

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

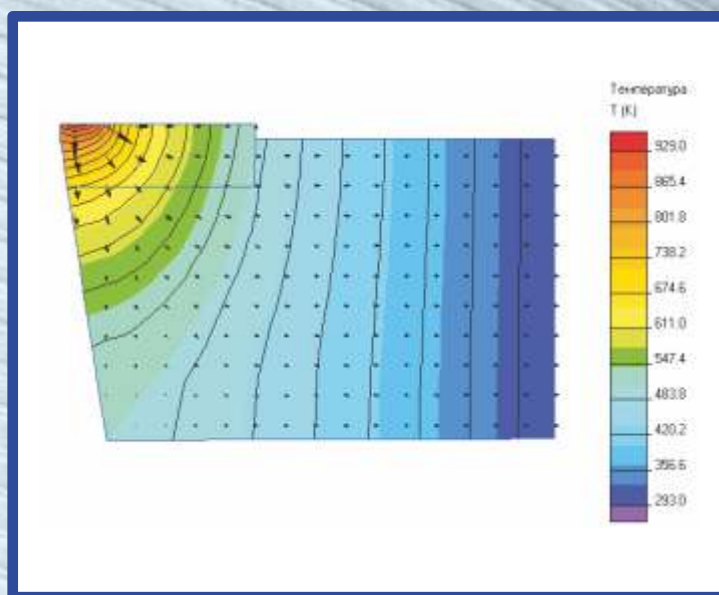
ISSN 1994-6309



№4(49)/2010

технология • оборудование • инструменты
научно-технический и производственный журнал

Технология Оборудование, инструменты Материаловедение Образование



Распределение температуры
и векторное поле теплового потока резца
с твердосплавной пластиной марки T15K6





ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

№ 4(49)/2010

технология • оборудование • инструменты
научно-технический и производственный журнал

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель совета

Пустовой Н.В. – ректор НГТУ, профессор, доктор технических наук, Заслуженный деятель науки РФ, член Национального комитета по теоретической и прикладной механике

Члены совета

Анисименко Г.Е., директор производственно-технологической фирмы «Сигма-инструмент»; **Атапин В.Г.**, профессор, д.т.н., НГТУ; **Афанасьев В.К.**, академик РАЕН, профессор, д.т.н., СибГИУ; **Балков В.П.**, зам. ген. директора АО «ВНИИинструмент», к.т.н.; **Батаев А.А.**, профессор, д.т.н., НГТУ; **Батаев В.А.**, профессор, д.т.н., НГТУ; **Буров В.Г.**, профессор, к.т.н., НГТУ; **Герасенко А.Н.**, директор ООО НПКФ «Машсервисприбор»; **Кирсанов С.В.**, профессор, д.т.н., ТПУ; **Коган Б.И.**, академик РАЕН, профессор, д.т.н., КузГТУ; **Коротков А.Н.**, академик РАЕ, профессор, д.т.н., КузГТУ; **Кудряшов Е.А.**, профессор, д.т.н., Засл. деятель науки РФ, КурскГТУ; **Овчаренко А.Г.**, профессор, д.т.н., БТИ АлтГТУ; **Рахимьянов Х.М.**, профессор, д.т.н., НГТУ, **Сараев Ю.Н.**, профессор, д.т.н., ИФПМ СО РАН; **Смольников Н.Я.**, профессор, д.т.н., ВолгГТУ; **Суслов А.Г.**, профессор, д.т.н., Засл. деятель науки и техники РФ, БрянГТУ

Журнал входит в *Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий*, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (решение Президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России от 19 февраля 2010 года № 6/6)

СОУЧРЕДИТЕЛИ

ОАО НПТ и ЭИ «Оргстанкинпром»
ГОУ ВПО «Новосибирский государственный
технический университет»
ООО НПКФ «Машсервисприбор»

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

- Батаев А.А.** – главный редактор, профессор,
доктор технических наук
Атапин В.Г. – зам. главного редактора, профессор,
доктор технических наук
Буров В.Г. – зам. главного редактора, профессор,
кандидат технических наук (технология,
материаловедение)
Скиба В.Ю. – зам. главного редактора, доцент, кандидат
технических наук (оборудование, инструменты)

ИЗДАЕТСЯ С 1999 г.

Периодичность – 4 номера в год

Журнал реферирован в ВИНТИ

Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals Directory»

Журнал награжден в 2005 г. Большой Золотой Медалью Сибирской Ярмарки за освещение новых технологий, инструмента, оборудования для обработки металлов

Журнал зарегистрирован 05.04.2006 г. Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-23961

Индекс: **70590** («РОСПЕЧАТЬ»)

Адрес редакции:

630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), корп. 5, к. 274, Атапин В.Г.

Тел. (383) 346-17-77

E-mail: obrmet@ngs.ru

www.nstu.ru (раздел «Научная и инновационная деятельность»; научные издания)

Цена свободная

Перепечатка материалов из журнала «Обработка металлов» возможна при обязательном письменном согласовании с редакцией журнала; ссылка на журнал при перепечатке обязательна.

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНОЛОГИЯ

- Фирсов А.М., Беляев В.Н., Боткин И.В., Хамрителев С.С., Сутормин Д.А.** Повышение износостойкости отверстий корпусных деталей из алюминиевых сплавов 4
- Смирнов В.В., Фирсов А. М.** Численная оценка интенсивности процесса теплообмена в зоне резания при удалении стружки пневмотранспортом 8
- Кошин А.А., Сопельцев А.В.** Расчетная оценка обрабатываемости сталей и сплавов в процессах обдирочного шлифования 11
- Иванцовский В.В., Скиба В.Ю.** Эффективность объединения операций поверхностной закалки и шлифования на одном технологическом оборудовании 15
- Рахимьянов Х.М., Янпольский В.В., Моисеенко А. Н.** Размерная обработка деталей с покрытиями из наноструктурированных порошковых материалов 22

ОБОРУДОВАНИЕ. ИНСТРУМЕНТЫ

- Атапин В.Г., Войнова Е.В.** Расчет контактных деформаций в соединениях тяжелого многоцелевого станка 27
- Коротков А.Н., Короткова Л.П., Прокаев Н.В., Шмаков Е.С.** Состояние поверхностного слоя колец подшипников после шлифования кругами с контролируемой формой зерен 32

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- Веселов С.В., Чёсов Ю.С., Зверев Е.А., Трегубчак П.В., Базаркина В.В., Ложкин В.С.** Особенности микроструктуры износостойких плазменных покрытий 35
- Огнев А.Ю., Лаптев И.С., Базаркина В.В., Теплых А.М.** Особенности разрушения композиционного материала «алюминий-углеродные нанотрубки» 38
- Дробяз Е.А., Батаев В. А., Буров В.Г., Теплых А. М.** Образование дефектов мартенситной структуры в процессе закалки сталей с использованием электронного пучка, выведенного в атмосферу 41

ОБРАЗОВАНИЕ

- Иванцовская Н.Г., Пушкин В.Н.** Графическое образование бакалавра по направлению подготовки «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительного производства»..... 45

TECHNOLOGY

- Firsov A.M., Belyaev V.N., Botkin I.V., Hamritelev S.S., Sutormin A.A.** Increase of wear resistance of apertures of case details from aluminum alloys 4
- Smirnov V.V., Firsov A.M.** Numerical estimation of intensity of heat exchange process in a cutting zone when removing the chips by means of pneumatic transport 8
- Koshin A.A., Sopeltsev A.V.** Settlement estimation of a workability of steels and alloys in processes of roughing grinding 11
- Ivancivsky V.V., Skeeba V.Y.** Integration effectiveness of operations of surface hardening and grinding on a single technology equipment 15
- Rahimyanov H.M., Yanpolsky V.V., Moiseenko A.N.** Dimensional processing of details with coverings from nano powder materials... 22

EQUIPMENT. INSTRUMENTS

- Atapin V.G., Voinova E.V.** Calculation of contact deformations in connections of the heavy multi-purpose machine tool 27
- Korotkov A.N., Korotkova L.P., Prokaev N.V., Shmakov E.S.** Condition of the surface layer of rings of bearings after grinding by circles with the controllable form of grains 32

MATERIAL SCIENCE

- Veselov S.V., Chosov Yu.S., Zverev E.A., Tregubchak P. V., Bazarkina V.V., Lozhkin V.S.** Features of a microstructure of wear-resistant plasma coatings 35
- Ognev A.Yu., Laptev I.S., Bazarkina V.V., Teplyikh A.M.** The destruction character of the composite material «aluminum – carbon nanotubes» 38
- Droblyaz E.A., Bataev V.A., Burov V.G., Teplyh A.M.** Formation of defects in the structure of martensite during hardening of steel using atmospheric electron beam 41

EDUCATION

- Ivantsivskaja N.G., Pushnin V. N.** Graphical education of bachelor of science in design and technological supply of engineering 45

Корректор *Л.Н. ВЕТЧАКОВА*
 Художник-дизайнер *А.В. ЛАДЫЖСКАЯ*
 Компьютерная верстка *В.Н. ЗЕНИНА*

Подписано в печать 10.12.10. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.
 Усл. печ.л. 6,0. Уч.-изд. л. 11,16. Изд. № 301. Заказ 60. Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии Новосибирского государственного технического университета
 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

ПАМЯТИ И.Н. ЖЕСТКОВОЙ



23 июня 2010 года на 74-м году жизни скончалась главный редактор издательства «Машиностроение», главный редактор журналов «Справочник. Инженерный журнал», «Трение и смазка в машинах и механизмах», зам. главного редактора журналов «Вестник компьютерных и информационных технологий», «Сборка в машиностроении, приборостроении», «Упрочняющие технологии и покрытия» **Жесткова Ирина Николаевна**.

В 1963 году И.Н. Жесткова закончила МВТУ им. Н.Э. Баумана по специальности «Машины и технологии литейного производства» и сразу же пришла на работу в издательство «Машиностроение». В 1976 году Ирину Николаевну назначают заведующей редакцией справочной литературы, а в 1996 году она становится главным редактором по изданию энциклопедической и справочной

литературы. Ею была задумана и практически вышла в свет уникальная энциклопедия «Машиностроение» в 40 томах. По инициативе и при непосредственном участии Ирины Николаевны были изданы «Справочник конструктора-машиностроителя» В.И. Анурьева в 3 томах, «Марочник сталей и сплавов», «Справочник технолога-машиностроителя» в 2 томах.

В 1983 году И.Н. Жесткова удостоена почетного звания «Отличник печати», в этом же году получила Серебряную медаль ВДНХ за справочник «Испытательная техника». Доброта, отзывчивость Ирины Николаевны ярко проявились в годы работы ее председателем месткома издательства.

*Светлая память об Ирине Николаевны Жестковой
навсегда останется в наших сердцах.*

Коллеги, друзья

ПАМЯТИ Н.М. КУЩ-ЖАРКО



12 августа 2010 года на 58-м году ушла из жизни **Кущ-Жарко Наталия Михайловна** – ведущий редактор журналов «Трение и смазка в машинах и механизмах», «Сборка в машиностроении, приборостроении» издательства «Машиностроение».

Наталия Михайловна работала в издательстве с 1973 года сначала в должности экспедитора, затем младшего редактора, редактора, а с 2000 г. – ведущего редактора. Она отличалась высоким профессионализмом, любовью к своей работе, была открытой и доброжелательной по отношению к коллегам и авторам.

В 2003 году Наталии Михайловне было присвоено звание «Почетный машиностроитель».

*Светлая память о Наталии Михайловне Кущ-Жарко
навсегда останется в наших сердцах.*

Коллеги, друзья

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ОТВЕРСТИЙ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

*А.М. ФИРСОВ, канд. техн. наук, доцент,
 В.Н. БЕЛЯЕВ, канд. техн. наук, И.В. БОТКИН, канд. техн. наук,
 С.С. ХАМРИТЕЛЕВ, аспирант, Д.А. СУТОРМИН, аспирант
 (Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ, г. Бийск)*

Статья поступила 8 апреля 2010 г.

659305, Алтайский край, г. Бийск, ул. Трофимова, 27,
 Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ, e-mail: mrsi@bti.secna.ru

Показана взаимосвязь параметров качества поверхностного слоя и эксплуатационных показателей. Приведены результаты исследований поверхностно-пластической обработки отверстий корпусных деталей из алюминиевых сплавов.

Ключевые слова: эксплуатация, износ, технологическая подготовка производства, алюминиевый сплав, поверхностно-пластическое деформирование.

The interrelation of the parameters of surface layer quality and performance indicators is consider. Results on the finishing touch aluminum alloys are shown.

Key words: operation, technological preparation of production, aluminum alloy, surface-plastic deformation, wear and tear.

В современном производстве для обеспечения конкурентоспособности необходим выпуск продукции с заданным эксплуатационным периодом, что позволяет прогнозировать срок службы изделия в целом или отдельных его элементов, а также планировать производство продукции. Однако в настоящее время этому не уделяется должного внимания, и изделие становится неработоспособным по причине, например, износа одной отдельной поверхности, что приводит к увеличению затрат на ремонт и обслуживание и снижению спроса на эту продукцию. Следовательно, необходимо обеспечивать выпуск продукции, у которой срок службы всех поверхностей был бы одинаковым.

В машиностроении для облегчения массы изделий ряд корпусных деталей, например малогабаритных двигателей, изготавливают из алюминиевых или магниевых сплавов. На рис. 1 представлены корпусные детали двухтактных двигателей, используемых в качестве привода в бензопилах, газонокосилках, насосах и других изделиях, где регламентируется масса изделия. Материал этих деталей – литейный алюминиевый сплав, имеющий невысокую прочность и твердость. Во время работы поверхности этих деталей подвергаются циклическим и динамическим нагрузкам, тепловому воздействию. У этих деталей можно выделить несколько групп поверхностей:

- поверхности, которые являются комплектом технологических баз;



Рис. 1. Детали малогабаритных двухтактных двигателей

- плоские наружные поверхности, сопрягающиеся с другими деталями и узлами изделия;
- поверхности базовых отверстий, в которых детали и сборочные единицы монтируются в определенной взаимосвязи;
- резьбовые и другие мелкие крепежные отверстия;
- остальные поверхности как внутренние, так и наружные, – разной формы, определяющие конфигурацию детали.

Экспертная оценка влияния разных поверхностей этих корпусных деталей на срок службы (табл. 1) показывает, что он зависит от износостойкости и контактной жесткости поверхностей базовых отверстий.

Экспертная оценка влияния поверхностей корпуса из алюминиевого сплава на срок службы

Поверхности корпуса	Эксплуатационные свойства	Весовой коэффициент
Базовые поверхности	Контактная жесткость	1
Плоские сопрягающиеся поверхности	Контактная жесткость, герметичность	2
Поверхности базовых отверстий	Контактная жесткость, износостойкость	5
Резьбовые и другие отверстия	Контактная прочность, износостойкость	1
Остальные поверхности	Герметичность, износостойкость	2

В работах [1,2] для оценки износостойкости поверхностного слоя предлагается применять комплексный параметр C_x , имеющий вид

$$C_x = \frac{(R_a W_z H_{max})^{1/6}}{t_m^{3/2} S_m^{1/2} k^{2/3} \lambda'}$$

где R_a – среднее арифметическое отклонение профиля шероховатости; t_m – относительная опорная длина профиля шероховатости; S_m – средний шаг неровностей профиля шероховатости; W_z – средняя высота волнистости; H_{max} – максимальное значение макроотклонений профиля; k – коэффициент упрочнения ($k = HV/HV_{исх}$, где HV и $HV_{исх}$ – микротвердость поверхностного слоя после и до обработки соответственно); λ' – коэффициент, учитывающий влияние остаточных напряжений ($\lambda' = [(\sigma_b - \sigma_{ост}) / \sigma_a]^{1/4}$, где σ_b – временное сопротивление разрыву; σ_a – действительное значение амплитудного напряжения в поверхностном слое; t_y – параметр фрикционной усталости).

Параметр C_x позволяет провести оценку износостойкости поверхностных слоев деталей машин в зависимости от параметров поверхностного слоя и может быть использован при технологической подготовке производства с целью обеспечения заданных эксплуатационных свойств. Наибольшее влияние на комплекс-

ный параметр C_x оказывает шероховатость: параметры R_a, t_m, S_m . Следовательно, управляя параметрами шероховатости, можно обеспечить заданный срок службы поверхностей детали и изделия в целом.

Из известных методов обработки поверхностей наиболее эффективным, обеспечивающим заданные параметры качества поверхности, является метод поверхностно-пластического деформирования (ППД), например выглаживание. Выглаживание обеспечивает уменьшение высотных параметров шероховатости, упрочнение поверхностного слоя, позволяет управлять этими параметрами и легко может быть реализовано на обычном оборудовании, например, на токарном станке. Однако применение этого метода для обработки деталей из алюминиевых литейных сплавов ограничено из-за отсутствия рекомендаций по режимам обработки, обеспечивающим заданные параметры шероховатости.

Для проведения исследований по установлению влияния режимов обработки отверстий выглаживанием на параметры шероховатости применялся токарно-винторезный станок с ЧПУ 16K20Ф3 и несколько конструкций выглаживателей, представленных на рис. 2. На рис. 2, а приведена конструкция

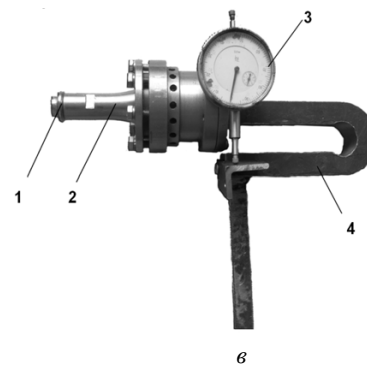
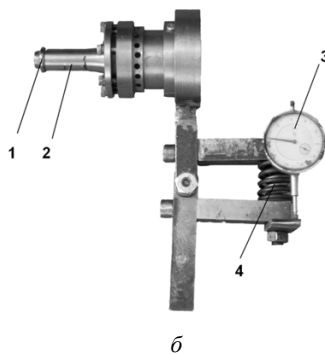
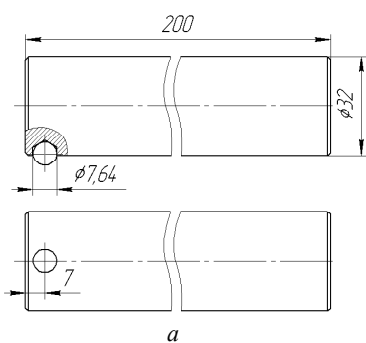


Рис. 2. Конструкции выглаживателей:

а – жесткий выглаживатель; б – нежесткий с пружиной; в – нежесткий с U-образным упругим элементом (1 – индентор; 2 – ультразвуковая головка; 3 – индикатор; 4 – упругий элемент)

«жесткого» выглаживателя с одиночным шариковым индентором. Этот выглаживатель применялся на первых этапах исследований. Выглаживатели «нежесткой» конструкции (рис. 2, б и в) с тороидальными инденторами имеют в своей конструкции ультразвуковую головку, что позволяет накладывать на процесс выглаживания колебания с частотой 20 кГц. В качестве образцов для исследования применялись заготовки из алюминиевого сплава АК12, одна из которых представлена на рис. 3.

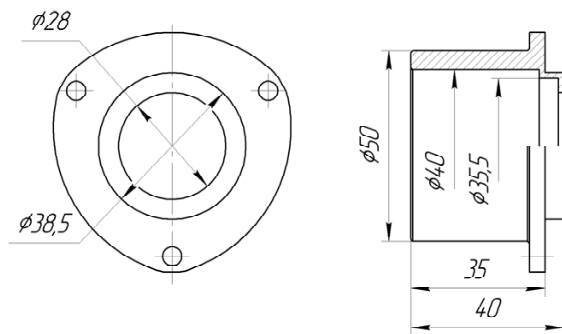


Рис. 3. Образец заготовки, применяемый для исследования

Выглаживание заготовок производилось с наложением ультразвуковых колебаний и без них, оставлялся также расточенный участок (рис. 4). Измерение шероховатости производилось при помощи профилографа-профилометра модели 250. Прибор имеет аналоговый выход на ЭВМ. При помощи ЭВМ и программного обеспечения LabVIEW записывались профилограммы поверхностей.

В результате выглаживания с наложением ультразвуковых колебаний удалось снизить шероховатость с R_a 3,9 мкм до R_a 0,3 мкм; после выглаживания без ультразвука шероховатость снизилась с R_a 2,6 мкм до R_a 0,7 мкм. Качественно это можно оценить по фотографии поверхностей, изображенных на рис. 4.

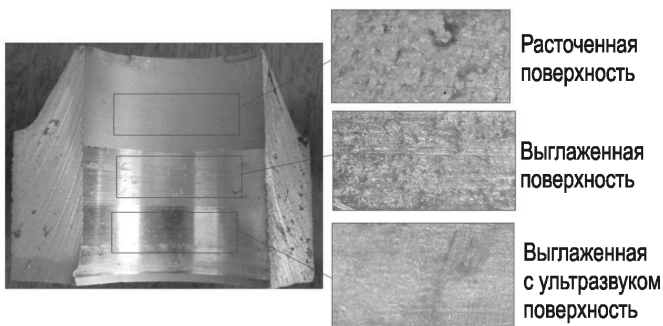


Рис. 4. Поверхности на заготовке после обработки

Влияние режимов выглаживания на шероховатость поверхности представлено на рис. 5–7 в виде графиков. Там же приведены функциональные зависимости шероховатости поверхности от режимов

выглаживания, аппроксимированные по методу наименьших квадратов, и коэффициенты корреляции. Как видно, увеличение подачи приводит к возрастанию шероховатости поверхности. График влияния силы выглаживания на шероховатость имеет экстремум, при котором шероховатость минимальна. Меньшая шероховатость наблюдается при малых скоростях.

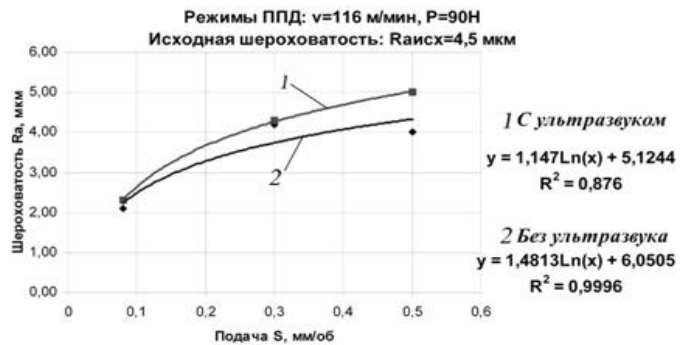


Рис. 5. Влияние подачи выглаживания на шероховатость поверхности

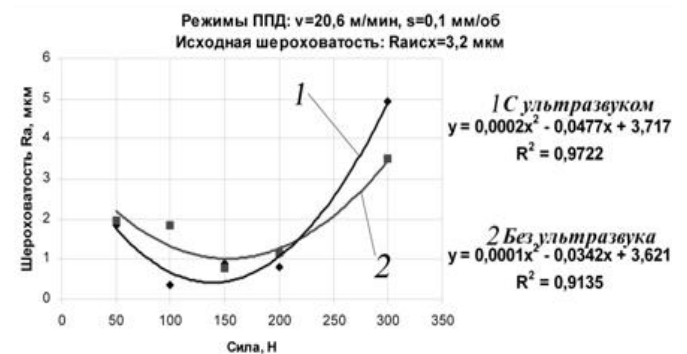


Рис. 6. Влияние силы воздействия при выглаживании на шероховатость поверхности

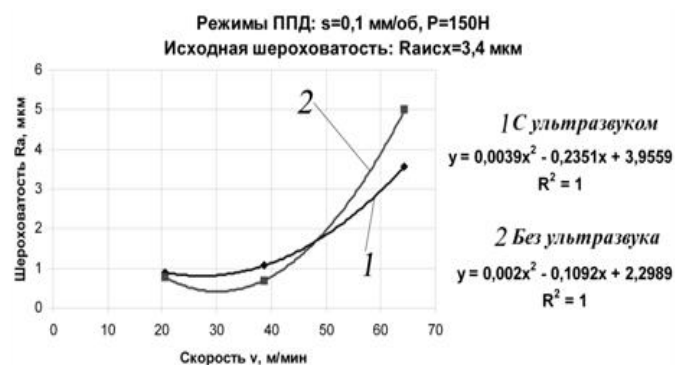


Рис. 7. Влияние скорости выглаживания на шероховатость поверхности

По результатам обработки экспериментальных данных в системе Maple получена математическая модель шероховатости обработанной поверхности в зависимости от режимов выглаживания при выглаживании поверхности одиночным шариковым индентором в виде

$$R_a = k S^a V^b P (R_{a_{исх}})^d$$



Значения коэффициентов модели приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Диапазон режимов выглаживания и коэффициенты модели шероховатости

S , мм/об	V , м/мин	$R_{a\text{исх}}$, мкм	P , МПа	k	a	b	d
0,1...0,8	35...345	2,5...4,5	<200	2,25	0,22	0,02	1
			200...800	2,67	0,70	0,04	0,96
			>800	0,04	0,73	0,04	0,97

Исследование износостойкости проводилось при помощи машины трения по схеме, показанной на рис. 8. Для измерения износа получали след контртела трения на расточенной и выглаженных поверхностях с усилием 5 Н, создаваемым грузом. Размер следа износа измерялся при помощи универсального измерительного микроскопа УИМ-21. Изнашивание производилось со смазкой из индустриального масла И-20.

