

ОБРАБОТКА

ISSN 1994-6309

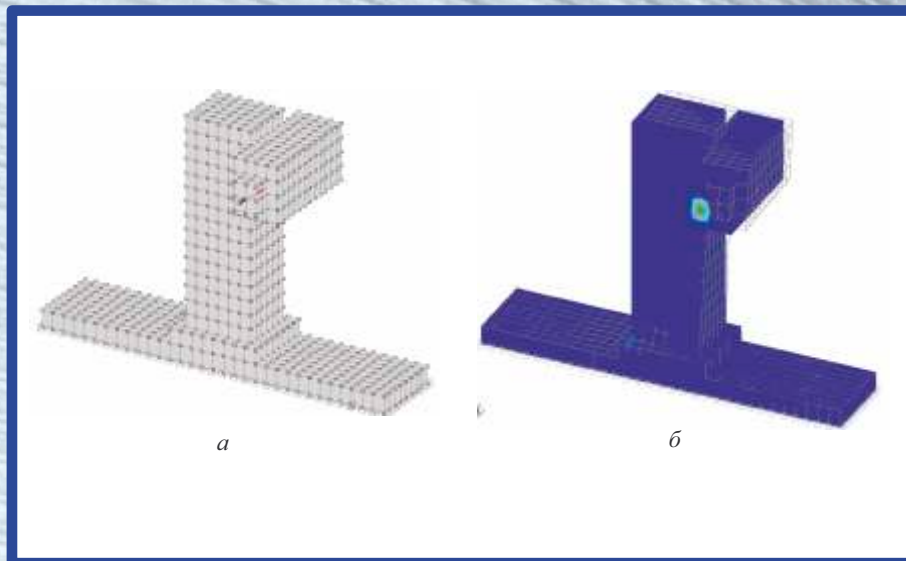
ОМ МЕТАЛЛОВ



№ 1(50)/2011

технология • оборудование • инструменты
научно-технический и производственный журнал

Технология Оборудование Инструменты Материаловедение



Исходное (а) и деформированное (б) состояние
несущей системы многоцелевого станка





ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

№ 1(50)/2011

технология • оборудование • инструменты
научно-технический и производственный журнал

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель совета

Пустовой Николай Васильевич – 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; **Рахимянов 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»

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Батаев Анатолий Андреевич – профессор,
доктор технических наук

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Атапин Владимир Григорьевич – профессор,
доктор технических наук

Буров Владимир Григорьевич – профессор,
кандидат технических наук
(технология, материаловедение)

Скиба Вадим Юрьевич – 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

- Рахимьянов Х.М., Красильников Б.А., Рахимьянов К.Х., Журавлев А.И., Гаар Н.П., Локтионов А.А.** Электрохимическая размерная обработка твердого сплава ВК8 в условиях лазерного воздействия 3
- Марков А.М., Лебедев П.В.** Определение величины крутящего момента при нарезании резьбы в высокопрочных композиционных полимерных материалах 8
- Чёсов Ю.С., Зверев Е.А., Попелюх А.И., Трегубчак П.В.** Шероховатость поверхности износостойких плазменных покрытий после финишной механической обработки.... 12

ОБОРУДОВАНИЕ. ИНСТРУМЕНТЫ

- Атапин В.Г.** Выбор конструктивных параметров базовых деталей многоцелевого станка на этапе проектирования 15
- Атапин В.Г., Войнова Е.В.** О моделях для расчета контактных деформаций при автоматизированном проектировании несущей системы многоцелевого станка 20
- Шашок А.В., Кутышкин А.В., Фролов Е.А., Кожемяко И.В.** Прогнозирование адгезионного износа лезвийного режущего инструмента 23
- Смагин Г.И., Филимоненко В.Н., Яковлев Н.Д., Корчагин М.А., Скиба В.Ю.** Шлифовальный инструмент на основе силикокарбида титана 27

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- Hassel T., Лизункова Я. С., Bach F.-W., Батаев А.А., Никулина А.А., Теплых А.М.** Структура и свойства сварных валиков, сформированных в подводном состоянии порошковой проволокой 31
- Открытие в Новосибирске научно-образовательного центра «Сварочные технологии НГТУ – KJELLBERG».... 38
- Правила для авторов 39

