

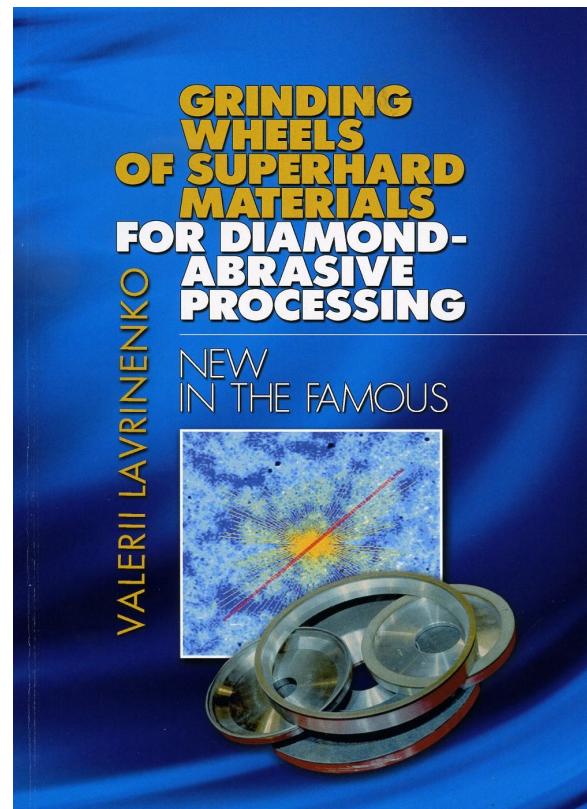
Lavrinenko V.V.N. Bakul Institute for Superhard Materials of the National Academe of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

TO THE ISSUE OF POPULARIZATION OF SCIENTIFIC DEVELOPMENTS IN THE DIRECTION OF APPLICATION OF SUPERHARD MATERIALS IN INDUSTRY

Superhard materials (SHM) are modern high-tech product, which is an important element in addressing the effective machining of hard-machinable materials of the 21st century. SHM has a number of unique properties that distinguish them from other tool materials – high hardness, so on compressive strength, fracture toughness, thermal conductivity, chemical resistance, etc. Thanks to these unique properties of SHM is widely used in modern engineering, as an effective tool material.

In 2019 year "Akademperiodyka" in the project "Ukrainian scientific book in a foreign language" published the book «**Grinding wheels of superhard materials for diamond-abrasive processing: new in the famous** / Valerii Lavrinenko; V.N. Bakul Institute for Superhard Materials of the NAS of Ukraine. – Kyiv: Akademperiodyka, 2019. – 190 p.» (foto).

So in this monograph and led ranks and new information about the structures and properties of materials, and in instruments to which they are applied, as well as information on the processes of image processing using them. The this monograph in Chapter 1 provides a information of new studies in the superhard abrasives, lists physical-mechanical characteristics of diamond grits synthesized in the various growth system and abrasive composites based on cBN micron powders structured by carbon binder. It has been found out that the larger the amount of magnetic impurities in the crystal, the lower the relative diamond consumption per unit volume of material removed. It is shown that the cBN micropowder



based composite grits are suitable for the use as abrasive elements in the working layer of wheels for finish grinding conditions, where the work-piece surface is requirsd to have peculiar “oil pockets” that cannot be achieved. by standard superabrasive wheels. The present-day metal-working industry requires that the grinding tools to be used should have a guaranteed wear resistance and sustained cutting ability. One of the key premises for achieving this target is to provide structure regularity for a grinding tool working layer – its isotropy or, for example, directed anisotropy. So in Chapter 2 showing the technological and energy-related aspects of allowing for and ensuring of structural orientation in the working layer of superabrasive wheels. Chapter 3 provides information about composites based on cBN micron powders structured by carbon binder for the application as bearing elements in the working layer of wheels. In addition, the present investigations have revealed that mineral grain concentrates–rutile–produced in Ukraine are suitable for the use as bearing elements in the wheel working layer. In Chapter 4 drawn attention to the effect of changes in the form of the wheel cutting surface on the grinding process. The present investigation allows a statement that in view of the above-mentioned form changing of the wheel working surface in the radial and circular directions, the actual wheel working surface area responsible for the material removal per one wheel revolution in rigid face grinding is reduced to 40% of the total area. This results in the fact that as the removal rate is increased there is a lack of reserve of the working surface area. This leads to an increase in load in contact zone, which in turn is responsible for chipping and burning on a workpiece surface as well as for considerable increase in wear of SHM wheels. Chapter 5 summarizes new research on the structurally changed layer of superabrasive wheel and workpiece contact surfaces as a factor of improving their wear resistance. In Chapter 6 shows the role of superabrasive grinding wheels in the machine tool system and restrictions by the rigidity criterion. Chapter 7 presents are new approaches to selecting the composition of process liquids as a non-coventional means of implicit polarization in diamond grinding. In Chapter 8 shown the influence of various grinding wheel characteristics and machining conditions on the workpiece surface roughness. In Chapter 9 shows the influence of plasma on surface modification process and thermal action on the structure and phase composition of cutting-tool composites.

Thus, in this first monograph summarizes information about grit of SHM, their location in working wheel layer and shows that for to reduce the intensity of friction processes in the zone of grinding with superabra-

sive wheels and, especially, to decrease friction on the wheel bond surface, one should change the bond surface state in the two main ways: first, by increasing bond hardness using antifriction compacts of carbon-bound cBN micron powders, and second, by producing protective films on the bond surface, while the films on the working surface should be passivating ones or should be forcedly formed, e.g.m by plasma deposition, but with an increased amount of oxygen.

The author hopes that this monograph finds quite a wide range of users among professionals and help them in academic, scientific and practical activity.

Edition from the project “Ukrainian scientific book in a foreign language” «Grinding wheels of superhard materials for diamond-abrasive processing: new in the famous» already found a wide range of users and allows them to help them in everyday scientific and daily activities. If desired, you can buy a book in the V.N. Bakul Institute of the NAS of Ukraine.

*Литвиненко О.А., Бойко Ю.І. Національний
університет харчових технологій, Київ
Полонський Л.Г., Яновський В.А. Державний університет
“Житомирська політехніка, Житомир, Україна*

ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ САМ-САД ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ЗНОШЕНИХ ДЕТАЛЕЙ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Слід відмітити, що на даний час багато підприємств харчової та переробної галузі використовують технологічне обладнання, що виготовлене понад 2025 років тому назад та яке потребує заміни або капітального ремонту, але при цьому запасні частини до нього серійно вже не виробляються. Це зменшує його ремонтопридатність та ускладнює реалізацію діючих виробничих процесів на підприємстві [1].

Водночас при сучасних економічних відносинах, коли на підприємствах зруйнована система планового технічного обслуговування та ремонтів, виникає гостра потреба у виготовленні невеликої кількості з деталей замість зношених, що підлягають заміні при ремонті діючого технологічного обладнання.

За таких умов найбільш раціональним та ефективним шляхом виготовлення нових конструкцій зношених деталей є їх виробництво на замовлення з використанням сучасних САМ-CAD систем та багатоопераційних верстатів з ЧПК.

Для прикладу розглянемо використання програмних комплексів CAD-CAM систем «Autodesk Inventor», «ESPRIT» та «Creo Parametric» для виготовлення на замовлення підприємства ТОВ «Укрпродпереробка» робочого колеса відцентрового електронасоса КМ 65-50-220. При цьому за допомогою вказаних програмних комплексів були розроблені технологічний маршрут та керуюча програма обробки деталі на вертикально-фрезерному обробляючому центрі Haas UMC -750 з ЧПК.

Моноблокний електронасос КМ 65-50-220 (виготовлений в 1994 р.) використовується в технологічній схемі водоочищення м'ясопереробного підприємства. Цей насос призначений для перекачування стічних вод при їх реагентно-флотаційному очищенні. Швидкозношуваними деталями, що підлягають заміні при ремонті, є проточна камера та робоче колесо, що виготовлені з срібого чавуну

Візуальний і мікроскопічний аналіз зношення робочого колеса, яке експлуатувалось тривалий час, показало переважно гідроабразивний характер його руйнування так як стічні води містять не тільки залишки переробки у вигляді шкіри, кісток тощо, але піску та інших абразивних складових, які є у промислових відходах [3].

Встановлено, що для підвищення ефективності подальшої експлуатації електронасоса конструкція стандартного робочого колеса потребує вдосконалення, а саме – збільшення кількості лопатей на чотири штуки для підвищення інтенсивності ударно-хвильової дії на середовище і додатково подрібнити в проточній робочій камері органічні забруднювачі. Тобто виникла необхідність в розробці нового робочого креслення вдосконаленого колеса з врахуванням цих змін.

Слід відмітити, що при серійному виробництві деталей та запасних частин для електронасосів такого типу проточна камера та робоче колесо виготовляються методом лиття в піщано-глиняні форми або за витоплюваними моделями з подальшою механічною обробкою окремих поверхонь для зняття поверхневого дефектного шару та забезпечення посадочних місць з'єднань з іншими деталями. Відповідно, що виготовлення таких деталей в умовах одиничного ремонтного виробництва за даною технологією не є рентабельним.

На першому етапі моделювання в середовище САМ системи «ESPRIT» завантажували з середовища CAD системи «Autodesk

Invertor» CAD файл, підготовлений у вигляді моделі вдосконаленого робочого колеса; завантажену 3D-модель розбивали на каркас з метою доступу до всіх геометричних елементів (ліній, точок, кривих, площин тощо) під час моделювання технологічного процесу.

Після цього задавали параметри розміщення деталі відносно системи координат та обирали тип заготовки.

На наступному етапі моделювання задавали траєкторію руху інструмента. Для колеса електронасоса з обраною кількістю лопатей застосовували методику “5-ти осьове фрезерування імпеллера”. Для цього створено два керуючих елементи, які розміщувались між двома лопатями і проходили по їх поверхнях. Керуючий елемент задавався по торцю і нижній кромці лопаті, але, оскільки після створення він є суцільним то його розбивали на каркас. Крім того, це зроблено з метою зміни його початкової точки, яка повинна знаходитись на певній відстані від готової деталі. По закінченні цієї операції створили траєкторії руху різального інструменту з вказанням режимів різання, підходів і відходів, вибрали різальний інструмент.

Після вибору всіх параметрів, необхідних для обробки деталі, програма розрахувала траєкторію руху інструменту, за якою проведено аналіз його руху, що дало можливість попередньо впевнитись у правильності розрахунку.

В подальшому процес обробки на верстаті з ЧПК переглянули у режимі візуалізації (рис. 1). Для цього у середовище програми завантажували файл параметрів верстата, який містить його 3D-модель, а також відомості про кінематику рухомих частин, кількість рухомих осей та технічні характеристики верстата.

Моделювання технологічного процесу обробки вдосконалого робочого колеса насоса здійснювали у середовищі САМ системи «Creo Parametric». Сам процес моделювання майже не відрізняється від вищезгаданого, оскільки здійснюється за однаковим алгоритмом (рис. 2). Основною відмінністю даних програм є те, що у «Creo Parametric» можна створювати 3D-моделі, складальні вузли, різну технічну документацію [2]. У

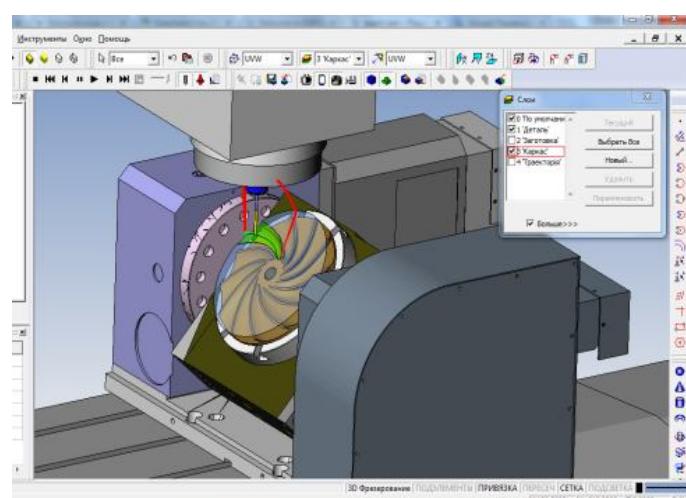


Рис. 1 – Візуалізація процесу обробки в середовищі «ESPRIT»

порівнянні з «ESPRIT» програмний комплекс «Creo Parametric» має більше рішень щодо безпосереднього моделювання. У свою чергу «Esprit» забезпечує більш широкий функціонал обробки деталей і створення технологічних процесів.

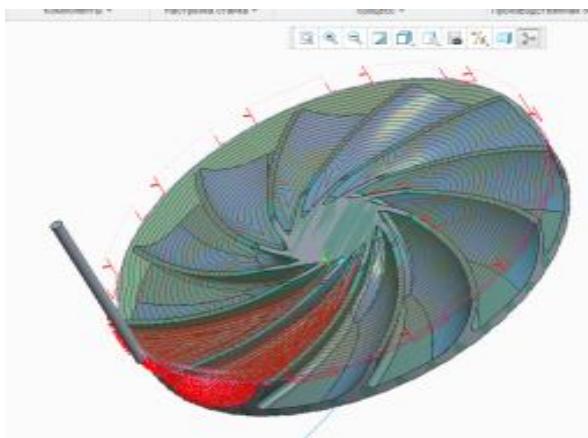


Рис 2 – Створення траєкторії інструмента в середовищі «Creo Parametric»

Виготовлення вдосконаленого робочого колеса насоса здійнювали на 5-осьовому вертикально-фрезерному центрі Haas UMC-750 з ЧПК. Верстат оснащений шпинделем з прямим приводом з частотою обертання 8100 об./хв. і стандартно комплектується боковим пристроєм заміни різального інструменту $40 + 1$ гніздо. Двовісний поворотний стіл фрезерного центру UMC-750

забезпечує встановлення деталі практично під будь-яким кутом для 5-сторонньої обробки або забезпечує повний одночасний рух по п'яти осям для контурної або складної обробки.

Висновки. Використання комп'ютерних CAD–CAM систем «Autodesk Inventor», «ESPRIT» та «Creo Parametric», для проектування та виготовлення одиничних деталей складної конфігурації, що на даний час не виготовляються в умовах серійного виробництва, є перспективним напрямком в машинобудівній галузі.

При заміні зношених деталей на виготовлені деталі за допомогою CAD–CAM технологій забезпечується можливість подальшої експлуатації технологічного обладнання після його ремонту без зміни діючої технологічної схеми виробничого процесу.

При виготовленні деталей з використанням CAD–CAM систем є можливість вдосконалення робочих параметрів їх конструкцій та забезпечити експлуатаційну надійність, довговічність і ремонтопридатність діючого технологічного обладнання.

Використання CAD–CAM систем дозволяє максимально використати на підприємстві всі технологічні можливості сучасних верстатів з ЧПК, що закладені виробником.

Література

1. Сухенко, Ю. Г. Надійність і довговічність устаткування харчових і переробних виробництв / Ю. Г. Сухенко, О. А. Литвиненко, В. Ю. Сухенко : підруч. – К. : НУХТ, 2010. – 547 с.

2. Boucher, M. Стратегия основных поставщиков CAD- и CAE-систем в 2014 году и дальше / M. Boucher [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.cadcamae.lv/N89/22-30.pdf>

3. Литвиненко, О. А. Кавітаційні пристрої в харчовій, переробній та фармацевтичній промисловості / О. А. Литвиненко, О. І. Некоз, П. М. Немирович, З. Кондрат. – К.: РВЦ УДУХТ, 1999. – 87 с.

4. Esprit [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dptechology.ru/>

5. Creo Parametric [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ptc.ru.com/cad/creo/parametric>

Манохин А.С., Муковоз С.Ю. Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Муковоз Е.А. ГВУЗ "Киевский транспортно-экономический колледж" Национального транспортного университета, Киев, Украина

СРАВНЕНИЕ СТОЙКОСТИ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН ИЗ РсВН С РАЗЛИЧНЫМИ НАНОСЛОЙНЫМИ ЗАЩИТНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

Доля выпуска режущих инструментов с покрытием в настоящее время составляет значительную часть общего объема их производства и для твердосплавных инструментов достигает 80%. Разработано большое количество типов покрытий с различными химическим составом, структурой и свойствами. Особую сложность представляет задача создания защитных покрытий для инструментов, оснащенных сверхтвердыми композитами (РсВН), предназначенных для обработки труднообрабатываемых материалов. Это связано как со свойствами основы, на которую наносится покрытие (относительно низкая адгезионная прочность пленок на таких материалах), так и с высокими температурой и контактными напряжениями, имеющими место в процессе резания. Весьма перспективными в данных условиях являются нанослойные пленки, которые обладают хорошим сочетанием твердости, зачастую превышающей 40 ГП, и повышенной, в сравнении с моноблочными системами, прочности, что обуславливает высокую эффективность таких структур с позиции повышения эксплуатационных свойств режу-

щего инструмента. Так нанослойные покрытия, содержащие разнообразные комбинации нитридов переходных металлов (TiN, TiAlN, ZrN, AlCrN, MoN, CrN, VN и др.) при точении и фрезеровании различных материалов повышают стойкость твердосплавного инструмента в 2–5 раз в сравнении с немодифицированным инструментом либо инструментом с простейшим монофазным однослойным покрытием TiN.

В экспериментах по изучению сравнительной стойкости и кинетики изнашивания инструментов с различными покрытиями применялись резцы с режущими многогранными неперетачиваемыми пластинами RNUN-070300 из РсВН марки «борсинит» (производство ИСМ НАН Украины). Композит содержит 3 масс. % Si₃N₄, имеет плотность 3,46 г/см³, упругие модули – $E = 860$ ГПа, $G = 366$ ГПа, $B = 440$ ГПа, коэффициент Пуассона $\eta = 0,175$, твердость по Виккерсу и трещиностойкость при нагрузке 98 Н – HV = $36,2 \pm 2,6$ ГПа, $K_{1c} = 11,7 \pm 1,5$ МПа·м^{1/2} [22]. Тестирование инструментов на стойкость проводилось при чистовом точении легированных сталей ХВГ (52–54 HRC).

Для определения наиболее перспективной для дальнейших исследований композиции, проведены испытания инструментов с вакуум-дуговыми покрытиями составов TiN/CrN, CrN/Mo₂N, (TiAlSiY)N, (TiAlSiY)N/Mo₂N, (TiAlSiY)N/CrN, (TiAlCrY)N/ZrN. Результаты тестов представлены на рис. 1, где для сравнения приведены также результаты, полученные для инструмента без покрытия. Условия обработки: продольное безударное точение с подачей $S = 0,10$ мм/об, глубиной резания $t = 0,20$ мм и скоростью $v = 100$ м/мин. Время резания для каждого образца – 10 мин.

Анализ диаграммы показывает, что для принятых условий резания наименьший износ характерен для инструментов, оснащенных композитами с покрытиями систем (TiAlSiY)N/CrN. Данное покрытие наносилось методом вакуум-дугового напыления на модернизированной установке «БУЛАТ-6». Технология нанесения покрытия предполагает проведение ионной очистки напыляемой основы в газовой плазме азота с последующим формированием подслоя хрома (50 нм). Параметры осаждение: PN = 0,6 Па; Ub = - 280 В; Id (TiAlSiY) = 85 А; Id (Cr) = 90 А. Твердость покрытия, измеренная нанотвердомером «Micron-gamma» с пирамидой Берковича при нагрузке 50 г, – $31,4 \pm 1,2$ ГПа, модуль Юнга – 356 ± 17 ГПа.

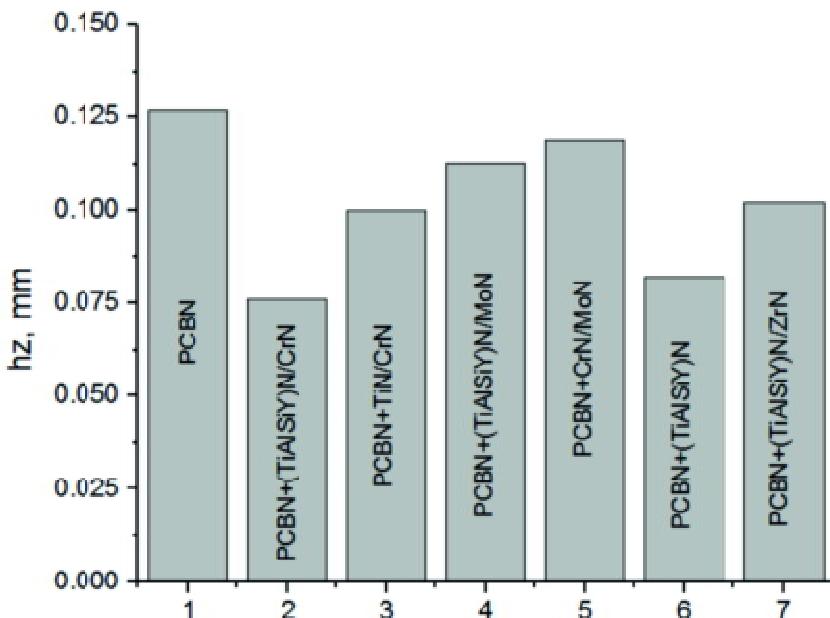


Рис. 1 – Диаграмма сравнительной эффективности покрытий

Дальнейшее исследование кинетики изнашивания таких инструментов показывает, что покрытие существенно снижает интенсивность изнашивания инструментов по задней поверхности – по результатам нескольких повторных экспериментов за 24 минуты суммарного времени резания максимальная величина фаски износа hz у модифицированных инструментов в среднем в 2,3 раза меньше. При этом существенных отличий в шероховатости поверхностей, обработанных инструментами с двумя типами композитов, в данных испытаниях не выявлено.

*Новиков Ф.В. Харьковский национальный экономический университет имени Семена Кузнеца,
Полянский В.И. ООО «Империя металлов»,
Коломиец В.В. Харьковский НТУ сельского хозяйства
имени Петра Василенко, Харьков, Украина*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ

Одним из основных недостатков механической обработки является относительно высокая температура резания, ограничивающая достижение высоких показателей качества и производительности обработки. Особенно это относится к процессу шлифования, при

котором на обрабатываемой поверхности могут образовываться прижоги, микротрешины и другие температурные дефекты. При лезвийной обработке температура резания меньше, что позволяет в ряде случаев отказаться от процесса шлифования и окончательную обработку производить режущими лезвийными инструментами, например, изготовленными из синтетических сверхтвердых материалов. В связи с этим возникает необходимость более тщательного теоретического анализа возможностей уменьшения температуры резания при лезвийной обработке.

Для этого предложен новый теоретический подход к определению температуры резания при лезвийной обработке. Его суть состоит в том, что в расчетной схеме процесса резания (предложенной профессором Якимовым А.В.), основанной на представлении снимаемого припуска в виде пакета элементарных прямолинейных адиабатических стержней, которые расположены перпендикулярно направлению движения режущего инструмента и перерезаются им, необходимо учитывать количество образующихся сдвиговых элементарных объемов обрабатываемого материала, влияющих на температуру резания. По сути, необходимо перейти от учета непрерывного характера перерезания адиабатического стержня режущим инструментом (при шлифовании) к дискретному характеру его перерезания (при лезвийной обработке).

Аналитическая зависимость для определения температуры резания θ с учетом непрерывного перерезания адиабатического стержня со скоростью $V_{рез}$ при резании лезвийным инструментом имеет вид (рис. 1):

$$\left(1 - \frac{\theta}{\theta_{\max}}\right) \cdot e^{\frac{\theta}{\theta_{\max}}} = e^{-\frac{c \cdot \rho \cdot V_{рез} \cdot a}{\lambda}},$$

где $\theta_{\max} = \sigma / (c \cdot \rho)$ – максимальная температура резания, град; σ – условное напряжение резания, $\text{Н}/\text{м}^2$; c – удельная теплоемкость обрабатываемого материала, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{град})$; ρ – плотность обрабатываемого материала, $\text{кг}/\text{м}^3$; λ – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{град})$; a – толщина среза, м.

Расчетами установлено, что с увеличением количества образующихся сдвиговых элементарных объемов обрабатываемого материала (количества перерезаний адиабатического стержня n) температура резания θ и отношение θ/θ_{\max} увеличиваются (рис. 2).

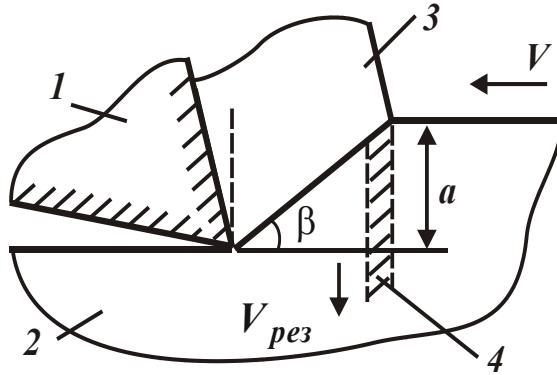


Рис. 1 – Расчетная схема параметров теплового процесса при точении:
 1 – резец; 2 – обрабатываемый материал; 3 – образующаяся стружка;
 4 – адиабатический стержень

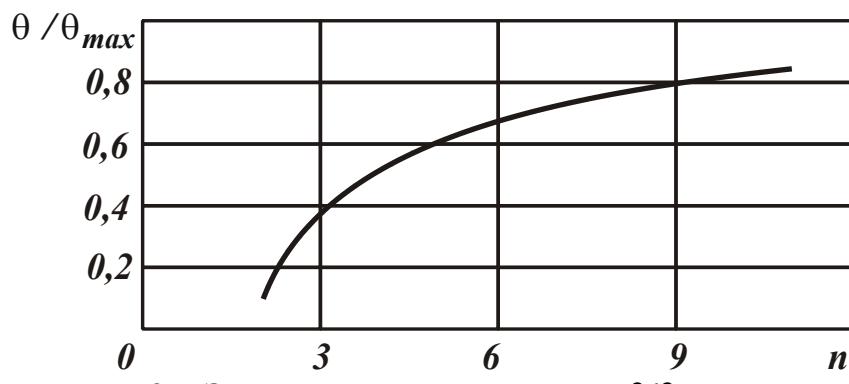


Рис. 2 – Зависимость отношения θ / θ_{max} от n

Этим можно объяснить повышенные значения температуры резания при шлифовании ($n \gg 1$) по сравнению с процессом точения. Например, при $n = 1$ (т.е. при лезвийной обработке) все выделившееся при резании тепло остается в срезанной части адиабатического стержня, а затем уходит в образующуюся стружку, снижая тем самым температуру резания и повышая качество и производительность обработки. Поэтому на операциях финишной обработки материалов необходимо по возможности использовать процессы резания лезвийными инструментами вместо процессов шлифования с целью обеспечения высоких показателей качества и производительности обработки. Этим показано, что в реальных условиях лезвийной обработки следует расчет температуры резания производить с учетом дискретного характера перерезания адиабатического стержня в процессе резания, поскольку при непрерывном характере перерезания адиабатического стержня температура резания θ принимает повышенные значения, что справедливо применительно к процессу шлифования.

Основным условием уменьшения количества перерезаний адиабатического стержня n следует рассматривать увеличение условно-

го угла сдвига обрабатываемого материала β за счет применения более совершенных режущих лезвийных инструментов, характеризующихся высокой режущей способностью и обеспечивающих снижение интенсивности трения в зоне резания. Очевидно, чем больше толщина элементарного объема отделяющегося элемента обрабатываемого материала вследствие его сдвига по условной плоскости сдвига, тем меньше степень его деформации и, соответственно, меньше условное напряжение резания σ , которое связано с условным углом сдвига обрабатываемого материала β зависимостью: $\sigma = \sigma_{сж}/\operatorname{tg}\beta$, где $\sigma_{сж}$ – предел прочности на сжатие обрабатываемого материала, Н/м^2 .

Как видно, с уменьшением условного напряжения резания σ увеличивается условный угол сдвига обрабатываемого материала β , что приводит к увеличению толщины элементарного объема отделяющегося элемента обрабатываемого материала и уменьшению количества перерезаний адиабатического стержня n . В свою очередь, уменьшение условного напряжения резания σ способствует уменьшению максимальной температуры резания $\theta_{\max} = \sigma/(c \cdot \rho)$ и, соответственно, текущего значения температуры резания θ для заданных условий обработки. Этим показана более сложная связь параметров теплового процесса при резании материалов в закономерностях формирования температуры резания, чем это принято в известных расчетных схемах.

Учет количества перерезаний адиабатического стержня n позволяет уточнить известные аналитические решения по определению температуры резания. Например, экспериментально установлено, что при точении стали 45 и стали Р6М5 резцами из гексанита-Р температура резания отличается незначительно, хотя сталь Р6М5 прочнее стали 45 в несколько раз. Следовательно, теоретически с этих позиций температура резания при точении стали Р6М5 должна также в несколько раз превышать температуру резания при точении стали 45. Однако этого не происходит вследствие того, что, как установлено экспериментально, условный угол сдвига обрабатываемого материала β при обработке стали Р6М5 приближается к 45° , тогда как при точении стали 45 он составляет всего 20° . Поэтому количество перерезаний адиабатического стержня n при точении стали Р6М5 меньше, чем при точении стали 45, что и приводит к снижению температуры резания стали Р6М5 до уровня температуры резания стали 45.

Как видно, в данном случае вследствие более высокой прочности стали Р6М5 относительно «улучшаются» условия ее обработки: уменьшается степень деформации и, соответственно, условное напряжение резания σ , увеличивается условный угол сдвига обрабатываемого материала β . В совокупности с уменьшением количества перерезаний адиабатического стержня n это и приводит к снижению температуры резания стали Р6М5 фактически до уровня температуры резания стали 45. Таким образом, учет величины n является важным фактором в формировании температуры резания при лезвийной обработке, позволяющим научно обоснованно подойти к установлению условий ее уменьшения и оценке возможностей эффективного перехода на финишных операциях от процесса шлифования к современным методам лезвийной обработки с целью снижения температуры резания и повышения качества обрабатываемых поверхностей.

Новиков Ф.В. Харьковский национальный экономический университет имени Семена Кузнецова, Харьков
Сергеев А.С., Андилахай А.А. Приазовский государственный технический университет, Мариуполь, Украина

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ И КАЧЕСТВА АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ВНУТРЕННИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Точность механической обработки отверстий во многом определяется несоосностью обрабатываемого отверстия и режущего многолезвийного инструмента (сверла, зенкера, развертки, хона и т.д.). Это происходит в результате отклонения оси инструмента или обрабатываемого отверстия относительно исходного положения в связи с неравномерностью снимаемого припуска. По мере увеличения количества проходов инструмента (одного диаметра) эта несоосность уменьшается, однако остается погрешность обработки, образованная на первом проходе инструмента. В результате максимальный диаметр обрабатываемого отверстия становится больше диаметра режущего осевого инструмента, т.е. происходит «разбивка отверстия». Чтобы исключить такую погрешность обработки,

необходимо на каждом последующем проходе инструмента увеличивать его диаметр. Как показывает практика, для этого эффективно применять разные инструменты (например, сверло, зенкер, развертку), увеличивая их диаметр на каждом последующем проходе. Данные инструменты, отличаясь количеством режущих лезвий, позволяют улучшить не только параметры точности, но и показатели шероховатости обработанной поверхности.

Наибольший эффект обработки достигается от применения метода хонингования абразивным инструментом с упругими свойствами. В этом случае на первом проходе инструмента вследствие всестороннего сжатия его диаметр уменьшается, а на последующих проходах вследствие уменьшения толщин снимаемого слоя материала диаметр инструмента увеличивается. В результате уменьшается несоосность инструмента и обрабатываемого отверстия по мере увеличения проходов, устраняется неравномерность снимаемого припуска и повышается точность обработки. Диаметр обработанного отверстия приближается к диаметру инструмента, что фактически исключает «разбивку отверстия». Поскольку количество продольных ходов абразивного инструмента при хонинговании значительно, то по сравнению с лезвийной обработкой отверстия это обеспечивает повышение точности и качества обработки. Однако метод хонингования не позволяет добиться расположения рисок-царапин от проработавших абразивных зерен вдоль обрабатываемого отверстия (или внутренней цилиндрической поверхности), что снижает износостойкость и работоспособность уплотнений поршня в процессе эксплуатации гидро- и пневмоцилиндров. Этим же недостатком обладает и традиционно используемая технология обработки внутренних поверхностей цилиндров с применением растачивания и последующего внутреннего шлифования.