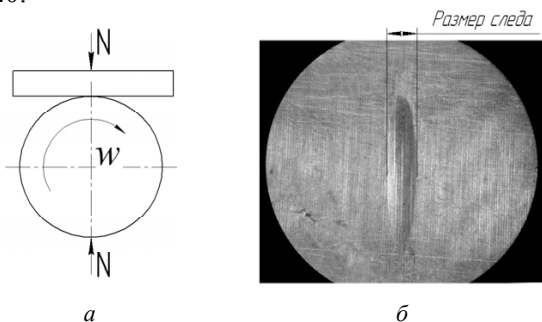


Рис. 8. Схема изнашивания образцов (а); след износа на поверхности (б)

Некоторые результаты по износу образцов приведены на рис. 9 в виде кривых износа для расточенной, выглаженной и выглаженной с наложением ультразвуковых колебаний поверхностей. Видно, что износ образцов после выглаживания с ультразвуком

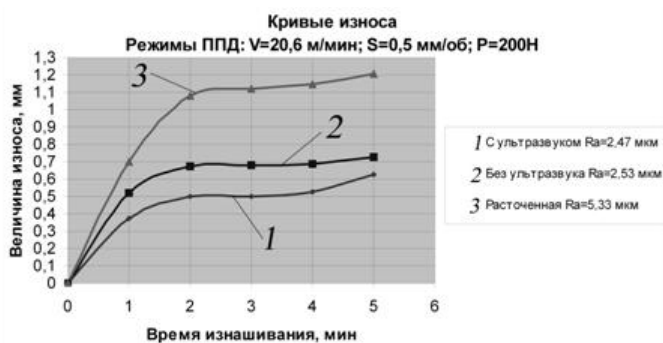


Рис. 9. Кривые износа поверхностей отверстий

уменьшился по сравнению с износом расточенной поверхности на 52 %, после выглаживания без ультразвука – на 36 %.

Представленные на рис. 10 зависимости износа поверхности от ее шероховатости имеют экстремумы, при которых износ минимальный, т.е. каждая шероховатость имеет минимальный износ в зависимости от условий изнашивания. Это позволяет сделать вывод об оптимальной шероховатости для различных условий эксплуатации.

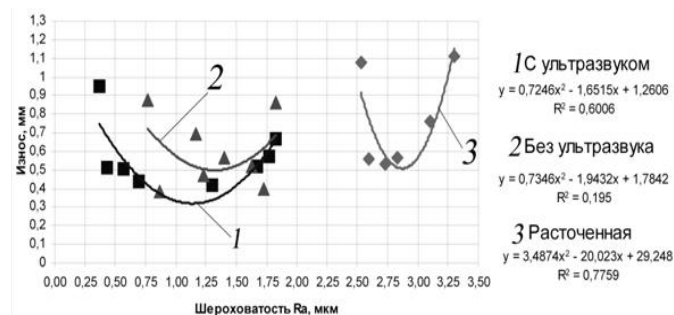


Рис. 10. Влияние шероховатости поверхности на износ

Таким образом, выглаживание позволяет снизить шероховатость поверхности и повысить износостойкость поверхности деталей. Ультразвуковые колебания, наложенные на процесс выглаживания, повышают эксплуатационные свойства поверхности, но при этом повышают и себестоимость этого процесса.

Список литературы

1. Сулов А.Г., Горленко О.А. Экспериментально-статистический метод обеспечения качества поверхности деталей машин. – М.: Машиностроение, 2003. – 303 с.
2. Сулов А.Г., Федоров В.П., Горленко О.А. и др. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений / под общей ред. А.Г. Сулова. – М.: Машиностроение, 2006. – 448 с.

ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ ПРИ УДАЛЕНИИ СТРУЖКИ ПНЕВМОТРАНСПОРТОМ

*В.В. СМИРНОВ, канд. техн. наук, доцент,
А.М. ФИРСОВ, канд. техн. наук, доцент
(Бийский технологический институт (филиал)
АлтГТУ, г. Бийск)*

Статья поступила 17 октября 2010 г.

659305, Алтайский край, г. Бийск, ул. Трофимова, 27,
Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ,
e-mail: mrsi@bti.secna.ru

В работе проведена численная оценка интенсивности процесса теплообмена в зоне резания при удалении стружки пневмотранспортом. Установлено, что снижение тепловой напряженности процесса в зоне резания в основном происходит за счет ускоренного удаления стружки.

Ключевые слова: теплота, тепловой баланс, зона резания, пневмотранспорт, конвективный теплообмен, теплоотдача, численные методы, метод конечных элементов.

The numerical estimation of the heat exchange process in the zone of cutting when removing the chips by suction is carried out in the work. It is found out that the thermal stress at the cutting zone is possible to reduce mainly due to the accelerated removal of chips by pneumatic transport.

Key words: heat, heat balance, cutting, pneumatic transport, convectional heat transfer, heat transfer, numerical methods, finite element method.

Одним из важнейших факторов, определяющих процесс резания, является теплота, образующаяся в результате работы сил внутреннего и внешнего трения, а также за счет других причин, которыми при анализе обычно пренебрегают, например диспергирования, связанного с эффектом отделения стружки.

Известно, что обеспечение эффективного отвода тепла из зоны резания может служить основой для повышения производительности (за счет интенсификации режимов резания) или экономичности механической обработки (за счет повышения стойкости инструмента). Кроме того, тепло, переходящее в заготовку, может вызвать нежелательные изменения ее размеров и качества поверхности, подчас являющиеся причинами появления брака.

Тепло, образующееся в процессе резания, уносится со стружкой, передается заготовке, инструменту, распространяется в окружающую среду. Соотношение между количеством тепла, ушедшего в ту или иную сторону, зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала, режима резания, геометрии режущего инструмента и характеристик внешней среды, в которой осуществляется резание. Известные опыты Я. Г. Усачева и других исследователей, определявших количество теплоты в

стружке калориметрическим методом, показали, что в зависимости от скорости резания, глубины резания и подачи при обработке конструкционной стали в стружке содержалось 60...80 % количества теплоты резания, а при скоростных режимах резания – свыше 90 % [1]. Из сказанного можно заключить, что основной способ распространения тепла в зоне резания связан со свойством теплопроводности твердых тел. Конвекция и тепловое излучение влияют на процесс незначительно.

Вместе с тем существуют способы интенсификации конвективной составляющей общего теплового баланса. Прежде всего, это использование смазочно-охлаждающих технических средств: водных растворов, эмульсий, масел, струй сжатого воздуха. Последнее имеет место в том числе и при удалении стружки гидро- и пневмотранспортом.

Предметом нашего анализа является изменение температурного баланса зоны резания при удалении стружки пневмотранспортной системой (рис. 1). В общем случае конвективный теплообмен между окружающей средой и граничной поверхностью определяется с помощью выражения, известного как уравнение теплоотдачи Ньютона:

$$Q = \alpha F(t_n - t_c), \quad (1)$$

где Q – мощность теплового потока, Вт; α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²К); F – площадь поверхности, м²; t_n – температура поверхности, К; t_c – температура среды, К.

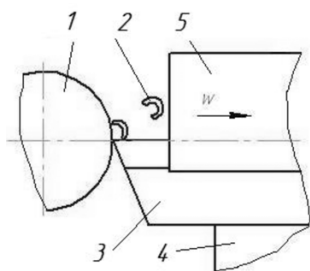


Рис. 1. Схема удаления стружки из зоны резания пневмотранспортом:
1 – заготовка; 2 – стружка; 3 – резец;
4 – резцедержатель; 5 – стружкоприемник

В то время как сама по себе формула (1) очень проста, присутствующий в ней коэффициент теплоотдачи α представляет собой очень сложную функцию, зависящую от характеристик потока движущейся жидкостной или воздушной среды, теплофизических свойств этой среды и геометрических параметров системы. Как правило, за исключением незначительного числа простейших случаев, получить точные аналитические решения этого уравнения не представляется возможным и поэтому привлекаются приближенные методы. Для большинства практических задач коэффициент теплоотдачи оценивают по эмпирическим уравнениям, полученным обработкой экспериментальных результатов методом анализа размерностей. Коэффициент α обычно выражают через соотношение между одним зависимым безразмерным комплексом – числом Нуссельта Nu и тремя независимыми безразмерными комплексами – числами Рейнольдса Re , Грасгофа G_r и Прандтля Pr , зависящих от вида конвекции (естественная или вынужденная). В нашем случае конвекция явно является вынужденной, так как движение воздуха вызвано не его нагревом, а воздействием внешней силы (разрежение от работающего вентилятора), и рекомендованным определяющим соотношением будет $Nu = f(Re, Pr)$ [2].

Энергия, поступающая извне, необходима для поддержания движения воздуха; при этом действуют две силы: силы трения и давления воздуха (разрежение). Влияние этих сил на теплоотдачу жидкости характеризуется безразмерным параметром — критерием Рейнольдса Re . Этот параметр характеризует также режим течения в пограничном слое, который самым непосредственным образом определяет теплоотдачу.

При вынужденном продольном обтекании передней поверхности инструмента координата точки перехода ламинарного течения в турбулентное

определяется из соотношения $X_{кр} = f(Re_{кр})$, где $Re_{кр} = 3 \cdot 10^5$ [2]. Для поверхности протяженностью l и среды с вязкостью ν , движущейся со скоростью w , число Рейнольдса определяют из соотношения $Re = wl/\nu$. В нашем случае ввиду малости характерного размера l (~15 мм) легко видеть, что при разумных скоростях движения воздуха в трубе $Re \ll Re_{кр}$.

В предположении, что плотность теплового потока от обдуваемой поверхности инструмента постоянна, для оценки местной теплоотдачи выберем следующее отношение, полученное на основе использования закона теплообмена и интегрального уравнения теплового пограничного слоя:

$$Nu = 0,469 Re^{0,5} Pr^{0,33},$$

где $Pr = 0,7$ (для воздуха). Тогда усредненный коэффициент теплоотдачи найдется по формуле

$$\alpha = Nu(\lambda/d),$$

где $\lambda = 0,026$ Вт/м·К – коэффициент теплопроводности сухого воздуха при нормальном атмосферном давлении и температуре окружающей среды 20 °С, $d = 0,032$ м – характерный размер (диаметр трубопровода). Полученная расчетная зависимость $\alpha(w)$, изображенная на рис. 2, показывает существенный рост конвективной составляющей теплообмена в зависимости от скорости движения воздуха – в 50–90 раз по сравнению с условиями естественной конвекции ($\alpha \approx 0,05$ Вт/(м²К)).

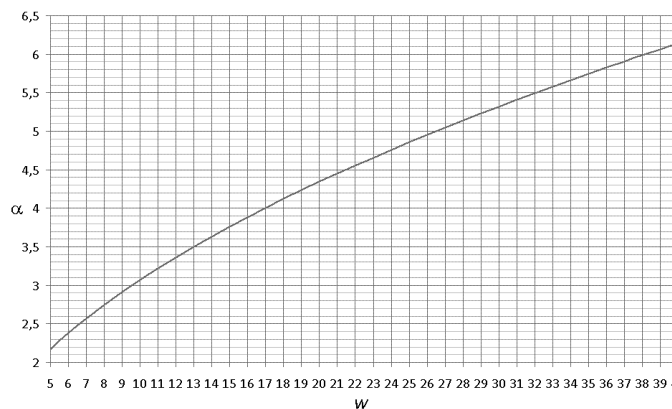


Рис. 2. Изменение коэффициента конвективной теплоотдачи α , Вт/(м²К) в зависимости от скорости w (м/с), воздушного потока в трубе, транспортирующей стружку

Решение задачи о распространении тепла в режущем клине при установившемся процессе теплообмена выполнялось методом конечных элементов в среде ELCUT в двумерной постановке (рис. 3). Рассматривалась модельная задача об обработке некоторого материала резцом с твердосплавной пластиной марки Т15К6 ($\lambda = 27,2$ Вт/м·К) и материалом державки сталь 45 ($\lambda = 40$ Вт/м·К). Принято, что большая часть мощности, затрачиваемой на резание, переходит в теплоту, основные источники тепловыделения

расположены на передней и задней поверхностях инструмента, а также в условной плоскости сдвига.

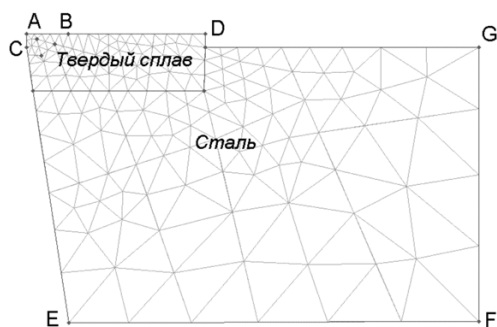


Рис. 3. Конечно-элементная схема решения задачи

В качестве граничных условий на участках AB и AC задавались ориентировочные значения плотности тепловых потоков $q_{AB} = 3 \cdot 10^6$ Вт/м², $q_{AC} = -1,5 \cdot 10^6$ Вт/м², на участке BD – вынужденная конвекция (обдув), участок GF – избыточная температура резцедержателя, на прочих участках границы – условия естественной конвекции. Картина распределения температуры и векторное поле теплового потока изображены на рис. 4. График изменения температуры вдоль передней поверхности инструмента (участок AD) представлен на рис. 5.

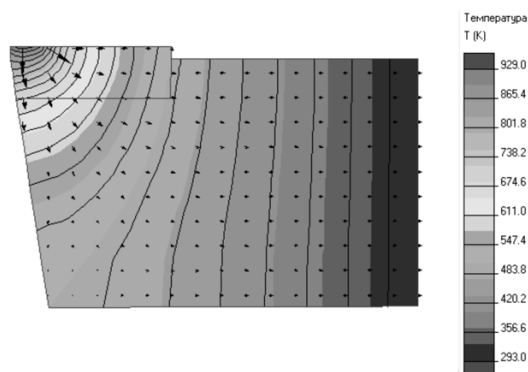


Рис. 4. Распределение температуры и векторное поле теплового потока

Для сравнения результатов была проведена серия вычислительных экспериментов. Получены расчетные данные при значениях скорости воздушного потока от 0 до 40 м/с, которые показали весьма незначительное расхождение величин контролируемых показателей. В частности, по средней температуре передней поверхности различие составило порядка 0,2 %.

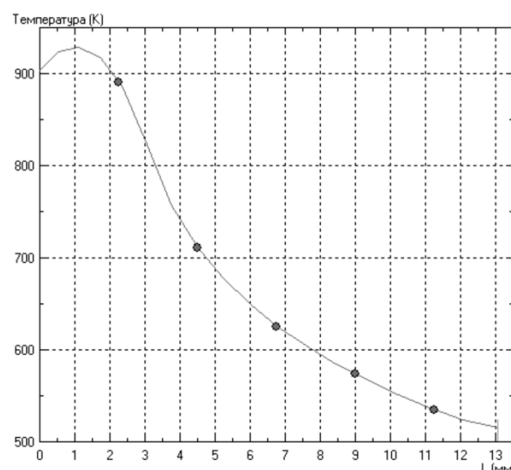


Рис. 5. Изменение температуры вдоль режущей кромки

Таким образом, в результате проведения численного эксперимента установлено, что обдув передней поверхности приводит к значительной интенсификации конвективной составляющей теплообмена (в 20 – 110 раз), однако ее вклад в общий баланс теплоты остается незначительным. Вместе с тем экспериментальные данные [3] показывают заметное падение термоЭДС, на 30...40 %, в зоне резания при использовании удаления стружки пневмотранспортом. Остается сделать вывод, что снижение тепловой напряженности процесса в данном случае достигается в основном за счет ускоренного удаления стружки из зоны резания.

Список литературы

1. Резников А.Н. Тепловые процессы в технологических системах / А.Н. Резников, Л.А. Резников. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.
2. Теплотехника: справочник / под общ. ред. А.П. Баскатова. – М.: Энергоиздат, 1982. – 264 с.
3. Фирсов А.М. Повышение стойкости инструмента при использовании пневмотранспорта для удаления стружки из зоны обработки / А.М. Фирсов, А.Г. Казанцев, Ю.Н. Косицын // Тезисы докладов III Юбилейной научно-практической конференции «Научно-техническое творчество аспирантов и профессорско-преподавательского состава» – Ч. 2. – Бийск: БТИ АлтГТУ, 1995. – С. 62.

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ В ПРОЦЕССАХ ОБДИРОЧНОГО ШЛИФОВАНИЯ

*А.А. КОШИН, доктор техн. наук, профессор,
А.В. СОПЕЛЬЦЕВ, аспирант
(Южно-Уральский государственный университет,
г. Челябинск)*

Статья поступила 28 мая 2010 г.

Сопельцев А.В. – 454080, Челябинск, пр-т им. В. И. Ленина, 76,
Южно-Уральский государственный университет,
e-mail: sopeltsev@yandex.ru

Рассмотрен вопрос расчетного определения обрабатываемости сталей и сплавов в процессах обдирочного шлифования. Проведены расчеты температурных полей и полей самоподогрева детали в процессе шлифования. Получены данные по силам резания при обдирочном шлифовании. Сформированы группы обрабатываемости материалов и введены поправочные коэффициенты на обработку.

Ключевые слова: обрабатываемость материала, температура самоподогрева, интенсивность тепловыделения, сила резания, группы обрабатываемости.

The problem of calculation of the machinability of steels and alloys in the process of roughing grinding is considered. Calculations of temperature fields and self-heating temperature fields of a detail in the process of roughing grinding are carried out. Data on forces of cutting with roughing grinding is obtained. Groups of a machinability of materials are generated and correction factors for processing are entered.

Key words: machinability of the material, temperature self-heating, the intensity of heat, cutting force, a group of workability.

Обдирочное шлифование находит широкое применение при зачистке заготовок в машиностроении, слитков и проката в металлургии. Практически на каждом металлургическом предприятии имеются участки обдирочного шлифования, где производится обработка большой номенклатуры материалов. Выпускается целая гамма оборудования для обдирочного шлифования: М-7400, ВСЗ-151 (ХШ7-02), ХШ7-02Н6, ХШ7-10, Ш7-05, Ш7-06, Ш7-07, ОРА-37, 3304-И, ВСЗ-177, 3А1459, 2А1459, 3304-ЕД, а также специальный абразивный инструмент: 14А125Т1Б, 38А200ЧТБ и др. Однако в справочной литературе [1] нет рекомендаций по назначению режимов резания для обдирочного шлифования. В связи с этим актуальна задача классификации сталей и сплавов по обрабатываемости при обдирочном шлифовании, поскольку группы обрабатываемости составляют основу справочника по режимам резания [2].

Известные теории обрабатываемости материалов в процессах шлифования [2,3] разработаны для чистовых операций. Обдирка существенно отличается от чистового шлифования как по съему металла и интенсивности тепловых процессов, так и по требо-

ваниям к качеству получаемой поверхности (табл. 1). Следовательно, необходима корректировка моделей обрабатываемости к условиям обдирочного шлифования. Модификация возможна по двум направлениям: геометрия зоны шлифования и интенсивность теплового источника.

Первичной характеристикой, необходимой при расчетах, является длина дуги контакта в процессе обдирочного шлифования. При расчете длины дуги контакта шлифовального круга и заготовки для финишных операций шлифования применяются линеаризованные модели [4]. Для обдирочного шлифования использование данных формул некорректно, так как из-за значительной глубины шлифования дуга контакта криволинейна. Поэтому для расчета длины контакта шлифовального круга и заготовки используется зависимость, приведенная в [5], которая учитывает криволинейность дуги контакта. На примере круглой схемы шлифования можно показать, что дуга контакта при обдирке составляет порядка 24 мм, в то время как при чистовом шлифовании она не превышает 1,5 мм.

Расчет количества зерен, приходящихся на 1 мм^2 поверхности круга, производится по формуле

Сравнение параметров финишных операций шлифования с обдиркой

Характеристика	Чистовые операции шлифования	Обдирочное шлифование
Точность обработки	6 квалитет	15 квалитет
Глубина резания, мм	0,015...0,1	До 5 мм
Шероховатость поверхности	Rz 1,3...10	Не контролируется
Качество поверхности	Отсутствие прижогов	Пригодность для дальнейшей механообработки
Исходное состояние заготовки	10...12 квалитет, равномерный припуск без дефектов	Допускается окалина, местные раковины, корка и т.д.

Исакова согласно [6]. С учетом размеров абразивных зерен и структуры круга для обдирочного шлифования имеем величину в $0,108 \text{ шт/мм}^2$ (зернистость 160), тогда как для кругов, применяемых на чистовых операциях, данный показатель находится в районе $0,35...0,59 \text{ шт/мм}^2$ (зернистости 30 и 25 соответственно).

Пересчет интенсивности тепловыделения необходим, так как толщина среза единичным зерном при чистовом шлифовании составляет $0,005 \text{ мм}$, а при обдирочном шлифовании $0,1 \text{ мм}$. Для расчета интенсивности тепловыделения от единичного источника микрорезания q_0 (единичного зерна) используются формулы, разработанные для чистового шлифования [1], с вводом исходных данных, характерных для обдирки. В итоге получаем:

$$q_0 = \frac{Q}{S} \approx 1,79v_k \cdot \sigma_i, \quad (1)$$

где Q – интенсивность источника на всей площади действия; S – площадь действия; v_k – скорость вращения круга. В результате интенсивность тепловыделения при обдирочном шлифовании более чем в 4 раза больше, чем при чистовом шлифовании. Повышенная интенсивность тепловыделения наглядно подтверждена расчетом температурных полей при обдирочном шлифовании.

Модифицированная таким образом теплофизическая модель взята в основу при расчете температурных полей и полей самоподогрева при обдирочном шлифовании для различных материалов. При определении температуры в зоне контакта шлифовального круга и заготовки предлагается зависимость, разработанная на основе теории быстро движущихся источников с учетом боковых оттоков тепла в заготовке, которая позволяет определить суммарное температурное поле от любого количества источников, воздействующих на сечение заготовки за время прохождения им длины зоны контакта:

$$\begin{aligned}
 U(z, t) = & \sum_{i=1}^n q \frac{\sqrt{\chi(t-t_i)}}{\lambda\sqrt{\pi}} \left[\operatorname{erf} \left[\frac{0,5l_{3(i)} + (z-z_i)}{\sqrt{4\chi(t-t_i)}} \right] + \right. \\
 & + \operatorname{erf} \left[\frac{0,5l_{3(i)} - (z-z_i)}{\sqrt{4\chi(t-t_i)}} \right] + \frac{0,5l_{3(i)} + (z-z_i)}{\sqrt{4\pi\chi(t-t_i)}} \times \\
 & \times E_i \left(-\frac{(0,5l_{3(i)} + (z-z_i))^2}{4\chi(t-t_i)} \right) + \frac{0,5l_{3(i)} - (z-z_i)}{\sqrt{4\pi\chi(t-t_i)}} \times \\
 & \left. \times E_i \left(-\frac{(0,5l_{3(i)} - (z-z_i))^2}{4\chi(t-t_i)} \right) \right] H(t-t_i) - \\
 & - \sum_{i=0}^n q(U_1) \frac{\sqrt{\chi(t-t_i-\tau_i)}}{\lambda\sqrt{\pi}} \left[\left\{ \operatorname{erf} \left[\frac{0,5l_{3(i)} + (z-z_i)}{\sqrt{4\chi(t-t_i-\tau_i)}} \right] + \right. \right. \\
 & \left. \left. + \operatorname{erf} \left[\frac{0,5l_{3(i)} - (z-z_i)}{\sqrt{4\chi(t-t_i-\tau_i)}} \right] + \right. \right. \\
 & \left. \left. + \frac{0,5l_{3(i)} + (z-z_i)}{\sqrt{4\pi\chi(t-t_i-\tau_i)}} E_i \left(-\frac{(0,5l_{3(i)} + (z-z_i))^2}{4\chi(t-t_i-\tau_i)} \right) + \right. \right. \\
 & \left. \left. + \frac{0,5l_{3(i)} - (z-z_i)}{\sqrt{4\pi\chi(t-t_i-\tau_i)}} E_i \left(-\frac{(0,5l_{3(i)} - (z-z_i))^2}{4\chi(t-t_i-\tau_i)} \right) \right\} \right] \times \\
 & \times H(t-t_i-\tau_i), \quad (2)
 \end{aligned}$$

где q – интенсивность теплового источника; λ – коэффициент теплопроводности материала; $\operatorname{erf}(x)$ – функция ошибок; E_i – интегральная показательная функция; z – координата источника по оси z ; χ – коэффициент температуропроводности материала; t – рассматриваемый момент времени; τ – время действия теплового источника; $H(x)$ – функция Хевисайда [3].

Кроме этого данная теплофизическая модель учитывает стохастичность процесса шлифования: каждая развертка круга генерируется случайным образом. Качественный анализ проводится по корреляционному полю, полученному наложением всех температурных полей одного материала.