TECHNOLOGY

- Rakhimyanov Kh.M., Krasilnikov B.A., Rakhimyanov K.Kh., Zhuravlev A.I., Gaar N.P., Loktionov A.A.** Dimensional electrochemical machining of firm alloy BK8 in the conditions of laser influence 3
- Markov A.M., Lebedev P.V.** Definition of size of a twisting moment at carving manufacturing in high-strength polymeric composite materials 8
- Chosov Yu.S., Zverev E.A., Popelyukh A.I., Tregubchak P.V.** Roughness of a surface of wear-resistant plasma coatings after finishing machining 12

EQUIPMENT. INSTRUMENTS

- Atapin V.G.** Choice of design parameters of base details of the machining center at the design stage 15
- Atapin V.G., Voinova E.V.** About calculation models of contact deformations for automation design of carrier system of machining center 20
- Shashok A.V., Kutyshkin A.V., Frolov E.A., Kogemyko I.V.** Prediction of adhesive flank wear of the cutting tool 23
- Smagin G.I., Filimonenko V.N., Yakovlev N.D., Korchagin M.A., Skeebeba V.Y.** The grinding tool on a basis titanium silicon carbide 27

MATERIAL SCIENCE

- Hassel T., Lizunkova Y., Bach F.-W., Bataev A., Nikulina A., Teplykh A.** Structure and properties of beaded welds created under water by powder wire 31
- Opening science education center «Welding technology NSTU – KJELLBERG» 38
- Rules for authors 39

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

Подписано в печать 01.03.11. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.
 Усл. печ.л. 5,0. Уч.-изд. л. 9,3. Изд. № 41. Заказ 452. Тираж 1000 экз.

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

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ РАЗМЕРНАЯ ОБРАБОТКА ТВЕРДОГО СПЛАВА ВК8 В УСЛОВИЯХ ЛАЗЕРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ¹

*Х.М. РАХИМЯНОВ, доктор техн. наук, профессор
Б. А. КРАСИЛЬНИКОВ, канд. техн. наук, доцент,
К. Х. РАХИМЯНОВ, канд. техн. наук, доцент,
А. И. ЖУРАВЛЕВ, доцент, Н. П. ГААР, ассистент
А.А. ЛОКТИОНОВ, аспирант
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Статья получена 10 февраля 2011 г.

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

Проведены исследования по анодному растворению твердого сплава ВК8 в условиях лазерного воздействия длинами волн инфракрасного и видимого спектров излучения в двух наиболее распространенных электролитах – хлориде и нитрате натрия. Установлены параметры лазерного излучения, оказывающие наибольшее влияние на скорость электрохимического растворения.

Ключевые слова: поляризационные исследования, твердый сплав, лазерное излучение, пассивация, растворение.

ВВЕДЕНИЕ

Для обработки труднообрабатываемых материалов, в том числе и твердых сплавов, в последнее время используют электрофизикохимические методы, к которым относится и электрохимическая размерная обработка (ЭХРО). Однако недостатком данного метода является низкая скорость процесса. Так, при ЭХРО твердых сплавов снижение скорости анодного растворения обусловлено образованием на обрабатываемой поверхности окисных и окислых пленок, имеющих высокое омическое сопротивление [1], а также наличие диффузионных ограничений, связанных с низкой скоростью подвода реагирующих частиц к обрабатываемой поверхности и выноса продуктов реакции из зоны обработки [2].

Применение лазерного излучения для интенсификации скорости электрохимического растворения позволяет реализовать различные механизмы активации процесса. К ним относятся: гидравлический механизм, тепловой механизм, разрушение окисных и окислых пленок, увеличение скорости электрохимических реакций за счет фотохимических процессов [3, 4]. Этот способ активации электрохимической размерной обработки оказался действенным при обработке различных классов труднообрабатываемых

материалов, таких как титановые сплавы [5], нержавеющие стали [6]. Это позволяет предположить перспективность использования данного метода активации ЭХРО и для обработки твердых сплавов, в частности, сплава ВК8.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящей работе исследовано влияние параметров импульсного лазерного излучения с длинами волн 1,06 мкм и 0,53 мкм на процесс электрохимического растворения в диапазоне потенциалов от 0 до 5 В сплава ВК8 в двух наиболее распространенных в практике электролитах – водных 10 %-х растворах хлорида и нитрата натрия. Выбор отмеченных значений длин волн обусловлен результатами их использования в фотохимических процессах. Следует отметить, что длина волны 1,06 мкм относится к инфракрасной области спектра, а 0,53 мкм – к видимой. Известно, что излучение инфракрасной области спектра оказывает тепловое действие на химические реакции, а также вызывает их фотоактивацию. Воздействие излучения видимой части спектра наиболее влияет на фотодиссоциацию и фотосинтез веществ [7]. Выбор диапазона потенциалов определялся тем, что анод-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы», мероприятие 1.3.1 (проект П2571)