С целью обеспечения расположения рисок-царапин вдоль обрабатываемой внутренней поверхности цилиндра на кафедре «Технология машиностроения» ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет» (г. Мариуполь) разработан метод внутреннего шлифования, при котором ось вращения шлифовального круга с индивидуальным приводом устанавливается перпендикулярно оси вращения обрабатываемого цилиндра. В данном случае абразивные зерна шлифовального круга срезают обрабатываемый материал в направлении, фактически совпадающем с осью обрабатываемого цилиндра. Это открывает широкие возможности создания принципиально нового по структуре рельефа обработанной поверхности,

улучшающего условия контактирования уплотнительных колец поршня с внутренней поверхностью цилиндра при его рабочем ходе. Однако, как показали проведенные исследования, добиться высоких показателей точности и шероховатости обработанной поверхности обычными абразивными кругами сложно. Гораздо эффективнее шлифование производить мягким войлочным (фетровым) кругом с наклеенным слоем абразивного порошка 63С 20П, который, благодаря своим упругим свойствам, обеспечивает высокие показатели круглости и цилиндричности обрабатываемой внутренней поверхности, т. е. обеспечивает высокую точность обработки. Также существенно уменьшается параметр шероховатости поверхности Ra (до уровня Ra 0,04) без увеличения трудоемкости и уменьшения производительности обработки. Это обусловлено значительным увеличением площади контакта шлифовального круга с обрабатываемым материалом и, соответственно, увеличением количества одновременно работающих зерен вследствие упругого деформирования рабочей поверхности круга. Кроме того, количество работающих зерен увеличивается еще и за счет их заглубления в мягкую связку круга, что приводит к снижению разновысотного расположения зерен над уровнем связки и дополнительно уменьшает параметр шероховатости поверхности Ra . Необходимо отметить, что добиться таких высоких показателей точности и шероховатости обработанной поверхности при шлифовании обычным абразивным кругом невозможно, особенно в условиях внутреннего шлифования, где используются шлифовальные круги относительно небольшого диаметра.

Очевидно, обеспечить расположение образующихся рисок-царапин от проработавших абразивных зерен вдоль обрабатываемой внутренней поверхности цилиндра в данном случае можно при значительном превышении скорости вращения круга над скоростью вращения обрабатываемого изделия. Однако для уменьшения параметра шероховатости поверхности Ra необходимо уменьшать продольную подачу, а это достигается главным образом за счет увеличения скорости вращения обрабатываемого изделия. Поэтому добиться расположения образующихся рисок-царапин от проработавших абразивных зерен вдоль обрабатываемой внутренней поверхности цилиндра можно, устанавливая ось шлифовального круга под определенным углом к вектору скорости вращения обрабатываемого изделия. Как установлено экспериментально, реализация этого способа шлифования позволила повысить точность и качество обработки, а также эксплуатационные свойства гидро- и пневмоцилиндров.

*Ночвай В.М., Вергелес В.В., Томашевський О.О.,
Савич Ю.Ю. Державний університет «Житомирська
політехніка», Житомир, Україна*

ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ТВЕРДОСПЛАВНИХ РІЗЦІВ

Стійкість різця при обробці напилених покриттів залежить від матеріалу різця, його геометрії та режимів різання. Дослідження стійкості різців проведено при обробці покриттів, отриманих газополуменевим напиленням порошку ПГ-СР2 на зразки зі сталі 45 Ø 50 мм і довжиною 500 мм. Товщина шару покриття 1,5 мм. Твердість покриття 40–45 HRC.

Обробку покриттів виконано на токарно-гвинторізному верстаті 16К20 без охолодження при зовнішньому поздовжньому точінні. В якості критерію затуплення було прийнято спрацювання по задній поверхні різця. Вимірювання величини площини спрацювання виконано за допомогою лупи Брінелля.

Дослідження залежності стійкості токарних різців від головного кута в плані φ виконано з використанням інструментів із твердого сплаву ВК3 (табл. 1). Обробку покриттів виконували на наступних режимах: швидкість різання – $V = 22,6$ м/хв, подача – $S = 0,125$ мм/об, глибина різання – $t = 0,2$ мм. Границя величина зносу – 0,4 мм.

Таблиця 1 – Результати вимірювань стійкості різця

Номер досліду	Головний кут в плані φ, град.	Стійкість різця τ, хв
1	30	58
2	90	40

Дослідження залежності стійкості різців від переднього кута γ виконано з використанням інструментів з твердого сплаву ВК3 (табл. 2). Обробку покриттів виконували на наступних режимах: швидкість різання – $V_1 = 22,6$ м/хв, $V_2 = 35,3$ м/хв, подача – $S = 0,15$ мм/об, глибина різання – $t = 0,2$ мм. Границя величина зносу – 0,4 мм.

Таблиця 2 – Результати вимірювань стійкості різця

Номер досліду	Передній кут різця, γ, град.	Стійкість різця при швидкості різання:	
		$V_1 = 22,6$ м/хв, τ, хв	$V_2 = 35,3$ м/хв, τ, хв
1	-5	50	16
2	0	42	24
3	+15	28	12

Дослідження залежності стійкості різців з твердого сплаву ВК4 від подачі проведено при швидкості різання $V = 20$ м/хв і глибині різання $t = 0,2$ мм. Геометричні параметри різця: $\phi = 30^\circ$; $\phi_1 = 15^\circ$; $\gamma = 0^\circ$; $\alpha = 6^\circ$. Границя величина зносу – 0,8 мм (табл. 3).

Таблиця 3 – Стійкість різців ВК4 при обробці сплаву ПГ-СР2 при подачі S

Тривалість процесу різання τ , хв	Знос різця h , мм при подачі:	
	$S_1 = 0,06$ мм/об	$S_2 = 0,125$ мм/об
10	0,08	0,15
20	0,11	0,22
30	0,17	0,28
40	0,20	0,32
50	0,30	0,37

Дослідження залежності стійкості різців від швидкості різання проведено при подачі $S = 0,15$ мм/об і глибині різання $t = 0,3$ мм з використанням різця, який має наступні геометричні параметри: $\phi = 30^\circ$; $\phi_1 = 15^\circ$; $\gamma = 0^\circ$; $\alpha = 10^\circ$ (табл. 4).

Таблиця 4 – Стійкість різців ВК4 при обробці сплаву ПГ-СР2 при швидкості різання V

Тривалість процесу різання τ , хв	Знос різця h , мм при швидкостях різання:			
	$V_1 = 19$ м/хв	$V_2 = 26$ м/хв	$V_3 = 33$ м/хв	$V_4 = 37$ м/хв
5	0,15	0,2	0,22	0,3
10	0,2	0,28	0,4	0,4
15	0,22	0,31	0,6	0,6
20	0,25	0,32	–	–
30	0,27	0,34	–	–
35	0,29	0,35	–	–

Дослідження залежності стійкості різців від глибини різання проведено при швидкості різання $V = 20$ м/хв і подачі $S = 0,15$ мм/об з використанням різця, який має наступні геометричні параметри: $\phi = 60^\circ$; $\phi_1 = 15^\circ$; $\gamma = 0^\circ$; $\alpha = 6$ (табл. 5).

Дослідження залежності стійкості токарних різців від вмісту карбіду вольфраму в різальному інструменті виконано з використанням твердих сплавів ВК3, ВК4, ВК8 та Т15К6. Обробку покріттів виконували на наступних режимах: швидкість різання –

$V = 20$ м/хв, подача – $S = 0,15$ мм/об, глибина різання – $t = 0,2$ мм. Геометричні параметри різальних інструментів: кут в плані $\phi = 60^\circ$, допоміжний кут у плані $\phi_1 = 15^\circ$, передній кут $\gamma = 0^\circ$, головний задній кут $\alpha = 6^\circ$ (табл. 6).

Таблиця 5 – Стійкість різців ВК4 при обробці сплаву ПГ-СР2 при глибині різання t

Тривалість процесу різання τ , хв	Знос різця h , мм при глибині різання:	
	$t_1 = 0,2$ мм	$t_2 = 0,4$ мм
10	0,18	0,32
20	0,25	0,46
30	0,32	0,60
40	0,40	–
50	0,44	–
60	0,47	–

Таблиця 6 – Результати вимірювань спрацювання різців

Твердий сплав	Вміст карбіду вольфраму, %	Спрацювання різця h_3 , мм	Стійкість різця τ , хв
ВК3	97	0,32	38
ВК4	96	0,32	30
ВК8	92	0,32	10
T15K6	79	0,32	8

Висновки:

1. Аналіз результатів дослідів показав, що найменше спрацювання мають інструменти, оснащені твердим сплавом ВК3. Тверді сплави ВК3 та ВК4, незважаючи на високу хрупкість, забезпечують нормальну роботу інструмента і можуть бути використані для обробки твердих зносостійких покріттів.

2. Сплави ВК8 та Т15К6 мають період стійкості до 10 хв. Із збільшенням вмісту карбіду вольфраму в твердосплавному різальному інструменті стійкість різця зростає.

3. В результаті досліджень встановлено, що зі збільшенням переднього кута різця його стійкість зменшується. Зі збільшенням головного кута в плані стійкість різця зменшується.

4. Тому що при обробці зносостійких напилених покріттів між стійкістю твердосплавних різців і геометричними параметрами різ-

ця існує зв'язок, це дає можливість визначити оптимальні значення цих параметрів.

5. При збільшенні подачі та глибини різання стійкість інструментів зменшується.

6. Зі збільшенням швидкості різання стійкість інструментів зменшується. Рекомендується робота при швидкостях порядку 20–22 м/хв.

7. Рекомендується використовувати різці з додатковою різальною крайкою $l_d = 0,4\text{--}0,6$ мм. Таке заточування дозволяє значно (до 0,5 мм/об) збільшити подачу, що дозволяє збільшити продуктивність праці без зменшення стійкості інструмента.

8. При заточуванні інструмента рекомендується притупити гострі країки $r = 0,1\text{--}0,2$ мм.

*Пашенко Є.О., Рябченко С.В., Кухаренко С.А.
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля,
Київ, Україна*

ВИГОТОВЛЕННЯ ПРАВЛЯЧИХ РОЛИКІВ З CVD-АЛМАЗУ

Розробка технології виготовлення нового класу роликів з CVD-алмазу є актуальною для прецизійної правки абразивних кругів, що використаються при шліфуванні зубчатих коліс.

Проблема полягає у тому, що вказаний вище новий клас правлячого інструменту з CVD-алмазу ніколи не розроблявся та не виготовлявся в Україні. Однак, даний клас правлячого інструменту використовується на машинобудівних підприємствах України для правки сучасних абразивних кругів при шліфуванні зубчастих коліс та інших виробів. Для виконання даної роботи нами була розроблена технологія виготовлення нового класу правлячого інструменту з CVD-алмазу, відпрацьована технологія правки абразивних кругів цим інструментом та проведено впровадження нового класу правлячого інструменту з CVD-алмазу для правки абразивних кругів при шліфуванні.

CVD-алмази спеціально розроблені для правки та вирівнювання шліфувальних кругів. Поставляються в основному у вигляді стрижнів, вони добре поєднуються з традиційними технологіями виробниц-

тва інструментів для правки і мають перевагу тривалого і рівномірного зносу, причому здатність до правки не залежить від орієнтації.

Інструменти для прецизійного формоутворення абразивних кругів складають найбільш складний з точки зору виготовлення, найбільш привабливий з економічної точки зору та критично важливий з точки зору застосування сегмент інструментального виробництва. Всі згадані світові виробники в даний час виявляють значний інтерес до створення технологій виготовлення правлячого інструменту з використання CVD-алмазу.

Одним з найбільш перспективних способів закріплення зерен CVD-алмазу в інструменті металевими активно-адгезійними з'язками є вакуумне напилення, що дозволяє різко збільшити насиченість матриці алмазами. У порівнянні з пресуванням такий процес має ряд переваг: можливість виготовлення виробів складної форми без використання прес-форм, забезпечення високої продуктивності, формування алмазовмісних шарів на поверхні виробів різної конфігурації і розмірів.

При роботі алмазного фасонного інструменту слід виключати процес самозаточування його робочої поверхні. Однак на деяких операціях правки шліфувальних кругів необхідно оновлювати ріжучі вершини зерен з високою крайкостійкістю. В іншому випадку на ріжучих зернах з'являються площадки затуплення, а шліфувальний круг,

віправлений таким роликом, має низьку ріжучу здатність, внаслідок чого виникають «припали» на оброблюваній поверхні.

Для проведення випробування правлячого інструменту з CVD-алмазу нами розроблені та виготовлені зразки правлячих роликів діаметром 150 мм для правки зубошліфувальних кругів. Правлячий ролик мав 180 штук кристалів CVD-алмазу розміром $1,0 \times 0,8 \times 0,8$ мм (0,01 карата), які були розміщені з двох сторін ролику по 90 штук з кожної сторони через чотири градуси один від одного (рис. 1).

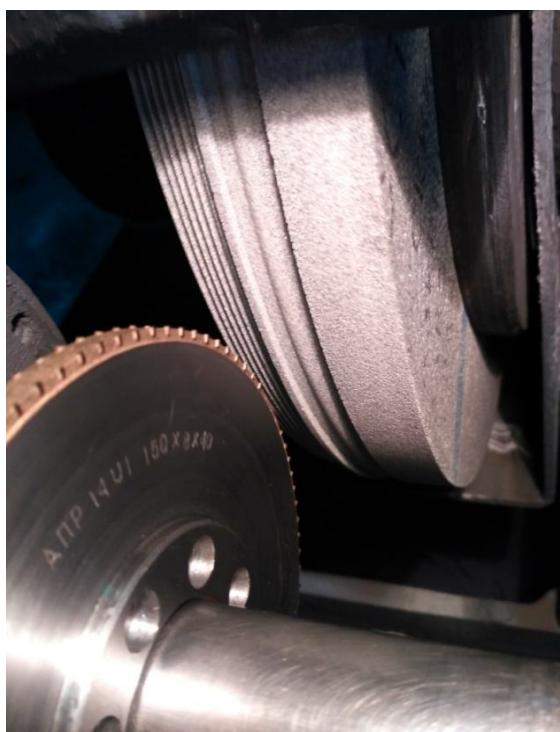


Рис. 1 – Ролик з CVD-алмазу при правці шліфувального круга

Випробування проводились на підприємстві «Мотор-Січ» (м. Запоріжжя) при правці високопористих абразивних кругів при шліфуванні зубчастих коліс з загартованих сталей на верстаті з ЧПК «КАПП – Пфаутер».

Нами створена завершена науково-технічна продукція, а саме, правлячі інструменти різних форм і діаметрів на структурованих металічних зв'язках, оснащені елементами з CVD-алмазу та адаптовані до технологічних ланцюгів виготовлення високоточних зубчастих коліс для редукторів з підвищеними експлуатаційними характеристиками.

*Подгорный Г.В. ОАО «НПО «Центр» НАН Беларуси,
Ермаченок А.Г. Международный университет
«МИТСО», Минск, Беларусь*

ИНОВАЦИИ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Аддитивное производство (АП) – это производственный процесс, использование которого в значительной степени обусловлено его способностью создавать относительно беспрепятственную настройку дизайна изделий, и в то же время содержит меньше технологических ограничений по сравнению с традиционными производственными процессами. АП как процесс отделяет себя от традиционных методов (ковка, литье и др.) в том, что он добавляет повышенную гибкость дизайна при выборе формы и геометрии желаемой детали. Кроме того, аддитивные возможности на основе сплавления материалов с различной микроструктурой слой за слоем, позволяют применять любые особенности АП. Это позволяет создавать пользовательские функционально классифицированные материалы через аддитивные технологии (АТ), и предоставляет возможность получить материалы с индивидуальными микроструктурами с заданными параметрами и производительностью.

При описании АП важно применять целостный подход к процессу проектирования в той части, которая использует АП, и включает в себя как процесс проектирования детали, так и метод ее изготовления. С этой точки зрения можно выделить следующие направления для исследования как в части дизайна, так и в части про-

цессов для АП, а также их взаимосвязь для производства различных компонентов и деталей:

- методы и подходы к АТ по дизайну, выявление различных методов проектирования,
- процессные аспекты АТ дизайна, иллюстрирующие актуальность свойств материала,
- производительность и операции постобработки (оценка и проверка деталей),
- современные инструменты дизайна, доступные для АП,
- экономические соображения при оценке АП как производственного процесса.

Автором дается подробное описание ключевых соображений при принятии решения о создании измельчительных комплексов для производства кубовидного щебня с использованием АП, а также важность взаимосвязи между частью и процессом.

При выборе АП в качестве метода производства существует несколько типов процессов, которые могут быть использованы для производства металлических деталей. Из этих процессов есть два наиболее распространенных – это системы порошкового слоя и системы осаждения направленной энергии. Оба метода в настоящее время используются для производства деталей АТ в некоторых отраслях, при этом наблюдается тенденция увеличения доли с каждым годом. Проанализируем эти два метода АП деталей.

Существует тесная связь между процессом и дизайном при оценке АП как метода производства. Свобода дизайна, выделенная из различных процессов, которые существуют в настоящее время для производства деталей АТ, обеспечивают новую гибкость при выборе геометрического дизайна детали. По этой причине трудно разработать деталь, которая полностью использует возможности АП, не понимая гибкость и ограничения, которые обеспечивает процесс.

Рассмотрим различные методы, которые в настоящее время используются при проектировании и разработке АП части.

Топологическая оптимизация. Топологическая оптимизация – это процесс, который фокусируется на модификации структуры детали и ее варьирующихся параметров или поверхности конструкции путем изменения этой поверхности с помощью предварительно определенной цели, наряду с применяемыми проектными ограничениями, как правило, с металлическим дизайном детали АП.

Целью топологической оптимизации является уменьшение веса (объема) детали с помощью ограничения на то, что деталь не поддается или выходит из строя в соответствии с предписанной эксплуатационной частью требования. При выполнении топологической оптимизации детали, есть различные программные инструменты, которые могут быть использованы для помощи в процессе проектирования.

Топологическая оптимизация посредством моделирования обычно проводится в сочетании с программным пакетом конечных элементов, в котором алгоритм оптимизации использует выходные данные модели конечных элементов, такие как напряжение, деформация, сила контакта и смещение. Посредством итеративного процесса алгоритм оптимизации изменяет топологию детали, пока желаемая цель не будет достигнута в рамках ограничений.

Консолидация деталей. Консолидация деталей в рамках АП – это процесс, применяемый специально для нескольких частей сборок и конструкций. Это метод использования компетенций в процессе изготовления оборудования АП, чтобы уменьшить сборку из нескольких частей, состоящих из многих компонентов в переработанную часть, которая имеет те же функциональные возможности, но разработана, чтобы включать меньше общих компонентов. Преимуществом консолидации деталей в АП является упрощение, потенциальное улучшение производительности и сокращение необходимых инструментов и времени изготовления. С точки зрения производителя, уменьшение компонентов может быть существенным фактором, способствующим снижению накладных расходов, связанных с трудом, инструментами и запасами, необходимыми для этой сборки.

С точки зрения пользователя это обычно означает более простое использование и обслуживание продукта. По этим причинам консолидация и упрощение частей напрямую соотносятся со снижением затрат как для поставщиков, так и для клиентов.

Метод консолидации деталей в АП прост в том, что существующая деталь или конструкция, состоящая из нескольких компонентов, переработана для минимизации в количестве компонентов, необходимых для функциональной работы детали.

Трудностей с этим методом обычно нет как при выполнении процесса консолидации, так и при выборе частей для процесса, которые подходят. Как правило, стоимость детали является основной движущей силой для применимости этого процесса.

Интеграция и ремонт деталей. Концепция интеграции деталей не нова для изготовления конструкций, но в контексте АП она включает в себя процесс объединения компонентов или узлов вместе с использованием АП материала в качестве носителя. Преимущество интеграции деталей зависит от оборудования, но общее преимущество заключается в использовании этого процесса для интеграции отдельных деталей, используя АП, чтобы уменьшить проблемы сборки или трудозатраты.

Еще одним преимуществом процесса является его применение в обслуживании и ремонте. Операции, при которых конструкция или деталь ремонтируется с использованием АП после какого-то повреждения одного из его компонентов, который нелегко отремонтировать и заменить с использованием традиционных методов. Вместо того, чтобы сломать всю часть или структуру, АТ материал может быть добавлен к месту повреждения в качестве замены материала присоединения нового компонента к структуре, а затем выполнения любых необходимых вторичных операций, необходимых для возврата всей детали или конструкции к работе.

Другие методы. Одно из преимуществ АП, которое стоит кратко упомянуть, – это использование процесса как средства увеличения несущей способности детали или конструкции. Специально используют АП как процесс нанесения покрытия или покрытия для увеличения износостойкости детали, или используют его для создания временного слоя вдоль опорной поверхности части, которая находится в контакте со вторичной частью или структурой. Это обычно включает добавление материала на подложку из другого основного материала с использованием процесса АП. Возможность этого метода обычно вытекает из качества интерфейса добавки и основного материала.

В зависимости от выбора материала и используемого процесса АП, такие проблемы могут возникнуть от различных остаточных напряжений во время печати или наличия аномалий и пустоты на интерфейсе.

*Позняков В.Д., Гайворонский А.А. Институт
электросварки им. Е.О. Патона, Киев, Украина*

СОЗДАНИЕ РЕМОНТНО-СВАРОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПРИМЕРЫ ИХ ВНЕДРЕНИЯ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

В настоящее время в Украине и других странах СНГ эксплуатируется большое количество инженерных сооружений и машин, которые исчерпали назначенный срок службы или близки к этому состоянию. Большинство из таких конструкций имеют усталостные и хрупкие повреждения. Учитывая их техническое состояние, дальнейшая эксплуатация изделий становится не безопасной. В зарубежных источниках технической информации отмечается, что похожая проблема существует и в ряде экономически развитых странах.

Несмотря на то, что у многих конструкций превышен срок эксплуатации, новыми они практически не заменяются. Основная причина – огромные затраты на их покупку и установку. Кроме этого, во время замены старых конструкций на новые, те и другие не будут функционировать, что приводит к существенным убыткам. Поэтому в настоящее время тенденция сводится к максимальному продлению срока их эксплуатации.

Наиболее простым, но в тоже время и сложным способом восстановления металлоконструкций является сварка. Ее простота заключается в том, что сварку можно производить непосредственно на месте работы конструкции в короткие сроки (в большинстве случаев она не требует выполнения работ по демонтажу и монтажу оборудования) и при относительно небольших материальных затратах. Сложность же таких работ состоит в том, что при ремонте приходится сваривать металл, который в процессе эксплуатации изменил, свои свойства и накопил макро- и микроповреждения.

В последние годы сотрудники ИЭС им. Е.О. Патона все чаще проводят работы направленные на создание сварочных технологий для восстановления машин, механизмов и сооружений, которые эксплуатируются на предприятиях различных отраслей промышленности. Среди них цельнолитые корпусные узлы крупногабаритных конструкций, изготовленные из литого металла, а также железнодорожные колеса, которые изготовлены из высокоуглеродистых сталей.

В большинстве случаев такие конструкции являются уникальными. Вес некоторых из них превышает 100 тонн, а толщина металла – 80 мм. В качестве примера таких конструкций могут служить большинство узлов дробильного оборудования, эксплуатируемого на горно-обогатительных комбинатах и в карьерах, а также станины гидравлических и механических прессов технологического оборудования и др.

Повышенное содержание углерода в стаях, значительная толщина элементов конструкций и большая жесткость закрепления свариваемых элементов уже само по себе предопределяют значительные трудности при их сварке. Связаны они прежде всего с высоким риском образования в ремонтных сварных соединениях холодных трещин, которые могут возникать в результате образования в металле структуры свежезакаленного мартенсита и высоких остаточных сварочных напряжений. Воздействие этих факторов усиливается при наличии в металле определенного количества диффузионного водорода. В значительной мере это касается изделий, которые изготовлены из сталей с повышенным содержанием углерода и имеют высокий углеродный эквивалент.

Выполненные в институте электросварки им. Е.О. Патона исследования позволили установить зависимость влияния углеродного эквивалента (C_e) стали (рассчитывается исходя из химического состава стали), соотношения между разрушающей нагрузкой (σ_{kp}) и пределом текучести металла зоны термического влияния сварных соединений ($\sigma_{0,2}$), а также содержания диффузионного водорода в наплавленном металле ($[H]_{dif}$) на стойкость сварных соединений к образованию холодных трещин (рис. 1).

Из технической литературы известно, что для того чтобы исключить возможность образования в сварных соединениях сталей с повышенным содержанием углерода холодных трещин, обычно их сварку рекомендуется выполнять с предварительным подогревом до 200 °С и выше. Однако, учитывая значительные габариты изделий и толщину металла, из которого они изготовлены, реализовать на практике нагрев конструкции до указанных температур не представлялось возможным. Следовало изыскать иные нестандартные подходы к решению этой проблемы.

Исследования показали, что исключить образование холодных трещин в ремонтных сварных соединениях возможно и при более низком подогреве. Для этого необходимо ограничивать содержание

диффузионного водорода в наплавленном металле и снижать уровень остаточных растягивающих напряжений в сварных соединениях.

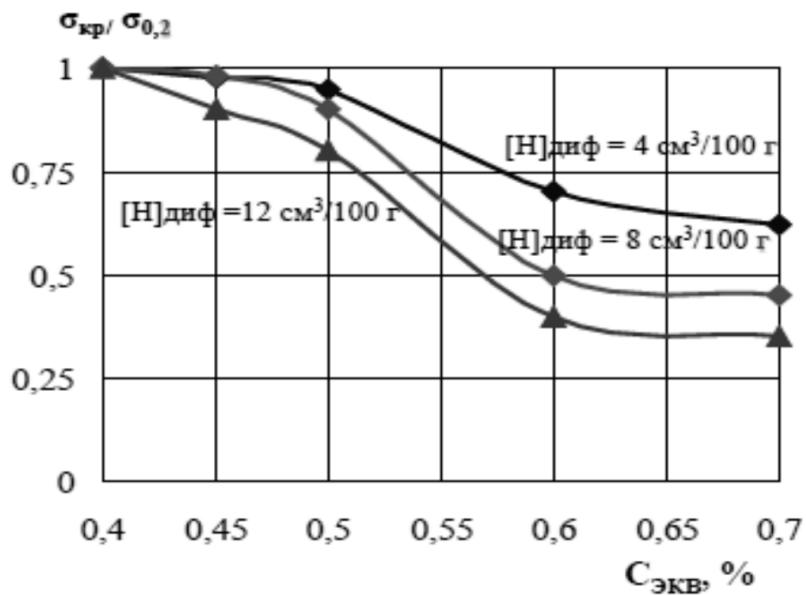


Рис. 1 – Зависимость влияния C , стали, σ_{kp} , $\sigma_{0,2}$ и $[H]_{диф}$ на стойкость сварных соединений к образованию холодных трещин

Вопрос обеспечения малых количеств диффузионного водорода в швах решается относительно просто. Для этого ручную дуговую сварку, которая наиболее часто применяется во время ремонта, рекомендуется выполнять электродами, которые обеспечивают ультранизкую (до $5 \text{ см}^3/100 \text{ г}$) концентрацию водорода в наплавленном металле. Электроды перед сваркой необходимо прокаливать и хранить на рабочем месте в специальных пеналах не более 6 часов.

Сложнее решается задача, связанная с уменьшением уровня остаточных напряжений в сварных соединениях. При изготовлении сварных конструкций это решается за счет определенной последовательности сборки и сварки отдельных элементов конструкции, путем высокого отпуска сварных соединений, создания предварительного натяжения между элементами конструкции и. т.д. Однако при ремонте выполнить эти процедуры сложно, а чаще всего невозможно. В связи с этим нами были изучены другие технологические возможности, направленные на снижение остаточных напряжений в сварных соединениях, которые могут быть реализованы в условиях ремонта.

Установлено, что на 10–15% уменьшить величину остаточных напряжений представляется возможным, если сварку выполнять на ограниченных режимах, материалами, обеспечивающими металлу шва высокую пластичность.

Весьма эффективным оказалось регулирование сварочных напряжений посредством выбора определенной последовательности заполнения разделки кромок и использования специальных видов обработки швов при сварке. Сочетание этих подходов позволяет снизить общий уровень остаточных сварочных напряжений в соединениях в 2,0–2,5 раза. За счет этого риск образования холодных трещин в сварных соединениях углеродистых сталей может быть уменьшен, а подогрев сварных соединений снижен до температуры 80–100 °С.

По результатам исследований были разработаны технологические рекомендации по сварке при ремонте металлических конструкций, которые сводятся к следующему:

- определение методами неразрушающего контроля протяженности и глубины залегания трещин;
- удаление трещин и разделку кромок под сварку;
- контроль качества подготовленных для сварки поверхностей соединяемого металла;
- предварительный подогрев;
- сварку соединений;
- работы по снижению уровня остаточных напряжений в сварных соединениях;
- снятие усиления металла шва с обеспечением плавного его перехода к основному металлу;
- контроль качества наплавленного металла и соединения в целом.

Опыт, накопленный при ремонте металлических конструкций различного назначения, таких как крупногабаритные цельнолитые узлы прессового и дробильного оборудования, ряда инженерных сооружений, а также при восстановлении геометрии гребней железнодорожных колес грузовых вагонов показал следующее. Комплексный подход к решению технической задачи, включающий оценку состояния металлоконструкции, моделирование технологических процессов, авторский надзор за ходом выполнения работ, к выполнению которых привлекаются высокопрофессиональные специализированные организации, позволяет в короткий срок и с высоким качеством решать проблемы восстановления и продления ресурса уникальных конструкций сложной конфигурации.

Полторацький В.Г., Лавріненко В.І., Лещенко О.В.

Інститут надтвердих матеріалів

ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ

Солод В.Ю., Музичка Д.Г., Кашинський І.С.

Дніпровський державний технічний

університет, Кам'янське, Україна

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ МОДИФІКУВАННЯ ТЕРМОСТІЙКІМИ ОКСИДАМИ І ХЛОРИДАМИ ШЛІФПОРОШКІВ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ

Кисень в процесах різання є важливим чинником зміни триботехнічних характеристик контактних поверхонь. Оксидні шари, що виникають під дією кисню або його сполук на контактних поверхнях, у значній мірі знижують тертя. Чим вищою є хімічна активність металу до кисню, тим більший ефект зниження тертя спостерігають.

Наявність такого ефекту є важливою і для процесів шліфування алмазними кругами. Саме тому і важливим є модифікування алмазних зерен оксидами, бо це дозволить доставити кисень саме в зону обробки. Основна ідея цього напрямку роботи полягає в тому, що у якості абразивних порошків у робочому шарі абразивного інструменту застосовуються модифіковані термостійкими оксидами шліфпорошки синтетичного алмазу. Як наслідок, це дозволить ефективно доправляти оксиди безпосередньо в зону обробки алмазними зернами. Тобто ми спрямовано вводимо оксиди на поверхню алмазних зерен. Дано робота нами і присвячена визначенням умов і технологічних режимів модифікування поверхні зерен алмазних шліфпорошків термостійкими оксидами і хлоридами.

Для проведення досліджень було відібрані усереднені проби: шліфпорошків з синтетичних алмазів AC6 125/100 та AC15 250/200, металізованого нікелем. Модифікування шліфпорошків проводилось методом рідиннофазного нанесення з насичених розчинів як термостійких оксидів (B_2O_3 , CrO_3), хлоридів ($CaCl_2$, $NaCl$, $BaCl_2$, $MgCl_2$, $FeCl_3$, KCl), так і їх сумішей ($B_2O_3+CaCl_2$, B_2O_3+NaCl).