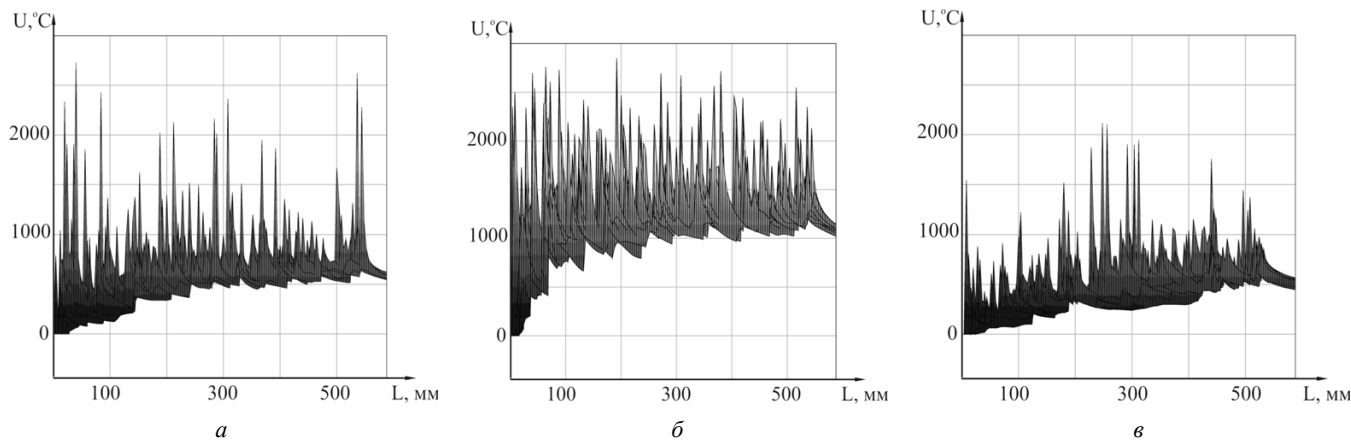


Рис. 1. Вид температурных полей в условиях обдирочного шлифования:

a – сталь 38ХС; б – сталь 11М5Ф-Ш; в – сталь 45

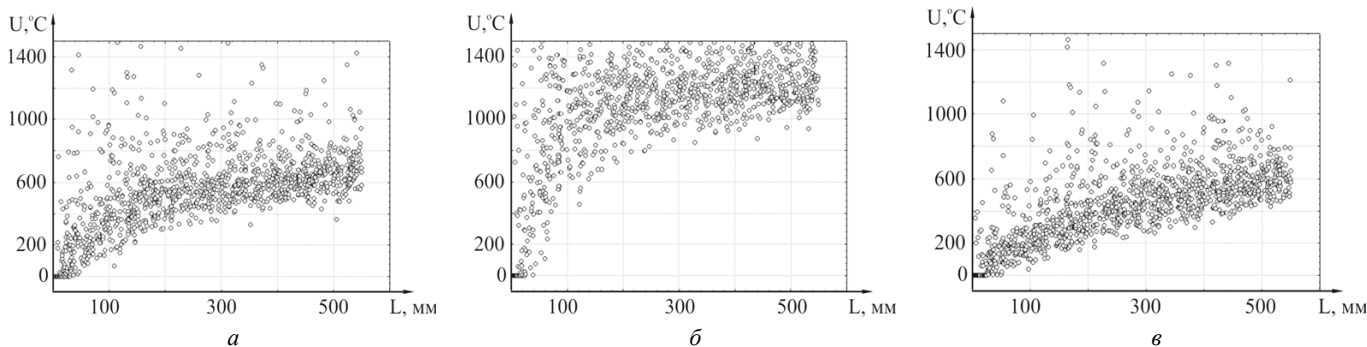


Рис. 2. Поля температур самоподогрева в условиях обдирочного шлифования:

a – сталь 38ХС; б – сталь 11М5Ф-Ш; в – сталь 45

Используя данные расчета и системы графического отображения данных, формируют графики температурных полей, характерных для обдирочного шлифования для имеющейся номенклатуры материалов, а именно 42 марок сталей. Пример типовых графиков приведен на рис. 1. При расчетах температурных полей использовалась программа TEMPERATURA [3], в частности, ее модуль RANDTEST, отвечающий за расчет температуры.

Далее производится расчет и построение графиков температур самоподогрева. Данные графики получают выборкой значений температуры перед каждым зерном на развертке шлифовального круга из всего температурного поля, полученного для каждого материала. На рис. 2 приведен пример полей температур самоподогрева.

Для расчета сил резания применялась программа ZERNO, в частности, ее модуль RANDTEST, отвечающий за расчет сил резания. Данный модуль также был адаптирован к условиям обдирочного шлифования. При определении сил резания от действия единичного зерна использовалась следующая зависимость:

$$P_{yi} = P_{yS} + P_{yTP} = \left(\frac{\sqrt{3,25} \cdot \text{asin}\beta}{\sqrt{3}\text{sin}\beta_1} + \frac{0,5}{\sqrt{3}} I_3 \right) \sigma_i(\epsilon_i, U) \quad (3)$$

Для определения силы резания на пятне контакта необходимо суммировать силы резания от единичных зерен, находящихся в это время в зоне контакта:

$$P_y = \sum_{i=1}^n P_{yi} \quad (4)$$

Результаты расчета по силам резания для 42 марок сталей представлены на рис. 3.

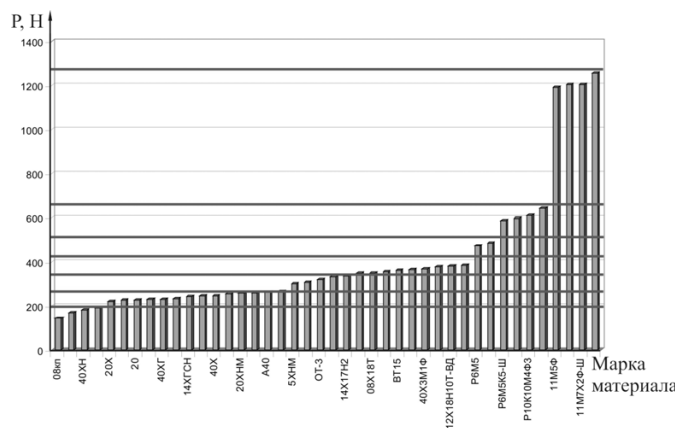


Рис. 3. Диапазон марок сталей, упорядоченный по принятому критерию с наложением равнооточного ряда

Группы обрабатываемости материалов

Группа обрабатываемости	Марка стали	K , поправочный коэффициент
1	08кп, 05кп, 40ХН, 45	1
2	20Х, 20, 45Г, 30ХМА, 40ХГ, 20Г, 38ХМ, 14ХГСН, 40Х	0,7
3	40ХФ, 20ХНМ, 38ХС, А40, 15ХМ, 5ХНМ, ШХ15, ОТ-3	0,49
4	17ХГСА, 14Х17Н2, 60СГ2, 08Х18Т, 110Х18-ШД, ВТ15, У8А, 40Х3М1Ф, 20Х13, 12Х18Н10Т-ВД, 20ХГНР	0,34
5	ХН75МБТЮ-ВД	0,24
6	Р6М5, Р6М5К5-Ш, Р6М5Ф3-МП, Р10К10М4Ф3, Р6М5Ф3-Ш, 11М5Ф, 11М5Ф-Ш, 11М7Х2Ф-Ш, S412	$\leq 0,24$

Важнейшим вопросом исследования обрабатываемости материалов является критерий для ее оценки. В работе С.Н. Корчака [2] предложена модель, позволяющая расчетным путем определить обрабатываемость материалов шлифованием, где в качестве критерия оценки выступает относительная толщина среза a , приходящаяся на 1 мм режущей кромки шлифовального круга:

$$a = 1,445 \frac{P_y}{\sigma_i(\dot{\epsilon}_i, U)} - 0,416 l_3. \quad (5)$$

Для обдирочного шлифования управление режимами резания идет через усилие прижима шлифовального круга к заготовке. В связи с этим целесообразно принять в качестве критерия обрабатываемости радиальную составляющую силы резания. Для разделения материалов по группам обрабатываемости предлагается использовать концепцию равнооточных рядов [7], согласно которой для 30 % равнооточного ряда получено шесть групп материалов. Диапазон материалов с соответствующими силами резания и с наложением равнооточного ряда представлен на рис. 3. Полученные группы обрабатываемости сведены в табл. 2.

В итоге на основе модифицированной теплофизической модели процесса шлифования [3] получена расчетная оценка обрабатываемости сталей и сплавов в условиях обдирочного шлифования, составляющая основу классификации материалов по группам обрабатываемости. Сформировано шесть групп об-

рабатываемости и для каждой группы определен поправочный коэффициент на обработку относительно базового материала – стали 45.

Список литературы

1. *Общемашиностроительные* нормативы режимов резания на работы, выполняемые на металлорежущих станках. Ч. 3. Протяжные, шлифовальные и доводочные станки. – М.: НИИтруда, 1978. – С.105–360.
2. *Корчак С.Н.* Производительность процесса шлифования стальных деталей / С.Н. Корчак. – М.: Машиностроение, 1974. – 280 с.
3. *Дьяконов А.А.* Оценка обрабатываемости материалов в процессах шлифования: дисс. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Южно-Уральский государственный университет. – Челябинск, 2006. – 266 с.
4. *Маслов Е.Н.* Теория шлифования материалов / Е.Н. Маслов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.
5. *Кошин А.А., Сопельцев А.В.* Геометрия зоны шлифования и механика резания при обдирочном шлифовании // *Прогрессивные технологии в машиностроении: сб. науч. тр.* – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 239 с.
6. *Исаков Д.В.* Проектирование производительных шлифовальных операций на основе расчетного определения эксплуатационных свойств шлифовальных кругов: дисс. ... канд. техн. наук / Д.В. Исаков. – Челябинск, 1984. – 205 с.
7. *Чаплыгин Б.А., Буторин Г.И., Кошин А.А.* Концепция и задачи нормативов режимов резания для условий современного машиностроительного производства // *Инструмент и технология.* – 2003. – № 9–10. – С. 62–73.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБЪЕДИНЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАКАЛКИ И ШЛИФОВАНИЯ НА ОДНОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ¹

*В.В. ИВАНЦИВСКИЙ, канд. техн. наук, доцент,
В.Ю. СКИБА, канд. техн. наук, доцент
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Статья поступила 6 октября 2010 г.

Скиба В.Ю. – 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: skeeba_vadim@mail.ru

Представлена финишная стадия технологического процесса изготовления подшипника ткацкого станка фирмы *SULZER RUTI*. На основе проведенных расчетов межоперационных припусков, производительности и энергозатрат доказана высокая эффективность использования новой интегрированной обработки.

Ключевые слова: интегральная обработка, абразивное шлифование, поверхностная закалка ТВЧ, припуск на обработку.

The finishing stage of technological process of manufacturing of the bearing of a weaving loom of firm *SULZER RUTI* is presented. On the basis of the made calculations of interoperation allowances, productivity and power inputs high efficiency of use of the new integrated processing is proved.

Key words: integral treatment, abrasive grinding, induction surface hardening, machining allowance.

На современном этапе развития обработки материалов резанием все большее распространение получают способы концентрации разнородных технологических операций на одном оборудовании, что позволяет существенно повысить производительность и снизить энергозатраты при обработке деталей машин.

Объектом настоящих исследований является финишная стадия технологических процессов, содержащих операции поверхностной закалки ТВЧ и абразивного шлифования стальных жестких деталей.

В технологическом процессе изготовления деталей машин данные операции традиционно разделены. При этом с учетом погрешностей, возникающих на предыдущей стадии технологического процесса, деформации материала при термическом упрочнении и погрешностей установки деталей припуск на чистовую обработку приходится оставлять достаточно большим. Следовательно, на термической операции необходимо обеспечивать большую, чем заданную чертежом, глубину упрочнения, а затем на финишной механической операции удалять наиболее эффективную часть поверхностного слоя.

При шлифовании стальных закаленных деталей одним из главных ограничений интенсивности съема металла является высокая теплонапряженность процесса, приводящая к образованию дефектов (прижог и остаточные растягивающие напряжения), вероятность появления которых возрастает с увеличением припуска на данную операцию.

Наиболее простым и надежным средством снижения теплонапряженности процесса шлифования является уменьшение глубины резания за счет снижения в целом припуска на окончательную обработку. При этом достижение максимального эффекта возможно при использовании интегрированной обработки, объединяющей операции поверхностной термической и финишной механической на одном технологическом оборудовании [1, 2].

Цель работы – показать эффективность объединения операций поверхностной закалки ТВЧ и шлифования на одном технологическом оборудовании.

Достижение поставленной цели рассмотрим на примере финишной стадии технологического процесса обработки подшипника ткацкого станка фирмы *SULZER RUTI* (рис. 1), построенного по двум

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 – 2013 годы», мероприятие 1.3.1. (проект П1189)

различным схемам: по заводской технологии и с использованием предлагаемой интегрированной обработки.

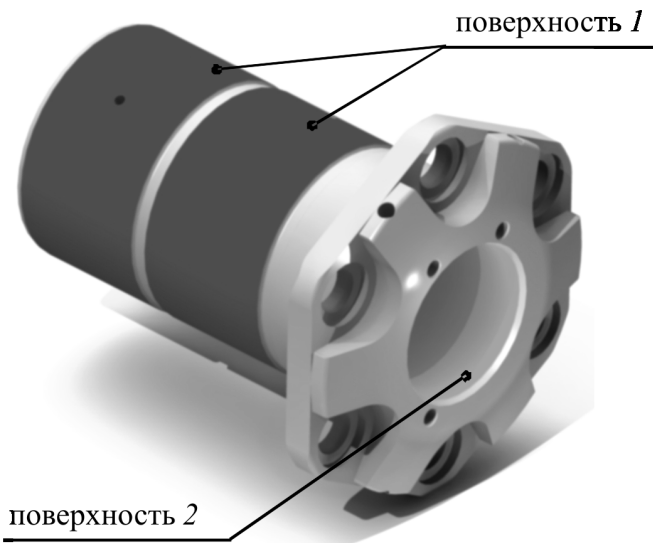


Рис. 1. Модель подшипника ткацкого станка ZULZER RUTI

Финишная стадия заводского технологического процесса изготовления этой детали предусматривает следующие операции: токарная, закалка ТВЧ и шлифование (табл. 1). По условиям чертежа наружная цилиндрическая поверхность 1 должна иметь закаленный слой глубиной 0,8...1,2 мм твердостью 60+4 HRC. Требуется определить: размер D_1 , допуск на который задан; технологическую глубину закали ТВЧ A_T и допуск на нее δ_T ; минимальный припуск на окончательную обработку z_{\min} .

Решение этой задачи осуществлялось по методике, представленной в работе [3], согласно которой

$D_1 = D_{i-1}$ и $\delta_{i-1} = 0,12$ мм, $A_K = 0,8...1,2 = 0,8^{+0,4}$ мм, допуск замыкающего звена $\delta_K = 0,4$ мм.

1. Для определения допустимого колебания глубины резания δ_i необходимо знать величину допуска на глубину закали ТВЧ δ_T , который, как правило, определяется на основе экспериментальных данных. Закалка ТВЧ проводится со стабилизацией подводимой мощности. В этом случае основным критерием, определяющим изменение глубины упрочненного слоя, является постоянство зазора между индуктором и нагреваемой поверхностью.

Т а б л и ц а 1

Исходные данные для расчета припусков и операционных размеров на обработку закаливаемой поверхности

Номер операции	Эскиз	Содержание операции технические требования на ее выполнение
24		Точение поверхности 1. Эллиптичность в пределах допуска на диаметр D_1 , который подлежит определению
27		Закалка ТВЧ поверхности 1 на глубину A_T . Твердость закаленной поверхности HRC 60...64. Увеличение диаметра D_1 вследствие разбухания 8...10 мкм на каждый миллиметр толщины закаленного слоя
30		Окончательное шлифование поверхности 1

По заводской технологии деталь базируется по поверхности 2 на жесткую оправку, устанавливаемую в центрах. Закалка осуществляется непрерывно-последовательным способом с использованием кольцевого индуктора $D_{и}^{+0,87}$ (рис. 2). Технологический зазор между индуктором и деталью – 3 мм. В этом случае изменение зазора обусловлено смещением центра вращения детали, которое определяется погрешностью формы индуктора и погрешностью установки детали.

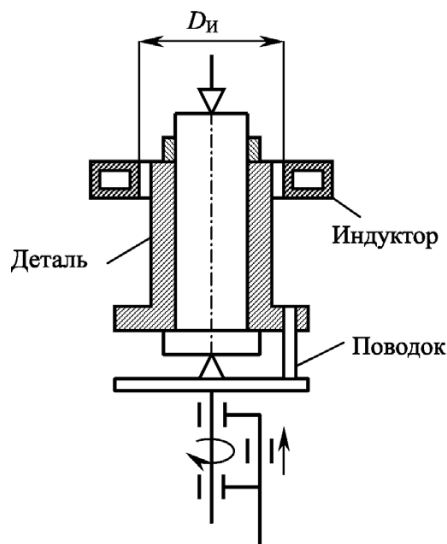


Рис. 2. Схема закалки детали ТВЧ по заводской технологии

Для получения симметричного по окружности слоя применяют вращение детали. По экспериментальным данным было установлено, что для данных условий закалки ТВЧ при условии выверки индуктора относительно оси центров – $\delta_T = 0,1$ мм. В этом случае имеем $\delta_i = 0,4 - 0,1 = 0,3$ мм.

2. Определяем допустимое значение суммарного пространственного отклонения $\sum \delta_{ei}$ с учетом операционных допусков на несоосность δ_{ei} , последовательности операций, способов базирования и установки.

По данным работы [4] для стали 60 увеличение удельного объема закаливаемой поверхности составляет 0,5 %. При поверхностной закалке, когда направления свободного расширения ограничены, можно ожидать увеличение диаметра на 8...10 мкм на каждый миллиметр толщины закаленного слоя. В нашем случае глубина закалки по заводской технологии составляет 1,25...1,35 мм, следовательно, величина $A_p = 0,01...0,0135$ мм, $\delta_p = 0,0035$ мм. Исходя из этого можно определить величину допуска δ'_{i-1} :

$$\delta'_{i-1} = \delta_{i-1} + \delta_p = 0,12 + 0,0035 = 0,1235 \text{ мм.}$$

В этом случае, $2\delta_{e\Delta} = \delta_i - \frac{\delta_i + \delta'_{i-1}}{2} =$
 $= 0,3 - \frac{0,015 + 0,1235}{2} = 0,23075 \text{ мм.}$

3. Определим возможное значение пространственных отклонений $\sum \delta_{ei}$ с учетом операционных допусков δ_{ei} на несоосность, последовательности операций, способов базирования и установки.

На финишных операциях 27 и 30 заводской технологией предусматривается комплект из трех жестких оправок, что позволяет разбить допуск поверхности 2 на три диапазона. В этом случае погрешность базирования детали на жесткую оправку

$$\epsilon_{B1} = \delta_0 + \delta_1 + \delta_2 = 0,03 + 0,1 + 0,03 = 0,16 \text{ мм,}$$

где δ_0 – минимальный зазор, δ_1, δ_2 – допуски отверстия и оправки, мм.

Погрешность базирования оправки в центрах $\epsilon_{B2} = 0,02$ мм. Погрешность закрепления детали и оправки $\epsilon_3 = 0,03$ мм. Общая погрешность установки детали

$$\epsilon_y = \epsilon_{B1} + \epsilon_{B2} + \epsilon_3 = 0,16 + 0,02 + 0,03 = 0,21 \text{ мм.}$$

Кроме погрешности установки на значение суммарного пространственного отклонения оказывает влияние величина деформации $\delta_{и}$ (изогнутость, коробление) полого цилиндра после поверхностной закалки, которая возникает из-за неравномерности глубины закаленного слоя и зависит от толщины стенки, соотношения толщины стенки и диаметра цилиндра, от относительной глубины закаленного слоя. Закалка наружной поверхности приводит к появлению «бочки». Для данного случая величина $\delta_{и} = 0,014$ мм. Тогда $2\sum \delta_{ei} = \epsilon_y + \delta_{и} = 0,21 + 0,014 = 0,224$ мм. В данном случае условие $\sum \delta_{ei} \leq \delta_{e\Delta}$ выполняется.

4. Определяем искомый размер – технологическую глубину A_T термоупрочненного слоя. Предельные значения замыкающего размера

$$A_{Kmax} = A_{Tmax} - t_{min} \text{ и } A_{Kmin} = A_{Tmin} - t_{max} \quad (1)$$

Качественная окончательная обработка поверхности после термоупрочнения возможна при условии

$$t_{min} \geq (R_z - T)_{i-1}, \text{ где } R_z, T - \text{ шероховатость поверхности и глубина дефектного слоя на предшествующей обработке.}$$

Такое минимальное значение припуска должно обеспечиваться и при неблагоприятном сочетании значений параметров, влияющих на его величину: при D_{i-1max} и D_{i-1min} .

На операции 24 осуществляется полуступенчатое точение $R_z = 0,06$ мм, $T_{i-1} = 0,06$ мм. Следовательно, $t_{min} = 0,06 + 0,06 = 0,12$ мм, а $t_{max} = t_{min} + \delta_i = 0,12 + 0,3 = 0,42$ мм.

Решая уравнения (1) относительно искомого размера, получим

$$A_{Tmax} = A_{Kmax} + t_{min} = 1,2 + 0,12 = 1,32 \text{ мм;}$$

$$A_{Tmin} = A_{Kmin} + t_{max} = 0,8 + 0,42 = 1,22 \text{ мм.}$$

5. Определим припуск на окончательную обработку по уравнению

$$z_{imin} = 2(R_z + T)_{i-1} + 2\sum \delta_{ei} = 2 \cdot 0,12 + 0,224 = 0,464 \text{ мм.}$$

6. В этом случае размер предварительной обработки поверхности l с учетом разбухания будет равен $D_{i-1} = D_i + z_{\min} + \delta_{i-1} - A_{\text{Pmin}}$, тогда $D_1 = 85 + 0,464 + 0,12 - 0,00976 = 85,57424$ мм. По заводской технологии D_1 принят равным 85,6 мм.

Таким образом, искомые параметры: технологическая глубина закалки $A_T = 1,22^{+0,1}$ мм; размер предварительной обработки $D_1 = 85,6_{-0,12}$ мм; припуск на окончательную обработку $z_{\min} = 0,464$ мм. При этом следует отметить, что 10 % деталей бракуются по наличию прижогов и микротрещин на поверхности (по данным завода).

Для обеспечения данной глубины упрочненного слоя при использовании генератора с частотой 440 кГц необходимо реализовать поверхностную схему нагрева, которая характеризуется более низкими значениями удельной мощности и скорости движения источника нагрева по отношению к объемной схеме. При ширине активного провода индуктора $R_{\text{и}} = 12$ мм – $q_{\text{и}} = 1,2 \cdot 10^7$ Вт/м², $V_{\text{и}} = 2$ мм/с.

На детали необходимо закалить два участка общей длиной 103 мм. Оба участка обрабатываются за одно осевое перемещение детали относительно кольцевого индуктора. Общая длина хода детали с учетом наличия канавки шириной 6 мм и захода и выхода индуктора при непрерывно-последовательной схеме нагрева составляет $l = 125$ мм. В этом случае основное время составляет $T_o = l/V_{\text{и}} = 62,5$ с, при этом согласно общемашиностроительным нормам на термическую обработку на установках ТВЧ при указанном способе базирования детали (рис. 2) вспомогательное время $T_{\text{всп}} = 20$ с. Таким образом, штучная производительность равна

$$P_{\text{шт}} = \frac{1}{T_o + T_{\text{всп}}} = \frac{1}{62,5 + 20} = 0,0121 \text{ с}^{-1},$$

а энергозатраты

$$\begin{aligned} \Theta &= \frac{q_{\text{и}} \pi D_1 R_{\text{и}} l}{V_{\text{и}}} = \\ &= \frac{1,2 \cdot 10^7 \cdot \pi \cdot 0,0856 \cdot 0,012 \cdot 0,125}{0,002} \approx 0,68 \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \end{aligned}$$

Финишная механическая операция осуществляется по схеме врезного шлифования. При этом цикл обработки разбит на три этапа: предварительное шлифование, окончательное и выхаживание. В связи с тем что обрабатывается упрочненная поверхность и во избежание изменения свойств поверхностного слоя, шлифование осуществляется на «мягких» режимах.

При установке на жесткую оправку и работе в центрах вспомогательное время составляет $T_{\text{всп}} = 90$ с.

Предварительное шлифование осуществляется на режимах: величина снимаемого припуска $t = 0,2$ мм, скорость заготовки $V_3 = 30$ м/мин ($n_3 \approx 110$ об/мин), радиальная подача $S_p = 0,004$ мм/об, при этом основное время обработки составляет $\tau_{10} = 60 \cdot 0,2 / (110 \cdot 0,004) = 27,27$ с.