ное растворение большинства металлов и сплавов начинается при потенциале свыше 0 В. При потенциале, превышающем значение 5 В, начинается процесс газообразования на аноде, что существенно снижает эффективность лазерного воздействия на электрохимические процессы в зоне обработки. Плотность мощности лазерного излучения, использованного в исследованиях, выбрана таким образом, чтобы температура электролита в зоне обработки, рассчитанная по рекомендациям работы [8], была меньше температуры кипения электролита. Диапазоны частот следования импульсов (от 2 до 5 кГц – для хлорида натрия, и от 5 до 15 кГц – для нитрата натрия) были установлены в результате предварительных исследований, выявивших, что именно данный диапазон частот производит наибольшее влияние на интенсификацию ЭХРО сплава ВК8.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты экспериментальных исследований ЭХРО ВК8 в 10 %-х растворах хлорида и нитрата натрия без активации лазерным излучением получены в работе [1] и представлены на рис. 1.

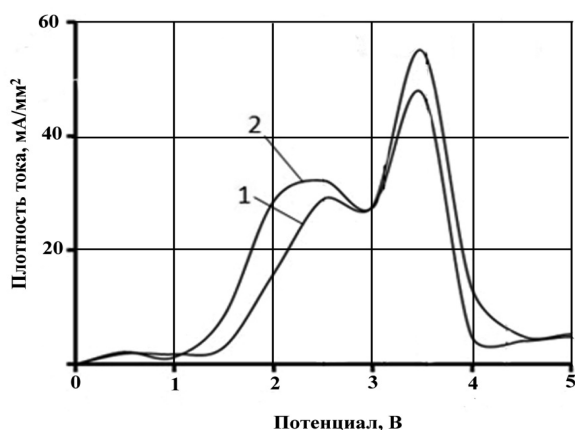


Рис. 1. Поляризационные кривые, полученные при помощи потенциодинамического метода для твердого сплава ВК8 при ЭХРО в 10 %-м водном растворе:

1 – хлорида натрия; 2 – нитрата натрия

На рис. 2 показаны результаты экспериментальных исследований ВК8 в 10 %-м водном растворе хлорида натрия при лазерной интенсификации ЭХРО длиной волны 0,53 мкм при плотности мощности $1,05 \cdot 10^6$ Вт/м² при различных частотах следования импульсов.

Анализ поляризационных кривых указывает на тот факт, что наложение лазерного излуче-

ния видимой части спектра в целом не изменяет общий характер анодного растворения материала, что подтверждается наличием на поляризационных кривых участков пассивного растворения. Однако достигаемые значения плотности тока при наложении лазерного излучения в несколько раз выше, чем при ЭХРО без активации процесса. Это свидетельствует об увеличении скорости электрохимического растворения, а следовательно, и об увеличении производительности обработки. Наибольшего значения плотность тока достигает при частоте следования импульсов 2,5 кГц. Уменьшение и увеличение частоты приводит к снижению производительности обработки.

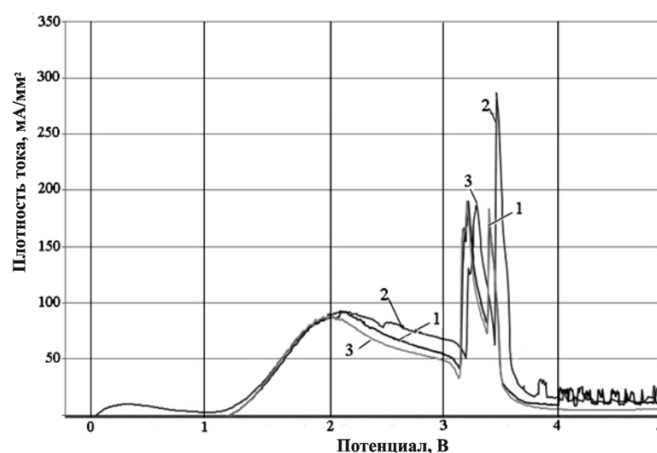


Рис. 2. Поляризационные кривые, полученные при помощи потенциодинамического метода для твердого сплава ВК8 в 10 %-м водном растворе хлорида натрия при лазерной интенсификации ЭХРО длиной волны 0,53 мкм при плотности мощности $1,05 \cdot 10^6$ Вт/м² и частоте следования импульсов:

1–2 кГц; 2–2,5 кГц; 3–5кГц

Исследования морфологии поверхности после активации ЭХРО лазерным излучением показало, что имеет место четко выделенная зона наложения лазерного излучения, характеризующаяся большим съемом материала (рис. 3, а). Это подтверждает как факт влияния лазерного излучения на ЭХРО, так и локальность его действия на анодное растворение материала, что позволяет сделать предположение: при данном методе активации процесса обработки лазерный луч может выступать в качестве рабочего инструмента. Это открывает новые перспективы данной комбинированной обработки. Металлографические исследования зоны обработки твердого сплава ВК8 после ЭХРО с лазерной активацией показали на отсутствие видимых окислых пленок в месте наложения лазерного излучения видимого спектра на обрабатываемую поверхность (рис. 3, б).

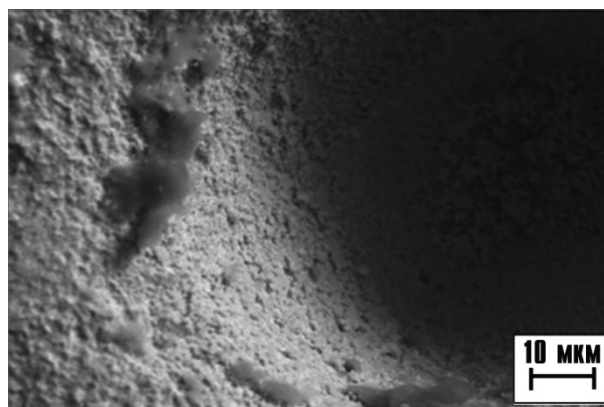


Рис. 3. Морфология поверхности твердого сплава ВК8 после ЭХРО с наложением лазерного излучения с длиной волны 0,53 мкм в 10 %-м водном растворе хлорида натрия:
 а – общий вид образца; б – в зоне наложения лазерного излучения

Иной характер действия лазерного излучения на процесс ЭХРО сплава ВК8 наблюдается при использовании излучения инфракрасной области спектра (рис. 4).

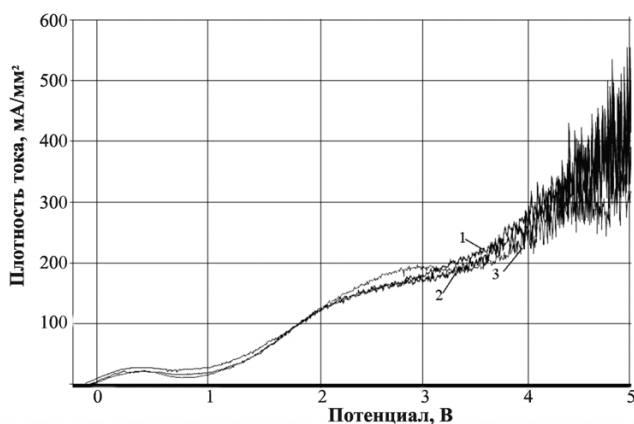


Рис. 4. Поляризационные кривые, полученные при помощи потенциодинамического метода для твердого сплава ВК8 в 10 %-м водном растворе хлорида натрия при лазерной интенсификации ЭХРО длиной волны 1,06 мкм при плотности мощности $1,05 \cdot 10^6$ Вт/м² и частоте следования импульсов:
 1–2 кГц; 2–2,5 кГц; 3–5кГц

Анализ полученных поляризационных кривых указывает на рост плотности тока с увеличением потенциала. Участков падения плотности тока с ростом потенциала, которые имели место при анодном растворении без активации, не наблюдается.

На поверхности после обработки (рис. 5, а, б), так же как и в предыдущем случае, четко выделяется зона наложения лазерного излучения. Следует обратить внимание на то, что на всем образце вне зоны наложения лазерного излучения находятся солевые пленки. В то же время в зоне наложения излучения подобного рода пленки отсутствуют, что свидетельствует о задействовании механизма их разрушения в процессе активации анодного растворения.