Досліджуваний порошок СТМ – 25 ct – змішували з 10–15 мл насиченого розчину модифікатора протягом 10 хв. із застосуванням магнітної мішалки. Надлишок розчину зливали, суміш фільтрували. Одержану вологу масу порошку висушували, розмішуючи, при температурі 120 °C до сухого однорідного стану. Методом гравіметрії

після покриття визначено відносну кількість модифікатора. Для визначення зміни термостійкості покритих порошків застосовували метод гравіметрії. Проводили термообробку початкових та модифікованих зразків у повітряному середовищі в трубчатій печі при температурі 800–900 °C протягом 30 хв. Зважували зразки до і після нагрівання та вираховували коефіцієнт термостабільності, K_{tc} , який коливався в межах 0,92–0,98.

Проведені дослідження для уточнення та оптимізації технологічних режимів модифікування термостійкими оксидами шліфпорошків синтетичного алмазу. Відібрано найбільш ефективні режими. Також з метою збільшення кількості активних центрів на поверхні частинок порошків порошки було оброблено на планетарному млині на швидкості 210 об./хв. – 3 хв., далі 470 об./хв. – 2 хв., потім порошки були очищені соляною кислотою (HCl). Активні центри, що існують на поверхні частинок синтетичного алмазу, є первинними центрами закріплення модифікатора. Оптимальним було визнано та-кий технологічний режим модифікування: порошок змішували з розчином модифікатора (B_2O_3) протягом меншого часу – 5 хв. замість 10 хв., суміш фільтрували, осуд висушували, розмішуючи, при температурі 120 °C до сухого однорідного стану. Так, після обробки порошку синтетичного алмазу AC6 125/100 за уточненим оптимізо-ваним режимом з модифікатором B_2O_3 (6,3 %) втрата ваги зразка за результатами диференціального термічного аналізу стала менше в 3,51 рази в порівнянні з первинним не модифікованим зразком. Визначено магнітні і електричні характеристики модифікованих шліфпорошків з синтетичного алмазу AC6 125/100 (модифікатор NaCl):

Питома магн. спр-ть, $\chi \cdot 10^{-8}$ – 40,3 m^3/kg

Зміна маси зразка, 10^{-3} кг:

первинна – 0,1992

термо-оброблена при 800 °C – 0,0090 н/o 4,52

термо-оброблена при 1000 °C – 0,0039 н/o 1,96

Питомий електро-опір, $Om \cdot cm$ – $1,1 \cdot 10^{10}$

Проведено дослідження методом газової хроматографії процесу окислення модифікованих порошків. Установка для дослідження процесу окислення складалася з хроматографа ЛХМ-80, комп’ютера, трубчатої печі та мікрокомпресора для подачі повітря в трубчату піч. Об’єкт дослідження – порошки синтетичного алмазу AC6 125/100 початкові (без обробки) та модифіковані методом рідиннофазного нанесення. Покриття складалося з оксиду бору (B_2O_3) та окси-

ду алюмінію (Al_2O_3). Нагрівання зразків проводили при температурі від 750 до 950 °C. Результати хроматографічного аналізу проб газів: перший пік – повітря, другий пік – CO_2 . Процес окислення (виділення CO_2) порошку алмазу починається при 750 °C, досягає максимуму при 950 °C (величина піку CO_2 – 6,3 від.од.). Для модифікованого порошку алмазу початок окислення – 920 °C, а максимум – 950 °C (величина піку CO_2 – 0,6 від. од.). Таким чином встановлено, що окислення модифікованих порошків починається пізніше – при температурі вище на 120 °C, а інтенсивність окислення зменшується на порядок. Аналогічні результати було отримано при модифікуванні порошку алмазу термостійкими оксидами (CrO_3), хлоридами (CaCl_2 , NaCl , BaCl_2 , MgCl_2 , FeCl_3 , KC1) та сумішами ($\text{B}_2\text{O}_3+\text{CaCl}_2$, $\text{B}_2\text{O}_3+\text{NaCl}$, $\text{B}_2\text{O}_3+\text{Al}_2\text{O}_3$).

Розроблена технологічна інструкція ТІ 25000.00839 «Модифікування шліфпорошків синтетичного алмазу та шліфпорошків з компактів на основі мікропорошків cBN розчинними термостійкими оксидами і хлоридами методом рідиннофазного нанесення».

*Посвятенко Е.К., Посвятенко Н.І. Національний транспортний університет, Київ,
Мельник Т.В. Національний технічний університет "ХПІ", Харків, Україна
Будяк Р.В. Вінницький національний аграрний університет, Вінниця, Україна*

МІДЬ, БРОНЗА, ЛАТУНЬ: ІСТОРІЯ, ВЛАСТИВОСТІ, ТЕХНОЛОГІЇ ЗАСТОСУВАННЯ

Найстаріші мідні рудники розроблялись на Близькому Сході уже за 5000 років до н.е. Назва *міді*, очевидно, походить від ассирійського слова "кіпар", що є найдавнішою назвою міді. Давній цар Халдеї Ур-Гана (4500 р. до н.е.) залишив два клинописні фрагменти із піщаниця, що дійшли до сучасності. В тексті клинописі, зокрема, повідомляється, що цей цар побудував храми, палац і 10 п'єдесталів із міді. У залишках палаців Ніневії було знайдено мідний опис з написом короля Кіта (4000 р. до н.е.) [1]. В Україні у цей же час у період Середнього Трипілля зросла кількість виробів із міді: художніх

виробів, риболовних гачків, голок, шил, наконечників стріл, характерних для неоліту (мідного віку). Холодне ковальство, яким володіли трипільські майстри, дозволило удвічі – втрічі підвищувати твердість м'якої самородної міді чи міді, отриманої з окиснених мідних руд [2].

Бронза (олов'яниста або "чорнова мідь") була відома уже в Єгипті за 4000 р. до н.е. і стала там широко вживаною в епоху третьої династії фараонів (2780–2720 рр. до н.е.). Найдавніші бронзові предмети містять до 1,5% олова, більш пізніші до 4–16% цього металу, а дзеркала навіть до 32%. У VI ст. до н.е. Феодор Самоський створив токарний верстат для оброблення відлитої посуди та дзеркал із бронзи [2].

У ті часи із бронзи виготовляли зброю, інструменти, господарські предмети, прикраси, знаряддя рільництва, культові споруди. Давня бронза була значно твердішою і міцнішою відомих тоді металів (срібла, міді, золота, свинцю, олова), а властивості цього металевого сплаву можна було підвищити куванням, термічною обробкою, легуванням. Особливо складні і великі вироби із олов'янистої бронзи, як наприклад, статуя Аполлона ("Колос Родоський") висотою 35 м, відливали частинами. Потім ці частини з'єднували у єдине ціле. У "Іліаді" Гомера йде мова про бронзовий меч царя Менелая. У Давньому Єгипті при спорудженні пірамід та храмів широко застосовувались бронзові свердла, зубила та клини. Бронзові сокири та кирки у ті часи були головним інструментом, за допомогою якого прокладалися дороги у горах.

Особливо цінною властивістю олов'янистої бронзи, поряд з твердістю і міцністю, є також надзвичайно високий опір корозії, що перевищує цей показник навіть срібла. Переконливим доказом цьому є те, що у багатьох історичних музеях світу демонструються досить добре збережені бронзові артефакти, які відлито понад 5000 р. тому.

Латунь або мідноцинковий сплав виготовлявся раніше 1500 р. до н.е. За повідомленнями Аристотеля, цю технологію уперше освоїли мосінеки, що жили на побережжі Чорного моря західніше від Трапезунду (нині Трабзон, Туреччина). При отриманні мосінекської латуні мідь сплавлялась разом з особливим сортом тамошньої землі, що вміщувала галмей (каламін), тобто цинкову руду. Ця технологія застосовувалась до 1781 р. Отримання латуні шляхом сплавлення міді з цинком починається з цього року [1].

Властивості міді. Мідь має найвищу після срібла електропровідність (ЕП) та теплопровідність (ТП). Тому у техніці прийнято оці-

ніювати ці властивості міді балом 100%, а усі інші промислові метали і сплави порівнювати з міддю. Таким чином, ЕП/ТП, %: срібло – 106/108; алюміній – 62/56; магній – 39/41; цинк – 29/29; нікель – 25/15; залізо – 17/17.

Технічна мідь маркується у залежності від кількості домішок (у %) так: М00 – 0,01%; М0 – 0,05%; М1 – 0,1%; М2 – 0,3%; М3 – 0,5%; М4 – 1%.

Основні фізичні властивості чистої міді при температурі 20 °C наступні:

- густина – 8,94 г/см³;
- температура плавлення – 1083, °C;
- питома тепломісткість – 0,092, кал/г·град;
- теплопровідність – 0,941, кал/см·с·град;
- питомий електроопір – 0,0178, Ом·мм²/м;
- температурний коефіцієнт електроопору на 1 °C – 4,33·10⁻³.

Фізичні властивості технічної міді тим вищі, чим менше у металі домішок. Механічні властивості міді різних марок не суттєво відрізняються, проте залежать від стану металу (табл. 1).

Таблиця 1 – Механічні властивості міді у залежності від стану

Стан міді	σ_b , МПа	σ_t , МПа	δ , %	HB; HV, МПа	γ , г/см ³
Після лиття	160	35	25	400	8,60
Гаряче деформованої	240	95	45	500	8,90
Холодно деформованої з деформаціями, %					
10	270	190	38	800	8,90
30	320	270	15	1050	8,94
90	450	400	3	1250	8,95
Відпаленої	220	750	50	550	8,94

Властивості бронзи. Сплави міді з оловом та іншими елементами, серед яких цинк не є основним, називаються бронзами. Залежно від легуючого елемента бронзи поділяються на олов'яні, свинцеві, кремнієві, берилієві. Бронзи можуть бути деформівними та ливарними і за призначенням поділяються на конструкційні та антифрикційні.

Бронзи позначають літерами Бр, наступні літери вказують легувальні елементи, а цифри – їх кількість у %, решта вміст міді. У деформівних бронзах (ГОСТ 5017–2006) спочатку пишуть літери, по-

тім цифри у порядку, що відповідає легувальним елементам, наприклад: Бр ОЦ 4–3 (4% олова, 3% цинку, 93% міді). У ливарних бронзах (ГОСТ 613–79) кількість легуючого елемента у % вказується безпосередньо після літери, наприклад: БрА10Ж3Мц2 (10% алюмінію, 3% заліза, 2% марганцю, решта мідь). Залежно від того чи містить бронза олово, бронзи поділяють на дві групи: олов'янисті та безолов'янисті.

У табл. 2 як приклад наведено фізико-механічні властивості ливарної Бр О5Ц5С5 та деформівної Бр ОЦС 4–4–2,5 олов'яних бронз.

**Таблиця 2 – Фізико-механічні властивості олов'яних бронз:
ливарної Бр О5Ц5С5 та деформівної Бр ОЦС 4–4–2,5**

Властивості	Бр О5Ц5С5 лиття в кокіль	Бр ОЦС 4–4–2,5 лиття в кокіль
Густина, $\text{г}/\text{см}^3$	8,84	8,86
Теплопровідність, $\text{кал}/\text{см}\cdot\text{с}\cdot\text{град}$	0,224	0,2
Питомий електроопір, $\text{Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$	0,09–0,11	0,087
Коефіцієнт тертя зі/без змащення	0,009/0,15	0,016/0,26
σ_{B} , МПа	180	550–650
σ_{T} , МПа	80–100	280
δ , %	4	2–4
HB; HV, МПа	600	1600–1800
Коефіцієнт лінійного розширення при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\alpha\cdot 10^{-6}$	17,7	18,2

Властивості латуні. Латуні – це подвійні або багатокомпонентні сплави, у яких цинк є основним легуючим елементом. Залежно від вмісту цинку латуні поділяються на однофазні (α -латунь, $\text{Zn} < 39\%$) та двофазні ($\alpha + \beta$ – латунь, $\text{Zn} 39–45\%$). Тут α – це твердий розчин цинку в міді, β – тверда та крихка сполука CuZn . З підвищеннем кількості цинку в однофазних латунях одночасно збільшується міцність і пластичність. При переході до двофазних латуней міцність залишається високою, але пластичність різко знижується через наявність крихкої β -фази. Подальше збільшення кількості цинку призводить до різкого зниження міцності. Тому у промислових латунях кількість цинку не перебільшує 45%. За хімічним складом латуні поділяються на прості, які містять лише мідь та цинк та складні (леговані), у яких наявні інші елементи. Призна-

чення останніх – отримання спеціальних властивостей металу. Так, свинець покращує оброблюваність різанням, а олово – опір корозії.

Латуні маркують літерою Л. У простих латунях після цієї літери наведена кількість основного компонента – міді, решта – цинк. Наприклад, Л90, що означає 90% міді і 10% цинку. Легуючі елементи позначаються такими літерами: А – алюміній, Б – берилій, Ж – залізо, К – кремній, Мц – марганець, Мг – магній, Н – нікель, О – олово, С – свинець, Т – титан, Ф – фосфор, Х – хром, Ц – цинк. Кількість елементу вказана цифрами, що відповідають його вмісту у %. Якщо вміст легувального елементу не перевищує 1,5%, цифра не ставиться.

Маркування складних (двохфазних) деформівних та ливарних латуней відрізняється. У деформівних латунях після Л ставиться літера, що характеризує легуючий елемент, а потім йдуть цифри, з яких перша позначає кількість міді у %, наступні – легуючий елемент, а все решта – цинк. Наприклад, ЛС59–1 (59% міді, 1% свинцю, решта – 40% цинку). У ливарних латунях після Л ставиться літера Ц та цифра, що позначає кількість цинку, а далі – літери та цифри, що відносяться до легуючих елементів. Наприклад: ЛЦ40Мц3Ж (40% цинку, 3% марганцю, менше 1,5% заліза, решта – мідь).

До деформівних латуней належать однофазні та двохфазні латуни. Перші відзначаються високими характеристиками пластичності, добре оброблюються тиском у холодному і гарячому стані, добре зварюються та паяються. Однофазні латуни сильно змінюються холодною пластичною деформацією. Двохфазні латуни крихкі та можуть деформуватися тільки у гарячому стані. Ливарні латуни, як правило, деформації не підлягають. Деталі з них виготовляють літтям. Ливарні латуни мають добру рідкотекучість, низьку схильність до ліквациї, добре антифрикційні властивості. Властивості типових латуней наведено у табл. 3.

Технології. Сировиною для отримання міді служать мідні руди, самородна та вторинна мідь. Біля 2/3 всієї міді перебуває у природі у складі халькопіріту (мідного колчедану, CuFeS₂). Надзвичайно жорсткі вимоги ставляться до зливків міді, які призначено для виготовлення електричних проводів (шин, дроту, тролейних проводів, сполучників тощо). Для видалення кисню в електричній міді застосовуються різні розкислювачі, найкращим з яких є бор. Єдиним способом повного звільнення міді від усіх шкідливих домішок є плавка і лиття у вакуумі або середовищі захисного газу. Так, при плавленні і литті у вакуумі ($\leq 5 \cdot 10^{-3}$ мм рт.ст) вміст домішок у міді

наступний, %: водень – 0,000008; кисень – 0,00004; сірка – 0,0001; селен – 0,00005; телур – 0,00005; свинець – 0,001.

Таблиця 3 – Фізико-механічні властивості типових латуней

Властивості	Проста деформівна Л62	Складна деформівна ЛЖМц 59–1–1	Ливарна ЛЦ40С
Густина, г/см ³	8,43	8,5	8,5
Температура плавлення, °C	905	890	885
Теплопровідність, кал/см·с·град	0,26	0,241	0,26
Питомий електроопір, Ом·мм ² /м	0,072	–	0,068
Коефіцієнт тертя зі/без змащення	0,012/0,39	0,012/0,39	0,013/0,27
σ_b , МПа деформіної/відпаленої	600/330	700/450	кокіль, 200
σ_t , МПа деформівної/відпаленої	500/110	–/170	земляна форма, 150
δ , % деформівної/відпаленої	3/49	10/50	40
НВ; HV, МПа деформівної/відпаленої	1640/560	1600/880	850
Коефіцієнт лінійного розширення при 20 °C $\alpha \cdot 10^{-6}$	20,6	22	20,1
Оброблюваність різанням % до латуні ЛС 63–3	40	25	80

Холодна обробка міді тиском може провадитися з деформацією понад 90% з двома проміжними відпалами також у захисній атмосфері або у печах з вакуумом. Це захищає мідь від окислення. При холодній обробці тиском слід запобігати анізотропії властивостей мідних виробів, тобто текстурі деформації.

Сучасні технології лиття, деформування (гарячого і холодного), а також рекристалізаційного відпалу виконуються в індукційних печах із захисною атмосферою або у вакуумі.

Основним методом лиття бронзи є напівбезперервний метод та відповідні установки для його реалізації. Згідно з ним, рідкий метал з печі заливається у тигель, у дно якого вставлена графітова втулка,

що відіграє роль кристалізатора. Нижня частина кристалізатора охолоджується водою. Регулювання температури рідкої бронзи у тиглі виконується за допомогою газового пальника.

Основним сучасними установками отримання бронзи і латуні є плавильні печі з мазутним підігрівом та поєднані з ними низькочастотні індукційні печі. Потім протягом тривалого нагрівання зливків бронзи при температурах 700 – 750 °C у результаті дифузії відбувається процес вирівнювання складу (гомогенізація) і усувається внутрікристалічна ліквация та перехід у твердий розчин різних включень і надлишків олова з периферії зливка.

Для плавки також застосовують низькочастотну електроплавильну піч із залізним сердечником типу Аякс.

Після проміжного відпалу для підвищення пластичності бронзи при холодній обробці доцільно застосувати гартування від температури 550–600 °C.

Алюмінієві бронзи витримують холодну обробку тиском (прокатку, волочіння, штамповку, чеканку).

При плавці латуні потрібно використовувати флюси (до 5% ваги), що запобігає окисленню та газопоглинанню. Найкращим флюсом є такий, що вміщує кальциновану соду і фтористий кальцій у співвідношенні 1:1. При введені у латуні тугоплавких компонентів (нікель, залізо, марганець тощо) слід використовувати проміжні сплави – лігатури, температура плавлення котрих на 20–30% нижча, ніж тугоплавкого металу. Температуру лиття слід тримати не більш, ніж на 7–10% вищою температури плавлення міді. Частота коливань форми разом з розплавом рекомендується в межах 60 Гц – 20 кГц для подрібнення зерна латуні.

Сучасні технологічні процеси термообробки латуні передбачають використання печей із захисною атмосферою. Склад екзотермічного захисного газу може бути таким: 94% N₂; 3 % CO; 3 % H₂. Інтенсифікація відпалу латунних напівфабрикатів може бути досягнута за рахунок використання індукційних установок. У цьому випадку вироби після деформації понад 80% відзначаються рівномірними механічними властивостями.

Застосування. М'яку мідь (відпалену) використовують для обмотувальних та монтажних проводів, екранів радіочастотних кабелів, струмопровідних жил кабелів. Тверду мідь використовують там, де потрібна висока міцність, твердість, зносостійкість та пружність – для пластин колекторів електричних машин, контактних

проводів, шин розподільних пристройів, дротів підвісних ліній електропередач та зв'язку.

Бронзи застосовують для зубчастих і черв'ячних коліс, мембрани, пружин, пружинних контактів і як антифрикційні матеріали. У електротехніці бронзи використовують для контактів щіткотримачів, штепсельних роз'ємів і контактних проводів.

Латуні застосовують для трубок радіаторів, паливопровідних конденсаторних та манометричних трубок, бачків радіаторів, поплавків карбюраторів, шестерень, деталей приладів електрообладнання, теплообмінної апаратури, корозійностійких деталей, черв'ячних гвинтів тощо [1, 3].

Висновки. Уперше поєднано історію та розвиток у часі технологій кольорового металу – міді і сплавів на її основі. Наведено маркування міді, бронзи і латуні та їх фізико-механічні властивості. Показано теперішній стан використання міді та її сплавів у техніці.

Література

1. Сучков, Д. И. Медь и ее сплавы: монография / Д. И. Сучков. – М. : Металургия, 1967. – 248 с.
2. Посвятенко, Е. К. Исторична спорідненість розвитку прикладних технічних наук: монографія / Е. К. Посвятенко, О. Є. Тверитникова, Н. І. Посвятенко, Т. В. Мельник. – Х. : НТУ "ХПІ", ФОП Панов А.М., 2017. – 224 с.
3. Сушко, В. В. Прикладне матеріалознавство : підруч. / О. В. Сушко, Е. К. Посвятенко, С. В. Кюрчев, С. І. Лодяков. – Мелітополь : ТОВ «Forward press», 2019. – 352 с.

*Прихна Т.А., Лавриненко В.И., Ильницкая Г.Д.,
Зайцева И.Н., Смоквина В.В., Закора А.П.,
Тимошенко В.В. Институт сверхтвердых материалов
им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина*

АЛМАЗНЫЕ ШЛИФПОРОШКИ С ВЫСОКОЙ ОДНОРОДНОСТЬЮ ПО ПРОЧНОСТИ ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННОГО ПРАВЯЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

На современном этапе развития прогрессивных технологий обработки деталей машин широко применяется прецизионный пра-

вящий инструмент, оснащенный порошками синтетических алмазов. Работоспособность правящего инструмента во многом зависит от качества применяемых алмазов. Расширение областей применения новых видов правящего инструмента привело к использованию высокопрочных алмазов, синтезированных в разных ростовых системах. В инструментальном производстве на эффективность работы прецизионного правящего инструмента большое влияние оказывают физико-механические, физико-химические свойства шлифпорошков синтетического алмаза, применяемых при оснащении правящих роликов [1]. Свойства шлифпорошков алмаза, в свою очередь, обуславливаются технологиями синтеза, извлечения, обработки, классификации по размерам и форме, сортировки по физико-химическим свойствам, обеспечивающими получение порошков с заданными свойствами.

В рабочем объеме аппарата высокого давления невозможно обеспечить одинаковые условия роста для увеличения размеров всех кристаллов вследствие неоднородности температуры и давления, что приводит к образованию кристаллов алмаза с различными физико-механическими и физико-химическими характеристиками. При этом микрорельеф граней кристаллов отражает особенности их роста. Как правило, значительная часть кристаллов синтетических алмазов имеет дефекты поверхности, которые влияют на физико-механические, физико-химические и эксплуатационные характеристики порошков алмаза.

Исследования проводили на алмазах, полученных в системах Fe–Ni–C, Fe–Cr–C, Fe–Co–C зернистости 400/315 марок АС100 и выше. В порошках исходных и после разделения их по степени дефектности поверхности определяли физико-механические характеристики. Дефектность поверхности алмазных шлифпорошков оценивали по коэффициенту поверхностной активности K_a [2]. Было произведено разделение на шесть продуктов, различающиеся между собой по прочности. После проведения сортировки определяли выход этих продуктов и физико-механические характеристики: прочность в виде разрушающей нагрузки при статической нагрузке, однородности по прочности [3].

На рис. 1 представлено изменение прочности шлифпорошков алмаза, синтезированных с применением ферросплавов в качестве растворителя углерода, разных систем: Fe–Ni–C, Fe–Cr–C и Fe–Co–C.

В результате разделения по дефектности поверхности шлифпорошков алмаза зернистости 400/315, синтезированных в разных

ростовых системах: Fe–Ni–C, Fe–Cr–C и Fe–Co–C, получены порошки крайне продукты которых (1-й и 6-й) различаются между собой по прочности, соответственно 1,4; 1,5 и 1,5 раза (см. рис. 1).

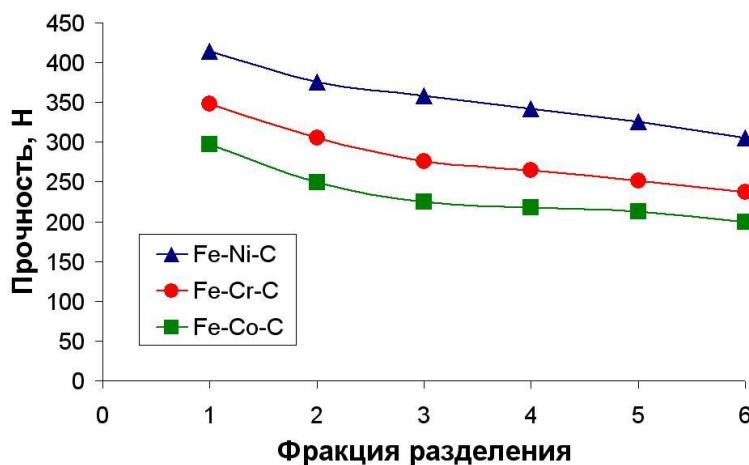


Рис. 1 – Прочность шлифпорошков алмаза зернистости 400/315, синтезированных в разных ростовых системах

Результаты определения прочностных характеристик (прочности и однородности по прочности), а также коэффициента поверхности активности поверхности шлифпорошков алмаза зернистости 400/315, синтезированных в разных ростовых системах: Fe–Ni–C, Fe–Cr–C и Fe–Co–C, исходных и после разделения по дефектности их поверхности представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристики шлифпорошков алмаза зернистости 400/315, синтезированных в разных ростовых системах: Fe–Ni–C, Fe–Cr–C и Fe–Co–C, после разделения по дефектности их поверхности

Продукты разделения	Характеристики шлифпорошков алмаза зернистости 400/315, синтезированных в системах								
	Fe–Ni–C			Fe–Cr–C			Fe–Co–C		
	K_a , %	P , Н	$K_{\text{одн пр.}}$, %	K_a , %	P , Н	$K_{\text{одн пр.}}$, %	K_a , %	P , Н	$K_{\text{одн пр.}}$, %
1	0,05	414	80	0,07	348	77	0,07	297	80
2	0,09	375	70	0,10	305	75	0,10	249	79
3	0,12	358	64	0,15	276	71	0,15	225	74
4	0,15	342	56	0,25	264	69	0,25	218	70
5	0,19	326	57	0,30	252	59	0,41	213	65
6	0,23	305	48	0,46	237	50	0,56	200	51
Исходный	0,14	344	23	0,17	243	19	0,17	220	21

Как следует из табл. 1 алмазные шлифпорошки, синтезированные в системах Fe–Ni–C, Fe–Cr–C и Fe–Co–C, которые были разделены по степени дефектности их поверхности на 6 продуктов, отличаются между собой по степени дефектности поверхности (по коэффициенту поверхностной активности K_a от 0,05 до 0,56 %). С уменьшением коэффициента поверхностной активности для алмазных шлифпорошков, синтезированных с использованием ферросплавов в качестве растворителя углерода, возрастает прочность алмаза, синтезированных в системах: Fe–Ni–C от 414 Н до 305 Н, Fe–Cr–C – от 348 до 237 Н, Fe–Co–C – от 297 до 200 Н. При этом разделение по дефектности поверхности алмазных шлифпорошков обеспечивает повышение однородности по прочности этих порошков по сравнению с исходными порошками системы Fe–Ni–C в 3,5–2,1 раза, Fe–Cr–C в 4,1–2,6 раза, Fe–Co–C в 3,8–2,4 раза.

Иллюстративно в качестве примера на рис. 2 приведена гистограмма изменения однородности по прочности алмазов, синтезированных в системе Fe–Ni–C, исходных и после разделения (продуктов 1, 3, 5).

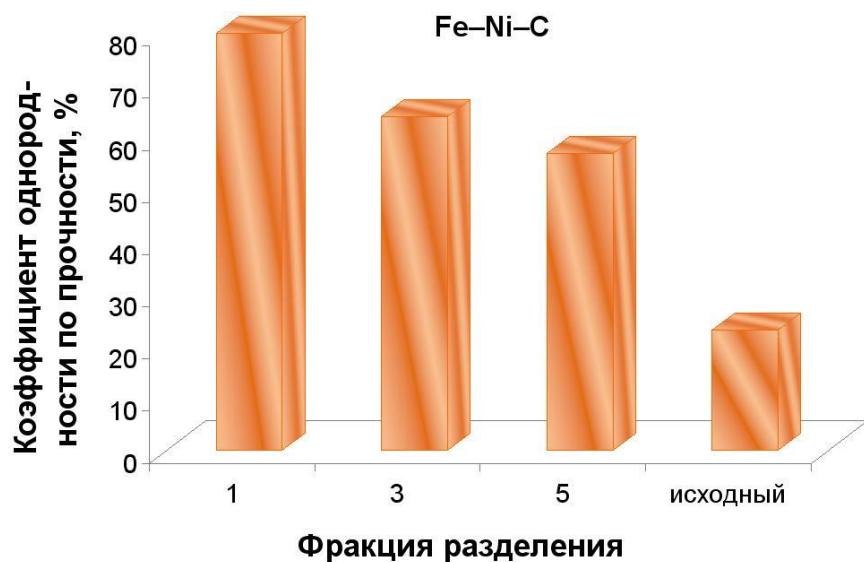


Рис. 2 – Гистограмма изменения однородности по прочности алмазных шлифпорошков, синтезированных в системе Fe–Ni–C, исходных и после разделения продуктов 1, 3 и 5

Как следует из рис. 2 коэффициент однородности шлифпорошков алмаза, синтезированных в системе Fe–Ni–C после разделения по дефектности поверхности, по сравнению с исходными порошками отличаются в 3,5–2,1 раза.

Таким образом, шлифпорошки алмаза, синтезированные в системах Fe–Ni–C, Fe–Cr–C, Fe–Co–C, которые были разделены по степени дефектности их поверхности, отличаются между собой по степени дефектности поверхности (по коэффициенту поверхностной активности K_a от 0,05 до 0,56%), что способствует получению особопрочных порошков с высоким уровнем однородности по прочности не менее 75%.

На основе выполненных исследований установлено, что алмазные шлифпорошки, синтезированные в системах Fe–Ni–C, Fe–Cr–C, Fe–Co–C и, которые были разделены по дефектности их поверхности, являются высокопрочными, с высокой однородностью по прочности и соответствуют требованиям для изготовления правящего инструмента.

Література

1. Лавріненко, В. І. Надтверді абразивні матеріали в механообробці: енциклопедичний довідник / В. І. Лавріненко, М. В. Новіков – К. : ІНМ ім. В. М. Бакуля НАН України, 2013. – 456 с.
2. Патент 65129 України, МКІ G01N 27/12. Спосіб оцінки дефектності зерен порошкового матеріалу / Г. Ф. Невструєв, Г. Д. Ільницька – Промислова власність. – 2004. – Бюл. № 3.
3. М 28.5-272:2008. Методика аналитической оценки прочностных характеристик шлифпорошков синтетического алмаза. – К. : ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2008. – 14 с.

*Ромашко А.С., Юрчишин О.Я. НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
Дорожко Г.К. НДІ Інтелектуальної власності Національної
академії правових наук України, Київ, Україна*

УПРАВЛІННЯ ЗНАННЯМИ, ЯК ПЕРЕДУМОВА ЯКОСТІ ТА КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ПРОДУКЦІЇ ТА ПОСЛУГ

Не секрет, что стандарты з систем управління впроваджують організації, які прагнуть бути успішними та які приймають стратегію сталого розвитку, управляючи при цьому зовнішніми та внутрішніми чинниками, що можуть мати вплив на діяльність підприємства, при цьому також визначають зацікавлені сторони, визначають мо-

жливості та оцінюють ризики, щодо кожного процесу, який організація вважає необхідним для здійснення своєї діяльності.

