества автомобилей в мире и с увеличением количества дорожно-транспортных происшествий, что составляет серьёзную проблему в социальной и экономической сферах общества. Значительное количество дорожно-транспортных происшествий связаны с повреждением облицовочных тонколистовых автокузовных деталей. По статистическим данным, приведенным в работах А.В. Гнатова [1], до 80 % повреждений приходится на небольшие и средние повреждения. Как правило, это вмятины, необратимые прогибы, гофры, пуклёвки, местные утонения и т.д. не требующие замены всего элемента обшивки кузова автомобиля. Более половины таких повреждений составляют зоны с затруднённым или закрытым обратным доступом [1]. Поэтому среди методов восстановления автокузовных деталей автомобилей предпочтительно использовать методы внешней рихтовки для восстановления деталей без разборки и нарушения лакокрасочных покрытий.

Детальный анализ электродинамических процессов, описывающих взаимодействие тонколистовой обшивки кузова автомобиля с рихтующим магнитно-импульсным инструментом индукционной индукторной системы, с одновитковым цилиндрическим

соленоидом приведен в работах Гнатова А.В. [1]. Исследования в этой области на обеспечение возбуждения максимально возможных сил электродинамического взаимодействия. При этом в работах [1] основной акцент ставится на определении электрофизических и геометрических характеристик экрана и заготовки, а также амплитудно-временных параметров токового импульса [1].

Для определения наиболее рациональной схемы и режимов деформирования при правке и рихтовке автокузовных облицовочных деталей необходимо привлечение специалистов в области обработки материалов давлением. А для систематизации данных для решения задач пластического деформирования вмятин необходимо составить классификатор устранимых вмятин.

Автокузовные детали из листа классифицируем по двум определяющим параметрам или элементам, как это предложено Е.И. Исаченковым [2], выраженными терминами ″стенка″ или ″борт″. Большое множество деталей из листа объединяются в восемь классов: детали без борта с плоской и криволинейной стенкой (классы 1, 2); детали с плоским бортом без стенки (класс 3); с плоской и криволинейной стенкой и плоскими бортами (классы 4, 5, 6); детали с криволинейными бортами без стенки (хомуты, прокладки и т.д.), которые легко демонтируются и нет смысла их рихтовать, используя магнитно-импульсные установки (класс 7); детали с криволинейными стенками и бортами (класс 8).

Для расчёта энергии деформирования при рихтовке целесообразно использовать методики либо основанные на решении задач теории пластичности, в которых интенсивность напряжений является функцией степени деформации, либо на феноменологической теории деформируемости.

Касательно определения предельной деформации, приводящей к разрушению вмятины при её расправлении, следует отметить:

- восстановлению подлежат элементы кузова с вмятинами, не имеющие нарушений сплошности и лакокрасочного покрытия;
- в материале вмятины не должно быть локальных утонений, т.е. интенсивность деформаций материала вмятины должна быть меньше предельной равномерной деформации;
- учитывая, что предельная деформация зависит от схемы напряжённого состояния и от истории нагружения, а при распрямлении вмятины преобладают сжимающие напряжения нарушение сплошности материала практически невозможно.

Локальные утонения во вмятине различного вида происходят, как правило, в полюсе вмятины и определяется из соотношения между давлением и кривизной в полюсе вмятины при потере устойчивости. Решение этого уравнения методами теории пластичности для различного типа оболочек одинарной и двойной кривизны позволяет определить максимальный прогиб вмятины и радиусом в полюсе матрицы. Для малоуглеродистых сталей, типа «автомат» толщиной 0,8 мм максимально допустимое отношение ширины вмятины к прогибу составляет 3,10. Минимальный радиус кривизны в полюсе составляет 13,21 см т.е. нет смысла измерять толщину обшивки автомобиля, а достаточно измерить диаметр или ширину вмятины и максимальный прогиб, и получить заключение о возможности расправления вмятины.

При расправлении вмятины давлением магнитного поля необходимо предотвратить потерю устойчивости материала вмятины при действии сжимающих напряжений. Сравнивая энергию, которая необходима для сжатия и для продольного изгиба, можно определить момент потери устойчивости элемента вмятины.

Т.о., совместные исследования специалистов в области электромагнитизма, механики деформированного тела и обработки металлов давлением позволят расширить возможности магнитно-импульсной рихтовки и штамповки, ускорить повсеместное внедрение на станции технического обслуживания процесса, вооружить специалистов дополнительными техническими знаниями и навыками по разработке новых технических решений и технологий.

Разработанный классификатор устранимых вмятин позволяет упорядочить процесс принятия технологических решений по рихтовке элементов обшивки автомобиля и выявить пути совершенствования конструкции магнитно-импульсных экранов. Предложенные подходы позволяют рассчитать энергию силовых параметров и прогнозировать возможность восстановления вмятины без образования гофр и складок.

Литература

1. Гнатов А.В. Внешняя контактная рихтовка кузовных панелей автомобилей // Машинобудування та транспорт: Вісник СевНТУ. – 2013. – Вип. 142. – С. 69–72.

2. Исаченков Е.И. Штамповка резиной жидкостью. – М.: Машиностроение – 1977. – 368 с.

Зелинский С.А., Серебрий Ю.А. Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина

ТРЕБОВАНИЯ К МОДЕЛИ ПРОЦЕССА КОНТУРНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАЛОЙ ЖЕСТКОСТИ

Многие детали в современном машиностроении (лопатки турбин, лопасти, кулачки, моноколеса и др.) представляют собой тонкостенные конструкции, жесткость которых на порядок ниже, чем жесткость упругой системы станка. Обработка таких деталей, как правило, осуществляется методом контурного фрезерованием из цельного куска материала на фрезерных и многооперационных станках с числовым программным управлением. Малая жесткость тонкостенных деталей приводит к появлению колебаний в процессе резания, которые снижают качество обработанной поверхности. Шероховатость и погрешность поверхности обработанных деталей определяется относительными смещениями инструмента и обрабатываемой детали, вызванные колебаниями при ее обработке. Амплитуда и частота колебаний, возникающие при обработке, зависят в основном от характеристик упругой технологической системы (ТС), включающей станок инструмент и деталь, а так же от режимов фрезерования. Обработка нежестких деталей при контурном фрезеровании часто приводит к возникновению резонансных колебаний, резко ухудшающих качество обработанной поверхности.

В зависимости от конкретных условий процесса фрезерования доминирующими в плане возникновения колебаний являются три составляющие ТС: $j_д$ – жесткость детали; $j_{ст}$ – жесткость станка; $j_{фр}$ – жесткость фрезы.

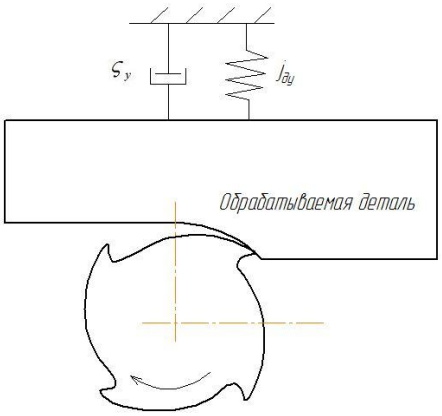


Рисунок 1 – Жесткость детали на порядок меньше жесткости фрезы и станка

Доминирующей подсистемой из условий возбуждения колебаний является подсистема детали (рис. 1)

Уравнение, описывающее колебания ТС для случая, когда $j_д << j_{ст}$, $j_{фр}$ может быть представлено в следующем виде:

$$\ddot{y}(t) + \varsigma_y^2 \dot{y}(t) + \omega_y^2 y(t) = F_y(t)$$

где, j – жесткость; $\varsigma = c / m$ – коэффициент демпфирования; $\omega = j/m$ – соб-

ственная частота; $F_y(t)$ – сила резания.

Первый случай возникает при обработке нежестких деталей достаточно жесткими концевыми фрезами (большого диаметра и малого вылета).

Доминирующей подсистемой из условий возбуждения колебаний является подсистема инструмента (концевой фрезы) (рис. 2)

Уравнение, описывающее колебание ТС для случая, когда $j_{\text{фр.}} << j_{\text{ст}}, j_{\text{д}}$ может быть представлено в следующем виде:

$$\ddot{x}(t) + 2\xi_x \dot{x}(t) + \omega_{ux}^2 x(t) = \frac{1}{m_u x} \sum_{j=0}^{N-1} F_{x\,j} = \frac{1}{m_x} F_x(t)$$

$$\ddot{y}(t) + 2\xi_y \dot{y}(t) + \omega_{uy}^2 y(t) = \frac{1}{m_u y} \sum_{j=0}^{N-1} F_{y\,j} = \frac{1}{m_y} F_y(t)$$

Второй случай характерен для обработки концевой фрезой малого диаметра и большого вылета жестких элементов детали.

Доминирующими подсистемами из условий возбуждения колебаний является одновременно подсистемы детали и инструмента (рис. 3)

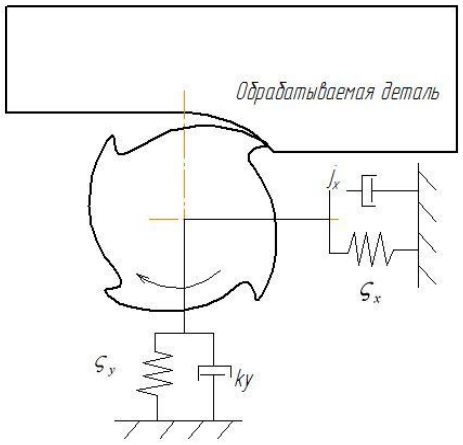


Рисунок 2 – Жесткость фрезы на порядок меньше жесткости инструмента и станка

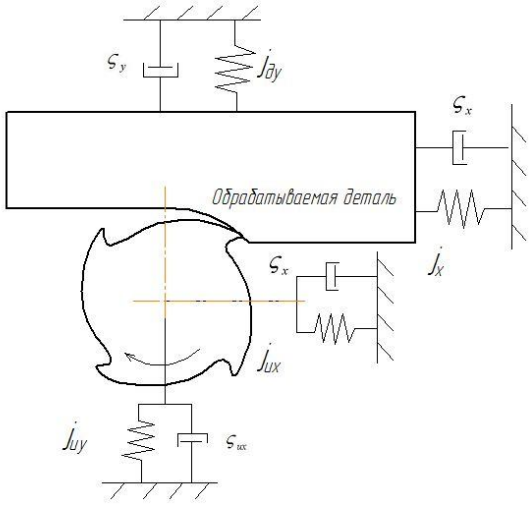


Рисунок 3 – Жесткость фрезы и детали на порядок меньше жесткости станка

Уравнение, описывающее колебание ТС для случая, когда $j_{\text{д}}$, $j_{\text{фр}} << j_{\text{ст}}$ может быть представлено в следующем виде:

$$\ddot{y}(t) + \varsigma_y^2 \dot{y}(t) + \omega_{dy}^2 y(t) = F_y(t) \frac{1}{m_{dy}}$$

$$\ddot{x}(t) + \varsigma_x^2 \dot{x}(t) + \omega_{dx}^2 x(t) = F_x(t) \frac{1}{m_{dx}}$$

$$\ddot{x}(t)+2\varsigma_x\dot{x}(t)+\omega_{ux}^2x(t)=\frac{1}{m_u x}\sum_{j=0}^{N-1}F_{x\,j}=\frac{1}{m_x}F_x(t)$$

$$\ddot{y}(t)+2\varsigma_y\dot{y}(t)+\omega_{ux}^2y(t)=\frac{1}{m_u y}\sum_{j=0}^{N-1}F_{y\,j}=\frac{1}{m_y}F_y(t)$$

Третий случай имеет место при обработке нежестких деталей концевой фрезой малого диаметра и большого вылета.

Модели динамики процесса контурного фрезерования представлены в общем виде. При построении модели может использоваться один из трех случаев в зависимости от реальных условий.

Зелинский С.А., Натальчишин В.В. Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина

ПОСТРОЕНИЕ САУ ДИНАМИКОЙ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ

Регенеративные вибрации, возникающие в процессе контурного фрезерования, приводят к резонансным автоколебаниям, что резко ухудшает точность, шероховатость поверхности, увеличивает скорость износа инструмента.

Современные методы гашения регенеративных автоколебаний, как правило, основаны на управлении частотой вращения шпинделя. Реализация этого метода наиболее перспективна за счет оснащения станка с ЧПУ системой адаптивного управления (САУ).

Реализация метода управления динамикой процесса фрезерования за счет разработки САУ, которая должна регистрировать параметры вибраций на заготовке и по их результатам управлять скоростью резания на станке с ЧПУ.

Для решения этой проблемы рассмотрен способ управления вибрациями с помощью САУ для универсального фрезерного станка с системой ЧПУ SINUMERIK 802D.

Современные системы ЧПУ позволяют производить изменение величины скорости вращения шпинделя в достаточно широком диапазоне за определенный промежуток времени.

Данная система ЧПУ представляет собой достаточно закрытую систему. В частности, обмен информацией между системой ЧПУ и приводом шпинделя осуществляется в цифровой форме по промышленной шине PROFIBUS. Это исключает возможность корректировки задания скорости вращения шпинделя изменением задающего сигнала, направленного от ЧПУ к приводу. Кроме того, ЧПУ может иметь в наличии систему обратной связи, контролирующую соответствие задания скорости вращения с реальной величиной. При превышении заданного порогового значения, ЧПУ получает сигнал о неисправности системы, что в свою очередь ведет к аварийной остановке системы.

Существует несколько вариантов реализации возможности осуществлять коррекцию скорости вращения шпинделя по внешнему управляющему сигналу.

Первый путь состоит в создании дополнительной адаптивной системы управления. Siemens 802D позволяет в ходе выполнения управляющей программы (в ходе обработки детали) анализировать состояние нескольких управляющих входов. И по результатам этого анализа производить корректировку хода выполнения программы. Однако, эта возможность должна быть дополнительно поддержана производителем станка в ходе привязки системы ЧПУ к конкретному станку. Сама управляющая программа должна быть составлена таким образом, что бы периодически анализировать состояние управляющих входов и вносить соответствующие коррекции в ход обработки. Возможности системы ЧПУ позволяют запрограммировать систему таким образом, что бы коррекция обработки вносилась по состоянию управляющих входов и без написания специальных управляющих программ. Реализовать эту возможность можно только непосредственно на предприятии-изготовителе станка, запрограммировав соответствующим образом PLK.

Второй путь состоит в имитации сигналов, приходящих в систему ЧПУ со станочного пульта. На станочном пульте расположены два механических корректора – величины подачи и скорости вращения шпинделя. Система ЧПУ постоянно опрашивает состояние этих корректоров и в зависимости от их положения корректирует задания, отправляемые на привода. Важным моментом является то, что по этому интерфейсу не передается никакая другая информация. Этот способ накладывает ограничение на диапазон коррекции. Для величины скорости вращения шпинделя диапазон

составляет 50–120 % от величины, указанной в программе. Допустимая минимальная дискретность изменения составляет 5 % от величины заданной в программе. Этот путь наиболее простым в реализации, не требует больших трудозатрат и может быть легко реализован на других системах ЧПУ.

Предлагаемая система коррекции скорости вращения шпинделя состоит из двух модулей – аппаратного и программного.

Аппаратный модуль состоит из блока ввода-вывода E14-140, подключенный к системе ЧПУ Siemens 802D и персональному компьютеру. Подключение осуществляется между станочным пультом и модулем интерфейса MCPA. Такое подключение позволяет блоку E14-140 имитировать сигнал от корректора скорости вращения шпинделя станочного пульта. В свою очередь, блок E14-140 также подключен через интерфейс USB к персональному компьютеру, который и непосредственно управляет процессом.

Модуль E14-140 представляет собой малогабаритный многофункциональный USB-модуль аналого-цифрового и цифро-аналогово преобразователя общего назначения. Основное назначение модуля в системе – осуществление цифрового асинхронного ввода-вывода значений.

Программный модуль выполнен на платформе Labview. Блок ввода-вывода E14-140 имеет специальную библиотеку, позволяющую реализовывать функцию асинхронного чтения и записи данных в модуль в среде Labview. Для управления скоростью вращения шпинделя необходимо задавать следующие параметры – верхняя граница диапазона изменения скорости вращения шпинделя, нижняя граница, частота изменения скорости вращения.

Изменение скорости вращения шпинделя осуществляется по ступенчатому закону – первые половина периода задается нижняя граница скорости вращения, вторую половину периода – верхняя граница. Связано это с ограничениями, накладываемыми такой схемой организации управлением станком. Дискретность изменения скорости вращения шпинделя корректором станочного пульта системы ЧПУ Siemens 802D составляет 5%. Диапазон изменения – 50%-120% от установленного в управляющей программе значения. Соответственно, получить ступенчатое изменение скорости не представляет трудности, однако реализовать гладкую функцию (синусоидальный, экспоненциальный законы) не представляется возможным.

Алгоритм системы можно сформулировать следующим образом. Первоначально необходимо задать параметры работы системы – верхняя граница диапазона изменения скорости вращения шпинделя (в процентах), нижняя граница диапазона и частота изменения значений. В программном модуле заданные значения параметров диапазона преобразовываются в соответствующие значения в коде Грея. Соответствующее бинарное значение устанавливается на цифровых выходах модуля E14-140. Система ЧПУ, считав данное значение, производит корректировку скорости вращения шпинделя. При этом ход выполнения управляющей программы не изменяется. Процесс корректировки происходит параллельно, и распространяется на все операции и инструменты, используемые в технологическом процессе. Через промежуток времени, равный половине периода, программный модуль изменяет значение на цифровых выходах модуля E14-140, в соответствии с заданными параметрами диапазона. Соответствующим образом изменит задание на скорость вращения шпинделя и система ЧПУ. Далее процесс повторяется.

Предложенная реализация системы управления шпинделем имеет ряд преимуществ:

- простота процесса реализации системы
- система может работать с различными системами ЧПУ без их существенных доработок и модернизаций
- система может быть модернизирована для изменения скорости вращения шпинделя по другим законам – импульсный (кратковременное изменение скорости), треугольный, кратковременный останов шпинделя.

Клименко Г.П. Донбасская государственная машиностроительная академия, Краматорск, Украина

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СБОРНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ГЛУБОКОГО СВЕРЛЕНИЯ

В тяжелом машиностроении в общей номенклатуре режущих инструментов значительная доля приходится на сверлильные и расточные головки для глубокого сверления. В настоящее время

широко применяются инструменты конструкций зарубежных фирм, эффективность эксплуатации которых не всегда удовлетворительна [1, 2].

Цель работы – повышение эффективности глубокого сверления путем совершенствования качества конструкции сборных инструментов.

Квалиметрический подход к оценке качества различных конструкций существующих инструментов позволил определить наилучший сборный инструмент с точки зрения эффективности его эксплуатации, проанализировать и устранить его недостатки.

При разработке новой конструкции инструмента для глубокого сверления за аналог была принята головка CoroDrill 800.20 фирмы Sandvik Coromant, имеющая наибольшее значение уровня качества при квалиметрическом исследовании различных конструкций инструментов. Для этой цели разработана иерархическая система свойств, составляющих качество сборного инструмента для глубокого сверления, произведена экспертная оценка качества конструкций головок для глубокого сверления фирмы Sandvik Coromant: CoroDrill 800.20; T-MAX 424.10; T-MAX 424.31; 420.6. Состав экспертной группы из 7 человек – специалисты ПАО НКМЗ и ДГМА.

Ранжирование свойств, составляющих качество инструментов, показало, что наиболее важными являются: прочность; износостойкость; приспособлен-ность к обслуживанию; приспособленность к ремонту; технологичность.

Исследование работоспособности наилучшей конструкции сверлильной головки в условиях ПАТ НКМЗ показало, что в процессе резания и выхода инструмента из отверстия наблюдается неравномерный износ направляющий пластин, особенно повышенный износ нижней направляющей.

С целью усовершенствования конструкции инструмента для глубокого сверления был проведен анализ сил резания, действующих на инструмент.

В процессе резания на режущие пластины в поперечном сечении инструмента действуют тангенциальные и радиальные силы резания, которые преобразуются в результирующую нагрузку.

Расположение и геометрия режущих 1, 2, 3 и направляющих пластин рассчитываются таким образом, чтобы результирующая нагрузка R была направлена по биссектрисе угла между направляющими пластинами 4 и 5.

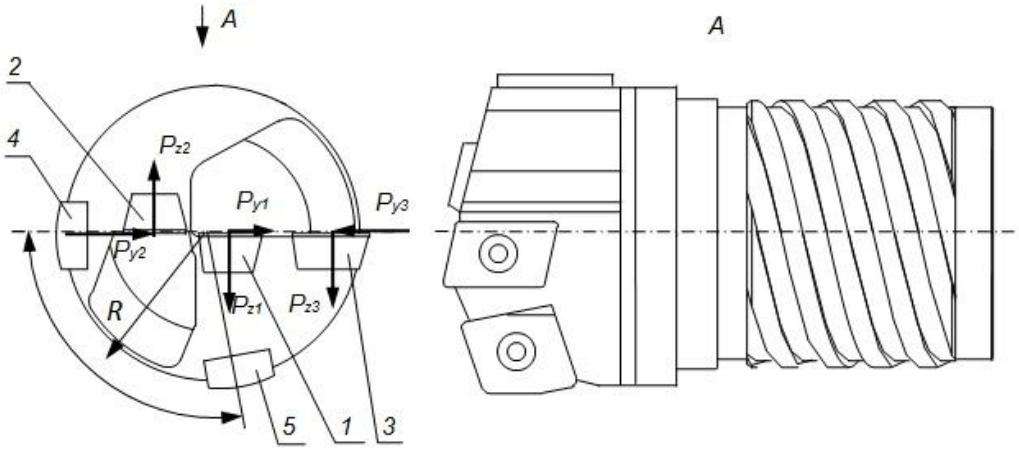


Рисунок 1 – Схема нагружения головки для глубокого сверления отверстий

Для оценки вектора результирующей нагрузки необходимо произвести расчёт сил резания, действующих на каждую режущую пластину.

Режимы резания принимаем в соответствии с рекомендациями [3] для стали 30CrNiMo8 EN10250-3.

В результате анализа сил резания при глубоком сверлении выявлены недостатки существующей конструкции:

1. При сверлении инструментом результирующая нагрузка действует в направлении между нижней направляющей пластиной и режущей кромкой периферийной пластины, что приводит к разбивке отверстия.

2. В процессе резания и выхода инструмента результирующая нагрузка направлена преимущественно в направлении нижней направляющей пластины, что приводит к неравномерному износу направляющих пластин и преждевременному износу нижней направляющей пластины.

Для устранения первого недостатка введена в конструкцию инструмента третья направляющая пластины, расположенная в первой четверти по направлению вращения инструмента, как показано на рис. 2.

Таким образом, результирующая нагрузка, возникающая при резании воспринимается двумя направляющими пластинами 1 и 3, что препятствует врезанию периферийной режущей пластины в обрабатываемый материал и разбивке отверстия.

Для устранения второго недостатка необходимо задать такое расположение направляющих пластин, при котором вектор результирующей нагрузки будет смещён по направлению биссектрисы угла между направляющими пластинами 4 и 5. Для этого наи-

более удобно изменять угол поворота β промежуточной режущей пластины 2. Изменение направления действия составляющих сил резания позволит уменьшить значение угла поворота результирующей нагрузки ω° до значения, соответствующего биссектрисе угла между направляющими пластинами 4 и 5.

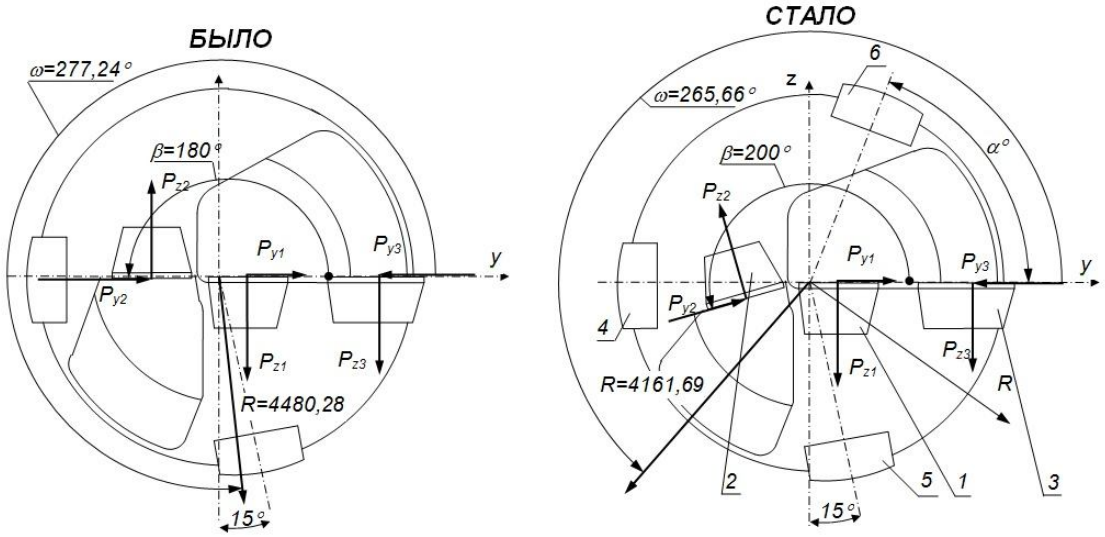


Рисунок 2 – Схема новой конструкции инструмента для глубокого сверления отверстий

Выводы

1. Анализ конструкций головок для глубокого сверления с точки зрения их качества показал, что наибольшие показатели качества имеет головка для глубокого сверления CoroDrill 800.20 фирмы «SANDVIK COROMANT ».

2. Анализ сил, действующих на инструмент в процессе врезания, сверления и выхода из заготовки показал, что при врезании инструмента действие результирующей нагрузки приводит к разбивке отверстия. В процессе резания и выхода инструмента направление результирующей нагрузки приводит к неравномерным износу направляющих пластин и преждевременному износу нижней направляющей пластины.

3. Предложены и обоснованы способы устранения выявленных недостатков, использование которых в конструкции головки позволяет снизить результирующую нагрузку, обеспечить минимизацию и равномерность износа направляющих пластин, повысить производительность и качество сверления отверстий.

Литература

1. Повышение качества процесса эксплуатации сверл для глубокого сверления / Г.П. Клименко, А.Ю. Андронов, М.А. Ткаченко // Резание и инструмент в технологических системах. Межд. научн.-техн. сборник.– Харьков: НТУ «ХПИ», 2005. – Вып. 68.– С. 267–272.

2. Исследование качества сверл для глубокого сверления на КиДАЗ «Авиант» / Г.П. Клименко, Я.В. Васильченко и др. // Надежность инструмента и оптимизация технологических систем: Сб. научн. статей. – Краматорск: ДГМА. – 2005. – Вып.17. – С. 17–22.

3. Deep hole drilling. Product catalogue and application guide / AB Sandvik Coromant, 2008. – 162 p.

Клименко С.Ан., Манохин А.С. Институт сверхтвердых материалов им. В.М. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ С ПСТМ НА ОСНОВЕ КНБ С ИЗНОСОСТОЙКИМ ПОКРЫТИЕМ

Одним из эффективных путей повышения работоспособности режущего инструмента, является нанесение на его рабочие поверхности износостойких покрытий. Наибольшее применение получили износостойкие покрытия на основе нитридов и оксидов различных тугоплавких элементов. Изменяя поверхностные свойства инструментального композита, износостойкие покрытия оказывают существенное влияние на напряженное состояние контактных участков инструментов.

Актуально применение покрытий и для инструментов с ПСТМ на основе КНБ. В то же время, работоспособность таких инструментов, обусловленная особенностями напряженного состояния их контактных поверхностей изучена недостаточно.

Настоящие исследования проводились для инструментов с ПСТМ на основе КНБ с износостойким покрытием на основе аморфно-кристаллического BN (патент №UA 106014) при точении закаленной стали ШХ15. Результат от использования покрытия с аморфной структурой достигается за счет уменьшения уровня остаточных напряжений в покрытии, в связи с тем, что само покры-

тие и инструментальная основа, на которой оно формируется, близкие по химическому составу, а структура покрытия является аморфной. Первое приводит к снижению уровня напряжений, обусловленных разницей величин коэффициентов термического расширения компонентов в композите покрытие-основа, второе связано со структурной однородностью материала покрытия.

Результаты проведенных исследований показывают, что применение износостойкого покрытия на основе аморфного BN приводит к изменению контактных характеристик и составляющих усилий процесса резания, что отражается на напряженном состоянии инструмента, который характеризуется распределением нормальных и касательных напряжений вдоль участка контакта.

Анализ эпюр распределения нормальных и касательных напряжений на длине контакта стружки с передней поверхностью инструмента без покрытия и с покрытием (рис.1), позволяет заключить, что применение износостойкого покрытия несколько повышает значение нормальных напряжений только в области вершины резца – 2,784 ГПа, для инструмента без покрытия – 2,661 ГПа, что объясняется увеличением радиуса вершины инструмента, а на расстоянии ~ 0,01 мм от вершины резца и до места выхода стружки из контакта с передней поверхностью инструмента, покрытие снижает уровень нормальных напряжений. Также следует отметить, что в диапазоне скоростей резания от 0,33-2,0 м/с, возможно снижение величины нормальных напряжений по всей длине контакта по сравнению с инструментом без покрытия, что объясняется менее интенсивным снижением длины контакта по сравнению со снижением силы резания.

Установленный характер распределение нормальных напряжений вдоль участка контакта стружки с передней поверхностью инструмента дает возможность сделать вывод, что при использовании износостойкого покрытия на пластический участок контакта приходится 80 % от приложенной нормальной силы, соответственно на участок упругого контакта – 20 %.

Ординаты эпюр распределения касательных напряжений для инструмента с покрытием, имеют большие значения на участке пластического контакта, что связано с уменьшением температуры резания. На участке упругого контакта уровень касательных напряжений имеет меньшие значения в связи с уменьшением длины контакта стружки с инструментом.

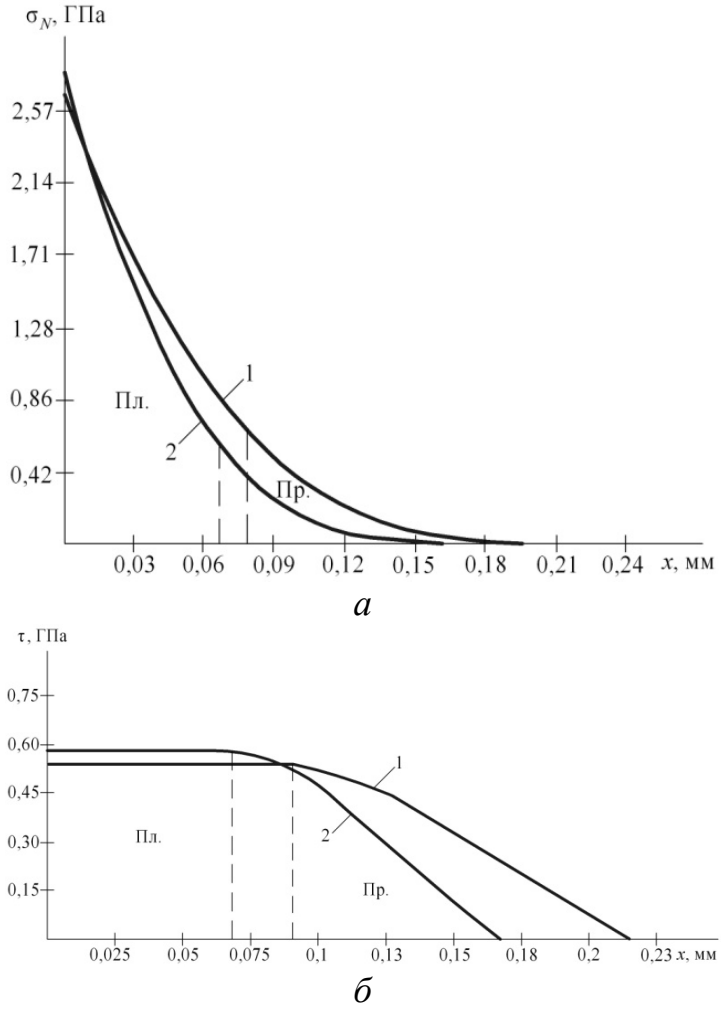


Рисунок 1 – Эпюры распределения нормальных (а) и касательных (б) напряжений вдоль линии контакта стружки с передней поверхностью инструмента без покрытия – 1и с покрытием на основе BN – 2, при точении стали ШХ15 (60HRC) (*v* = 1,5 м/с; *S* = 0,14 мм/об; *t* = 0,2 мм)

Наличие покрытия на рабочих поверхностях инструмента приводит к перераспределению напряжений, которые формируются в инструменте при его термобарическом нагружении в процессе резания, что способствует повышению надежности эксплуатации инструмента в условиях динамических нагрузок.

Клименко С.А., Мельнийчук Ю.А., Копейкина М.Ю., Манохин А.С. Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев Украина

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЕ ТОЧЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Для лезвийной обработки деталей из закаленных сталей, различных чугунов, с наплавленными и напыленными покрытиями эф-

фективно применение резцов, оснащенных поликристаллическими сверхтвердыми материалами на основе кубического нитрида бора (ПКНБ). Они обеспечивают высокопроизводительное точение с получением обработанной поверхности шероховатостью *Ra* 0,32–0,63.

В ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины разработаны ПКНБ «киборит» и «борсинит», организовано производство сменных режущих пластин по стандарту ISO 1832-2004 и резцов на их основе, разработаны технологии применения инструментов.

Закаленные стали. Режущие инструменты эффективно обрабатывают, в том числе с ударом, детали из закаленных сталей твердостью до 62–64 HRC со скоростью резания до 2,5–3,0 м/с. Инструменты с пластинами SNMN 090306, 120408 позволяют реализовать при обработке длинномерных деталей из закаленных сталей технологию «бреющего точения», при которой обработка производится с подачами до 1 мм/об.

Высокомарганцовистые стали. При обработке литых деталей из стали 110Г13Л высокую эффективность показывают инструменты с пластинами RNUN 190700T, которые позволяют обрабатывать их по корке со скоростями резания 1,2–1,7 м/с, подачами 0,3–0,4 мм/об и глубиной резания до 8–9 мм. Стойкость инструментов ~ 120–180 мин.

Наплавленные и напыленные покрытия. Инструменты позволяют эффективно обрабатывать детали с покрытиями (45–62 HRC), наплавленными электродуговой наплавкой порошковыми проволоками, плазменной наплавкой порошками, полученными газотермическим напылением, в том числе, композициями с аморфно-кристаллической структурой.

Чугуны. Резцы позволяют выполнять как чистовую, так и черновую, в том числе по литой корке, обработку деталей из серого, ковкого, высокопрочного чугунов. Скорость резания достигает 6–8 м/с, а производительность обработки ~ 20–30 $см^3$/мин. Для точения валков из отбеленного чугуна (37–85 HS) разработаны режущие пластины (RB, C, PMH) и специальная конструкция резца с их механическим креплением. Обработка производится с режимами резания: скорость резания – 1,2 м/с на черновых проходах и 1,4 м/с на чистовом проходе; подача – 0,2 мм/об; глубина резания –1,5 мм на черновых проходах и 0,2 мм на чистовом.

Приведенные примеры показывают высокую эффективность и широкие возможности инструментов, разработанных и выпускае-

мых в ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, при точении деталей из широкой гаммы труднообрабатываемых материалов.