Окончательное шлифование – $t = 0,1$ мм, $V_3 = 30$ м/мин, $S_p = 0,001$ мм/об, при этом основное время обработки составляет $\tau_{20} = 60 \cdot 0,1 / (110 \cdot 0,001) = 54,55$ с. Время выхаживания – $\tau_{30} = 10$ с.

Общее основное время обработки τ_o будет равно:

$$\begin{aligned} \tau_o &= \tau_{10} + \tau_{20} + \tau_{30} = \\ &= 27,27 + 54,55 + 10 = 91,82 \text{ с}, \end{aligned}$$

Таким образом, штучная производительность равна

$$P_{\text{шт}} = \frac{1}{\tau_o + T_{\text{всп}}} = \frac{1}{91,82 + 90} = 0,0055 \text{ с}^{-1}.$$

Расчет эффективной мощности при врезном шлифовании периферией круга осуществляем по зависимости

$$N = C_N V_3^r S_p^y d^q b^z, \quad (2)$$

где $C_N = 0,14$, $r = 0,8$, $y = 0,8$, $q = 0,2$, $z = 1,0$, d – диаметр заготовки, $b = 52$ мм – ширина шлифования. Согласно зависимости (2) эффективная мощность предварительного шлифования

$N_1 = 0,14 \cdot 30^{0,8} \cdot 0,004^{0,8} \cdot 85,6^{0,2} \cdot 52 = 3,25$ кВт · ч, окончательного шлифования

$$N_2 = 0,14 \cdot 30^{0,8} \cdot 0,001^{0,8} \cdot 85,2^{0,2} \cdot 52 = 1,07 \text{ кВт}.$$

Эффективной мощностью, затрачиваемой на процесс выхаживания из-за малости ее значения можно пренебречь. Тогда энергозатраты на операции шлифования будут равны

$$\begin{aligned} \Theta &= N_1 \tau_{10} + N_2 \tau_{20} = \\ &= 3,25 \cdot 27,27 + 1,07 \cdot 54,55 \approx 0,04 \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \end{aligned}$$

а при обработке двух участков – $\Theta = 0,08$ кВт · ч. При этом следует отметить, что в процессе предварительного шлифования согласно расчетам средняя температура на поверхности в зоне обработки составляет 435 °С [5].

Финишная стадия с использованием предлагаемой интегрированной обработки. В данном случае три финишные операции заменяются одной интегрированной, состоящей из трех переходов: чистовое шлифование, закалка ВЭН ТВЧ и окончательное шлифование (выхаживание) (табл. 2).

Исходные данные для расчета припусков и операционных размеров на обработку закаливаемой поверхности с использованием интегрированной обработки

Номер перехода	Эскиз	Содержание операции и технические требования на ее выполнение
1		Шлифование поверхности. Эллиптичность в пределах допуска на диаметр D_1 , который подлежит определению
2		Закалка ТВЧ поверхности 1 на глубину A_T . Твердость закаленной поверхности HRC 60...64. Увеличение диаметра D_1 вследствие разбухания 8...10 мкм на каждый миллиметр толщины закаленного слоя
3		Окончательное шлифование поверхности 1

1. Закалка ВЭН ТВЧ осуществляется по схеме (рис. 3). В этом случае неравномерность закаленного слоя по глубине определяется точностью изготовления активного провода индуктора и его положением относительно оси обрабатываемого изделия. На основании экспериментальных результатов и с использованием выверки активного провода индуктора по индикатору $\delta_T = 0,05$ мм. Следовательно, $\delta_i = \delta_K - \delta_T = 0,4 - 0,05 = 0,395$ мм.

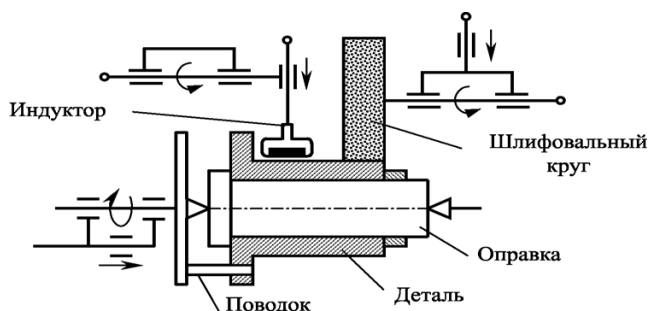


Рис. 3. Схема комбинированной обработки детали

2. Глубина закалки 0,8...1,2 мм, следовательно, величина $A_p = 0,0065...0,012$ мм, $\delta_p = 0,0055$ мм. Таким образом,

$$\delta'_{i-1} = \delta_{i-1} + \delta_p = 0,015 + 0,0055 = 0,0205 \text{ мм.}$$

Тогда допустимое значение суммарного пространственного отклонения будет равно $2\delta_{e\Delta} = \delta_i - \frac{\delta_i + \delta'_{i-1}}{2} = 0,395 - \frac{0,015 + 0,0205}{2} = 0,36975$ мм.

3. Предлагаемая финишная стадия технологического процесса осуществляется без переустановки заготовки, поэтому, несмотря на то что используется та же оснастка, погрешность установки $\epsilon_y = 0$. Первый переход – шлифование поверхности позволяет устранить погрешности, возникшие на предшествующей стадии технологического процесса и погрешности установки детали. Это, в свою очередь, обеспечивает постоянство зазора между индуктором и обрабатываемой поверхностью, а следовательно, и равномерность глубины закаленного слоя. В этом случае величина коробления после поверхностной закалки $\delta_{и} = 0$. Тогда $2\sum\delta_{ei} = 0$.

Реальное значение величины δ_i равно

$$\delta_i = \sum\delta_{ei} + \frac{\delta_i + \delta'_{i-1}}{2} = 0 + \frac{0,015 + 0,0205}{2} = 0,01775 \text{ мм.}$$

4. Финишное шлифование осуществляется после закалки, следовательно, $T_{i-1} = 0$. В связи с тем что поверхностная закалка осуществляется без изменения шероховатости поверхности, а механическая обработка ведется одним шлифовальным кругом, достижение заданной чертежом шероховатости поверхности $R_a = 0,8$ мкм предполагается за счет использования процесса выхаживания. На основании этого величина $R_z = 0$, следовательно, $t_{\min} = 0$, $t_{\max} = t_{\min} + \delta_i = 0 + 0,01775 = 0,01775 \approx 0,018$ мм.

Решая уравнения (1) относительно искомого размера, получим

$$A_{T_{\max}} = A_{K_{\max}} + t_{\min} = 1,2 + 0 = 1,2 \text{ мм};$$

$$A_{T_{\min}} = A_{K_{\min}} + t_{\max} = 0,8 + 0,018 = 0,818 \text{ мм}.$$

5. Определим припуск на окончательную обработку по уравнению

$$z_{i_{\min}} = 2(R_z + T)_{i-1} + 2\sum\delta_{ei} = 0.$$

6. В этом случае размер предварительной обработки поверхности l с учетом разбухания будет равен

$$D_{i-1} = D_i + z_{i_{\min}} + \delta_{i-1} - A_{p_{\min}} = 85 + 0 + 0,015 - 0,0065 = 85,0085 \text{ мм}.$$

Таким образом, искомые параметры: технологическая глубина закалки $A_T = 0,82^{+0,38}$ мм; размер пред-

варительной обработки $D_1 = 85_{-0,018}^{-0,003}$ мм; припуск на окончательную обработку $z_{\min} = 0$.

По предлагаемой схеме обработки первым переходом является предварительное шлифование детали

в размер $D = 85_{-0,018}^{-0,003}$ мм. При этом цикл обработки

разбит на два этапа: предварительное шлифование и чистовое шлифование. В связи с тем что производится обработка сырого (незакаленного) материала, шлифование осуществляется на более «жестких» режимах по отношению к заводской технологии.

Предварительное шлифование выполняется в режимах: величина снимаемого припуска $t = 0,29$ мм, скорость заготовки $V_3 = 25$ м/мин ($n_3 \approx 95$ об/мин), радиальная подача $S_p = 0,015$ мм/об, при этом основное время обработки составляет $\tau_{10} = 60 \cdot 0,29 / (95 \cdot 0,015) = 12,2$ с.

Чистовое шлифование: $t = 0,01$ мм, $V_3 = 25$ м/мин, $S_p = 0,001$ мм/об, при этом основное время обработки составляет $\tau_{20} = 60 \cdot 0,01 / (95 \cdot 0,001) = 6,3$ с.

Окончательное шлифование осуществляется после поверхностной закалки без переустановки детали. В этом случае припуск на окончательное шлифование формируется за счет увеличения удельного объема закаливаемой поверхности, возникающего в процессе структурно-фазовых превращений в стали. При поверхностной закалке на глубину 0,82 мм следует ожидать величину снимаемого припуска порядка $t = 7$ мкм. В этом случае цикл шлифования осуществляется по схеме: окончательное шлифование, выхаживание. Режимы окончательного шлифования те же, что и при чистовом шлифовании, предшествующем переходу поверхностной закалки: $t = 0,01$ мм, $V_3 = 25$ м/мин, $S_p = 0,001$ мм/об. Следовательно, основное время обработки $\tau_{30} = 6,3$ с.

Процесс выхаживания по предлагаемой схеме обработки направлен не столько для устранения

упругих деформации, сколько для повышения поверхностной твердости и сжимающих остаточных напряжений в поверхностном слое материала [6]. В данном случае время выхаживания в ущерб производительности увеличим до $\tau_{30} = 25$ с, что позволит увеличить уровень остаточных сжимающих напряжений на 12 %.

Суммарное основное время двух переходов шлифования составит

$$\tau_0 = \tau_{10} + 2\tau_{20} + \tau_{30} = 12,2 + 12,6 + 25 = 49,8 \text{ с}.$$

Таким образом, штучная производительность равна

$$P_{\text{шт}} = \frac{1}{\tau_0 + T_{\text{всп}}} = \frac{1}{34,8 + 90} = 0,007 \text{ с}^{-1}.$$

Согласно зависимости (2) эффективная мощность предварительного шлифования $N_1 = 8$ кВт, чистового и окончательного шлифования $N_2 = 0,93$ кВт. При этом время на окончательное шлифование при снятии припуска 7 мкм составляет $\tau_{30} = 4,42$ с. Тогда энергозатраты на операции шлифования с учетом обработки двух участков будут равны

$$\begin{aligned} \Theta &= 2(N_1\tau_{10} + N_2\tau_{20} + N_2\tau_{30}) = \\ &= 16 \cdot 12,2 + 1,86 \cdot 6,3 + 1,86 \cdot 4,42 \approx 0,06 \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \end{aligned}$$

В данном случае в процессе предварительного шлифования согласно проведенным расчетам средняя температура на поверхности в зоне обработки составляет 640 °С [5]. Это при шлифовке сырого материала может привести лишь к возникновению значительных растягивающих напряжений в поверхностном слое материала. Однако в процессе последующего перехода термоупрочнения эти напряжения устраняются при нагреве материала под закалку и не оказывают влияния на окончательное состояние материала.

Поверхностная закалка осуществляется между двумя переходами шлифования, т. е. обработка каждой упрочняемой цилиндрической поверхности выполняется отдельно. Для назначения режимов поверхностной закалки стали 60 воспользуемся разработанной методикой [7, 8]. Для обеспечения глубины упрочненного слоя $h = 0,82$ мм принимаем значение удельной мощности нагрева $q_{\text{н}} = 2,6 \cdot 10^8$ Вт/м², скорость движения источника $V_{\text{н}} = 55$ мм/с. Поскольку закалка осуществляется за один установ детали, то $T_{\text{всп}} = 0$ с. В этом случае штучная производительность обработки будет равна технологической производительности. С учетом того что термоупрочнению подвергаются два участка на детали, $P_{\text{шт}}$ составляет

$$P_{\text{шт}} = V_{\text{н}} / (2\pi D) = 55 / (2\pi \cdot 85) = 0,103 \text{ с}^{-1},$$

а энергозатраты

$$\Theta = \frac{2q_{\text{и}} b R_{\text{и}} \pi D}{V_{\text{и}}} =$$

$$= \frac{5,2 \cdot 10^8 \cdot 0,052 \cdot 0,002 \cdot \pi \cdot 0,085}{0,055} \approx 0,073 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

На основании изложенного можно отметить, что предлагаемая обработка данной детали по отношению к заводской технологии позволяет уменьшить минимальную технологическую глубину закалки с 1,22 мм до 0,82 мм, т. е. практически в 1,5 раза со всеми вытекающими из этого преимуществами:

- повысить производительность поверхностной закалки в 8,5 раза и снизить энергозатраты в 9,3 раза;
- повысить производительность шлифования в 1,27 раза и снизить энергозатраты в 1,3 раза;
- исключить возможность появления брака при финишном шлифовании;
- повысить эксплуатационные свойства.

Если сравнивать данные показатели в целом по финишной стадии технологического процесса, то производительность по основному времени обработки возрастет в 3,5 раза, а энергозатраты снизятся в 5,7 раза.

Список литературы

1. *Иванцовский В.В.* Технологическое обеспечение качества поверхностного слоя деталей машин при интеграции поверхностной термической и финишной механической об-

работки / В.В. Иванцовский, Х.М. Рахимьянов // Упрочняющие технологии и покрытия – 2005. – № 6. – С. 43 – 46.

2. *Иванцовский В.В.* Назначение режимов закалки с использованием концентрированных источников нагрева / В.В. Иванцовский, В.Ю. Скиба, Н.П. Степанова // Обработка металлов – 2005. – № 3 (28). – С. 22–24.

3. *Иващенко И.А.* Технологические размерные расчеты и способы их автоматизации / И.А. Иващенко. – М.: Машиностроение, 1975. – 222 с.

4. *Головин Г.Ф.* Высокочастотная термическая обработка: Вопросы металловедения и технологии / Г.Ф. Головин, М.М. Замятнин. – Л.: Машиностроение, 1990. – 239 с.

5. *Скиба В.Ю.* Моделирование тепловых полей в материале при абразивном шлифовании углеродистой стали в конечно-элементном комплексе SYSWELD / В.Ю. Скиба, В.В. Иванцовский, Н.П. Зуб, С.В. Туревич // Прогрессивные технологии в современном машиностроении: Материалы VI Международной научно-технической конференции. – Пенза: Изд-во «Приволжский Дом знаний», 2010. – С. 50–53.

6. *Иванцовский В.В.* Повышение поверхностной микротвердости стали при интеграции поверхностно-термической и финишной механической обработок / В.В. Иванцовский, В.Ю. Скиба // Научный вестник НГТУ. – 2006. – № 3(24). – С. 187–192.

7. *Скиба В.Ю.* Обеспечение требуемого характера распределения остаточных напряжений при упрочнении высокоэнергетическим нагревом токами высокой частоты / В.Ю. Скиба // Обработка металлов – 2007. – № 2 (35). – С. 25–27.

8. *Иванцовский В. В.* Методика назначения режимов обработки, обеспечивающих рациональное распределение остаточных напряжений при поверхностной закалке ВЭН ТВЧ / В.В. Иванцовский, В.Ю. Скиба, Н.П. Зуб // Научный вестник НГТУ – 2008. – № 3(32). – С. 83–94.

РАЗМЕРНАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ С ПОКРЫТИЯМИ ИЗ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ¹

*Х.М. РАХИМЯНОВ, доктор техн. наук, профессор,
В.В. ЯНПОЛЬСКИЙ, канд. техн. наук,
А.Н. МОЙСЕЕНКО, магистрант
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Статья поступила 1 ноября 2010 г.

Рахимьянов Х.М. – 630092, Новосибирск,
Новосибирский государственный технический университет, пр. К. Маркса, 20,
e-mail: tms-ngtu@mail.ru

Произведен расчет величины минимального общего припуска на механическую обработку покрытия из нанопорошкового материала ВК25 на основе решения технологической размерной цепи. Путем экспериментальных исследований доказана перспективность применения процесса электроалмазного шлифования для обработки деталей с покрытиями из нанопорошковых материалов, обладающих высокой твердостью, в условиях минимального припуска с обеспечением требуемых показателей качества поверхностного слоя и высокой производительности процесса формообразования.

Ключевые слова: покрытия, детонационное напыление, электроалмазное шлифование, шероховатость, размерная цепь, электрохимическое растворение.

Calculation of the minimum general allowance on machining of a coating nano powder material ВК25 on the basis of the decision of a technological dimensional chain is made. On the basis of experimental researches perspective of application of process of electro diamond grinding for processing of details with coverings from nano powder materials possessing high hardness, in the conditions of the minimum allowance, with maintenance of demanded indicators of quality of a blanket and high performance process of formation is proved.

Key words: coating, detonation spraying, electro diamond grinding, surface roughness, dimensional chain, electrochemical dissolution.

В различных отраслях машиностроения широко используют разнообразные по форме, габаритным размерам и точности детали. Металлоемкие и высокоточные детали, такие как коленчатые и распределительные валы грузовых автомобилей, работают в условиях высоких знакопеременных динамических и тепловых нагрузок, а следовательно, подвержены различным видам износа. Вследствие этого происходит изменение геометрических размеров, формы поверхности детали и качества поверхностного слоя (рис. 1, а). Действие всех этих факторов в конечном итоге приводит к выходу из строя изделия, а в некоторых случаях и поломке дорогостоящей, металлоемкой детали (рис. 1, б).

Для исключения этого применяют различные методы нанесения покрытий, одним из которых является детонационное напыление. В настоящее время помимо непосредственной размерной ком-

пенсации изношенной части детали значительное внимание уделяется вопросам повышения эксплуатационных свойств деталей машин за счет нанесения на их поверхности износостойких покрытий с высокими физико-механическими свойствами. В качестве материала износостойких покрытий применяют различные комбинации карбидов титана и вольфрама, обладающих всеми необходимыми качествами, которые предъявляются к покрытиям данного класса. В последнее время для повышения твердости наносимого слоя используют порошки из карбидов вольфрама и титана, размеры частиц которых не превышают нескольких десятков нанометров. Благодаря применению в качестве исходных материалов порошков данного класса возможно нанесение покрытий, обладающих уникальными физико-механическими свойствами.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках выполнения аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)» (АВЦП 1.2.2/4066)



a



б

Рис. 1. Дефекты деталей, вызванные износом

a – изменение геометрических размеров; *б* – поломка детали

Несмотря на то что по сравнению с другими методами производительность процесса детонационного напыления достаточно велика, операции напыления требуют значительного основного времени. В силу этого, а также с учетом высокой стоимости используемых порошков основной задачей технолога становится сведение к минимуму величины наносимого покрытия из дорогостоящих материалов.

Однако в этом случае экономия, полученная за счет уменьшения расхода напыляемого материала, в какой-то степени может нивелироваться повышением трудоемкости процесса последующей обработки покрытия. Это связано с необходимостью выбора метода формообразования, обеспечивающего высокое качество поверхностного слоя детали и приемлемое значение производительности в условиях минимальной величины припуска. Для осуществления выбора метода окончательной механической обработки необходимо произвести размерный анализ технологического процесса изготовления детали с покрытием с целью определения минимальной величины припуска, срезание которого не повлияло бы на работоспособность детали.

Минимальную величину напыляемого покрытия при использовании детонационного метода можно определить по следующей формуле [1]:

$$H_{\Pi \min} = f + Z_{0 \min} + |\bar{\rho}'_3 + \bar{\rho}''_3 + \bar{\epsilon}_0| + \Delta_{\Pi}, \quad (1)$$

где f – минимальная достаточная толщина покрытия после окончательной обработки; $Z_{0 \min}$ – минимальный общий припуск на обработку покрытия; $\bar{\rho}'_3$ – исходное пространственное отклонение расположения поверхности раздела основного материала детали с покрытием относительно базовых поверхностей; $\bar{\rho}''_3$ –

пространственное отклонение этой поверхности, возникающее в процессе получения покрытия; $\bar{\epsilon}_0$ – погрешность установки детали на операции окончательной размерной обработки покрытия; Δ_{Π} – толщина переходного слоя между основным материалом детали и покрытием.

С целью определения величины минимального общего припуска на механическую обработку покрытия из нанопорошкового материала ВК25 ($Z_{0 \min}$) при однопроходной обработке была составлена технологическая размерная цепь (рис. 2). Решение размерной цепи осуществлялось при параметрах, выбор которых производился в соответствии с рекомендациями, приведенными в работах [1–3]: максимальный размер покрытия до обработки $H_{0 \max} = 200$ мкм, допуск на толщину покрытия до обработки $\Delta_H = 10$ мкм, допуск на окончательный размер детали $\Delta = 10$ мкм, исходное пространственное отклонение расположения поверхности раздела основного материала детали с покрытием относительно базовых поверхностей $\bar{\rho}'_3 = 4$ мкм, погрешность установки детали на операции окончательной размерной обработки покрытия $\bar{\epsilon}_0 = 80$ мкм, пространственное отклонение этой поверхности, возникающее в процессе получения покрытия $\bar{\rho}''_3 = 50$ мкм, толщина переходного слоя $\Delta_{\Pi} = 6$ мкм. В результате решения технологической размерной цепи (рис. 2) было установлено, что минимальный припуск на последующую механическую обработку составляет $Z_{0 \min} = 87$ мкм, а максимальное значение достигает $Z_{0 \max} = 110$ мкм.

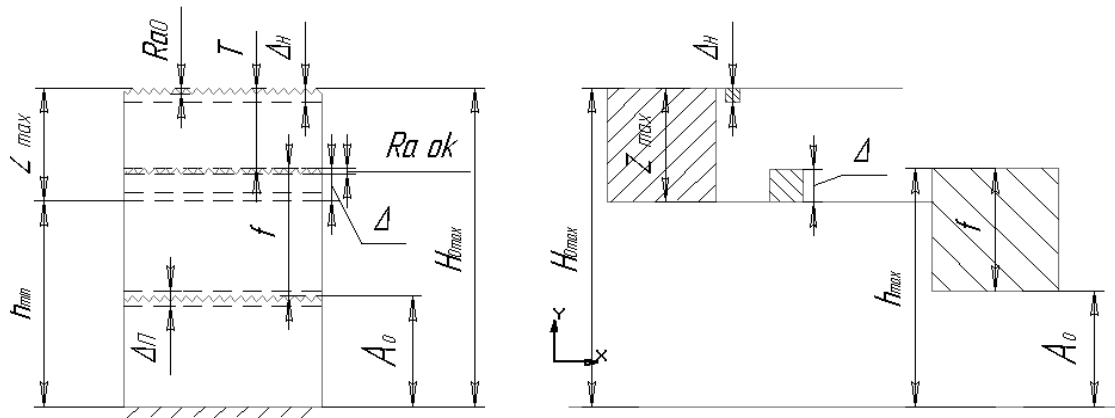


Рис. 2. Технологическая размерная цепь для определения величины минимального общего припуска на механическую обработку покрытия из нанопорошкового материала BK25

На рис. 2 приняты следующие обозначения: $H_{0\max}$ – максимальный размер покрытия до обработки; Z_{\max} – максимальный припуск на обработку; Δ – допуск на окончательный размер детали; h_{\min} – минимальная толщина детали с покрытием после обработки; Δ_H – допуск на толщину покрытия до обработки; Δ_{Π} – толщина переходного слоя; A_0 – толщина подложки; f – минимальная достаточная величина покрытия на эксплуатацию детали; R_{a0} – шероховатость поверхности покрытия до обработки; $R_{a\text{ок}}$ – окончательная шероховатость детали.

В результате решения технологической размерной цепи (рис. 2) было установлено, что минимальный припуск на последующую механическую обработку составляет $z_{0\min} = 87$ мкм, а максимальное значение достигает $z_{0\max} = 110$ мкм.

Исходя из полученных величин припуска можно сделать вывод о том, что механическая обработка лезвийным инструментом поверхности детали с покрытием в условиях, когда припуск не превышает десятых долей миллиметра, связана с определенными сложностями, в частности возникновением значительных температур при деформации материала. Преобладание деформационных процессов над непосредственно над процессом резания связано с тем, что величина припуска сопоставима с радиусами кромки режущего инструмента. Повышение температуры может неблагоприятно сказываться на качестве обработанной поверхности, в частности, возможно образование дефектов в виде сетки микротрещин и прижогов, а в некоторых случаях и приводить к отслаиванию покрытия. Применение традиционных абразивных материалов также малоэффективно для шлифования покрытий из нанопорошковых материалов, так как имеет место быстрая потеря режущих свойств шлифовального круга вследствие износа абразивных зерен, что способствует увеличению сил резания, а следова-

тельно, и температуры в зоне обработки. Действие этих факторов не позволяет обеспечить высокое качество поверхностного слоя. Кроме того, износ шлифовального круга может приводить к снижению точности формообразования, что является критическим фактором при обработке покрытия, поскольку его толщина составляет десятые доли миллиметра.

Одним из возможных способов формообразования поверхности покрытия из высокопрочных материалов, таких как карбид вольфрама, в условиях минимальной величины припуска является электроалмазное шлифование (ЭАШ). Электроалмазное шлифование основано на совмещении электрохимического растворения обрабатываемого материала и его механическом резании зернами алмазного круга. За счет такого совмещения в зоне обработки наблюдается существенное снижение режущих сил, что гарантирует отсутствие высоких локальных температур и, как следствие, позволяет избежать образования на поверхности характерных для традиционных методов обработки дефектов. На основании этого можно сделать вывод, что размерная обработка покрытий из нанопорошковых материалов методом электроалмазного шлифования является наиболее перспективной среди существующих на сегодняшний день.