Переважно (але не завжди) до необхідних процесів організації входили процеси керування системою (системами) управління, документацією, протоколами, невідповідностями, внутрішніми аудитами, виробництвом, коригувальними та запобіжними діями. Наявність таких процесів зумовлена попередніми версіями стандартів з систем управління (наприклад ISO 9001:2008). Наразі діють нові версії стандартів, які одинаково структуровані (мають одинаковий зміст), наприклад ISO 9001:2015 (стосується систем управління якістю). Нові версії зазначених стандартів передбачають визначення та документування лише тих процесів, які необхідні для діяльності організації, але організації не завжди готові змінювати чи перероблювати (і навіть зменшувати!) існуючий обсяг документів. Такі організації лише інтегрують до своєї системи дії, пов'язані з ризиками.

Але це неправильна стратегія, бо у організації ще з 2015 року був шанс зменшити та оптимізувати документообіг та вибрати документування лише потрібних процесів.

Як би там не було, але серед процесів, які визначає організація має бути процес, щодо управління знаннями (хоча стандарти з систем управління нічого не кажуть про обов'язковість цього процесу) для того щоб організація могла «враховувати свої поточні знання та визначити, як набувати будь-які необхідні додаткові знання чи отримати доступ до них і потрібного оновлення» (див. п.7.1.6 ДСТУ ISO 9001:2015). Цей процес має визначати необхідні дії щодо поводження з зовнішньою та внутрішньою інформацією (хто і яку інформацію шукає, ідентифікує, впроваджує, у кого є доступ до такої інформації, як здійснюється інформування і т.д.).

Під зовнішніми знаннями (інформаційними ресурсами) розуміють: зовнішні регламентуючі документи (зокрема закони, стандарти...), знання від постачальника та/чи споживача (наприклад зворотній зв'язок – анкетування, опитування, скарги, пропозиції), інші зовнішні джерела (наприклад конференції, публікації в різних джерелах, патентно-інформаційні бази).

Під внутрішніми знаннями розуміють: внутрішні регламентуючі документи; інтелектуальну власність (винаходи, корисні моделі, промислові зразки, раціоналізаторські пропозиції, торговельні марки, комерційна таємниця, об'єкти авторського права, тощо), інші внутрішні знання (наприклад знання набуті через досвід реалізації проектів, ноу-хау, використання нездокументованих знань чи дос-

віду; результати поліпшень у процесах, продукції чи послугах, результати поліпшень внутрішньої системи управління).

З огляду на вищезазначене бачимо, що питання пов'язані з інтелектуальною власністю знаходяться як у зовнішній так і у внутрішній інформації і якщо цією інформацією нехтувати то можливе використання інформації, яка належить третім особам, або можливе порушення права інтелектуальної власності організації.

При використанні зовнішніх знань отриманих за результатами моніторингу патентно-інформаційних баз варто зазначити, що на сьогодні там знаходиться близько 80% нової інформації. Тобто така інформація може стати основою для створення нових внутрішніх знань, або для набуття організацією прав на виявлені об'єкти права інтелектуальної власності

Належне і прозоре (задокументоване) використання внутрішніх знань (засноване на зовнішніх знаннях та знаннях співробітників) дозволить організації створювати нові об'єкти, охороняти виявлену інтелектуальну власність, створити систему мотивації співробітників для поліпшень у процесах, продукції чи послугах).

Виходячи з вищезазначеного, організація яка хоче бути конкурентоздатною має окрім інших визначених нею доцільних процедур розробити та впровадити процедуру з управління знаннями, оскільки саме знання є найбільш важливим і постійно оновлюваним ресурсом.

*Рутковский А.В. Институт проблем прочности
им. Г.С. Писаренко НАН Украины,*

*Антонюк В.С. НТУ Украины «Киевский политехнический
институт имени Игоря Сикорского», Киев, Украина*

ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЙ НА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ

Обеспечение конкурентоспособности, надежности, долговечности работы изделий может решаться двумя основными направлениями: разработкой новых материалов, имеющих более высокий уровень физико-химических и эксплуатационных свойств; образо-

ванием защитных и упрочняющих покрытий с разработкой ресурсосберегающих технологий их получения [1].

Доминирующей тенденцией современного материаловедения в настоящее время является применение методов высокоэнергетического воздействия на поверхности, а также эффективном их сочетании с объемным упрочнением [2].

Метод электроискрового легирования является одним из прогрессивных, направлений материаловедения, обеспечивающих высокую прочность сцепления покрытия с основой, незначительный нагрев детали и отсутствие деформаций при обработке, экологичность, низкую энергоемкость процесса, несложность осуществления технологических операций, возможность в широких пределах изменять многие свойства металлических поверхностей и восстанавливать их работоспособность [1].

Для упрочнения поверхностей деталей из алюминиевых сплавов, работающих при контактном взаимодействии (трение скольжения, абразивное трение, ударные нагрузки) при комнатных и повышенных температурах, а также при условии дополнительного влияния постоянных или знакопеременных нагрузок рекомендуется формировать покрытия дискретного типа [3].

Повышение адгезионной и когезионной стойкости покрытия в сравнении с известными сплошными покрытиями достигается выбором дискретной структуры покрытия с регулируемыми глубиной внедрения, сечением и сплошностью [4].

Метод электроискрового легирования сопровождается разнообразными физико-химическими превращениями. Эффект, получаемый от его применения, зависит от правильности выбора электрических параметров процесса легирования, материалов детали электрода и конструкции установки [5].

К достоинствам метода электроискрового легирования относятся:

- простота оборудования;
- возможность механизации процесса;
- нанесенные участки покрытия имеют повышенную термомеханическую адгезионную и когезионную стойкость за счёт снижения механических напряжений в дискретном участке покрытия;
- возможность создания покрытий с широким диапазоном физико-механических свойств;
- отсутствует термическое воздействие, т.к. нагрев детали происходит в микрообъёмах, что не приводит к термическим деформациям;

- небольшая энергоёмкость процесса нанесения (установочные мощности оборудования до 5 кВт);
- повышенная стойкость покрытий в эксплуатационных условиях (нет случаев растрескивания или отслоения покрытия);
- возможность создания дискретной структуры различной сплошности для различных условий эксплуатации детали.

Недостатками способа является:

- необходимость в финишной обработке покрытий для деталей, имеющих низкую шероховатость рабочих поверхностей;
- невозможность формирования покрытия на диэлектрических материалах.

В связи с этим выбор электрических параметров упрочнения производят с учетом условий работы детали (характер нагружения детали, допустимая величина износа) и нормируемой чистоты поверхности детали.

Для упрочнения деталей, работающих в сложных условиях нагружения (интенсивный износ и циклические нагрузки, износ и термические напряжения и т.п.), следует выбирать сравнительно неглубокие дискретные покрытия (0,05–0,2 мм).

Для упрочнения деталей, работающих преимущественно на износ и для которых допустима величина износа до нескольких десятых миллиметра при относительно высокой шероховатости (Rz 20, Ra 1,6) следует выбирать более жесткие электрические режимы упрочнения поверхностей ($J_{раб} = 30–63$ А). При этом глубина дискретных покрытий может быть получена в пределах 0,25–0,6 мм.

На рисунке 1 представлена электрическая схема установки электроискрового легирования алюминиевых сплавов.

Формирования покрытий на алюминиевых сплавах электроискровым легированием осуществляется следующим образом (рис. 1).

Через выключатель SW-1 электропитание (220 В) поступает на первичную обмотку трансформатора, а со вторичной обмотки (выходное напряжение около 40 В) через выпрямительные диоды X3 поступает на блок силовых конденсаторов С1-С3 через токоограничительный резистор R1, сопротивлением 2,2 Ом и заряжает их.

Емкость конденсаторов находится в пределах 1000–1200 МкФ, далее с блока управления подается импульс на тиристор X1, последний открывается и заряжает рабочий конденсатор С4 небольшой емкости (100 МкФ).

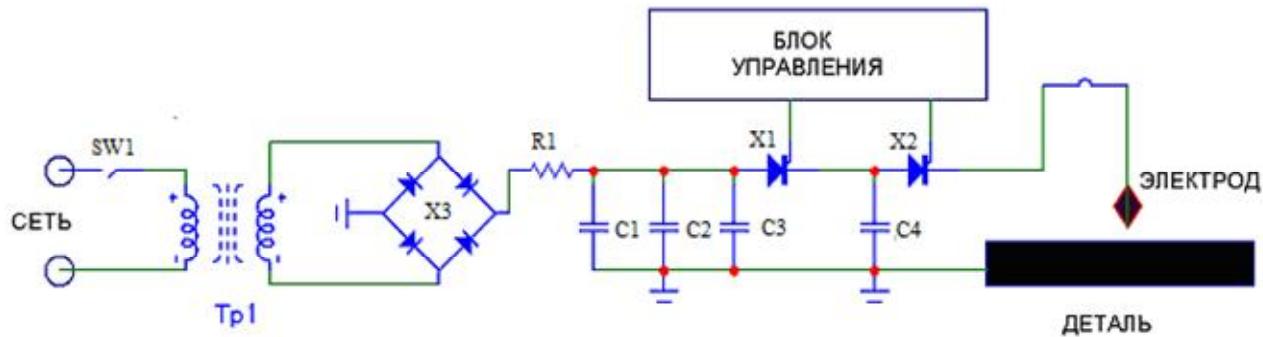


Рис. 1 – Электрическая схема установки электроискрового легирования

После полного заряда C_4 тиристор X_1 закрывается, а затем блоком управления открывается тиристор X_2 и энергия накопленная в конденсаторе C_4 разряжается через искровой промежуток: электрод (анод) – деталь (катод) происходит электрооконтактный перенос материала (плазменный переплав в микрообъеме) анода на материал катода (деталь), далее цикл повторяется.

Частота искрообразования или рабочая частота генератора зависит от частотных свойств переключающих тиристоров и лежит в пределах 50–150 Гц.

В табл. 1 приведены электрические параметры процесса упрочнения поверхностей алюминиевых деталей и соответствующие значения глубины дискретных покрытий и чистоты поверхности.

Таблица 1 – Электрические параметры процесса упрочнения алюминиевых деталей

Материал электрода	Рабочий ток, А	Глубина внедрения покрытия, мм	Шероховатость после упрочнения, мкм	Шероховатость после финишной обработки, мкм
Cu	6–14	0,05–0,15	R_a 2,5–2,0	R_a 0,63–0,50
	12–30	0,15–0,75	R_z 20–10	R_a 1,6–1,2
	30–60	0,25–0,60	R_z 80–40	R_z 20–10
Fe	6–14	0,05–0,10	R_a 2,5–2,0	R_a 0,63–0,50
	12–30	0,10–0,30	R_z 20–10	R_a 1,6–1,2
	30–60	0,03–0,50	R_z 80–40	R_z 20–10

При выборе материала электрода и его сечения предпочтение следует отдавать медному электроду, который позволяет получить более однородное по глубине покрытие, и при этом сформировать интерметалидное покрытие обладающее низким коэффициентом

трения (приближающемся к бронзе) и высокой твердостью, примерно 260–320 НВ.

Для деталей сравнительно небольших размеров ($d < 50$ мм) и условий работы, которые предполагают сложный характер нагружения сечение электродов выбирают сравнительно небольшие ($F < 3$ мм²).

Для деталей массивных, работающих главным образом на износ, сечение электродов может выбираться больших размеров ($F > 3$ мм²).

Таким образом, формирование покрытий методом электроискрового легирования может быть применено для существенного улучшения служебных свойств изделий из алюминиевых сплавов (снижение износа, снижение коэффициента трения), а также восстановление изношенных элементов машин.

Литература

1. Волкогон, В.М. Эффективность и перспективы применения функциональных покрытий в технике / В. М. Волкогон, Г. Г. Карюк, В. С. Антонюк В.С. // Вісті Академії інженерних наук України. Машинобудування та прогресивні технології. – 2000. – №4. – С. 4–10.
2. Бородавко, В. И. Обработка и упрочнение поверхностей при изготовлении и восстановлении деталей / В. И. Бородавко, В. С. Иващко, С. А. Клименко, М. Л. Хейфец ; под ред. М. Л. Хейфеца, С. А. Клименко. – Мин. : Беларус. наука, 2013. – 464 с.
3. Antonyuk, V. S. Discontinuos coatings on cutting tools / V. S. Antonyuk, E. B. Soroka, B. A. Lyashenko, A. V. Rutkovskii // Strength mater. – 2007. – 39, № 1 – Р. 99–102.
4. Антонюк, В. С. Выбор параметров покрытий дискретной структуры при упрочнении поверхности режущего инструмента / В. С. Антонюк, Б. А. Ляшенко, Е. Б. Сорока // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2005. – № 3. – С. 49–50.
5. Антонюк, В. С. Оптимизация технологических параметров процесса формирования упрочняющих покрытий / В. С. Антонюк, С. П. Выслоу, В. А. Мазур, С. С. Самотугин // Технологические системы. – 2003. – № 4. – С. 44–48.

Рутковский А.В., Пиеничкин Д.О. Институт проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины, Киев
Соловых Е.К., Катеринич С.Е. Центральноукраинский национальный технический университет, Кропивницкий, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВАКУУМНОГО ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОГО АЗОТИРОВАНИЯ В ПЛАЗМЕ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА

Большинство причин разрушения конструкционных элементов деталей машин и механизмов связано с их циклической прочности, а именно термомеханической усталостью, которая выражается в постепенном накоплении повреждений в материале в условиях одновременного воздействия переменных нагрузок, агрессивной среды и температуры. Это приводит к возникновению трещины от усталости, ее развития и окончательного разрушения материала. Одним из важных и перспективных направлений в решении задач по повышению сопротивления термомеханической усталости элементов конструкций является использование вакуумного термоциклического азотирования в плазме пульсирующего тлеющего разряда (ВТАППР).

На основе теории термоциклической усталости и явления аномального массопереноса при импульсном воздействии в Институте проблем прочности НАН Украины разработана технология ускоренного азотирования в тлеющем разряде при циклическом изменении температуры за счет периодической подачи напряжения разряда. Новая технология синтезирована на основе трех теорий, явлений и эффектов: теории термоусталости; дискретно-импульсном вводе энергии в теплотехнологиях; эффекта аномального массопереноса при воздействии импульсных деформаций. Эффект аномального массопереноса обеспечивается термическими напряжениями, возникающими за счет циклических изменений температуры процесса. Теория термической усталости определяет условия получения величин термических напряжений, достаточных для ускорения диффузии азота в металл, но безопасных, чтобы не повредить изделие. Дискретно-импульсный ввод энергии обеспечивает увеличение скорости нагрева в 2–5 раз, что позволяет увеличить термические напряжения и, соответственно, скорость диффузии азота.

Технология ускоренного азотирования в тлеющем разряде при циклическом изменении температуры за счет периодической подачи

напряжения разряда и основывается на «трех китах» – эффективному решению комплекса взаимосвязанных научно-методологических проблем на границе термомеханики, металлофизики и теплофизики.

Главная особенность технологии ВТАППТР – использование эффекта аномального массопереноса азота на поверхности обрабатываемой детали, путем создания поля термических напряжений в поверхностном слое за счет циклического включения и исключения тлеющего разряда. Учитывая ускорение массопереноса при термоциклировании за счет возникновения термических напряжений было принято решение разработать технологию химико-термической обработки (ХТО) на базе классической технологии ионного азотирования (ИА), которая во всем мире работает в изотермическом режиме. Технология ИА привлекательна для совершенствования тем, что мировая тенденция заключается в сокращении продолжительности ХТО, которая относится к наиболее энергоемким в машиностроении. Предыдущие попытки создать технологию термоциклического ионного азотирования (ТЦИА) дало положительные результаты.

Технология ВТАППТР не использует печные устройства. Ионное азотирование (по сравнению с печным) имеет следующие преимущества: ускоряет диффузионные процессы в 0,5–2 раза; позволяет получать диффузный слой регулируемого состава и строения; характеризуется незначительными деформациями изделий и высоким классом чистоты поверхности; дает возможность азотировать коррозионностойкие, жаропрочные и мартенситно-стареющие стали без дополнительной депасивирующей обработки; значительно сокращает общее время процесса за счет уменьшения времени нагрева и охлаждения садки; обладает большой экономичностью, повышает коэффициент использования электроэнергии, сокращает расход насыщающих газов; нетоксичное и соответствует требованиям по защите окружающей среды.

В мировой практике ИА используют аммиак. Экологическое преимущество технологии ВТАППТР заключается в отказе от использования аммиака. Обработка происходит тлеющим разрядом в смеси аргона с азотом. Этим также устраняется негативное влияние водорода на сердцевину детали – водородное охрупчивание и водородная коррозия. Замена классического газового азотирования в среде аммиака на технологию ТЦИА в смеси азота и аргона обеспечивает сокращение продолжительности обработки в 10 раз.

В отличие от классических технологий ХТО технология ВТАППТР не создает сплошного нагрева детали, а обеспечивает

нагрев только поверхностного слоя на глубину, необходимую для его упрочнения. Нагрев происходит за счет энергии тлеющего разряда, поэтому нет необходимости использовать печи.

Отличие технологии ВТАППТР от классических технологий ХТО, которые используют изотермический режим: процесс ХТО ускоренно в 2–6 раз; за счет отсутствия печных устройств и сквозного прогрева детали, а также за счет пауз в электропитании в полуцикле охлаждения детали, циклического характера скоростного дискретного энерговвода, ускорение диффузных процессов сокращает в 2–3 раза время обработки, снижаются электропотребления и уменьшается энергоемкость технологии в 10 раз. Таким образом, циклический характер нагрева изделия позволяет сократить в 2 ... 5 раз нужную мощность источников электрического питания, относит технологию ВТАППТР к категории энергосберегающих. Технология ТЦИА повышает твердость поверхности на 20%, меняет формы и размеры детали, а также шероховатость поверхности. Поэтому она используется как финишная, без заключительной механической обработки. Это значительно упрощает ТП производства при повышении долговечности и износостойкость детали в 4 раза, границы многоцикловой усталости – на 25%.

Технология ионно-плазменного термоциклической азотирования (ИПТА) защищена патентами Украины и не имеет аналогов в отечественной и мировой практике. Для ВТАППТР использовалась разработанная в Институте проблем прочности НАН Украины универсальная установка «ВИПА-1» (рис. 1).



Рис. 1 – Установка для импульсного ионного азотирования

В установке используют абсолютно экологически чистый вакуумный процесс, потребление электроэнергии снижено в 4 и более раз, продолжительность процесса сокращена в 2 раза, отсутствуют поводки деталей (особенно длинномерных), отсутствует хрупкость

поверхностного слоя. Принцип работы вакуумного оборудования для проведения ИПТА основан на возможности ионизации газа, который подается в вакуумную камеру с последующим получением плазменно-химического соединения на поверхности детали. Таким образом, получаются на поверхности детали твердые растворы азота, при этом служебные свойства (твердость, износостойкость и т.д.), А также ресурс детали многократно повышается.

Процесс ИА реализуется в две стадии: очистка поверхности и именно азотирования. Технологический процесс ИА сводится к следующим операциям: обезжиривания деталей; установка деталей на устройстве, одновременно должны служить для местной защиты от азотирования (покрыть защитную поверхность металлическим и диэлектрическим экраном). Зазор между деталью и экраном допускается не более 0,3–0,5 мм; установка в камеру печи деталей, термопары и свидетеля для контроля результатов азотирования; очистка поверхности детали катодным распылением в течение 15–40 минут под напряжением 800–1000 В при давлении ~133 Па. Эффективное катодное распыление обрабатываемой поверхности обеспечивает нагрев деталей до 300–400°C; выход на заданную температуру азотирования и выдержка для получения нужной толщины слоя. Давление в период насыщения азотом поддерживается в интервале 400–650 Па, а рабочее напряжение – 350–550 В. Охлаждение деталей в камере печи до 150–200°C при давлении 13–65 Па, продолжается 1–2 часа. Газовый режим азотирования обеспечивает равномерное упрочнение поверхностей образцов, обеспечивать равномерную толщину диффузионного слоя. Технологические параметры формирования упрочненных слоев: температура термоциклирования – 550±30 °C, давление – 25–150 Па, время обработки – 10 часов, соотношение реакционных газов – 80% Ar + 20% N₂. При экспериментальных исследованиях использовали образцы из стали 40Х13 размером 30×30 мм, толщиной 10 мм.

Выводы. В результате проведенных исследований установлены закономерности влияния параметров ТП ВТАППТР на микротвердость, глубину диффузионного насыщения, величину и распределение остаточных напряжений в упрочненных слоях стальных поверхностей. Показано, что:

- для получения максимальной микротвердости поверхностного слоя давление реакционного газа должен находиться в пределах 200–250 Па, время диффузионного насыщения – 90–150 мин; температура процесса – 500–600 °C;

- для получения максимальной толщины диффузионного слоя 150–305 мкм давление реакционного газа должен находиться в пределах 200–250 Па, время диффузионного насыщения – 180–240 мин; температура процесса – 550–600 °С;
- в ионноазотованих слоях возникают остаточные напряжения сжатия порядка 950 МПа, уровень и распределение которых зависят от технологических параметров процесса ВТАППТР и от предварительной термообработки (ТО).

В результате проведения исследований свойств поверхностных слоев образцов, упрочненных азотированием, установлено: толщина диффузионного слоя составляет 40 мкм; микротвердость поверхностного слоя достигает 7600 МПа; возникают остаточные напряжения сжатия порядка 445 МПа; выявлено повышение коррозионной стойкости в 3,1 раза.

На основании экспериментальных исследований установлено, что благодаря использованию ТП ВТАППТР предел выносливости стальных конструкций при температурах до 640 °С повышается на 15–20%.

Анализ последних исследований и публикаций показывает отсутствие обобщающих выводов и рекомендаций по выбору оптимальных технологических параметров ВТАППТР, которые использовались хотя бы для практического применения этой технологии. Эти обстоятельства подтверждают актуальность оптимизации технологии ВТАППТР и необходимость дальнейшего изучения.

Рябченко С.В., Сильченко Я.Л., Федоренко В.Т.

Институт сверхтвёрдых материалов
им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

ФИНИШНОЕ ШЛИФОВАНИЕ РОТОРОВ С ЗУБЧАТЫМИ ВЕНЦАМИ

Финишные операции обработки роторов имеющих зубчатые венцы являются частью технологического процесса изготовления сложных изделий машиностроения. Причем обработка таких роторов состоит из операций финишной обработки самого ротора и финишной обработки зубчатого венца. Методы финишной обработки зубчатых венцов роторов можно условно разделить на две основ-

ные группы. Обеспечивающие геометрическую точность зубьев и обеспечивающие качество поверхности зубьев.

Зубошлифование является одним из основных способов финишной обработки зубчатых колес. Шлифованием обеспечивается 3–6 степень точности зубчатых колес и шероховатость поверхности Ra 0,20–1,2. Шлифование самого вала ротора обеспечивает высокую точность обработки до 6 квалитета и шероховатость поверхности Ra 0,10–0,63.

При современном развитии технологии актуальным является создание алмазно-абразивных инструментов, которые обеспечивают необходимое качество и точность обработки валов и зубчатых колес. При этом важная роль принадлежит абразивным материалам и связкам шлифовальных кругов.

В производстве алмазно-абразивных кругов для финишного шлифования используются, в основном, различные разновидности электрокорундов. Из всего многообразия абразивных материалов, из которых изготавливаются шлифовальные круги для зубошлифования, особое место принадлежит хромистому электрокорунду. Опыт использования хромистого электрокорунда при шлифовании закаленных до высокой твердости (62 HRC) зубчатых колес на станках «Maag», «Niles» и «Reishauer», послужил основой для разработки шлифования зубчатых колес методом копирования. Например, результаты использования тарельчатых кругов на станках «Maag» показали, что при шлифовании зубчатых колес кругами из хромистого электрокорунда производительность обработки повышается в 1,2 раза по сравнению с кругами из белого электрокорунда при сохранении необходимой точности и качества обработки. Также успешно применяются червячные абразивные круги из хромистого электрокорунда при шлифовании зубчатых колес на станках типа «Reishauer». В последнее время появились эффективные технологии изготовления высокопористого абразивного инструмента из современных монокристаллических электрокорундов.

Нами проведено исследование процесса профильного шлифования зубчатых колес кругами из монокристаллических корундов на шлифовальном станке модели HÖFLER RAPID 1250 (рис. 1).

Результаты испытаний шлифовальных кругов из монокристаллического (WG9) и золь-гелевого (3SG) корунда показали их высокую эффективность по сравнению с кругами из белого электрокорунда. Эти круги обеспечивают уменьшение мощности шлифования и лучшие показатели по точности и качеству обработки.



Рис. 1 – Профильное шлифование зубчатого венца ротора кругом из золь-гелиевого корунда на станке «HÖFLER RAPID 1250»

Сенють В.Т., Витязь П.А., Валькович И.В.

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,

Хейфец М.Л. ОАО «НПО «Центр»

НАН Беларуси, Минск, Беларусь,

Колмаков А.Г. Институт металлургии и материаловедения

им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия

ПОЛУЧЕНИЕ МИКРОПОРОШКОВ BN И Al_2O_3 С ПОКРЫТИЕМ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ ДЛЯ СИНТЕЗА МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Прогресс в создании и практическом использовании дисперсно-упрочненных металломатричных композиционных материалов (КМ) и покрытий во многом определяется достижениями в разработке наполнителей и модификаторов их структуры. Добавки микро- и наноструктурных тугоплавких частиц в качестве примесных модификаторов позволяют эффективно изменять структуру металломатричных КМ, способствовать ее измельчению и повышению механических и триботехнических характеристик [1]. Широкое применение для этих целей получили углеродные наноматериалы, позволяющие значительно увеличить прочность, износостойкость и задиростойкость КМ, улучшить их антифрикционные свойства. Однако методы производства

большинства углеродных наноматериалов связаны с энергоемкими процессами их синтеза, что затрудняет их внедрение в промышленных масштабах. С другой стороны, в качестве модифицирующих добавок достаточно эффективно используются нанопорошки тугоплавких соединений – Al₂O₃, SiC, TiN, TiCN, WC и др. В результате повышается износостойкость, прочность, трещиностойкость, предел текучести и прочность на разрыв КМ.

Изучение алюмоматричных КМ, полученных в результате термобарической обработки промышленных порошков алюминия, показало перспективность использования в качестве модифицирующих добавок ультрадисперсных иnanoструктурных порошков тугоплавких соединений с алюминиевым покрытием. Показано, что добавка 0,5–5 мас.% указанных модификаторов к промышленным порошкам алюминия позволяет снизить температуру и сократить время термообработки. При этом повышается твёрдость КМ и снижается размер зерна спеченных материалов.

Так, использование модификаторов на основе nanoструктурного cBN в алюминиевую матрицу стабилизирует рост зерен алюминия при термобарической обработке в пределах 10–30 мкм и приводит к повышению микротвердости в 1,5–2 раза. Однако рост температуры термообработки материала приводит к рекристаллизации cBN и снижению микротвердости материала [2].

Перспективы использования nanoструктурных модификаторов в промышленных научноемких технологиях определяются возможностью получения относительно дешевых продуктов в достаточных объемах. Наряду с высокой стоимостью исходных нанопорошков модификаторов существует также проблема неоднородности структурных характеристик исходного сырья.

Одним из возможных вариантов решения проблемы получения относительно недорогого модифицирующего материала при сохранении его высокой эффективности – использование комбинированных структур на основе частиц микронных размеров с сформированным на их поверхности функциональным слоем nanoструктурного материала. Цель работы – разработка модифицирующих добавок на основе промышленных микропорошков тугоплавких соединений (графитоподобного BN и Al₂O₃) с nanoструктурным функциональным покрытием на основе алюминия.

В проведенных ранее исследованиях [3] было показано, что в ходе высокотемпературной химико-термической обработки (ХТО) микропорошков hBN и алюминия формируется многофазный ком-

позит на основе hBN, содержащий гексагональный α -AlN, кубический β -AlN, борид AlB₂, оксид α -Al₂O₃, а также свободный бор и алюминий. При этом химические соединения и элементы формируются на поверхности частиц Al и hBN в виде достаточно крупных вискеров и шипов, а химический состав полученного материала нестабилен и зависит от многих технологических факторов.

В данной работе продолжены исследования по получению композиционного модификатора на основе микрочастиц hBN/корунда сnanoструктурным покрытием (островкового типа) из алюминия. Покрытия на микропорошки hBN/корунда наносили методом комбинированной XTO в восстановительной атмосфере. В отличие от ранее используемого метода, осаждение покрытия на порошки осуществлялось при более низких температурах до 700 °C.

Содержание алюминия в шихте при модифицировании hBN варьировали от 10 до 20 мас.%. Выполненный рентгеноструктурный анализ подготовленной шихты hBN+Al после модифицирования алюминием в количестве 10 мас.% установил наличие в шихте алюминия и гексагонального BN (P63/mmc) без образования новых промежуточных фаз.

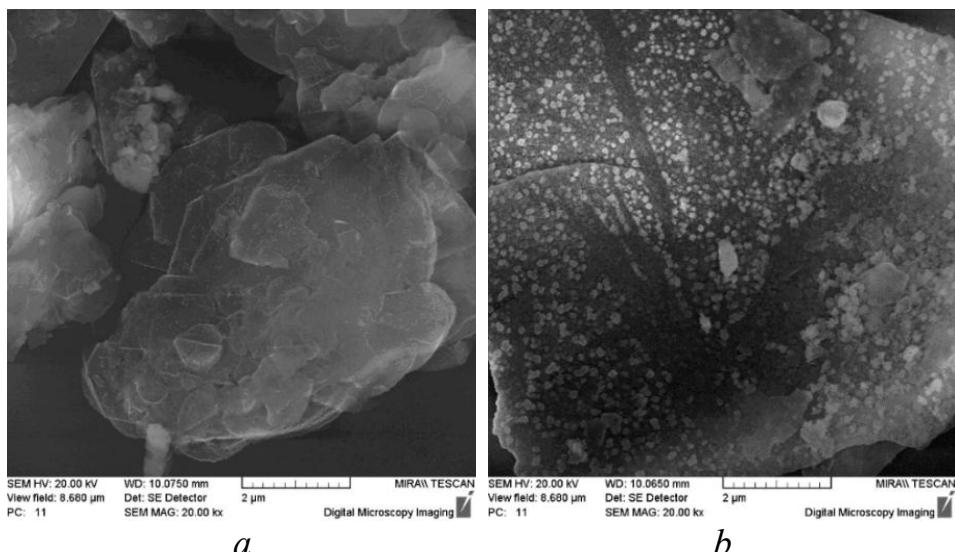


Рис. 1 – Морфология частиц hBN после модифицирования Al в количестве: 10% (а); 20% (б)

Исследования микроструктуры порошков hBN+Al после химико-термической обработки показали, что морфология частиц hBN не изменяется, а алюминий при таком способе модифицирования адсорбируется на поверхности частиц hBN, образуя мелкокристаллическую пленку с островками, размер которых зависит от концентрации алюминия. Так, при содержании Al до 10% размер остров-

ков составляет 15–50 нм (рис. 1, а). С увеличение его концентрации до 20% размер островков увеличивается до 120 нм (рис. 1, б). Отдельных крупных частиц алюминия в шихте после ХТО обнаружено не было. На рис. 2 представлены частицы корунда до и после осаждения алюминия.