Ковальов В.Д., Васильченко Я.В. Донбаська
державна машинобудівна академія, Краматорськ, Україна

ТЕХНОЛОГІЯ ВИСОКОПРОДУКТИВНОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА ВАЖКИХ БАГАТОЦІЛЬОВИХ ВЕРСТАТАХ

Виробництво важкого енергетичного, металургійного, транспортного обладнання є основою машинобудування України та важливою складовою частиною її експорту. Можливість виготовлення важких машин, конкурентоспроможних на світовому ринку, забезпечується оснащенням машинобудівних підприємств сучасним верстатним обладнанням.

Основна група верстатного парку машинобудівних підприємств України – це токарні верстати. На важких токарних верстатах з числовим програмним керуванням проводиться обробка більшості деталей, які входять до складу сучасних важких машин. Це ротори турбін, прокатні валки, колісні пари залізничного та гірничого транспорту, корабельні гребні вали та багато іншого. Зараз посилюються вимоги до машин, підвищується точність їх виготовлення, застосовуються нові марки матеріалів, які дають можливість досягнення нового рівня експлуатаційних характеристик. Особливо важливі вимоги – підвищення екологічності та ефективності використання ресурсів.

Різноманітні сучасні верстати для переоснащення машинобудівних підприємств України закуповуються в провідних верстатобудівних країнах. Але важкі токарні верстати, які не тільки не поступаються кращим світовим аналогам, але й перевершують їх, зараз серійно виготовляються на Україні на відкритому акціонерному товаристві "Краматорський завод важкого верстатобудування" (ВАТ КЗВВ) як для машинобудівних підприємств України, так і для експорту за кордон.

Підприємства важкого машинобудування мають свої особливості технологічного циклу, що обумовлені унікальністю облад-

нання і технологічних процесів обробки на важких верстатах: великі розміри оброблюваних деталей (ротори, вали, штоки, бандажі довжиною до 24000 мм і більш, діаметром до 5000 мм, масою до 250 тонн); великі глибини різання і подачі; висока вартість деталей; великий шлях різання; високі виробничі витрати, пов'язані з вартістю унікального устаткування й різального інструменту; нерівномірність припусків; складності спостереження і впливу на процес різання, обумовлені ергономічними факторами; підвищені вібрації при різанні і т.д.

В роботі вирішується проблема забезпечення високопродуктивної та високоточної автоматизованої обробки деталей важкого машинобудування, в тому числі з нових марок важкооброблюваних матеріалів для забезпечення нових потрібних властивостей сучасних машин та агрегатів енергетичної, металургійної, аерокосмічної та інших галузей машинобудування. При проведенні процесу обробки враховано комплекс факторів, які пов’язані з фактичним станом технологічної системи та особливостей важкого верстату в режимі реального часу.

Процес виробництва розглядається в напрямку більш чистої екології, з високоефективним використанням енергетичних та матеріальних ресурсів. Для цього запропоновано створити нові важкі багатоцільові верстати, які заміняють кілька різних верстатів. Верстати створюються з високотехнологічних матеріалів з використанням нових технологій зміцнення, з динамічно - та термічно оптимізованою структурою. Крім цього, потрібна адаптивна багаторівнева гнучка система управління для забезпечення високої точності та ефективності.

Технологічне обладнання з позиції теорії управління є багатоконтурною системою з нелінійними елементами та нестаціонарними властивостями. В процесі експлуатації обладнання змінюється його динамічний стан не тільки при переході від однієї операції до іншої, але й при типових операціях технологічного процесу.

Серед факторів, які ускладнюють реалізацію алгоритму адаптивного керування процесом різання слід виділити те, що на момент призначення раціональних режимів обробки відсутня повна інформація про параметри процесу різання. Така невизначеність, іноді дуже значна, носить принциповий характер та не може бути усунена до появи інформаційних сигналів в процесі різання.

Закони управління технологічною системою в процесі обробки формуються так, щоб на основі первинних параметрів, які характеризують обраний тип заготовки (матеріал, розмір, припуск и т.д.) та прийнятий метод обробки (верстат, пристосування, схема різання, технологічне середовище), змінюючи параметри керування (режими різання, варіант й геометричні параметри інструменту, параметри й структуру несучої системи верстату), впливати на параметри регулювання (механіка процесу різання, наростоутворення, стружкоутворення, теплові явища, сила та міцність різання, вібрації) та одержати необхідні технологічні параметри (точність, якість, стійкість міцність та інструменту, продуктивність, економічність, форма стружки) (рис. 1).

Рисунок 1 – Схема управління процесом обробки

Розроблено інформаційну модель деталі на підставі бази знань про роботу важкого металорізального обладнання підприємств важкого машинобудування. Вперше створена методика проектування компонування металорізальних верстатів на підставі класифікаційних ознак оброблюваних деталей

В результаті розроблена інформаційна технологія моделювання в реальному часі функціонування технологічної системи з нормативами режимів та система заходів щодо підвищення якості та надійності різальних інструментів для важкого машинобудування.

Виявлено значимі параметри і розроблено математичні моделі для реалізації системи адаптивного оптимального управління процесом екологічно ефективної обробки на важких багатоцільових верстатах, розроблено інформаційні технології та програмний

комплекс для реалізації системи адаптивного оптимального управління процесом екологічно ефективної обробки на важких багатоцільових верстатах та багаторівнева система прийняття рішень з елементами штучного інтелекту.

Створено систему математичних моделей та інтегральний комплекс оптимального управління адаптивною технологічною системою важких багатоцільових верстатів, яка реалізована у дослідному зразку адаптивної системи керування для важкого багатоцільового верстату.

Запропоновані перспективні рішення в напрямку розробки оперативної оптимізації процесів різання для систем адаптивного управління важкими багатоцільовими верстатами нового покоління.

Вперше в світі буде створено важкий багатоцільовий верстат нового покоління з оптимальним управлінням в режимі реального часу, який реалізує концепцію підвищення екологічності та ефективного використання ресурсів.

Коновалов И.П. «Интех», Одесса, Украина

САПР «ИНТЕХ-ТРУБОРЕЗ»: ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ТРУБ

Программный комплекс САПР «Интех-Раскрой» пополняется еще одним функциональным модулем «Интех-Труборез для проектирования технологии обработки труб различного профиля сечения.

Задача обработки труб возникает при изготовлении конструктивных элементов трубопроводов различного функционального назначения и в производстве ферм сложных конструкций. Эти изделия характеризуются гаммой типовых элементов, описывающих способы соединения колен, торцевых поверхностей, врезного соединения труб и т.п. Из множества таких «соединений» конструируются объекты обработки – детали, подлежащие обработке из трубы-заготовки (рис. 1).

Современное оборудование для обработки труб представляет собой высоко-автоматизированные устройства, реализующие 3-5 координатную кинематическую схему разрезки труб и использующие разнообразные режущие головки (кислородные, лазерные,

плазменные). Возможности оборудования позволяют обрабатывать боковые и торцевые вырезы и разрезы с учетом подготовки их поверхностей для последующей сварки. При этом технологический процесс должен обеспечивать формирование сварочных фасок и соответствующих мест для заполнения сварным швом.

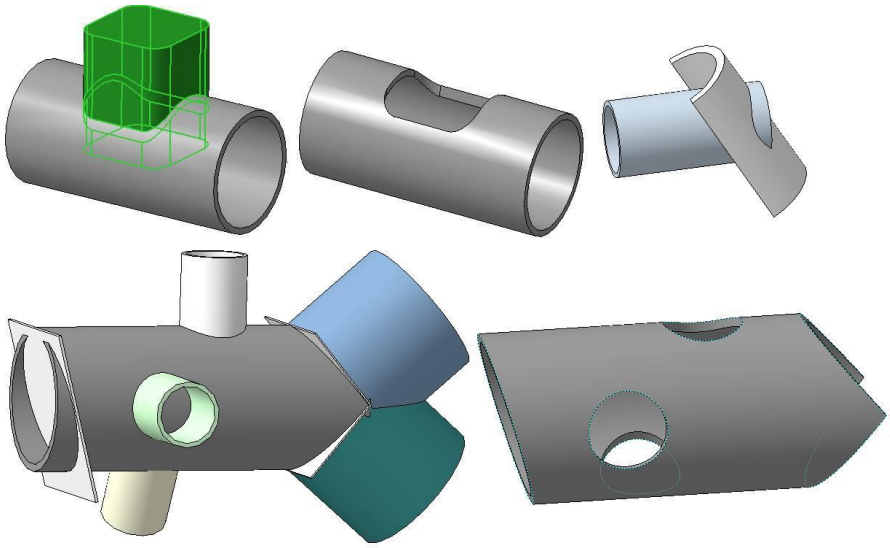


Рисунок 1 – Примерные деталей для обработки

Построение детального технологического процесса обработки является целью технологического проектирования и позволяет технологу заготовительного производства получить комплект документов, полностью обеспечивающих организацию выполнения производственного задания:

- управляющие программы (УП) в кодах используемых СЧПУ;
- отчеты о выполняемых операциях, затраченном времени, материалах, показателях эффективности обработки;
- эскизы и схемы, иллюстрирующие процесс обработки.

Кроме того, для предварительной проверки либо корректировки процесса обработки обеспечивается его анимация и визуализации обработанных поверхностей средствами 3D-графики.

Предлагаемое решение строится на основе разработанной универсальной структуры УП, обеспечивающей взаимодействие всех используемых компонентов. Структура УП представляет собой «скелет», позволяющий выполнять объединения и взаимодействия разработанных подсистем:

- взаимодействие с пользователем на базе графического пользовательского интерфейса GUI;
- построение объектов проектирования;
- моделирование пространственного положения обрабатываемых поверхностей;

• составление траекторий кинематических движений и их проекций;
• формирование дерева «тела УП», снабженного необходимыми атрибутами;
• формирования NC кодов УП средствами универсального пост-процессора;
• формирование отчетов.

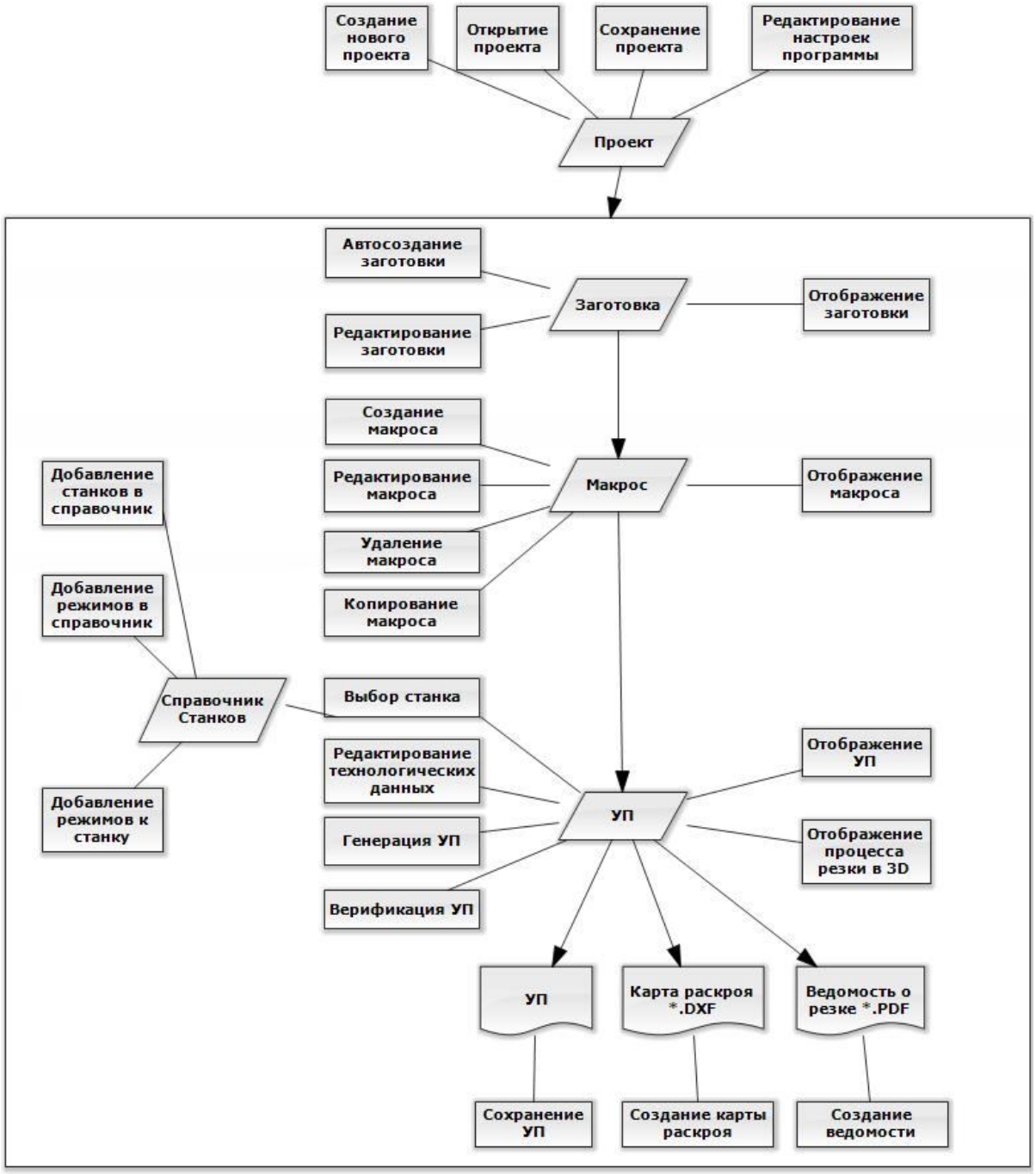


Рисунок 2 – Схема требований к системе

Вложенная структура реализует несколько «подсистем-оболочек» для обеспечения разноуровневых (по глубине) решений:

начальный – возможность построения обработки без учета топологии обрабатываемых объектов;

стандартный – функции создания, хранения и повторного использования технологических объектов

расширенный – интеллектуальное использование топологически независимых объектов:

- определение рационального расположения деталей в одной заготовке;
- применение алгоритмов линейного раскроя для формирования глобального плана обработки.

Коновалов И.П., Юхимов В.В. «Интех», Одесса, Украина

ЗАДАЧА ЛИНЕЙНОГО РАСКРОЯ В СОСТАВЕ САПР «ИНТЕХ-РАСКРОЙ»

В структуре программного комплекса САПР «Интех-Раскрой» до недавнего времени отсутствовал модуль решения задач линейного раскроя, однако, для полноты покрытия области возможных технологических потребностей было разработано соответствующее решение. Тем самым, САПР «Интех-Раскрой» решает задачи фигурного раскроя, прямоугольного, в т.ч. гильотинного раскроя, раскроя трубных материалов и прямолинейного профиля.

Задача эффективного линейного раскроя материала является, в общем случае, NP-сложной и в целочисленной постановке может не иметь оптимального решения. Одним из известных методов решения является линейное программирование, основы которого были разработаны Л.Канторовичем, развиты Г.Данцигом и Д. фон Нейманом, а их полиномиальная сложность доказана Л.Хачияном. В то же время, для решения задачи используются различные варианты методов «ветвей и границ», направленного или усеченного перебора, модификации симплекс-метода, метода Гомори и др.

При постановке задачи линейного раскроя изначально закладывались возможности применения различных математических методов решения в зависимости от размерности задачи и набора сопровождающих ее технологических параметров.

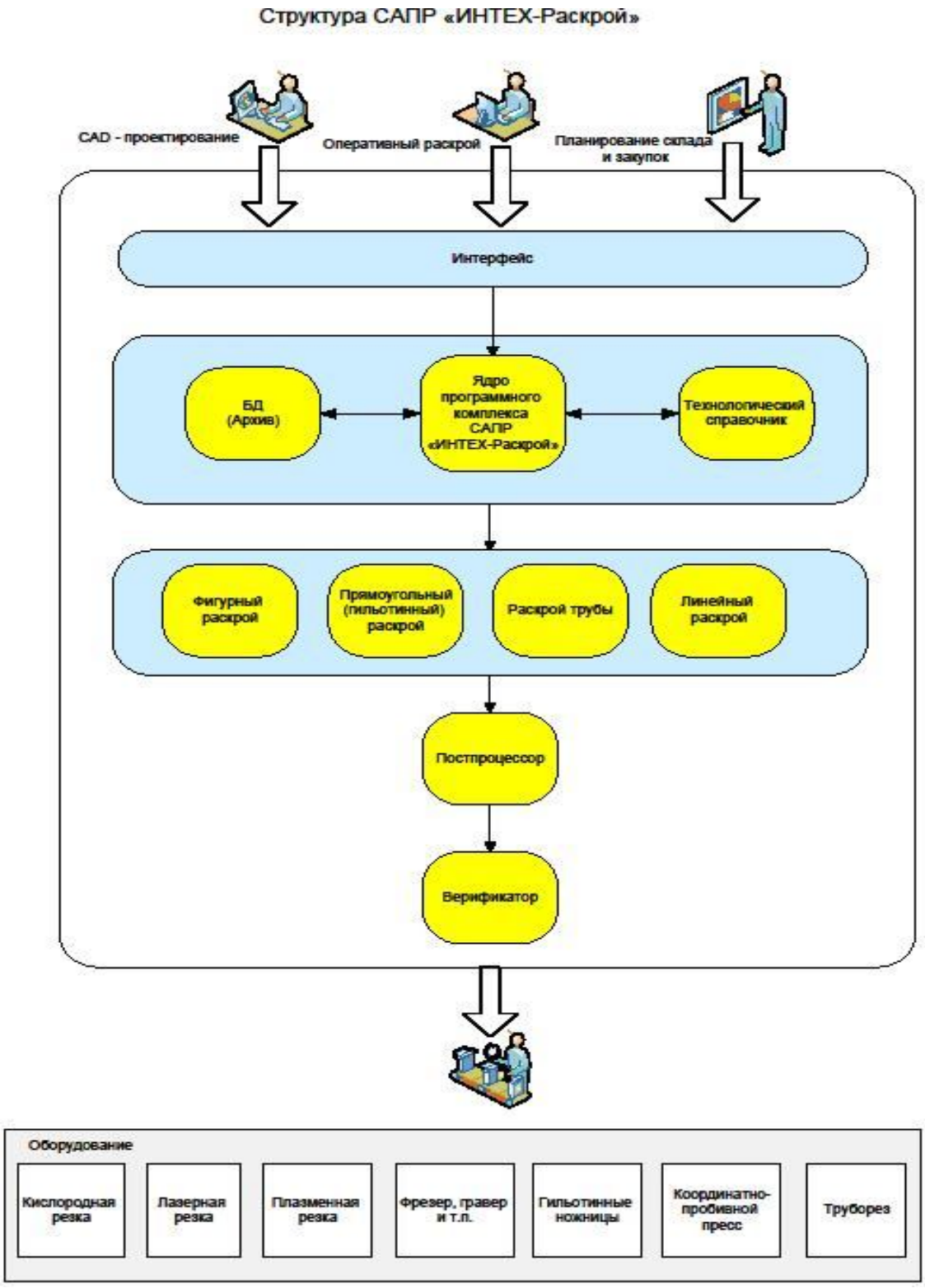
К существенным отличиям предложенного решения от представленных на рынке следует отнести:

- возможность решения прямой и обратной задачи, т.е. оптимизация раскроя заданного списка деталей на имеющихся в распоряжении заготовках и оптимальное планирование закупок заготовок применительно к ассортименту деталей;
- возможность получения вариантов раскроя с ограничениями на число типов деталей, совместно размещаемых на заготовках;
- возможность осуществлять раскрой «комплектами» деталей исходя из партионности их запуска в производство;
- возможность осуществлять раскрой с указанием обязательных к размещению деталей;
- возможность ориентировать решение на максимальные повторы соответствующего типа деталей на заготовке;
- возможность задавать требуемый минимальный уровень коэффициента раскроя, вплоть до 100 %;
- возможность четырехступенчатого управления процессом решения в параметрах «скорость» и «глубина решения».

Ядром решения выступает блок «анализатора», который определяет выбор подходящих методов решения и используемых эвристик применительно к характеристикам задания и технологическим требованиям.

Помимо перечисленных алгоритмических возможностей решение обладает развитой инфраструктурой, которая позволяет:

- вести справочники деталей и заготовок, и формировать из них задания;
- импортировать детали и заготовки из форматов основных CAD-систем, например, dxf-файлы;
- постпроцессор и вывод управляющих программ в случае использования оборудования с ЧПУ;
- взаимодействие с модулем трубного раскроя;
- подготовка карт раскроя и необходимой технологической и нормировочной документации;
- ручная корректировка разработанных в автоматическом режиме карт раскроя.



Тестирование разработанного решения в широком диапазоне изменения входных параметров показало:

- возможность решения и высокую скорость решения задач линейного раскроя большой и очень большой размерности (порядка сотен тысяч деталей и заготовок);
- лучшее достигаемое значение коэффициента раскроя и быстродействие в сравнении с аналогичными продуктами.

Кузьменко А.А., Щерецкий В.А. Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев, Украина

НОВЫЙ K-Ba (КАЛИЙ-БАРИЙ) ФТОРФЛОГОПИТОВЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ КАМНЕЛИТЫХ МЕТАЛЛОПРОВОДОВ УСТАНОВОК ЛИТЬЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПОД НИЗКИМ ДАВЛЕНИЕМ

Конструкции металлопроводов из камнелитого фторфлогопитового материала, характеризуются высокой коррозионной и термической стойкостью в жидком алюминиевом расплаве, высокой механической прочностью, герметичностью; Разработка промышленных технологии получения каменнолитых огнеупоров является актуальной проблемой для отечесвтенной промышленности.

Опыт работы камнелитых фторфлогопитовых каналов магнитодинамических установок МДН-6 показал их высокую коррозионную стойкость, надежность и достаточную прочность. В ФТИМС НАН Украины были разработвана конструкцию камнелитого металлопровода для машин литья под низким давлением алюминиевых сплавов.

Определение необходимой химической стойкости для оптимизации состава камнелитого материала K-Ba (калий-барий) фторфлогопитовых металлопроводов проводили в сплаве АЛ-2 на машинах литья модели 83105 (ЛА-01).Была определена химическая стойкость фторфлогопитовых металлопроводов в сплаве АЛ-2 при температуре эксплуатации 700–750 °С. Химический состав алюминиевого сплава АЛ-2 в процессе выработки в течение смены остается неизменным (не насыщается примесями железа и титана как в случае использования чугунных или титановых металлопроводов), в сплаве уменьшается количество плен и неметаллических включений. Химический состав отливок и металла заливаемого в машину показал отсутствие примесей и соответствие металла требованиям ГОСТ 2685-75

Установлено, что камнелитые металлопроводы всех составов устойчиво работают в установках в среднем в течение 15 рабочих дней при трехсменной работе оборудования, что свидетельствует о необходимой коррозионной стойкости металлопроводов из нового K-Ba фторфлогопитового материала.

Ларшин В.П., Золотов Н.Н. Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина

ДИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ЗОЛОТОВА

В традиционной конструкции двигателя внутреннего сгорания (ДВС) с помощью кривошипно-шатунного механизма (рис.1,*a*) только часть давления газов над поршнем превращают в крутящий момент (произведение силы Q на длину кривошипа), другая часть этого давления (рис.1,*b*) создаёт удары и вибрации, которые снижают КПД ДВС и действуют на него разрушающе. Это обусловлено тем, что указанный механизм имеет переменное передаточное отношение, которое характерно для шарнирных механизмов. У таких механизмов соотношение скоростей в точках приложения сил P и Q (рис.1,*a*) изменяется от положения к положению. Также изменяется и передаточное отношение указанных сил, которое в мёртвых положениях механизма превращается в нуль, а при углах $ц = p/2$ и $ц = 3p/2$ стремится к единице (рис.1,*a*). При этом закон изменения крутящего момента (или силы Q, которая его создаёт) является синусоидальным (рис.1,*b*). Следовательно, кривошипно-шатунный механизм является синусным механизмом, частота f (в Герцах) работы которого при равномерном угловом вращении кривошипа составляет $f = \frac{1}{2p}\frac{dy}{dt}$, где t – время, с.

Известно, что в верхней и нижней мёртвой точке давление газов не создаёт крутящий момент. Цикл работы ДВС может быть двух- и четырёхтактным. Большинство автомобильных двигателей работает по четырехтактному циклу, который происходит за два оборота кривошипа. Поршень делает четыре хода (всасывание, сжатие, расширение, выхлоп). Назовём такую структуру цикла работы классического

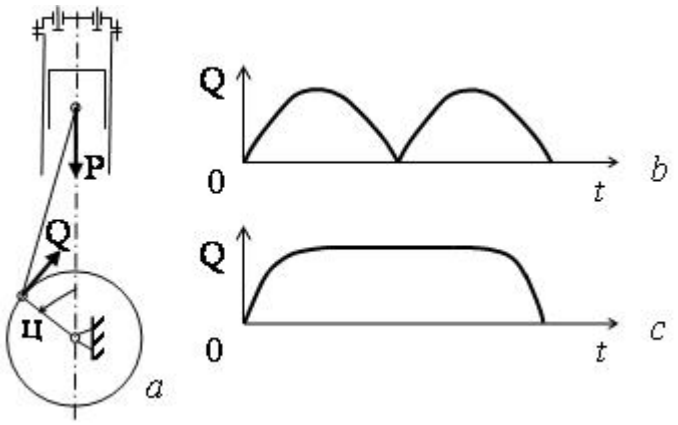


Рисунок 1 – Схема механизма ДВС (*a*) с традиционным циклом работы на нагрузку (*b*) и цикл работы ДВС Золотова (*c*)

ДВС «два оборота – четыре хода». В течение каждого из этих четырёх ходов (тактов) расходуется энергия на преодоление трения. Кроме этого, в первом такте дополнительная энергия затрачивается на преодоление сопротивления, которое создаётся при движении всасываемой рабочей смеси по каналам, во втором такте – на сжатие рабочего тела, в четвёртом – на выталкивание отработавших газов. Работа, проделанная в первом и четвёртом тактах, полностью теряется. Работа, затрачиваемая на сжатие газа во втором такте, частично возвращается при расширении в третьем такте. Естественно, что ДВС может выполнять полезную работу только в том случае, если работа, производимая расширяющимся рабочим телом, в течение третьего такта будет больше той суммарной работы, которая затрачивается в течение первого, второго и четвёртого тактов [1].

Цикл работы ДВС Золотова может быть двух- и четырёхтактным. В предлагаемой ниже конструкции ДВС Золотова реализуется четырёхтактный цикл с указанной выше структурой «два оборота – четыре хода», что при прочих равных условиях с классическим ДВС увеличивает продолжительность действия эффективного крутящего момента (рис. 1, *c*). Для этого периодическое движение создают за счёт механизма другой конструкции (рис. 2,*a*).

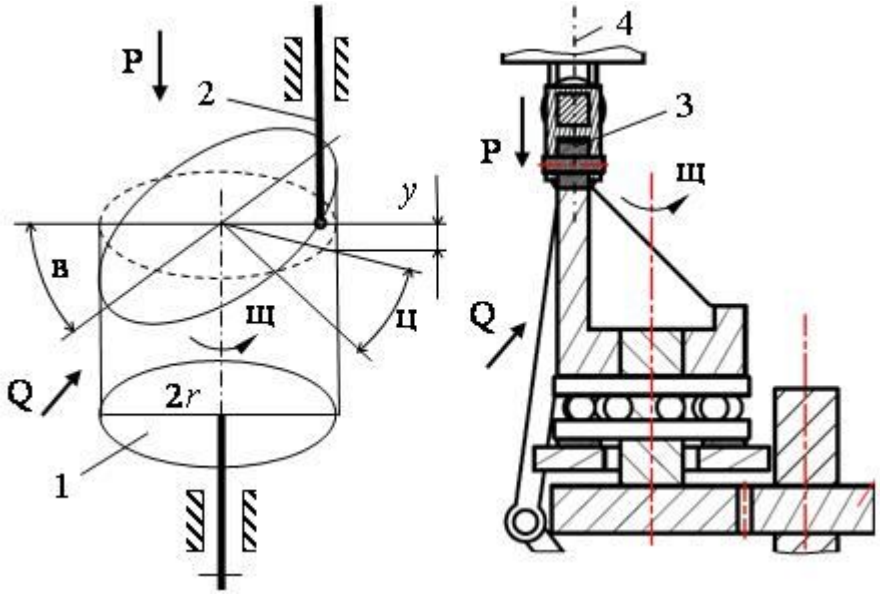


Рис.2. Схема механизма ДВС Золотова (*a*) и фрагмент его конструктивного исполнения (*b*): 1– стакан с наклонной рабочей поверхностью; 2 – шток поршня; 3 – блок ролика (на конце штока поршня); 4 – ось, вокруг которой блок 3 не вращается

Из рассмотрения схемы механизма (рис. 2, *а*) можно установить закон изменения координаты $y(\text{ц}) = r\,\text{tg}\beta\sin\text{ц}$ [2]. Следовательно, данный механизм при постоянном угле наклона $^{\text{в}}$ является синусным, как и кривошипно-шатунный механизм. Фактический закон изменения *y*(ц), который реализован в конструкции, несколько отличается от синусоидального (рис. 2, *b*).

В предлагаемой конструкции двигателя существенно улучшены его технико-экономические показатели. Например, повышается КПД, т.к. крутящий момент не зависит от синуса угла поворота ведущего вала. В этом случае ролик на конце штока поршня находится на наклонной рабочей поверхности стакана (рис. 2, *b*). При прочих равных скоростных показателях частота вращения ведущего вала ДВС Золотова зависит также от диаметра стакана и поэтому длину хода поршня можно увеличить при незначительном увеличении габаритных размеров этого двигателя. Соответственно увеличивается крутящий момент двигателя. Это приводит к тому, что уменьшаются потери энергии на разгон и торможение поршня при его возвратно-поступательном движении (первый, второй и четвёртый такты). Указанное уменьшение частоты вращения ведущего вала упрощает трансмиссию, например автомобиля, так как при эксплуатации автомобиля необходимо многократно уменьшать обороты вращения ведущего вала. ДВС Золотова отличается большей технологичностью конструкции, так как шатун и коленчатый вал отсутствуют. Выгодным преимуществом новой конструкции является дополнительная возможность регулировать время смесеобразования, сгорания топлива и заполнения цилиндра свежей горючей смесью за счёт соответствующего выбора геометрических параметров рабочей поверхности наклонной дорожки.

Выводы

Предлагаемая конструкция механизма ДВС Золотова имеет следующие преимущества:

- увеличение полезного крутящего момента и КПД;
- уменьшение частоты виброколебаний движущего элемента ДВС за счёт конфигурации профиля наклонной дорожки, что позволяет увеличить рабочие скорости при одинаковых требованиях к виброустойчивости машины;
- отсутствие дорогостоящего коленчатого вала – неотъемлемого элемента классического ДВС;

• отсутствует боковое давление поршня на цилиндр, что позволяет упростить конструкцию поршня, сделать её более технологичной.

Литература

1. Кожевников С.Н. Теория механизмов и машин. Учеб. пособ. для студентов вузов, изд. третье. – М.: Машиностроение, 1969.– 584 с.

2. Крайнев А.Ф. Словарь-справочник по механизмам. – М.: Машиностроение, 1987. – 560 с.

Larshin V.P. Odessa National Polytechnic University,
Lishchenko N.V. Odessa National Academy
of Food Technologies, Odessa, Ukraine

A VIBRATION SENSOR MATHEMATICAL DESCRIPTION

To determine a dynamic stiffness of the machine tool elastic system as well as to diagnose this system it is necessary to have a mathematical description of the respective measurement system or a measuring system transfer function. The mathematical description is a converter of the measured value into the corresponding output signal [1]. For example, the *x*, *y*, and *z* AP2019 vibrosensor refers to the so-called IEPE ones and have a ground-referenced connection (unlike a floating one) between the each IEPE sensor and the NI USB-9233 system. Here some features of the sensor elastic system are given in accordance with the well-known scheme (fig. 1).

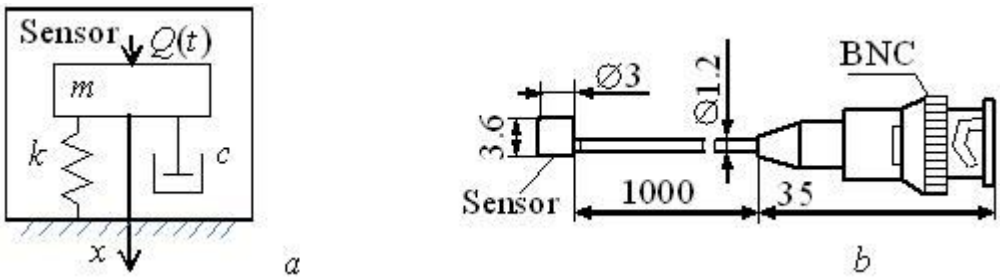


Figure 1 – Vibration sensor (accelerometer) calculation scheme (*a*) and its embodiment (*b*) for AP2019 sensor type used in research.

There are two system approaches adopted in the technological dynamics: the lumped system and the distributed one. For the long period of time the first approach is widely used in the cutting system research

while real cutting system is the distributed one. The same applies to the description of the measurement system which is used for the in-process vibration diagnostics. Until now there is no applied technique to describe an accelerometer measurement system which includes a spring with the stiffness k, a mass m reduced to a point, and a damper with a coefficient c of viscous damping just so as in Figure 1. Here the k and c are, respectively, the force which produces a unit displacement (k) and the value of the damping force per unit velocity (c).

Forced oscillations equation for the reduced mass m with one degree of freedom (motion along a single coordinate) is now a major equation in the theoretical study of vibrations in the cutting technological system. This equation consists of the elastic and damping forces which are equal to kx and $c\dot{x}$ respectively. The equation and its solution under the simple input of $Q\sin\omega t$ (in Newtons) have the following forms [2]

$$m\ddot{x} = -kx - c\dot{x} + Q\sin\omega t, \tag{1}$$

$$x = e^{-nt}\left(C_1\cos p_d t + C_2\sin p_d t\right) + M\cos\omega t + N\sin\omega t, \tag{2}$$

where $Q\sin\omega t$ is the harmonic force function, H; $n = c/2m$ – the analog of circular frequency caused by the equivalent viscous damping, rad/s; $p_d = \sqrt{p^2 - n^2}$ is the angular frequency of damped oscillations when the damping takes place, rad/s ; $p = \sqrt{\frac{k}{m}}$ or $p = \sqrt{\frac{g}{\delta_{st}}}$ are introduced notations for the own natural frequency of the spring mechanical system or the resonance frequency of the elastic system without the damper; m is the reduced mass, kg; g is the gravitational acceleration, m^2/s; $\delta_{st} = \frac{mg}{k}$ is the static deflection of an equivalent spring in an ideal mass-spring system, i.e. an elastic system; C_1, C_2 – integration constants, which are determined by the initial conditions for free oscillations; M, N – integration constants that are defined by substituting of the equation (2) in the original equation (1).

The equation (2) corresponds to the case of ‘precritical’ damping, in which the degree of damping does not prevent the periodic oscillations. Otherwise, free movement is not periodic one because the viscous resistance is so large ($n>p$), that the reduced mass does not oscillate but only returns to its equilibrium position. This is so-called ‘overdamping’ which leads to aperiodic motion of the reduced mass. The critical value

of the damping coefficient $c_{c\gamma}$ is found from the condition $n=p$ and equal to $c_{cr} = 2\sqrt{km}$.

To determine C_1 and C_2 it is assumed that at the initial moment of time, that is at $t = 0$, the reduced mass is displaced during its oscillation from the equilibrium position, for example, by an amount of x_0 and has at this time point the initial velocity $\dot{x}_0$. Then it is obtained that $C_1 = x_0$ and $C_2 = \dfrac{\dot{x}_0 + nx_0}{p_d}$.