Однако для эффективного применения данного технологического метода при шлифовании указанного класса материалов требуется проведение комплексных исследований процесса обработки с целью установления взаимосвязей производительности процесса с режимами шлифования.

Проведение экспериментальных исследований по обработке деталей с покрытием из нанопорошковых материалов осуществлялось на установке для электроалмазного шлифования, схема и принцип работы которой подробно рассмотрены в работе [4]. В качестве электролита использовался 10 %-й



водный раствор NaNO_3 . Напряжение технологического тока составляло $U = 8$ В. Ограничением повышения напряжения выше 8 В является возможность возникновения эрозионных процессов при электроалмазном шлифовании, что способствует снижению качества обработанной поверхности. Скорость главного движения равна 15...17 м/с. Значение продольной подачи стола составляет 45 мм/мин. В качестве инструмента применялся алмазный круг на металлической связке *ACB 80/63 100 % M1*. Обработка образцов с покрытиями выполнялась за один проход при глубине резания $t = 100$ мкм.

В результате экспериментов по ЭАШ покрытий на основе порошка ВК25 на обработанной поверхности не наблюдаются дефекты, появление которых характерно при использовании традиционных методов абразивной обработки. Оценка качества обработанной поверхности была произведена по параметру шероховатости. Определение шероховатости поверхности осуществлялось с помощью комплекса изучения топографии поверхности *New View 7300*. Значение шероховатости составило $Ra = 1,59$ мкм (рис. 3).

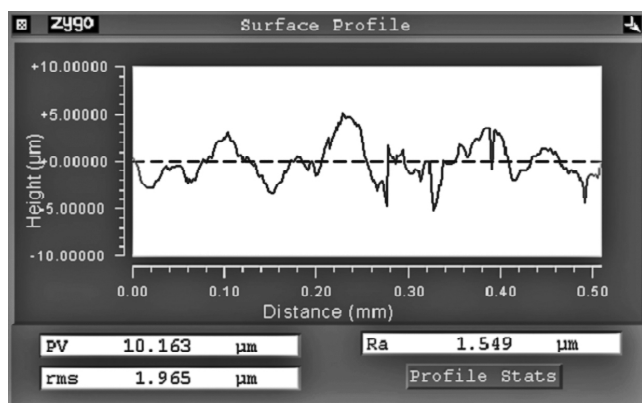


Рис. 3. Шероховатость поверхности образца с покрытием из нанопорошкового материала ВК25 после ЭАШ

В ряде случаев к рабочим поверхностям деталей с покрытиями, относящимся к классу износостойких, могут предъявляться более высокие требования к качеству, в частности к шероховатости поверхности. Вероятно, формирование полученного микрорельефа после электроалмазного шлифования связано с особенностями электрохимического растворения материала ВК25 в используемом электролите. Эти особенности обусловлены различным поведением материалов, входящих в сплав ВК25, карбидов вольфрама и кобальтовой связки, при электрохимической обработке. В частности наблюдается более интенсивное растворение кобальта в 10 %-м водном растворе NaNO_3 , из-за чего происходит обнажение зерен карбидов вольфрама [5], что приводит к их «выкрашиванию» в процессе резания алмазными зёрнами шлифовального круга. Снижение величины шероховатости поверхности после электроалмазного шлифования возможно за счет введения в технологический процесс дополнительного перехода, осуществляемого при отключенном источнике технологического тока. Однако для реализации технологического процесса по такой схеме необходимо произвести корректировку технологической размерной цепи с целью учета величины растворенного слоя. На рис. 4 представлена технологическая размерная цепь, составленная с учетом возможной величины растворения поверхности покрытия из нанопорошкового материала на основе ВК25 после процесса электроалмазного шлифования.

На рис. 4 приняты следующие обозначения: $H_{0\max}$ – максимальный размер покрытия до обработки; Z_{\max} – максимальный припуск на обработку; Δ – допуск на окончательный размер детали; h_{\min} – минимальная толщина детали с покрытием после обработки; Δ_H – допуск на толщину покрытия до обработки; Δ_n – толщина переходного слоя;

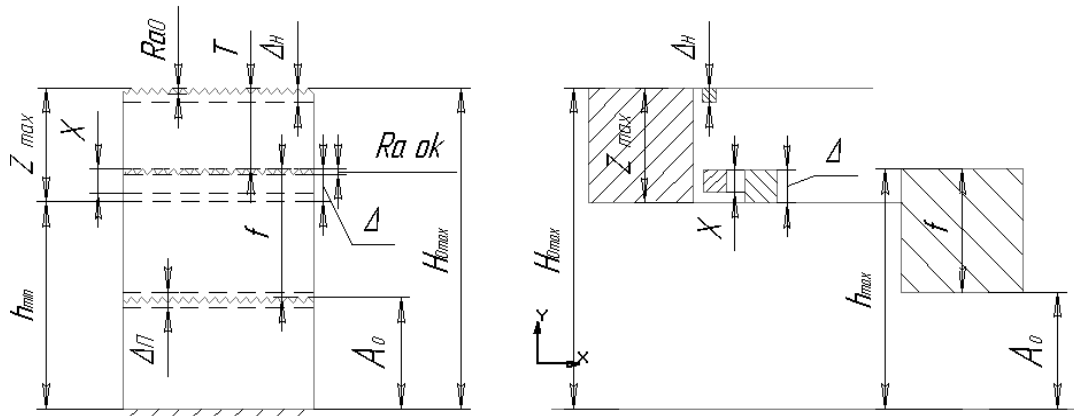


Рис. 4. Технологическая размерная цепь для определения величины минимального общего припуска на механическую обработку покрытия из нанопорошкового материала на основе ВК25 с учетом возможной величины растворения поверхности материала после процесса электроалмазного шлифования

A_0 – толщина подложки; f – минимальная достаточная величина покрытия на эксплуатацию детали; Ra_0 – шероховатость поверхности покрытия до обработки; $Ra_{ок}$ – окончательная шероховатость детали; X – величина растворения поверхности материала после процесса электроалмазного шлифования.

На основании решения технологической размерной цепи было установлено, что величина общего минимального припуска на операции электроалмазного шлифования деталей с покрытием из нанопорошкового материала на основе ВК25, включающей в себя два перехода, составляет $Z_{0min} = 98$ мкм.

Таким образом, полученные экспериментальные результаты позволяют сделать вывод о том, что применение электроалмазного шлифования для обработки износостойких покрытий из нанопорошковых материалов на основе ВК25 позволяет вести формообразование в условиях минимально возможного припуска.

Список литературы

1. Борисов Ю.С. Газотермические покрытия из порошковых материалов. – Киев, 1987. – 546 с.
2. Ситников А.А. Технологическое обеспечение точности изготовления деталей с покрытиями. – Барнаул, 2004. – 198 с.
3. Федорова Н.П. Размерный анализ технологических процессов изготовления деталей: учеб. пособие / Н.П. Федорова, Ю.В. Федоров, А.А. Ситников // Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул, 2005. – 148 с.
4. Янпольский В.В. Установка для оценки влияния гидродинамических факторов на анодное растворение стали Р6М5 в электролитах на водной основе: сб. тез. докладов междунар. науч.-техн. конф. «Современные технологические системы в машиностроении». – Барнаул, 2003. – 174–175 с.
5. Янюшкин А.С. Контактные процессы при электроалмазном шлифовании / А.С. Янюшкин, В.С. Шоркин. – М.: Машиностроение – 1, 2004. – 230 с.

РАСЧЕТ КОНТАКТНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В СОЕДИНЕНИЯХ ТЯЖЕЛОГО МНОГОЦЕЛЕВОГО СТАНКА

*В.Г. АТАПИН, доктор техн. наук, профессор,
Е.В. ВОЙНОВА, магистрант,
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Статья поступила 5 мая 2010 г.

630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, Новосибирский государственный
технический университет, e-mail: obrmet@ngs.ru

Обосновано применение стержневой модели для расчета контактных деформаций в соединениях несущей системы тяжелого многоцелевого станка на этапе проектирования. Приведены расчеты контактных деформаций в реальных подвижных соединениях несущей системы многоцелевого станка.

Ключевые слова: многоцелевой станок, контактные деформации, проектирование, методы расчета.

Application of rod model for calculation of contact deformations in connections of carrier system of the heavy multi-purpose machine tool at a design stage is proved. Calculations of contact deformations in real mobile connections of bearing system of the multi-purpose machine tool are resulted.

Key words: multi-purpose machine tool, contact deformations, design, calculation methods.

Введение

Несущая система станка имеет значительное количество неподвижных и подвижных соединений, деформации которых оказывают существенное влияние на точность механической обработки. Для тяжелых многоцелевых станков [1, 2], у которых стойки достигают высоты 10 – 15 м (рис. 1), перемещения инструмента в зоне резания определяются как сумма перемещений в результате собственных упругих деформаций

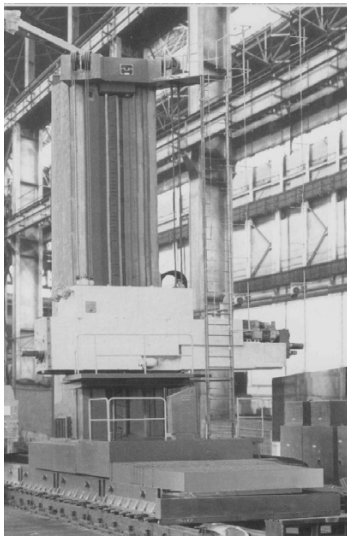


Рис. 1. Тяжелый многоцелевой станок сверлильно-фрезерно-расточной группы

несущей системы и контактных деформаций в стыках. Для расчета упругих деформаций несущей системы станка эффективным является метод конечных элементов [1,2]. Расчет контактных деформаций в стыках можно проводить на основе нескольких методов:

- эмпирических зависимостей, полученных на основе систематики результатов экспериментов [3],
- моделей шероховатой поверхности в виде стержней, сфер и эллиптических поверхностей [4,5].

Для обоснования выбора метода расчета контактных деформаций в соединениях тяжелого многоцелевого станка (МС), предназначенного для обработки корпусных деталей массой до 200 т, проведем сравнительную оценку существующих методов.

Методы расчета контактных деформаций

1. Эмпирические зависимости [3]. Для центрального нагружения неподвижных плоских стыков малой площади [до $(30...50)10^{-4} \text{ м}^2$] используются следующие зависимости:

$$a = c \left(\frac{F}{A} \right)^m, \quad \varphi = c_k \frac{M}{I},$$

где a , φ – линейное и угловое контактное перемещение; c , c_k – коэффициенты контактной податливости; F , M – сила и момент, действующие в стыке; A , I – площадь и момент инерции сечения стыка; m – показатель степени. В стыках большой площади упру-

гие перемещения определяются с учетом возможных отклонений от прямолинейности.

Неподвижные стыки несущих конструкций имеют, как правило, предварительную затяжку силами, существенно превышающими силы резания. Это позволяет считать жесткость стыка в приближенных расчетах близкой к постоянному значению, а деформацию и угол поворота определять по приближенным линейным зависимостям [6]:

$$a = c m p_0^{m-1} p, \quad \varphi = c m p^{m-1} \frac{M}{I},$$

где p_0, p – первоначальное и текущее давление в стыке от затяжки. При расчете упругих перемещений в направляющих несущих конструкций принимается, что упругие сближения a в стыке в любой точке при общем виде нагружения пропорциональны нормальным давлениям p :

$$a = k p.$$

Линейная зависимость принимается потому, что в большинстве случаев в направляющих преобладают угловые упругие перемещения, при которых линейная зависимость справедлива [3].

2. Модели шероховатой поверхности. В работе [4] показано, что коэффициенты, входящие в расчетные формулы работы [3] как эмпирические, могут быть рассчитаны теоретическим путем. Наиболее распространенными на практике являются модели шероховатой поверхности в виде стержней, сфер и эллиптических поверхностей.

В настоящей работе рассматривается сближение тел со значительной номинальной площадью контакта. В этом случае различают сближение за счет деформации микронеровностей a , сближение за счет деформации волн a_B и суммарное сближение вследствие деформации выступов и волн

$$a_c = a + a_B.$$

Сближения определяются в зависимости от принятой модели шероховатой поверхности.

♦ **Стержневая модель [4].** Для двух волнистых и шероховатых поверхностей

$$a = \left[\frac{1,5\pi J^{0,5} H_{\max}^v}{K_3 b} \right]^{2/(2v+1)} \times \left[\frac{H_B^{0,5}}{2,94 J_B^{0,5}} \right]^{8/(10v+5)} \times (I p_a)^{2/(10v+5)},$$

$$a_B = 1,54 H_B^{4/5} I_B^{1/5} (I p_a)^{2/5},$$

где $I = (1 - \mu_1^2)/E_1 + (1 - \mu_2^2)/E_2$ – упругая постоянная материала для двух деформируемых поверхностей;

μ_i, E_i – коэффициент Пуассона и модуль упругости i -й поверхности;

$J = r_1 r_2 / (r_1 + r_2)$ – приведенный радиус неровностей, $r_i = (r_{\text{н}} r_{\text{пр}})^{1/2}$, $r_{\text{н}}, r_{\text{пр}}$ – радиус неровности в поперечном и продольном сечениях соответственно;

$v = v_1 + v_2$, $b = K_2 b_1 b_2 (H_{\max 1} + H_{\max 2})^{v_1 + v_2} / (H_{\max 1}^{v_1} + H_{\max 2}^{v_2})$ – параметры опорной кривой для контакта

двух поверхностей, $K_2 = \Gamma(v_1 + 1) \Gamma(v_2 + 1) / \Gamma(v_1 + v_2 + 1)$, v_i, b_i – параметры опорной кривой i -й поверхности, Γ – гамма-функция;

K_3 – коэффициент;

$H_{\max} = H_{\max 1} + H_{\max 2}$ – наибольшая высота неровностей профиля, где $\lg H_{\max i} = 0,79 + 0,98 \lg R_{ai}$ [7], R_{ai} – среднее арифметическое отклонение профиля i -й контактирующей поверхности;

$H_B = H_{B1} + H_{B2}$ – высота волны для двух поверхностей;

$J_B = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$ – приведенный радиус волны, $R_i = (R_{\text{н}} R_{\text{пр}})^{1/2}$, $R_{\text{н}}, R_{\text{пр}}$ – соответственно радиус волны в поперечном и продольном направлениях;

p_a – номинальное давление.

♦ **Сферическая модель [5].** Для двух волнистых и шероховатых поверхностей

$$a = 3,4 R_a (p_c / p_r)^{1/3}, \quad a_B = 1,8 H_B^{0,85} I^{0,3} J_B^{0,15} p_a^{0,3},$$

где p_c, p_r – контурное и фактическое давления в стыке соответственно и для случая $H_{\max} \geq 0,1 H_B$:

$$p_c = \frac{1}{K_w K_B} \left[\frac{H_B}{2 J_B I^2} \right]^{v_B / [2(v_B + \delta)]} \times p_a^{\delta / (v_B + \delta)},$$

$$p_r = \frac{0,61}{I^{0,86}} \left[\frac{R_a}{J} \right]^{0,43} \times p_c^{0,14}.$$

Оценка методов расчета контактных деформаций

Сравнительную оценку рассмотренных выше методов проведем на примере компоновки вертикального подвижного стыка «стойка – шпиндельная бабка» тяжелого многоцелевого станка, компоновка которого приведена на рис. 2. Вычислим перемещение точки O (торец шпинделя) по оси y , используя рассмотренные методы. Расчетная схема стыка приведена на рис. 3. Исходные данные для расчета:

- материал направляющих – сталь, модуль упругости $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$;
- класс шероховатости поверхности 7, $R_a = 0,63$ мкм, вид обработки – плоское шлифование;

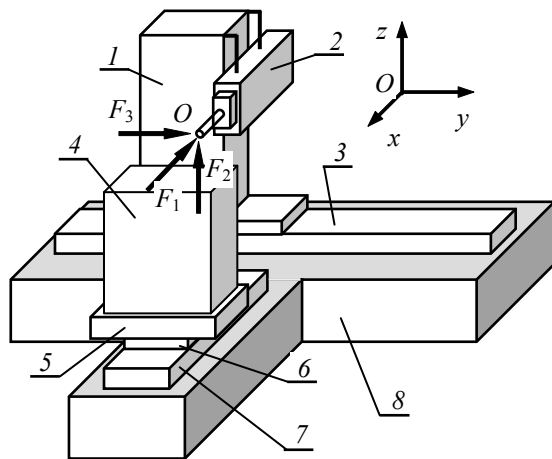


Рис. 2. Компоновка многоцелевого станка:

1 – стойка; 2 – шпиндельная бабка; 3 – станина; 4 – обрабатываемая деталь; 5 – паллета; 6 – сани стола; 7 – станина стола; 8 – фундамент

• составляющие силы резания для чистового торцового фрезерования $F_1=1,5$ кН, $F_2=2,1$ кН, $F_3=3,0$ кН;
 • средние давления на грани с реакцией $R_1 - p_1 = 0,0691$ МПа, с $R_2 - p_2 = 0,0065$ МПа, с $R_3 - p_3 = 0,0153$ МПа. Необходимые параметры шероховатости поверхности выбираются по таблицам [5]. Вычисления упругих перемещений вследствие поворота в поперечной плоскости направляющих проводились на основе зависимости при работе основной грани и одной планки [3]:

$$\varphi_{xy} = k(p_1 + \xi p_2)/L,$$

где p_1, p_2 – средние давления в стыках, ξ – коэффициент, учитывающий отгибание планки (при давлениях $p \leq 0,3$ МПа рекомендуется значение 1,5). Упругое перемещение т. O (точки приложения нагрузки) в направлении оси y вычисляется по формуле

$$\Delta(y_O) = a_1 + \varphi_{xy} x_F,$$

где a_1 – нормальное сближение поверхностей на грани с реакцией R_1 ; x_F – перемещение точки O в направ-

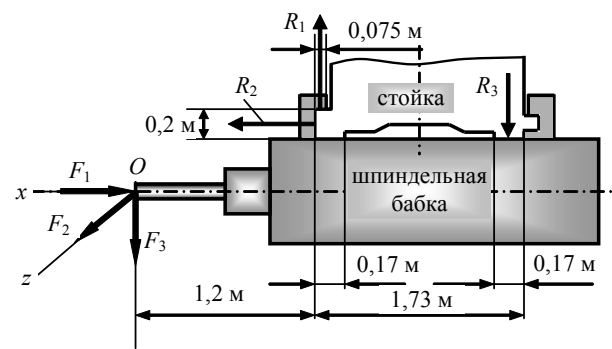


Рис. 3. Расчетная схема подвижного стыка «стойка – шпиндельная бабка»

лении оси x от внешней нагрузки. Результаты расчета (табл. 1) показывают, что в условиях неполной исходной информации по стыку для расчета контактных деформаций следует отдать предпочтение стержневой модели шероховатой поверхности, дающей наибольшее значение перемещения по сравнению со сферической моделью, что идет в запас по жесткости несущей системы. Расчет на основе эмпирических зависимостей (технический расчет) ориентирован на средние значения контактной податливости k , что существенно уменьшает величину перемещения.

Оценка контактных деформаций в неподвижных стыках МС

Несущие конструкции имеют неподвижные стыки, затянутые болтами. Представляет интерес оценка величины контактных деформаций в этих стыках для конкретного станка. Так, по результатам эксперимента на координатно-расточном станке [3] установлено, что затянутые стыки имеют высокую жесткость и доля их деформаций в общем балансе жесткости станка невелика. Например, доля стыка стойка-станина колеблется от 0,2 до 2 %. Для обеспечения высокой жесткости затянутых стыков необходимо обеспечить давление в стыке 3...3,5 МПа. Повышение давления свыше этого практически не увеличивает жесткость стыка [3].

Неподвижные стыки несущих конструкций рассматриваемого МС (рис. 1) имеют следующие характеристики: болт М36, усилие затяжки 100 кН/болт, давление в стыке 4,4 МПа, поверхность стыка после шлифования, $R_a = 3,2$ мкм. Внешние силы (сила резания) значительно меньше сил затяжки, поэтому зависимость «внешняя сила – упругое перемещение» близка к линейной [3]. Оценку контактных деформаций в неподвижном соединении проведем на основе технического расчета [3].

Рассмотрим соединение двух частей стойки (рис. 1), испытывающей нагрузку при чистовом торцовом фрезеровании: составляющие силы резания $F_1=1,5$ кН, $F_2=2,1$ кН, $F_3=3,0$ кН (рис. 2). Размеры

Т а б л и ц а 1

Результаты сравнения методов расчета контактных деформаций в подвижном стыке «стойка – шпиндельная бабка»

Метод	Перемещение т. O по оси y, мкм	Нормальное сближение поверхностей a, мкм	
		Грань R ₁	Грань R ₃
Технический расчет	3,11	1,45	0,43
Сферическая модель	4,53	1,96	1,46
Стержневая модель	5,26	2,33	2,04

половины стыка $8,0 \times 0,25$ (м), в стыке 176 болтов. Упругие деформации в затянутых стыках большой площади от внешней нагрузки определяются по следующим зависимостям [3]:

$$a = k_{\text{пр}} p \mu, \quad \varphi = k_{\text{пр}} M \mu_t / I,$$

где a , φ – линейная и угловая деформация в плоском стыке при нагружении центральной силой F и моментом M ; $k_{\text{пр}} = 0,4 \dots 0,6$ мксм²/кгс – приведенный коэффициент податливости для стыков несущих конструкций больших размеров; $p = F/A$ – среднее давление в стыке; A – площадь стыка; $\mu = 1,6$ – коэффициент, учитывающий влияние отклонения от прямолинейности (выбирается по графику на рис. 26 [3]); $\mu_t = 1,25$ – коэффициент, выбирается там же [3]; I – момент инерции сечения стыка.

В результате расчета для данного типоразмера стыка имеем: $a = 0,006$ мкм, $\varphi = 1,055 \cdot 10^{-2}$ мкм/м. Упругие перемещения т.О приложения нагрузки (рис. 2) в направлении оси y от контактных деформаций в неподвижном стыке стойки составляют

$$\Delta_{yO}^* = a + \varphi x = 0,03 \text{ мкм} \leq \Delta_{yO} = 3,11 \text{ мкм} \text{ (табл. 1)},$$

где $x = 2,2$ м (включает вылет шпинделя 0,4 м, вылет ползуна 0,6 м, расстояние от торца шпиндельной бабки до середины сечения стойки 1,2 м). Следовательно, на этапе моделирования несущей системы МС деформации в неподвижных стыках можно не учитывать.

Расчет контактных деформаций в подвижных соединениях МС

В несущей системе МС можно выделить следующие основные подвижные стыки, оказывающие наибольшее влияние на жесткость станка: стойка – шпиндельная бабка (рис. 3), шпиндельная бабка – ползун (рис. 4), стойка – станина (рис. 5).