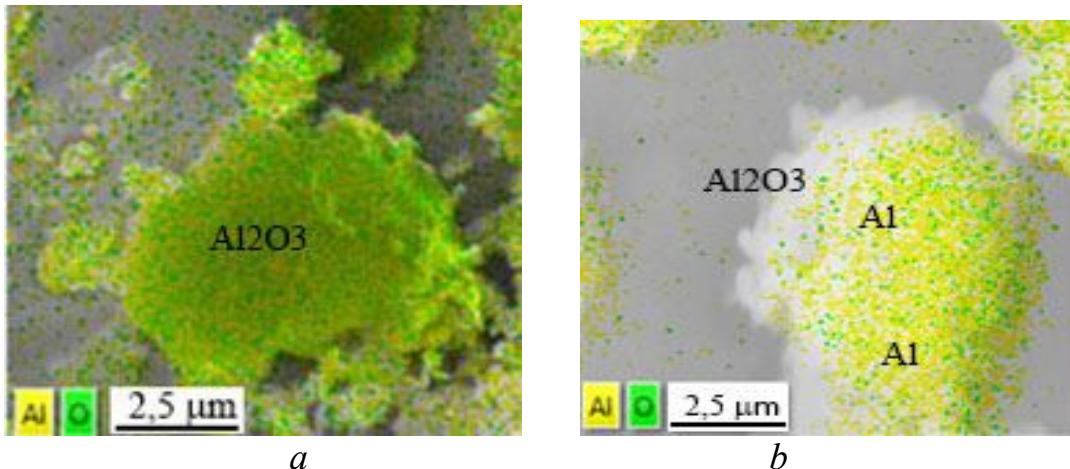


Рис. 2 – Частицы а- Al₂O₃: исходная частица (а); после осаждения Al (б)

Анализ модифицированных микропорошков а-Al₂O₃, проведенный с помощью СЭМ и МРСА, показал наличие на поверхности частиц корунда наноструктурного покрытия островкового типа на основе алюминия (рис. 2, б).

Полученные результаты показывают перспективность разработанного подхода модификации алюминием промышленных порошков hBN и а-Al₂O₃.

Литература

1. Курганова, Ю. А. Конструкционные металломатричные композиционные материалы : уч пособие / Ю. А. Курганова, А. Г. Колмаков. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. – 141 с.
2. Витязь, П. А. Получение алюноматричного композиционного материала, модифицированного наноструктурным кубическим нитридом бора / П. А. Витязь, В. Т. Сенють, М. Л. Хейфец, А. Г. Колмаков // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2018.– Т. 63, № 3. – С. 271–279.
3. Витязь, П. А. Аспекты создания наноструктурированных композиционных модификаторов для сплавов алюминия / П. А. Витязь, А. И. Комаров, В. И. Комарова и др. // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2011. – Т. 55, № 5. – С. 91–96.

Исследования поддержаны грантом БРФФИ-РФФИ по проекту T18P-183

Smirnov I., Lopata A. National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institut»,
Lopata L. G.S. Pisarenko Institute for Problems of Strength of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv,
Ivchenko T. Kherson State Maritime Academy, Ship Power Plant Operation, Kherson, Ukraine

IMPROVEMENT OF FUNCTIONAL PROPERTIES OF GAS-THERMAL COATINGS BY ELECTROCONTACT TREATMENT

Among the current technological and material science areas of science and technology, the problem of surface engineering is one of the most significant. Giving the surfaces of machine parts, working bodies, tools, and other structures the necessary physical, chemical, and performance properties is most successfully implemented when using approaches and technological methods for surface engineering. Via coating and modifying surface layers, it is possible to significantly improve the performance and reliability of parts and structures, to provide them with new, not achievable by other methods, functional properties. Promising are methods for surface engineering which combine coating with surface modification or processing.

Without the use of modern high-technology for hardening protective coatings, Ukraine's economy will not come out of the crisis of an acute shortage of metal, spare parts, electricity, and fuel. The use of coatings prolongs the service life of parts by increasing their wear and corrosion resistance, restoring performance, and also by replacing expensive materials with cheaper ones with coatings. Moreover, the use of coatings can markedly reduce the cost of alloyed steels and alloys. In this case, it is possible to create products with a unique combination of properties that are unattainable when using traditional structural materials. The coating material is usually chosen on the basis of the substrate material and operation conditions.

There are various methods for deposition of protective coatings. The variety of types of coating is due to the fact that none of them can claim to be universal. The accumulated experience shows that there are no universal methods that are effective for hardening a variety of parts, since each method has its own scope, advantages and disadvantages. Coatings are multifunctional. They can help regulate thermal conductivity, provide the surface with corrosion resistance, wear resistance, specific performance properties (electrical, optical, anti-friction, etc.). Coat-

ings are a promising way to protect against exposure to high heat fluxes and corrosive media. The creation of coatings ensuring the operability of machines and equipment under extreme operation conditions (exposure to high temperature, wear, aggressive media) was and remains an important and urgent task.

The use of coatings is associated with the implementation of a fundamentally new approach to the creation of structural materials: the strength and carrying capacity of a part are provided by the base material, whereas the resistances to corrosion wear, and other harmful factors – by a coating. Most methods for coating deposition can be considered as alternative. The same coating material can be deposited in different ways. The complex of mechanical properties and operation characteristics of the coated part depends on the method for obtaining the coating. Promising are methods of gas-thermal spraying (GTS), whose current level of technology allows the solution of problems of high-temperature corrosion and wear in the power industry, aircraft and automobile construction, turbine construction, petrochemistry, metallurgy and other fields of industry. Methods of gas-thermal spraying (GTS) are promising.

The investigations of K.A. Yushchenko, Yu.S. Borisov, Yu.A. Kharlamov, M.I. Chernovol, V.S. Ivashko, and M.A. Belotserkovskyi have shown that in order to create wear-resistant coatings, it is advisable to use cheaper and easier to implement methods for gas-thermal spraying, in particular, gas-flame (GFS) and electric arc (EDS) spraying [1–7]. However, with the implementation of these methods, there was revealed insufficient hardness, relatively low density and adhesion strength of coatings, which required the use of additional techniques for their treatment by impregnation, thermal, chemical-thermal treatment and mechanical-thermal processing (Fig. 1).

Treatment of coatings should ensure their impermeability to corrosive environments, increase the strength of coating – to – substrate adhesion, hardness, and wear resistance.

The transition of the economy to the path of intensive development involves the use of coating processing methods that are implemented using autonomous or joint effects of temperature, mechanical, and chemical factors. The application of methods with the minimum necessary heating and small values of allowances is of great importance. In this regard, the mechanical-thermal processing is of considerable interest (Fig. 1).

One of the most effective mechanical methods is an electrocontact treatment (ECT). Its advantages include: minimum heat input and finishing allowances. One of the most effective methods of mechanical-

thermal processing is electrocontact treatment (ECT). Its advantages include minimum heat input and finishing allowances.

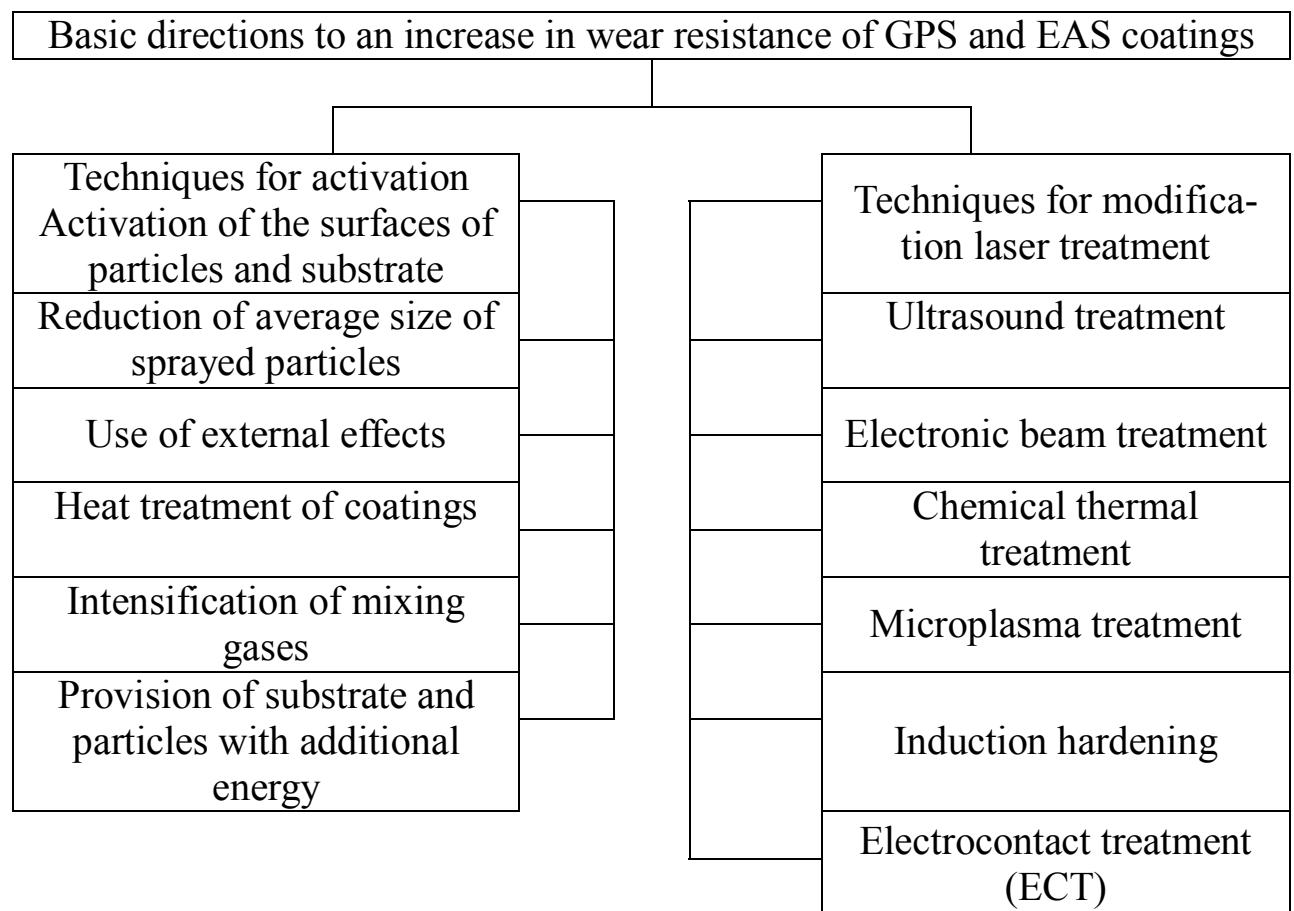


Fig. 1 – Basic directions to an increase in wear resistance of GPS and EAS coatings

The purpose of the work was to improve the functional properties of gas-thermal coatings by electrocontact treatment.

Conclusions.

Among the current technological and material science areas of science and technology, the problem of surface engineering is one of the most significant. Combination of coating deposition with the following modification of the surface and its treatment is especially up-to-date.

The creation of coatings ensuring the operability of machines and equipment in extreme conditions of operation has been and remains relevant. There are various techniques for deposition of protective coatings.

For the first time, it has been shown that a smooth decrease in microhardness through the thickness of sprayed coatings after their ECT ensures adhesion strength of coatings of 180–200 MPa and minimizes the probability of their detachment.

For the first time, it has been established that the high coating-to-part adhesion strength after ECT is associated with the phenomenon of anomalous mass transfer, in particular with the accelerated migration of atoms under the electroplastic effect due to the formation of a significant diffusion interlayer. A proper combination of pressure and current pulses makes it possible to realize the electroplastic effect, which, reducing the power parameters of the process can attribute it to the energy-saving technology.

Electrocontact treatment of sprayed coatings using residual heat allows obtaining “dimensional coatings” with the required accuracy and surface cleanliness with minimal finishing machining or without it.

References

1. Iliuschenko, A. F. Formation of gas-thermal coatings: theory and practice / A. F. Iliuschenko, V. A. Okovity, S. P. Kundas, B. Formanek – Mn., 2002.
2. Baldaev, L. Kh. Gas-thermal spraying / L. Kh. Baldaev et al. – Market DS, 2007. – 344 p.
3. Boronenkov, V. N. Fundamentals of arc metallization. Physico-chemical regularities / V. N. Boronenkov, Yu. S. Korobov. – Yekaterinburg : Univ. Publ. house, 2012. – 267 p.
4. Vitiaz, P. A. Hardening of gas-thermal coatings / P. A. Vitiaz, R. O. Azizov, M. A. Belotserkovsky. – Mn. : Bestprint, 2004. – 192 p.
5. Korobov, Yu. S. Efficiency of using activated arc coating metallization / Yu. S. Korobov // Welding Production. – 2005. – № 5. – P. 47–50, 62, 64.
6. Belotserkovsky, M. A. Technological features and areas of using hypersonic metallization / M. A. Belotserkovsky, A. S. Pryadko, A. E. Cherepko // Innovations in mechanical engineering: Coll. of papers. – Mn. : OIM NAS Belarus, 2008. – P. 479-484.
7. Belotserkovsky, M. A. Structural anomalies in steel gas-thermal coatings and the possibility of their use / M. A. Belotserkovsky // Strengthening Technologies and Coatings. – 2008. – 10. – P. 39–44.

Смирнов И.В., Лопата А.В. НТУ Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», Киев
 Николайчук В.Я. Винницкий национальный аграрный университет, Винница, Украина

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ОБРАБОТКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ НАПЫЛЕННОГО ПОРОШКОВОГО СЛОЯ

С целью определения оптимальных режимов процесса электроконтактной обработки (ЭКО) напыленных покрытий исследовалось влияние технологических параметров ЭКО на формирование напыленного слоя и прочность его соединения с основой (рис. 1). Электроконтактная обработка покрытий, полученных напылением, с одной стороны повышает качество напыленных покрытий, а с другой – предварительное напыление порошкового слоя позволяет снизить основные технологические параметры процесса ЭКО.

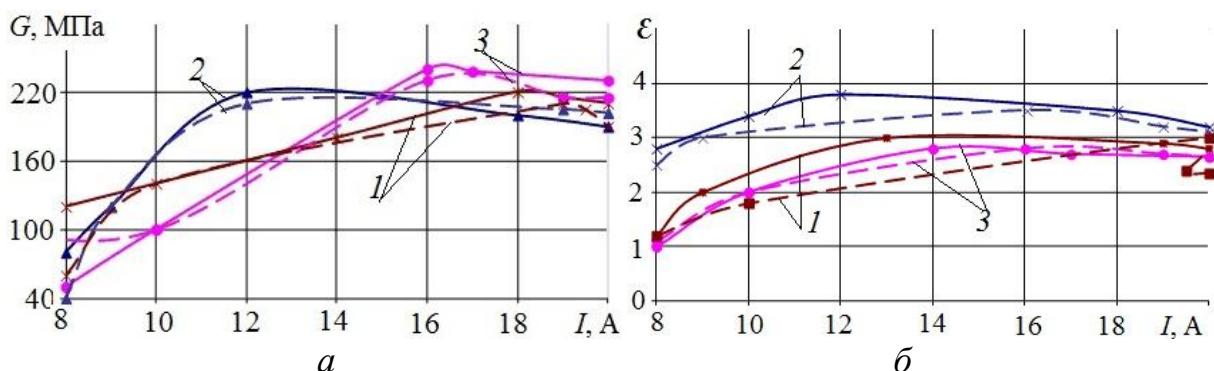


Рис. 1 – Зависимость прочности сцепления (а) и износостойкости (б) напыленных покрытий от тока ЭКО (давление ЭКО $P = 30$ МПа, толщина покрытия $\delta = 1,5$ мм): (сплошная линия – экспериментальные, пунктирная – расчетные кривые). 1 – плакированный алмазные порошок АСН, 2 – порошковая проволока ФМИ-2; 3 – проволока 40Х13

Сила тока, протекающего через напыленный порошковый слой, определяет режим ЭКО. Величина тока ЭКО, при которой покрытие получается практически бесспористым, с высокой прочностью сцепления и износостойкостью, определяется твердостью наносимого материала. Чем выше твердость материала, тем больше величина тока ЭКО. При силе тока $8 \leq I \leq 18$ напыленные покрытия получаются практически бесспористыми, с прочностью сцепления 180–200 МПа. Дальнейшее увеличение тока приводило к перегреву детали и дестабилизации процесса [1].

Напыленное покрытие обрабатывают в импульсном режиме пропускания электрического тока. Отношение времени импульса к времени паузы выбирали в зависимости от свойств материала покрытия и детали в пределах 0,5–1. Продолжительность импульса тока и паузы принимали кратным периоду тока (0,02 с). осуществление такого цикла обеспечивалось аппаратурой управления сварочной машины экспериментальных установок для ЭКО. При коротких группах импульсов, чередующихся с большими паузами, наблюдалась чешуйчатость покрытий.

Силовой фактор играет очень важную роль в процессе ЭКО, так как твердость материала покрытия влияет на его свойства. Величина давления ЭКО находится в пределах 10–60 МПа [2]. Однако при нанесении покрытий из материалов с высокой твердостью электроконтактным методом использование высоких давлений (60 МПа и более) приводит к выдавливанию формируемых слоев из-под электрода, снижению износостойкости упрочненных слоев (растет рекристаллизация), интенсивному износу электродов. Установлено, что напыление покрытий снижает давление их электроконтактной обработки в 1,5–2,0 раза, повышая плотность напыленных покрытий до 95–99% (рис. 2, 3).

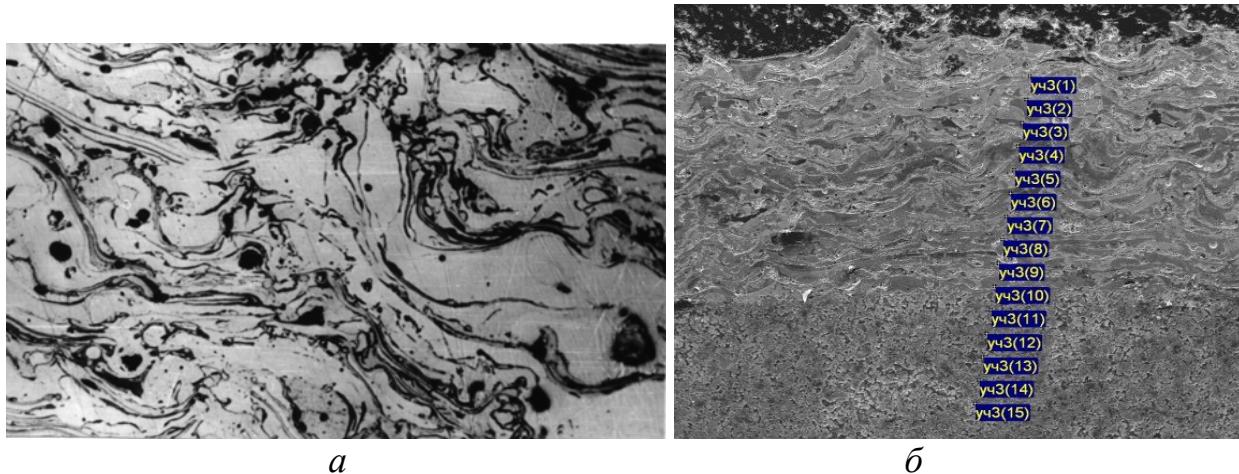


Рис. 2 – Микроструктура поперечного сечения напыленных покрытий после ЭКО ×250 (а) и напыленных покрытий (б)

Таким образом, электроконтактная обработка напыленных слоев позволяя при этом получить практически бесспорные покрытия с высокими значениями прочности сцепления и износостойкости без увеличения давления ЭКО или при его снижении в среднем в 1,5–2 раза по сравнению с покрытиями, полученными электроконтактным методом.

Класс	Описание	% площади
1	Поры	1.39%
2	Основа	98.61%

Класс	Описание	% площади
1	Поры	13.29%
2	Основа	86.71%



Рис. 3 – Гистограммы распределения пористости напыленных покрытий после ЭКО (а) и напыленных покрытий (б)

Зависимость прочности сцепления и износостойкости напыленных покрытий от давления ЭКО приведены рис. 4 на примере покрытия из плакированного алмазного порошка. Аналогичные зависимости имеют место при ЭКО напыленных покрытий порошковой проволокой ФМИ-2 и 40Х13. Следует отметить, что увеличение давления ЭКО до 50–60 МПа вызывает рост прочности сцепления слоя, дальнейшее его увеличение приводит к снижению прочности сцепления, что объясняется уменьшением тепловыделения в слое и улучшением теплопередачи из слоя покрытия в деталь.

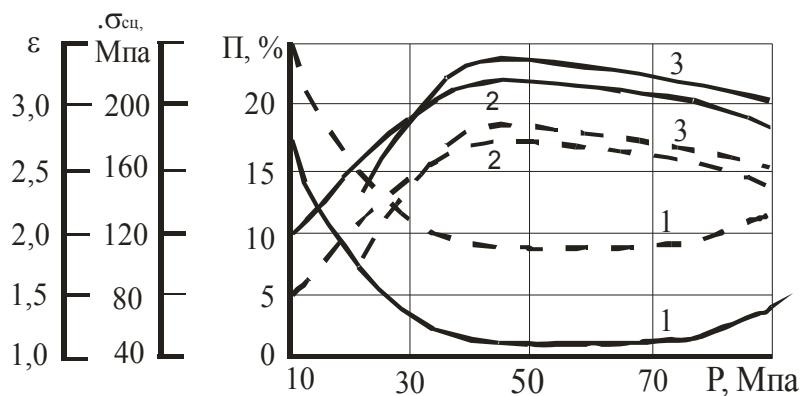


Рис. 4 – Зависимость пористости (1), прочности сцепления (2) и износостойкости (3) покрытий из плакированного алмазного порошка (25 об.% АСН) от давления ЭКО: — нанесение покрытий электроконтактным методом; - - - ЭКО напыленных покрытий

Література

1. Лопата, Л. А. Повышения качества напыленных покрытий / Л. А. Лопата, Н. А. Медведева, Т. М. Туник, С. Г. Салий // Мир техники и технологий. – 2005. – № 8 (54). – С.54–56.
2. Черновол, М. И. Получение износостойких напыленных покрытий /М. И. Черновол, Т. В. Ворона, Л. А. Лопата, Л. С. Капишон // Инжен. поверхн. и реновация изделий : Мат. 14-й международ. науч.-техн. конф., 2–6 июня 2014 г., Свалява. – К. : АТМ України. – С. 149–151.

Соколова О.А., Вислоух С.П. НТУ України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

ВИБІР ЕФЕКТИВНИХ МЕТОДІВ НАВЧАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ПРИ ПРОГНОЗУВАННІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

На сьогодні використання штучних нейронних мереж є перспективним напрямком в вирішенні задач технологічної підготовки виробництва. Так, методи штучних нейронних мереж найбільш доцільно застосовувати з метою прогнозування та моделювання параметрів, класифікації, групування та розпізнавання образів, групування конструкційних матеріалів за їх хімічним складом та фізико-механічними властивостями, визначати класифікаційну групу, до якої відноситься новий матеріал, та встановити режими його обробки. Ефективним є також застосування штучних нейронних мереж при розробці нормативів з режимів різання конструкційних матеріалів, а також при автоматизованому проектуванні технологічних процесів виготовлення деталей, яке базується на їх групуванні та розпізнаванні образів [1].

В даній роботі розв'язується задача вибору оптимальної структури ШНМ за кількості прихованих шарів мережі та ефективного методу її навчання при вирішення конкретної технологічної задачі. Для цього застосовано інструменти програми MatLab, а саме: модуль Neural Network Toolbox [2].

Вбудовані штучні нейронні мережі пакету MatLab дозволяють навчити та використати вже існуючу нейронну мережу. Данна програма містить три алгоритми для навчання: алгоритм зворотного розповсю-

дження Левенберга-Марквардта (Levenberg-Marquardt); алгоритм маштабуємих спряжених градієнтів (Scaled Conjugate Gradient); алгоритм байєсової регуляризації (Bayesian Regularization) [3].

З метою розв'язання поставленої задачі використано результати процесу фрезерування площинних поверхонь заготівок із корозійностійкої сталі 40Х13 торцевими фрезами з пластиналами із твердого сплаву ВК6М без охолодження.

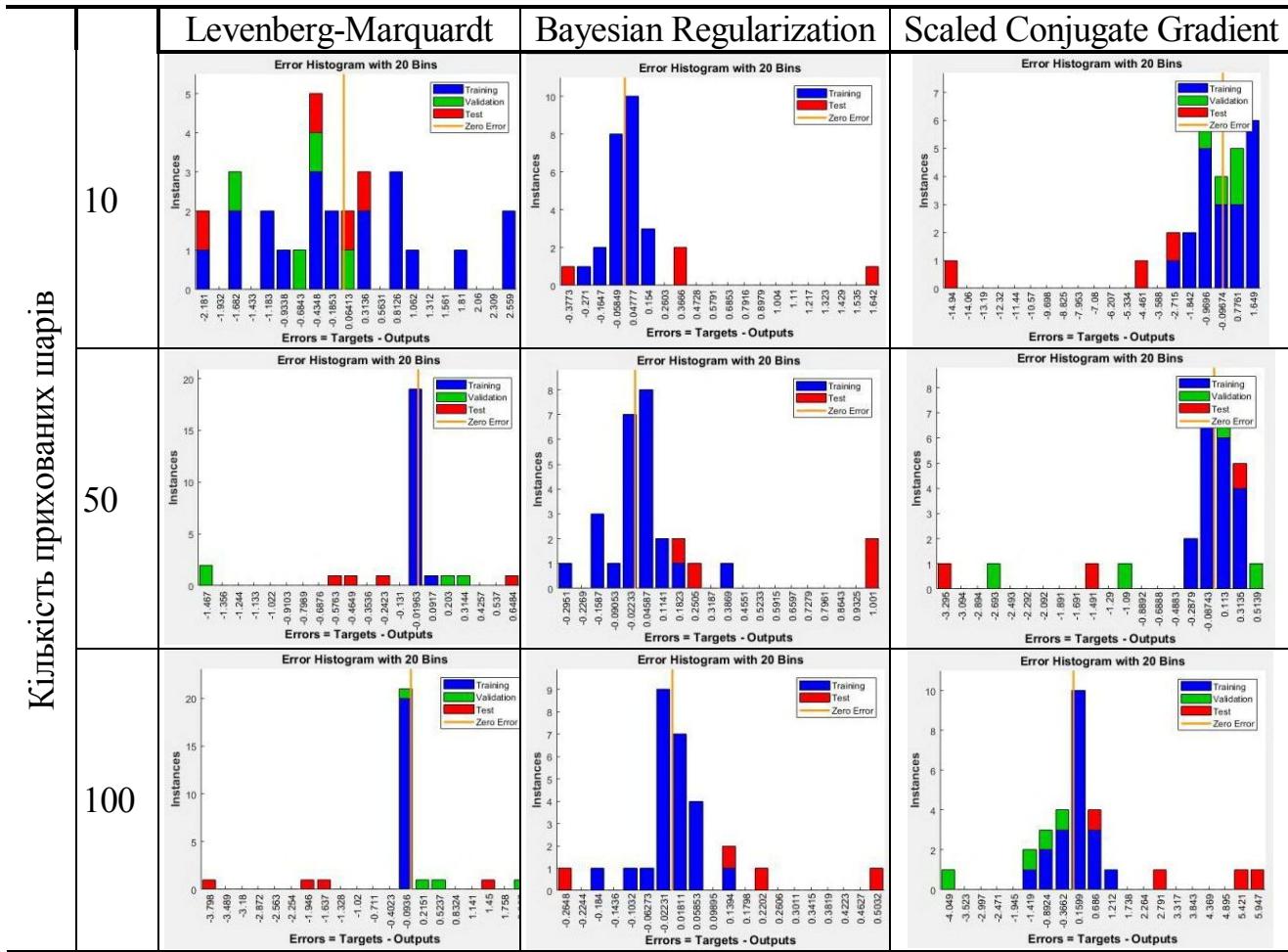
При проведенні експериментальних досліджень діаметр фрези в даному дослідженні варіювався в межах від 100 до 200 мм, ширина фрези – від 70 до 120 мм, глибина різання t – від 1 до 5 мм, швидкість різання – від 66 до 164 мм/хв, подача – від 140 до 800 мм/хв, а потужність – від 1,13 до 8,5 кВт.

В табл. 1 представлено гістограми розподілу похибки при тренуванні (Training – синій колір), валідації (Validation – зелений колір) та тестуванні (Test – червоний колір) штучних нейронних мереж для трьох методів навчання: Levenberg-Marquardt, Bayesian Regularization, Scaled Conjugate Gradient та для різної кількості прихованих шарів – 10, 50, 100. Подальше збільшення кількості шарів є невиправданим, оскільки витрачається забагато часу на тренування мережі та може привести до перетренування (overfitting). В цих таблицях по горизонталі представлено абсолютну похибку прогнозування (Error = Targets – Outputs), а по вертикалі – частота її виникнення (Instances). Числові значення до даних рисунків надано в табл. 2.

В табл. 2 наведено діапазони значень абсолютнох похибок, яких вони набували при навчанні, тестуванні та валідації. Видно, що при 10 прихованих шарах найменшу похибку має метод Bayesian Regularization (1.642), а найбільшу – Scaled Conjugate Gradient (-14.94). При 50 прихованих шарах найменшу похибку має метод Bayesian Regularization (1.001), а найбільшу – Scaled Conjugate Gradient (-3.295). При 100 прихованих шарах найменшу похибку має метод Bayesian Regularization (0.5032), а найбільшу – Scaled Conjugate Gradient (5.947). Метод Levenberg-Marquardt забезпечує задовільну точність при найбільшій швидкості тренування, тоді як метод Bayesian Regularization – найбільшу точність при меншій швидкості.

В табл. 3 представлено результати роботи штучної нейронної мережі після навчання за методом Bayesian Regularization із використанням 100 прихованих шарів, що є найкращою для розв'язання поставленої задачі прогнозування.

Таблиця 1 – Гістограми розподілу похибок прогнозування різними методами навчання ШНМ



Таблиця 2 – Діапазони значень похибок методами навчання ШНМ

Кількість прихованих шарів	Levenberg-Marquardt	Bayesian Regularization	Scaled Conjugate Gradient
10	[-2.181; 2.559]	[-0.3773; 1.642]	[-14.94; 1.649]
50	[-1.467; 0.6484]	[-0.2951; 1.001]	[-3.295; 0.5139]
100	[-3.798; 1.758]	[-0.2648; 0.5032]	[-4.049; 5.947]

Таблиця 3 – Результати роботи штучної нейронної мережі

D фрези	B фрези	t	V	S	N очікуване	N прогнозоване
100	70	1	164	210	1.13	1.1073
100	70	2	90	340	5.5	5.4907
125	85	5	90	145	4.85	4.8405
160	110	1	121	190	1.61	1.6512
200	120	1	84	162	4.5	4.3793
200	120	2	66	190	8.5	8.4267

Отже, для навчання нейронної мережі доцільно використовувати метод Bayesian Regularization за будь-якої кількості прихованих шарів, проте найкраще буде використати 100 прихованих шарів, оскільки тоді похибка буде мінімальною. Найгіршим методом для навчання виявився Scaled Conjugate Gradient, оскільки має найбільшу похибку. Проте для кожного нового випадку необхідно перевіряти найбільшу прийнятну кількість шарів, що забезпечить найменшу похибку прогнозування.

Література

1. Вислоух, С. П. Інформаційні технології в задачах технологічної підготовки приладо- та машинобудівного виробництва / С. П. Вислоух. – К. : НТУ України «КПІ», 2011. – 488 с.
2. Соколова, О. А. Моделювання періоду стійкості твердосплавних різців при обробленні титанових сплавів. / О. А. Соколова, С. П. Вислоух // Зб. наук. праць Х Всеукр. наук.-техн. конф. з міжнарод. участию «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти», 6–9 листопада 2019 р. – Житомир : Державний університет «Житомирська політехніка». – 2019. – С. 181–182.
3. Соколова, О. А. Моделювання процесу фрезерування деталей із жаростійкої сталі засобами штучних нейронних мереж / О. А. Соколова, С. П. Вислоух // Зб. наук. праць XV Всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень в приладобудуванні», 10–11 грудня 2019 р. – К. : НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». – 2019. – С. 172–175.

Сороченко В.Г., Сохань С.В. Институт
сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля
НАН Украины, Киев, Украина

АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЕ ШЛИФОВАНИЕ СФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Проблема замены природных материалов синтетическими является важной народнохозяйственной задачей. В настоящее время в современном машиностроении всё больше находят свое применение

ние изделия из полимерных композиционных материалов, благодаря своим уникальным физико-механическим и эксплуатационным свойствам. Изделия из этих материалов имеют повышенную стойкость под нагрузкой при длительной эксплуатации в достаточно широком температурном интервале (от -40 до $+260$ $^{\circ}\text{C}$), инертны к действия растворителей и агрессивных сред (кислота, бензин, керосин, минеральные масла и др.). Однако после основных методов формования изделия из полимерных композиционных материалов, как правило, требуют последующей механической обработки резанием, которая является обязательной и наиболее трудоемкой.