After damped free vibrations cease to exert influence on the process, in accordance with the equation (2) the forced oscillations of the following form is set

$$x = M\cos\omega t + N\sin\omega t. \tag{3}$$

It is seen from the equation (3) that the forced oscillation consists of the two terms. One of them is proportional to $\cos\omega t$ with the M constant and the other is proportional to sinωt with the Nconstant.

Substituting (3) into the original equation (1) follows [2]

$$M = \frac{q(p^2-\omega^2)}{(p^2-\omega^2)+4n^2\omega^2} \text{ and } N = \frac{q(2n\omega)}{(p^2-\omega^2)+4n^2\omega^2},$$

wherein $q=Q/m$ is the acceleration or the inertia force component, m/s^2; ω is the disturbing force circular frequency which has been imposed on the measurement elastic system, rad/s.

The measurement system mathematical description that has been done above according to professor S. Timoshenko et al. (1946) technique is the only way its analytical representation while assuming its linearity and determinacy (not stochastic) and in the frame of the lumped system approach [2]. The above analysis of the physical essence of mechanical vibrations in an elastic mechanical measurement system allows reframing the principles of equivalence and generalized parameters for the development of embedded system of technological diagnostics. A new approach is to use the built-in process vibration and the like sensors and self-learning measuring system.

As an example of the AP 2019 vibrosensor application let us see the influence of lubricant on the vibration in the drilling of small diameter hole (2.85 mm) with and without the lubricant (fig.2), where S in relative units (R.U.) is the mathematical area under signal spectrogram and N is the serial number of drilled hole. It is seen that in the dry drilling vibration the value S is greater than that in the drilling with the lu-

bricant. However it must be remembered that the data in the Figure 2 reflects not only the actual vibrations from drilling, but also the measuring system transfer function mentioned above.

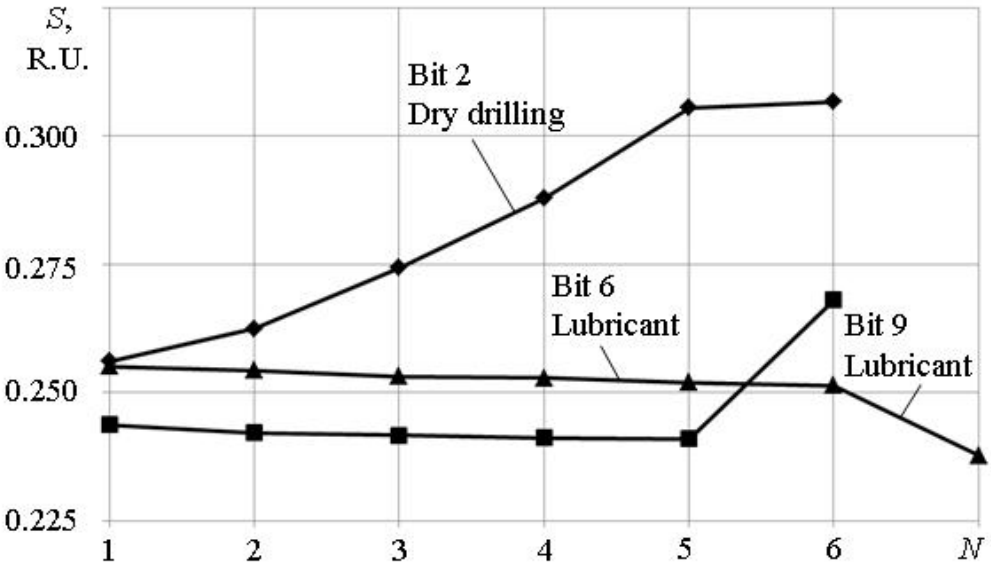


Figure 2 – The results obtained with the aid of AP2019 vibration sensor without (bit 2) and with (bit 6 and bit 9) lubricant.

References

1. Измерения в промышленности. Справ. / Под ред. П. Профоса. – М.: Металлургия, 1980. – 648 с.

2. Timoshenko S. Vibration problems in engineering. – New York: D. VAN NOSTRAND COMPANY, Inc. – 1946. – 470 p.

Larshin V.P. Odessa National Polytechnic University,
Lishchenko N.V. Odessa National Academy
of Food Technologies, Odessa, Ukraine

CUTTING SYSTEM DIAGNOSTICS ON THE BASIS OF SOUND SENSOR

In order to understand a mechanism of sound measurements by means of microphone and to find an interrelation between mechanical vibrations in cutting zone and a signal produced by the microphone the theoretical premises of the propagation of waves in an elastic medium were considered and sequentially listed

1. The origin of sound is always some vibrating body from which a sound wave is propagating with the velocity depending on the properties of elastic medium. In our case the vibrating body is a metalworking machine tool, namely, the machining center 500V/5 type.

2. An expression for the displacement of an oscillating particle as a function of its coordinates x, y, z, and the time τ is called a wave equation, i.e. $\xi = \xi(x,y,z,\tau)$.

It is known that sound waves are longitudinal in nature [1]. That is why the x-axis direction is chosen so that this axis coincides with the direction of propagation of the sound wave. In such a case we get $\xi = \xi(x,\tau)$, i.e. the displacement ξ will depend only on x and on τ. The instant wave surfaces will therefore be perpendicular to the x-axis (fig.1, *a*).

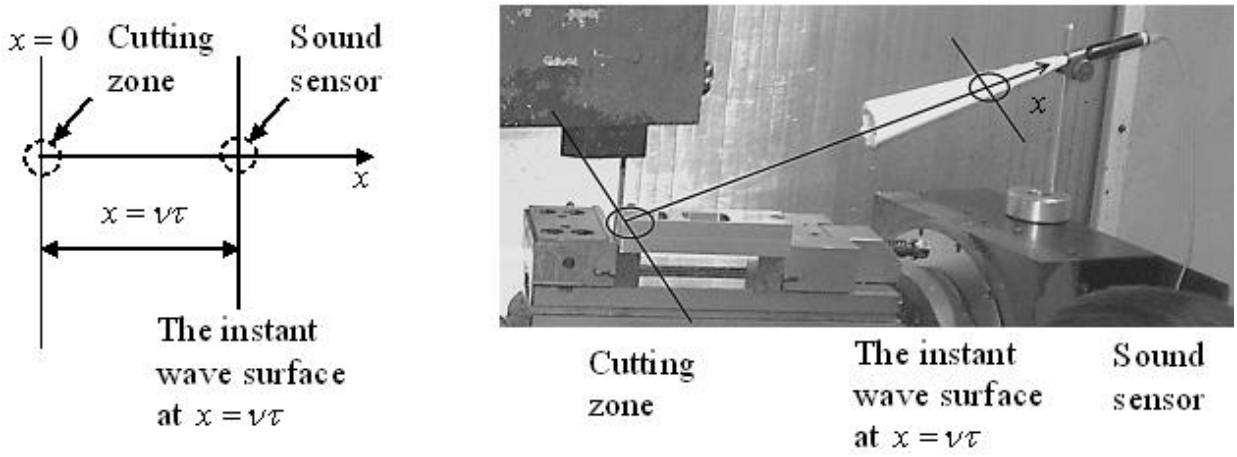


Figure 1 – Sound propagation scheme (left) and its implementation (right) on a machining center 500V / 5 on the basis of SPL Lab microphone (sound sensor)

Here a quantity ξ represents a disturbance with some property which is propagated along the x-axis in the form of a plane wave. It is similar to the well-known one for the temperature T if we denote that $\xi = T$. Thus flow of heat corresponds to wave propagation in the same elastic medium. The same analogy is seen if comparing both the sound wave and the temperature differential equations in the same or different medium. Indeed, for both the first and second cases, respectively, we have

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = \frac{1}{\nu^2}\frac{\partial^2 \xi}{\partial \tau^2} \text{ and } \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{a}\frac{\partial T}{\partial \tau},$$

where ν is the velocity of wave propagation, m/s, while a is the thermometric conductivity, m^2/s.

3. It is known that sound waves can be measured only through its energy parameters. Here it is necessary to note that when elastic waves

in air have a frequency ranging from 20 Hz to 20 kHz, i.e. 'twice by twenty', then they cause sound to be perceived by a human ear. Accordingly, these elastic waves in any medium are called sound. The human ear does not hear infra – (below 20 Hz) and ultrasounds (above 20 kHz). Unlike sensor-microphone the human ear distinguishes sounds by pitch, timbre, and loudness [2]. Any real sound, including the sound from the cutting area, is not a simple harmonic oscillation, but is the superposition of harmonic oscillations with a definite set of frequencies which is called the acoustic spectrum (elastic waves and acoustic waves are frequently the same).

4. In order to design a diagnostic system for the machining center 500V/5 the precision A Sound Pressure Level (SPL) sensor (fig.2) was chosen with the opportunity to measure the SPL in decibels (dB). This sensor is embedded into the diagnostic system and shown also in fig.1, *b* as the sound sensor.

Figure 2 – SPL Lab USB RTA meter [3] for measurement and analysis of amplitude-frequency characteristic, where RTA means Real Time Analyzer

It has the following characteristics: frequency range from 10 Hz to 22 kHz; amplitude range from 50 to 120dB; built-in high-precision 16-bit ADC; mini-USB connector; free software [3].

5. It is known that the loudness level L (in bells) is determined as the logarithm of the ratio between the intensity of the given sound I and the intensity I_0 taken as the initial one, i.e. $L = lg(I / I_0)$. The decibel unit, i.e. dB, represents one-tenth of the bell mentioned and this unit is preferred. That is why the value of L in decibels is determined as $L = 10\,lg(I / I_0)$. In its turn the intensity of a sound I is the time-averaged value of the density of the energy flux carried by a sound wave and measured in W/m^2. That once again is similar to the density of the heat flux taking place in the applied thermophysics mentioned above. The initial intensity I_0 is taken equal to 10^{-12} W/m^2 so that the hearing threshold at a frequency of the order of 1 kHz is at the zero level, i.e. $L = 0$ [2]. There are some fundamentals as for a plane progressive wave energy theory. The first is concerned with the equation of a plane and a spherical progressive wave. The equation is de-

rived in the form $\xi(x,\tau)=A\cos(\omega\tau-kx+\alpha)$ and $\xi(x,\tau)=(A/r)\cos(\omega\tau-kr+\alpha)$ for both the plane wave and the spherical one, respectively. Then on the basis of these equations the differential equation of wave motion or the so-called the wave equation can be derived in the form mentioned above. Such technique in comparison with that in applied thermophysics means the opposite order of the sequence of actions, i.e. a solution is first then the equation from which it follows. The second is concerned with the energy density the time averaged value of which can be written in the form $w=(1/2)\rho A^2\omega^2$ (volume density, J/m^3) and $j=(1/2)\rho A^2\omega^2 v$ (surface density, W/m^2). The latter is exactly the parameter which renders the energetic impact on the sound sensor. Indeed, by the intensity of a sound is meant the time average value of the density of the energy flux carried by a sound wave, i.e. $I=j$ [2]. Now the question is what namely the sound sensor registries and what physical quantity reflects the signal of the sensor? Considering been said above the answer is the following: by the intensity of sound is meant the average value of the density of energy flux. Hence, for some work microphone surface, say S_m, we get the physical quantity which is reflected by the sensor signal S and equal to $S=k\int_{S_m} IdS\cos\beta$, where k and β are, respectively, the scale factor, measured in V/W, and the angle between I vector and dS one.

6. The SPL Lab USB RTA meter (Pro edition) was embedded into a more powerful measurement system, namely LAB View which consisted of three vibrosensors of the AP2019 type. Each of these sensors was mounted on the spindle unit of the machining center 500V/5 in the direction of *x*, *y*, and *z* axis of the machine to establish the correspondence between signals of the vibration sensors AP2019 and the sound one. The experiments were performed under the following conditions: 16 mm drilling depth, 30 mm per minute feed, and 500 rpm spindle rotation frequency; working and tool materials are stainless 14X17H2 steel and P18 high speed steel (fig.3).

Conclusions

1. The modern sound wave propagation theory discovers a physical nature of the phenomenon but does not produce practical methods of sound wave parameters calculation to diagnose the cutting system when the cutting is going. That's why the practical measuring methods to obtain the comprehensive information now are of great importance for both metalworking technology and industry.

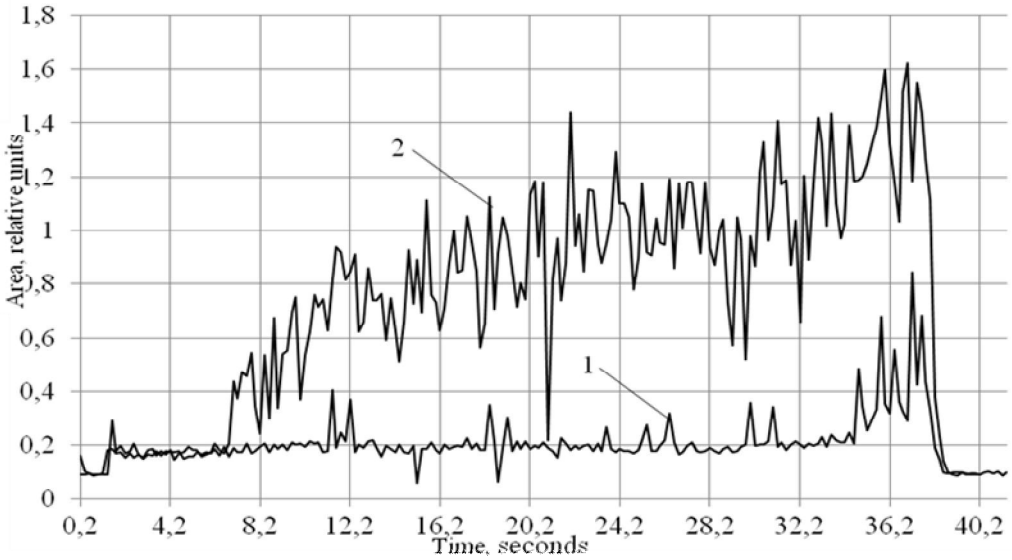


Figure 3 – SPL Lab USB RTA meter using for measurement of spectrum characteristic when drilling the 1st (graph 1) and 5th (graph 2) holes with the diameter 2.85 mm

2. The SPL Lab measuring microphone is a chance to begin practical identification the cutting system parameters with the help of corresponding software, e.g. LAB View one, which should be complemented by the special applied programs to process the initial information. Such applied programs used in our research are created on the base of well-known MATLAB and Excel programs.

3. For the first time the area under the sound spectrogram curve is used to obtain the diagnostic information of whether or not the tool is fit when it is going. Besides the sound sensor is more suitable then vibrosensor to apply to both experimental stand on the base of the 500V/5 and industrial machine of the same type.

References

1. Gaur R.K. Physics for B.Sc. and B.E. Students / R.K. Gaur, S.L. Gupta. – Delhi: Dhanpat Rai & Sons, 1993. – 1020 p.

2. Savelyev I.V. Physics (a general course in three volumes). Vol. II. – Electricity and Magnetism, Waves, Optics. – Moscow: MIR Publishers, 1989. – 508 p.

3. USB RTA Meter (Pro Edition) – измерительный USB микрофон для анализа АЧХ [Электронный ресурс] / Компания Spl-Lab. – Режим доступа: http://spl-lab.ru/ru/products/usb-rta-meter-pro-edition.html (англ.). – 09.07.2014.

Larshin V.P. Odessa National Polytechnic University,
Lishchenko N.V. Odessa National Academy
of Food Technologies, Odessa, Ukraine

ON THE PROBLEM OF VIBRATION IN CUTTING SYSTEMS

To ensure reliable operation of advanced high-speed CNC machine a control system should provide not only precision programmable tool displacement relative to a workpiece but also diagnosis of the cutting system. The weakest link in this system is the cutting tool (CT) lifetime which should be sufficient for reliable operation of the CNC machine for the desired cutting time.

The industrial cutting systems vibration problem is generally known, starting with the F.W. Taylor's works. Domestic researchers in this field, for example, A.I. Kashyrin, V.I. Dikushin, V.A. Kudinov and many others are also known. All of them paid much attention in their works to the physical principles of vibration in cutting both hard and easily workable materials because an insight to the mechanism of vibration allows identifying appropriate ways to deal with this phenomenon.

Modern construction materials such as stainless and heat resistant steels, titanium and its alloys, etc., have high performance but also they have a low machinability which leads (because of the unpredictable influence on the process of cutting force and temperature factors) to low CT lifetime. On the other hand for easily workable workpiece materials such as aluminum and its alloys a high cutting speed is currently using in high speed machining with increased feed and depth of cut. In both cases (i.e., hard and easily workable materials) a cutting vibration problem refers to the number of actual one in mechanical engineering since the appearance of vibration is usually associated with both CT lifetime decreasing and premature failure of the machine spindle unit. There is some exception connected with the controlled vibrations which improve the CT work such as that taking place in vibrodrilling.

It is well known a necessity to increase the metal removal rate as well as machining production on the CNC machines. In order, however, to do this the so-called 'chatter' arises and does this phenomenon a far more significant concern. That is why a manufacturer faces not only features of a machine and CT but also the dynamic characteristic of the spindle and work subsystems.

To avoid as the chatter as the other significant dynamic oscillations the small vibration sensors of AP2019 type can be used on modern CNC machines. These sensors can be embedded in the various directions of the machine coordinate system. However, so far no reliable methods for the CT state technological vibrodiagnostics which can be implemented on the basis of these sensors and available CNC system computational resources.

The purpose of this research is to develop the scientific premises for a CT state vibrodiagnostics automated system based on a USB type modular system NI CompactDAQ followed by programming the diagnostic algorithm (without any additional hardware) in modern CNC system having available computing resources.

There are known technological methods of diagnosis by different estimating criteria for the CT state needed to solve a technological management task. They vary depending on the nature of selected physical parameters which give information about the CT state: power, torque, cutting temperature, cutting vibrations (displacement, velocity, and acceleration), acoustic emission (sonic and ultrasonic), the parameters of quality of processing parts, etc. [1].

In the physical dynamics there are two kinds of vibration: forced vibration and self-excited one. Forced vibrations are generated by the action of a periodic force, for example, due to an imbalance of the rotating spindle or CT edges interrupted operation (e.g. drill or mill edges). In this case, the vibration source (a spindle or CT edges) vibrates interacting with the cutting system elements. As a result, the vibration frequency spectrum consists of the spindle and associated with it structural components as well as the rate of introduction into the machining material of the cutting edges. In order to understand the vibration self-excitation mechanism it is necessary to consider the nature of free vibrations in cutting which arise, for example, when the cutting forces suddenly released, i.e. when the next CT edge is exited from the contact area [2]. In this case a sudden elimination of the impact of cutting forces on the machine takes place. These vibrations are characterized by their own natural frequency which is known to be determined by the elastic system stiffness and its reduced mass.

When a CT tooth enters into the machining material, the CT subsystem ‘spindle – tool holder – tool’ will be deformed by the cutting forces. When these forces are released by the tooth exiting the material, the CT subsystem will vibrate with its own natural frequency. It is

assumed that the workpiece subsystem 'table – fixture – workpiece' stiffness is more than CT subsystem one and can be ignored. The vibration mentioned results a small waviness on the workpiece surface. If the following tooth impact, that is after the previous tool tooth impact, does not match the own natural frequency of the CT subsystem, the chip thickness increases as well as the cutting force. This in turn causes a notable deformation of the CT subsystem which leads to a larger oscillation amplitude. The most disadvantageous condition is when the current vibration phase angle will be equal to 180° with respect to the surface waviness previously obtained. Thus, the self-excited (auto-oscillations in domestic literature) vibration in the cutting zone is the result of the unpredictable interaction of several factors. For example, it is so when the vibration phase from the CT edges is late 180° (π radians) from the previous track phase and a cutting power is sufficient to overcome the damping of oscillations. Such vibrations are called self-excited or chatter. Under these conditions the CT subsystem vibrates at its own natural frequency without an externally applied driving force, the cutting force is increased significantly, negatively affects the machining accuracy, CT lifetime and machine spindle unit longevity. This implies parametric and kinematic nature of self-excited oscillations in a system with positive feedback, which has a reserve of potential energy, e.g. due to spindle motor, and the way to deal with vibrations: either the magnification factor to reduce or the oscillation phase to withdraw from the positive feedback (180°) condition or both mentioned simultaneously.

It is possible to avoid self-excited oscillations in cutting as well as the chatter mentioned above if the CT tooth impact frequency is consistent with the own natural frequency of the CT subsystem 'spindle – tool holder – tool'. In other words, it is so when the surface waviness and the cutting vibrations are in phase (0°). By the way, the waviness may not be clearly visible, but appears to change the physical and mechanical properties of the surface layer. At this spindle speed the chip thickness remains constant, cutting goes smoothly and the cutter may go to a great depth without causing defects. This phenomenon is called 'sweet spot' [2].

There are two basic approaches to determine spindle speed at which there is no vibration such as the chatter or the like [2]. According to the first one the CT subsystem own natural frequency is found with the aid of using a vibrosensor (accelerometer) and an impact

hammer. Then the system transfer function is determined for analytical forecasting oscillations by calculating the sweet spots. It is necessary for this to have a mathematical model of the cutting dynamic system. The second approach for determining the sweet spots is to perform cutting tests. This approach allows obtaining more accurate information but requires a large number of experiments that are carried out with different combinations of spindle speed and depth of cut. Experimentally determined cutting modes with the sweet spots is then programmed to provide a stable high-performance machine work for a certain combination of machine tool as well as the CT and workpiece subsystems. The best is to use both of these techniques to obtain more accurate information about the vibrations in the machine elastic system.

Described mechanism of self-excited vibrations during cutting may have features depending on the cutting process kind in mechanical engineering technology. For example, a processing on the lathe by a single turning cutter differs from a multiple edge milling by monolithic CT or assembled one. Vibration during drilling (core-drilling, reaming, counter-sinking, etc.) depends on the torsional vibration of the axial tools mentioned, especially for small diameter drills which change their length while machining.

Technical systems modeling methods in the cutting dynamics as well as in the cutting thermophysics are divided into two broad classes depending on the adopted methodological approach distributed system or lumped one. In the first case (distributed system) processes are described by partial differential equations while in the second one (lumped systems) ordinary differential equations are used.

References

1. Диагностика автоматизированного производства / С.Н. Григорьев, В.Д. Гурин, М.П. Козочкин и др. – М.: Машиностроение, 2011. – 600 с.

2. Badrawy Sinan. Cutting Dynamics of High Speed Machining // Technology Update. – 2001. – Vol. 8, Iss.1. – P. 24–26.

Larshin V.P., Lishchenko N.V. Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine,
Bashrov R.R. Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Bashkortostan, Russia

SELECTION OF SENSORS FOR CUTTING TOOL DIAGNOSING

An analysis of current trends in metalworking reveals the following most characteristic of them [1]: concentration of diverse and combined machining methods on the same CNC machine; increase of cutting speed and feed due to modern rotary and linear electric drives (spindle speeds are 12, 14 and even 40 thousand rpm).

In this connection the development of methods and systems for cutting tool diagnosing by thermal and dynamic criteria is an important task in manufacturing technology. Acquisition of acoustic and vibration signals is critical in a variety of industries, e.g. in modern machine tool building.

Measuring complex is a modular system, such as NI USB-9233 data acquisition device which provides a USB interface for four channels of 24-bits analog inputs with integrated signal conditioning. The USB-9233 consists of two components: an NI 9233 module and a USB-9162 USB carrier (fig.1).

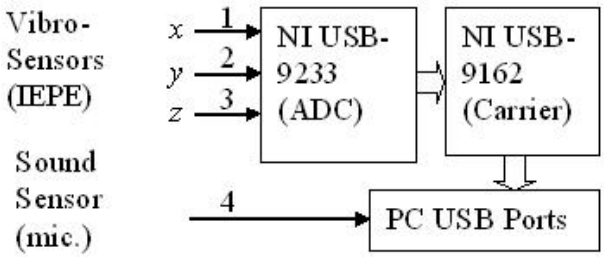


Figure 1 – The hardware scheme constructed with different sensors were used

Choosing the right sensor, e.g. an accelerometer or sound sensor, for cutting tool diagnosing can be a daunting task. This paper offers a help in the selection process among the different sensors which are used for dynamical measurements in manufacturing technology. Piezoelectric accelerometers are the most widely used devices for test and measurement applications. These devices offer a very wide measurement frequency range (from a few Hz up to 30 kHz) and are available in a range of sensitivities, weights, sizes, and shapes. Piezoelectric accelerometers are available with a charge or voltage (IEPE) output. The IEPE abbreviation means Internal (or Integrated) Electronic Piezoelectric. An accelerometer converts mechanical energy into an electrical signal which is the output of the device. This output is expressed in terms of millivolts per *g* (*mV*/*g*), or, in the case of a

charge-mode accelerometer, the output is expressed in terms of Pico Coulombs per *g*, i.e. *pC*/*g* [2] where *g* is the acceleration of gravity. For example, the output of AP2019 accelerometer is equal to 0.5 (*mV*/*g*).

To solve the diagnostics problem the experimental studies aimed at determining the correspondence between the various types of sensors are performed. Small sensors based on AP2019 accelerometers type and vibroacoustic sensor based on the SPL Lab measurement microphone are studied. The late USB RTA Meter (Pro Edition) measuring USB microphone is a new high-precision condenser microphone from Spl-Lab Company. It is a versatile instrument for measuring the frequency response, SPL (Sound Pressure Level) and the noise level. The device has a built-in power ADC (48 kHz, 16 bit), allow connecting the device directly to a PC via a USB port, bypassing the secondary audio paths, such as an external amplifier and a sound card.

Simultaneous monitoring of the same process by the different sensors allows identifying the advantages and disadvantages of each. For example, while measuring the vibration acceleration and the microphone audio signals during drilling small diameter holes the following experimental data are obtained (Fig. 2).

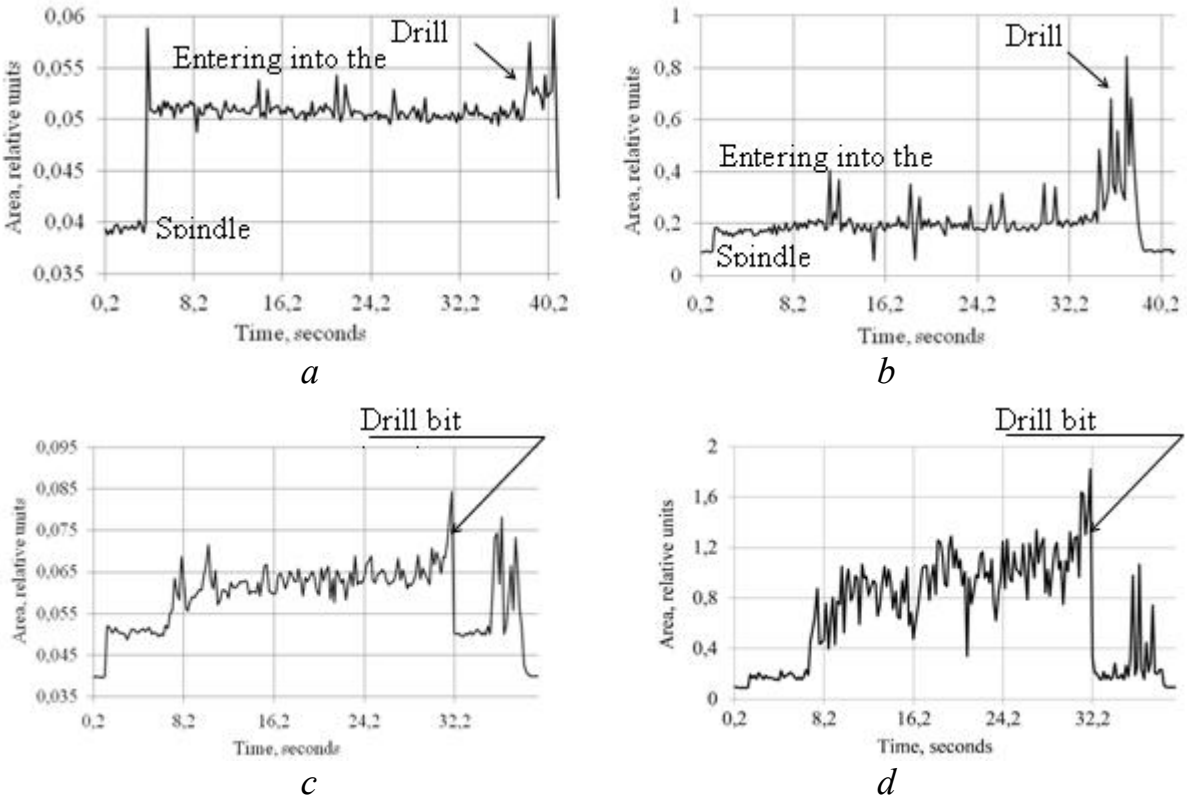


Figure 2 – Drilling characteristics obtained from various vibration sensors, namely the accelerometer (*a*, *c*) mounted on Z– axis 500V/5 machine and the microphone (*b*, *d*)

Another objective of the study is to determine the system carrier (chassis) influence on the level of signals received. The possibilities of the cDAQ-9172 chassis (previous carrier) were investigated in the last time [3]. The chassis allows the measurement of a wide set of analog and digital I/O signals and sensors using the standard Hi-Speed USB 2.0 interface. The experimental data are obtained by drilling the first (Fig. 2, *a*, *b*) and sixth (Fig.2, *c*, *d*) hole under following drilling conditions: n = 500 rpm, s = 0.06 mm per revolution, 14X17H2 stainless steel work material, P18 drill bit material, 16 mm height and 2.85 mm diameter of hole.

Conclusions

1. The *x*, *y*, and *z* AP2019 vibrosensors refer to the so-called IEPE ones and have a ground-referenced connection (unlike a floating one) between the each IEPE sensor and the USB-9233. NI Corporation has combined industry-leading 24-bit dynamic signal acquisition hardware with ready-to-run analysis in NI LabVIEW software to provide a unique solution for prototyping and deploying sound and vibration analyzers.

2. Vibration characteristics of the drilling process obtained by the vibration sensors-accelerometers and sound sensor-microphone are similar to each other, but the level of the sound sensor signal (Fig.2, *b*, *d*) is higher compared to the signal level of the vibration sensor (Fig. 2, *a*, *c*). For example, ceteris paribus, the signal levels of the vibration sensor and sound sensor in drilling areas ‘spindle off – entering into cut – drill jamming’ vary as ‘0.039 – 0.051 – 0.060’ (Fig.2, *a*) and ‘0.10 – 0.20 – 0.85’ (Fig.2,*b*), respectively. In the first case (vibration sensor) signal level is greater by 1.54 times (from 0.039 to 0.060), the second (sound sensor) – by 8.5 times (0.10 to 0.85).

3. When drilling the sixth hole the drill broke down at t = 0.32 c. (Fig.2, *c*, *d*). In this case the signal levels of the vibration sensor (accelerometer) and the sound sensor (microphone) are decreased, respectively, from 0.084 to 0.050 (Fig.2, *c*) and from 1.8 to 0.2 (Fig.2, *d*), i.e. by 1.68 and 9 times. Thus, the sensitivity of the sound sensor (microphone) in this case also is much higher.

4. The USB RTA Meter (Pro Edition) measuring USB microphone advantages relative to the AP2019 vibrosensor (accelerometer) allow using sound sensor in the NI LabVIEW system by connecting it via USB interface without special devices like an NI 9233 module and a USB-9162 USB carrier.

References

1. Металлообработка 2014, мировые премьеры, технологии, ecoline, автоматизация, lifecycle services // DMG MORI Journal. – 2014. – № 1. – 60 с.

2. Bruce Lent. Simple Steps to Selecting the Right Accelerometer // www.sensorsmag.com/sensors/acceleration-vibration/simple-steps-selecting-right-accelerometer-1557.

3. Исследование виброустойчивости инструмента при сверлении отверстий малого диаметра / В.П. Ларшин, Н.В. Лищенко, Р.Р. Башаров // Современные тенденции в технологиях металлообработки и конструкциях металлообрабатывающих машин и комплектующих изделий: Межвуз. науч. сб. – Уфа: УГАТУ, 2013. – С. 20–25.

Лебедев В.Г., Клименко Н.Н. Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина

ОЦЕНКА КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛА ОТВОДИМОГО ВОЗДУХОМ ОТ ЗОНЫ ШЛИФОВАНИЯ

Для оценки количества тепла необходимо найти коэффициент конвективного теплообмена между движущейся средой и шлифуемой поверхностью (стенкой).

Цель исследования – оценка количества теплоты отводимой от зоны шлифования воздушными потоками на основе термодинамических закономерностей.

Количество теплоты, переданное в процессе теплоотдачи, определяется по уравнению Ньютона-Рихмана:

$$Q = \alpha\,(t_{ст} - t_{ж}) \qquad (1)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м2·К); $t_{ж}$, $t_{ст}$ – средние температуры жидкости и стенки, °С; Q – тепловой поток (количество теплоты), Вт (Дж);

Коэффициент теплоотдачи α – характеризует интенсивность теплообмена между поверхностью тела и окружающей средой. Коэффициент α показывает, какое количество тепла передается от единицы поверхности стенки к жидкости в единицу времени при разности температур между стенкой и жидкостью в 1 градус (К):

$$[\alpha] = \left[\frac{Q}{F(t_{ст} - t_{ж})}\right] = \left[\frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{К}}\right] = \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}\right] \quad (2)$$

где F – площадь поверхность стенки, м^2.

Определение коэффициента теплоотдачи α является основной задачей расчета теплообменных аппаратов. Обычно коэффициент теплоотдачи определяют из критериальных уравнений, полученных преобразованием дифференциальных уравнений гидродинамики и конвективного теплообмена методами теории подобия. Проще всего коэффициент теплообмена определить через критерий Нуссельта по выражениям:

$$\alpha = \frac{\text{Nu} \cdot \lambda}{l} \quad (3)$$

$$\text{Nu} = 0{,}008\text{Re}^{0{,}9}\ \text{Pr}^{0{,}43} \quad (4)$$

где Re = wl/v = wlp/μ – критерий Рейнольдса, характеризующий гидродинамический режим потока при вынужденном движении и является мерой соотношения сил инерции и вязкого трения; Pr = v/a = cμ/λ – критерий Прандтля, характеризующий физико–химические свойства теплоносителя и является мерой подобия температурных и скоростных полей в потоке; где l – определяющий размер, м; ρ – плотность теплоносителя, кг/м^3; λ – коэффициент теплопроводности теплоносителя, Вт/(м·К); μ – динамический коэффициент вязкости, Па·с; с – теплоемкость теплоносителя, Дж/(кг·К); τ – время процесса, с, ω – скорость движения теплоносителя м/с.

Расчет критерия Nu для скорости воздушного потока 30–50 м/с и для нормальной температуры воздуха в цехе 200 °С = 2930 К, по приведенным формулам, составляет 51,34. Соответственно коэффициент теплообмена α, согласно формуле 3 будет равный, α = 445 Вт/м^2 0К.

Для того, чтобы определить количество теплоты уносимой с поверхности пятна контакта круга с деталью, необходимо перемножить длину дуги контакта круга с изделием и величину поперечной подачи. Для случая плоского шлифования переферией круга имеем:

$$F_{пк} = \sqrt{D_{кр} \cdot t_{ш}} \cdot S \quad (5)$$

где $F_{пк}$ – площадь пятна контакта м^2; $D_{кр}$ – диаметр шлифовального круга м; $t_{ш}$ – глубина шлифования м; S – величина поперечной подачи м/ход.

Для параметров плоского шлифования: $D_{кр}$ = 350 мм; $t_{ш}$ = 0,03 мм; S = 2 мм/ход, площадь пятна контакта (F) составит 15·10^{-6} м^2. Величи-

на контактной температуры шлифования для таких условий составляет примерно 10730К, что дает температурный напор, при температуре окружающего воздуха 2930К 7800К.