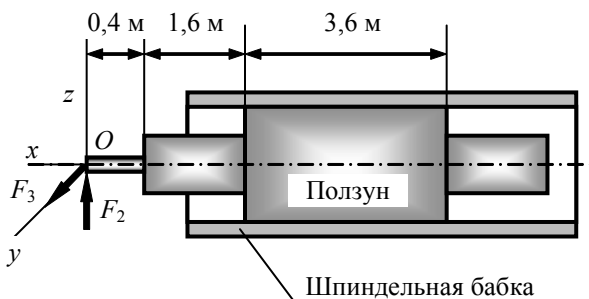


Рис. 4. Расчетная схема подвижного стыка «шпиндельная бабка–ползун»

Стыки имеют следующие характеристики: класс шероховатости поверхности 7, $R_a = 0,63$ мкм, накладные направляющие из материала БрАЖ (шпиндельная бабка, ползун), длина контакта 1,16 м (стык стойка –

шпиндельная бабка), 3,6 м (стыки шпиндельная бабка – ползун, стойка – станина). В связи с отсутствием

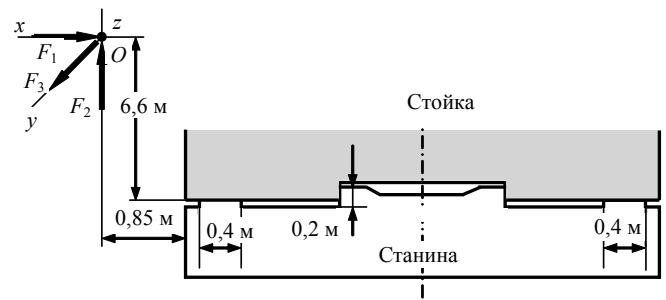


Рис. 5. Расчетная схема подвижного стыка «стойка–станина»

в литературе [5] сведений о параметрах шероховатости поверхности для бронзы в расчетах используются соответствующие параметры шероховатости для чугуна, так как упругие перемещения в стыках чугун-бронза мало отличаются от упругих перемещений в стыках чугун-чугун [3]. В расчетах использовались следующие характеристики материалов: серый чугун – $E = 0,8 \cdot 10^5$ МПа, $\mu = 0,25$; бронза БрАЖ – $E = 1,05 \cdot 10^5$ МПа, $\mu = 0,32$. Составляющие силы резания соответствуют условиям чистового торцового фрезерования, использовалась стержневая модель шероховатой поверхности, параметры шероховатости поверхности выбирались по таблицам [5]. Окончательно получено следующее выражение для суммарного сближения поверхностей контакта вследствие деформации выступов и волн:

$$a_c = 1,80 p_a^{0,0513} + 1,36 p_a^{0,4}.$$

Результаты расчета перемещений т.О (рис. 2) от перемещений в подвижных стыках МС приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Перемещения т.О от контактных деформаций в подвижных стыках МС

Подвижный стык	Перемещение по оси, мкм		
	x	y	z
Стойка – шпиндельная бабка	3,79	5,26	–
Шпиндельная бабка – ползун	–	2,85	2,73
Стойка – станина	10,10	–	2,72
ИТОГО	13,89	8,11	5,45

Оценка доли контактных деформаций в общем балансе упругих перемещений МС

При проектировании несущей системы допускаемые перемещения инструмента в зоне резания назначаются на основе норм точности механической

обработки. Для наиболее нагруженного вида обработки – торцовое фрезерование существует экономически достижимая размерная точность при обработке плоскостей [8]: класс точности по ОСТ – 3, 2а, (2), квалитет 8 – 6 (в скобках указан технологически достижимый класс точности). Для примера рассмотрим при назначении допускаемых перемещений в зоне обработки отклонения от плоскостности и прямолинейности на обработанной поверхности. Для заданного расположения несущих конструкций (рис. 2) допуски плоскостности и прямолинейности по ГОСТ 24643-81 для 6 квалитета составляют [8, табл. 5.2]:

- вертикальное перемещение шпиндельной бабки (5 м)60 мкм,
- поперечный ход стойки (до середины станины 4,5 м)60 мкм.

Согласно заводским данным погрешность обработки в зоне резания распределяется между собственно станком и столом как 70 и 30 %. Рассмотренные в настоящей работе подвижные стыки принадлежат собственно фрезерно-расточному станку и на их долю приходится 70 % от допуска, т.е. 42 мкм. Сравнение перемещений т. О от контактных деформаций в подвижных стыках (табл. 2) с полученным допускаемым перемещением 42 мкм показывает, что в общем балансе перемещений в зоне резания влияние стыков не так значительно, как в малых станках (до 70 % [3]), и необходимо учитывать собственно упругие перемещения несущей системы (распределенные параметры системы).

Выводы

1. Для расчета контактных деформаций в подвижных стыках со значительной номинальной площадью контакта, характерных для тяжелых многоцелевых

станков, целесообразно использовать стержневую модель шероховатой поверхности.

2. На этапе проектирования несущей системы тяжелого многоцелевого станка деформации в неподвижных стыках можно не учитывать вследствие их малости по сравнению с контактными деформациями в подвижных стыках.

3. В общем балансе перемещений инструмента в зоне резания для тяжелого многоцелевого станка, отличающегося большими габаритами (например, стойки достигают высоты 10...15 м), доля перемещений за счет стыков не так велика, и необходим учет распределенных параметров системы.

Список литературы

1. Атапин В.Г. Проектирование несущих конструкций тяжелых многоцелевых станков с учетом точности, производительности, массы // Вестник машиностроения. – 2001. – № 2. – С. 3 – 6.
2. Атапин В.Г. Оптимизация несущей системы стола тяжелого многоцелевого станка // Обработка металлов. – 2006. – № 4(33). – С. 30–32.
3. Левина З.М., Решетов Д.Н. Контактная жесткость машин. – М.: Машиностроение, 1971. – 264 с.
4. Демкин Н.Б. Контактное взаимодействие шероховатых поверхностей. – М.: Наука, 1970. – 227 с.
5. Трение, изнашивание и смазка: справочник / под ред. И.В. Крагельского и В.В. Алипина. – М.: Машиностроение, 1978. – Кн.1. – 400 с.
6. Металлорежущие станки / под ред. В.Э. Пуша. – М.: Машиностроение, 1986. – 256 с.
7. Демкин Н.Б., Рыжов Э.В. Качество поверхности и контакт деталей машин. – М.: Машиностроение, 1981. – 244 с.
8. Гжиров Р.И. Краткий справочник конструктора: справочник. – Л.: Машиностроение, 1983. – 464 с.

СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ ПОСЛЕ ШЛИФОВАНИЯ КРУГАМИ С КОНТРОЛИРУЕМОЙ ФОРМОЙ ЗЕРЕН

*А.Н. КОРОТКОВ, доктор техн. наук, профессор,
Л.П. КОРОТКОВА, канд. техн. наук, доцент,
Н.В. ПРОКАЕВ, ст. преподаватель,
Е.С. ШМАКОВ, магистр,
(КузГТУ, г. Кемерово)*

Статья поступила 17 ноября 2010 г.

605526, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, Кузбасский государственный
технический университет, e-mail: msikuzstu@mail.ru

Проведены исследования влияния формы зерен в шлифовальных кругах на качество процесса обработки колец подшипников. Установлено, что путем целенаправленного и дифференцированного подхода к выбору формы зерен можно добиться значительного снижения шероховатости обработанных поверхностей. При этом теплонапряженность процесса шлифования не возрастает – отсутствуют прижоги и выгорание химических элементов.

Ключевые слова: шлифовальные круги, форма шлифовальных зерен, чистовая обработка колец подшипников, шероховатость, микротвердость, химические элементы, растровый микроскоп.

Researches of the abrasive grains form influence in grinding circles on quality of process of processing of rings of bearings are conducted. It is established that through a targeted and differentiated approach to the choice of form of grains can achieve a significant reduction in surface roughness. In this case, thermal stress of the grinding process doesn't increase – are absent and burn-up of chemical elements.

Key words: grinding wheels, grinding grain shape, finishing processing of rings of bearings, roughness, microhardness, chemical elements, scanning microscope.

От состояния поверхностей качения подшипников во многом зависит надежность и долговечность их работы, поэтому полезно знать те факторы, которые оказывают существенное влияние на формирование качества этих поверхностей [4, 5].

Данная работа (как и предыдущая [1]) направлена на изучение качества обработанных поверхностей колец подшипников из термически упроченной стали ШХ15 после чистового шлифования инструментами с контролируемой формой зерен.

Качество шлифованных поверхностей оценивалось по шероховатости, микротвердости, микроструктуре и характеру ее изменений в поверхностных слоях детали, а также по распределению химических элементов в поверхностном слое металла шлифованных колец подшипников.

Для изучения влияния формы шлифовальных зерен на качество обработки поверхностей колец подшипников на кафедре «Металлорежущие станки и инструменты» КузГТУ были изготовлены партии опытных шлифовальных кругов (в количестве 140 шт.) с характеристиками:

ПП 63x12x16 25A10 [Кф] СМ1 5 К5;

ПП 40x7x6 25A10 [Кф] СМ1 5 К5.

В этих кругах, в отличие от стандартных инструментов, использовались зерна с контролируемой формой, разновидность которой отражается коэффициентом [Кф].

Экспериментальные круги на керамической связке изготавливались на абразивном участке ОАО «РОЛТОМ». Особенностью технологии изготовления экспериментальных кругов являлось использование предварительно отсортированных шлифовальных зерен с разными коэффициентами формы Кф (от 1,2 до 2,88). При этом в рецептуру вносились коррективы с целью обеспечения одинаковой твердости шлифовальных кругов, так как зерна разной формы имеют разную насыпную массу.

Установлено, что форма зерен значительно влияет на все аспекты процесса микрорезания [2, 3]. Так, при неблагоприятной геометрии зерна, находящегося на рабочей поверхности инструмента, оно не режет металл, а лишь деформирует и нагревает его. Для лезвийных инструментов вопрос влияния их геометрических параметров глубоко изучен, и для каждого случая резания рекомендуется своя конкретная геометрия режущего клина, позволяющая эффективно вести обработку метал-

ла. Для шлифовальных же инструментов и зерен, которые находятся на их рабочих поверхностях и тоже являются своего рода микрорежущими клиньями, таких рекомендаций пока нет.

Опытные шлифовальные круги испытаны в производственных условиях ООО «ФАЛАР» и ОАО «РОЛТОМ», где ими на внутришлифовальных станках моделей SIW4E и 3K228B велась обработка колец подшипников на типовых режимах резания: $t = 0,173$ мм, $S = 0,009$ мм/об, $V = 50$ м/с. В процессе обработки осуществлялась автоматическая правка опытных кругов так же, как это делалось со стандартными кругами, а шлифование производилось с наличием СОЖ и в двух вариантах – с выхаживанием и без него.

В ходе шлифования на произвольно взятых обрабатываемых кольцах осуществлялся контроль шероховатости на профилометре «TALYSURF». Полученные усредненные результаты говорят о том, что форма зерен в круге оказывает существенное влияние на шероховатость обработанных колец. Так, при изменении коэффициента формы зерен в круге с 2,88 до 1,2 наблюдается снижение шероховатости обрабатываемых поверхностей подшипника № 205 в 1,9 – 2,2 раза (в зависимости от наличия или отсутствия выхаживания), а для подшипника № 307 это снижение составляет соответственно 1,8 – 1,95 раза. То есть

более низкую шероховатость поверхности дают изометрические зерна, которые заглаживают микронеровности и срезают полукруглую в сечении стружку. Пластинчатые зерна оставляют более глубокие риски и царапины на поверхности детали и соответственно формируют более высокую шероховатость.

В процессе шлифования часть зерен режет металл, а другая пластически деформирует поверхностный слой и наклепывает его. Возникающее в результате резания и деформации металла большое количество тепла может оказать влияние на структуру металла. Причем это влияние может быть взаимосвязано с формой зерен.

За счет наклепа микротвердость в поверхностных слоях должна возрасти, но в результате теплового воздействия могут происходить также явления рекристаллизации, если температура в зоне резания превышает температурный порог рекристаллизации. В зависимости от температуры рекристаллизация может быть первичной либо собирательной, а может и не состояться, если температура в зоне резания будет ниже температурного порога рекристаллизации. В случае наличия очень высоких температур в поверхностных слоях может возникнуть явление самоотпуска, сопровождающееся снижением твердости или возникновением прижогов.

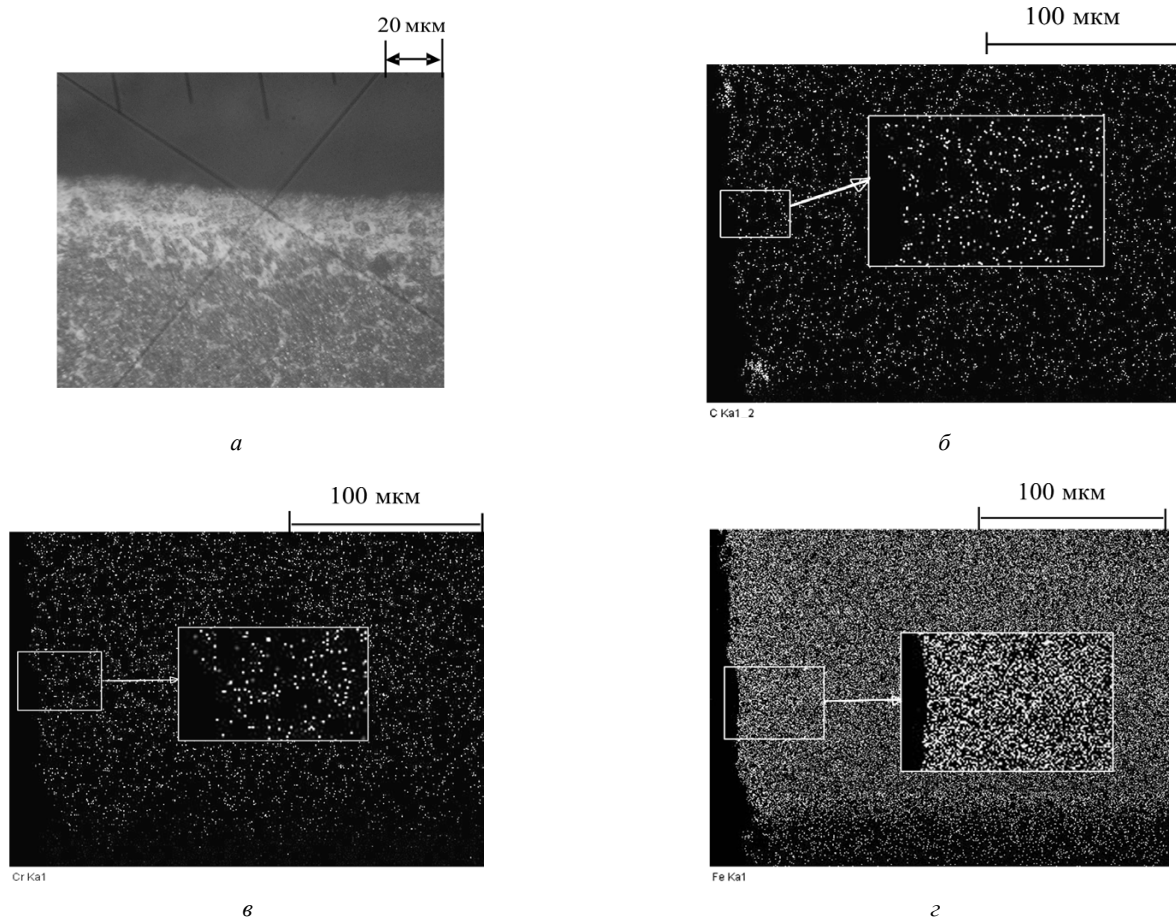


Рис. 1. Микроструктура поверхностного слоя дорожки качения подшипника (а) и распределение химических элементов: углерода (б), хрома (в), железа (г) после шлифования кругами с $K_f = 1,2$

Результаты исследований микроструктуры дорожек качения подшипников после шлифования кругами с разной формой зерен подтверждают наличие взаимосвязи «форма зерен – микротвердость обработанной поверхности». Так, при изменении значений K_f от 1,7 (стандартный круг) до 1,2 происходит увеличение микротвердости шлифованной поверхности колец подшипников № 307 и № 205 с 13 500 МПа до 16 500 МПа из-за явления наклепа. Менее заметна такая тенденция после операции выхаживания, на которой, возможно из-за длительности выхаживания, уменьшается глубина слоя с повышенной твердостью.

Исследование микроструктуры в поверхностных слоях дорожек качения подшипников, в том числе на растровом электронном микроскопе модели EVO50 XVP при увеличении до $\times 5000$, не выявили изменения микроструктуры в кольцах, обработанных в более интенсивных условиях шлифования, формируемых за счет использования кругов с $K_f = 1,2$. Микроструктура состоит из мартенсита и вторичных карбидов (рис. 1, а) без наличия микротрещин.

На фотографиях (рис. 1 а, б, в, г) представлены результаты исследований по изменению в химсоставе поверхностного слоя колец подшипников после обработки кругами с контролируемой формой зерен.

Полученные снимки показывают, что существенных изменений в распределении химических элементов в поверхностном слое дорожек качения подшипников из-за теплового воздействия не наблюдается (отсутствует выгорание углерода, хрома и железа, а легирующие элементы распределены однородно).

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что, целенаправленно изменяя форму зерен от игольчатой ($K_f = 2,88$) до изометрической формы ($K_f = 1,2$) в шлифовальных кругах, можно управлять качеством обработки поверхностей колец подшипников, что, в свою очередь, положительно отразится на их долговечности и стойкости и, как следствие, на надежности оборудования и механизмов, в которых они работают.

Список литературы

1. *Короткова Л.П., Прокаев Н.В.* Качество поверхности наружных колец подшипников, обработанных шлифовальными кругами с контролируемой формой // *Обработка металлов.* – 2002. – № 2 (35). – С. 19–22.
2. *Дубов Г.М.* Влияние формы шлифовального зерна на теплонапряженность процесса обработки отрезными кругами на бакелитовой связке (тезисы докладов) // «Проблема повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе». Тезисы 4-й Всероссийской научно-практической конференции. Новосибирск, 23 марта 2006 г. – Новосибирск: Изд-во НГТУ. – 2006. – С. 39–41.
3. *Повышение эксплуатационных возможностей шлифовальных инструментов: монография / А.Н. Коротков.* – Кемерово: ГУ КузГТУ, 2006. – 233 с.
4. *Эльянов В.Д., Байор Б.Н.* Пути повышения точности и производительности шлифования желобов наружных колец шарикоподшипников. – М.: НИИИавтопром, 1972. – С. 35–42.
5. *Качество подшипников, технология обеспечения, методы и средства контроля / под ред. И.К. Ховрина* – М.: ВНИПП, 1974. – С. 116–127.

ОСОБЕННОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ¹

*С.В. ВЕСЕЛОВ, канд. техн. наук, доцент,
Ю.С. ЧЁСОВ, канд. техн. наук, доцент,
Е.А. ЗВЕРЕВ, ассистент, П.В. ТРЕГУБЧАК, аспирант
В.В. БАЗАРКИНА, магистрант, В.С. ЛОЖКИН, магистрант
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Статья поступила 06 октября 2010 г.

Веселов С.В. – 630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
E-mail: veselov_s@inbox.ru

Приведены результаты исследований химического и фазового состава, а также микроструктуры износостойкого порошкового покрытия из высокохромистого чугуна.

Ключевые слова: плазменное напыление, покрытие, микроструктура.

Results of researches of chemical composition and phase composition, and also microstructure of a wear-resistant powder coating from a high-chromium iron were received.

Key words: plasma spraying, coating, microstructure.

Ранее проведенные металлографические исследования износостойких покрытий из порошкового высокохромистого чугуна марки ПГ-С27 показали [1], что в используемом диапазоне режимов плазменного напыления образуются три характерных типа структур, которые заметно различаются по таким показателям качества, как пористость и размеры пор, несплошность границы между основным металлом и покрытием, степень деформации и количество нерасплавившихся частиц. Это позволило выявить наиболее рациональные режимы плазменного напыления, при которых формируется оптимальный вариант структуры покрытий, обладающей требуемым комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств [2]. Очевидно, что структура покрытий напрямую определяется энергетическим состоянием частиц порошка в момент соударения с поверхностью детали. В зависимости от режима напыления они обладают различными значениями температуры, скорости и длительности нахождения в полете. Поэтому характер структуры покрытия можно обосновать через такие энергетические параметры плазменной струи, как температура и скорость (с учетом дистанции напыления). Ориентировочные расчеты значений температуры струи на срезе сопла и сред-

ней скорости струи, выполненные по методикам соответственно [3 и 4], показали, что оптимальный вариант структуры покрытия формируется в диапазоне значений температур порядка 6000...7500 К и скорости струи – 630...750 м/с. При таком высоком уровне энергетического воздействия плазменной струи возникает потребность в более глубоком изучении структуры на микроуровне.

Целью настоящих исследований является проведение химического и рентгеноструктурного анализа как исходного порошка, так и напыленного покрытия, а также изучение особенностей микроструктуры покрытия.

При проведении экспериментов в качестве образцов с напыленным покрытием использовались пластины размером 100 × 100 мм и тонкостенные цилиндрические втулки с наружным диаметром 25 мм и длиной 12 мм, изготовленные из стали 20. Химический состав напыляемого порошка и покрытия был проанализирован с применением рентгенофлуоресцентного спектрометра *ARL Optim'X* и растрового электронного микроскопа *Carl Zeiss EVO50 XVP*, оснащенного микроанализатором химических элементов *EDS X-Act (Oxford Instruments)*. Оценка фазового состава покрытия была произведена путем расшифровки дифракционных картин, снятых с поверхности покрытия. Диф-

¹ Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы.

Порошковый материал	Химический состав, %								
	C	Cr	Ni	Si	Fe	Mo	W	Mn	O
По ГОСТ 21448	3,3...4,5	25...28	1,2	1...2	Основа	0,08...0,15	0,2...0,4	0,8...1,5	–
Исходный порошок	4	22	5,5	1,2	Основа	0,1	0,4	1,2	6,1
Напыленное покрытие	3,8	21,4	3,6	1,7	Основа	0,1	0,35	1,45	5,5

рационные картины были зарегистрированы на Θ - Θ дифрактометре с использованием медной трубки в качестве источника рентгеновского излучения. Картины регистрировали в фиксированном интервале времени (от 5 до 10 с) с шагом съемки по углу 2Θ , равном $0,05^\circ$. Металлографические исследования образцов с покрытиями проводили на оптическом микроскопе *Carl Zeiss AxioObserver Alm* в диапазоне от 100 до 1000-кратного увеличения.

Наиболее важной характеристикой влияния режима плазменного напыления, оказывающего существенное воздействие на качество сформированного покрытия, является химический состав поверхностного слоя композиции. В процессе плазменной обработки возможно проявление таких эффектов, как частичное обезуглероживание и окисление металлов, присутствующих в составе порошка, поскольку изменение химического состава приводит к снижению эксплуатационных свойств покрытий. В связи с этим при выборе наиболее рациональных режимов плазменного напыления одним из основных приоритетов является сохранение химического состава напыляемого материала.

Результаты анализа химического состава порошкового материала (по ГОСТ 21448 и исходного) и собственно покрытия приведены в таблице.

Установлено, что химический состав используемого порошка в целом соответствует стандарту. Незначительное отклонение его состава заключается в

наличии небольшого количества кислорода. Появление кислорода в напыляемом материале повышает вероятность протекания процесса окисления металлов напыляемого порошка при плазменной обработке. Поскольку при напылении поверхность образцов интенсивно окисляется, перед проведением химического анализа материала покрытия образцы подвергали шлифованию. Анализ химического состава покрытия производился локально, чем объясняется колебание содержания элементов относительно исходных значений. Согласно представленным данным после напыления покрытия существенных изменений в его химическом составе не происходит, что подтверждает правильность выбора режима обработки.

Значительные термические нагрузки могут вызвать протекание фазовых превращений в материале покрытия, и это необходимо исключить при выборе режимов напыления. Согласно данным рентгенофазового анализа порошкового материала и напыленного покрытия в последнем не наблюдается существенного изменения фазового состава. Дифракционные картины исходного порошка и покрытия после напыления приведены соответственно на рис. 1 и 2.

Результаты исследований показали, что основными фазами в порошковом материале до напыления (рис. 1) являются α -железо, γ -железо и карбиды M_7C_3 , где в качестве металла преимущественно выступают атомы хрома. Кроме того, установлено, что в порошке в небольшом количестве присутствуют карбиды

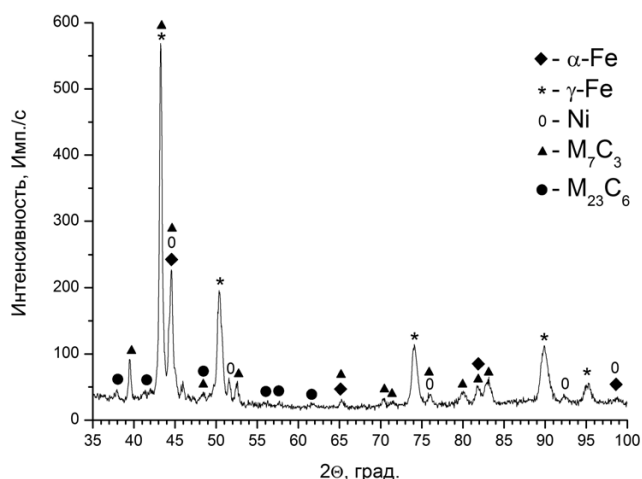


Рис. 1. Дифракционная картина порошкового материала

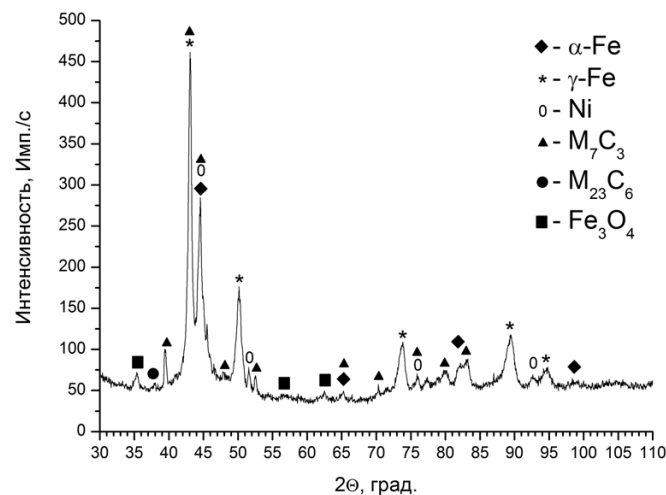


Рис. 2. Дифракционная картина напыленного покрытия

типа $M_{23}C_6$ (под металлом также подразумевается хром) и фаза никеля. Данный фазовый состав соответствует требованиям для порошка марки ПГ-С27. Анализ фазового состава покрытия позволил установить сохранение присутствующих в напыляемом порошке фаз и образование в небольшом количестве оксида железа Fe_3O_4 (рис. 2). Сохранение фазового состава материала после напыления, а также практически полное отсутствие оксидов железа в покрытии свидетельствует о высокой эффективности рекомендуемых режимов плазменного напыления.