В Институте сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины проведены исследования по алмазно-абразивному шлифованию сферических поверхностей тел качения в виде шариков из литьевого углепластика типа УПА 6-40, некоторые физико-механические свойства которых приведены в табл. 1. Целью проведенных исследований было получение шариков с величиной отклонения от сферичности поверхности в пределах не более 10 мкм.

Таблица 1 – Свойства углепластика типа УПА 6-40

Свойства	Показатели	Методы испытаний
Внешний вид	Цилиндрические гранулы, крошка, порошок	ОСТ 6-06-09-76
Содержание влаги, % не более	0,5	ГОСТ 14870-77
Содержание экстрагированных веществ, % не более	3,0	ГОСТ 17824-81
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	$1,00 \pm 0,02$	ГОСТ 23630.2-79
Температуропроводность, $\text{м}^2/\text{с} \cdot 10^{-4}$	4,5	ГОСТ 15065-69
Теплостойкость по Вика, К	483±3	ГОСТ 15088-83

Шлифовали 20 шт. заготовок шариков, которые предварительно были разделены на три группы: первая группа – восемь шариков, вторая и третья группы по шесть шариков. Третья группа шариков, которая имела наибольшее количество дефектов – приблизительно 30% общей поверхности изделия (углубления после формования, ра-

ковины, трещины и др.), была использована нами для выбора схемы обработки и отработки технологических режимов шлифования.

Исследования проводили на технологической установке, смонтированной на базе вертикально-фрезерного станка модели 6Т12-1. Режим шлифования: $n_{\text{кр}} = 2000$ об/мин.; $n_{\text{ст}} = 30$ об/мин.; осевая подача 0,02–0,04 мм. Алмазный круг 6А2Т 300x3x80 АС6 100/80 100 МХ5. Припуск на обработку шариков принят равным 0,1 и 0,2 мм. Шлифование шариков проводили в следующей последовательности: осевая подача инструмента 0,02 мм (глубина резания 0,1 мм) и 0,04 мм (глубина резания 0,2 мм) и проводили шлифование партии шариков на протяжении 15 мин. В такой последовательности проводили шлифование 5 раз. Заключительным переходом было выхаживание сферических поверхностей шариков на протяжении двух часов. Результаты алмазно-абразивного шлифования шариков из литьевого углепластика приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2 – Показатели отклонения от сферической формы и разноразмерность шариков первой партии

До шлифования			После шлифования		
Отклонение от сферической формы, мкм	Максимальный диаметр, мм	Минимальный диаметр, мм	Отклонение от сферической формы, мкм	Максимальный диаметр, мм	Минимальный диаметр, мм
10	25,700	25,688	10	25,606	25,594
20	25,705	25,687		25,607	25,594
	25,702	25,668		25,618	25,600
10	25,704	25,693		25,616	25,596
20	25,702	25,681		25,608	25,595
10	25,706	25,695		25,617	25,599
20	25,707	25,692		25,617	25,600
10	25,713	25,688		25,617	25,599

Анализ данных, приведенных в табл. 2, свидетельствует о том, что при достигнутой требуемой величине отклонения от сферичности формы равной 10 мкм средний диаметр шариков первой партии равен 25,697 мм до обработки и 25,600 мм после обработки. За цикл обработки, который состоял из двух подач по 0,02 мм на протяжении пятнадцати минут каждый и последующей обработки без подачи с поверхности шариков был снят припуск 32 мкм. Анализируя данные

табл. 3 можно сделать вывод, что с увеличением подачи наблюдается некоторое несовпадение величины припуска с фиксированной величиной подачи. Данное несоответствие связано с тем, что обрабатываемый материал обладает значительными вязко-упругими свойствами. Это необходимо учитывать при размерной прецизионной обработке сферических поверхностей изделий типа «Шар».

Таблица 3 – Показатели отклонения от сферической формы и разноразмерность шариков второй партии

До шлифования			После шлифования		
Отклонение от сферической формы, мкм	Максимальный диаметр, мм	Минимальный диаметр, мм	Отклонение от сферической формы, мкм	Максимальный диаметр, мм	Минимальный диаметр, мм
40	25,677	25,635	10	25,594	25,590
50	25,688	25,673		25,591	25,580
30	25,682	25,669		25,596	25,585
20	25,675	25,647		25,592	25,578
60	25,684	25,666		25,598	25,589
50	25,691	25,673		25,601	25,593

*Сохань С.В., Сороченко В.Г., Возный В.В.,
Майстренко А.Л., Кулич В.Г., Боримский А.И.*

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

К ВОПРОСУ О КАЧЕСТВЕ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ КЕРАМИЧЕСКИХ ШАРОВ ПОДШИПНИКОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Основные показатели, которые характеризуют качество алмазно-абразивной обработки керамических шаров подшипникового назначения являются:

- шероховатость поверхности шаров – $R_a, R_g, Rt, Rp, Rtm, R_{max}$, мкм;
- отклонение от сферической формы шаров – Δ , мкм;
- разноразмерность шаров по диаметру в партии – Δ_d , мкм.

Значения показателей шероховатости поверхности шаров определялись с помощью бесконтактной сканирующей измерительной системы БСИС «Micron- alpha», которая позволяла получать цифровое 2D изображение сферической поверхности размерами 250×190 мкм при увеличении $\times 320$, а также количественно оценить шероховатость поверхности путем компьютерной обработки последовательности интерференционных картин, которые регистрировались цифровой камерой в белом свете. Кроме этого система позволяла строить 3D картину просканированного участка исследуемой поверхности. На рис. 1 приведен внешний вид оптического микроскопа МИИ-4 с цифровой камерой (рис. 1, а) и интерфейс БСИС «Micron- alpha» (рис. 1, б). Измерение отклонения от сферической формы и разноразмерности шаров в партии производились в соответствии с требованиями ГОСТ 3722-81 и ГОСТ 2789-73.

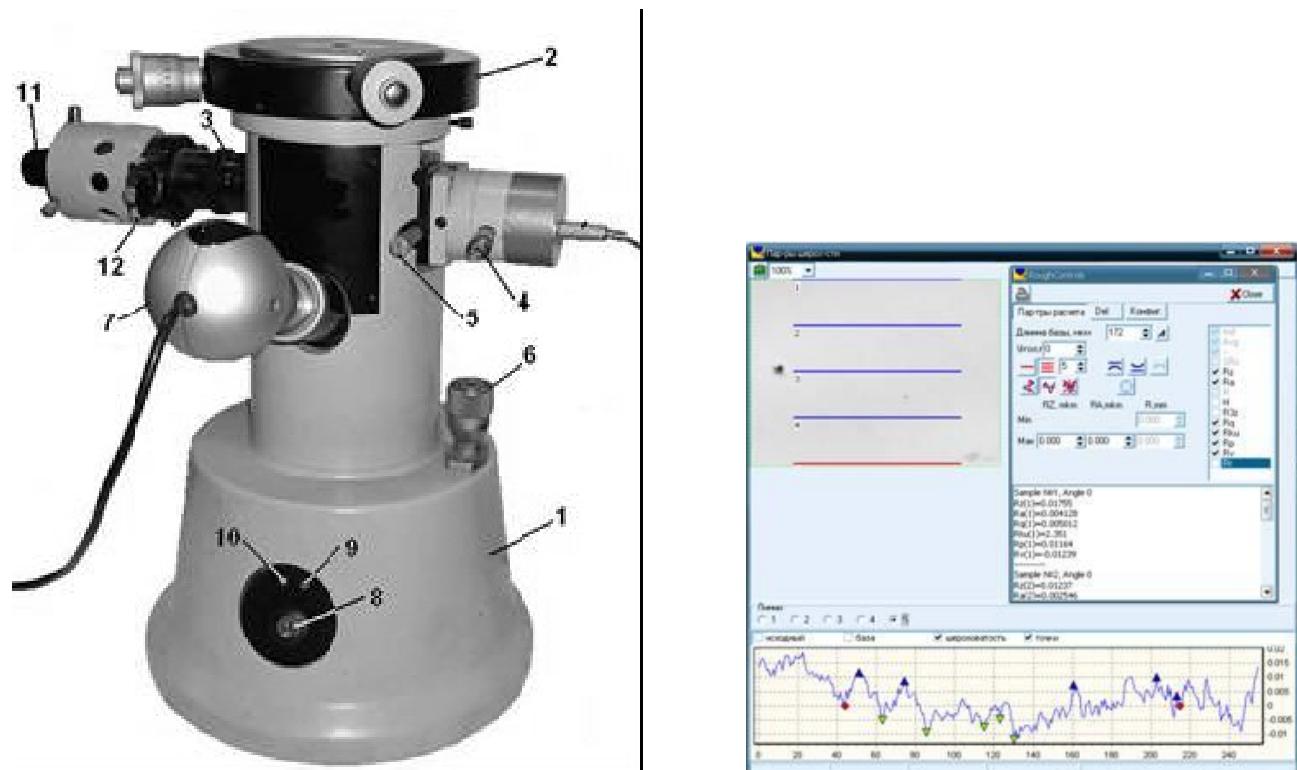


Рис. 1 – Внешний вид оптического микроскопа МИИ-4 с цифровой камерой (а) и интерфейс БСИС «Micron- alpha» (б): 1 – корпус; 2 – предметный столик; 3 – кольцо ирисовой диафрагмы; 4 – винт изменения ширины интерференционных линий; 5 – рукоятка включения шторки; 6 – микрометрический винт перемещения интерферентной головки; 7 – цифровая камера; 8 – кнопка включения; 9 – индикатор отсутствия связи с камерой; 10 – индикатор связи с камерой; 11 – лампа, источник белого света; 12 – выдвижная пластина с отверстием – ирисовой диафрагмой

Исследование шероховатости поверхности проводили на одно и двухфазных керамических материалах на основе карбида бора и нитрида кремния, полученных реакционным спеканием, электроспеканием, горячим прессованием и спеканием в аппаратах высокого давления. При этом в двухфазных керамических материалах в качестве добавок применяли 5% УДА, 5% Si, 10% SiC, 10% Mo, 10% TiB₂, 10% Al.

Для измерения величины отклонения от сферичности и диаметра шарика с точностью 1,0 мкм, 0,1 мкм изготовлены измерительные устройства (рис. 1 и 2). На рис. 1 устройство для измерения величины отклонения от сферичности поверхности шарика, которое состоит из стойки измерительной С-11 ГОСТ 10197-70, оснащенной микрокатором 0,1 ИГПВ ГОСТ 6933-81 с ценой деления 0,10 мм и призмой поверочной П 1-1 ГОСТ 5641-66, класс точности 0, предназначеннной для измерения с точностью 0,10 мкм. Устройство, которое приведено на рис. 2, позволяет измерять диаметр шарика, состоит из стойки измерительной, оснащенной оптическим длинномером вертикального типа ИЗВ-6 с ценой деления шкалы измерений 1,0 мкм. В приведенных устройствах базирование шарика осуществляется в призме на две опорные точки, что обеспечивает её центрирование против щупа микрокатора или длинномера в одной вертикальной плоскости, а дополнительный горизонтальный установочный упор – в другой плоскости перпендикулярной к указанной.



Рис. 2 – Устройство для измерения величины отклонения сферичности керамического шарика



Рис. 3 – Устройство для измерения диаметра керамического шарика

Результаты ранжирования исследуемых керамических шаров по параметру шероховатости поверхности приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Параметры шероховатости поверхности шаров и их ранги при алмазно-абразивном шлифовании

Обозначение керамического материала	Параметр шероховатости R_a , мкм	Ранг
B_4C (АВТ)	0,055–0,027	1,00
B_4C (ГП)	0,347–0,026	4,55
B_4C (РС)	1,255–0,898	26,26
B_4C (АВТ 10%Mo)	0,631–0,506	13,87
B_4C (АВТ 5%УДА 5%Si)	0,070–0,053	1,50
B_4C (ЕС 10%SiC)	0,077–0,070	1,79
B_4C (ЕС 10%TiB ₂)	0,080–0,061	1,72
B_4C (ЕС 10%Al)	0,087	2,12
Si_3N_4 (ГП)	0,300–0,287	7,16
Si_3N_4 (АВТ)	0,052–0,045	1,18

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что на величину параметра шероховатости поверхности керамических шаров существенное влияние оказывает технология спекания и температура спекаемого материала.

Харламов Ю.А. Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Северодонецк, Украина

ВЫБОР ТОЛЩИНЫ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ

Размерный анализ технологических процессов (ТП) изготовления деталей с покрытиями может проводиться по трем вариантам: 1) вновь проектируемый ТП при наличии только чертежа детали с покрытием; 2) то же при наличии чертежей детали и заготовки, обработанной перед нанесением покрытия; 3) анализ действующих ТП, не обеспечивающих требуемых показателей по качеству деталей и затратам используемых ресурсов. В таких случаях выявляют связи размерных параметров на операциях обработки деталей перед нанесением покрытий, собственно нанесения покрытий и последующей их

размерной обработки, затем путем решения размерных цепей устанавливают значения фактических припусков, удаляемых на всех этапах обработки поверхности с покрытием и определяют возможные пути совершенствования ТП изготовления детали с покрытием.

Типичной является обработка покрытий с заданной величиной снимаемого припуска при широких допусках на размеры и жестких требованиях по качеству их финишной обработки. Здесь величина снимаемого слоя металла заранее регламентирована и для расчета операционных размеров можно принять припуск на обработку покрытия за составляющее звено, а окончательный размер детали – за замыкающее.

Увеличение допусков на заготовку под покрытие приводит к увеличению требуемой толщины наслаживаемого покрытия и увеличению припуска на его обработку. Как правило, защитные и функциональные покрытия характеризуются плохой обрабатываемостью. Кроме того, увеличение толщины покрытий способствует формированию в них внутренних растягивающих напряжений, оказывающих отрицательное влияние на прочность сцепления и эксплуатационные свойства покрытий.

В геометрическом смысле абсолютная величина снимаемого при обработке резанием не имеет никакого значения и важно только обеспечить колебание толщины покрытия на поверхности готовой детали в пределах, оговоренных чертежом. С геометрической точки зрения равнозначными будут варианты с малой величиной припуска и малой толщиной напыленного слоя (например, $z_{op}^{\min} = 0,2$ мм и $t_c = 0,5\text{--}0,6$ мм) и относительно большими значениями припуска и толщины напыленного слоя (например, $z_{op}^{\min} = 0,5$ мм и $t_c = 0,8\text{--}0,9$ мм). Однако с технической и экономической позиций эти варианты совершенно неоднозначны. Прежде всего с увеличением толщины покрытия в нем резко возрастают неблагоприятные внутренние напряжения, снижающие его прочность сцепления с основой, а также вызывающие растрескивание покрытий. Поэтому нужно стремиться к возможно меньшим значениям толщины наслаживаемых покрытий. Кроме того, для многих видов покрытий наблюдается градиент свойств по глубине. В таких случаях необходимо стремиться к возможно меньшим значениям. Практически эта задача может быть решена обработкой поверхностей под нанесение покрытий с точностью, превышающей требуемую точность поверхности с покрытием по чертежу готовой детали.

К уменьшению толщины наслаждающегося слоя и припусков на его обработку следует стремиться и с экономической точки зрения. Даже незначительное увеличение толщины нанесенного слоя требует увеличения расхода дорогостоящих материалов покрытий и продолжительности процесса получения покрытий, а, следовательно, и стоимости операции нанесения покрытий в целом. Плохая обрабатываемость покрытий ведет к тому, что с увеличением величины припуска существенно возрастает стоимость операции размерной обработки покрытия. Кроме того, необходим тщательный подход к выбору процесса получения покрытий с учетом конструктивных особенностей деталей и технологических особенностей получения покрытия. Недостаточно жесткие детали должны покрываться с минимально возможным тепловложением во избежание коробления и других геометрических искажений формы и размеров детали.

Параметры точности технологического процесса изготовления детали с покрытием оказывают существенное влияние на норму расхода материала на получение покрытия

$$H_{om} = S_n (t_{min} + \delta_3^{\pm} + Z_{on}^{min} + 0,5\delta_n) \rho_{om} (1 - \Pi / 100) \eta_a \eta_{nt}$$

где S_n – площадь напыляемой поверхности; t_{min} – минимальная толщина покрытия, требуемая на изделии; δ_3^{\pm} – допуск на размер заготовки, подготовленной к напылению; Z_{op}^{min} – минимальный припуск на обработку напыленного покрытия; δ_n – допуск на толщину напыленного покрытия; ρ_{om} – плотность материала покрытия; Π – пористость покрытия; η_a – коэффициент использования напыляемого материала, связанный с его потерями в процессе напыления; η_{nt} – то же, связанное с кинематикой напыления и геометрией изделия.

Как известно, допуск для любого квалитета (класса) точности

$$\delta = ia,$$

где i – единица допуска; a – коэффициент, равный числу единиц допуска.

В системе ISO единица допуска равна

$$i = 0,45 \sqrt[3]{d_{cp}} + 0,001d_{cp},$$

где d_{cp} – среднее значение размера для какого-либо интервала размеров.

Единица допуска i , отражая влияние технологических, конструктивных и метрологических факторов, выражает зависимость допуска от номинального значения параметра и является мерой точности. Она позволяет при разработке системы допусков определять

величину допуска для широкого диапазона значений нормируемого параметра. Для нормирования уровней точности установлены классы (степени) точности изготовления деталей. Для каждого класса (степени) точности существует закономерно построенный ряд полей допусков, в которых разные по величине размеры однотипных поверхностей деталей имеют одну и ту же относительную точность, определяемую примерно одним и тем же значением коэффициента a . В системе ISO число единиц допуска при переходе от одного квалитета точности к другому, начиная с 5-го, изменяется приблизительно по геометрической прогрессии (7; 104 16; 25; 40; 64 и т.д.) со знаменателем прогрессии $\sqrt[3]{10} \approx 1,6$.

Анализ графиков, отражающих зависимость допуска от величины размера для основных квалитетов точности, показывает, что с увеличением размеров и снижением требований к точности их выполнения величина допуска растет и может приблизиться и даже превысить толщину обычно напыляемых покрытий. Поэтому потребуется завышать толщину напыляемых покрытий для обеспечения требуемого значения припуска.

Толщина покрытия является, как правило, функциональным параметром детали и определяет гарантированный запас ее работоспособности. Отношение толщины покрытия к допустимой величине износа должно быть больше 1. Поскольку толщина покрытия, как правило, намного меньше номинального размера поверхности ($t_p \ll d$), величина единицы допуска на толщину покрытия будет намного меньше значений единиц допуска для размеров окончательно изготовленной детали с покрытием и заготовки под напыление покрытия, т.е.

$$i_c \ll i_p; i_c \ll i_{wp}$$

поскольку размеры детали (заготовки) и толщина покрытия входят в различные интервалы размеров. По теории размерных цепей допуск на толщину покрытия равен сумме допусков на размеры заготовки под покрытие δ_3 и готовой детали с покрытием δ_d

$$\delta_p = \delta_d + \delta_3$$

Из определения величины допуска для определенного квалитета точности последнее выражение можно записать в виде

$$\delta_n = i_{\partial(3)} (a_\partial + a_3) = i_n a_n$$

Здесь принято, что $i_d = i_3$, поскольку они входят, как правило, в один интервал размеров. При наплавке толстых слоев возможно, что $i_d \neq i_3$. Тогда $\delta_n = i_\partial a_\partial + i_3 a_3$.

Ввиду относительной малости толщины покрытия можно пренебречь величиной $0,001d_{\text{п,ср}}$. Тогда можно записать

$$a_n = \frac{i_{\partial(3)}}{i_n} (a_{\partial} + a_3) = \left(\sqrt[3]{\frac{d_{\text{ср}}}{t_{\text{ncp}}}} + \frac{0,001}{0,45} \sqrt[3]{\frac{d_{\text{ср}}}{t_{\text{ncp}}}} \right) (a_{\partial} + a_3)$$

Поскольку толщина покрытий входит, как правило, в интервал размеров до 3 мм, а размеры напыляемых поверхностей находятся преимущественно в интервалах размеров свыше 18 мм ($d_{\text{ср}} = 24; 40; 65; 100$ мм и т.д.), отношение $i_{p(wp)}/i_c$ обычно имеет величину порядка 3 и более. Поэтому число единиц допуска на толщину покрытия многократно превышает соответствующее число для размеров детали и заготовки под покрытие и поэтому точность выполнения размерно обработанного покрытия по толщине на несколько квалитетов грубее по сравнению с размерами окончательно изготовленной детали. Как известно, в системе ISO число единиц допуска при переходе от одного квалитета к другому изменяется приблизительно по геометрической прогрессии со знаменателем 1,6.

С увеличением относительной величины припуска на обработку покрытия возрастает относительная стоимость размерно обработанных покрытий. Одним из путей уменьшения величины припуска является уменьшение допуска на размеры заготовки под напыление. Поэтому рекомендуется обработку заготовок под напыление проводить по среднему квалитету точности из условия соблюдения требуемой величины допуска во всем интервале размеров поверхностей с наслаждающими покрытиями. Для этого можно использовать графические зависимости величины допуска от размеров поверхности в системе ISO для различных квалитетов. Их анализ показывает, что с увеличением размеров поверхности сохранение величины допуска требует выполнения обработки под покрытие с более высокими значениями квалитета точности.

Средний квалитет точности можно определить расчетно-графическим способом при использовании указанных выше графических зависимостей или расчетом по формуле

$$JT_{cp} = JT_a + (ab/ac),$$

где JT_a – ближайший квалитет точности, имеющий величину допуска для данного размера ниже заданного; ab – разность между величиной заданного (принятого) допуска и допуском по квалитету JT_a ; ac – разность между значениями допусков ближайшего менее точного квалитета и квалитета JT_a .

Харламов Ю.А. Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Северодонецк, Украина

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

Процессы технического обслуживания и ремонта занимают важное место, а в ряде отраслей промышленности, например, металлургической, являются одними из основных, как по доле в себестоимости продукции (10–20%), так и по количеству занятого персонала (до 30%). Производственные процессы связаны со значительными циклическими динамическими силовыми и тепловыми воздействиями на детали технологического оборудования, что негативно сказывается на их эксплуатационных свойствах (ЭС) и сроке службы. Поэтому детали и узлы оборудования подвергаются комбинированному действию различных видов изнашивания (механического, термического, усталостного, коррозионного, эрозионного и др.) и влекут к образованию в деталях разнообразных дефектов. Из них наиболее распространенными являются потери формы и геометрической формы поверхностей и их взаимного положения.

Наибольшие затраты ресурсов связаны с восстановлением размеров, расположения, формы и шероховатости изношенных поверхностей. При этом одновременно формируются и эксплуатационные свойства поверхностей, соответствующие их функциональному назначению, и прежде всего износостойкость и антифрикционность. Основными способами размерного восстановления деталей являются:

1. метод ремонтных размеров;
2. метод установки дополнительных ремонтных деталей (ДРД);
3. метод нанесения восстановительного покрытия;
4. восстановление размерной точности деталей поверхностным пластическим деформированием с заданным перераспределением материала;
5. комбинированные методы.

Первые два способа, несмотря на длительную историю применения, продолжают развиваться. Но наибольшее практическое применение имеют способы нанесения достаточно толстых восстановительных слоев и покрытий – разнообразные технологии наплавки и газотермического напыления. Например, в прокатном производстве при равном количестве прокатанного металла износ

наплавленных опорных валков намного меньше, чем кованых и литых, а более равномерный профиль износа по длине бочки валка позволяет уменьшить съем металла при переточках.

Эти способы реализуются при использовании различных маршрутных технологических процессов, включающих операции механической обработки для подготовки поверхностей к восстановительным воздействиям, а также последующего удаления дефектных поверхностных слоев и достижения необходимых точностных параметров. Получение требуемой геометрической точности восстанавливаемых поверхностей происходит последовательным приближением по мере выполнения операций и переходов восстановительной обработки. Экономное расходование материальных и трудовых ресурсов может быть обеспечено при надлежащем выборе и контроле межоперационных размеров, получаемых на различных переходах механической обработки. Это определяет актуальность разработки и совершенствования основ технологической подготовки производств по восстановлению деталей. С учетом этого возрастают требования к обеспечению технологичности конструкций восстанавливаемых деталей.

При оценке приемлемости конструкции детали к восстановлению учитывают следующие пути обеспечения основных критериев и параметров:

Способ восстановления: 1. Технико-экономические критерии. 2. Надежность по наработке, вероятности безотказной работы и пр.

Организация производства по восстановлению деталей: 1. Предприятия – производители новых (оригинальных) машин и деталей. 2. На сторонних предприятиях по разовым заказам потребителей или производителей оригинального оборудования. 3. Независимые производители, осуществляющие сбор и закупку изношенных деталей с последующей свободной продажей восстановленных деталей на рынке. 4. Собственное восстановительное производство на предприятиях, эксплуатирующих машины с данными деталями.

Взаимозаменяемость: 1. Соответствие всех параметров, в том числе геометрических, конструкции новой детали. 2. Регулировка положения сопрягаемых деталей. 3. Изменение размеров сопрягающейся детали.

Разборка: 1. Доступность удаления детали из сборочной единицы. 2. Возможность проведения восстановительных операций без разборки и демонтажа детали (особенно для крупных тяжелых деталей).

Техническое состояние изношенных деталей: 1. Информация о состоянии деталей известна (не требуется проведение контрольных операций). 2. Информация о состоянии деталей неизвестна (требуется проведение контрольных операций).

Допускаемая стоимость восстановления: 1. Ниже стоимости новой детали. 2. Выше стоимости новой детали при отсутствии на рынке новых или восстановленных деталей, или по производственной необходимости.

Технология восстановления: 1. Наличие производственных мощностей по изготовлению и восстановлению деталей. 2. Возможность приобретения и внедрения восстановительных технологий. 3. Наличие потенциальных заказчиков и покупателей восстановленных деталей. 4. Размерный анализ технологических процессов восстановления.

Конкурентоспособность: 1. Доступный рынок восстановленных деталей при организации серийного производства. 2. Производственная необходимость для обеспечения технического обслуживания и ремонта. 3. Надежность восстановленных деталей не ниже новых.

Модернизация (усовершенствование): 1. Наличие потенциальных возможностей усовершенствования конструкции детали для улучшения свойств и придания новых функций в процессе восстановления, например, самосмазывания, приработка, повышение срока службы и пр. 2. Наличие обратных связей потребителей восстановленных деталей с производством новых и восстановленных деталей и системы обработки поступающей информации.

Объем восстановления деталей: Наличие каналов поступления изношенных деталей и их предполагаемое количество.

Длительность жизненного цикла: Стабильность конструкции детали в течение более одного жизненного цикла.

Повышению эффективности восстановительных производств способствует разработка конструкций изделий и деталей с учетом возможного их восстановления. Конструктивно-технологические параметры деталей выбирают по ряду критериев:

Срок службы (долговечность детали): Выбор основного материала детали: 1. Коррозионная стойкость. 2. Износстойкость. 3. Усталостная прочность. 4. Обрабатываемость как при изготовлении, так и при восстановлении детали. Выбор функциональных покрытий: 1. Коррозионная и износстойкость. 2. Стойкость к усталостному разрушению. 3. Совместимость с основным материалом

детали. 4. Обрабатываемость покрытия. 5. Прочность сцепления покрытия с основным материалом детали.

Разборка и сборка: 1. Не допускается повреждение детали до и после восстановления. 2. Допускается повреждение при последующей утилизации детали. 3. Простота и доступность сборочно-разборочных операций в отношении восстанавливаемой детали.

Очистка деталей: 1. Легкость удаления загрязнений и отложений на основном материале и функциональных покрытиях. 2. Нежелательность сложной геометрии деталей и карманов и полостей, затрудняющих очистку. 3. Исключение потенциальной возможности повреждения при очистке.

Обрабатываемость: 1. Основного материала при формообразующих и отделочных операциях. 2. Подготовки заготовки из основного материала к нанесению покрытий.

Размерный технологический анализ процесса восстановления: 1. Минимизация расходов материальных, трудовых и энергетических ресурсов на восстановление. 2. Обеспечение точности по толщине и равномерности покрытий и наплавок.

Гибкость технологий восстановления: 1. Возможность использования различных методов устранения дефектов с обеспечением требуемой надежности восстановленной детали.

Хейфец М.Л. НПО «Центр» НАН Беларуси, Минск
Колмаков А.Г. Институт металлургии и материаловедения
им. А.А. Байкова РАН, Москва
Клименко С.А. Институт сверхтвердых материалов
им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЯ

Основная задача производителей техники – в максимальной степени удовлетворять требованиям к качественным показателям, которые предъявляются глобальным международным рынком. В условиях растущей конкуренции качество продукции должно расти опережающими темпами, а это возможно обеспечить только на основе научного анализа, с учетом результатов всесторонних исследо-

дований формирования показателей качества изделий в технологических комплексах современного производства [1].

Учитывая, что эксплуатационные свойства деталей машин во многом определяются состоянием их поверхностного слоя, параметры которого формируются в течение всего жизненного цикла изделия, одной из ключевых проблем машиностроения является совершенствование методов их проектирования, производства, эксплуатации, утилизации.

Среди комплекса технологических методов, повышающих безотказность и долговечность деталей в производстве широко используются методы механической, совмещенной и комбинированной обработки. Практика показала, что при правильно выбранных маршрутах и операциях, режимах обработки и управляемых воздействиях можно увеличить эксплуатационную надежность изделий в десятки раз. В то же время неверно назначенные режимы обработки и отсутствие учета накопления дефектов от предыдущих этапов жизненного цикла могут привести к разрушению поверхностного слоя уже при изготовлении детали или к преждевременным отказам при ее эксплуатации.

Не вызывает сомнений необходимость учета технологического наследования при совершенствовании существующих и проектировании новых технологических процессов, средств оснащения для их реализации и комплексов технологического оборудования. Научные основы явления технологической наследственности в производственных процессах и подходы к его эффективному использованию на практике заложены в исследованиях П.И. Ящерицина, А.М. Дальского, Е.В. Рыжова, их коллег и учеников.

Под наследственностью в технологии машиностроения имеется в виду явление переноса свойств обрабатываемого объекта от предыдущих операций и переходов к последующим, что в дальнейшем оказывается на работоспособности изделий в эксплуатации. Носителями наследственной информации служат обрабатываемый материал и поверхностный слой детали со всем многообразием параметров, которые его описывают.

Совокупность свойств изделий, каждое из которых может характеризоваться множеством показателей, является проявлением связанных сложным образом технологических показателей при формировании качества изделия. Свойства изделия формируются взаимосвязано на всем этапе его жизненного цикла.

Нужно с единых позиций наследования параметров качества функциональных элементов рассматривать все (проектные, производственные, эксплуатационные этапы, этап утилизации) этапы жизненного цикла изделий. При этом, на основе синергетической концепции, при создании, эксплуатации и утилизации изделий из конструкционных материалов необходимо учитывать, что для формирования требуемых параметров технической системы, конкретным технологическим решениям присущий определенный комплекс достижимых показателей поверхностного слоя изделий. Именно с этих позиций следует рассматривать проектирование механических и термических процессов жизненного цикла изделий, для которых характерны различные воздействия на геометрические и физико-механические параметры поверхностного слоя деталей из конструкционных материалов.

Сочетание статистического и структурного анализов обеспечивает возможность моделирования и управления многофакторными технологическими операциями по комплексу параметров, позволяет определить и оптимизировать факторы, по которым эффективно осуществляется процесс управления в технологических комплексах, и указывает основные параметры для контроля в режиме реального времени при обработке, эксплуатации и утилизации изделий.