Количество уносимого тепла, согласно формуле (1) составит 5,32 Вт. Для этих же условий шлифования сила резания P_z составляет 10–15 Н [3], что дает мощность теплового источника 300 – 450 Вт. Учитывая, что в изделие переходит примерно 80 % тепловой энергии, можно утверждать, что на шлифуемую поверхность воздействует тепловой источник мощностью 240–360 Вт. Если считать по минимальному значению тепловой мощности, то, учитывая унос воздушной струей 5,32 Вт, мы имеем 234,8 Вт тепловой энергии т.е. тепловой источник ослабляется на 2,2 %. Следовательно, серьезного снижения температуры за счет охлаждения воздушной струи ожидать нельзя.

Охлаждение воздухом зоны шлифования с помощью вихревой трубки Ранка-Хилша.

Вихревой эффект (эффект Ранка-Хилша) – эффект разделения газа или жидкости на две фракции при закручивании в цилиндрической или конической камере. На периферии образуется закрученный поток с большой температурой, а в центре – охлаждённый поток, закрученныё в противоположную сторону.

При подключении такой трубки к заводской сети сжатого воздуха (6 кг/см^2), на выходе холодного воздуха можно получить температуру 400 °С. Устройство такой трубки показано на рис. 1. Такие трубки в настоящее время выпускаются промышленностью и находят применение при различных технологических процессах металлообработки. Однако сообщения о результатах применения значительно разняться. Так, например, в работе [1] утверждается, что получен теплоотвод порядка 30–35 % тепловой энергии. Другие [3] сообщают, что теплоотвод от нагретой поверхности увеличивается незначительно.

Рисунок 1 – Устройство вихревой трубки

Действительно, если рассматривать случай плоского шлифования периферией круга, то исходя из вышеизложенного материала можно рассчитать, что давление пневматической системы цеха обеспечивает скорость воздуха порядка 100 м/с. Если считать, что скорости воздушного потока циркулирующего около круга и скорость воздуха выходящего из вихревой трубки складываются, то мы получим результирующую скорость порядка 135 м/с, т.е. примерно в 4 раза больше, чем в предыдущем случае, увеличение числа Nu и температурного напора. Все это дает увеличение отводимого тепла от площади пятна контакта до 22 Вт. Следовательно, для нашего случая может отводиться до 10 % тепла. Данное несовпадение результатов с величинами теплоотвода, которые приведены в работе [2] легко объяснимо. В этой работе речь идет о шлифовании поверхности торцом чашечного круга. В этом случае площадь пятна контакта значительно больше, а так как величина теплоотвода прямо пропорциональна площади пятна контакта, то величины, показанные в данной работе вполне достижимы. Таким образом, значительно снизить температуру шлифования за счет применения воздушной вихревой трубки возможно в тех случаях, когда при шлифовании имеют место большие величины пятна контакта. Охлаждение зоны шлифования с помощью струи распыленной СОЖ.

Как видно из (5), величина α прямо пропорциональна величине λ, т.е. коэффициенту теплопроводности среды, которая омывает стенку. Если воздушную струю несколько увлажнить, то вероятно можно получить довольно большие коэффициенты теплопроводности среды. Действительно λ воздуха составляет 0,0257 Вт/м К, а λ воды составляет 0,598 Вт/м К, т.е разница составляет 23 раза.

Пересчет значений Re, Pr и Nu для соотношения вода 30 %, воздух 70 % (можно получить за счет инжекторного сопла, подключенного к пневмосистеме цеха), а также расчеты свидетельствуют о величине теплоотвода от шлифуемой поверхности порядка 30–35 %.

Для уточнения данных результатов, необходимы дальнейшие исследования процесса теплообмена между струей распыленной СОЖ и шлифуемой поверхностью.

Выводы

Охлаждение шлифуемой поверхности воздушными потоками, циркулирующими вокруг круга, не приводит к существенному теплоотводу от поверхности из-за низкой теплопроводности воздуха и малого температурного напора.

Охлаждение воздухом при шлифовании с помощью вихревой трубки Ранка – Хилша даже при малых площадях контакта круга со шлифуемой поверхностью обеспечивает величину теплоотвода порядка 10 % за счет увеличения скорости воздушной струи и снижения ее температуры. При больших площадях контакта (шлифование торцом чашечного круга плоской поверхности) величина теплоотвода увеличивается и может достигнуть 30–35 %.

Литература

1. Колегов С.А. Совершенствование процесса плоского шлифования коррозионно-стойких, хромоникелевых сталей аустенитного класса алмазными кругами с коническими отверстиями на торце: автореф. дисс… канд. техн. наук. – Ижевск, 2010.

2. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. – С. 392.

3. Худобин Л.В., Гурьянихин В.Ф., Мельников В.Ф. Влияние размеров и формы шлифовальных кругов на создаваемые или воздушные потоки // Вопросы теории и прогрессивные технологические процессы абразивной обработки. – М.: 1977. – С.41–49.

Лебедев В.Г., Луговская Е.А. Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина

ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ЗАКАЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ШЛИФОВАНИИ КРУГАМИ ИЗ КНБ

Как показывает опыт, детали в точном машиностроении и приборостроении, а также различные детали гидроаппаратуры должны иметь низкие значения шероховатости поверхности, соответствующие 0,32–0,050 мкм по *Ra*.

Данная шероховатость при абразивном шлифовании достигается с большим трудом, в результате чего приходится вводить дополнительные доводочные операции.

С этой точки зрения, возможности шлифования кругами из КНБ могут быть использованы наиболее полно, так как в общем случае шероховатость поверхности при шлифовании кругами из КНБ ниже, чем абразивном. Изучение закономерностей шерохова-

тости поверхности от факторов обработки может дать возможность строить процесс так, чтобы стабильно поддерживать требуемое значение шероховатости [1, 2].

Цель исследования – Установить закономерности величины шероховатости от параметров процесса эльборового шлифования.

Результаты исследований показали, что большое влияние на шероховатость оказывает зернистость шлифовального круга. Так, изменение зернистости шлифовального круга с 8 до 20 повышает шероховатость в 1,5–2 раза. Это объясняется тем, что при увеличении зернистости круга растут радиусы закругления зерен, возрастают силы, действующие на зерно, и увеличивается величина углубления зерна в металл.

Связка кругов из КНБ также оказывает влияние на величину шероховатости. Как показали исследования, шероховатость поверхности при шлифовании кругами на органических связках на 15–10 % ниже, чем при шлифовании кругами на керамических связках. Это можно объяснить тем, что органические связки более эластичны и при увеличении сил, действующих на зерно, последние больше углубляется в органическую связку, чем в керамическую, что соответственно уменьшает величину углубления зерна в металл.

Режимы обработки также оказывают большое влияние на величину шероховатости (рис.1).

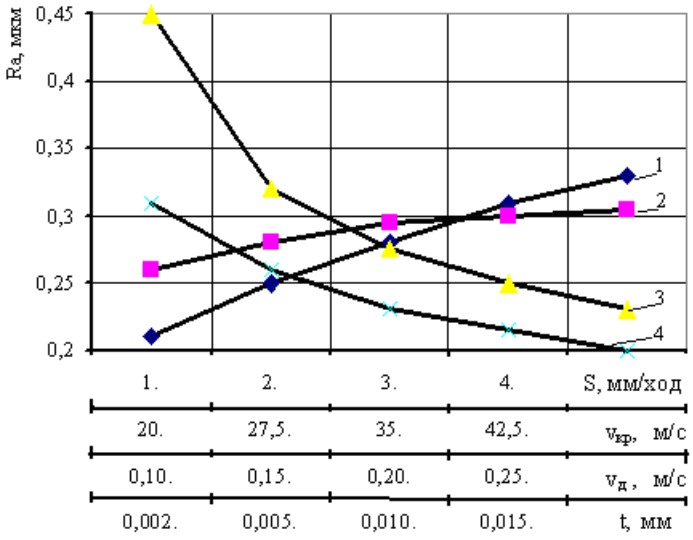


Рисунок 1 – Зависимость шероховатости поверхности от режимов обработки стали 12Х2Н3А кругом ЛО20С1К8-100% ($v_{кр}$=35 м/с, t = 0,010 мм, $v_з$ = 0,15 м/с, s = 1,5 мм/ход стола): 1 — *Ra = f(t)*, 2 — *Ra = f($v_з$)*, 3 — *Ra = f(s)*, 4 — *Ra = f($v_{кр}$)*

Так, например, при шлифовании кругом зернистости 12, увеличение скорости вращения шлифовального круга с 22 до 33 м/с, глубины резания 0,015 мм и поперечной подаче 5 мм/ход стола параметр шероховатости Ra уменьшается со значения 0,3 до 0,22 мкм. Это объясняется тем, что при увеличении скорости вращения круга в съеме металла принимает участие большее число режущих зерен, в результа-

те чего уменьшается сечение стружки, снимаемой КНБ зерном, уменьшается величина углубления зерна в металл.

Увеличение поперечной подачи приводит к некоторому снижению величины шероховатости. Так, при указанных режимах обработки, увеличение поперечной подачи с 1,5 до 5 мм/ход приводит к уменьшению шероховатости на 10–15 %. При увеличении поперечной подачи возрастает площадь пятна контакта круга с заготовкой и растет число зерен, принимающих участие в съеме металла.

Чем больше скорость детали, тем выше величина шероховатости, что объясняется увеличением сечения стружки, снимаемой зерном КНБ. Это хорошо согласуется с результатами измерения величины углубления зерна в металл и измерения единичных сил резания (рис. 2).

Увеличение глубины резания приводит к росту шероховатости поверхности, ввиду возрастания величины углубления зерна в металл.

Как показали исследования, при скорости вращения круга 30–35 м/с и глубине резания 0,010–0,015 мм, величина шероховатости стабильно соответствует *Ra* 0,160–0,250.

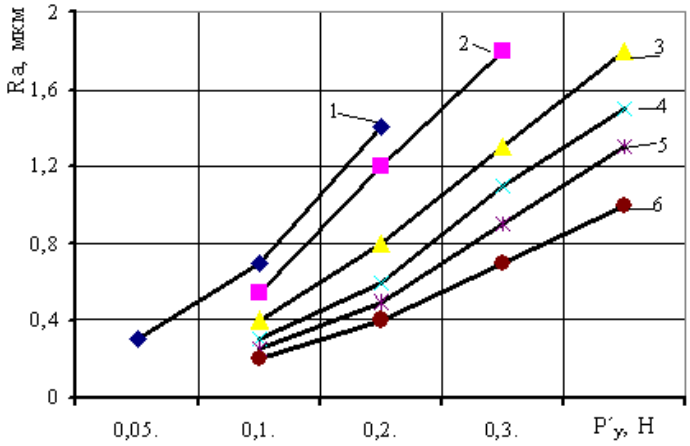


Рисунок 2 – Зависимость шероховатости обработанной поверхности от единичных сил резания для различных материалов и кругов: 1 – сталь 45, Л12С1-100%, 2 – 12Х2Н3А, ЛОС1-100%, 3 – 12Х2Н3А, Л12С1-100%, 4 – 08Х18Н9Т, Л12С1-100%, 4 – 08Х18Н9Т, Л12С1-100%, 5 – титановый сплав ВТ8, Л12С1-100%, 6 –12Х2Н3А Л5С1-100%

При чистовых операциях, увеличивая скорость вращения круга до 40–45 м/с и уменьшая величину глубины резания до 5 мкм, значение шероховатости поверхности стабильно соответствует *Ra* 0,032–0,025, что позволяет полностью отказаться при чистовой обработке деталей от доводочных операций.

Выводы

1. Исследования показали, что при шлифовании закаленных деталей эльборовыми кругами достижимая величина шероховато-

сти соответствует *Ra* 0,032–0,025, что в ряде случаев позволяет отказаться от доводочных операций.

2. Более всего шероховатость зависит от скорости детали и от скорости вращения круга. В первом случае увеличение скорости детали приводит к увеличению шероховатости, а во втором случае увеличение скорости круга приводит к ее снижению.

Литература

1. Прецизионная финишная обработка высокоточных деталей силовых установок транспортных средств / А.П. Тюрин, Л.В. Королев, Л.Л. Королев // Машиностроение и техносфера XXI века: Сб. тр. международ. науч.-техн. конф., 17–22 сент. 2007 г. – Донецк. – 2007. – Т. 4. – С. 72–78.

2. Модель взаимодействия абразивного зерна и обрабатываемого материала при шлифовании. Схема стружкообразования / В.М. Шумячер, Л.В. Карлышков // Технология машиностроения. – 2007. – № 4. – С. 18–22.

Лимаренко О.М., Гузенко А.О. Одеський національний політехнічний університет, Одеса, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЦИЛІНДРА ГІДРОПРЕСУ ЧИСЕЛЬНИМ МЕТОДОМ

Необхідність проведення перевірочного розрахунку міцності циліндра обумовлена тим, що в останній час головний циліндр мав деякі конструктивні зміни. У період розробки проекту пресу Д 0843 не існувало достатньо строгої і чіткої методики розрахунку тривимірних деталей до яких і відносять циліндри таких пресів. Тому при проведені розрахунків на міцність користувались застарілими методами, котрі давали можливість визначати напруження в елементах конструкції дуже приблизно. Крім цього, матеріал що використовується сталь 35Л вітчизняного виробництва має низькі механічні характеристики, з урахуванням якості виготовлення таких товстостінних відповідних деталей допустимі напруження прийняли достатньо низькими.

На практиці використовують як аналітичні, так і чисельні методи. Перші базуються на математичних методах рішення крайових задач, звичайно складних і трудомістких, і найчастіше обмежені досить простими геометричними формами тіл і схем навантаження.

Для рішення задачі числовим методом (методом скінченних елементів), побудується геометрична модель деталі, і розбивається на елементи скінченної форми (рис. 1) [3].

Так як модель об'ємна, то і кінцевий елемент повинен бути об'ємним. У нашій задачі обрано тривимірний тетрагональний елемент SOLID 92 з 10 вузлами з бібліотеки стандартних елементів ANSYS.

Етап вирішення починається з завдання граничних умов (рис. 2), а також вказівки методу і параметрів розрахунку, а закінчується отриманням результатів як в табличній так і в графічній формі. До граничних умов відносять: переміщення і навантаження (тиск, зосереджені сили, розподіленні навантаження).

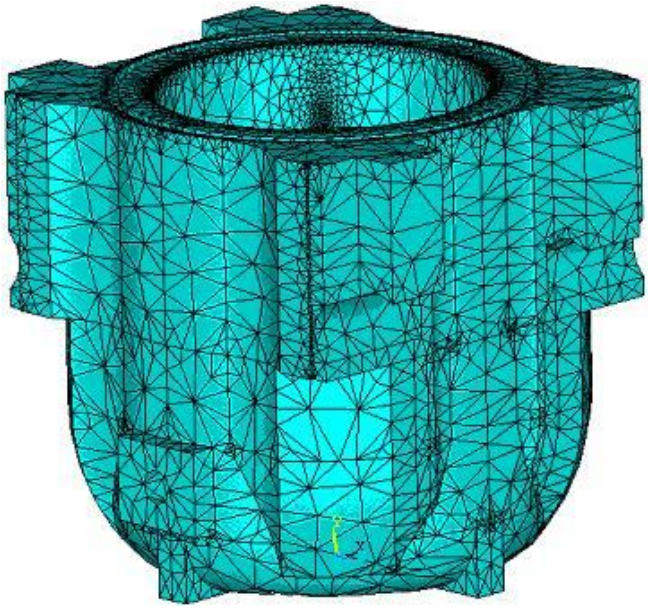


Рисунок 1 – Модель головного циліндра преса Д-0843 з скінченно-елементною сіткою

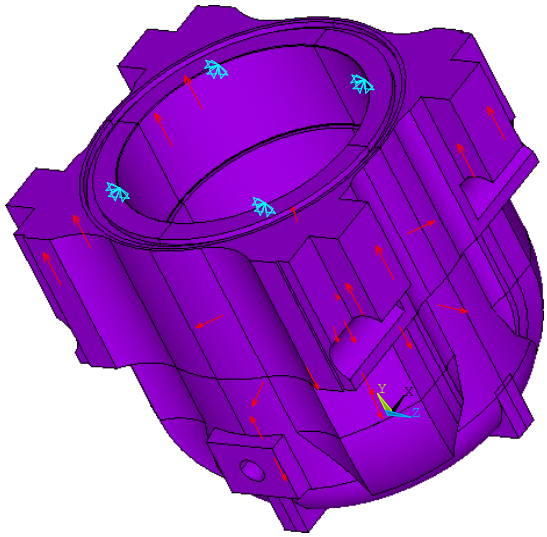


Рисунок 2.4 – Граничні умови в циліндрі

Результати визначення еквівалентних напружень в небезпечних точках характерних перерізів циліндра методами теорії пружності та з використанням програмного комплексу ANSYS наведені в таблиці. Розрахунки за формулами Ламе виконані для одиничного тиску ($p = 1$).

Таблиця 1 – Порівняння результатів розрахунку методами теорії пружності та МСЕ

Характерні перерізи і точки циліндра	Еквівалентні напруження в небезпечних точках	
	ANSYS	Теорія пружності
Поперечний переріз циліндричної частини	2,92	2,84
В центрі внутрішньої поверхні днища	2,19	2,16
В центрі зовнішньої поверхні днища	2,88	2,86
Біля отвору на внутрішній поверхні циліндра	3,9	—

Аналіз напружень, отриманих у результаті розрахунків дозволяє зробити наступні висновки:

1. Міцність стінок циліндра забезпечена.

2. Міцність плоскої частини днища забезпечена, що випливає з порівняння максимальних напружень із границею текучості.

3. Найбільші напруження виникають в зонах дії зусиль, прикладених до кронштейнів, в місцях різкої зміни форми та в центрі днища.

4. Розрахований по границі текучості матеріалу циліндра фактичний коефіцієнт запасу міцності в найбільш напруженому місці (біля отвору) $n_ф = 1{,}41$ під випробувальним тиском.

5. Епюри розподілу напружень в перерізах елементів циліндра, визначених за допомогою формул теорії пружності і методу скінченних елементів адекватні за характером, а розбіжності в значеннях напружень $\sigma_{екв}$, зумовлені принциповою різницею дискретизації об’єкту.

6. Відмітимо, що метод скінченних елементів дає можливість враховувати як різку зміну геометрії так і механічних властивостей матеріалу об’єкту.

Література

1. Численные методы в механике / В.А. Баженов, А.Ф. Дащенко, Л.В. Коломиец и др. – Одесса, «СТАНДАРТЪ», 2005. – 563 с.

2. Каминская В.В., Левина З.М., Решетов Д.Н. Станины и корпусные детали станков. – М.: Машгиз, 1960. – 363 с.

3. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. ANSYS в руках инженера: Практич. руководство. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 272 с.

4. Лимаренко А.М., Немчук А.О. К расчету станин станков портального типа // Вісник одеського національного морського університету. – 2006. – № 20. – С. 97–102.

5. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров: Справ. пособие. – М.: Машиностроение – 1, 2004. – 512 с.

6. Adams V. Common Misconceptions About FEA // ANSYS Solutions, Fall. – 2000. – Vol. 2, №. 4. – P. 30–32.

Лимаренко О.М., Слобода К.П. Одеський національний політехнічний університет, Одеса, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИЛОВИМІРЮВАЧІВ ІЗ БАГАТО-ЗАХІДНОЮ НАРІЗКОЮ ДЛЯ ВИМІРУ НАДВАЖКИХ І НАДМАЛИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Відомі чутливі елементи, які містять пружний стрижень із наклеєними тензорезисторами як перпендикулярно, так і уздовж його осі. Принцип роботи такого чутливого елемента полягає в тому, що під дією вимірюваного зусилля чутливий елемент разом з тензорезисторами деформується, електричний опір їх міняється пропорційно прикладеному зусиллю. Однак, при цьому в зоні приклеєних тензорезисторів по їх довжині деформація не однакова. Це пов'язано зі змінністю деформації по довжині пружного стрижня при його стисканні або розтяганні, що призводить до зниження точності вимірювань.

З метою усунення цього недоліку пропонується на бічній поверхні пружного стрижня під кутом меншим 15° відносно його осі, виконувати багатозахідну нарізку глибиною 1,5–2 діаметра тензорезисторного дроту, розташованої в ній з натягом, що і є тензорезисторами стиску, над якими розташовані тензорезистори розтягання [1, 4]. При цьому підвищується чутливість силовимірюючого пристрою. Це пояснюється тим, що на одній і тій самій бічній поверхні пружного стрижня виконані багато-західні права й ліва нарізки. Крім того, ширина й глибина верхньої нарізки невелика й рівна 1,5,..., 2 діаметра тензорезисторного дроту, що дозволяє отриманим верхнім тензорезисторам сприймати рівномірно деформацію бічною поверх-

нею пружного стрижня. Тому використовується вся його бічна поверхня, причому витримується необхідне положення тензорезисторів. На додаток до цього, з'являється можливість збільшити довжину, що навивається з попереднім натягом тензорезисторного дроту пропорційно довжині утворюючої пружного стрижня. Отже, одержимо електричний сигнал більшої величини, що в кінцевому результаті підвищить точність виміру. Такий силочутливий елемент може бути використаний для виміру більших зусиль (понад 1000 кН). Це пояснюється тим, що пружний стрижень, не втративши стійкості, може витримати навантаження стиску (розтягання) великої величини. При цьому габаритні розміри пружного елемента будуть мінімальні, а величина одержуваного електричного сигналу буде достатня для нормальної роботи вторинної апаратури.

Так само новим є двошарове розташування тензорезисторів, причому кожний із шарів контактує безпосередньо з бічною поверхнею пружного стрижня. Це досягається за рахунок виконання на одній поверхні багато-західної – правої й лівої нарізки різної глибини. Тензорезистори розтягання також намотуються на поверхню, яка при навантаженні пружного стрижня деформується. Так як товщина тензорезисторного дроту, що навивається, – мала (звичайно рівна 20 мк), та й глибина нарізки незначна, отже, її наявність істотно не змінить стан, що напружено деформується, пружного стрижня. При цьому на відміну від відомого способу наклейки тензорезисторних решіток (наведеного вище) передача деформації на верхні тензорезистори не буде здійснюватися через проміжні нижні, а буде передаватися безпосередньо від бічної поверхні. Це дозволяє одержувати електричний сигнал більшої величини, отже, для більших зусиль (понад 1000 кН), інформацію виміру можна передавати на значні відстані без втратиточності показань.

На рис. 1 зображений чутливий елемент, призначений для виміру більших осьових зусиль (понад 1000 кН). Він складається із пружного стрижня 1, у якому виконана на його бічній поверхні під кутом 15° до його осі багатозахідна нарізка 2. Навитий з попереднім натягом тензорезисторний дріт, розташований в багатозахідній нарізці, утворює тензорезистори стиску 3, 4 і розтягання 5, 6 (ліва нарізка для того, щоб не захаращувати креслення, не показана). Ця обставина дозволяє збільшити довжину тензорезисторів розтягання 5 і 6. Розташування тензорезисторного дроту в цьому випадку ілюстру-

ється розрізом по А-А. Для наочності зображення розміри тензорезисторного дроту й нарізки збільшені не пропорційно.

Новим, у запропонованому технічнім рішенні, є виконання на одній і тій же бічній поверхні пружного стрижня багато-західної правої й лівої нарізок під кутом 45° до його осі. Причому кожен тензорезисторний дріт, навитий з натягом і розташований в нарізці, деформується тільки бічною поверхнею закрученого пружного стрижня. Виконання нарізки під кутом в 45°до осі пружного стрижня дозволяє розміщати тензорезистори в районах з максимальною деформацією, при цьому всі побічні види деформації виявляють мінімально – можливий вплив, а тому вимір крутного моменту буде проводитися з максимально можливою точністю. Використання тензорезисторів з більшим електричним опором у цьому випадку можливо, тому що може бути використана вся бічна поверхня пружного стрижня. Тому отриманий електричний сигнал буде більшої величини, що підвищить точність виміри крутного моменту. У цьому випадку, за допомогою тензорезисторного дроту, що навивається з попереднім натягом на бічну поверхню пружного стрижня, вимір крутного моменту буде здійснюватися інтегрально. Усе це дозволяє розширити функціональні можливості й вимірювати крутні моменти з високою точністю й надійністю.

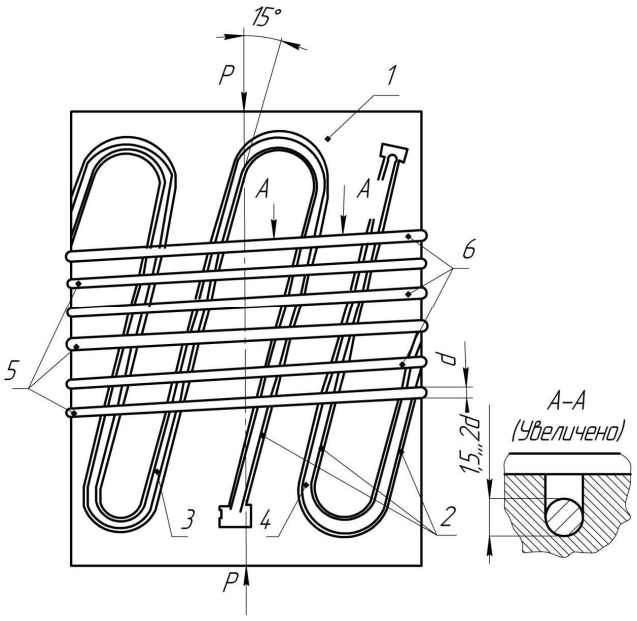


Рисунок 1 – Упругий элемент с много-заходной нарезкой на стержни для измерения свертяжелых, или свермалых нагрузок

Розроблена модель пружного елементу силовимірювача дозволяє проектувати нові конструкції і розраховувати коефіцієнт силопередачі при зміні навантажень в широкому діапазоні.

Література

1. Александров А.В., Потапов В.Д., Державін Б.П. Опір матеріалів : Учеб. для вузов. – М.: Висш. шк. 2000. – 560 с

2. Голованов В.К. Ваги у вигляді рейки: Інформ. листок № 51-087-03 / Волгоградський ЦНТІ Електронна база даних "Науково-технічні розробки Росії", 2003. – С. 32.

3. Голованов В.К. Електронні ваги для рухомого транспорту з несучим пружним елементом // Підвищення ефективності експлуатаціїтранспорту: Межвуз . научн . тр. – Саратов: СГТУ, 2003. – С.104–107.

4. Голованов В.К., Дащенко А.Ф., Коломієць Л.В. Конструкційна міцність запобіжних і силовимірювальних пристроїв. – Одеса . Астропринт , 1997. – 144 с.

Лютий О.П. ПАТ „Дніпроспецсталь”, Запоріжжя, Україна

ІСТОРИКО-РЕТРОСПЕКТИВНИЙ АНАЛІЗ І ПРОГНОЗУВАННЯ – НЕВІДМІННА СКЛАДОВА ВИВЧАННЯ НОВОЇ ТЕХНІКИ

Наша країна одна з небагатьох , де студентів не знайомлять з історією своєї спеціальності і фахівці не володіють науковими методами аналізу і прогнозування, що розроблені істориками природознавства і техніки. Аллен Кент, крупний фахівець у галузі інформаційних технологій відмічав: «Реалізація досягнень науки і техніки останнім часом показала, що для подальшого підвищення ефективності використання результатів наукових досліджень дуже важливо глибоке «уявне» проникнення в те, що було досягнуто раніше, тобто здійснення ретроспективного пошуку інформації»

Академік Борис Євгенович Патон вчить розрізняти цінність і вагомість нових технологій. Це завдання досить складне, бо треба системно проаналізувати можливості технологій в контексті вже відомих традиційних визнаних процесів. І результати аналізу та роздумів вписати у тенденцію науково-технічного прогресу людства. Пояснюючи таку методику прогнозування, Б.Є.Патон пише: «…наприклад, технологія полімеризації, яка лежить в основі одержання практично всіх сучасних синтетичних матеріалів. Рівень її досконалості багато в чому визначає науково-технічний прогрес практично всіх галузей народного господарства. Подібні технології завдяки тому, що в них закладена ідея, що відрізняється і гли-

биною, і широтою, народжують нові технології, що виявляють, у свою чергу, важливий вплив на цілі галузі виробництва. Саме до глобальних технологій ставиться і електрошлакова технологія, що стала сумою технологій, впровадження яких знаменує справжню науково-технічну революцію в таких найважливіших виробництвах, як металургія, машинобудування, відкриває перед ними нові, далеко ще не вичерпані можливості». Таким чином, людина, яка більш півстоліття успішно керує Національною академією наук України, показує одну з складових знань про нові матеріали, технології, обладнання, машини.

Важливішою складовою викладання нових технологій має бути інформація про витоки, про джерела нової техніки, її творців і навіть конкретної ситуації що до їх створення. Додатково можна проаналізувати різноманітні, у тому числі психологічні, соціальні, економічні, організаційні та інші аспекти розвитку науки і техніки ,конкретних історичних розділів.

Знання історії виникнення своєї спеціальності є важлива складова гуманітаризації викладання. Але ,крім того у процесі аналізу можна знайти нові шляхи розвитку, які винахідники обминули або пропустили з якихось причин. (До речі, при оформленні заяви на видачу патенту треба вказувати прототипи і аналоги, піддавати критичному аналізу попередні винаходи).

Зрозуміло, що опис історії навіть нових видів і галузей техніки може займати значний обсяг. Тому при складанні підручників, конспектів, методичних посібників та для викладання матеріалу необхідно визначати основні суттєві частини, елементи технології, обладнання, матеріалу. Це не просте завдання, бо навіть в стандартах з термінології, тлумачних словниках та енциклопедіях іноді підкреслюють вторинні, а не сутні ознаки. (Наприклад, забувають чи не знають, що первісною ознакою технологічних процесів є характер дії енергії на матеріал). Ще одну методику, яку треба застосовувати при складанні матеріалів з історії є системний аналіз. (До речі, володіти наукою такого аналізу корисно кожному інженеру).

Історія науки та техніки, як і інші види історичних дисциплін, може бути в загальному форматі, що охоплює події всесвітнього прогресу і в форматі окремих галузей техніки і розділів фундаментальної науки. Безумовно, загальний формат потрібен усім інженерним спеціальностям, а викладання нових технологій має починатися саме зі знайомства з конкретних історичних основ. Так, електрошлакова тех-

нологія, про яку згадує Б.Є.Патон, є складовою спеціальної електрометалургії (СЕМ) - нової галузі металургії, що почала створюватися вперше саме в Україні у другій половині минулого століття. Зараз в складі СЕМ: електрошлакові технології, електронно-променевий переплав, плазмово-дуговий переплав, нові види індукційного переплаву, деякі технології випаровування та напилення. Більшість з них забезпечують науково-технічний прогрес новими конструкційними матеріалами, матеріалами для електроніки, медицини тощо. Нагальна потреба в цих матеріалах виникла у зв'язку з виникненням ядерної енергетики, ракетобудування, нових засобів транспорту та ін. Майже усі ці технології були створені вперше в світі ученими Інституту електрозварювання ім. Є.О.Патона у співдружності з виробничниками провідних вітчизняних металургійних та машинобудівних підприємств. Науковою і технічною основою СЕМ є зварювальні процеси. З цього і починається історії нової металургії. Але використав досвід „підкорення" джерел енергії, створення флюсів тощо з метою зварювання, розвиток СЕМ пішов „своїм шляхом". Учені, заводські спеціалісти, конструктора вивчали і набирали досвіду. Таким чином формувалися фахівці із електрошлакових та інших нових технологій, і одночасно створювалася історія СЕМ. Зрозуміло, що в підручники з нової техніки попадають такі матеріали, які потрібні для безпосереднього використання. А користь від введення історичної інформації, (крім того, про що говорилося вище) ще і в викладанні шляхів пошуку „методом проб і помилок".

Викладання історії техніки необхідно поставити на службу сучасності, допомогти фахівцям різних галузей техніки, на основі досвіду минулого, ясно розуміти сьогоденний її стан і місце в науково-технічному прогресі, чітко представляти перспективи розвитку.

Лютый А.П. ПАО «Днепроспецсталь», Запорожье, Украина

ЭТАПЫ И СТИМУЛЫ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЁМКОСТИ НА ПАО «ДНЕПРОСПЕЦСТАЛЬ»

Публичное акционерное общество «Электрометаллургический завод Днепроспецсталь» им. А.Н.Кузьмина» начало свою работу 10 октября 1932 года как Завод инструментальных сталей входил в со-

став комбината «Днепросталь» (ныне комбинат «Запорожсталь»). В то время в районе Днепровской гидростанции создавались энергоёмкие предприятия, рассчитанные на широкие возможности мощного поставщика электроэнергии. Развитие техники шло по пути повышения качества материалов, в том числе и сталей.

Потребность в сталях с особыми разнообразными свойствами возросла с середины прошлого века. Высоко- и жаропрочность, коррозионная и криогенная стойкость, ряд других качеств достигались путём введения легирующих элементом, применения специальных технологий литья, прокатки, термообработки и др. Основным требованиям к технологиям изготовления полуфабрикатов было и остаётся стабильное длительное сохранение эксплуатационных свойств в ответственных сварных конструкциях. При этом расход энергоносителей (электричества, горючего газа, сжатого воздуха и др.) обусловлен технологией производства и экономия в основном возможна в комплексе рациональным изменением технологий.

В 1958 г. на ПАО «Днепроспецсталь» впервые в мире был внедрен электрошлаковый переплав, созданный в Институте электросварки им. Е.О.Патона и открывший путь к новой отрасли металлургии, получивший название «специальная электрометаллургия» (СЭМ). С тех пор ПАО «Днепроспецсталь» является крупнейшим производителем и поставщиком специальных сталей и сплавов в страны СНГ и в ряд европейских стран. Продукция и технология ПАО «Днепроспецсталь» были сертифицированы Обществом технического надзора TUV (Германия), а по ряду разработок заводских ученных проданы лицензии за границу.

Потребительские свойства продукции ПАО «Днепроспецсталь» соответствуют требованиям международных стандартов, в результате чего объем экспорта постоянно возрастает, следовательно, снижение себестоимости изделий является одной из основных задач. Решение этой проблемы поставлено в разряд наиболее приоритетных. С 2000 года на предприятии была разработана и утверждена программа комплексного развития энергетики ПАО «Днепроспецстали». Наряду с другими, особое внимание в ней уделено снижению затратной части доли энергоносителей в себестоимости продукции, сокращению потребления по каждому энергоносителю. Управление режимом работы электроустановок промышленных предприятий включает в себя выполнение технических, организационных мероприятий, направленных на обеспече-

ние надежного, бесперебойного и экономически выгодного снабжения потребителей электроэнергией.

В период 1991–2001 гг. произведена реконструкция прокатных станов. В частности, на главный привод обжимной клети установлен новый преобразовательный агрегат, смонтированы комплекты схем управления и регулирования, и др. Экономическая эффективность проведенного комплекса мероприятий по прокатному цеху составила 1390 тыс. грн./ год.

Произведены реконструкция систем воздухоснабжения, с выводом из эксплуатации ряда воздуховодов, сокращением количества воздухопотребляющих агрегатов, переводом пневмоприводов механизмов и оборудования на гидравлику и др. Годовой экономический эффект проведенной программы достигает 14 270 тыс. грн./год.