Металлографические исследования позволили установить наличие ряда структурных особенностей, характерных для данного типа покрытий. На нетравленных поперечных микрошлифах было выявлено, что частицы напыляемой порошковой смеси претерпевают существенные изменения по геометрической форме [1]. Установлено, что в процессе напыления сферические частицы, достигая поверхности основного металла, заметно деформируются. В наиболее оптимальном варианте структуры покрытия наблюдается минимальная пористость и количество нерасплавившихся частиц.

Анализ структуры покрытий после травления позволил установить наличие в структуре покрытий области различной степени травимости (рис. 3).

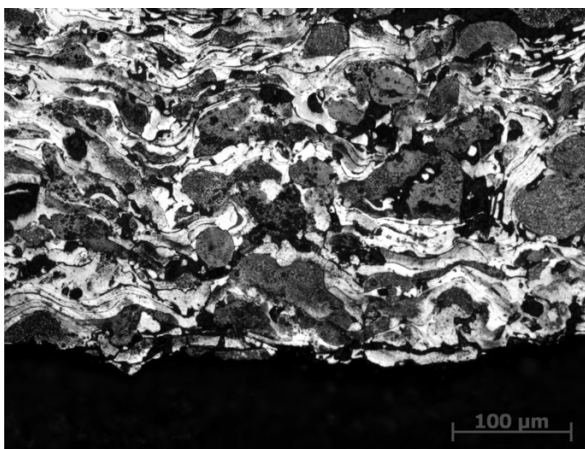


Рис. 3. Структура покрытия с частицами различной степени травимости

Нами предполагается, что светлые частицы содержат в качестве основной фазы γ -железо, а темные вытравленные – α -железо. Кроме того, по данным рентгенофазового анализа установлено, что присутствующие в структуре частиц светлые выделения соответствуют карбиду хрома Cr_7C_3 (рис. 4).

В заключение отметим, что на основании проведенных структурных исследований было подтверждено, что выявленные ранее наиболее рациональные режимы плазменного напыления обеспечивают формирование композиции, обладающей высоким уровнем эксплуатационных свойств [2]. С исполь-

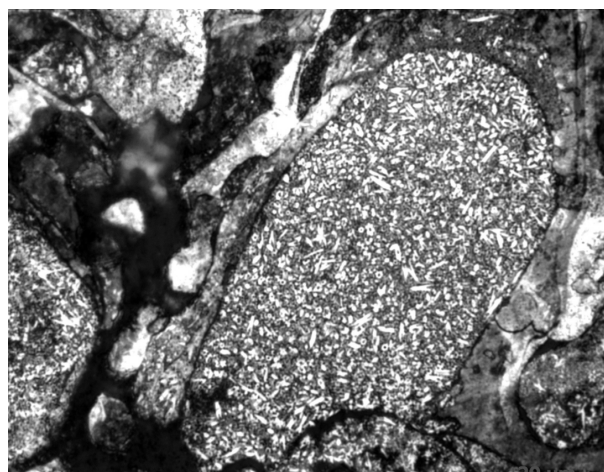


Рис. 4. Наличие карбидов Cr_7C_3 в структуре покрытия

зованием метода рентгенофазового анализа установлено сохранение карбидной фазы материала покрытия, обеспечивающей высокий комплекс механических свойств. Присутствие в структуре значительной объемной доли аустенита, обладающего достаточным запасом пластичности, позволяет существенно снизить внутренние напряжения на границе раздела «покрытие – основной металл», возникающие в процессе формирования покрытия вследствие различия температурных коэффициентов термического расширения, что, в свою очередь, приводит к повышению прочности сцепления покрытия с основным металлом. Наличие данного типа структуры, а также образование в покрытии аустенита позволяет использовать данные композиции в условиях воздействия умеренных ударных (динамических) нагрузок.

Список литературы

1. Чёсов Ю.С., Зверев Е.А., Плохов А.В. Структура плазменных износостойких покрытий из порошкового материала марки ПГ-С27 // Обработка металлов. – 2010. – № 1(46). – С. 14–18.
2. Чёсов Ю.С., Зверев Е.А., Плохов А.В. Эксплуатационные свойства плазменных покрытий из износостойкого порошкового материала марки ПГ-С27 // Обработка металлов. – 2010. – № 2 (47). – С. 8–12.
3. Лобанов Н.Ф., Козлов А.М. Оперативная оценка основных технологических параметров процесса плазменного напыления защитных покрытий // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2008. – Ч. 1. – С. 205–209.
4. Пузряков А.Ф. Теоретические основы плазменного напыления. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 360 с.

ОСОБЕННОСТИ РАЗРУШЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА «АЛЮМИНИЙ – УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ»

*А.Ю. ОГНЕВ, аспирант, И.С. ЛАПТЕВ, магистрант,
В.В. БАЗАРКИНА, магистрант, А.М. ТЕПЛЫХ, аспирант
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Статья поступила 25 октября 2010 г.

Лаптев И.С. – 630092, Новосибирск, пр.К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: ilya_laptev_nstu@mail.ru

Работа посвящена исследованию структуры и свойств композиционного материала на основе алюминия, армированного малыми добавками многослойных углеродных нанотрубок. В качестве технологии компактирования использована горячая прокатка с последующим двухступенчатым спеканием. Изучены особенности разрушения скомпактированных материалов. Определены показатели предела прочности при статическом растяжении образцов с различным содержанием наночастиц. Результаты электронно-микроскопических исследований поверхностей разрушения композита свидетельствуют о неравномерном распределении упрочняющей фазы в объеме композиционного материала.

Ключевые слова: алюминий, углеродные нанотрубки, металлический композиционный материал.

The paper is devoted to investigation of the structure and properties of aluminium composite material, reinforced small weight percents of multiwall carbon nanotubes. Hot rolling with following two-stage sintering was used as the compaction technology. The destruction character of compacted materials has been studied. The tensile strength of test samples with different nanoparticle contents has been defined. The results of electron microscopy of the fracture surfaces composites indicate irregular distribution of hardening phase at composite volume.

Key words: aluminium, carbon nanotubes, metallic composite material.

Особенности эксплуатации многих проектируемых конструкций требуют применения материалов с особыми механическими свойствами. Часто конструкторы ориентируются на использование высокопрочных материалов, обладающих малой плотностью. В настоящее время в промышленном производстве широко применяются конструкционные материалы на основе алюминия. В последние годы активно проводятся исследования по созданию композиционных материалов, армированных углеродными нанотрубками. Использование в качестве упрочняющей фазы высокомодульных наноуглеродных волокон лежит в основе разработки технологических процессов формирования композиционных материалов с высоким уровнем физико-механических свойств [1, 2]. Результаты работы [1] свидетельствуют о возможности повышения прочностных характеристик алюминия за счет введения в него углеродных нанотрубок и компактирования по технологии многократной прокатки и последующего спекания. Цель работы заключалась в применении данной технологии для формирования композита на основе порошкового алюминия и многослойных углеродных нанотрубок.

В исходном состоянии размер частиц алюминия составлял ~100...200 мкм. В качестве армирующего элемента использовали многослойные углеродные нанотрубки (МУНТ), полученные методом осаждения из газовой фазы на Fe-катализатор. Содержание углеродных нанотрубок в композитах было равным 0,1; 0,5; 1 и 2 % (вес.). Длина нанотрубок составляла 5...20 мкм, наружный диаметр – 20...150 нм (рис. 1). С целью повышения степени взаимодействия между нанонаполнителем и алюминиевой матрицей поверхность нанотрубок подвергали химической активации смесью азотной и серной кислот.

Порошковую смесь перемешивали лопастным смесителем с частотой вращения 3000 об/мин в присутствии этилового спирта. Компактирование материала, предварительно помещенного в медную оболочку, осуществлялось методом четырехкратной прокатки со степенями деформации 50, 30, 20 и 25 %. Температура прокатки составляла 300 °С. Предварительное спекание композиционного материала в медной оболочке проводили при температуре 300 °С с выдержкой 3 ч в вакууме. Окончательное спекание заготовок без оболочки производилось в течение 5 ч в вакууме

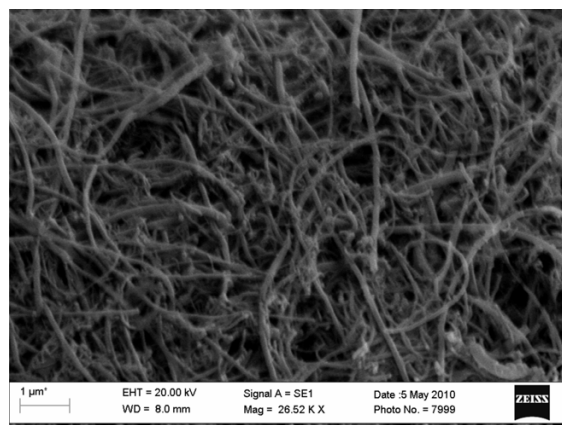
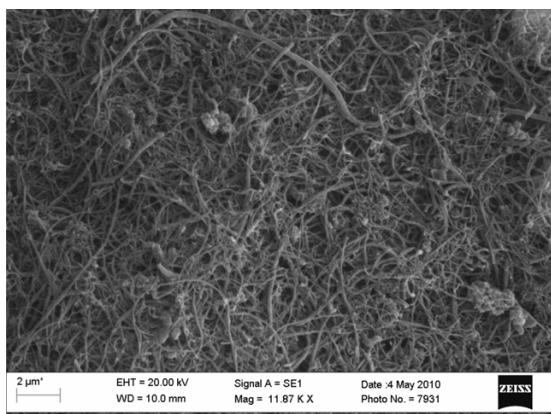


Рис. 1. Углеродные нанотрубки, полученные методом химического осаждения из газовой фазы

при температуре 550 °С. В процессе компактирования по описанным режимам формировались пластины из композиционного материала толщиной 1,1...1,2 мм.

Структурные исследования выполняли с применением металлографического микроскопа AxioObserver A1m и рентгеновского дифрактометра ARL X'TRA. Для проведения прочностных испытаний использовали установку Instron модели 3369. Габариты образцов составляли 60 x 15 x 1 мм. Характер разрушения исследовали на растровом электронном микроскопе Carl Zeiss 1540 CrossBeam.

Структура спеченного алюминия, содержащего углеродные наночастицы, после химического травления представлена на рис. 2. Отчетливо наблюдаются микрообъемы алюминия, вытянутые в направлении прокатки. Анализ результатов рентгеноструктурных

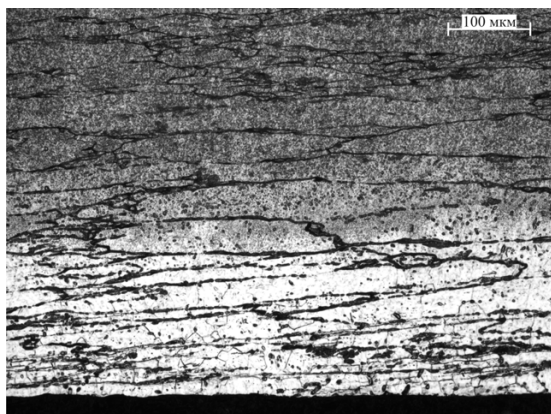


Рис. 2. Металлографическое изображение поперечного шлифа алюминиевого композиционного материала, содержащего 0,5 % (вес.) углеродных нанотрубок

исследований свидетельствует о том, что после спекания в медной оболочке на поверхности скомпактированных посредством прокатки заготовок образуются оксиды типа Cu_2O (рис. 3). Эта фаза наблюдается в поверхностных слоях глубиной до 150 мкм. Появление новой структуры в алюминии вызвано диффузией меди из оболочки при спекании. После спекания отмеченный слой механически удалялся.

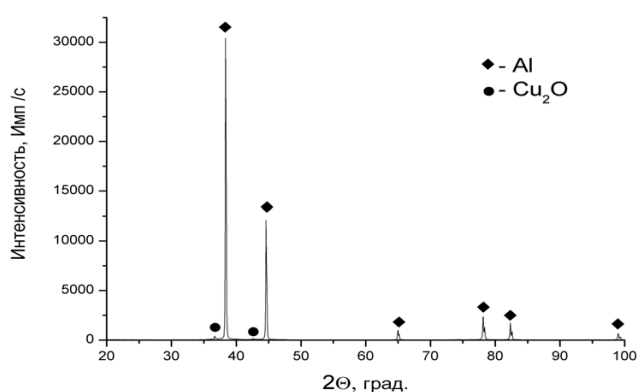


Рис. 3. Рентгенограмма, соответствующая композиту «Al – МУНТ»

Результаты механических испытаний представлены на рис. 4. Анализ экспериментальных данных, полученных по порошковой технологии материалов, свидетельствует о том, что увеличение содержания наночастиц углерода приводит к снижению предела прочности.

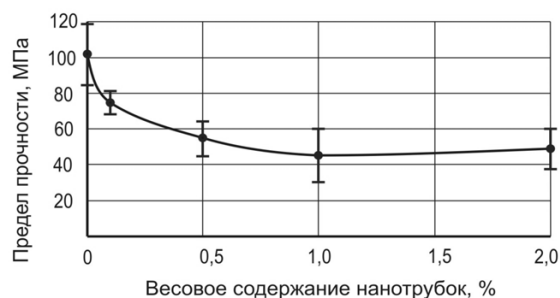
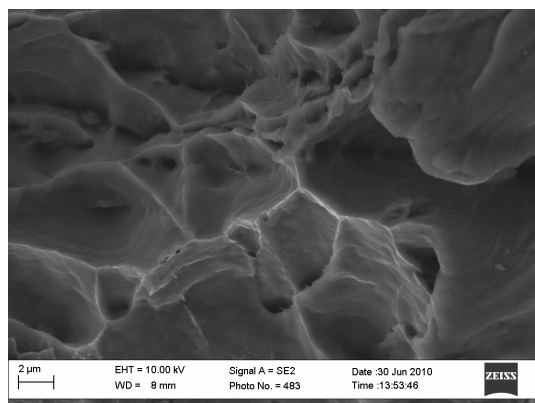
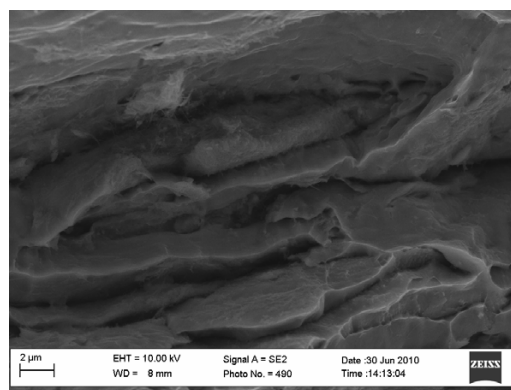


Рис. 4. Зависимость предела прочности композиционного материала на основе алюминия от весового содержания многослойных углеродных нанотрубок

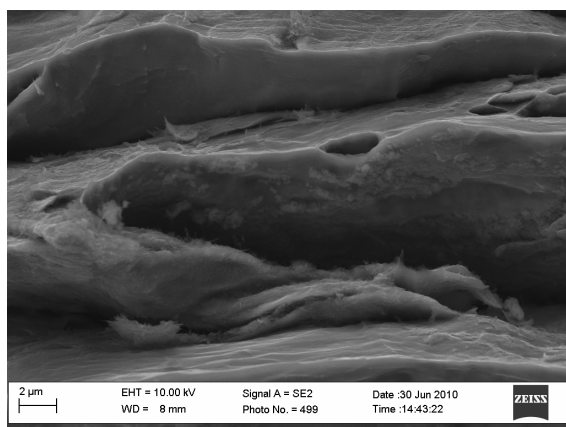
Падение прочности, происходящее уже при концентрации нанотрубок 0,5 %, можно объяснить наличием дефектов, связанных с расслоением композиционного материала. Анализ поверхности излома свидетельствует о разрушении композиционного материала по межфазным границам. Расслоение на-



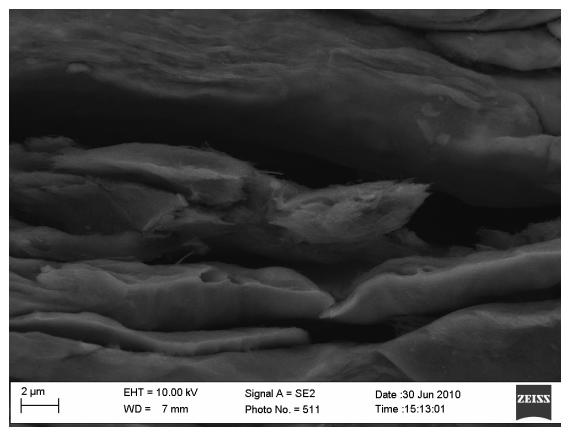
а



б



в



з

Рис. 5. Морфология поверхности разрушения образцов алюминия, содержащих: 0 % вес. МУНТ (а); 0,1 % вес. МУНТ (б); 0,5 % вес. МУНТ (в); 1 % вес. МУНТ (з)

блюдается даже при малых содержаниях нанотрубок (рис. 5, б). Присутствие углеродных нанотрубок, располагающихся по границам частиц алюминия, приводит к снижению адгезионной прочности. Увеличение содержания углеродных наночастиц инициирует процесс расслоения композиционных материалов (рис. 5 в, з). На поверхностях разрушения наблюдаются конгломераты нанотрубок, выступающие в роли дефектов в композиционном материале.

В ходе данной работы был успешно применен технологический процесс получения композиционных материалов на основе алюминия с добавками углеродных нанотрубок, включающий четырехкратное обжатие со степенями деформации 50, 30, 20 и 25 % при 300 °С. При дальнейших исследованиях с целью формирования более плотной структуры необходимо повысить степень обжатия заготовок и температуру их прокатки. Эффективным способом получения высокоплотных заготовок может быть также применение технологии горячей экструзии гетерофазного материала.

Выводы

С целью формирования эффективной структуры порошковых компактов целесообразен поиск оптимальных соотношений между размерами частиц

матричного материала и содержанием углеродных наночастиц. Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что для исследуемого материала, основанного на применении порошка алюминия с размером частиц 100...200 мкм, содержание углеродных нанотрубок не должно превышать 0,1 % (вес.).

Установлено, что наиболее слабым местом в исследуемых композициях являются границы раздела между частицами алюминия. Углеродные нанотрубки, располагаясь на поверхности частиц, затрудняют процесс их спекания. В результате не устанавливается прочная связь между отдельными элементами матричного материала. На поверхностях изломов наблюдаются отдельные нанотрубки, не связанные с алюминиевой матрицей. Очевидно, что повышение комплекса механических свойств проектируемого композита может быть достигнуто только в том случае, если будет обеспечена прочная связь между матричным материалом и вводимыми в него наночастицами.

Список литературы

- Esawi A., Borady M.* Carbon nanotube-reinforced aluminum strips // *Composites, science and technology*. – 2007. – № 68. – С. 486 – 492.
- Tjong S.C.* Carbon nanotube reinforced composites. – Wiley-VCH, 2009. – 228 с.

ОБРАЗОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ МАРТЕНСИТНОЙ СТРУКТУРЫ В ПРОЦЕССЕ ЗАКАЛКИ СТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА, ВЫВЕДЕННОГО В АТМОСФЕРУ¹

*Е.А. ДРОБЯЗ, канд. техн. наук,
В.А. БАТАЕВ, доктор техн. наук, профессор,
В.Г. БУРОВ, канд. техн. наук, профессор,
А.М. ТЕПЛЫХ, аспирант
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Статья поступила 15 ноября 2010 г.

Дробяз Е.А. – 630092, Новосибирск, пр.К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: drobyaz@yandex.ru

Исследовано влияние режимов вневакуумной электронно-лучевой закалки на образование дефектов в поверхностном слое углеродистых сталей. Металлографическим и электронно-микроскопическим методами структурных исследований установлено, что один из наиболее опасных дефектов обусловлен перегревом поверхностной зоны до температур, близких к точке солидуса или превышающих ее.

Ключевые слова: вневакуумная электронно-лучевая обработка, дефекты структуры, углеродистые стали.

The influences of the modes of atmospheric electron-beam hardening on the formation of defects in the surface layer of carbon steels are investigated. Metallographic and electron microscopic methods of structural studies have established that one of the most dangerous defects caused by overheating of the surface zone to temperatures close to the point of the solidus or exceeds it.

Key words: atmospheric electron beam treatment, defects of structure, carbon steels.

Из совокупности методов упрочнения сталей, основанных на использовании процессов высокоэнергетического воздействия на поверхность заготовки, следует особо выделить закалку электронным лучом, выведенным в воздушную атмосферу [1]. Этот процесс может быть эффективно реализован с использованием промышленного ускорителя электронов ЭЛВ-6 производства Института ядерной физики СО РАН. Высокая мощность ускорителя (до 100 кВт) в совокупности с устройством вывода электронов в воздушную атмосферу позволяет с высокой производительностью обрабатывать длинномерные крупногабаритные изделия.

Благодаря высокоскоростному нагреву до температуры аустенитного состояния и последующему быстрому отводу тепла нижележащими слоями происходит закалка сталей, сопровождающаяся резким ростом значений твердости. Таким образом, могут быть упрочнены слои толщиной до 1 мм и более. Метод ориентирован преимущественно на упрочнение деталей, подвергаемых различным видам износа.

При разработке режимов закалки сталей методами, основанными на высокоэнергетическом воз-

действии на поверхностный слой, обычно ставится задача формирования мелкокристаллической структуры мартенсита и обеспечения высокого уровня твердости. Предполагается, что структура мелкокристаллического пересыщенного твердого раствора углерода в α -железе должна создать условия для осуществления хорошего сочетания прочностных свойств и трещиностойкости. Однако при реализации некоторых задач было установлено, что вневакуумная электронно-лучевая закалка может способствовать хрупкому выкрашиванию поверхностного слоя упрочненных деталей, подвергнутых контактно-усталостному нагружению.

Цель данной работы состоит в выявлении причин чрезмерного охрупчивания поверхностных слоев стальных заготовок, упрочненных методом вневакуумной электронно-лучевой закалки.

В качестве объектов исследования использовали отожженную сталь У8 (0,83 % С; 0,33 % Мn; 0,21 % Si; 0,02 % S; 0,025 % Р) и стали эвтектоидного состава, легированные микродобавками титана и ниобия в количестве 0,06 и 0,1 %. В исходном состоянии

¹ Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 – 2013 годы»

стали имели структуру грубопластинчатого перлита (отжиг при 900 °С). Электронно-лучевая закалка сталей выполнялась в Институте ядерной физики СО РАН на промышленном ускорителе электронов ЭЛВ-6 по следующим режимам: ток пучка электронов $I = 12 \dots 20$ мА; скорость перемещения образцов относительно электронного пучка $v = 70$ мм/с; расстояние от выпускного окна до образца $H = 130$ мм; энергия пучка $E = 1,4$ МэВ. Структурные исследования сталей выполняли с использованием светового микроскопа Axio Observer A1m и растрового микроскопа EVO 50 XVP фирмы «Carl Zeiss».

Процесс электронно-лучевого поверхностного упрочнения сопровождается объемным вводом энергии во внутренние слои металла. При этом микрообъемы, находящиеся на разном расстоянии от поверхности, нагреваются до различных температур, причем скорости нагрева и охлаждения этих микрообъемов тоже разные. Таким образом, в процессе высокоэнергетического воздействия формируется градиентная структура, каждый «слой» которой по условиям образования отличается от соседнего. Соответственно механические свойства этого слоя по глубине имеют существенные различия.

Показано, что технологические режимы вневакуумной электронно-лучевой закалки обеспечивают закалку углеродистых сталей на глубину $\sim 0,7 \dots 0,9$ мм. Одна из основных особенностей, характерных для электронно-лучевого нагрева сталей, заключается в уменьшении величины аустенитного зерна с удалением от поверхности в глубь формируемого слоя (рис. 1). Объясняется это тем, что температура нагрева глубоколежащих слоев ниже, чем поверхностных микрообъемов. Однако даже в слоях, лежащих близко к поверхности и нагретых по этой причине до высоких температур, из-за кратковременности нагрева размер аустенитного зерна не успевает существенно вырасти. Структура мартенсита, формируемая из мелкого аустенитного зерна, с позиции влияния на механические свойства стали является весьма благоприятной [2–4].