Технологическая наследственность при выполнении многофакторных операций определяется действиями, которые формируют структуру и свойства поверхностного слоя, рельеф поверхности изделия. При выборе маршрутов и детализации операций технологических процессов требуется выполнение сложно-формализуемого, но необходимого, условия – выделение из многочисленных воздействий управляющих технологических факторов. Для этого при структурном анализе маршрутов, операций, действий в процессе обработки и эксплуатации изделий, детализации на структурной диаграмме технологических операции следует разделять группы, формирующие параметры качества изделий. Регулирование технологических воздействий целесообразно осуществлять в результате выполнения мероприятий по оперативному управлению процессами, а также длительного статистического контроля определяющих параметров качества изделий.

На основе синергетического подхода разработана математическая модель наследования показателей качества в жизненном цикле изделия, которая описывает различные режимы поведения при

проектировании, производстве, эксплуатации и утилизации технических систем.

Технологическое наследования нужно рассматривать как совокупность сложных явлений переноса параметров качества изделия, зависящих друг от друга. Нужно учитывать, что технологическое наследования не может быть описано одномерными моделями – нужно рассматривать технологическую цепочку, например «режим обработки–состояние поверхностного слоя–эксплуатационные свойства изделия», что предусматривает наличие сложных связей в виде функционалов. Разработка моделей технологического наследования в виде системы функционалов определяет характер описания физических закономерностей формирования поверхностного слоя деталей машин. Наличие такого описания позволяет не только проследить закономерности технологического наследования, но и применить их как для пооперационного контроля с использованием физических методов, так и для проектирования технологий, обеспечивающих высокую долговечность деталей и безотказность машин.

Преемственность решений для технологических комплексов при математическом моделировании, конструкторско-технологическом проектировании, производстве, применении и утилизации сложных технических систем базируется на принципах самоорганизации физических явлений и представлениях о жизненном цикле изделия в целом.

Современный уровень цифровизации промышленного производства обеспечивает переход к использованию информационных технологий создания, поддержки и применения общего информационного пространства во времени на всех этапах жизненного цикла изделий от их проектирования до эксплуатации и утилизации. Единое информационное пространство позволяет интегрироваться разрозненным частям комплекса в виртуальное предприятие, создаваемое в различных пространственно удаленных подразделениях, для использования компьютерной поддержки этапов жизненного цикла изделий.

Литература

1. Чижик, С. А. Обеспечение качества изделий в технологических комплексах / Чижик С. А., Витязь П. А., Хейфец М. Л. и др. – Минск : Беларуская навука, 2019. – 248 с.

Chernovol M.S., Smirnova T.V. Central Ukrainian National Technical University National technical, Kropivnitskiy
Ageev M.S. Kherson State Maritime Academy,
Ship Power Plant Operation, Kherson, Ukraine

STUDY OF THE SPRAYING PROCESS AND THE INFLUENCE OF ITS FACTORS ON THE PROPERTIES OF ELECTRIC ARC SPRAYING COATINGS

Of the variety of methods for hardening coating deposition, the most common technologies used to restore and improve the performance properties of parts are gas-thermal spraying techniques [1], among which the cheapest and simplest method is electric arc spraying (EAS), whose current improvement is aimed at modifying and activating the spraying process [1]. A significant increase in the properties of EAS coatings is possible through combining arc spraying with ultrasonic, electric-spark, laser [2, 3], electron-beam, and other processing techniques [4]. High wear resistance, hardness, and other surface properties of EAS coatings from iron based alloys can be provided by methods of chemical heat treatment. The use of a combination of techniques for EAS and subsequent chemical heat treatment opens up great opportunities in creating composite coatings with special properties.

In the world practice of hardening, recovery, and anticorrosion protection, EAS has become widespread as the most technologically advanced and productive method (productivity is 3–4 times that for flame spraying) [1]. EAS is widely used in the European countries and displaces the traditional gas-flame method [1]. The quality of EAS coatings are practically the same as that of coatings produced by plasma and detonation methods, and the coating-to-base adhesion strength is greater than in the case of flame spraying.

The equipment on which coating is performed is relatively simple and light and can be moved fairly quickly. The part dimensions do not limit the use of EAS [1]. This method is effective and economical in the manufacture and renovation of parts in the conditions of repair enterprises and small workshops with a single production [1]. The use of thermoreacting cored wires is promising [1]. The coating obtained is machined with some allowance. Pretreatment of the base surface is an important factor for providing strong adhesion of the sprayed coating to the part [4, 5]. The increase in the adhesion strength is associated with

an increase in the part area and preparation of a developed surface roughness on before spraying.

The use of activation techniques which intensify heat exchange processes in the “jet-particle” system and increase the dynamic parameters of particles, and allows reducing the wire particle size or of those that allow modifying (strengthening) the sprayed layer seems to be most expedient means. On the basis of studying the problem of hardening and restoring parts of the using EAS coatings, the aim of the work was set up to increase the wear resistance, corrosion resistance, and service life of parts *via* combining EAS coatings characterized by high density, adhesion strength, and microhardness due to the activation of the spray process.

The aim of the work was shows the possibility, through the selection of design parameters and characteristics of equipment for EAS, to control the properties of coated surfaces in order to increase the service life of restored parts. The right choice of equipment for EAS allows one to increase the speed and temperature of the jet of spraying gas and particles, decrease the size of droplets, increase the density and reduce the oxidation of coatings to develop a new combined method of surface engineering for the formation of hardening protective coatings on the basis of combination of EAS.

For coating deposition, an apparatus for activated arc spraying ADN-10 was used. Coating materials were 0.8–2.8 mm diameter wire from steel of the martensitic (40Kh13, 95Kh18), ferritic (Sv-08G2S), and austenitic (Kh18N10T, 12Kh18N10T) grades. A feature of martensitic and austenitic steels of is the ability to phase transformations and structural changes during deposition and treatment of coatings. This allows improvement of physic mechanical and performance properties of hardened surfaces and an increase in their wear and corrosion resistances.

Microstructure was examined on etched and unetched thin sections using a light microscope «MeF-3» (Firm "Reichert", Austria) with magnifications $\times 100$, $\times 200$, and $\times 500$. The microhardness was measured on a Micromet II microhardness meter with a load of 100 g from the coating surface edge to the base through the transition zone. A quantitative stereological analysis of coating porosity was carried out on a certified automatic image analyzer “Mini-Magiscan” (Firm “Joyce Loeb”, England) using the program “Genias 26”. The main stages of the image analysis were: image calibration, image fixation, segmentation, and porosity. The study was performed on a CamScan scanning electron microscope (Oxford Instruments, England) with an X-ray energy dispersive analyzer. The morphology (to-

pography) of the coating surface was examined in the regime of reflected electrons at an accelerating voltage of 10–20 kV.

The quality of EAS coatings used for renovation and hardening of the working surfaces of parts markedly depend on the technical characteristics of the equipment used. Currently, there is in operation a wide range of power sources and devices for spraying produced by various companies [1–4]. The use of the closed scheme for the formation of metal-air flow during EAS [48–11] allows production of coatings with a density of over 90% and adhesion strength to 180 MPa. The maximum size of sprayed particles does not exceed 50 μm . Thus, the EM-14 spraying system (Fig. 1, *a*), which provides arc burning in a channel bounded with the nozzle walls or in the formed flow of pressing air, makes it possible to produce droplets with a high flight velocity, which improves the properties of the surfaces being restored.

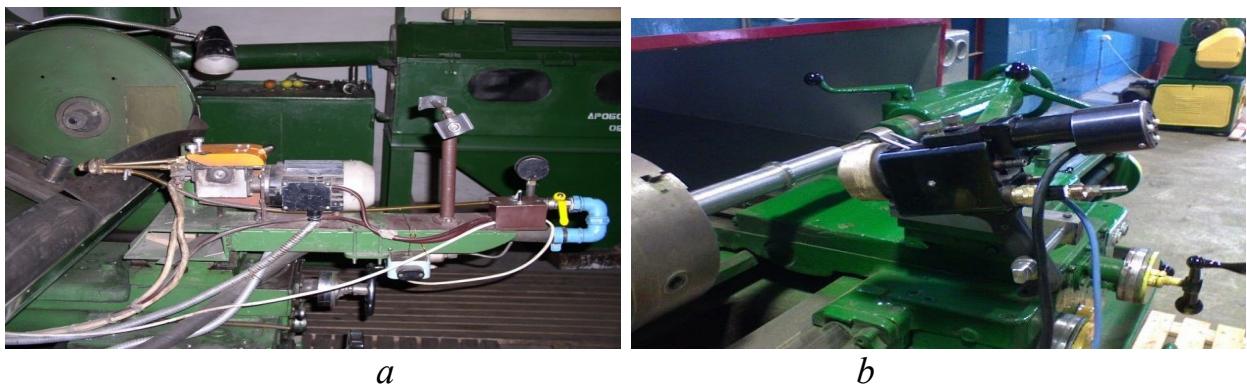


Fig. 1 – Apparatus EM-14 for EAS (*a*) and EAS-10 (*b*)

The units for EAS produced by NPOOO "MAD" (Minsk) combine the advantages of electric arc and fast spraying [4, 5] (Fig. 1, *b*). The main distinguishing feature of the EAS unit is the presence of an efficient small-sized chamber for propane/air mixture combustion. A fast jet of the combustion products leaves it with a speed of 1500 m/s at the outlet. The unit operates on the basis of melting wires by an electric arc and spraying molten wire droplets with the fast jet of combustion products. It requires supply of compressed air with pressure from 0.6 to 0.8 MPa and propane with pressure from 0.3 to 0.45 MPa as well as a source of welding current with a “hard” voltage-current characteristic (of the “VDU-506” type). By varying the consumption of propane and air, it is possible to create a neutral or reducing atmosphere in the melting zone of the electrode wire and thereby to weaken metal oxidation and burnout of alloying elements [4, 5].

The EAS-10 unit has an electric drive which provides the required speed of wire electrode feed. It is powered from a three-phase network of 220 V, frequency 50 Hz. In the case of using an alternating current, the electric arc burning proceeds with periodic interruptions that occur as a result of the voltage drop. The power supply for the electric arc apparatus with a direct current forms the necessary conditions for obtaining coatings with a uniform thickness. Analysis of the research results made it possible to recommend the EM-14 apparatus and the EAS-10 unit for deposition of EAS coatings. The proper management of the design parameters of equipment for EAS provides the creation of coatings with high performance characteristics, which is very important for increasing the service life of parts.

Thus, the work shows the possibility, through the selection of design parameters and characteristics of equipment for EAS, to control the properties of coated surfaces in order to increase the service life of restored parts. The right choice of equipment for EAS allows one to increase the speed and temperature of the jet of spraying gas and particles, decrease the size of droplets, increase the density and reduce the oxidation of coatings. Additionally, it has made it possible to use standard solid-drawn wires from martensitic steels 40Kh13 and 95Kh18 and austenitic steels Kh18N10T and 12Kh18N10T instead of more expensive cored wire FMI.

Conclusions. The research has revealed the influence of the spraying process factors such as the flow rate and pressure of working gases, composition of combustible mixture, spraying distance, dispersion of spray, properties of the wire material, *etc.* on the properties of EAS coatings. Furthermore, the effects of the spraying distance, the size of sprayed particles, and the properties of the wire material on the porosity and coating-to-substrate adhesion was evaluated. Moreover, the phase composition and microhardness of coatings obtained by spraying wires from austenitic and martensitic steel were investigated. The presence of an abnormally large amount of residual austenite (to 50 vol%) in coatings from martensitic steel was established. Studies of the resistance to fatigue failure showed that coatings deposited by EAS of wires provide a slight decrease in the fatigue strength limit to 10–13% (for comparison, coatings obtained by vibro-arc surfacing reduce the fatigue limit by 35–40%).

References

1. Boronenkov, V. N. Osnovy dugovoj metallizacii. Fiziko-himicheskie zakonomernosti / V. N. Boronenkov, Ju. S. Korobov. – Ekaterinburg : Univ. izd-vo, 2012. – 267 p.
2. Ageev, M. S. Primenenie gibridnyh tehnologij dlja renovacii i povyshenija resursa sudovyh mashin i mehanizmov Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta / M. S. Ageev, B. A. Ljashenko. – Nauchno-teoreticheskij zhurnal Mashinostroenie. – 2015. – 4(94) / – P. 18–22.
3. Belocerkovskij, M. A. Uprochnenie himiko-termicheskoy obrabotkoj pokrytij, poluchennyh vysokoskorostnym raspyleniem stal'nyh provolok / M. A. Belocerkovskij, V. M. Konstantinov, G. A. Tkachenko // Inzhenerija poverhnosti, Novye poroshkovye kompozicionnye materialy. Svarka: sb. dokl. Mezhd. Simpoziuma, Minsk, 25–27 marta 2009 g. – Mn., 2009. – P. 178–184.
4. Ljashenko, B. A. Gazotermicheskoe napylenie i ionnoe azotirovanie – perspektivnoe sochetanie. Inzen. poverhn. i renovacija izdelij / B. A. Ljashenko, M. A. Belocerkovskij, V. N. Lopata et al. : Mat. 14-j mezhdun. nauch.–tehn. konf., 2-6 iyunja 2014, Svaljava. – K. : ATM Ukrayny, 2014. – S.79–80.
5. Prjadko, A. Vybor oborudovanija dlja uprochnenija i vosstanovlenija detalej avtomobil'nogo transporta jelektrodugovym napyleniem / A. Prjadko, A. V. Dudan, Ju. V. Brusilo et al. // Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Promyshlennost'. Prikladnye nauki. – 2014. – № 3. – S. 121–126.

Чхайдзе Т.А., Метревели А.Н., Мерабишвили Г.Г.
Грузинский технический университет, Тбилиси, Грузия

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ПОРТАЛЬНЫХ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ

Одним из узких мест в порталовых грузоподъемных машинах являются опоры качения, в частности безсепараторный подшипник качения, где крестообразно установлены на беговой дорожке ролики под углом 45° градусов, воспринимающие радиальную и осевую нагрузки и учащены случаи возникновение заедания трущихся поверхностей качения и заклинивание механизма поворота крана при

номинальной грузоподъемности. Возникновению предельных нагрузок на безсепараторный подшипник оказывает влияние шарнирные соединения ферм, нарушение неровности рельсового пути, некачественно выполненные сварные соединения опорных ферм и т.п.

Из важных причин, влияющих на ресурс крана, являются, подверженные трению контактирующие материалы и их физико механические свойства, в частности роликов и беговых дорожек подшипника.

Подобная задача о трении качения и износе перекатываемых тел теоретически решалась многими учеными и первыми работами о наличии на поверхности контакта участка сцепления и участка скольжения были работы Г. Фромма и А.Ю. Ишлинского. Г. Фромм изучал взаимодействие цилиндрических тел при фрикционной передаче движения. А.Ю. Ишлинский разработал теорию трения качения абсолютно жесткого катка по упрощенной модели упругого основания.

Значительный вклад в теорию трения и износа внесены работы Н.И. Мусхелишвили, где используется методы решения задач теории упругости и полученные им результатами.

Воспользуемся подвижной прямоугольной системой координат oxy , связанной с роликом и направляя ось x по направлению контакта, а ось y через центр ролика (рис. 1). Примем $o_1x_1y_1$ за неподвижную систему координат совпадающий по направлению с осью x , а ось y_1 параллельна оси y . При движении ролика с постоянной скоростью w , то между координатами точки x на линии контакта ($-a \leq x = t_0 \leq b$) в подвижной системе координат и координатой x_1 этой точки в неподвижной системе существует соотношение

$$x = x_1 - wt,$$

где t – время.

Следуя обозначениям, введенным Н.И. Мусхелишвили текущую координату x на линии контакта, обозначены через t_0 .

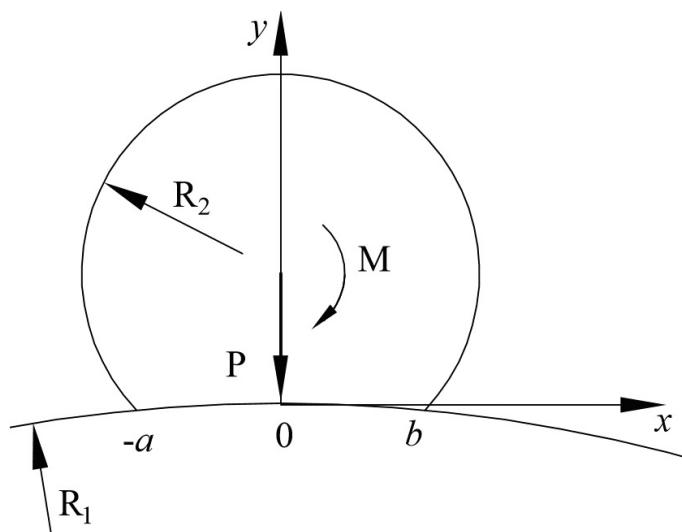


Рис. 1 – Качение ведущего ролика

ной с роликом и направляя ось x по направлению контакта, а ось y через центр ролика (рис. 1). Примем $o_1x_1y_1$ за неподвижную систему координат совпадающий по направлению с осью x , а ось y_1 параллельна оси y . При движении ролика с постоянной скоростью w , то между координатами точки x на линии контакта ($-a \leq x = t_0 \leq b$) в подвижной системе координат и координатой x_1 этой точки в неподвижной системе существует соотношение

$$x = x_1 - wt,$$

Из теории упругости известны соотношения, связывающие выражения нормальных и касательных напряжений, действующих на некотором участке ($-a \leq t_{10} \leq b$) – границы упругой полуплоскости и упругих смещений точек, расположенных на том же участке. Представлены выражения для нижней и верхней полуплоскостей, где учтены смещения точек на линии контакта

Рассматривается условие трения и сцепления на линии контакта. Представлены два случая: когда материалы ролика и беговой дорожки одинаковы и на линии контакта имеется один участок скольжения и один сцепления и когда материалы различны.

При движении ролика слева направо (в сторону $x > 0$) на участке скольжения должно быть выполнено условие: $\tau(t_0) = -\gamma P(t_{10})$, где γ – коэффициент трения скольжения.

В конечном счете, представлены обобщенные зависимости для расчета равнодействующих сил реакций.

Чхайдзе Т.А., Нозадзе Н.И., Беридзе Т.Р.
Грузинский технический университет, Тбилиси, Грузия

ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ

Предлагается устройство массового спроса, в частности для измельчения пищевых продуктов, обеспечивающее эргономическое условие эксплоатации.

Учитывая, что потребность в электрической энергии непрерывно возрастет в различных областях техники с совершенствованием технологических процессов, но одновременно влечет выброс в атмосферу определенного количества килокалорий тепла, что суммируется и без того на угрожающее количества тепловой энергии в земной атмосфере остается актуальной.

Если учесть, что значительное количество городского населения пользуется электромясорубками, где каждой из них требуется минимальная мощность $P_w = 1300$ Вт, то по предварительному расчету расхода электроэнергии в городах с миллионным населением и принимая, что 30% городского населения пользуются электромясоруб-

кой, это выражается в существенный расход электрэнергии, сопровождающий дискомфортным уровнем шума при их эксплоатации.

В этой связи за последние годы разработаны множество устройств для измельчения пищевых продуктов эргономическими ручными устройствами, в том числе и с электроприводом. Ручные снабжены редукторами, в частности мясорубка, RU 2479352С1, 20.12.2011, содержит корпус со струбциной и съемную ручку для вращения шнека, где расположен полый шнек с вращающимся ножом. Внутри шнека находится вал, на одном конце которого установлена выходная решетка, выполненная с возможностью вращения. Между шнеком и валом установлены зубчатые передачи в виде основных и промежуточных, обеспечивающие вращение шнека с подвижным ножом в одну сторону, а выходной решетки – в противоположную.

За счет того, что выходная решетка расположена на валу, кинематически связанная при помощи основных и промежуточных зубчатых колес со шнеком начинает вращение подвижного ножа в противоположную сторону, что приводит к увеличению скорости его вращения относительно выходной решетки.

Однако многие из них имеют ряд недостатков, в том числе в части производительности процесса и долговечности трущихся поверхностей режущих частей устройства, из за того, что решетка и нож вращаются в различных направлениях. Их основным недостатком, помимо интенсивного износа решетки и ножа, является установленный вдоль впадины оси шнека нож, где происходит неполнценное измельчение и сжатие обрабатываемой массы (сырья) на дне впадины и наличие минимальной скорости резания, в результате возрастают усилие сопротивления на органы привода.

Рассматривается оригинальное устройство, в котором устранены вышеупомянутые недостатки.

В измельчающем устройстве, Грузинского технического университета, патент GE, В 02 (11) Р 2019 714 В, приоритет 2017, 02.27 конструкция шнека изготовлена монолитной, где один его конец оканчивается цилиндрической формой, в размер выступающего диаметра шнека, устанавливается основной, режущий нож, а на другом конце размещена одноступенчатая зубчатая передача с внутренним зацеплением некруглыми колесами с постоянным передаточным отношением $i = 2-3$, обеспечивая нелинейное движение и переменный вращающий момент на шнек устройства. На торцовой части, внутри шнека, установлен дополнительный нож,

где торцовой частью касается неподвижных кулачков, а с другой на оправке установлена пружина сжатия для придания ей возвратно-поступательного движения от действия неподвижных кулачков, насаженных на фланце; кулачки на фланце устанавливаются с помощью крепежных устройств, регулирующих их координаты фиксирования. Для повышения врачающего момента и скорости измельчения в процессе резания основной нож устанавливается на уровне внешнего диаметра шнека.

В процессе измельчения на шнек действует дополнительное усилие, вызванное действием кулачкового механизма и режущего инструмента; рассмотрена связь угла давления профиля кулачка и ролика толкателя, а чтобы не произошло самоторможение, рекомендован оптимальный угол давления. Рассмотрен вопрос жесткости толкателя и кулачка, влияющий на динамический процесс, а с помощью дифференциальных уравнений, определены параметры движущихся частей толкателя.

Приводная телескопическая ручка устанавливается на шлицевидный конец шнека, позволяющий выбор оптимальной позиции ее установки, чем обеспечивается эргономическое условие эксплуатации.

Яригін В.А., Вислоух С.П. НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЯКІСТЬ 3D ДРУКУ

3D друк являється прогресивним методом створення деталей та механізмів для прототипування та одиничного виробництва. За рахунок використання широкого спектру налаштувань 3D принтера можна отримати разюче різні результати друку деталі, що значно відрізняються між собою. Для виготовлення деталі методом 3D друку необхідно пройти п'ять основних етапів: розробка 3D моделі; вибір параметрів друку моделі та операція слайсингу; вибір або корекція налаштувань принтера; друк моделі; пост обробка моделі. Пому поставлена задача аналізу процесу 3D друкування з метою вибору раціональних параметрів його реалізації для отримання деталей та виробів необхідної якості та низької вартості.

Детальний аналіз наведених стадій виготовлення деталі або виробу за допомогою друку на 3D принтері встановив, що практично на кожній із стадій можна суттєво вплинути на якість і кінцеву вартість друку. Наприклад, на етапі розробки 3D моделі можна застосовувати нові типи нероз'ємних і рухомих з'єднань, що будуть отримані під час друку. Також є можливість досить просто задавати при моделюванні отвори складної форми, які при виготовлені таким способом будуть набагато дешевими [1]. На етапі вибору параметрів друку моделі можна обрати слайсер, тобто відповідний пакет програмного забезпечення (ПЗ), що дозволяє вибирати та налаштовувати параметри друку та, враховуючи їх, представити 3D модель у вигляді набору 2D шарів (схем друку). Один з найбільш популярних додатків для друку в 3D моделей RepetierHost включає такі пакети ПЗ для слайсингу: PrusaSlicer; Slic3r; CuraEngine [2]. Ці пакети ПЗ суттєво відрізняються одне від одного за можливостями налаштувань, що в основному визначається діапазоном і набором параметрів, котрі можна змінити.

Налаштування слайсера виконують за такими основними параметрами:

- вид заповнення (найбільш розповсюдженими варіантами є сітка, ліній та концентричні лінії), а також його параметри – відсоток заповнення, товщина ліній, товщина стінки, товщина поверхні перекриття. Останні два параметри досить суттєво впливають на якість отриманих поверхонь. Особливо це помітно на поверхнях перекриттів, адже за умови малої товщини на них можуть утворюватися раковини і виступи, що впливають не лише на естетичний вигляд деталі, а й на її кінцеву жорсткість;
- вид і тип підтримки та її додаткові параметри (заповнення, кут звису), що в основному впливає лише на кількість затраченого матеріалу;
- тип адгезії. При цьому виділяється три основних варіанти адгезії: край, що створює додаткову підкладку по контуру, котра збільшує площа опори і використовується для високих і тонких в основі деталей, забезпечує їх надійне встановлення при друку та полегшує відрыв деталі від столика, зменшуючи тим самим шанс пошкодити деталь; плот, котрий створює додаткову підкладку під деталь певної товщини, яка має габарити більші ніж у деталі і повторює її контур. Це використовується для полегшення зняття деталі із столика та, відповідно, для суттєвого зменшення шансу пошкодження після

друку; адгезія відсутня, коли перший шар деталі друкується відразу на столику і цим параметром отримується найменша шорсткість поверхні, яка прилягає до столика;

- точність, яка впливає на мінімальну товщину лінії, що друкується;
- швидкість, що впливає на якість та точність отриманих шарів деталі. За умови низької площі шару швидкість рекомендується знижити, щоб пластик встиг застигнути;
- відсоток заповнення, який впливає на характеристики міцності деталі, а також на швидкість її друку.

Наступним етапом 3D друку є налаштування температурних параметрів принтера – нагрів столика та сопла. Сопло рекомендовано нагрівати в діапазоні температур від 200 до 220 °C. Цей параметр суттєво впливає на якість друку, адже за умови перегріву пластику він буде розтікатися по друкованій поверхні й спотворювати контури деталі та заплавляти сусідні отвори та порожнини. Функція нагріву столика є досить важливою. Вона виконує наступні функції: підігрів столика, що покращує адгезійні властивості системи «пластик – клей – стіл» і за рахунок підігріву пластик охолоджується повільніше та, відповідно, краще прилипає до столу; нагрів столика після завершення друку, що дозволяє більш просто та з меншими зусиллями відділити готову деталь від поверхні стола.

Після завершення програмного налаштування принтера виконується його технічна підготовка до друку. Для цього необхідно підготовити столик, візуально перевірити сопло, за потреби прибравши з них пластик, що застиг при попередньому друці (це робиться для того, щоб принтер правильно відкалібрувався і не друкував по повітря). Є декілька варіантів підготовки робочої поверхні столу до друку. Найбільш простий і водночас найменш затратний – змащення столика попередньо підібраним клеєм. Замість клею можна використовувати різні клейові суміші, адгезійні показники яких забезпечують надійне закріplення даного виду пластика. Використання клею забезпечує низьку шорсткість нижньої поверхні деталі. Проте цей спосіб має суттєвий недолік – за умови, що адгезійні властивості клею занадто високі, підвищується складність зняття деталі зі столу й, відповідно, зростає вірогідність пошкодити готову деталь, а за умови надто низьких властивостей – підвищується можливість відклєювання деталі від поверхні столика в процесі друку. Для полегшення зняття готової деталі можна використовувати клейкі стрічки, що наклеєні на столик перед друком і оброблені

клейкою сумішшю. Недоліком такого методу є відносно низька якість нижньої поверхні отриманої деталі. Останнім етапом виготовлення деталі або виробу за допомогою технології 3D друку є її пост обробка.Хоча метод 3D друку дає досить високу точність, проте за умови друку декількох деталей, які мають з'єднуватися одна з одною, або ж виготовлення деталей з точними розмірами отворів або осей, виникає суттєвий недолік – усадка матеріалу. Після друку отримані розміри можуть відрізнятися тих, котрі описані моделлю. Особливо це помітно при з'єднанні деталей типу отвір та вал або вісь, а також шестерень. В залежності від виду пластика та заданих параметрів друку на етапі налаштувань слайсера й температури сопла, цей показник усадки може відрізнятись. Для отримання необхідних параметрів якості деталі її необхідно обробити. Зазвичай оброблення виконується вручну за допомогою лезвійних інструментів (ножів, різців, напилок тощо) для видалення великої кількості матеріалу, за допомогою свердел і дремелів – для отримання фасонних поверхонь та за допомогою наждаків різної зернистості – для шліфування малих об'ємів матеріалу.

Проте пост обробка деталей, що отримані 3D друком, має ряд обмежень. При цьому головним обмеженням є відносно низький коефіцієнт заповнення та за умови, що товщина стінки у деталі має малу товщину (з метою пришвидшення друку, зменшення ваги, зниження витрати матеріалу або інших причин) обробка такої деталі лезвійним інструментом може привести до отримання бракованої деталі – зняття завеликого шару матеріалу і порушення тим самим замкнутості зовнішніх поверхонь деталі або суттєвого зниження її характеристик міцності. Проте така обробка необхідна не лише для отримання потрібних розмірів деталі. При складній конфігурації поверхонь деталі або ж за умови, що для друку деталі потрібно використовувати підтримки – ця операція необхідна для зняття шару підтримок та виправлення недоліків поверхонь, що залишилися після видалення цих підтримок.

Таким чином, технологія 3D друку дозволяє створювати досить точні та складні за своєю конфігурацією деталі й вироби. Відносна простота використання цієї технології (з використанням стандартних налаштувань) дозволяє будь-якому користувачеві отримати деталь та виріб в короткі строки. Детальний аналіз можливостей даного методу виготовлення показує, що для отримання оптимальних результатів за критеріями якості поверхонь, часу та вартості виготовлення, кількості використаного конструкційного матеріалу (пла-

стику), необхідно враховувати велику кількість параметрів друку і, відповідно, правильно налаштувати програмне забезпечення, що керує 3D принтером та підготувати його до друку. Для опанування технологією 3D друку в повному обсязі користувач повинен мати ґрунтовний досвід роботи з даною методом.

Література

1. Яригін, В. А. Методологія покращення характеристик міцності деталі, що виготовлена методом 3D друку / В. А. Яригін, С. П. Вислоух // Зб. наук. праць Х Всеукр. наук.-практ. конф. з міжнарод. участю «Процеси механічної обробки, верстати та інструмент». – Житомир : Державний університет «Житомирська політехніка», 2019. – С. 208–210.
2. Littwin, M. Документація для встановлення і використання програмного продукту Repetier Host, / M. Littwin // repetier.com інформаційний сайт виробника програмного забезпечення Repetier Host – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.repetier.com/documentation/repetier-firmware/z-probing/>.

Яценко I.B., Ващенко В.А., Колінько С.О. Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Антонюк В.С. НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Кириченко О.В., Діброва О.С., Мотрічук Р.Б. Інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, Черкаси, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ ОПТИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Наведено результати експериментальних досліджень закономірностей впливу режимів електронно-променевої технології (густини теплового впливу променя F_n , швидкості його переміщення V) на оптичні елементи.

Встановлено, що після стандартної механічної обробки поверхонь елементів з оптичного скла найбільш характерним є наявність мікродефектів – тріщин глибиною до 0,1–0,7 мкм, подряпин дов-

жиною до 2–5 мкм, а також пухирців розміром 10^{-3} – 10^{-2} мкм. Після електронно-променевої обробки розміри пухирців (діаметри) на поверхні елементів зменшуються у 2–4 рази, при цьому інші мікродефекти розміром менше 1–2 мкм не спостерігаються, тобто в результаті обробки електронним променем поверхні елементів якби “очищаються”, дрібні дефекти усуваються. При цьому, при збільшенні F_n до $7 \cdot 10^7$ Вт/м² площа вказаних дефектів зменшується у 1,8–2,7 рази. Вивчення топології поверхонь елементів до та після електронно-променевої обробки показують, що у першому випадку величина мікрошорсткості складає 30–40 нм, а у другому – знижується до рівня 0,5–1,2 нм.