Реконструированы схемы электроснабжения и обеспечения работы завода по I классу напряжения. В 1990–1993 г.г. выполнена реконструкция электропечей № 2,4,5 сталеплавльного цеха № 2 с установкой современных печей ДСП-50 емкостью до 60 тонн с более мощными трансформаторами типа ЭТЦН – 32000/35 и более совершенной гидравлической системой управления механизмами и автоматикой. В сталеплавильном цехе №3 демонтируются электропечи № 4,5 и на их месте строятся установки внепечной обработки металла – агрегата печи-ковша емкостью 60 тонн фирмы «Даниели», Италия.

В 1999 году в сталеплавильном цехе №3 для повышения качества стали проведен монтаж, наладка и ввод в эксплуатацию установки вакуумирования стали. В течении 2000 – 2001г.г. фарфоровая изоляция заменена полимерными изоляторами типа, у которых минимальная вероятность повреждений в критических ситуациях (короткого замыкания и т.п.).

Электрические машины преобразовательных агрегатов работали круглосуточно с остановкой на ППР один раз в две недели 16 часов. При этом потреблялась дополнительная электроэнергия, необходимая для компенсации электромагнитных и механических потерь вращающихся электрических машин. Электроприводы, выполненные по схеме «тиристорный преобразователь – двигатель» (ТП-Д), потребляют электроэнергию только во время работы механизмов.

57 % общего электропотребления завода используется сталеплавильными цехами № 2 и №3. С целью снижения затрат электроэнергии на выплавку стали в период 2005–2008 г.г. проведен комплекс мероприятий непосредственно на дуговых печах: вне-

дрение автоматической системы управления нагрузки электродвигателей газоочистки, замена короткой сети печей, внедрение системы лимитирования на плавку печей Автоматическая система управления режимом электродуговых печей позволяет автоматизировать управление электродами по минимуму расхода электроэнергии. Управляет этим процессом контроллер, связанный с компьютером, на котором обрабатывается и архивируется необходимая технологическая информация. Одним из методов, оправдывающим целесообразность применения, является использование технических возможностей компенсирующих устройств реактивной мощности (КУ), Основными техническими возможностями конденсаторных установок являются выработка реактивной мощности, регулирование уровней напряжения в электрических сетях,

Обеспечение производства сжатым воздухом осуществляется двумя турбокомпрессорами К-250 производительностью 250 $м^3$/мин каждый, учитывая пиковый характер потребления сжатого воздуха периодически сбрасывались на продувочную свечу турбокомпрессорной станции. Система CCS, обеспечивающая регулирование производительности турбокомпрессоров в зависимости от разбора воздуха, т.е. при снижении разбора воздуха система автоматически переводит работу ТК на пониженную выработку сжатого воздуха, а соответственно снижает потребление электроэнергии компрессорами.

В связи с дефицитом и дороговизной природного газа на ПАО «Днепроспецсталь» в период 2000–2009 г.г. проводился комплекс технических мероприятий, направленный на снижение потребления газообразного топлива:

С целью повышения производительности газоиспользующего агрегата в горячий час, сокращения удельного расхода топлива за счет повышения качества выхода годного «металла» переведена на использование природного газа методическая печь кузнечного цеха (2000–2001 г.г.).

До реконструкции печи термического цеха были снабжены горелками «труба в трубе». В процессе эксплуатации был выявлен недостаток в конструкции – аэродинамические характеристики печи не позволяли создать единый квазиизотермический поток газов вокруг садки металла, что приводило к неравномерности нагрева садки и следовательно к увеличению периода выдержки. Горелки внешнего смешения типа «труба в трубе», используемые на термических печах не обеспечивали нужных параметров тепловой на-

грузки и устойчивости горения, поэтому произведена замена их на горелки с частичным предварительным смешением. Волокнистые материалы дают возможность создать легкие конструкции футеровок стен и сводов, выполняя при этом функции и огнеупоров и теплоизоляции. Благодаря низкой теплопроводности и низкой плотности материалов толщина футеровки печи значительно сокращается, а соответственно уменьшаются габариты печи и снижается масса футеровки, в несколько раз уменьшается тепло на разогрев футеровки. Годовой экономический эффект комплекса мероприятий по газоснабжению составляет 1840 тыс. грн.

Значительное внимание на предприятии уделяется утилизации выделяемого технологическими агрегатами тепла. Помимо традиционного использования рекуператоров газопотребляющих печей, горячее водоснабжение одного из зданий переведено на солнечный коллектор. Установка утилизации тепла производит отбор тепла выделяемого охладителем конверторных газов посредством пластинчатых теплообменников. Всего годовой экономический эффект реализации данной программы составляет 70 539 тыс. грн./год. Общая сумма снижения затрат по энергетике (экономия) за 23 летний период составляет более 1 495 млн. грн.

Новиков Ф.В. Харьковский национальный
экономический университет,
Кленов О.С. Фирма “ДиМерус Инженеринг”,
Харьков, Украина

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И КАЧЕСТВА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СБОРНЫМИ РЕЖУЩИМИ ИНСТРУМЕНТАМИ С ИЗНОСОСТОЙКИМИ ПОКРЫТИЯМИ

В последние годы на машиностроительных предприятиях широко применяются технологии высокоскоростного резания, реализуемые на современных высокооборотных станках с ЧПУ типа “обрабатывающий центр” сборными конструкциями режущих инструментов с износостойкими покрытиями. В результате достигается многократное увеличение производительности обработки при обеспече-

нии высоких показателей качества и точности обработанных поверхностей, что открывает новые технологические возможности изготовления конкурентоспособной машиностроительной продукции, особенно на таких наукоемких производствах как авиастроение, турбостроение и т.д. Подъем уровня производства во многом обусловлен тем, что на рынке режущих инструментов в Украине остро конкурируют несколько ведущих фирм – производителей инструментов, среди которых необходимо выделить в первую очередь фирму ISCAR. Инструменты из твердых сплавов этой фирмы широко используются на предприятиях Украины более 10 лет. Они характеризуются высокой стойкостью и режущей способностью, качеством изготовления. Несмотря на относительно высокую стоимость, они с избытком компенсируют затраты на приобретение. Подтверждением тому являются многочисленные примеры эффективного внедрения инструментов ISCAR на различных предприятиях. Поэтому в настоящей работе приведены результаты последних внедрений режущих инструментов этой фирмы на различных операциях механической обработки деталей машин.

Установлено, что на операции торцового фрезерования торцов «остова роторного» машинное время обработки составляло 137 часов. После внедрения специальных торцовых фрез MT260R/L 800 D60R16SN12 машинное время уменьшилось до 36 часов, в 3,8 раза.

На операции фрезерования паза “остова роторного” машинное время обработки составляло 325 часов. После внедрения специальных дисковых фрез MT390K-700S140N14XD19-32-S машинное время уменьшилось до 139 часов, т.е. в 2,3 раза.

При обработке отверстия D150 h8 (фрезерование по спирали) в раме проходческого комбайна КПД машинное время обработки составляло 39 мин. Внедрение расточной системы фирмы ISCAR позволило сократить машинное время операции до 2,5 минут, т.е. в 15,6 раз.

Проведены испытания резцов со сменными пластинами фирмы ISCAR на детали “диск 5 ступени КВД”, изготовленной из сплава ЭП742-ИД. Испытания проводились на станке MDW-20M. Производилась обработка паза типа “ласточкин хвост”. При обработке используются 8 резцов: 4 прямых резца разной толщины для пробивки паза и 4 фасонных резца для расточки паза (правые и левые резцы для чернового и чистового проходов). Использование традиционных заводских резцов из ВК10ХОМ при расточке паза сопровождалось их частыми поломками. При этом резцы трудоем-

ки в изготовлении и ограничены в переточке – до 3 раз. Использование правых и левых пластин фирмы ISCAR позволило получать качественную обработку паза, повысилась стойкость резцов. Режим резания: n = 10 об/мин; D = 454 мм; V = 14,2 м/мин; S = 0,07 мм/мин; t = 0,1 мм.

Проведены сравнительные испытания резцов, оснащенных пластинами формы 01331-160308 из твердого сплава ВК8, из сплава К10 фирмы "TaeguTec" и из сплава 1С3028 фирмы ISCAR при обработке деталей, изготовленных из стали 11Х11Н2В2МВ (твердостью НВ 311-318). Испытания проводились на станке модели SPTM-32 Sinumerik-840D. Применялся следующий режим резания: n = 480 об/мин; S = 0,15 мм/мин; t = 0,8/0,2 мм. Машинное время обработки одной детали пластинами из сплавов ВК8 и К10 составило 6,5 мин, а пластиной из сплава 1С3028 фирмы ISCAR – 5,8 мин. Пластина из твердого сплава ВК8 обеспечивала обработку 2 деталей, пластина из сплава К10 фирмы "TaeguTec" – 5 деталей, а из сплава 1С3028 – 10 деталей. Это указывает на эффективность применения инструмента фирмы ISCAR.

Проведены сравнительные испытания фрезы диаметром 20 мм со сменными твердосплавными пластинами фирм ISCAR и SANDVIK при обработке деталей "лабиринт задний КВД", изготовленных из сплава ХН73МБТЮВД. Испытания проводились на станке HURON K2X20. На операции выполнялось фрезерование четырех волновых пазов по контуру детали. Обработка одного паза выполняется фрезой фирмы SANDVIK за 2 прохода с глубиной фрезерования 1,5 мм. Для обработки следующего паза выполняется смена вершины на пластине. На обработку 4 пазов используется 3 пластины (6 вершин). Для сравнения испытывалась фреза фирмы ISCAR на повышенных режимах (табл. 1). В результате установлено, что при одинаковой стойкости испытываемых фрез применение фрезы фирмы ISCAR позволило увеличить производительность обработки на 20 %.

Таблица 1 – Режимы резания и результаты испытаний

Фирма-изготовитель	V, м/мин	n, об/мин	S, мм/мин	S_z, мм/зуб	t, мм	T_0, мин	T, шт.
SANDVIK	12,5	200	50	0,08	1,5	47	1
ISCAR	12,5	200	60	0,1	1,5	39	1

Таким образом, приведенные результаты исследований указывают на перспективность практического использования на различных операциях механической обработки сборных твердосплавных инструментов с износостойкими покрытиями фирмы ISCAR. Они обеспечивают повышение производительности обработки и стойкости инструмента.

Новиков Ф.В. Харьковский национальный
экономический университет,
Рябенков И.А. ГП ХМЗ “ФЭД”, Харьков, Украина

ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ФИНИШНОЙ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОТОЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Изготовление высокоточных деталей авиационной техники характеризуется высокой трудоемкостью финишной обработки, выполняемой на доводочных операциях, как правило, вручную. Это требует совершенствования технологии их изготовления, применения более эффективной технологии абразивной обработки и главным образом за счет совершенствования шлифовальных операций, которые автоматизированы и менее трудоемки. В связи с этим, обоснованы перспективные направления решения поставленных задач.

Как известно, основными недостатками процесса шлифования с точки зрения обеспечения высоких показателей точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей являются относительно низкая режущая способность шлифовальных кругов в связи с неблагоприятными отрицательными передними углами режущих зерен, наличие трения связки круга с обрабатываемым материалом, значительная разновысотность расположения зерен на рабочей поверхности круга. Последний фактор играет исключительно важную роль при формировании шероховатости поверхности. Поэтому с целью уменьшения высот микронеровностей на обрабатываемых поверхностях необходимо стремиться обеспечить фактически одновысотное выступание режущих зерен над уровнем связки, что достаточно просто реализуется при обработке свободным абразивом (процессы доводки и абразивного полирования). При шлифовании выполнить это условие чрезвычайно сложно, хотя известен ряд эффективных

путей его осуществления. К ним следует отнести применение относительно мягких связок, обеспечивающих “утопание” в них абразивных зерен и выравнивание высот их выступания над уровнем связки. Примером тому являются органические связки, применяемые при изготовлении алмазных кругов. По сравнению с более прочными металлическими связками, эти связки допускают определенное “утопание” в них алмазных зерен, что приводит к существенному уменьшению высот микронеровностей на обрабатываемой поверхности. Эффективным решением также необходимо рассматривать создание алмазно-абразивных инструментов на основе нанесения гальваническим путем на их рабочие поверхности алмазных зерен. С целью выравнивания вершин зерен над уровнем связки производится их “укатка” с применением поликристаллического сверхтвердого материала. В результате обеспечивается существенное уменьшение шероховатости обрабатываемой поверхности, применяя для этого алмазные зерна небольшой зернистости – 5/3 и ниже. Данный алмазно-абразивный инструмент получил широкое применение при огранке природных алмазов в бриллианты.

Важным фактором уменьшения разновысотного расположения зерен на рабочей поверхности шлифовального круга является применение абразивных или алмазных зерен почти одинаковых размеров. Так, производственный опыт показывает, что выполнение этого условия при изготовлении алмазных кругов на металлической связке с размером алмазного зерна 50 мкм позволило значительно повысить качество обработки изделий из стекла и хрусталя. Удалось полностью исключить образование отдельных рисок-царапин, традиционных для данного вида обработки, и тем самым исключить применение последующих трудоемких операций по устранению этих рисок-царапин.

В связи с разновысотным расположением абразивных зерен на рабочей поверхности шлифовального круга весьма сложно стабильно обеспечить выполнение 10-11 классов чистоты при шлифовании ответственных деталей гидравлических систем, изготовленных из материалов с повышенными физико-механическими свойствами и характеризующихся плохой обрабатываемостью резанием и шлифованием. Так, практикой установлено, что для обеспечения чистоты обработки на уровне 11 класса при изготовлении ответственной цилиндрической детали из материала 95Х18 твердостью $HRC_Э \geq 56$ после операции шлифования абразивным

кругом ПП 350х40х127 14А 16С традиционно применяется ручная доводка на притире абразивной пастой 64С М7. Этим обеспечивается требуемая шероховатость поверхности и точность размера 0,002 мм. Однако, технологический процесс характеризуется высокой трудоемкостью обработки. В связи с этим, предложено вместо трудоемкой операции притирки использовать шлифование кругом ПП 300х30х127 16С F320P7V (производство Словении) на современном высокоточном станке “Okamoto” со съемом припуска 0,01–0,02 мм на сторону. В итоге стабильно достигается шероховатость поверхности на уровне 11 класса чистоты, овальность и конусность находятся в пределах 0,005 мм, что вполне соответствует требованиям на обработку. Необходимо отметить, что эффект обработки достигнут за счет применения шлифовального круга, который отвечает вышеуказанным требованиям с точки зрения снижения шероховатости поверхности путем уменьшения разновысотным расположением абразивных зерен на рабочей поверхности шлифовального круга.

Аналогичные цилиндрические детали гидравлических систем традиционно обрабатывались шлифованием первоначально абразивным кругом ПП 350х40х127 14А 25С, затем кругом ПП 400х32х127 ЕК 320-85 и окончательно на операции доводки концевым притиром и абразивной пастой 64С М7. В результате достигалась шероховатость поверхности *Ra* 0,16, что соответствует 10 классу чистоты. С целью снижения трудоемкости обработки предложено после предварительного шлифования выполнить окончательное шлифование на современном высокоточном станке “Okamoto” абразивным кругом ПП 300х30х127 16С F320P7V с частотой вращения круга 18000 об/мин. В результате обеспечивается шероховатость поверхности *Ra* 0,16 и требуемый допуск радиального биения в пределах 0,005 мм. Таким образом, применение шлифовального круга, обладающего повышенной режущей способностью и характеризующегося небольшой разновысотностью зерен, позволяет исключить трудоемкую ручную обработку на операциях доводки при обеспечении высоких показателей шероховатости и точности обрабатываемых поверхностей.

Новиков Ф.В., Шкурупий В.Г. Харьковский национальный экономический университет, Харьков, Украина

УСЛОВИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИНИШНОЙ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

При обработке ответственных деталей машин и систем постоянно возникает проблема уменьшения параметров шероховатости поверхности *Ra* и R_{max} в связи с необходимостью обеспечения заданных эксплуатационных характеристик деталей (износостойкости и т. д.), в особенности при изготовлении прецизионных деталей. Шероховатость обрабатываемых поверхностей данных деталей формируется на финишных операциях, которые осуществляются, как правило, с использованием различных абразивных инструментов (шлифовальных кругов, хонинговальных головок, притиров и т.д.). Как показывает практика, наилучшие результаты достигаются на операциях доводки свободным абразивом (алмазной пастой и алмазным мелкозернистым порошком) и полирования. В настоящее время накоплен большой опыт эффективного применения процессов финишной абразивной обработки. Вместе с тем, все возрастающие требования к показателям шероховатости поверхности при финишной абразивной обработке деталей из труднообрабатываемых материалов предопределяют необходимость поиска новых технологических решений. В связи с этим в работе теоретически обоснованы условия уменьшения высоты микронеровностей на обрабатываемой поверхности при финишной абразивной обработке на основе полученной аналитической зависимости:

$$R_{max} = \sqrt{\frac{\overline{X}}{2 \cdot tg\gamma \cdot k \cdot V_{инстр} \cdot \tau}}, \qquad (1)$$

где $\overline{X}$ − размер абразивного зерна, м; k − поверхностная концентрация зерен, штук/м^2; γ − половина угла при вершине конусообразного зерна; $V_{инстр}$ − скорость инструмента, м/с; τ – время обработки, с.

Как видно, уменьшить параметр шероховатости поверхности R_{max} можно уменьшением $\overline{X}$ и увеличением параметров γ, k, $V_{инстр}$ и τ, причем за счет увеличения времени обработки τ можно уменьшить параметр R_{max} вплоть до нуля. Однако при этом необходимо исключить перемещение обрабатываемой детали в радиальном направлении, в противном случае шероховатость поверхности с увеличением τ будет уменьшаться лишь до определенной

величины, после чего будет оставаться неизменной или увеличиваться. Это вытекает из зависимости (1) с учетом того, что время τ формирования шероховатости поверхности не бесконечно, а ограничено перемещением обрабатываемой детали по нормали к рабочей поверхности круга на величину R_{max}, т.е. $\tau = R_{max}/S_{рад}$ (где $S_{рад}$ – скорость радиальной подачи обрабатываемой детали, м/с). После преобразований зависимость (1) выразится:

$$R_{max} = \sqrt[3]{\frac{\overline{X} \cdot S_{рад}}{2 \cdot tg\gamma \cdot k \cdot V_{инстр}}} . \qquad (2)$$

В данном случае параметр R_{max} определяется режимом обработки и характеристиками инструмента и не зависит от временитτ, т.е. является ограниченной величиной. Чем меньше $S_{рад}$, тем меньше R_{max}. Следовательно, достижение небольших значений R_{max} требует снижения производительности обработки. В связи с этим, эффективно на окончательном этапе обработки (при формировании шероховатости поверхности) использовать схему выхаживания, согласно которой съем обрабатываемого материала происходит лишь под действием упруго-восстанавливающей силы с уменьшающейся во времени скоростью радиальной подачи. Это позволит обеспечить заданную шероховатость поверхности без существенного снижения производительности обработки.

Необходимо отметить, что добиться уменьшения шероховатости поверхности можно при обработке как свободным, так и связанным абразивом. Однако во втором случае зернистость абразивных зерен больше, поэтому трудно изготовить абразивные инструменты (шлифовальные круги, притиры и т. д.) малой зернистости. Естественно, обработка более крупными зернами приводит к увеличению высоты микронеровностей на обрабатываемой поверхности. В этом случае уменьшить шероховатость поверхности можно, например, за счет создания на шлифовальном круге плосковершинных зерен путем обтачивания круга алмазным карандашом. При шлифовании по жесткой схеме абразивным или алмазным кругом с плосковершинными зернами высота микронеровностей на обрабатываемой поверхности может быть уменьшена в 10 и более раз. Эффект достигается за счет резания плосковершинными зернами, имеющими приблизительно одинаковую высоту выступания над уровнем связки. При этом в резании может участвовать небольшое количество зерен, т. е. формирование шероховатости поверхности может происходить за один

проход круга, что позволяет существенно увеличить производительность обработки. При обработке свободным абразивом в формировании шероховатости поверхности должно участвовать значительно большее количество зерен, что предполагает более низкие показатели производительности обработки.

Экспериментально установлено, что наибольший эффект от создания площадок на вершинах режущих зерен достигается при шлифовании алмазными кругами на высокопрочных металлических связках. В этом случае за счет прочного удержания зерен в связке на их вершинах в процессе обтачивания круга алмазным карандашом образуются значительные по размерам площадки, что ведет к уменьшению высоты микронеровностей на обрабатываемой поверхности в процессе шлифования. Данный вывод вытекает из зависимости:

$$R_{max} = \frac{1}{2 \cdot tg\gamma} \cdot \left(\frac{B}{n} - a_S \right), \qquad (3)$$

полученной из условия: $n \cdot \left(2 \cdot tg\gamma \cdot R_{max} + a_S\right) = B$, где n – количество работающих зерен; B – ширина обработки, м; a_s – длина площадки на вершине зерна, м.

Практика показывает, что при обработке свободным абразивом появление в общей массе зерен буквально одного зерна, по размеру и форме отличного от остальных, приводит к существенному изменению отношения R_{max}/Ra. Оно может изменяться в широких пределах (от 4 до 33 [2]), хотя параметр шероховатости R_{max}/Ra при этом почти не изменяется, а изменение R_{max}/Ra происходит за счет увеличения параметра R_{max}. В этих условиях уменьшить шероховатость поверхности можно за счет снижения разброса размеров абразивных зерен и их зернистости (1/0,8–0,2/0) на основе применения нанотехнологий.

Как следует из зависимости (3), с увеличением a_s параметр шероховатости поверхности R_{max} может уменьшаться вплоть до нуля (даже при небольшом количестве зерен n). Уменьшить R_{max} можно также увеличением количества зерен n за счет применения относительно мягких связок, обеспечивающих ”утопание” зерен в связку при шлифовании и примерно одновысотное выступание вершин зерен [2]. К ним можно отнести органическую связку, которая применяется при изготовлении алмазных кругов (рис. 1). Несомненно, при шлифовании (даже алмазными кругами с плосковершинными зернами) невозможно обеспечить такие низкие значения шероховатости поверхности, которые достигаются при доводке абразивным порошком и абразивном полировании.

Рисунок 1 – Структурная схема условий уменьшения высоты микронеровностей на обрабатываемой поверхности при абразивной обработке

Литература

1. Шкурупій В.Г. Підвищення ефективності технології фінішної обробки світловідбиваючих поверхонь деталей із тонкого листа і стрічок: автореф. дис…канд. техн. наук. – Одеса: ОНПУ, 2006. – 21 с.

2. Условия формирования шероховатости поверхности при алмазно-абразивной обработке / Ф.В. Новиков, В.П. Ткаченко // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: ХГПУ, 2001. – Вып. 60. – С. 171–176.

Нос А.О. Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

СВЯЗЬ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА СО СТРУКТУРОЙ МАТЕРИАЛОВ КОНТАКТНОЙ ПАРЫ ИНСТРУМЕНТ–ДЕТАЛЬ

Важную роль в прогнозировании и управлении работоспособностью режущего инструмента играет разработка методов комплексной оценки, которая интегрально учитывает геометрические параметры, механические свойства и структуру контактирующих в

процессе пары материалов. Такие методы предполагают статистическую обработку большого массива данных.

Деформационно-спектральный и мультифрактальный анализы относятся к таким методам и могут быть использованы для исследования композитов со сложной структурой, которыми зачастую являются инструментальные и обрабатываемые материалы.

При помощи первого метода можно количественно оценить неоднородности напряженно-деформированого состояния поверхностного слоя, что связано со спектральным характером формирования сил трения при контактном взаимодействии поверхностного слоя образца из исследуемого материала с индентором. Второй метод дает возможность выполнить количественную параметризацию структурного состояния материала по изображениям металлографической структуры или совокупности его механических свойств, полученной в результате преобразования данных деформационно-спектрального анализа [1]. Используя одновременно оба метода можно получить количественные данные для прогнозирования работоспособности режущего инструмента при обработке конкретного конструкционного материала исходя из количественных показателей характеристик, полученных для определенной группы материалов.

Ранее подтверждено, что учитывая соотношения значений энергетических спектральных плотностей сил контактного взаимодействия инструментального и обрабатываемого материалов можно оценить их взаимовлияние. По этому соотношению была установлена зависимость для скорости резания применительно к материалам контактирующей пары инструментального и обрабатываемого материалов.

Учитывая установленную корреляционную связь между фрактальными размерностями структуры и свойств материалов, существует возможность получить схожую зависимость, связывающую соотношение параметров структуры инструментального и обрабатываемого материала со скоростью резания, оптимальной для данной пары, подобную зависимости

$$v_{\text{опт}} = aK(D_{\text{и}} / D_{\text{о}})^{b} e^{-c(D_{\text{и}}/D_{\text{о}})}$$

где $v_{\text{опт}}$ – скорость резания, соответствующая минимальному износу инструмента, $D_{\text{и}}$ и $D_{\text{о}}$ – величина фрактальной размерности структуры или совокупности механических свойств инструментального и обрабатываемого материалов соответственно, K – коэффициент, учитывающий соотношение средних величин механи-

ческих показателей, например твердости по Виккерсу, инструментального и обрабатываемого материалов, a, b, c – экспериментальные коэффициенты [1].

Разработка предложенного подхода к оценке обрабатываемости материалов резанием с использованием количественной статистической информации о качественных показателях структуры и свойств инструментальных и обрабатываемых материалов позволит свести к минимуму проведение экспериментов по резанию для прогнозирования работоспособности режущего инструмента для определенных условий обработки.

Литература

1. Нос А. О. Обрабатываемость резанием и работоспособность режущего инструмента как функции структуры материалов // Надтверді, композиційні матеріали та покриття: отримання, властивості, застосування: Тези доп. Восьмої конф. молодих вчених та спеціалістів, 28 – 30 травня 2014 р., м. Київ. – К.: ІНМ ім. В. М. Бакуля НАНУ, 2014. – 103 с.

Оборский Г.А., Моргун Б.А., Белозёров А.Г.
Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ ЛОПАСТЕЙ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ВЕТРОКОЛЕСА С АДАПТИВНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Существуют различные способы управления положением лопастей вращающегося ветроколеса в зависимости от поставленных задач, к которым относится стабилизации заданной частоты вращения ветроколеса поворотом лопастей относительно их оси или путем сложения лопастей относительно оси вращения ветроколеса. Управление осуществляется с помощью центробежных или иных регуляторов по частоте вращения ветроколеса. К сожалению, отсутствуют способы определения истинного положения лопастей в пространстве, позволяющие судить о точности произведенных расчетов и определить поиск направлений усовершенствования

конструкции и методики расчёта механизма регулирования. Использование для этих целей традиционных средств измерения параметров движения с помощью различных датчиков существенно усложнит конструкцию ветродвигателя из-за наличия дополнительных масс, коммуникаций и регистрирующей аппаратуры [1]. Оперативное определение положения любой точки нестационарного элемента быстровращающегося ветроколеса представляется сложной технической задачей.

В лаборатории ОНПУ разработана конструкция ветроколеса с адаптивным управлением положения лопастей, состоящих из отдельных секций, каждая из которых свободно установлена на махе с эксцентриситетом, что позволяет ей само устанавливаться и находиться в состоянии аэродинамического равновесия от действия силы ветра, силы сопротивления вращению от встречного потока воздуха и нагрузки на валу ветродвигателя [2].

Ветроколёса с многосекционными адаптивными лопастями меняют свой интегральный профиль при малейшем изменении скорости ветра или полезной нагрузки на валу ветродвигателя, обеспечивая тем самым максимальную мощность. Это позволяет их использовать в широком диапазоне скоростей ветра, в том числе и низких, которые преобладают на территории Украины.

С целью определения положения лопасти или её секций при вращении ветроколеса, нами разработан простой и надёжный способ определения угла отклонения лопасти от плоскости вращения ветроколеса с использованием источника лазерного излучения. Установка состоит из лазерного излучателя, имеющего возможность перемещаться по вертикали и фиксироваться на штативе и расположенного перед вращающимся в аэродинамической трубе ветроколесом, лазерных отражателей, прикреплённых к поверхностям секций лопастей, и экрана с миллиметровкой, установленного за лазерным излучателем на определённом

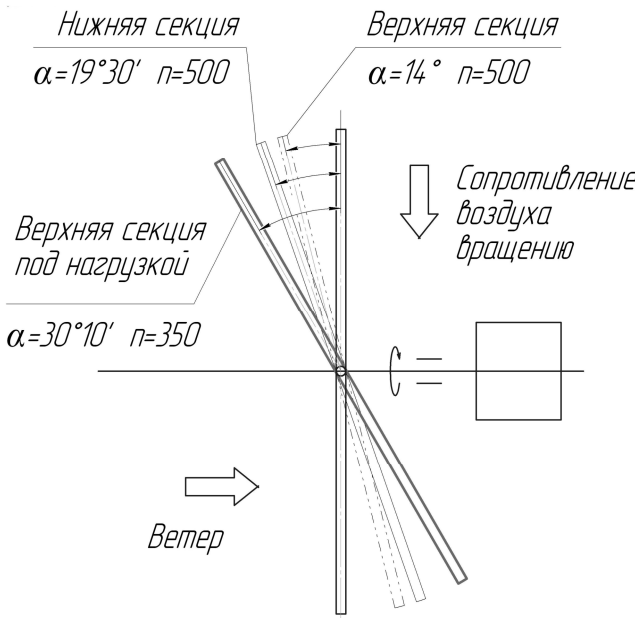


Рисунок 1 – схема изменения положения ветроколеса

расстоянии от вращающегося ветроколеса. Перед началом испытаний каждую секцию устанавливают под нулевым углом к плоскости вращения ветроколеса в вертикальном положении и совмещают лазерный луч с отражателем, делая отметку на экране. При повороте лопасти лазерный луч смещается по горизонтали, при отклонении маха с лопастью относительно оси ветроколеса – луч отклоняется по вертикали.

При вращении колеса в аэродинамической трубе с установившейся скоростью, секция с отражателем самоустанавливается на махе под определённым углом и отражатель, проходя точку встречи с лазерным лучом, отражает его на экран. Возникает быстромелькающая, а для человеческого глаза постоянная, яркая точка. Зная расстояние экрана от отражателя, по отклонению луча на экране возможно определить угол отражения луча, который равен углу положения секции лопасти относительно плоскости вращения ветроколеса.

При испытаниях в аэродинамической трубе четырёхлопастного ветроколеса диаметром 520 мм каждая лопасть которого состояла из двух самоустанавливающихся секций, определилось их положение при различных скоростях ветрового потока и величины нагрузки на валу ветроколеса. Установлены отклонения обеих секций лопастей при вращении колеса под воздействием ветрового потока со скоростями от 2 до 8 м/сек вхолостую и под нагрузкой. Частота вращения колеса колебалась от 100 до 1200 об/мин, угол отклонения секций – от 36 градусов до 12 градусов, максимальная разница отклонений между двумя лопастями – до 16 градусов, наибольшие отклонения вызывают нагрузки на валу ветродвигателя.

Использование лазерной установки для определения положения в пространстве элементов вращающегося ветроколеса позволяет оперативно и с высокой степенью точности определить параметры его аэродинамических характеристик и осуществить поиск перспективных путей повышения энергетических характеристик ветродвигателей.

Литература

1. Средства измерения параметров движения / С.Л. Рябыкин, Ф.Я. Загавура. – К: Вища школа, 1987. – 136 с.

2. Методика конструирования ветроколеса с самонастраиваемой лопастью / Г.А. Оборский, Б.А. Моргун, А.Н. Бундюк // Тр. Одесского нац. политехн. ун-та. – Одесса, 2014.

Оборский Г.А., Моргун Б.А., Бундюк А.Н.
Одесский национальний политехн. университет,
Одесса, Украина

РАЗРАБОТКА ВЕТРОКОЛЕС С МНОГОСЕКЦИОННЫМИ САМОНАСТРАИВАЕМЫМИ ЛОПАСТЯМИ

При выборе профиля лопасти колеса ветроэлектрической установки (ВЭУ) приходится учитывать условия ее работы в широком диапазоне изменения скорости ветра [1, 2]. Эти обстоятельства требуют расчета большого количества геометрических комбинаций профилей лопастей. Известные методики выбора оптимальных аэродинамических профилей для лопастей ВЭУ являются громоздкими и затруднительными для практического применения [3]. В [4] предложены основы конструирования ветроколеса ВЭУ с самонастраиваемой лопастью, которая может автоматически изменять угол своего положения в плоскости вращения колеса при разных скоростях воздушного потока.

Данная работа посвящена разработке методики проектирования и расчета ветроколеса с многосекционными самонастраиваемыми лопастями.

В ветроэнергетической лаборатории ОНПУ разработано ветроколесо с самонастраиваемыми многосекционными лопастями в соответствии с рекомендациями, изложенными в [5]. Секции лопастей установлены с эксцентриситетом относительно маха и могут свободно поворачиваться вокруг своих продольных осей.

При работе колеса сила ветра, создающая крутящий момент, и сила сопротивления вращению лопасти от встречного потока воздуха, действуя в противоположных направлениях, стремятся повернуть каждую секцию лопасти относительно ее продольной оси. Лопасти характеризуются длиной секций (Li), хордой секций (bi) и углом их поворота относительно маха в диапазоне $\alpha = 0–45^{o}$, что позволяет им самоустанавливаться под определенными углами к плоскости вращения ветроколеса и обеспечивать максимальную мощность при любой скорости ветра.

Вычислены энергетические характеристики секций с длиной $L = 0{,}24$ м и с хордой $b = 0{,}18$ м при скоростях воздушного потока $V = 4–8$ м/с.

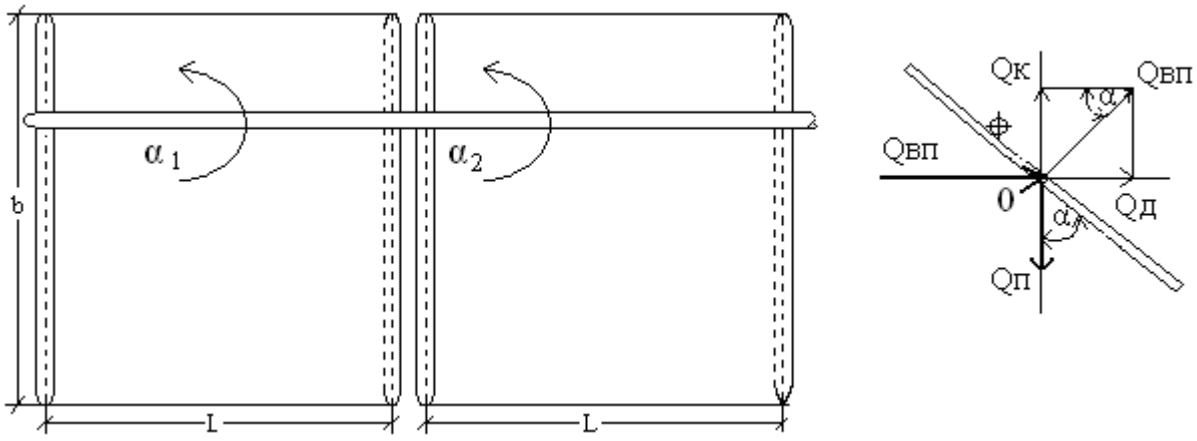
Под действием воздушного потока, направленного в центр давления секции лопасти ветроколеса (точка 0, рис. 1, *б*), возникает как крутящая сила *Q*к, так и противодействующая ей сила *Q*п, которые равны в равновесном состоянии ветроколеса, т.е.

$$Qк = Qn \quad (1)$$

Энергетическая мощность воздушного потока (*P*вп) определяется соотношением [1]

$$P_{ВП} = 0{,}5 \cdot c \cdot p \cdot R^2 \cdot V^3,$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м^3; *R* – радиус площади ометания, м; *V* – скорость воздушного потока, м/с.