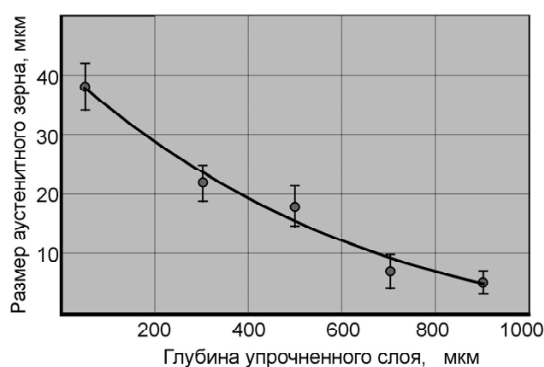


Рис. 1. Изменение размера бывшего аустенитного зерна по глубине упрочненного слоя

Часто, реализуя методы закалки сталей, основанные на высокоскоростном нагреве поверхностных слоев и последующем отводе тепла нижележащим объемом, основное внимание уделяют таким параметрам, как скорость нагрева и охлаждения металла, глубина и твердость закаленной зоны. Контроль температуры в быстро нагреваемых и охлаждаемых поверхностных слоях является очень сложной технической задачей и обычно не проводится. Указанное обстоятельство позволяет полагать возможным нагрев поверхностного слоя до температур, существенно превышающих температуру аустенизации при реализации печного нагрева стали. Повышение температуры нагрева стали способствует увеличению скорости и степени растворения избыточной фазы. Однако одновременно с ускорением процесса гомогенизации аустенита проявляются и негативные факторы, связанные с ростом аустенитного зерна, перегревом и даже пережогом металла.

Металлографически было обнаружено, что после обработки током $I = 16$ мА в структуре мартенсита имеют место признаки пережога материала. Визуально дефект этого типа обнаруживается по наличию утолщений границ зерен аустенита. На полученных снимках дефекты зеренной структуры заметны в виде темных прерывистых или замкнутых выделений (рис. 2). При внимательном изучении признаки пережога, выражающиеся в повышенной травимости границ бывшего аустенитного зерна, обнаруживаются на глубине до $\sim 50 \dots 100$ мкм. Химический анализ подтверждает наличие кислорода в темных выделениях по границам зерен (рис. 3). Присутствие кислорода свидетельствует о его интенсивной диффузии при повышенных температурах с образованием тонких пленок окислов, которые снижают прочность зернограничного материала.

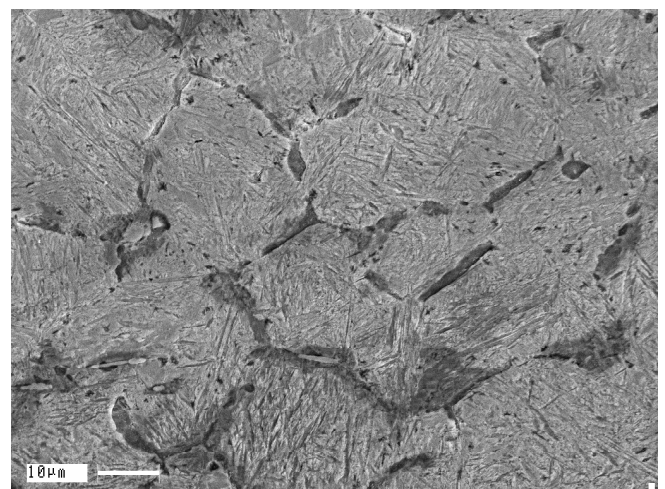


Рис. 2. Образование дефектов по границам аустенитных зерен (пережог) после вневакуумной электронно-лучевой обработки

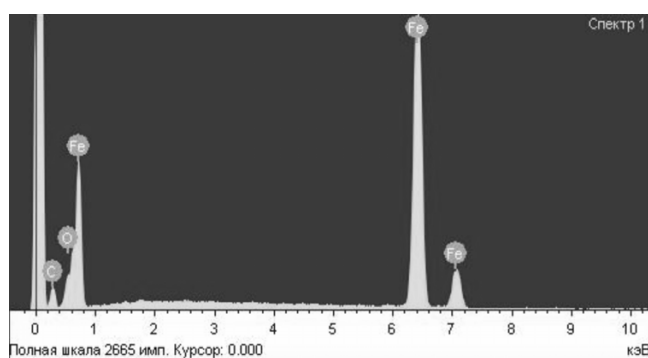
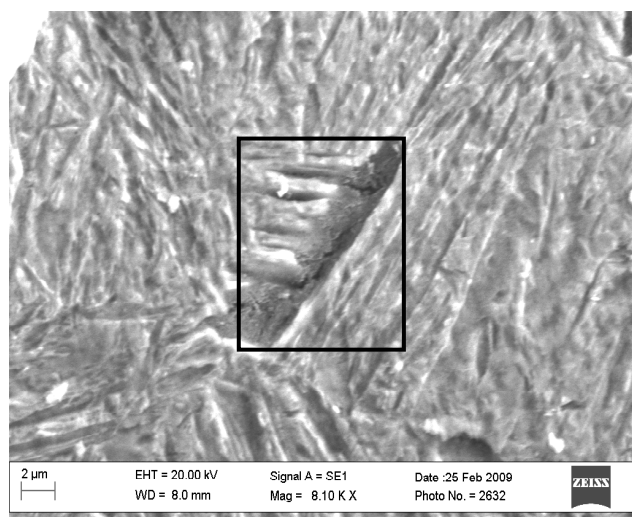


Рис. 3. Пережог стали У8 после вневакуумной электронно-лучевой обработки

Возможности микроскопа EVO 50 XVP позволили зафиксировать на некоторых дефектах характерные микротрещины (рис. 3). Их происхождение связано с повышенной хрупкостью зернограницных дефектов и наличием механических напряжений закалочного происхождения. Следует особо подчеркнуть, что микротрещины наблюдались на объектах, не подвергавшихся механическому воздействию. Таким образом, уже после вневакуумной электронно-лучевой обработки в некоторых микрообъемах упрочненного слоя существуют дефекты структуры в виде трещин. С большой долей уверенности можно предполагать, что предпосылки разрушения зон пережога существуют даже в тех участках, в которых видимых микронесплошностей непосредственно после облучения не было.

Анализ причин охрупчивания поверхностных слоев свидетельствует о том, что снижение трещиностойкости закаленного слоя связано не только с образованием высокопрочного мартенсита и наличием напряжений закалочного происхождения. На полученных электронно-микроскопических снимках заметны явные признаки камневидного излома (рис. 4). Разрушение стали по границам зерен во многих местах выявляет их характерную огранку. Гладкий характер изломов свидетельствует о том, что образование новых поверхностей было связано с малыми затратами

внешней энергии. Следует отметить, что разрушение сопровождается образованием в некоторых местах трещин – сателлитов, направленных под некоторым углом к поверхности разрушения. Продвигаются эти трещины в глубь материала по границам бывших аустенитных зерен. Такой вид излома является одним из наименее энергоемких, т.е. наиболее опасных. При реализации механизма интеркристаллитного разрушения энергоемкость процесса определяется не характеристиками самого металла, а свойствами ослабленных границ зерен поликристалла.

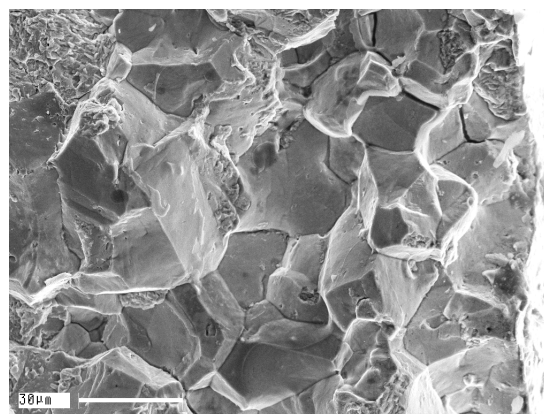


Рис. 4. Поверхность разрушения стали У8, упрочненной электронным лучом

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при выполнении вневакуумной электронно-лучевой обработки необходимо тщательно контролировать максимальный уровень температуры, достигаемой в упрочненном слое. Единственным методом, позволяющим решить эту задачу, является математическое моделирование процесса нагрева. Расчетные кривые нагрева и охлаждения стали У8 при вневакуумной электронно-лучевой обработке для различных режимов представлены на рис. 5. Анализ представ-

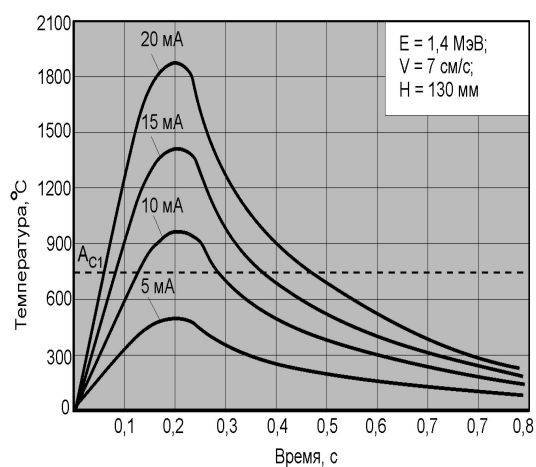


Рис. 5. Кривые нагрева и охлаждения поверхности стали У8 при вневакуумной электронно-лучевой обработке с различными значениями тока электронного пучка

ленных кривых свидетельствует о том, что с целью избежания пережога при указанных условиях обработки сила тока не должна превышать 15 мА. При такой обработке температура на поверхности объекта не превышает 1400 °С. Повышение силы тока приводит к увеличению температуры облучаемых слоев металла. Это означает, что верхний слой стали подплавляется. Соответственно в металле имеет место пережог.

Выводы

1. Установлено, что наиболее опасный дефект поверхностных слоев, полученных путем вневакуумной электронно-лучевой закалки, обусловлен перегревом поверхностной зоны до температур, близких к точке солидуса или превышающих ее. Даже кратковременный перегрев стали длительностью менее одной секунды приводит к образованию по границам зерен хрупких пленочных выделений, разрушающихся под действием закалочных напряжений, т.е. еще до начала эксплуатации упрочненного изделия.

2. Анализ результатов фрактографических исследований свидетельствует о том, что возникающие в процессе вневакуумной электронно-лучевой обработки напряжения закалочного характера способствуют зарождению и распространению микротрещин по границам бывших аустенитных зерен.

3. Экспериментально подтверждены результаты математического моделирования процессов нагрева и охлаждения поверхностных слоев стали У8. Показано, что при указанных условиях обработки сила тока не должна превышать 15 мА. Такие режимы обеспечивают ускоренный нагрев и охлаждение материала без проявления эффекта пережога.

Список литературы

1. *О поверхностной закалке стали концентрированным электронным пучком в атмосфере: препринт № 88-73 / А.Ф. Вайсман, С.Б. Вассерман, М.Г. Голковский, В.Д. Кедо, Р.А. Салимов.* – Новосибирск, 1988. – 32 с.
2. *Тушинский Л.И.* Влияние высокоскоростного нагрева на однородность структуры поверхностных слоев углеродистых сталей / Л.И. Тушинский, Е.А. Батаева // *Обработка металлов.* – 2005. – № 4 (29). – С. 29–31.
3. *Шипко А.А.* Упрочнение сталей и сплавов с использованием электронно-лучевого нагрева / А.А. Шипко. – Минск: Наука и техника, 1995. – 280 с.
4. *Особенности разрушения поверхностного слоя стали, перегретого электронным лучом / Е.А. Батаева, В.Г. Буров, В.А. Батаев // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия.* – 2006. – № 12. – С. 60.

ГРАФИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ БАКАЛАВРА ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ «КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА»

*Н.Г. ИВАНЦИВСКАЯ, канд. пед. наук, доцент,
В.Н. ПУШНИН, студент,
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Статья поступила 18 ноября 2010 г.

630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, Новосибирский государственный
технический университет, e-mail: graph@graph.power.nstu.ru

Статья посвящена повышению качества образования на первой ступени высшего профессионального образования посредством организации образовательного процесса с применением информационных технологий.

Ключевые слова: инженерная и компьютерная графика, компетенции, машиностроение.

Article is devoted to improvement of quality of education at the first step of the supreme vocational training by means of the organization of educational process with application of information technologies.

Key words: engineering and computer graphics, educational competences, mechanical engineering.

Федеральный государственный образовательный стандарт (ФГОС) высшего профессионального образования третьего поколения по направлению подготовки «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительного производства» определяет общекультурные и профессиональные компетенции, которыми должен владеть выпускник вуза. В образовательном стандарте все дисциплины объединены по циклам, в рамках которых могут быть сформированы обозначенные компетенции: гуманитарный, социальный и экономический цикл, математический и естественно-научный цикл и профессиональный цикл. В каждом цикле есть базовая и вариативная часть. В отличие от стандарта предыдущего поколения в ФГОС нет отдельно выделенного цикла общепрофессиональных дисциплин, а есть цикл профессиональный, содержащий базовую (общепрофессиональную) часть. Среди прочих дисциплин в эту базовую (общепрофессиональную) часть входит дисциплина «Начертательная геометрия и инженерная графика», которая направлена, прежде всего, на формирование графического образования выпускника.

В результате освоения инженерной графики у студента формируются общекультурные и общепрофессиональные компетенции:

– способность использовать современные информационные технологии при проектировании машиностроительных изделий, производств;

– способность разрабатывать на основе действующих стандартов техническую документацию (в электронном виде) для регламентированного экс-

плуатационного обслуживания средств и систем машиностроительных производств;

– способность разрабатывать проектную и техническую документацию машиностроительных производств, оформлять законченные проектно-конструкторские работы;

– способность выполнять работы по моделированию продукции и объектов машиностроительных производств с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования.

Необходимость включения компетентного подхода в систему образования в России обусловлена его широким распространением во всем мире и сменой образовательной парадигмы, ориентированной на становление компетентности, эрудиции, творчества и культуры личности. Компетенции не противостоят стандартам предыдущего поколения, в которых уровень образованности выпускника вуза определялся его знаниями, умениями и навыками. Понятие «компетенция» шире понятий «знания», «умения» или «навыки» и отличается уровнем образованности выпускника вуза. Рассматривая проблему компетентного представления результата образования, многие ученые (Дж. Веллингтон, У. Древис, Э. Фурман, О. Е. Лебедев и др.) оперируют понятием грамотности. Различают грамотность элементарную и функциональную, а также компетентность. Результат образования, оцениваемый по такой шкале, характеризуется разным уровнем решения обозначенных проблем. Элементарная гра-

мотность предполагает выбор решения проблемы на основе заданных критериев, функциональная грамотность – на основе критериев соответствия правилам и нормам, а компетентность – теоретически обоснованный многокритериальный выбор решения проблемы.

Задачи современного образования и смысл перехода на двухступенчатую систему заключаются в том, чтобы подготовить за очень короткий срок, всего за четыре года, специалиста (бакалавра), способного полноценно работать на предприятиях машиностроения в качестве инженера. Деятельность выпускников вузов, обучающихся по данному направлению, должна соответствовать требованиям ФГОС и связана с применением новых современных информационных средств подготовки машиностроительного производства и поддержки жизненного цикла изделия, начиная с автоматизации проектно-конструкторских работ, компьютерного моделирования и заканчивая рекомендациями по утилизации выпускаемого изделия.

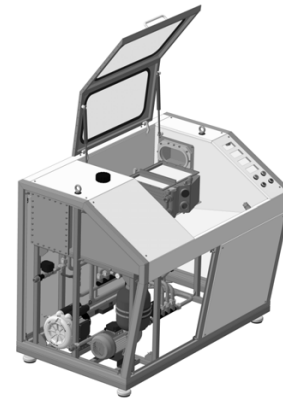
Введение компетенций как оценки результата образования предполагает комплексную оценку полученного образования и направлено на повышение уровня инженерного образования в России. С этой целью в образовательном стандарте третьего поколения рекомендовано широкое применение активных и интерактивных форм проведения учебных занятий (деловые и ролевые игры, компьютерные симуляции и прочее). В рамках учебных планов должны быть предусмотрены мастер-классы экспертов, специалистов российских и зарубежных предприятий, что предполагает тесное сотрудничество с представителями предприятий машиностроительной отрасли.

Сотрудничество и взаимодействие учебных и производственных структур может иметь разные формы. Одной из эффективных форм сотрудничества являются научно-образовательные центры, созданные при университетах и имеющие реальное современное металлообрабатывающее оборудование. Например, в Новосибирском государственном техническом университете создан центр коллективного пользования «Современные металлообрабатывающие технологии». В его состав входит лаборатория, оснащенная современными токарными и фрезерными станками с числовым программным управлением (ЧПУ), и образовательный центр по подготовке специалистов (бакалавров), оснащенный компьютерными симуляторами. Студенты, освоившие программу подготовки в этом центре, способны разработать управляющую программу для станков с ЧПУ на каждое конкретное изделие, а затем и изготовить его на этом оборудовании.

Другой формой сотрудничества с предприятиями является выполнение проектно-конструкторских работ и изготовление опытных образцов машиностро-

ительного оборудования по заданию предприятий на учебных занятиях или во внеаудиторное время (как самостоятельная работа) в рамках хоздоговорных работ. Эта одна из самых эффективных форм подготовки специалистов машиностроительного профиля, что доказано на практике привлечением студентов к выполнению таких работ.

Для оценки компетентностей, формируемых при освоении инженерной графики, профессиональная деятельность должна быть связана с разработкой реальных объектов машиностроительного производства, созданием 3d моделей и оформлением конструкторской документации. Так, на рисунке приведена трехмерная модель станда для промывки авиационных теплообменников. Работа выполнялась по заданию предприятия в рамках хоздоговорной работы студентом IV курса механико-технологического факультета НГТУ.



Графическое образование как составляющая профессиональной компетентности бакалавров, обучающихся по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительного производства», отвечает современным требованиям только в том случае, если созданы условия и в вузе, и на предприятиях машиностроения для развития способностей студентов, что означает:

- отбор содержания, методов и форм организации образовательного процесса в соответствии с компетентным подходом обучения, с учетом способностей и интересов каждого студента;
- обеспеченность учебных лабораторий современным технологическим оборудованием и информационными системами, в том числе графическими;
- высокий уровень владения преподавателями и инженерно-техническими работниками предприятий информационной, графической и проектной культурой;
- четко спланированное и скоординированное взаимодействие образовательных учреждений и производства на взаимовыгодных условиях с учетом потребностей и способностей студентов.



ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

технология • оборудование • инструменты

ИНФОРМАЦИЯ О ПОДПИСКЕ НА ЖУРНАЛ «ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ»

Подписка на журнал осуществляется по каталогу «Роспечать» (индекс 70590).

Периодичность издания журнала – 4 номера в год (1 номер в квартал)

РАСЦЕНКИ НА РАЗМЕЩЕНИЕ РЕКЛАМЫ В ЖУРНАЛЕ «ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ» (С УЧЕТОМ НДС)

Обложка (цв.):

2-я и 3-я полосы, формат А4 – 10 000 руб.

4-я полоса, формат А4 – 12 000 руб.

ПРИМЕЧАНИЯ: публикация рекламы на 4-й странице обложки - надбавка 20 %, стоимость рекламной статьи - 2000 руб. за полосу

АДРЕС РЕДАКЦИИ: 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), корп. 5, к. 274, Тел.: (383) 346-17-77, E-mail: obrmet@ngs.ru

РЕКВИЗИТЫ: ИНН 5404105174 КПП 540401001
УФК по Новосибирской области (НГТУ л/с 03511128270)
Р/с 40503810300001000001 ГРКЦ ГУ Банка России по Новосибирской обл.
г. Новосибирск БИК 045004001

В НАЗНАЧЕНИИ ПЛАТЕЖА ОБЯЗАТЕЛЬНО УКАЗЫВАТЬ:

КБК 07330201010010000130 ИСТ.01042
Центр УГИС, информационные услуги

ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ РУКОПИСИ И РЕКЛАМЫ

1. Статья и сопровождающие материалы предоставляются в редакцию на электронном носителе (диск, дискета) в формате Microsoft Word для Windows с распечаткой всех материалов или электронной почтой.
2. Текст статьи должен быть напечатан на бумаге формата А4 в двух экземплярах через 1,5 интервала, шрифт Times New Roman 14. Объем статьи – не более 10 стр., включая таблицы и рисунки; число рисунков не более 5.
3. Статья содержит: индекс УДК, название статьи, авторы, ученая степень, ученое звание, название учреждения, город, аннотация, ключевые слова, основной текст, список литературы. К статье прилагается оригинал экспертного заключения о возможности публикации, высылаемый почтой на адрес редакции
4. На отдельном листе для предоставления сведений в РИНЦ указываются следующие данные в приведенной ниже последовательности:
 - a) индекс УДК;
 - b) название статьи;
 - c) фамилия, имя, отчество каждого автора;
 - d) место работы каждого автора в именительном падеже;
 - e) контактная информация (почтовый адрес, E-mail при наличии);
 - f) аннотация;
 - g) ключевые слова;
 - h) список литературы.

На **английском языке**: пункты b, c (фамилия, инициалы), f, g.
5. Оригинал-макеты рекламы принимаются в электронной версии (с обязательной распечаткой) в формате CorelDraw или Photoshop. В CorelDraw текст должен быть преобразован в кривые.
6. Плата за опубликование рукописей аспирантов не взимается.

9-я Всероссийская научно-практическая конференция
«ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ
В ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ»
23 марта 2011 г.

Конференция проводится 23 марта 2011 г. с 11.00 до 16.00 часов в рамках Международной выставки «Машиностроение. металлообработка. Сварка. металлургия» (МВЦ «ИТЕ Сибирская Ярмарка», 22–25 марта 2011 г.) по адресу: Россия, 630049, г. Новосибирск, Красный проспект, 220, корп. 10, конф.-зал N 1.

Тематика конференции:

- современное состояние станочного парка и приоритетные направления его модернизации;
- проектирование и конструирование перспективного технологического оборудования и металлообрабатывающего инструмента;
- совершенствование технологий механической и физико-технической обработки, материалы;
- экономика и организация инновационных процессов в промышленности.

Организаторы конференции:

Новосибирский государственный технический университет, ОАО НПТ и ЭИ «Оргстанкинпром», ООО НПФК «Машсервисприбор», научно-технический и производственный журнал «Обработка металлов», МВЦ «ИТЕ Сибирская Ярмарка», Кузбасский государственный технический университет, Кузбасское региональное отделение РАЕ, ОАО «Первый Кемеровский авторемонтный завод», Сибирский государственный индустриальный университет, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Бийский технологический институт АлтГТУ им. И.И. Ползунова, Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томский политехнический университет

Организационный комитет

Сопредседатели оргкомитета:

Батаев А.А., главный редактор научно-технического и производственного журнала «Обработка металлов», профессор, д.т.н., проректор НГТУ (г. Новосибирск):

Коротков А.Н., академик РАЕ, профессор, д.т.н., зав. каф. КузГТУ (г. Кемерово).

Члены оргкомитета: **Атапин В.Г.**, зам. главного редактора журнала «Обработка металлов», профессор, д.т.н., зав. кафедрой НГТУ (г. Новосибирск), **Афанасьев В.К.**, академик РАЕН, профессор, д.т.н., зав. каф. СибГИУ (г. Новокузнецк), **Буров В.Г.**, профессор, к.т.н., декан механико-технологического факультета НГТУ (г. Новосибирск), **Герасенко А.Н.**, директор ООО НПФК «Машсервисприбор» (г. Новосибирск), **Гурьев А.М.**, профессор, д.т.н., зав. каф. АлтГТУ (г. Барнаул), **Кирсанов С.В.**, профессор, д.т.н., ТПУ (г. Томск), **Косов В.В.**, зам. ген. директора ОАО «Первый Кемеровский авторемонтный завод» (г. Кемерово), **Марков А.М.**, профессор, д.т.н., зав. каф. АлтГТУ (г. Барнаул), **Мещерякова Н.А.**, директор выставки, МВЦ «ИТЕ Сибирская Ярмарка» (г. Новосибирск), **Овчаренко А.Г.**, профессор, д.т.н., зав. каф. БТИ АлтГТУ (г. Бийск), **Скиба В.Ю.**, зам. главного редактора журнала «Обработка металлов», доцент, к.т.н., НГТУ (г. Новосибирск), **Татаркин Е.Ю.**, профессор, д.т.н., зав. каф. АлтГТУ (г. Барнаул).

Для участия в конференции и выпуска сборника тезисов докладов необходимо выслать в адрес Оргкомитета в срок до 1 марта 2011 г следующие материалы:

- заявку на участие, где указать фамилию, имя и отчество, должность, ученую степень, звание, название организации, адрес, телефон, факс, e-mail, необходимость предоставления гостиницы;
- тезисы доклада с указанием необходимого демонстрационного оборудования.

Требования к тезисам докладов:

- объем до трех машинописных страниц, MS Word для Windows, формат А4, поля – со всех сторон 2 см, шрифт Times New Roman 14, через один интервал. После названия статьи указываются инициалы, фамилия, должность, ученая степень и звание, место работы автора (авторов);
- формулы, графики и таблицы должны быть в формате текстового файла MS Word и Excel четкими, выполненными с использованием компьютерного набора;
- материалы высылаются электронной почтой.

Тезисы докладов будут изданы в авторской редакции отдельным сборником к началу конференции.

Адрес для направления тезисов докладов:

Россия, 630092, г Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, корп. 5, к. 274
 Новосибирский государственный технический университет,
 заместители главного редактора журнала «Обработка металлов»:
 Атапин Владимир Григорьевич,
 зав. кафедрой теоретической механики и сопротивления материалов,
 Скиба Вадим Юрьевич,
 доцент кафедры проектирования технологических машин,
 тел. (383) 346-17-77, 346-17-79, e-mail: obrmet@ngs.ru