Детальні дослідження структури поверхні елементів з оптичного скла методами АСМ дозволили визначати наступний вплив режимів електронно-променевої технології на величину мікрошорсткості: збільшення F_n від $7 \cdot 10^6$ Вт/м² до $7 \cdot 10^8$ Вт/м² та зменшення V від $3 \cdot 10^{-2}$ м/с до $5 \cdot 10^{-3}$ м/с призводить до зменшення величини мікрошорсткості від 5–6 нм до 0,7–1,2 нм.

Вивчення структури поверхневих шарів елементів з оптичного скла до та після електронно-променевої обробки показало, що максимальна глибина зони основного термовпливу або товщина оплавленого шару h_m суттєво залежить від F_n та V та може досягати величини у 300–350 мкм, яка перевищує гранично допустимі значення $h_m^* = 100$ –150 мкм при деяких критичних значеннях F_{ni}^* та V_{ni}^* ($i = 1, 2, \dots$), що призводить до утворення напливів та хвилеподібних ділянок на поверхні елементів, які призводять до порушення її площинності та, у кінцевому підсумку, до порушення геометричної форми.

Встановлено, що модифіковані електронним променем шари на поверхні елементів з оптичного скла мають у різній ступені змінений хімічний склад. Так, аналіз зміни елементного складу шарів товщиною 10–20 мкм на поверхні елементів з оптичного скла К8 показав зменшення концентрації Na і O, збільшення концентрації Si та незмінність концентрації K. В той же час на прикладі необрблленого та обробленого електронним променем елементів з оптичного скла БК10 показано, що помітної кількісної зміни хімічного складу шарів на їх поверхні не спостерігається, однак можна зробити висновок про поліпшення однорідності розподілу елементів у мікрооб’ємах поверхневого шару після електронно-променевої обробки.

Встановлено також, що електронно-променева обробка елементів з оптичного скла оплавленням призводить не тільки до гомогенізації шарів, але й до орієнтованої перебудови біля поверхні кремнекисневої сітки скла, яка стає наближеною до структури кварцового скла. Це обумовлено, в основному, видаленням іонів К, а також інших елементів – модифікаторів при одночасному впливі високих температур на поверхні (до 1200–1300 К), що призводить до підвищення стійкості оптичних елементів до зовнішніх термічних та механічних впливів.

В результаті проведених досліджень було показано, що незалежно від природи кераміки (КО1, КО2, КО5) у поверхневих шарах елементів, які оброблені електронним променем, при збільшенні F_n до $1,5 \cdot 10^7$ Вт/м² та V до $2 \cdot 10^{-2}$ м/с помітних фазових змін не спостерігається, але має місце збільшення розмірів блоків мозаїки у 3,1–7,8 рази та зменшення мікродеформацій кристалічної гратки у 1,2–6,3 рази. Аналіз отриманих змін параметрів кристалічних граток елементів після електронно-променевої обробки показав наявність стискаючих напружень у зміцнених поверхневих шарах елементів товщиною 90–210 мкм для діапазонів зміни режимів електронно-променевої технології, що розглядаються: для елементів з оптичної кераміки КО2 – до 30–40 МПа; для елементів з оптичної кераміки КО1 – до 60–70 МПа; для елементів з оптичної кераміки КО5 – до 55–65 МПа.

Визначено вплив режимів електронно-променевої технології на мікротвердість H_v поверхні елементів з оптичної кераміки: збільшення F_n до $1,5 \cdot 10^7$ Вт/м² та V до $1,5 \cdot 10^{-2}$ м/с призводить до збільшення H_v від $1,21 \cdot 10^3$ – $2,86 \cdot 10^3$ МПа до $4,84 \cdot 10^3$ – $7,15 \cdot 10^3$ МПа.

Встановлено, що після електронно-променевої обробки оптичних елементів в результаті підвищення чистоти та зменшення мікрошорсткості поверхні шляхом її оплавлення, зміни хімічного складу та перебудови кристалічної структури, формування зміцнених шарів з стискаючими напруженнями підвищується їх стійкість до зовнішніх термічних та механічних впливів. Так при збільшенні F_n до $8 \cdot 10^8$ Вт/м² та V до $5 \cdot 10^{-2}$ м/с критичні значення зовнішніх теплових потоків зростають з $0,2 \cdot 10^5$ – $4,8 \cdot 10^5$ Вт/м² до $0,4 \cdot 10^5$ – $8,7 \cdot 10^5$ Вт/м² для часу їх впливу 3–20 с (елементи з оптичного скла), а також з $5,1 \cdot 10^5$ – $2,6 \cdot 10^6$ Вт/м² до $0,7 \cdot 10^6$ – $5,2 \cdot 10^6$ Вт/м² для часу їх впливу 5–35 с (елементи з оптичної кераміки).

Також показано, що критичні значення термопружних напружень σ^* при температурах нагріву $T = 300$ – 1200 К для елементів з

оптичного скла зростають з 11–62 МПа до 17–115 МПа, а для елементів з оптичної кераміки – з 75–115 МПа до 148–281 МПа.

Крім цього, аналіз випробувань елементів з оптичних керамік, які зміщені електронним променем по стандартній методиці (значення граничних значень критичної висоти $H_{\text{кр}}$, з якої сталева кулька ($d = 4 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-3}$ м), що вільно падає, руйнує поверхню виробу (виникнення тріщин, відколів)) показав, що при параметрах променю $F_n = 10^8 - 5,5 \cdot 10^8$ Вт/м² та $V = 10^{-2} - 5 \cdot 10^{-2}$ м/с критична висота, з якої падає сталева кулька, що руйнує поверхню елемента, складає: для необрблених елементів – $H_{\text{кр}} = 0,18 - 1,1$ м, а для оброблених – $H_{\text{кр}} = 0,37 - 1,35$ м, тобто для елементів, які оброблені електронним променем, значення $H_{\text{кр}}$ у 1,2–2,1 рази перевищують їх значення для необрблених елементів.

Аналіз проведених експериментальних досліджень дозволив встановити наступні оптимальні режими електронно-променевої технології, в межах яких спостерігається покращення експлуатаційних характеристик оптичних елементів (мікротвердості поверхні H_v , стійкості до зовнішніх термічних та механічних впливів): $F_n = 7 \cdot 10^6 - 8 \cdot 10^8$ Вт/м², $V = 5 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-2}$ м/с.

Слід зазначити, що встановлені нові закономірності впливу режимів електронно-променевої технології на експлуатаційні характеристики оптичних елементів дозволяють розробити науково-обґрунтований метод їх покращення, використання якого на практиці дозволяє підвищувати техніко-експлуатаційні характеристики оптико-електронних приладів.

Література

1. Vashchenko, V. A. Osnovy elektronnoi pprobky vyrabiv z optichnych materialiv / V. A. Vashchenko, I. V. Yatsenko, Y. G. Lega, O. V. Kirichenko. – K. : Naukova Dumka, 2011.
2. Okatov, M. A. Spravochnik optika-tehnologa / M. A. Okatov, E. A. Antonov, A. B. Baygozhin. – St. Petersburg: Polytechnic, 2004.
3. Yatsenko, I. V. / I. V. Yatsenko, V. S. Antonyuk, V. I. Gordienko et al. // J. Nano- Electron. Phys. – 2018. – 10(4). – 04028.
4. Yatsenko, I. V. / I. V. Yatsenko, V. S. Antonyuk, V. A. Vashchenko et al. // J. Nano- Electron. Phys. – 2019. – 11(2). – 02014.

*Косач Н., Павлова Г. ДП «Харківський
машинобудівний завод «ФЕД»,
Большаков В. Академія метрології
України, Харків, Україна*

ДО ПИТАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ISO 9004 НА ПІДПРИЄМСТВАХ УКРАЇНИ

На сьогодні дуже багато уваги приділяється якості продукції, яка є однією зі важливіших компонентів визначення її конкурентоспроможності на ринку. Підприємства, які зацікавлені у просуванні своїх товарів на світовому ринку і набуття першості у конкурентній боротьбі, мають довести до споживачів, що їх продукція якісна, відповідає усім вимогам, що до неї ставляться, і здатна задовольняти їхнім потребам. Одним з таких доказових елементів, що у останні часи дуже часто застосовується підприємствами, є наявність впровадженої системи управління якістю (СУЯ), яка сертифікована і відповідає вимогам ISO 9001 (в Україні чинний як ДСТУ ISO 9001:2015). Тим самим підприємства показують, що вони здатні виробляти якісну продукцію, мають для цього всі необхідні людські, матеріальні, нормативні атрибути тощо [1].

Але існує ще один стандарт з серії стандартів ISO 9000, який також стосується СУЯ, але не дуже популярний серед виробників нашої країни. Це стандарт ISO 9004, спрямований саме на подальший розвиток вже упровадженої СУЯ. У 2018 році прийнято четверту версію цього стандарту (першу версію опубліковано у 1994 році), яка набуває чинності в Україні з 01.01.2020 згідно з наказом ДП «УкрНДНЦ» від 12 грудня 2018 року № 479 (метод перекладу) як ДСТУ ISO 9004:2018 «Управління якістю. Якість організації. Настанови щодо досягнення сталого успіху (ISO 9004:2018, IDT)» на заміну ДСТУ ISO 9004:2012 «Управління задля досягнення сталого успіху організації. Підхід на основі управління якістю (ISO 9004:2009, IDT)» та ДСТУ ISO 9004-2-96; ДСТУ ISO 9004-3-98; ДСТУ ISO 9004-4-98.

Структура ДСТУ ISO 9004:2018 відрізняється від попередньої версії, всі внутрішні і зовнішні проблеми стосуються вимог щодо задовільняння потреб споживачів.

Відмінність нової версії ISO 9004:2018 полягає в тому, що він сфокусований на більш загальному, стратегічному підході до якості в організації і спрямований на досягненні впевненості керівництва

в її успіху шляхом задоволення потреб і очікувань споживачів (зацікавлених сторін). Можна казати, що на сьогодні ISO 9001 і ISO 9004 поділили сфери впливу [2]. ДСТУ ISO 9001:2015 зосереджується на забезпеченні впевненості в продукції і послугах організації. ДСТУ ISO 9004:2018 зосереджується на забезпеченні впевненості в здатності організації досягти стійкого успіху у складному, вимогливому та постійно мінливому стані з посиланням на принципи управління якістю.

На жаль, чинна версія стандарту ISO 9004 (ДСТУ ISO 9004:2012) не знайшла належного впровадження на підприємствах країни. Це пов'язано з тим, що у значних випадках сертифікацію своїх СУЯ підприємства сприймають тільки як інструмент для отримання відповідного документу, після чого робота над її розвитком практично не проводиться, а стандарт ISO 9004 необов'язковий з точки зору сертифікації і його впровадження не вимагається.

Але, якщо керівництво зацікавлено у практичному розвитку свого підприємства, удосконалення СУЯ, то ISO 9004 є ефективним інструментом для самооцінки, що є однією з вимог стандарту ISO 9001, і дозволяє ефективно виявляти області, у яких можуть бути здійснені максимально продуктивні заходи до поліпшення якості своєї продукції. Стандарт ISO 9004 підкреслює, що фактори, які впливають на успіх підприємства, постійно трансформуються, їх вплив збільшується або зменшується з часом, і адаптація до цих змін є важливим елементом сталого успіху.

Цей стандарт сприяє систематичному поліпшенню загальної продуктивності організації (що включає: планування, впровадження, аналіз, оцінювання і вдосконалення ефективної та результативної системи управління) та надає інструмент самооцінки для перегляду того, якою мірою організація запровадила концепції цього ISO.

Одним з елементів, як і у ISO 9001, є контекст організації, при визначенні якого необхідно враховувати зовнішні і внутрішні питання, крім зацікавлених сторін, ще ефективність, якість і гнучкість, соціальну відповідальність, екологічні та культурні чинники, які також впливають на здатність організації досягти стійкого успіху.

Також в цій версії стандарту більше акцентується увага на п'ятьох рівнях зрілості, які організація має визначати для кожного процесу. Рівні зрілості управління (англ. Modeling Maturity Levels) — це етапи розвитку організації відповідно до стандартизованих

моделей оцінки рівня зрілості управління. Для кожної організації ці етапи визначаються різними характеристиками, що включають місію, цінності, стратегію, організаційну структуру. Переходи з рівня на рівень йдуть послідовно і роблять організацію більш конкурентоспроможною.

Для того, щоб бути конкурентоздатним, будь-яке підприємство має враховувати при визначенні своєї політики і стратегії, що воно існує на ринку поряд з конкурентами. Тому у стандарті наводяться приклади заходів, які необхідно здійснювати для урахування факторів, що можуть впливати на конкурентоздатність, а саме “Продукти і послуги”, “Людина”, “Організаційні знання та технології”, “Партнери”, “Процеси”, “Місце” і “Ціноутворення”.

Одним із дієвих інструментів для визначення проблем і шляхів їх вирішення є самооцінка і впровадження дій за її результатами. Інструмент самооцінки у новій версії стандарту змінився з опитувальної анкети на систему таблиць, які організація (підприємство) може легше підлаштувати під свої потреби, використавши загальний підхід, а критерії взявши свої. Для кожного елементу необхідно визначати, що в організації має бути на певному рівні зрілості, що на наступному і так далі. А вже на підставі аналізу окремих елементів формується загальний висновок про зрілість організації.

Таким чином, хоча цей стандарт й не призначений для сертифікації, але він включає вдосконалений інструмент самооцінки, який допомагає організаціям оцінювати рівень зрілості різних компонентів їх системи (стратегії, лідерства, ресурсів і процесів) і визначати пріоритети потенційних областей для поліпшення. Тому ми наполегливо рекомендуємо підприємствам застосовувати цей стандарт для контролю і подального удосконалення вже упровадженої у них СУЯ.

Література

1. Косач, Н., Павлова Г. Особливості впровадження ISO 9004 на підприємствах України / Н. Косач, В. Большаков, Г. Павлова // Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи: тези доп. IV Міжнарод. наук.-прак. конф. до 100-річчя каф. інформ.-вимір. технологій, 16–17 травня 2019 року. – Лівів : ЛА «Піраміда», 2019. – С. 19

2. Stimson William «Supporting Role – Can ISO 9004 Better Complement ISO 9001?», 2011. [Online]. Available : https://www.researchgate.net/publication/267451751_Supporting_Role-Can_ISO_9004_Better_Complement_ISO_9001

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Агабеков В.Е., Хейфец М.Л., Грецкий Н.Л., Гутковский А.И., Валент Д.С.</i>	
МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ FDM	3
<i>Акулович Л.М., Сергеев Л.Е., Сенчуроев Е.В.</i>	
СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ ОП-10	9
<i>Андреева Н.А., Баранов А.А., Корзун А.Е., Кулешов Н.М., Подгорный Г.В.</i>	
ВНЕДРЕНИЕ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМ СТБ ISO 9001-2015 НА ОАО «НПО Центр»	11
<i>Базров Б.М., Попок Н.Н., Хейфец М.Л.</i>	
УНИФИКАЦИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ПРОИЗВОДСТВА	16
<i>Бородавко В.И., Грецкий Н.Л., Сенчук Д.М., Хилько Д.Н.</i>	
ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА ОБЕЗВОЖИВАЮЩИХ ШНЕКОВЫХ ПРЕССОВ	19
<i>Бурлаков В.І.</i>	
ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС В ЗОНІ ВІБРО-МАГНІТНО-АБРАЗИВНІЙ ОБРОБЦІ	22
<i>Бурикин В.В., Клименко С.Ан.</i>	
ТОРЦЕВАЯ ФРЕЗА КАССЕТНОГО ТИПА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ С ПОКРЫТИЯМИ	23
<i>Васильчук А.С., Майстренко А.Л., Олейник Н.А., Ильницкая Г.Д., Петасюк Г.А., Базалий Г.А., Закора А.П., Виноградова Е.П.</i>	
ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗНОСА ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ КАМ НА ИЗМЕНЕНИЕ МАГНИТО-ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА ШЛАМА И ЕГО МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК	26
<i>Веремейчик А.И., Сазонов М.И., Хвисевич В.М.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ПОВЕРХНОСТНОМ ПЛАЗМЕННОМ УПРОЧНЕНИИ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ	30

<i>Волошко О.В., Вислоух С.П.</i>	
МЕТОДИКА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НЕОБХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДЕТАЛІ ПРИ ЇЇ МЕХАНІЧНОМУ ОБРОБЛЕННІ	33
<i>Голякевич А.А., Орлов Л.Н., Артемчук В.В.</i>	
САМОЗАЩИТНАЯ ПРОВОЛОКА ВЕЛТЕК-Н351 ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РЕЛЬС	37
<i>Голякевич А.А., Орлов Л.Н., Максимов С.Ю., Кражсановский Д.Н.</i>	
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СВАРКИ МЕТАЛЛОПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ ПП-ТМВ-МК5	40
<i>Гуцаленко Ю.Г., Пупань Л.І., Севидова О.К.</i>	
ВПЛИВ МОРФОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ НА ДІЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОКРИВІВ ПЛАЗМОЕЛЕКТРОЛІТНОГО ОКСИДУВАННЯ НА АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВАХ	43
<i>Даниленко Ю.А., Любинський В.Р.</i>	
ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МЕХАНІЗМ РОЗРОБКИ МІЖНАРОДНОГО СТАНДАРТУ	47
<i>Діордіца І.М., Яригін В.А.</i>	
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ДЕТАЛЕЙ	50
<i>Довгаль А.Г., Тамаргазин О.А., Приймак Л.Б., Варюхно В.В.</i>	
СТРУКТУРА И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАЩИТЫ СПЕЦИАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЙ АЭРОПОРТОВ	51
<i>Долгов Н.А., Рутковский А.В., Кривошея А.В., Мельник В.Е.</i>	
ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ АЗОТИРОВАНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ	57
<i>Домуладжанов И.Х., Латипова М.И., Бояринова В.Г., Холмирзаев Ю.М.</i>	
ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ АВТОЗАПРАВОЧНОЙ СТАНЦИИ	60
<i>Дудукалов Ю.В.</i>	
ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ІНЖІНІРІНГУ В ІНФОРМАЦІЙНО ОРІЄНТОВАНОМУ РЕМОНТНОМУ ВИРОБНИЦТВІ	63

<i>Ермишин В.А., Минина Н.А., Кириллова В.М., Сдобырев В.В., Дементьев В.А., Лаченков С.А.</i>	
СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЛИСТОВ ИЗ МОНОКРИСТАЛЛОВ СПЛАВА Mo – 3 мас.% Re	66
 <i>Зяхор И.В., Кучук-Яценко С.И., Завертанный М.С. СВАРКА ТРЕНИЕМ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ БЛИСКОВ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ</i>	 69
 <i>Iosebidze J., Abramishvili G., Pridonashvili D., Diasamidze N., Khvedelidze M., Mgebrishvili Kh. TRIBOTECHNICAL AND ECOLOGICAL EFFICIENCY OF MOTOR CAR TRANSMISSION OIL</i>	 72
 <i>Калашников И.Е., Кобелева Л.И., Колмаков А.Г., Михеев Р.С., Клименко С.А., Копейкина М.Ю., Хейфец М.Л. ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ АНТИФРИКЦИОННОГО СПЛАВА СИСТЕМЫ Al-Sn-Cu</i>	 74
 <i>Кисишивили Л.Т., Никвашвили Н.К., Асатиани Л.Е. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В СОВРЕМЕННОЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ 3D МОДЕЛИ, СОЗДАННОЙ В CAD ПРОГРАММЕ</i>	 75
 <i>Клименко С.А. ИНСТРУМЕНТАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ ИНСТИТУТА СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ им. В.Н. БАКУЛЯ НАН УКРАИНЫ</i>	 79
 <i>Клименко С.А., Копейкина М.Ю. РЕЖУЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ, ОСНАЩЕННЫЕ СВЕРХТВЕРДЫМИ КОМПОЗИТАМИ НА ОСНОВЕ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА</i>	 84
 <i>Ковалев М.Ф., Головащук М.В. ПЕРСПЕКТИВИ ПОЛІПШЕННЯ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АВТОМОБІЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ ШЛЯХОМ ФОРМУВАННЯ ЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРИТТІВ</i>	 87
 <i>Козяр Я.А., Головня В.Д., Полонський Л.Г. ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ 3D-ДРУКУ ЗА FDM ТЕХНОЛОГІЄЮ ШЛЯХОМ РОЗРОБКИ ШНЕКОВОЇ СИСТЕМИ ПОДАЧІ ПЛАСТИКУ</i>	 90
 <i>Кондратюк Е.В., Пащенко Є.О., Рябченко С.В. ШЛІФУВАННЯ ХВОСТОВИКА ЛОПАТОК ТУРБИН КРУГАМИ З МОНОКРИСТАЛІЧНОГО КОРУНДУ</i>	 92

<i>Kopersak V.</i>	
CALCULATIONS AND EXPERIMENTAL MEASUREMENTS OF THERMO-PHYSICAL PROPERTIES OF SOME FLUXES	94
<i>Копылов В.И., Люшенко Е.О., Дудан А.В.</i>	
ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ФИЗИКО- МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ	98
<i>Кочурко-Станиславчик Ю.В., Голод О.И., Санюк И.В.</i>	
ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА СТАНДАРТИЗАЦИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И МЕЖДУНАРОДНЫЕ ОРГАНИЗАЦИИ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОТОРЫХ ПРИНИМАЕТ УЧАСТИЕ РЕСПУБЛИКА	103
<i>Кром А.М., Шкурко В.В., Хейфец И.М.</i>	
АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ	107
<i>Курзина Е.Г., Курзина Н.М., Колмаков А.Г., Хейфец М.Л.</i>	
УПРОЧНЕНИЕ РЕЗИНОВЫХ КОМПОЗИТОВ КОРОТКИМИ ВОЛОКНАМИ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ДЕМПФИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ДИНАМИЧЕСКОЙ СЖИМАЮЩЕЙ НАГРУЗКИ	112
<i>Lavrinenko V.</i>	
TO THE ISSUE OF POPULARIZATION OF SCIENTIFIC DEVELOPMENTS IN THE DIRECTION OF APPLICATION OF SUPERHARD MATERIALS IN INDUSTRY	115
<i>Литвиненко О.А., Бойко Ю.І., Полонський Л.Г., Яновський В.А.</i>	
ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ САМ-CAD ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ЗНОШЕНИХ ДЕТАЛЕЙ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ	117
<i>Манохин А.С., Муковоз С.Ю., Муковоз Е.А.</i>	
СРАВНЕНИЕ СТОЙКОСТИ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН ИЗ РсВН С РАЗЛИЧНЫМИ НАНОСЛОЙНЫМИ ЗАЩИТНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ	121
<i>Новиков Ф.В., Полянский В.И., Коломиец В.В.</i>	
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ	123
<i>Новиков Ф.В., Сергеев А.С., Андилахай А.А.</i>	
ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ И КАЧЕСТВА АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ВНУТРЕННИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	127

<i>Ночвай В.М., Вергелес В.В., Томашевський О.О., Савич Ю.Ю.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ТВЕРДОСПЛАВНИХ РІЗЦІВ	130
<i>Пащенко Є.О., Рябченко С.В., Кухаренко С.А.</i> ВИГОТОВЛЕННЯ ПРАВЛЯЧИХ РОЛИКІВ З CVD-АЛМАЗУ	133
<i>Подгорний Г.В., Ермаченок А.Г.</i> ІННОВАЦІИ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА	135
<i>Позняков В.Д., Гайворонский А.А.</i> СОЗДАНИЕ РЕМОНТНО-СВАРОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПРИМЕРЫ ИХ ВНЕДРЕНИЯ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ	139
<i>Полторацький В.Г., Лавріненко В.І., Лещенко О.В., Солод В.Ю., Музичка Д.Г., Кашинський І.С.</i> РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ МОДИФІКУВАННЯ ТЕРМОСТІЙКИМИ ОКСИДАМИ І ХЛОРИДАМИ ШЛІФПОРОШКІВ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ	143
<i>Посвятенко Е.К., Посвятенко Н.І., Мельник Т.В., Будяк Р.В.</i> МІДЬ, БРОНЗА, ЛАТУНЬ: ІСТОРІЯ, ВЛАСТИВОСТІ, ТЕХНОЛОГІЇ І ЗАСТОСУВАННЯ	145
<i>Прихна Т.А., Лавриненко В.І., Ільницкая Г.Д., Зайцева И.Н., Смоквина В.В., Закора А.П., Тимошенко В.В.</i> АЛМАЗНЫЕ ШЛИФПОРОШКИ С ВЫСОКОЙ ОДНОРОДНОСТЬЮ ПО ПРОЧНОСТИ ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННОГО ПРАВЯЩЕГО ИНСТРУМЕНТА	152
<i>Ромашко А.С., Юрчишин О.Я., Дорожко Г.К.</i> УПРАВЛІННЯ ЗНАННЯМИ, ЯК ПЕРЕДУМОВА ЯКОСТІ ТА КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ПРОДУКЦІЇ ТА ПОСЛУГ	156
<i>Рутковский А.В., Антонюк В.С.</i> ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЙ НА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ	158
<i>Рутковский А.В., Пшеничкин Д.О., Соловых Е.К., Катеринич С.Е.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВАКУУМНОГО ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОГО АЗОТИРОВАНИЯ В ПЛАЗМЕ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА	163

<i>Рябченко С.В., Сильченко Я.Л., Федоренко В.Т.</i>	
ФИНИШНОЕ ШЛИФОВАНИЕ РОТОРОВ С ЗУБЧАТЫМИ ВЕНЦАМИ	167
<i>Сенють В.Т., Витязь П.А., Валькович И.В., Хейфец М.Л., Колмаков А.Г.</i>	
ПОЛУЧЕНИЕ МИКРОПОРОШКОВ BN И Al ₂ O ₃ С ПОКРЫТИЕМ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ ДЛЯ СИНТЕЗА МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	169
<i>Smirnov I., Lopata A., Lopata L., Ivchenko T.</i>	
IMPROVEMENT OF FUNCTIONAL PROPERTIES OF GAS-THERMAL COATINGS BY ELECTROCONTACT TREATMENT	173
<i>Смирнов И.В., Лопата А.В., Николайчук В.Я.</i>	
ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ОБРАБОТКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ НАПЫЛЕННОГО ПОРОШКОВОГО СЛОЯ	177
<i>Соколова О.А., Вислоух С.П.</i>	
ВИБІР ЕФЕКТИВНИХ МЕТОДІВ НАВЧАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ПРИ ПРОГНОЗУВАННІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ	180
<i>Сороченко В.Г., Сохань С.В.</i>	
АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЕ ШЛИФОВАНИЕ СФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	183
<i>Сохань С.В., Сороченко В.Г., Возный В.В., Майстренко А.Л., Кулич В.Г., Боримский А.И.</i>	
К ВОПРОСУ О КАЧЕСТВЕ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ КЕРАМИЧЕСКИХ ШАРОВ ПОДШИПНИКОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ	186
<i>Харламов Ю.А.</i>	
ВЫБОР ТОЛЩИНЫ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ	189
<i>Харламов Ю.А.</i>	
ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ	194
<i>Хейфец М.Л., Колмаков А.Г., Клименко С.А.</i>	
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЯ	197

Chernovol M.S., Smirnova T.V., Ageev M.S.

STUDY OF THE SPRAYING PROCESS AND THE INFLUENCE OF ITS
FACTORS ON THE PROPERTIES OF ELECTRIC ARC SPRAYING
COATINGS

201

Чхайдзе Т.А., Метревели А.Н., Мерабишвили Г.Г.

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ПОРТАЛЬНЫХ
ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ

205

Чхайдзе Т.А., Нозадзе Н.И., Беридзе Т.Р.

ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ
СРЕДСТВАМИ

207

Яригін В.А., Вислоух С.П.

АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЯКІСТЬ 3D ДРУКУ

209

Яценко I.B., Ващенко В.А., Колінько С.О., Антонюк В.С.,

Кириченко О.В., Діброва О.С., Мотрічук Р.Б.

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОННО-
ПРОМЕНЕВОЇ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ ОПТИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

213

Косач Н., Павлова Г., Большаков В.

ДО ПИТАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ISO 9004 НА ПІДПРИЄМСТВАХ
УКРАЇНИ

217

Уважаемые коллеги!

Ассоциация технологов-машиностроителей Украины в 2020 г. проводит мероприятия:

23–28 марта 2020 г.

**Международный научно-технический семинар
«СОВРЕМЕННЫЕ ВОПРОСЫ ПРОИЗВОДСТВА И РЕМОНТА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ
И НА ТРАНСПОРТЕ»
(г. Тбилиси, Грузия)**

Тематика семинара

- Современные тенденции развития технологии машиностроения
- Подготовка производства как основа создания конкурентоспособной продукции
- Состояние и перспективы развития заготовительного производства
- Совершенствование технологий механической и физико-технической обработки в машино- и приборостроении
- Упрочняющие технологии и покрытия
- Современные технологии и оборудование в сборочном и сварочном производстве
- Ремонт и восстановление деталей машин в промышленности и на транспорте, оборудование для изготовления, ремонта и восстановления
- Стандартизация, сертификация, технологическое управление качеством и эксплуатационными свойствами изделий машино- и приборостроения
- Внедрение стандартов ДСТУ ISO 9001:2015 в промышленности, высших учебных заведениях, медицинских учреждениях и органах государственной власти.
- Метрология, технический контроль и диагностика в машино- и приборостроении
- Экологические проблемы и их решения в современном производстве

1–5 июня 2020 г.

**Международную научно-техническую конференцию
«ИНЖЕНЕРИЯ ПОВЕРХНОСТИ И РЕНОВАЦИЯ ИЗДЕЛИЙ»
(г. Свалява, Закарпатская обл.)**

Тематика конференции

- Научные основы инженерии поверхности: материаловедение; физико-химическая механика материалов; физикохимия контактного взаимодействия; износо- и коррозионная стойкость, прочность поверхностного слоя; функциональные покрытия и поверхности
- Трение, износ и смазка в машинах
- Технологическое управление качеством и эксплуатационными свойствами деталей машин
- Технология ремонта машин, восстановления и упрочнения деталей
- Метрологическое обеспечение ремонтного производства
- Экология ремонтно-восстановительных работ

Семинар

«Сварка, наплавка и другие реновационные технологии на предприятиях горноталлургической и машиностроительной промышленности»

7-11 сентября 2020 г.

**Международную научно-практическую конференцию с действующими семинарами
«КАЧЕСТВО, СТАНДАРТИЗАЦИЯ, КОНТРОЛЬ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА» (КСК-20)
(г. Одесса)**

Тематика конференции

- Построение национальных систем технического регулирования в условиях членства в ВТО и ЕС: теория и практика
- Процессно-ориентированные интегрированные системы управления: теория и практика
- Стандартизация, сертификация, управление качеством в промышленности, электроэнергетике, сельском хозяйстве и сфере услуг
- Внедрение стандартов ДСТУ 9001:2009 в высших учебных заведениях, медицинских учреждениях и органах государственной службы
- Метрологическое обеспечение и контроль качества продукции в промышленности, электроэнергетике, сельском хозяйстве и сфере услуг
- Внедрение информационных технологий в процессы адаптации, сертификации и управления качеством
- Проблемы гармонизации законодательной и нормативно-технической документации

СОВРЕМЕННЫЕ ВОПРОСЫ ПРОИЗВОДСТВА И РЕМОНТА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НА ТРАНСПОРТЕ

Материалы 20-го Международного научно-технического семинара,
23–28 марта 2020 г., г. Тбилиси, Грузия

Компьютерная верстка
Копейкина М.Ю.

Подписано в печать 20.02.2020
Формат 60×84×1/16. Бумага типографская
Печать офсетная. Уч. изд. л. 16,5.
Тираж 150 экз.

Ассоциация технологов-машиностроителей Украины

Украина, 04074, г. Киев, ул. Автозаводская, 2. АТМ Украины.
Тел. /Факс +38-044-430-85-00, www.atmu.net.ua
E-mail: atmu@ism.kiev.ua, kopeykina@voliacable.com,
atmu@meta.ua, atmu1@meta.ua