а *б*

Рисунок 1 – Схема равновесия сил на секции лопасти:
а) секции лопасти; б) силы, действующие на секцию

Мощность ветроколеса определяется из прямоугольного треугольника *Q*к - 0 - *Q*вп (рис. 1, *б*)

$$Pк = P_{ВП} \cdot SIN(\alpha)$$

Мощность противодавления *P*п определяется из уравнения

$$Pn = 0{,}5 \cdot c \cdot Sc \cdot U^3,$$

где *S*с – парусность секции лопасти, м^2; *U* – окружная скорость секции лопасти в крайней точке, м/с.

Парусность *S*с определяется соотношением

$$Sc = b \cdot L \cdot Sin(\alpha),$$

Окружная скорость *U* определяется при равенстве Рк и Рп

$$U = V \cdot (\pi \cdot R^2 / b \cdot L)^{1/3}$$

Угловая частота вращения ветроколеса (ω, с$^{-1}$) определяется из

$$\omega = \mathrm{U} / R$$

Скорость вращения ветроколеса (n об/мин) определяется из

$$\mathrm{n} = 30 \cdot \omega / \pi$$

Коэффициент использования энергетической мощности воздушного потока (Ср) равен

$$Cp = P_{\mathrm{K}} / P_{ВП}$$

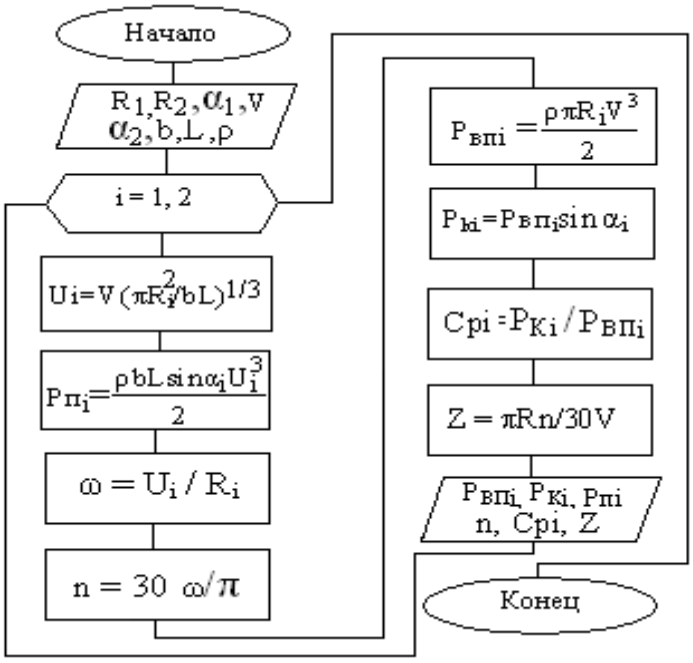


Рисунок 2 – Алгоритм расчета

Алгоритм расчета энергетических характеристик двухсекционной лопасти представлен на рис. 2.

При изменении скорости воздушного потока V изменяется угловая скорость вращения ветроколеса n, что приводит к изменению крутящей силы Qк и, в свою очередь, приводит к нарушению равновесия (1). Вследствие этого секции лопасти поворачиваются вокруг своей оси, устанавливаясь в положение с новыми углами **α**, при которых восстанавливается равновесие (1).

Литература

1. Неисчерпаемая энергия. Кн. 2. Ветроэнергетика: Учебник / В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев. – Харків: НАУ “ХАІ”; Севастополь: Севаст. НТУ, 2004. – 519 с.

2. Ветроустановки малой мощности / В.А. Дзензерский, С.В. Тарасов, И.Ю. Костюков. – К.: Наук. думка, 2011. ─ 592 с.

3. Неисчерпаемая энергия. Кн. 1. Ветроэнергетика: Учебник / В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев. – Харків: НАУ “ХАІ”; Севастополь: Севаст. НТУ, 2003. – 400 с.

4. Методика конструирования ветроколеса с самонастраиваемой лопастью / Г.А. Оборский, Б.А. Моргун, А.Н. Бундюк // Тр. Одесского нац. политехн. ун-та. – Одесса, , 2014.

5. Бундюк А.М. Управління проектами: організація, планування, автоматизація. – Одеса, ОНПУ, 2014. – 264 с.

Оргиян А.А. Кремнев Г.П., Колесник В.М.
Одесский национальный политехнический
университет, Одесса, Украина

НЕКОТОРЫЕ ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ТЕХНОЛОГОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Главной целью подготовки инженерных кадров – специалистов XXI века является передача им в ходе учебного процесса необходимого объема знаний и формирование умений и навыков – компетенции по избранной специальности. Бакалавр по «инженерной механике», специалист и магистр на его базе по технологии машиностроения основной массив знаний приобретает при изучении различных курсов, основу которых составляют следующие дисциплины:

- для бакалавров: «Технологические основы конструирования», «Технологические основы машиностроения», «Теоретические основы технологии машиностроения», «Технология обработки типовых деталей»;
- для специалистов и магистров: «Технология машиностроения отраслевая», «Программирование и обработка на станках с ЧПУ»; «Ресурсо - и энерго-сберегающие технологии в машиностроении».

Объем часов по этим курсам в РУП бакалавра – 280 (144 – лекции, 136 – практические занятия), магистра – 162 (72 – лекции и 90 – практические и лабораторные занятия), т.е. для подготовки магистра по дисциплинам специальности планируется 108 лекций и 113 лабораторно-практических занятий. Тематика этих занятий оговорена в Р.П. курсов и, будем надеяться, достаточно хорошо аргументирована.

Сегодняшний выпускник ВУЗа хорошо подготовлен теоретически, а вот его практические умения и компетенции не отвечают требованиям на перспективу.

Изменить эту ситуацию можно не путем увеличения объема аудиторных часов, а повышением эффективности проведения практических и лабораторных занятий, выполнения реальных проектов на такой основе:

- переработка портфеля методических материалов по практическим и лабораторным занятиям так, чтобы в нем остались только те темы, которые обслуживают ОКХ;

• каждая тема практического или лабораторного занятия соответствует одному или нескольким модулям, формирующим умение;
• изменение идеологии лабораторных работ на выполнение простейших исследований: анализ событий в технологической операции или процессе, сопоставление фактов по результатам проведенного исследования и оценка результата, при этом каждый студент выполняет свое индивидуальное задание в цифровом виде;
• выполнение реальных курсовых работ и проектов по темам производства или по тематике НИР кафедры;
• выполнение реальных дипломных работ бакалавра и магистра по заказу предприятий, где будет работать выпускник ВУЗа.

О первых трех направлениях работы преподавателей кафедры технологии машиностроения ОНПУ будет идти речь ниже.

В ОКХ бакалавра «инженерная механика» имеется 200 смысловых модулей умений, при этом на указанные выше дисциплины специальности прямо или косвенно спланированы 53 из них. В ОКХ магистра по технологии машиностроения всего таких модулей 131, а к 3-м дисциплинам специальности, упомянутым выше, можно отнести 30. Следует отметить, что некоторые умения повторяют друг друга, и это оправдано в учебном процессе по принципу «от простого к сложному». Если предположить, что один модуль умения может быть сформирован на одном занятии, то для этого потребуется по указанным выше дисциплинам 83 занятия (53 + 30), а у нас имеется 113 по плану.

На кафедре технологии машиностроения для реализации путей повышения эффективности сделано следующее: разработаны (переработаны, усовершенствованы) для всех указанных в начале статьи курсов 96 тем – «кирпичей», из которых будет построено здание лабораторно-практического обеспечения, каждого курса, при этом исследовательского профиля – 20 тем.

Из этого набора сформировано 6 учебно-методических пособий: «ТОМ» – 26 тем; «ТОТД» – 15 тем; ТМо – 17 тем; РЭТМ – 13 тем, а также «Типовые технологические процессы» – 21 тема. Одно пособие по ТОТД издано в 2014 г. Пособие ТТП подготовлено так, что с одной стороны в нем имеется 14 разработок – занятий – сравнительного технико-экономического плана и 7 разработок типовых технологических процессов механической обработки валов, втулок, крышек дисков, шкивов и зубчатых колес прямозубых, ко-

нических и червячных с большим портфелем чертежей деталей – представителей каждого класса.

Это пособие, на наш взгляд, будет востребовано при проведении практических занятий и при подготовке дипломных работ бакалавров, особенно там, где есть проблемы с выдачей реальной тематики проектирования.

На примере пособия по «ТМо» рассмотрим обеспечение эффективности реализации, указанных выше трех направлений.

Курс «Технологи машиностроения отраслевая» читается в 9-ом семестре, по этому курсу студентам запланировано 36 часов практических занятий, и они выполняют курсовой проект на тему: «Разработать технологический процесс механической обработки детали №_____ с годовой программой выпуска N _____ шт./год.»

Ряд тем практических занятий теснейшим образом связаны с курсовым проектом и обеспечивают его выполнение: заготовка, припуски, маршрут, режимы, нормы и др.

Умения, формируемые этим курсом у студентов, следующие:

- ТП и его элементы;
- ведомости и карты ТП;
- основы нормирования ТП;
- основы проектирования литых, кованых, штампованных и специальных заготовок;
- техническое и программное обеспечение САПР;
- групповые методы обработки;
- методы проектирования специальных приспособлений;
- приспособления для автоматизированных производств;
- статистические методы исследования точности качества продукции;
- назначение технологических размеров и расчет РЦ.

Первым трем умениям соответствуют темы ПЗ: «Технологический анализ чертежа детали»; «Методы достижения точности и шероховатости поверхности при обработке»; «Анализ заводского ТП обработки типовой детали» и «Анализ заводской документации на ТО».

Умение «Основы нормирования ТП» имеет базу на ПЗ: «Определение режимов резания при точении» и «Определение нормы времени на операцию фрезерования».

Умение «Основы проектирования заготовок» обеспечивают ПЗ «Исследование производительности и экономичности методов

отрезки проката», «Исследования методов литья по деревянным и металлическим моделям» и «Выбор метода получения заготовок – штамповок».

Умение «Методы проектирования специальных и автоматизированных приспособлений» раннее были обеспечены в РУП бакалавра, а в этом курсе подкреплены ПЗ «Исследование износа инструментов и приспособлений и расчет их потребности» и «Обоснование целесообразности выбора механизированного приспособления».

Умение «Статистические методы исследования точности и качества продукции» обеспечивает ПЗ «Определение постоянства размеров в партии детали типа тел вращения при обработке на РТК».

Подведем итоги по этому курсу:

- пересмотрена тематика ПЗ и ЛР так, что она теперь соответствует смысловым модулям;
- переработаны методические указания по каждому занятию;
- сформировано учебное пособие по курсу, подготовлено к изданию.

Аналогичная работа выполнена по курсу ТОМ для бакалавров.

Пашинская Е.Г., Варюхин В.Н., Завдовеев А.В., Ткаченко В.М., Глазунов Ф.И., Максакова А.А.
Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины, Донецк, Украина

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОЙ ВИНТОВОЙ ЭКСТРУЗИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ 20Г2С: СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

В настоящий момент к активно развивающимся методам интенсивной пластической (ИПД) деформации, относятся равноканальное угловое прессование (РКУП), винтовая экструзия (ВЭ), кручение в наковальнях Бриджмена (НБ), прокатка со сдвигом (ПС). Влияние РКУП на структуру малоуглеродистыз сталей исследовано в работах [1-2], где показана возможность формирования заготовок с размером структурных элементов порядка 200-300 нм. Данные о применении винтовой экструзии в малоуглеродистой стали носят единичный характер [3]. На примере стали марки Ст.3

было показано, что холодная винтовая экструзия приводит к существенному упрочнению при этом пластичность резко снижается. Активное формирование малоугловых границ зерен при холодной винтовой экструзии приводит к падению пластических характеристик. Однако управляя температурой деформации винтовой экструзии можно повысить удельную долю высокоугловых границ зерен. Основная гипотеза состоит в том, что применяя теплую винтовую экструзию в малоуглеродистой стали, можно не только повысить прочность, но и сохранить пластичность на высоком уровне. В этой связи исследование особенностей формирования структуры, текстуры и физико-механических свойств малоуглеродистой стали при интенсивной пластической деформации методом винтовой экструзии представляется актуальным.

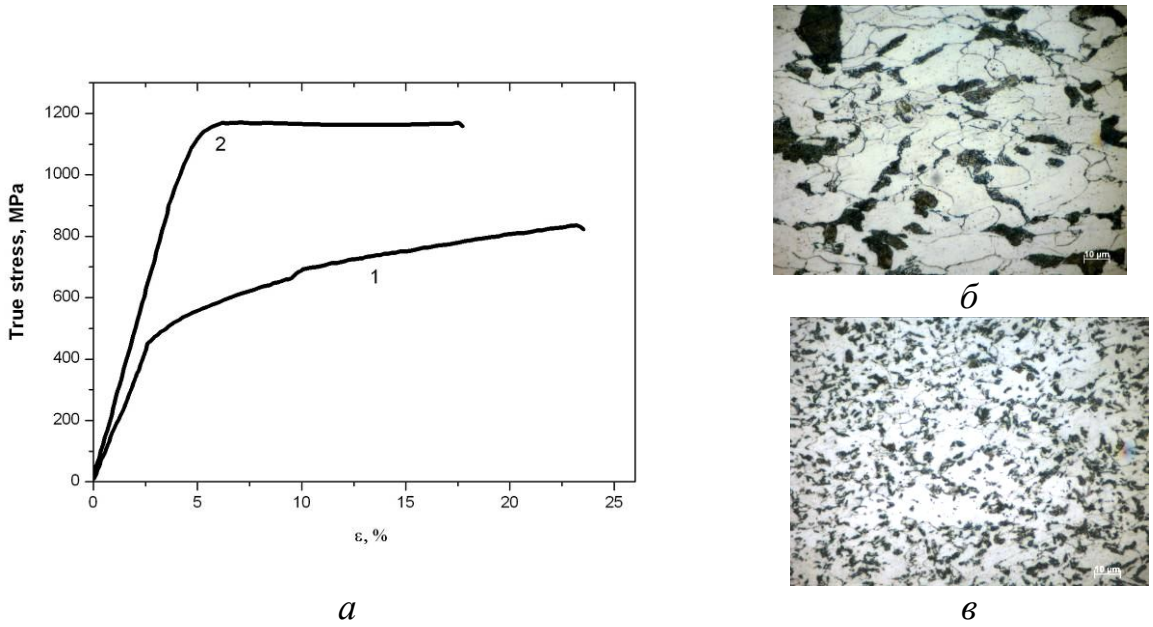
В качестве материала исследования выбрана низкоуглеродистая сталь типа 20Г2С состава, % по массе: 0,24 C; 1,66 Mn; 1,2 Si; 0,14 Cr; 0,24 Ni; 0,01 Al; 0,06 Cu; 0,04 S. Образцы получали из заготовки путем теплой (400 ºС) ковки и последующего фрезерования до сечения 24×39 мм. Затем образцы отжигали при 920 ºС, 1 ч с последующим охлаждением на воздухе. Экструзию выполняли на гидравлическом прессе за три прохода при Pmax ≈ 20 МПа с противодавлением 100 МРа. Перед первым проходом образец нагревали до 850 ºС, перед вторым и третьим – до 400 ºС; температура оснастки во всех случаях составляла 320 ºС. Общая накопленная величина деформации составила e=6. Для анализа свойств и структуры применялись различные методики, такие как: определение микротвердости, плотности, рентгеноструктурный анализ, трансмиссионная электронная микроскопия, сканирующая электронная микроскопия, оптическая микроскопия, а также дифракция обратнорассеянных электронов (ДОЭ) [4].

Теплая винтовая экструзия малоуглеродистой стали марки 20Г2С, приводит к фрагментации структурных составляющих: феррита и цементита. Зерна феррита после деформации измельчаются в 3 раза и характеризуются значительной удельной долей высокоугловых границ (85 %). Структура отличается разнозернистостью, характерно наличие зерен двух типов: крупных (10–30 мкм) и мелких (1.5–10 мкм).

Показано, что в процессе деформации теплой винтовой экструзией, структура малоуглеродистой стали формируется под действием поэтапного развития механизмов динамической полигони-

зации и рекристаллизации, зернограничного проскальзывания, фрагментации. Установлено, что теплая винтовая экструзия малоуглеродистой стали позволяет в 1.5 раза повысить прочность материала при сохранении высокого уровня пластичности.

Интересным является тот факт, что при увеличении прочностных характеристик, плотность металла при винтовой экструзии практически не меняется. Эти факты могут быть непротиворечиво объяснены в рамках подходов о развитии интенсифицированного движения дефектов (ИДД), примененных к схеме ВЭ [5]. Сдвиговые деформации активизируют процессы зарождения и аннигиляции вакансий, обеспечивая инволюционный путь развития, вследствие чего происходит залечивание дефектов.



а *б* *в*

Рисунок 1 – Зависимость истинного напряжения стали 20Г2С от степени деформации при испытаниях на сжатие (*а*):
1 – исходное состояние, 2 – после ВЭ; структура, продольное сечение: исходное состояние + осадка (*б*), ВЭ + осадка (*в*)

Необычное сочетание свойств проявляется также при дальнейшей деформационной обработке. Осадка образцов стали 20Г2С, после теплой винтовой экструзии, выполненная параллельно оси ВЭ, показала прирост условных предела прочности (в 1,5 раза) и предела текучести (в 2 раза). Кроме того образцы продемонстрировали высокую технологическую пластичность, что позволило продеформировать их без образования трещин (Рис.1.а). Данные свойства образцов объясняются особенностями структуры сформированной при ВЭ, что проявляется в поэтапном развитии

механизмов фрагментации, полигонизации, динамической рекристаллизации и зернограничного проскальзывания (Рис.1.б,в). Данные EBSD анализа показали формирование равноосных фрагментированных зерен, с разной плотностью дефектов и рекристаллизованных зерен, окруженных высокоугловыми границами.

Применение теплой винтовой экструзии приводит к повышению физических и эксплуатационных характеристик стали 20Г2С, что обусловлено протеканием механизма ИДД при интенсивной пластической деформации.

Авторы выражают глубокую благодарность проф. С.В. Добаткину за предоставленный для исследований материал.

Литература

1. Добаткин С.В., Одесский П.Д., Пиппан Р. И др. Теплое и горячее РКУ прессование низкоуглеродистых сталей. // Металлы. 2004, №1. С.110-119.

2. Shin D.H., Kim B.C., Kim Y.-S., Park K.-T. Microstructural evolution in a commercial low carbon steel by equal engular pressing. // Acta Mater. – 2000. – V.48. – P.2247-2255.

3. Пашинская Е.Г., Мышляев М.М., Миронов С.Ю., Варюхин В.Н. Влияние деформации со сдвигом на микроструктуру и механические свойства стали Ст.3 // Физика металлов и металловедение. – 2008. –Т.105. - №1. –С. 86-94.

4. Пашинская Е.Г., Варюхин В.Н., Завдовеев А.В., Берховецкий В.В., Глазунова В.А. Возможности метода дифракции обратнорассеянных электронов для исследования структуры деформированной стали // Деформация и разрушение материалов, 2012, №6, с. 35-40.

5. Пашинская Е.Г., Завдовеев А.В. Влияние схемы деформации простого сдвига на структуру малоуглеродистой стали // Ресурсосберегающие технологии производства и обработки давлением материалов в машиностроении, сборник научных трудов. – 2012. Т. 13, №1. –С. 134-140

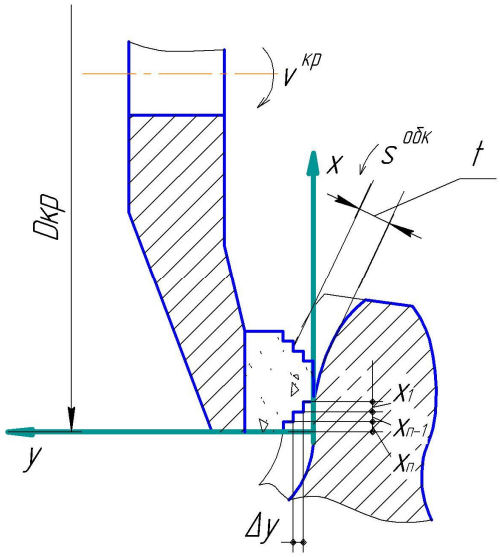
Рябченко С.В. Институт сверхтвердых материалов
им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

ИЗНОС ТАРЕЛЬЧАТЫХ КРУГОВ ИЗ КНБ ПРИ ЗУБОШЛИФОВАНИИ

Зубошлифование является одним из методов финишной обработки закаленных зубчатых колес. Одним из путей повышения производительности и качества обработки зубчатых колес является применение для зубошлифования кругов из кубического нитрида бора (КНБ). Однако не ясна форма износа режущей кромки тарельчатых кругов из СТМ при шлифовании зубчатых колес.

Исследование осуществляли на специальном стенде, созданном на базе зубошлифовального станка модели 5891. Станок был модернизирован для шлифования зубчатых колес с охлаждением и правкой кругов электроэрозионным методом.

Для построения модели износа тарельчатого круга рассмотрена модель шлифовального круга, сформированного из большого числа абразивных слоев, толщиной Δy каждый. При зубошлифовании в резании участвуют і слоев алмазоносной части круга, при этом $t = i \cdot \Delta y$. Каждый из і слоев в первый момент времени работает в равных условиях и напоминает шлифовальный круг прямого профиля (с размерами $D_{кр.} \cdot \Delta y$), работающий методом врезания. При этом условия работы самого крайнего слоя ($i = 1$), формирующего окончательно эвольвентную поверхность зуба, отличается от работы всех остальных слоев – этот слой работает как периферией, так и торцом. Поэтому, возникающие на его поверхности силы и температуры, приводят к более быстрому износу в направлении движения обката - $S_{обк.}$ К этому времени формируется макропрофиль поперечного сечения круга ступенчатой формы (рис. 1).



Рисунон 1 – Макропрофиль поперечного сечения круга

Все множество значений X_n ($1 \leq n \geq i$) представляет собой убывающую арифметическую прогрессию:

$$X_1, X_2, X_3, \ldots X_{i-1}, X_i$$

с разностью прогрессии ΔX.

X_n член убывающей арифметической прогрессии определяется: $X_n = X_1 - (n - 1) \cdot \Delta X$

Если ордината n-слоя – $У_n$, а толщина каждого слоя – $\Delta У$, то количество слоев $n = У_n/\Delta У$.

Следовательно $X_n = X_1 - (У_n/\Delta У - 1) \cdot \Delta X$

Для определения линейного износа самого крайнего слоя X_i, считаем, что рассматриваемый круг работает по схеме врезного шлифования и относительный расход абразива определяем из выражения:

$$q = P_{алм.}/P_м = Q_{алм.} \cdot \rho_{алм.} \cdot K / Q_м \cdot \rho_м$$

где $P_{алм.}$, $Q_{алм.}$, $\rho_{алм.}$ и $P_м$, $Q_м$, $\rho_м$ - соответственно масса, объем и плотность алмазоносного слоя и сошлифованного материала, K – концентрация алмазов.

После интегрирования получаем: $У = C/(X - q \cdot a \cdot b \cdot \rho_м/ \pi \cdot D_{кр} \cdot \rho_{алм.} \cdot K)$, где C – константа интегрирования.

После преобразования:

$У = 1/(\alpha X - \beta)$ где, $\alpha = 1/C$, $\beta = q\ a\ b\ \rho_м/C\ \pi\ D$кр. $\rho_а.K$

Анализ результата математических преобразований показывает, что макропрофиль радиального сечения алмазоносного слоя описывается дробно-линейной функцией, которая аппроксимируется гиперболой. Аналогичное решение правомерно для условий обратного хода тарельчатого шлифовального круга от ножки зуба к его головке.

Исследование износа тарельчатых кругов и его влияние на точность эвольвентного профиля зубчатого колеса производилось при черновом (с глубиной t = 0,05 мм.) и чистовом (с глубиной t = 0,02 мм.) зубошлифовании.

Установлено, что после ускоренного износа круга в течение первого прохода величина интенсивности износа в дальнейшем стабилизируется (рис. 2, 3). Шлифовальный круг работает равномерно без наступления критического износа. Это характерно как для чернового, так и чистового зубошлифования. В то же время характер изменения погрешности профиля и мощности шлифования говорит о том, что правка круга на чистовых режимах не требуется.

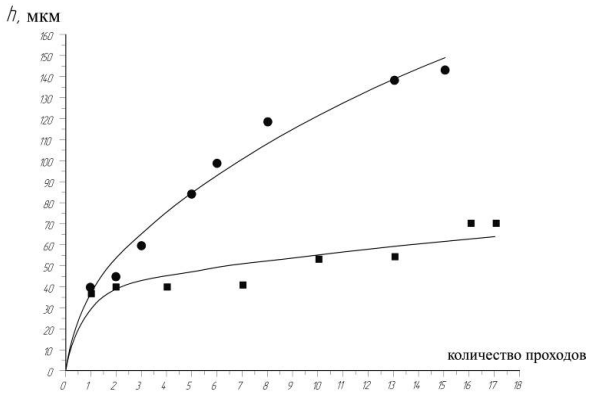


Рисунок 2 – Зависимость износа круга по торцу *h* от количества проходов (1 – при *t* = 0,05 мм, 2 – при *t* = 0,02 мм)

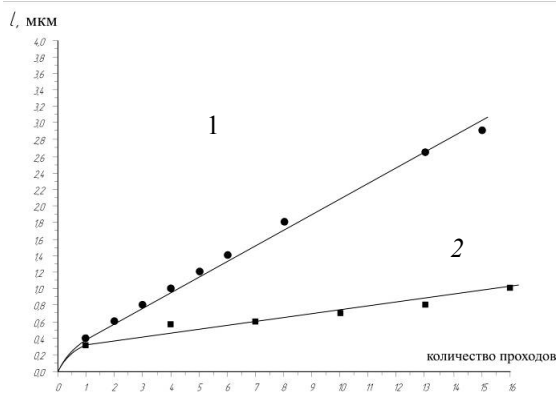


Рис. 3. Зависимость износа круга по диаметру *l* от количества проходов (1 – при *t* = 0,05 мм, 2 – при *t* = 0,02 мм)

Анализ проведенных экспериментов показал, что лимитирующим параметром для достижения точности обработки зубчатого колеса является размерный износ тарельчатого круга, который практически пропорционален количеству обработанных зубьев без правки. На режущей кромке круга образуется площадка износа, размеры которой определяются износом по торцу *h* и по диаметру *l* круга.

В результате анализа износа тарельчатого круга по торцу установлено, что для сокращения периода приработки кругов при зубошлифовании на режущей кромке необходимо предварительно формировать площадку с размером *h* = 0,03–0,05 мм, что соответствует величине приработочного износа круга.

Ряго С.В. Бюро Веритас, Киев, Украина

ВНЕДРЕНИЕ СТАНДАРТА ISO 50001 КАК МЕТОД ЭКОНОМИИ ФИНАНСОВЫХ СРЕДСТВ, ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И СОКРАЩЕНИЯ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

В условиях роста цен на энергоносители в Украине и угрозы возникновения энергетического кризиса, важнейшей задачей, стоящей перед руководством предприятия, является повышение энергоэффективности производства. Существующая тенденция роста цен усугубляется еще и тем, что на стоимость энергоносителей влияют

не только издержки их производства, но и политические факторы, естественные монополии на рынке энергоносителей, несовершенное законодательство, желание поставщиков энергоресурсов переложить свои непроизводственные потери на плечи конечных потребителей. Часто на предприятиях вам точно могут сказать, кто и сколько расходует канцелярских принадлежностей, и никто не может ответить на вопрос кто и сколько потребляет энергоресурсов. В лучшем случае вам могут показать приблизительный расход потребления энергоресурсов по отдельным подразделениям. В реальности же приходящие на предприятия энергоаудиторы зачастую получают только бухгалтерские данные о потребленных ресурсах. Признание важности энергии как одного из видов ресурсов, который требует такого же менеджмента как любой другой дорогостоящий ресурс, а не как накладные расходы предприятия, является первым и самым главным шагом к повышению энергоэффективности и снижению энергозатрат. Вопросы энергосбережения в настоящее время рассматриваются как первоочередные и стоят в повестке дня, как национальных правительств и других регулирующих органов, так и всего международного сообщества в целом. Имея это в виду, национальные организации по стандартизации многих стран на протяжении нескольких последних десятилетий ведут активную работу в этом направлении. Разработан целый ряд стандартов различных стран, каждый из которых отражает национальную специфику, обобщает опыт и практику множества как промышленных, так и непромышленных предприятий. Эти стандарты призваны оказывать предприятиям содействие и помощь в выполнении требований национального законодательства в сфере энергетики и энергосбережения. 15 июня 2011 г. был опубликован долгожданный международный стандарт ISO 50001 «Системы энергоменеджмента – Требования с руководством по использованию».

Вопросами энергосбережения предприятия начали заниматься давно, однако все решения носили чисто технический характер. Стандарт ISO 50001 установит общую структуру управления энергоресурсами для промышленных и коммерческих предприятий и других организаций. Установлено, что данный стандарт может повлиять на мировое потребление энергии на 60 %.

Роланд Риссер председатель технической консультативной группы США в техническом комитете ISO/PC 242 и руководитель «Программы строительных технологий» в Министерстве энерге-

тики США подчеркнул, что: «Новый международный стандарт обеспечивает структурную модель для промышленных и коммерческих предприятий, которая поможет улучшить энергоемкость компании – сэкономить деньги, увеличить конкурентоспособность и сократить загрязнения окружающей среды. До тех пор, пока организации будут связывать результативность и экономическую целесообразность, они будут находиться в беспроигрышной ситуации». Цель стандарта заключается в том, чтобы предоставить организациям руководство по оптимизации процесса потребления энергоресурсов и системному управлению этим процессом. Успешная реализация зависит от вовлеченности всех уровней и функций управления организации, особенно высшего руководства.

Стандарт применим к организациям всех типов и размеров, независимо от географических, культурных и социальных условий. Успешное внедрение стандарта зависит от вовлеченности всех уровней и функций организации, особенно высшего руководства. Международный стандарт устанавливает требования к системе энергетического менеджмента (СЭнМ) с тем, чтобы организация могла разработать и внедрить энергетическую политику, установить цели, задачи и рабочие планы, учитывая законодательные требования и информацию, касающуюся значимых потребителей энергии.

Рисунок 1 – Модель системы энергетического менеджмента

Стандарт ISO 50001 основан на методологии постоянного улучшения «Планируй-Выполняй-Проверяй-Действуй», и включает энергетический менеджмент в повседневную деятельность организации.

Стандарт не устанавливает абсолютных требований к энергорезультативности, выходящих за пределы энергетической политики организации и ее обязательствам соответствовать применимым законодательным и другим требованиям. Таким образом, две организации, осуществляющие аналогичные операции, но с различной энергорезультативностью, могут в равной мере соответствовать требованиям стандарта.

Внедрение стандарта ISO 50001 даст организации следующие преимущества:

- постоянное улучшение энергоэффективности;
- снижение производственных затрат;
- выход на новые рынки сбыта продукции;
- контроль над энергозатратами;
- снижение выбросов парниковых газов в атмосферу;
- экономия финансовых средст;
- улучшение имиджа бренда.

Предполагается, что внедрение стандарта энергоменеджмента в организации приведет к сокращению энергозатрат на 20 %.

Данный стандарт имеет схожую структуру с другими стандартами систем менеджмента ISO и успешно сочетается с ISO 9001 (менеджмент качества) и ISO 14001 (экологический менеджмент), ISO 18001 поэтому организация может интегрировать ISO 50001 в другие системы менеджмента.

Бюро Веритас предлагает предприятиям повысить энергоэффективность собственного производства, что позволит уменьшить себестоимость выпускаемой продукции, повысить ее конкурентоспособность и получаемую прибыль, путем внедрения стандарта ISO 50001.

Хотим обратить Ваше внимание, что в НАЭР сегодня разработан проект «Технічний регламент щодо раціонального використання енергії на промислових підприємствах (щодо енергетичного менеджменту промислових підприємств)». Этим документом предусматривается, в частности, обязательность энергетического менеджмента на предприятиях с годовым потреблением топливно-энергетических ресурсов более 3000 т.у.т, а предприятия, которые внедрили систему энергетического менеджмента, сертифицированную в установленном порядке, сроком на пять лет не подлежат плановым проверкам Государственной инспекции по энергосбережению. А также, согласно статье 158.2 Налогового кодекса Украины освобождаются от налогообложения 50% прибыли, полу-

ченной от осуществления энергоэффективных мероприятий и реализации энергоэффективных проектов предприятий.

Заставить эффективно работать систему можно только освоив все требования стандарта и методы их применения сотрудниками предприятия. Для этого Бюро Веритас предлагает обучающие курсы по стандарту ISO 50001, в ходе которых, Ваши сотрудники получат теоретические и практические знания в области систем энергоменеджмента, научаться применять полученные знания в конкретных условиях, самостоятельно выполнять необходимые работы по созданию и внедрению системы энергоменеджмента, а затем управлять ею.

В комплекс услуг Бюро Веритас также входит энергоаудит. Проведение энергоаудита на предприятии позволяет решать сразу несколько наиболее важных проблем.

НАШИ КЛИЕНТЫ

- Philip Morris
- Orion Electric
- Toyota
- Thomson
- Honda
- Henkel
- LG
- Samsung
- Olympus Optical
- Mitsubishi
- Fiat
- SONY
- Kodak
- JVC
- Alcatel
- Coca Cola

Прежде всего – это выявление источников неоправданного расхода и потерь электро- и теплоэнергии. Высокопрофессиональные энергоаудиторы способны выявить места нерационального ресурсопотребления, иногда даже те, которые не заметны специалистам эксплуатационных служб предприятия, находящихся в текучке производственного процесса.

Во-вторых, проведение энергетических обследований позволяет разрабатывать комплекс полномасштабных мероприятий, направленных на устранение всех обнаруженных недостатков. И, в-третьих, на заключительном этапе обследования разрабатывается высокоэффективная программа работы в кратко- и долгосрочной перспективе, которая позволит существенно снизить энергозатраты производства за счет внедрения самого современного энергосберегающего оборудования и нанотехнологий.

Ваше сотрудничество с аудиторами Бюро Веритас Сертификейшн на всех этапах и их профессиональная оценка помогут Вам в достижении поставленных целей в области энергосбережения.

Более 80 000 компаний в 150 странах обратились к Бюро Веритас Сертификейшн, будучи уверенными в нашем опыте, квалификации и профессиональном подходе. К Вашим услугам более 6000 специально подготовленных аудиторов, а также офисы-представительства в более чем 150 странах мира.

Кроме сертификации по стандарту ISO 50001, Бюро Веритас Сертификейшн предлагает сертификационные услуги по широкому спектру стандартов систем менеджмента, который включает: ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001, SA 8000; ISO/TS 16949; AS/EN 9100, 9110, 9120; TL 9000; ISO 22000; BRC .

Тихенко В.Н. Одесский национальный политехнический университет, Одесса,
Антоненко Т.С. ГП «УкрНИИВЭ», Донецк, Украина

РИСКИ ПРИ ОЦЕНКЕ СООТВЕТСТВИЯ ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Сертификация взрывозащищенного оборудования в таких отраслях промышленности как угольная, газовая, нефтедобывающая, химическая, нефтеперабатывающая в конечном итоге имеет своей целью защиту человеческой жизни, окружающей среды, капиталовложений за счет уменьшения количества и масштаба аварий, которые могут носить техногенный характер. В этих отраслях промышленности катастрофический отказ предприятий или систем может привести к возможным последствиям, превышающим во много раз последствия, происходящие в случае эксплуатации единичного машинного оборудования, эксплуатируемого, как правило, одним оператором. Возможность достижения этих целей определяется совокупностью мероприятий, сводящих к минимуму воспламенение окружающей взрывоопасной среды.

К взрыво- и пожароопасным относятся не только предприятия указанных выше отраслей, но и такие, где производят продукты питания: винно-водочные, кондитерские, мукомольные; а также деревообрабатывающие и целлюлозно-бумажные комбинаты, железобетонные и цементные заводы и др. Кроме того, на предприятиях любых отраслей могут быть взрывоопасные зоны, например, склады ГСМ и лакокрасочных изделий, участки гальванической и высокой температурной обработки, покрасочные цеха или камеры и т.п.

На таких объектах существует опасность образования смесей взрывоопасных газов, паров или пыли с воздухом. Наличие взрывоопасных газо-воздушных, паровоздушных или пылевоздушных

смесей может быть частью технологического процесса конкретного производства или следствием аварийной ситуации на объекте. Опасность воспламенения или подрыва такой взрывоопасной смеси определяется различными факторами риска, главными из которых являются:

1. Взрыв в результате искрообразования, связанного с эксплуатацией электротехнического оборудования;

2. Взрыв в результате превышения предельной концентрации взрывоопасного вещества за счет избыточного давления, вызванного нарушением технологического процесса производства;

3. Взрыв в результате превышения, так называемой, температуры самовоспламенения взрывоопасного вещества, которое также может быть следствием эксплуатации электротехнического оборудования в результате нагрева оболочек или частей приборов.

Таким образом, все оборудование, применяемое на взрывоопасных объектах, в том числе оборудования систем безопасности, должно быть безопасно по перечисленным выше факторам, т. е. в нем должен быть исключен или сведен к минимуму фактор искрообразования (или искра должна быть изолирована от взрывоопасной среды), в том числе искра, вызванная электростатикой оболочек приборов. Также должны быть соблюдены меры по предотвращению его нагрева, которое происходит вследствие протекания в цепях и схемах прибора электрического тока и выделения за счет этого тепловой энергии. Исключение перечисленных факторов риска достигается с помощью различных специальных мер при конструировании оборудования. Всё электротехническое оборудование, устанавливаемое в таких взрывоопасных зонах, должно быть выполнено в специальном взрывозащищенном исполнении, т. е. оборудование не должно являться источником воспламенения или взрыва. Во взрывозащищенном электрооборудовании предусмотрены конструктивные меры по устранению или затруднению возможности воспламенения окружающей его взрывоопасной среды вследствие эксплуатации этого электрооборудования. Безопасность оборудования достигается с помощью различных видов взрывозащиты.

Снижение риска, источником которого может быть само взрывозащищенное оборудование, может быть достигнуто интенсивной и надежной вентиляцией производственных зон при одновременном и постоянном контроле степени их загазованности и отключении электроэнергии при превышении ею заданного уровня.

Однако, в действительности достижение абсолютной надежности проветривания, особенно в долговременной перспективе, является дорогостоящей и практически нереализуемой задачей, а одномоментное снятие напряжения с потребителей, обеспечивающих нормальное протекание технологического процесса, может привести к последствиям даже более катастрофическим, чем взрыв.

Международный стандарт ИСО 14121/EN1050 устанавливает общие принципы по процедуре, известной, как оценка риска, посредством которой объединяются знания и опыт проектирования, эксплуатации, инцидентов, несчастных случаев и ущерба, связанных с машинным оборудованием для оценки риска на всех этапах жизненного цикла машинного оборудования.

Существует проблема ответственности органа оценки сертификации за принимаемые ими решения. Создание систем технического регулирования и аккредитации приобретает особую актуальность.

Сегодня взрывозащищенное оборудование оценивается на соответствия требованиям технического регламента оборудования и защитных систем, предназначенных для применения в потенциально взрывоопасной среде. Орган оценки соответствия должен обеспечить проведение процедур сертификации в точном соответствии с правилами, установленными в системе, и в соответствии со стандартами, которые применяются. Несмотря на то, что необходимость следования процедурам и стандартам указана в договоре на оценку соответствия, эти требования, как правило, сформулированы в достаточно общем виде.

Например, при идентификации продукции в целях сертификации, могут быть допущены ошибки, в результате которых будут применены стандарты с более жесткими требованиями, чем те, которые можно было применить для оценки соответствия данной продукции. В результате будут получены отрицательные результаты. Либо заказчику, при возможности использования различных схем без достаточных оснований будет предложена схема сертификации, предусматривающая значительно большие затраты, чем остальные.

Необходимо найти приемлемый баланс между риском потребителя и издержками на оценку соответствия, создать благоприятный климат для добросовестных и законопослушных производителей и поставщиков взрывозащитного оборудования.

Хомич Н.С., Корогода О.П. Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»,
Сенють В.Т. Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь

ПРИМЕНЕНИЕ НАНО-И СУБМИКРОПОРОШКОВ АЛМАЗА И КУБИЧЕСКОГО BN В ПОЛИРУЮЩИХ СРЕДАХ ДЛЯ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОГО ПОЛИРОВАНИЯ

В современной оптической и электронной промышленности, а также в приборо- и машиностроении особенно актуальна проблема качественной финишной обработки поверхностей. Основной задачей является формирование поверхности с рельефом наноуровня и приповерхностных слоев с минимальным количеством дефектов структуры. Решение этих задач создает благоприятные условия для миниатюризации изделий, повышения их качества, надежности и расширения их функциональных возможностей. В качестве прецизионной обработки таких деталей может эффективно использоваться метод магнитно-абразивного полирования (МАП) [1]. Для реализации метода МАП поверхностей деталей из труднообрабатываемых материалов необходимы полирующие среды (ПС) с особыми свойствами – магнитно-абразивные порошки и абразивные суспензии. Магнитно-абразивный порошок необходим для формирования магнитно-абразивного инструмента, абразивная суспензия служит для повышения абразивной способности магнитно-абразивного инструмента.

Целью настоящей работы является разработка технологии получения и применения ПС на основе нано- и субмикропорошков алмаза и кубического нитрида бора (cBN) для магнитно-абразивного полирования высокоточных поверхностей изделий из труднообрабатываемых материалов.

Объектом исследования являются ПС – абразивные суспензии для МАП высокоточных поверхностей изделий из труднообрабатываемых материалов.

В качестве абразивов использовали промышленно изготавливаемый субмикропорошок алмаза с размером частиц 0,25–0,5 мкм, а также наноструктурный порошок cBN, полученный из гексагонального BN, прошедшего предварительную механоактивацию в аттриторе [2, 3]. Особенностями данного вида абразивного мате-

риала является его высокая удельная поверхность ~ 20–25 $м^2/г$ и наноструктура. Порошок представлен в виде агломератов размерами 1–2 мкм, состоящих из частиц с размерами 80–100 нм. Размер ОКР порошка составляет ~ 10 нм, что сравнимо с ОКР наноалмазов детонационного синтеза [3].

Для апробации ПС в технологических процессах опытного производства изделий различного назначения изготовлены образцы ферроабразивных порошков (ФАП) и абразивных суспензий (АС), составы которых представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Составы полирующих сред

ПС	Состав
ФАП № 1 – 140/50 мкм	Алмаз 2/0 мкм – 5 %, АБС – 3,5 %, Fe 40/0 мкм – остальное
ФАП№ 2 – 40/0 мкм	Алмаз 1/0 мкм – 1,5 %, АБС – 0,5 %, Fe 40/0 мкм – остальное
АС № 1	Алмаз 0,5/0,25 мкм – 5 %, ВРП-3, глицерин и моноэтаноламин – 1,0 %, вода – остальное
АС№ 2	cBN – 5 %, ВРП-3, глицерин и моноэтаноламин – 1,0 %, вода – остальное

Разработанные ПС использованы для МАП образцов из монокристаллического кремния. Обработка осуществлялась в два перехода (табл. 2): – предварительный (ФАП № 1 с фракцией 140/50 мкм и АС № 1 или АС № 2) и финишный (ФАП № 2 с фракцией 40/0 мкм и АС № 1 или АС № 2).

Таблица 2 – План испытаний полирующих сред

Образец	Переход	Время обработки, мин	АС	ФАП
№ 1	I	5	№ 1	№ 1
	II	5		№ 2
№ 2	I	5	№ 2	№ 1
	II	5		№ 2

Результаты обработки образцов из монокристаллического кремния при испытании ПС приведены в табл. 3.

В табл. 4 приведено распределение химических элементов в поверхностном слое, полученное методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии при ускоряющем напряжении 10 кВ.

Таблица 3 – Результаты испытаний полирующих сред

Образец	Параметр шероховатости *Ra*, нм				
	1	2	3	4	среднее
Исходный	438,65	445,36	540,58	374,29	449,72
№ 1	4,27	4,96	4,49	4,59	4,58
№ 2	3,42	4,70	3,56	3,96	3,91

Таблица 4 – Распределения химических элементов в поверхностном слое толщиной ~ 1 мкм

Хим. элементы	Содержание хим. элементов на участке, ат. %	
	неполированном	полированном
C	19,75	5,05
O	7,32	0,45
Si	72,95	94,50

***Выводы*:**

Разработанные ПС, содержащие нано- и субмикропорошки алмазов и cBN, эффективны для обработки поверхностей высокоточных изделий электроники и оптики из труднообрабатываемых материалов.

ПС позволяют в течение 10 минут снизить значения параметра шероховатости поверхности *Ra* более чем в 100 раз с 0,4–0,5 мкм до 3–5 нм. После МАП в приповерхностном слое кремниевых образцов значительно снижается содержание O и C, что повышает их функциональные свойства.

Литература

1. Хомич Н.С. Магнитно-абразивная обработка изделий. – Мн.: БНТУ, 2006. – 218 с.

2. Сенють В.Т., Ковалева С.А. Синтез кубического BN после механической и химической обработки гексагонального BN // Тез. докл. VIII-ой Международ. науч. конф. «Кинетика и механизм кристаллизации. Самоорганизация при фазообразовании». – Иваново, 2014. – С. 181.

3. Наноалмазы детонационного синтеза: получение и применение / П.А. Витязь, В.И. Жорник, А.Ф. Ильющенко и др. – Мн.: Беларус. навука, 2013. – 381 с.

Чаругин Н.В., Огиенко М.С., Ламберг Н.Е.,
Диденко С.В. Одесский национальный
политехнический университет, Одесса, Украина

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПРЕСС АТТЕСТАЦИИ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С УПРОЧНЯЮЩИМИ ПОКРЫТИЯМИ

Одним из главных путей развития современной технологии является принцип интенсификации технологических процессов с помощью повышения скорости и точности обработки материалов, надежности работы оборудования, и его эксплуатационного ресурса.

Исследования показывают, что в большинстве случаев основной причиной снижения долговечности роботы машин и механизмов является износ рабочих поверхностей сопряженных деталей. Сокращается эффективное время работы машин, расходуются значительные средства на ремонт, восстановление и замену изношенных деталей. Поэтому поиск эффективных упрочняющих технологий, повышающих физико-механические, трибологические и эксплутационные характеристики трущихся поверхностей, являются актуальной задачей.

В последнее время (в зависимости от условий работы пар трения) нашли широкое применение энергетически насыщенные процессы получения упрочняющих износостойких покрытий, таких как вакуумно-дуговая и электроискровое легирование. Следует учитывать, что изменения физико-механических и, в большинстве случаев, химических свойств происходит как в поверхностном, так и в подповерхностных слоях подложки. Нанесенный упрочняющий слой оказывает существенное влияние на многие эксплутационные свойства рабочих поверхностей сопряженных деталей (прочность, износостойкость, коррозионная стойкость, кавитация, надежность неподвижных посадок и др). Поэтому сравнительный анализ полученных покрытий представляет определенный научный и практический интерес.

Для вероятностной оценки долговечности при изнашивании по существующим методикам необходимо испытывать большое количество образцов, поэтому исследования на износостойкость требуют много времени и материальных затрат.

При получении упрочняющих покрытий, независимо от метода нанесения и физико-химических особенностей процесса, отмечается неоднозначность их оценки и эффективность применения. Особенно сложно оценить покрытия, предназначенные для упрочнения поверхностей сопрягаемых деталей, работающих на износ в процессе

трения скольжения. Это связано также с различиями химического состава и свойств материалов, принадлежащих к разным группам.

Очевидно, необходимо учитывать упрочняющие покрытия, как самостоятельный «фрагмент», расположенный между подложкой и сопряженной поверхностью, что выступает как контртело. При выборе метода упрочнения и материала электродов при электроискровом легировании и вакуумно-дуговом, а также газообразной среды при использовании последнего, необходимо пользоваться общими требованиями, предъявляемыми к покрытиям, и принципиальным законом теории трения. Для аттестации образцов с нанесенными покрытиями применяем блок-схему, приведенную на рис. 1.

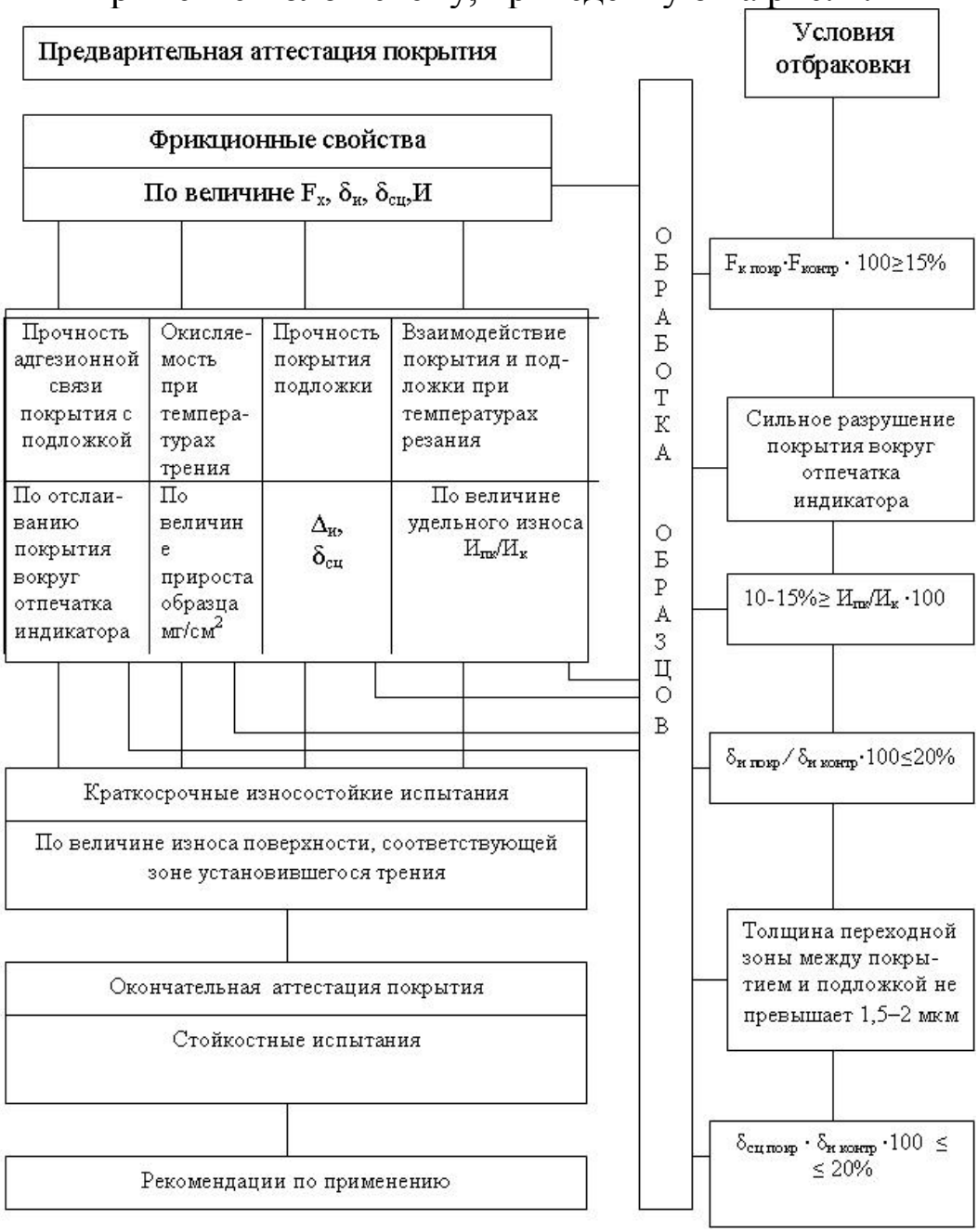


Рисунок 1 – Блок-схема аттестации рабочих поверхностей

На первом этапе следует оценивать склонность покрытий к схватыванию с материалом подложки по кинематической силе трения – F_k, относительной износостойкости эталонного образца по контртелу, внутренним остаточным напряжениям I рода – $\delta_н$, адгезионной прочности – $\delta_{сц}$, прочностным показателям – И.

В процессе экспресс аттестации оценивались, как абсолютные, так и относительные величины прочностных показателей образцов с различными покрытиями их прочностные и эксплуатационные характеристики. В основном использовались стандартные материалы для прочностных испытаний, а также стандартные установки и измерительные приборы. Отобранные покрытия аттестовались по сопротивлению температурному окислению, по прочности покрытия, сопряженности с подложкой, способности к процессу «схватывания» и образования «металлических мостиков» между сопряженными поверхностями.

Отбраковке подлежат детали с покрытиями со слабой адгезионной прочностью, неравномерностью износа по сопряженным поверхностям, склонностью к коррозионному растрескиванию, что снижает прочность сцепления покрытия с подложкой

Отработанные покрытия необходимо также аттестовать при краткосрочных износостойких испытаниях по величине износа образцов с нанесенным упрочняющим слоем относительно контрольного. Данная трактовка экспресс аттестации рабочих поверхностей с упрочняющими покрытиями носит предварительный характер, и требует дальнейших уточнений и проверок.

Шепелев А.А., Сороченко В.Г., Шепелев А.А.(мл.),
Гржибовский Б.Б. Институт сверхтвёрдых материалов
им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

НАНОДИСПЕРСНЫЕ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В авиационной, судостроительной, энергетической, автомобильной и других отраслях промышленности, в стройиндустрии актуальной проблемой является применение алмазно-абразивных

инструментов из современных сверхтвёрдых материалов (СТМ) и нанодисперсных металлических порошков для механообработки прецизионных и других изделий из композитов.

В проекте рассматривается разработка алмазно-абразивного инструмента на основе структурно-ориентированных инструментальных композитов из дисперсных и нанодисперсных порошков Cu, Sn, Co, Fe, Ni, SiC и сверхтвёрдых абразивных материалов. Разработка базируется на инструментальных композитах из СТМ, оптимизации их структуры, составов и функциональных наполнителей, а также ориентации абразивных зёрен за счёт структурных изменений, которые формируются при термическом спекании под влиянием действия усилия прессования. Применение дисперсных и нанодисперсных металлических порошков активизируют структурную ориентацию композитов из СТМ.

Научной основой проекта является применение плазмохимических нанодисперсных металлических порошков, исследование структуры металло- и металлополимерных композитов на основе СТМ; промышленная реализация алмазно-абразивных инструментов в базовых отраслях промышленности Украины, России, Чехии, Польши и других стран. Нанодисперсные порошки применяются впервые в технологии производства алмазно-абразивных инструментов. Они выполняют роль функциональных наполнителей, которые обеспечивают получение гомогенных структур с новым фазовым составом. Использование нанодисперсных порошков в сочетании с дисперсными порошками обеспечивает достижение наноструктурного структурирования металлических и металлополимерных композитов алмазно-абразивного инструмента, а также оптимизацию параметров спекания при температуре 250–750 ºС. Установленные параметры программируемого спекания обеспечивают снижение усилия прессования на 20–30 % за счёт прецизионного компьютерного управления системой "температура – давление". Данный технический эффект особо важен при спекании крупногабаритных алмазно-абразивных инструментов с толщиной алмазосодержащей рабочей поверхности до 10 мм.

Основные технические и коммерческие аспекты, положенные в основу проекта:

- аналитическое исследование рынков инструментов из СТМ;
- оптимизация технологии производства алмазно-абразивного инструмента на основе системного подхода к технологиям обработки;

• разработка в соответствии с ISO конструкторско-технологической документации на инструменты и технологические процессы производства;
• сертификационные исследования технологии производства инструментов из СТМ.

Использование данной разработки на предприятиях базовых отраслей промышленности, как основы решения проблемы механообработки композиционных материалов и создание конкурентоспособного алмазно-абразивного инструмента, позволит достичь повысить в 1,5–3,0 раза производительность нового алмазно-абразивного инструмента и обеспечить его продуктивность, а также снизить в целом на 30–40 % себестоимость производства разрабатываемых инструментов.

Василевич С.В., Малько М.В., Богач В.Н., Дегтеров Д.В.
Институт энергетики НАН Беларуси, Минск, Беларусь

ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДОЛОМИТОВ

В настоящее время в различных странах мира выполняются обширные исследования термохимической конверсии биомассы с целью получения газообразных продуктов, которые можно использовать для получения тепловой и электрической энергии. Данное направление представляет значительный интерес для Беларуси, обладающей большими запасами растительной биомассы.

Для получения высококалорийных топливных газов в процессе термохимического разложения биомассы необходимо обеспечение эффективное разложение смол и очистки пиролизного газа от негорючих компонентов, в первую очередь – углекислого газа. Эти задачи могут быть решены наиболее эффективно на основе применения специальных катализаторов и адсорбентов. Доломиты нашли применение в газогенераторах, работающих по методу «CO_2-акцептор», где они используются в качестве теплоносителя, выделяющего теплоту при поглощении углекислого газа.

Природные доломиты представляют собой двойной арбонат кальция и магния. Химическая формула его имеет вид $CaMg(CO_3)_2$. Они, как правило, имеют в качестве примеси окислы железа, алю-

миния, кремния, марганца и некоторые другие соединения. При нагревании доломита происходит его разложение с образованием карбоната магния (магнезит) и кальция (кальцит), а также окислов кальция, магния и углерода. Известно, что механизм этого процесса зависит от температуры и давления диоксида углерода.

Авторами были проведены экспериментальные исследования обратимого термического разложения доломита. Эксперименты выполнены с использованием электрообогреваемого реактора (рис. 1), в котором поддерживался заданный температурный режим (500–850 °С). Частица доломита массой 0,6 г помещалась в реактор, через который пропускался воздух. С помощью газоанализатора замерялся состав отходящих газов на выходе. После обжига доломита (полное выделение CO_2 и образование оксидов кальция и магния) через реактор пропускали топливный газ, получаемый при газификации древесных опилок. Объемная концентрация CO_2 в топливном газе на входе в реактор составляло 14,5 %. Содержание CO_2 на выходе замерялось с помощью газоанализатора.

Рисунок 1 – Лабораторная установка

На рис. 2 представлены данные по концентрации CO_2 в отходящих газах из реактора в процессе обжига доломита (пропускании воздуха через установку) при температуре 700 °С. Как следует из рисунка, процесс обжига доломита можно разделить на несколько этапов. На протяжении первых 5 минут происходит постепенное нарастание количества CO_2. Это первый этап, соответствующий процессу нагревания доломита. Второй этап длился с 5-ой по 15-ую минуты. На этом этапе происходит разложение поверхностных слоев доломита. Примерно с 15 минуты нагрева происходит резкое возрастание концентрации выходящего диоксида углерода, заканчивающееся к концу 30 минуты. С 30-й по 40-ю минуты наблюдается снижение концентрации CO_2 в отходящих газах с переходом после 40 минут до минимального постоянного уровня.

Кинетика выхода CO_2 при обжиге доломита характерна для гетерогенных реакций и определяется совокупностью различных

физических и химических процессов (образование активных центров, протекание химических реакций с участием этих центров, диффузия продуктов реакции, образовавшихся в объеме твердых частиц и их выход в окружающую среду).

На рис. 3 представлена временная зависимость объемной доли CO_2 в топливном газе, пропускаемом через реактор после обжига доломита. Как следует из этой зависимости, частица доломита при температуре порядка 700 °С способна практически полностью поглотить CO_2, входящий в состав топливного газа, снизив концентрацию углекислого газа от 14,5 до 0,1 %.

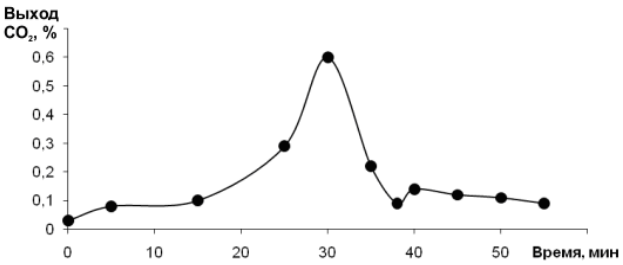


Рисунок 2 – Кинетика выхода CO_2 в процессе отжига доломита при температуре 700 °С

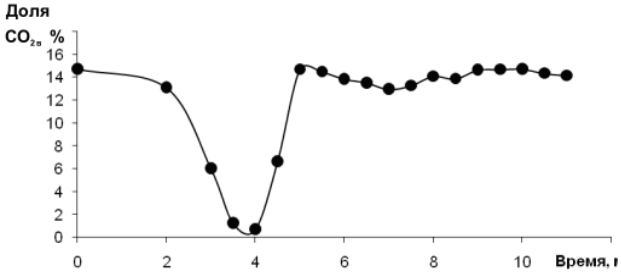


Рисунок 3 – Временная зависимость объемной доли CO_2 в пиролизном газе на стадии сорбции

На рис. 4–5 приведены экспериментальные результаты процесса сорбции углекислого газа, установленные на лабораторной установке при температурах 500–700 °С. Активность процесса поглощения CO_2 оценивалась по изменению массы частиц доломита.

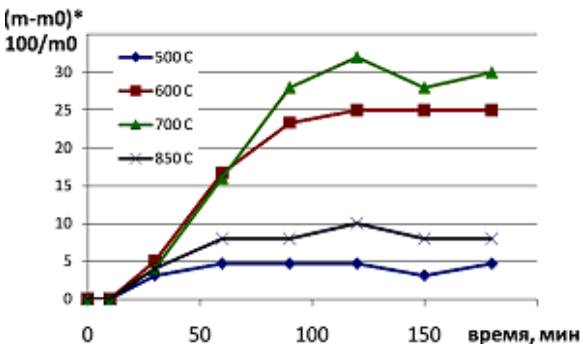


Рисунок 4 – Временная зависимость относительного изменения массы частиц доломита при поглощении CO_2

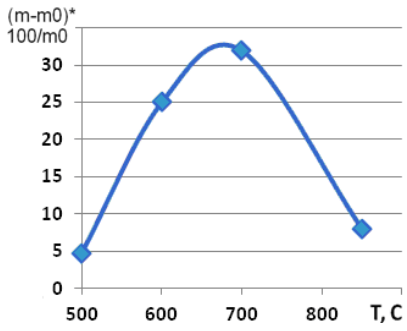


Рисунок 5 – Зависимость максимального увеличения массы доломита при поглощении CO_2 от температуры

Согласно результатам, приведенных на рисунках, повышение температуры в интервале 500–700 °С приводит к существенному увеличению массы доломита. При температурах выше 700 °С связывание CO_2 с оксидом кальция становится менее интенсивным. Так, при температуре 850 °С доля CO_2, связанного оксидом кальция, становится сравнимой с долей, наблюдаемой при температуре 500 °С. Снижение доли связываемого CO_2 в области температур выше 700 °С обусловлено сдвигом равновесия реакции обратимого разложения карбоната кальция в сторону образования CaO и CO_2.

Результаты экспериментальных исследований, представленных выше, позволяют сделать вывод о том, что использование доломита в процессе термохимической конверсии биомассы дает возможность снизить содержание CO_2 в продуктах конверсии, и тем самым повысить теплотворную способность полученной газовой смеси, что позволит использовать продукты газификации биомассы в качестве топлива к существующим двигателям и тепловым машинам.

Деревянченко А.Г., Криницын Д.А. Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина

НОВЫЙ МЕТОД КОМПЛЕКСНОГО МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА И ОТКАЗОВ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕТОВ

Задача сокращения расходов на дорогостоящие режущие инструменты (РИ) путем предотвращения их случайных отказов, максимального использования рабочего ресурса и своевременной замены является достаточно актуальной [1]. Одним из этапов ее решения является прогнозирование остаточного ресурса режущей части (РЧ) инструмента и момента отказа РИ. На основе ранее разработанного авторами метода [2] получен новый комплексный метод многопараметрического прогнозирования остаточного ресурса РЧ РИ и отказов инструмента. Он основан на использовании расширенной динамической модели режущей части РИ. Для иллюстрации одного из вариантов нового метода примем, что объектом контроля РЧ с ис-

пользованием системы технического зрения являются только задние поверхности РИ и обобщенная зона их износа (A_2^T).

Структура расширенной динамической модели A_2^T для последовательности состояний РИ, зарегистрированных на отрезке периода стойкости (ресурса РИ – $t = 0...T^K$) условно может быть представлена в виде отображения (1):

$$\nu : \left\{ M_{A_2}^0, M_{A_2}^{T_1}, M_{A_2}^{T_2}, ..., M_{A_2}^{T_i}, ... M_{A_2}^{T_K} \right\} \to M_{A_2}^{(0,T_K)}, \quad (1)$$

где К – количество актов контроля РЧ; $M_{A_2}^0, M_{A_2}^{T_1}, M_{A_2}^{T_2}, ..., M_{A_2}^{T_i}, ... M_{A_2}^{T_K}$ – последовательность текущих (“единичных”) моделей отдельных состояний РЧ, зарегистрированных интеллектуальной системой диагностирования РЧ за весь период эксплуатации инструмента (или за принадлежащий ему отрезок времени: от состояния “0” до состояния “К”); ν – обобщенный алгоритм формирования динамической модели РЧ по наборам текущих моделей, представляющих каждое из зарегистрированных состояний РЧ.

Примерами моделей класса $M_{A_2}^{(0,T_K)}$ могут служить совмещенные наборы контуров зон износа задних поверхностей, построенные в рабочей плоскости; совмещенные 3D – модели A_2^T , построенные в инструментальной системе координат (M_{3D}^T), и др. Строятся как графические, так и аналитические модели РЧ.

Модель РЧ для некоторого текущего состояния задней поверхности (модель состояния на момент T_i - $M_{A_2}^{T_i} \subset M_{A_2}^{(0,T_K)}$) может быть представлена следующим выражением (приводится в сокращенном варианте):

$$M_{A_2}^{T_i} = \left\{ \begin{matrix} I^{RGB}, I^{OS}, I^{BIN}, K^{\Sigma}, Tr^{\Sigma}, Pr^1, Pr^2, \Omega_i^{F\left[A_2^T\right]}, ..., \\ \Omega_j^{Tx\left[A_2^T\right]}, M_{3D}^{T_i}, ..., S^{F\left[A_2^T\right]}, Kr^{Tx\left[A_2^T\right]}, ..., S^{Tx\left[A_2^T\right]}, ..., C^{\left[A_2^T\right]} \end{matrix} \right\}, \quad (2)$$

где I^{RGB}, I^{OS}, I^{BIN} – соответственно изображения A_2^T в формате RGB, ”в оттенках серого” и бинарное; K^{Σ} – набор выделенных контуров информативных зон A_2^T ; Tr^{Σ} – набор выделенных внутренних контуров A_2^T и соответствующих участков изображений; Pr^1 – набор

первичных признаков формы зоны A_2^T; $\Pr^2 \Pr^2$ набор вторичных признаков формы зоны A_2^T; $\Omega_i^{F[A_2^T]}$- класс формы A_2^T (или форм внутренних контуров), распознанный с использованием одного из разработанных авторами методов ($\Omega_i^{F[A_2^T]} \subset R^{F[A_2^T]}$, где $R^{F[A_2^T]}$ - множество классов форм A_2^T, каждый из которых отображает ту или иную структуру дефектов РЧ); $\Omega_j^{Tx[A_2^T]}$- класс текстур зоны A_2^T ($\Omega_i^{Tx[A_2^T]} \subset W^{Tx[A_2^T]}$, где $W^{Tx[A_2^T]}$ – множество классов текстур, соответствующих поверхностям износа или разрушений РИ из различных инструментальных материалов); $M_{3D}^{T_i}$- текущая $3D$ – модель A_2^T; $S^{F[A_2^T]}$ – расширенная цифровая матрица структуры A_2^T; $Kr^{Tx[A_2^T]}$ – множество двумерных массивов контуров - границ зон A_2^T с однородной текстурой (соответствующей тому или иному механизму изнашивания контактной поверхности), определенных на матрицах I^{OS}; $S^{Tx[A_2^T]}$ – матрица структуры A_2^T, дополненная и уточненная по результатам текстурного анализа (анализа $\Omega_j^{Tx[A_2^T]}, Kr^{Tx[A_2^T]}$); $C^{[A_2^T]}$- класс состояния A_2^T (класс состояния РЧ), распознанный на момент контроля.

Отметим, что наборы данных K^{Σ}, Tr^{Σ}, $\Omega_j^{Tx[A_2^T]}$ отображают тот или иной механизм изнашивания участков РЧ или разрушения РИ. После идентификации механизма изнашивания по распознанному типу текстур с использованием известных аналитически выражений и модели $M_{3D}^{T_i}$ выполняется определение объемного износа РЧ и ее участков, что является важным параметром состояния РЧ.

На рис. 1 приведен фрагмент укрупненной схемы реализации нового метода комплексного многопараметрического прогнозирования остаточного ресурса РЧ инструмента ($\tau_{ост}^{T_i}$) и момента его отказа.

С использованием $M_{A_2}^{(0,T_K)}$ в соответствии со схемой, приведенной на рис.1, выполняется комплексное многопараметрического прогнозирования остаточного ресурса режущей части и момента его отказа.

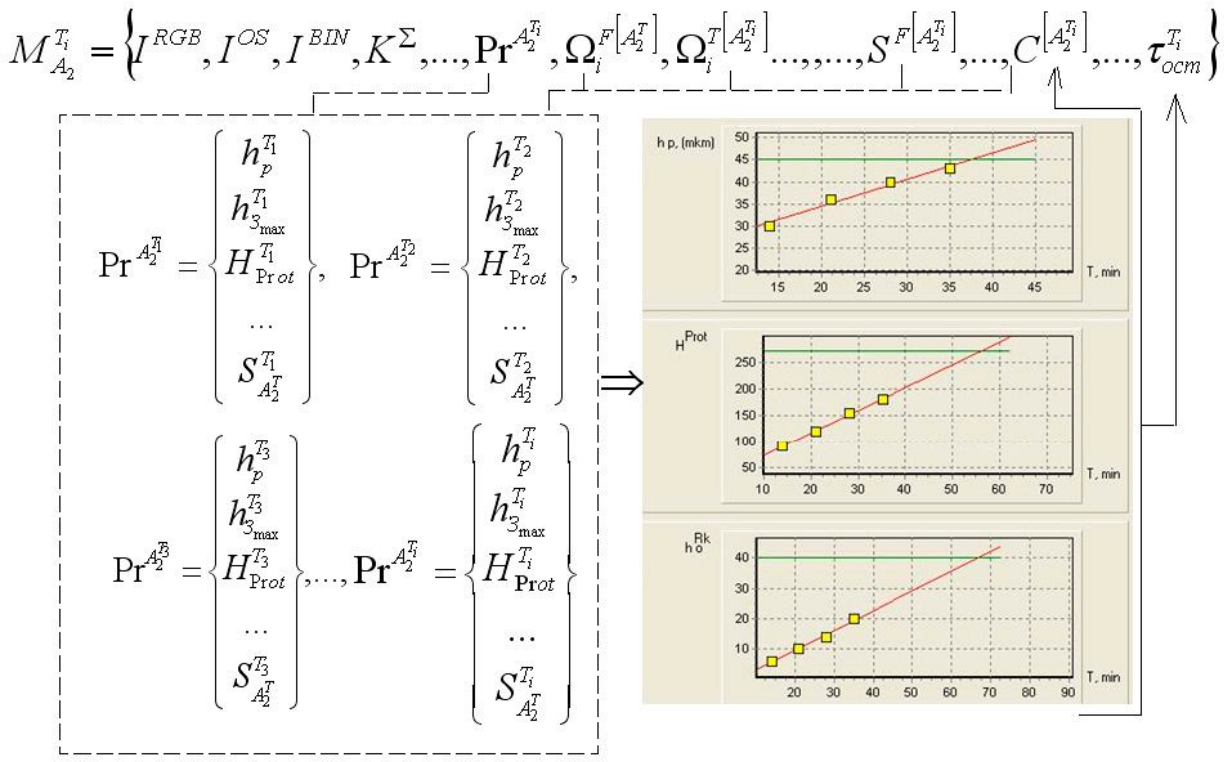


Рисунок 1 – Укрупненная схема реализации нового модифицированного метода комплексного многопараметрического прогнозирования остаточного ресурса РЧ инструмента и момента его отказа на основе использования расширенной динамической модели режущей части (фрагмент)

Для формирования, обработки, анализа и хранения моделей класса $M_{A_2}^{(0,T_K)}$, реализации комплексного многопараметрического прогнозирования остаточного ресурса режущей части и момента отказа РИ создан специальный программный комплекс.

Литература

1. Діагностування станів різальних інструментів при прецизійній обробці / О.Г. Дерев'янченко, В.Д. Павленко, А.В. Андрєєв. – Одеса: Астропрінт, 1999. – 184 с.

2. Подход к многопараметрическому прогнозированию отказов режущих инструментов / А.Г. Деревянченко, Д.А. Криницын // Современные технологии в машиностроении: Сб. науч. ст. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2007. – С. 382–387.

Деревянченко А.Г., Фомин А.А., Фомина О.В., Фроленкова О.В. Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина

ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЙ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕРНЕТ–ТЕХНОЛОГИЙ

Внезапные отказы режущих инструментов (РИ) современных станков часто приводят к появлению брака среди дорогостоящих обрабатываемых деталей, к длительным простоям оборудования и др. В результате этого возникают непредусмотренные материальные и финансовые затраты на производство. Поэтому необходимость создания современных интеллектуальных систем диагностирования состояний РИ не вызывает сомнений. Однако накопленная информация о моделях изнашивания и отказов инструментов в пределах цехов и лабораторий одного завода, как правило, недоступна для других предприятий, использующих инструменты подобного типа.

В настоящее время все более широкое применение находят технологии создания интеллектуальных систем на базе интернета. В ОНПУ разрабатывается интеллектуальная система диагностирования состояний режущих инструментов с использованием интернет – технологий.

Интеллектуальная система диагностирования состояний РИ спроектирована в виде сложной иерархической структуры. Выполненные к настоящему времени наработки (элементы этой структуры) представляют собой две базы данных (БД). Первая (вспомогательная) построена с использованием известной иерархической структуры металлорежущих станков, вторая (основная) основана на системном представлении инструмента и его режущей части.

Иерархическая структура множества металлорежущих станков представлена четырьмя уровнями. Она описывает предметную область, начиная с базовых групп станков (на которых используются диагностируемые инструменты) и заканчивая их конкретными моделями и параметрами:

Базовые группы станков.

• Типы станков по классификации ЭНИМС [1] (в пределах базовой группы).
• Модели станков (в пределах типов станков по классификации ЭНИМС)

Общие виды станков и их параметры.

Первые три уровня иерархической структуры станков представляют собой таблицы-справочники.

Последний уровень структуры – собственно база данных, содержащая подробную информацию по станкам, занесенным в систему.

Иерархическая структура множества РИ представлена пятью уровнями. Она описывает предметную область, начиная с базовых групп РИ и заканчивая динамическими образами конкретных режущих инструментов:
• Базовые группы РИ.
• Типы режущих инструментов (в пределах базовой группы РИ).
• Параметры режущего инструмента и его режущей части.
• Динамические образы режущей части РИ.
• Информационные модели РИ.

Первые два уровня иерархической структуры РИ представляют собой таблицы-справочники.

Уровни 3 и 4 представляют собой собственно базу данных, содержащую подробную информацию по конкретным режущим инструментам и их образам, занесенным в систему.

Последний уровень – база знаний, полученных путем интеллектуальной обработки данных уровней 3 и 4.

Предложенная структура позволяет решать как первичные задачи систематизации, учета и поиска РИ, так и более сложные интеллектуальные задачи исследования изменений состояний РИ во времени. К ним относится оценка остаточного ресурса РИ, построение моделей изнашивающейся режущей части инструмента, хранение ее динамических образов, построение решающих правил классификации состояний РИ и др.

Информационная система, созданная на базе интернет–технологий, позволяет:

1. Организовывать оперативные интернет–совещания со специалистами–экспертами (“инструментальщиками”) как на Украине, так и за рубежом.

2. Обмениваться информацией с лабораториями-аналогами на других заводах и в других городах.

С использованием традиционных технологий получение статистической информации об отказах дорогостоящих РИ (например – сверл для глубокого сверления, головок BTA и др.), инструментов из дорогостоящих инструментальных материалов (искусственные алмазы, композиты нового поколения и др.) в условиях одной лаборатории, одного цеха или завода весьма проблематично.

3. Создавать масштабируемую информационную систему, перекрывая потребности пользователей предприятий города, региона, т.д.

При разработке системы используется набор интернет-технологий, включающих клиентские скрипты [2] (на языке Java Script), а также серверные скрипты (Php) [3].

В качестве СУБД используется свободно распространяемая технология MySQL [4]. Она позволяет реализовывать многоуровневую иерархическую структуру любой сложности в виде реляционных таблиц.

Все модули для интеллектуальной обработки, (формирования динамических образов режущей части РИ, прогнозирования остаточного ресурса инструмента и др.), созданы в виде динамических библиотек dll, подключенных к ядру WEB-приложения.

Достоинством данной технологии является возможность наращивания алгоритмической базы используемых методов обработки – путем добавления отдельных самостоятельных библиотек. Изображения двух рабочих панелей БД станков, на которых используются диагностируемые инструменты, приведены на рис. 1, 2.

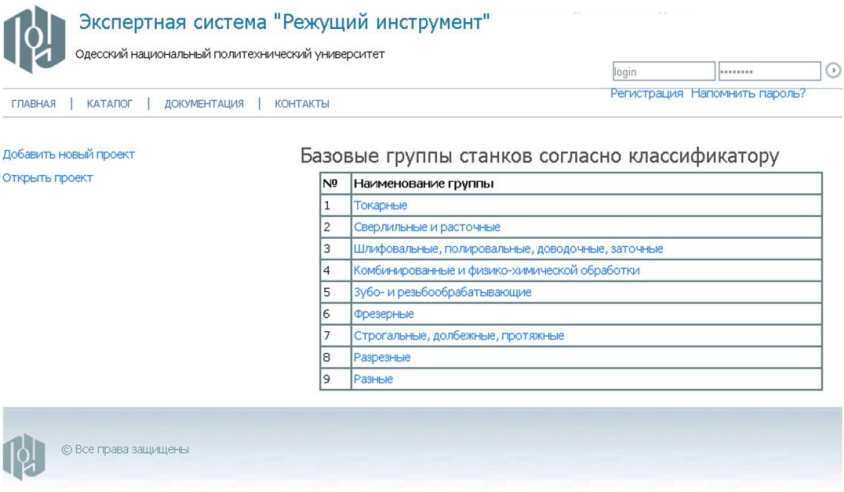


Рисунок 1 – Изображение одной из панелей БД – справочника групп металлорежущих станков (по классификатору ЭНИМС [1])

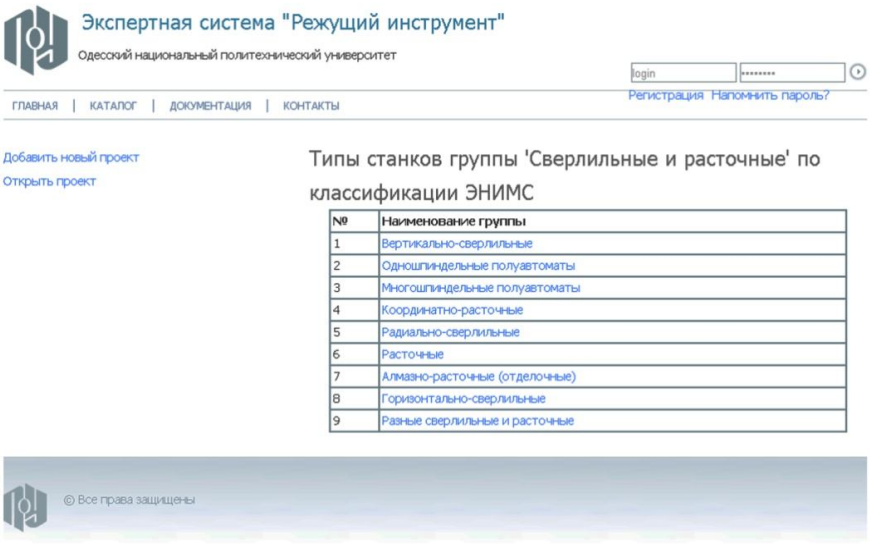


Рисунок 2 – Изображение справочника группы сверлильных и расточных станков

Литература

1. Ачеркан Н.С. Металлорежущие станки. Т. 1. – М.: Машиностроение. 1965 – 757 с.

2. Document Object Model (DOM) Level 3 Core Specification (англ.). W3C (7 April 2004).

3. Официальный сайт PHP http://www.php.net/docs.php

4. Официальный сайт MySQL http://dev.mysql.com/doc/refman/5.6/en/

Турманидзе Р.С. Грузинский технический университет, Тбилиси, Грузия

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОДБОРА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИМПЛАНТОВ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА ЧЕЛОВЕКА И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ОБРАБОТКИ С ДОСТИЖЕНИЕМ ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТИ И КАЧЕСТВА СФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Эндопротезирование является эффективным и часто единственным методом восстановления функции сустава человека. Установлено, что ежегодно в мире делается около миллиона операций замены тазобедренного сустава человека.

Головки эндопротеза тазобедренного сустава человека, с точки зрения характера и величины нагрузки, эксплуатируются в экстремальных условиях. В настоящее время остро стоит проблема создания для имплантологии износостойких инертных материалов.

Поэтому в каждом конкретном случае подбор необходимого материала с соответствующими физико-механическими характеристиками, а также повышение точности и качества обработки самой значительной части эндопротеза – сферических поверхностей – является весьма актуальной задачей.

Это обусловлено тем, что если раньше необходимость подобных операций была вызвана возрастным фактором человека или травматологическими переломами, то в последнее двадцатилетие резко увеличилось количество больных в молодом возрасте без всяких травм и переломов. По мнению медиков, основными причинами этого явления являются неактивный образ жизни молодежи, состав современных искусственных пищевых продуктов и нарушение обмена веществ. Все вышеуказанные причины определяют количество используемых эндопротезов – несколько десятков миллионов штук в год.

Медицинская практика доказывает, что повторное протезирование тазобедренного сустава человека связано с большими проблемами. Во многих случаях осуществление таких операций становится практически невозможным. Поэтому срок службы эндопротеза тазобедренного сустава до конца жизни для больного, особенно в молодом возрасте, имеет исключительно важное значение.

В мировой практике эти головки изготовляются из различных сплавов, композиционных материалов и керамики, которые, в основном, являются изотропными материалами. Поэтому данные вышеупомянутых работ не дают необходимой информации по обработке анизотропных материалов, в частности, искусственного кристалла сапфира.

На сегодняшний день в основном определен круг материалов для изготовления пар несущих поверхностей эндопротезов суставов с минимально возможным количеством продуктов износа. Такими парами несущих поверхностей с превосходными характеристиками износостойкости являются пары трения керамика-керамика, металл-металл и полиэтилен с высокой степенью поперечных связей в комбинации с керамикой или металлом. Вместе с тем основной нерешенной проблемой последнего десятилетия бы-

ла разработка несущих поверхностей, которые могли бы выдержать более высокие нагрузки у молодых и подвижных пациентов.

Сапфир, представляющий собой монокристалл оксида алюминия, как материал для несущих поверхностей обладает уникальной инертностью, в том числе электролитической пассивностью, пожалуй, наилучшей из известных материалов биосовместимостью, коррозионной стойкостью и твердостью. Стойкость сапфира к любым кислотам и щелочам несоизмеримо выше, чем у металлов и даже поликристаллического оксида алюминия. По-видимому, поэтому сапфир не изменяет иммунный статус пациента.

В работе будут представлены результаты проведенных экспериментов по определению влияния анизотропии кристалла сапфира на их обрабатываемость и качества поверхности при обработке абразивными алмазными кругами разных характеристик на разных режимах шлифования.

Для проведения исследований обрабатываемости кристалла сапфира был выбран способ низкотемпературного прецизионного шлифования (НПШ), разработанный на кафедре «Технология машиностроения» Грузинского технического университета, как вариант прогрессивных способов алмазного шлифования твердых и хрупких, неметаллических материалов.

На основе анализа существующих кинематических схем и технологических процесов получения сферических поверхностей предложена новая более эффективная схема, обеспечивающая повышение точности сферических поверхностей.

Сущность схемы заключается в подборе оптимальных диапазонов отношении скоростей вращения изделия и инструмента и в равномерном распределении усилия прижима изделия к шлифовальному кругу, по аналогу способа НПШ, что является залогом исключения неравномерного износа абразивного инструмента, достижения и поддержания высокой точности рабочей поверхности и тем самым точности обработки поверхности неполной сферы.

Литература

1. Turmanidze R.S., Butskhrikidze D.S., Mamulashvili G.L., Kromp K., Mills B., Morgan M., Mgaloblishvili O. Low-temperature precision grinding of hard and brittle materials and Outlook of its development and application. Proceedings of 19th NCMR Conference. Glasgow, September 2003.

Равська Н.С., Оробченко А.П. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ, Україна

ПРОГРАМНЕ CAE ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ 3-D МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ

В сучасному машинобудування існує велике різноманіття як дослідницьких, так і комерційних CAE програм для вирішення різного класу задач. Дослідницьке програмне забезпечення є вузькоспеціалізованим, і призначене для вирішення конкретно поставленої задачі певної тематики. Такі програми використовують досить обмежено,оскільки по суті для кожного нового дослідження необхідно розробляти нову програму, але на відміну від більшості комерційних продуктів реалізують набагато більш детальні моделі явищ, що характеризують процес різання [1–3].

Серед великої кількості комерційних CAE систем не кожна придатна для 3-D моделювання напружено-деформованого стану різального інструменту в процесі його роботи. Аналіз комерційних CAE систем показує, що їх умовно можна розділити на 2 групи, це спеціалізоване ПЗ, яке дає можливість швидко та зручно отримати моделі в певній сфері, зокрема точіння, та універсальне, що дозволяє моделювати широкий спектр явищ та процесів, дозволяє користувачу додавати власні особливості процедури, враховувати чи ні ті, чи інші фактори та складові процесу різання.

Так, спеціалізовані програмні комплекси TWA та Deform 3-D (без додаткових модулів) широко використовуються для моделювання задач точіння. Програмний пакет TWA орієнтований виключно на моделювання процесів точіння, має простий інтерфейс та дає відносно непогані результати при невеликих часових затратах, але на відміну від Deform 3-D не має опцій для модифікацій моделей матеріалу, тертя, руйнування, тощо.

В загальному випадку для моделювання напружено-деформованого стану ефективніше використовувати універсальне ПЗ, таке як: ABAQUS, MSC Marc, ANSYS, LS-Dyna та ін.

ABAQUS має лідируючі позиції за частотою використання і кількістю публікацій в наукових виданнях. Це ПЗ має ряд достоїнств зокрема тісну інтеграцію з CAD Catia, великі можливості для вирішення не лінійних задач, однак орієнтоване, в основному, на конструктора. Пз від MSC Software Nastran і Marc має добре про-

думаний інтегрований пре-пост процесор Patran. Це ПЗ добре зарекомендувало себе в аерокосмічній сфері, ставши де-факто, стандартом для інженерного аналізу в цій сфері. Не зважаючи на великі можливості і потенціал системи, питання вирішення задач різання вивчене не достатньо, про що говорить відносно не велика кількість публікацій з застосуванням цього ПЗ.

Окремої уваги при моделюванні швидкопротікаючих суттєво не лінійних процесів, до яких і відноситься процес різання, заслуговує MSC Dytran. Відмінними рисами Dytran є спільна робота вирішувачів Лагранжа (моделювання твердих тіл) і Ейлера (моделювання рідини / газу), широкий спектр моделей матеріалів (включаючи гідродинамічні) і різні типи рівнянь стану рідкого середовища (газу). Можливо моделювання роботи матеріалу зі змінною жорсткістю в Ейлерові постановці. В Dytran застосовується явна схема інтегрування, яка не потребує декомпозиції матриць і тому особливо ефективна для вирішення нелінійних задач.

Одним із найбільш перспективних, застосовуваних рішень для моделювання процесу різання є Пз від американської компанії Livermore Software Technology Corporation (LSTC). Компанія була заснована в 1987 і за багаторічну історію значно розвинула свій основний програмний продукт LS-Dyna, а в партнерстві з іншими розробниками створили спільні розробки: ANSYS LS-Dyna та MSC Nastran SOL 700.

Однією із характерних переваг системи LS-Dyna є те, що в її арсеналі є більше 200 моделей матеріалів та алгоритмів контактної взаємодії, присутня можливість створення вручну цих моделей що суттєво розширює її можливості. Ця програма була однією з перших в своєму роді, і на даний момент є найефективнішою CAE [4], оскільки в ній реалізовані алгоритми автоматичної перебудови Скінченно-елементної сітки при виродженні елементів, довільні Лагранжеві-Ейлереві сітки, що дозволяє враховувати багато складових процесу різання та максимально наблизити моделі до реальних умов.

Моделювання за допомогою методу скінченних елементів потребує значних машинальних потужностей, тому більшість сучасних CAE продуктів орієнтовані для роботи на супер комп’ютерах, використання кластерів яких зазвичай досить дорого коштує, тому на чи не на перший план виходить критерій швидкості розрахунку. Для досягнення максимальної ефективності використання процесорів та швидкості розв’язання задач необхідні адаптація програм-

ного коду під основні платформи та операційні системи з SMP та MPP типами пам'яті. В цьому плані програми MSC Software, LSTC і ANSYS Inc. не мають рівних, оскільки мають два різних ядра, розроблених під той чи інший тип пам'яті.

За рівнем задекларованих можливостей ці системи приблизно одинакові, однак для визначення якості отриманих результатів необхідно провести порівняльні дослідження результатів моделювання кожної з них за однакових умов із результатами натурних експериментів

Література

1. Мазур Н. П. Разработка теоретических основ и практическое использование термомеханической модели обработки пластических материалов: дис. докт. техн. наук. – К., 1999. – 309 с.

2. Research of Influence of Process of Plastic Formation of Burrs on Destruction of the Hard-Alloy Broaches / V.F. Makarov, N.E. Chigodaev, D.I. Tokarev // Proc. of the 10th CIRP Inter. Workshop on Modeling of Machining Operations. – 2007. – С. 97– 102.

3. Математическое моделирование процесса резания / М.Ф. Полетика, М.Г. Гольдшмидт, Ю.П. Стефанов // Вопросы механики и физики процессов резания и холодного пластического деформирования: сб. науч. тр. ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины. Серия Г. «Процессы механической обработки, станки и инструменты». – К., 2002. – С. 33 – 43.

4. Криворучко Д.В. Основи 3D моделювання процесів механічної обробки методом скінченних елементів: навч. посібник. – Суми: СумДУ, 2010. – 209 с.

Равська Н.С., Охріменко О.А. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ, Україна

ВИКОНАННЯ ДРУГОЇ УМОВИ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ГВИНТОВИХ КАНАВОК СВЕРДЕЛ ДИСКОВИМ ІНСТРУМЕНТООМ ПРЯМОЛІНІЙНОЇ ФОРМИ

В сучасному машинобудуванні одним найбільш вживаним інструментом при обробці отворів залишаються спіральні свердла.

В даний час багато свердел суцільної конструкції виготовляються на спеціалізованих верстатах з ЧПК, одними із таких є верстати моделі Schutte 305, Rollomatic GrindSmart®528XS та інші. Особливістю виготовлення свердел на таких верстатах є те, що гвинтова канавка виготовляється дисковим інструментом прямолінійної форми –кругом плоскої форми ПП (ГОСТ 2424-83), 1А1 (ГОСТ 17123-79). Розробники такого обладнання надають користувачеві кінцевий набір значень параметрів для виготовлення канавок такого інструменту, що визначать форму стружкороздільної канавки від, якої в свою чергу залежить форма різальної кромки свердла.

Мета роботи полягає в підвищенні якості проектування технології виготовлення гвинтової канавки свердла дисковим кругом прямолінійної форми і визначення таких установочних дискового інструменту при яких буде виконуватись друга умова формоутворення при обробці гвинтової канавки свердла.

В роботах [1] досліджено визначення форми канавки такого інструменту при її виготовленні кругами(інструментом) прямолінійної форми. Було встановлено, що форма стружкової гвинтової поверхні свердла при такому формоутворенні буде складатись з двох ділянок, які утворюється торцевою кромкою шліфувального круга і його циліндричною поверхнею при їх гвинтовому русі відносно осі свердла, встановлено, що на профілі стружкової канавки свердел може виникати явище підрізання, а саме дві ділянки, які сформовані на профілі стружкової канавки не мають плавного спряження.

В роботі розглянуто визначення умов відсутності підрізання на профілю гвинтової поверхні утвореною дисковим інструментом прямолінійної форми. На прикладі свердел діаметром 1мм та 10мм показані граничні умови для визначення установочних параметрів круга при яких буде виконуватись друга умова формоутворення при обробці таких свердел.

Література

1. Особливості формоутворення гвинтової канавки спіральних свердел дисковим інструментом прямолінійної форми / Н.С. Равська, О.А. Охріменко, О.А. Плівак / Вісник Національного технічного університету України «КПІ» «Машинобудування». – 2012. – № 64. – С. 136–145.

Якубов Ч.Ф., Ваниев Э.Р., Алиев А.И. Крымский
инженерно-педагогический университет,
Симферополь, Крым

О ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ПРИРАБОТКИ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Интенсификация процесса резания является одной из важнейших проблем машиностроения, решение которой связано с повышением работоспособности инструмента, в частности его стойкости.

Одним из эффективных и наиболее доступных способов повышения работоспособности инструмента является применение смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС).

Исследованиями школы проф. Якубова Ф.Я. установлено, что использование СОТС значительно усиливает эффект упрочнения резанием контактных с обрабатываемым материалом поверхностей быстрорежущего инструмента.

Особую роль этот способ повышения интенсивности процесса резания приобретает в автоматизированном производстве, когда упрочнение инструмента резанием при приработке на менее жестких режимах в сравнении с нормативными представляет собой одно целое.

Вместе с тем для совмещения процесса упрочняющей приработки и дальнейшей эксплуатации инструмента необходимо знать критерии завершения упрочнения контактных слоев на поверхностях инструмента для обеспечения его дальнейшей работы. В связи с этим были проведены экспериментальные исследования по установлению критерия, обеспечивающего максимальный эффект упрочняющей обработки в присутствии различных СОТС.

В результате исследований установлена корреляция между изменением приработочной кривой износа и усилием резания. Выявлено, что завершение образования упрочненных вторичных структур на контактных поверхностях инструмента сопровождается снижением составляющих силы резания и изменением наклона кривой износа.

Установлено что приработачный износ $h_{зпр}$ не зависит от режимов приработки и составляет для:

- сухой обработки, МР-99 и Н-20А – 0,098…0,1 мм;

• рапсового масла – 0,08…0,084 мм;
• касторового масла – 0,7…0,077 мм.

Усилие резания, при котором изменяется наклон кривой износа, для каждой из используемых СОТС, зависит от режимов резания.

Т.о., управление процессом упрочняющей приработки в автоматизированном производстве может осуществлятся как по значению приработочного износа ($h_{\text{зпр}}$), так и по силе резания.

СОДЕРЖАНИЕ

Акрабов Г.Г., Пчелинский С.В., Тихенко В.Н.
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КРАНОВЫХ БУКС 3

Анкуда С.Н., Хейфец И.М.
ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ 5

Анкуда С.Н., Хейфец И.М.
ПОСТРОЕНИЕ СУЩЕСТВЕННО НЕЛИНЕЙНЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ 8

Баланюк А.В., Творищук И.М.
ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ СБОРКИ И ПРИКАТКИ КОНИЧЕСКИХ РОЛИКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ 11

Бородавко В.И., Гайко В.А., Насыбулин А.Х., Позылова Н.М., Пынькин А.М., Хейфец М.Л.
ПОСЛОЙНОЕ МАКЕТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ 16

Брижан Т.М.
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ ПРИ РАЗВЕРТЫВАНИИ 20

Бурыкин В.В., Бурыкин В.В.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ РАБОЧИХ ЧАСТЕЙ ШТАМПОВ 23

Воинова С.А.
О ПОДХОДЕ К ФОРМИРОВАНИЮ РЕСУРСА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА 27

Воинов А.П., Воинова С.А.
ПРОБЛЕМАТИКА УПРАВЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В УКРАИНЕ ТВЕРДОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ТОПЛИВА 31

Волкогон В.М., Котляр Д.А., Аврамчук С.К., Федоран Ю.А., Белый А.И.
НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕРМОЦЕНТРОБЕЖНОГО РАСПЫЛЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК НА ОСНОВЕ КАРБИДОВ ВОЛЬФРАМА, ПОЛУЧЕННЫХ В ПЕЧАХ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ 35

Wroblewski T., Pawlak W., Wendler B., Progalskiy I., Tikhenko V.
HIGH TEMPERATURE TRIBOLOGY OF TIN/A-SI_3N_4 COATING DEPOSITED ONTO SINTERED CARBIDE BY MEANS OF A NEW GAS IMPULSE MAGNETRON SPUTTERING TECHNIQUE 38

Голофеева М.А., Левинский А.С., Паленный Ю.Г.
СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКОВ 40

Гончар Н.В., Степанов Д.Н., Тришин П.Р.
СНЯТИЕ ЗАУСЕНЦЕВ НА АЛЮМИНИЕВЫХ ЗАГОТОВКАХ, ПОЛУЧЕНЫХ ЛИТЬЕМ В КОКИЛЬ И ПОД ДАВЛЕНИЕМ, ПРИ ПОМОЩИ ПОЛИМЕРНО-АБРАЗИВНОГО ЩЕТОЧНОГО ИНСТРУМЕНТА 42

Гутыря С.С., Моргун Ю.Б., Ляшевский А.М., Белозеров А.Г.
ШАРИКОВЫЙ ПЛАНЕТАРНО-ФРИКЦИОННЫЙ МУЛЬТИПЛИКАТОР ДЛЯ ВЕТРОДВИГАТЕЛЕЙ 44

Драгобецкий В.В., Климов Э.С., Коноваленко А.Д., Воронин А.В.
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ВМЯТИН ПРИ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ РИХТОВКЕ ОБЛИЦОВОЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ 47

Зелинский С.А., Серебрий Ю.А.
ТРЕБОВАНИЯ К МОДЕЛИ ПРОЦЕССА КОНТУРНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАЛОЙ ЖЕСТКОСТИ 50

Зелинский С.А., Натальчишин В.В.
ПОСТРОЕНИЕ САУ ДИНАМИКОЙ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ 52

Клименко Г.П.
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СБОРНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ГЛУБОКОГО СВЕРЛЕНИЯ 55

Клименко С.Ан., Манохин А.С.
НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ С ПСТМ НА ОСНОВЕ КНБ С ИЗНОСОСТОЙКИМ ПОКРЫТИЕМ 59

Клименко С.А., Мельнийчук Ю.А., Копейкина М.Ю., Манохин А.С.
ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЕ ТОЧЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ 61

Ковальов В.Д., Васильченко Я.В.
ТЕХНОЛОГІЯ ВИСОКОПРОДУКТИВНОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА ВАЖКИХ БАГАТОЦІЛЬОВИХ ВЕРСТАТАХ 63

Коновалов И.П.
САПР «ИНТЕХ-ТРУБОРЕЗ»: ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ТРУБ 66

Коновалов И.П., Юхимов В.В.
ЗАДАЧА ЛИНЕЙНОГО РАСКРОЯ В СОСТАВЕ САПР «ИНТЕХ-РАСКРОЙ» 69

Кузьменко А.А., Щерецкий В.А.
НОВЫЙ K-Ba (КАЛИЙ-БАРИЙ) ФТОРФЛОГОПИТОВЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ КАМНЕЛИТЫХ МЕТАЛЛОПРОВОДОВ УСТАНОВОК ЛИТЬЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПОД НИЗКИМ ДАВЛЕНИЕМ 72

Ларшин В.П., Золотов Н.Н.
ДИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ЗОЛОТОВА 73

Larshin V.P., Lishchenko N.V.
A VIBRATION SENSOR MATHEMATICAL DESCRIPTION 76

Larshin V.P., Lishchenko N.V.
CUTTING SYSTEM DIAGNOSTICS ON THE BASIS OF SOUND SENSOR 79

Larshin V.P., Lishchenko N.V.
ON THE PROBLEM OF VIBRATION IN CUTTING SYSTEMS 84

Larshin V.P., Lishchenko N.V., Bashrov R.R.
SELECTION OF SENSORS FOR CUTTING TOOL DIAGNOSING 88

Лебедев В.Г., Клименко Н.Н.
ОЦЕНКА КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛА ОТВОДИМОГО ВОЗДУХОМ ОТ ЗОНЫ ШЛИФОВАНИЯ 91

Лебедев В.Г., Луговская Е.А.
ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ЗАКАЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ШЛИФОВАНИИ КРУГАМИ ИЗ КНБ 95

Лимаренко О.М., Гузенко А.О.
ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЦИЛІНДРА ГІДРОПРЕСУ ЧИСЕЛЬНИМ МЕТОДОМ 98

Лимаренко О.М., Слобода К.П.
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИЛОВИМІРЮВАЧІВ ІЗ БАГАТО-ЗАХІДНОЮ НАРІЗКОЮ ДЛЯ ВИМІРУ НАДВАЖКИХ І НАДМАЛИХ НАВАНТАЖЕНЬ 101

Лютий О.П.
ІСТОРИКО-РЕТРОСПЕКТИВНИЙ АНАЛІЗ І ПРОГНОЗУВАННЯ – НЕВІДМІННА СКЛАДОВА ВИВЧАННЯ НОВОЇ ТЕХНІКИ 104

Лютый А.П.
ЭТАПЫ И СТИМУЛЫ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЁМКОСТИ НА ПАО «ДНЕПРОСПЕЦСТАЛЬ» 106

Новиков Ф.В., Кленов О.С.
ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И КАЧЕСТВА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СБОРНЫМИ РЕЖУЩИМИ ИНСТРУМЕНТАМИ С ИЗНОСОСТОЙКИМИ ПОКРЫТИЯМИ 110

Новиков Ф.В., Рябенков И.А.
ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ФИНИШНОЙ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОТОЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ 113

Новиков Ф.В., Шкурупий В.Г.
УСЛОВИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИНИШНОЙ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ 116

Нос А.О.
СВЯЗЬ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА СО СТРУКТУРОЙ МАТЕРИАЛОВ КОНТАКТНОЙ ПАРЫ ИНСТРУМЕНТ–ДЕТАЛЬ 119

Оборский Г.А., Моргун Б.А., Белозёров А.Г.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ ЛОПАСТЕЙ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ВЕТРОКОЛЕСА С АДАПТИВНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ 121

Оборский Г.А., Моргун Б.А., Бундюк А.Н.
РАЗРАБОТКА ВЕТРОКОЛЕС С МНОГОСЕКЦИОННЫМИ САМОНАСТРАИВАЕМЫМИ ЛОПАСТЯМИ 124

Оргиян А.А. Кремнев Г.П., Колесник В.М.
НЕКОТОРЫЕ ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ТЕХНОЛОГОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ 127

Пашинская Е.Г., Варюхин В.Н., Завдовеев А.В., Ткаченко В.М., Глазунов Ф.И., Максакова А.А.
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОЙ ВИНТОВОЙ ЭКСТРУЗИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ 20Г2С: СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА 130

Рябченко С.В.
ИЗНОС ТАРЕЛЬЧАТЫХ КРУГОВ ИЗ КНБ ПРИ ЗУБОШЛИФОВАНИИ 134

Ряго С.В.
ВНЕДРЕНИЕ СТАНДАРТА ISO 50001 КАК МЕТОД ЭКОНОМИИ ФИНАНСОВЫХ СРЕДСТВ, ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И СОКРАЩЕНИЯ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ 136

Тихенко В.Н., Антоненко Т.С.
РИСКИ ПРИ ОЦЕНКЕ СООТВЕТСТВИЯ ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ 141

Хомич Н.С., Корогода О.П., Сенють В.Т.
ПРИМЕНЕНИЕ НАНО-И СУБМИКРОПОРОШКОВ АЛМАЗА И КУБИЧЕСКОГО BN В ПОЛИРУЮЩИХ СРЕДАХ ДЛЯ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОГО ПОЛИРОВАНИЯ 144

Чаругин Н.В., Огиенко М.С., Ламберг Н.Е., Диденко С.В.
ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПРЕСС АТТЕСТАЦИИ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С УПРОЧНЯЮЩИМИ ПОКРЫТИЯМИ 147

Шепелев А.А., Сороченко В.Г., Шепелев А.А.(мл.), Гржибовский Б.Б.
НАНОДИСПЕРСНЫЕ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ 149

Василевич С.В., Малько М.В., Богач В.Н., Дегтеров Д.В.
ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДОЛОМИТОВ 151

Деревянченко А.Г., Криницын Д.А.
НОВЫЙ МЕТОД КОМПЛЕКСНОГО МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА И ОТКАЗОВ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕТОВ 154

Деревянченко А.Г., Фомин А.А., Фомина О.В., Фроленкова О.В.
ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЙ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕРНЕТ-ТЕХНОЛОГИЙ 158

Турманидзе Р.С.
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОДБОРА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИМПЛАНТОВ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА ЧЕЛОВЕКА И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ОБРАБОТКИ С ДОСТИЖЕНИЕМ ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТИ И КАЧЕСТВА СФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ 161

Равська Н.С., Оробченко А.П. ПРОГРАМНЕ САЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ 3-D МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ 164

Равська Н.С., Охріменко О.А.
ВИКОНАННЯ ДРУГОЇ УМОВИ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ГВИНТОВИХ КАНАВОК СВЕРДЕЛ ДИСКОВИМ ІНСТРУМЕНТООМ ПРЯМОЛІНІЙНОЇ ФОРМИ 166

Якубов Ч.Ф., Ваниев Э.Р., Алиев А.И.
О ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ПРИРАБОТКИ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ 168

НОВЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ

Материалы научно-технической конференции
(22–24 сентября 2014 г., г. Одесса)

Редактор Копейкина М.Ю.

Подписано в печать 01. 09. 2014
Формат 60×84×1/16. Бумага типографская
Печать офсетная. Уч. изд. л. 14,0.
Тираж 150 экз.

Ассоциация технологов-машиностроителей Украины
04074, г. Киев, ул. Автозаводская, 2