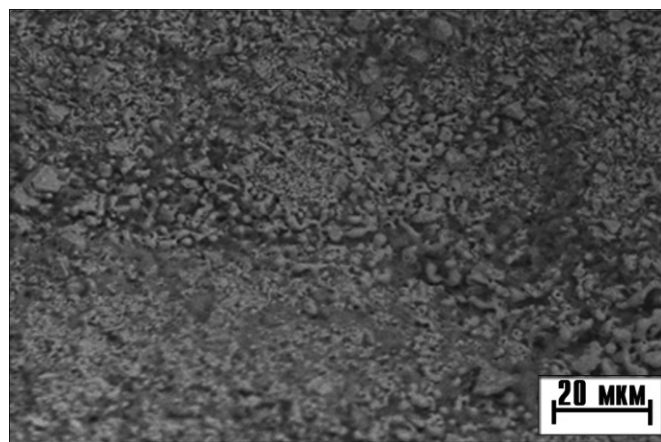


Рис. 5. Морфология поверхности твердого сплава ВК8 после ЭХРО с наложением лазерного излучения с длиной волны 1,06 мкм в 10 %-м водном растворе хлорида натрия:
 а – общий вид образца; б – в зоне наложения лазерного излучения

Аналогичный характер интенсификации ЭХРО при использовании отмеченного спектра излучения наблюдается и в растворе нитрата натрия. Поляризационные кривые представлены на рис. 6.

Анализ полученных кривых указывает на снятие пассивационных ограничений при обработке ВК8 в водном растворе нитрата натрия. Значение плотностей тока при использовании инфракрасного спектра излучения больше, чем при использовании видимой части спектра. Кроме того, при этом морфология

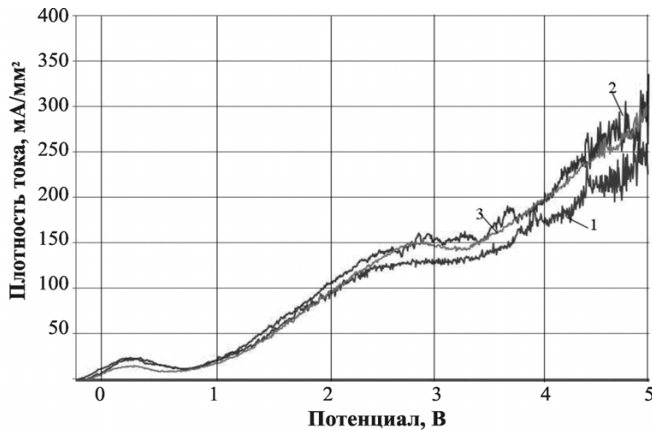
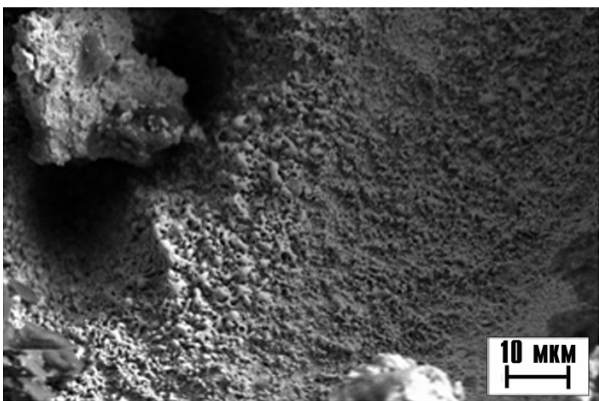


Рис. 6. Поляризационные кривые, полученные при помощи потенциодинамического метода для твердого сплава ВК8 в 10 %-м водном растворе нитрата натрия при лазерной интенсификации ЭХРО длиной волны 1,06 мкм при плотности мощности $1,05 \cdot 10^6$ Вт/м² и частоте следования импульсов:

1–5 кГц; 2–10 кГц; 3–15 кГц



а



б

Рис. 7. Морфология поверхности твердого сплава ВК8 после ЭХРО с наложением лазерного излучения с длиной волны 1,06 мкм в 10 %-м водном растворе нитрата натрия:

а – общий вид образца; б – в зоне наложения лазерного излучения

поверхности (рис. 7, а), полученная после активации ЭХРО инфракрасным излучением, указывает на активное анодное растворение материала в месте наложения лазерного излучения. В самом месте наложения излучения наблюдается равномерное растворение материала без образования пленок (рис. 7, б).

Иное анодное поведение сплава ВК8 отмечено при активации ЭХРО лазерным излучением видимой области спектра в нитрате натрия. Так поляризационные кривые (рис. 8), полученные в водном растворе нитрата натрия при активации ЭХРО лазерным излучением с длиной волны 0,53 мкм, как и в случае с хлоридом натрия, указывают на неполное снятие пассивационных ограничений. Однако наибольшего значения плотность тока при этом достигает при частоте следования импульсов 10 кГц. При увеличении частоты следования импульсов производительность обработки снижается.

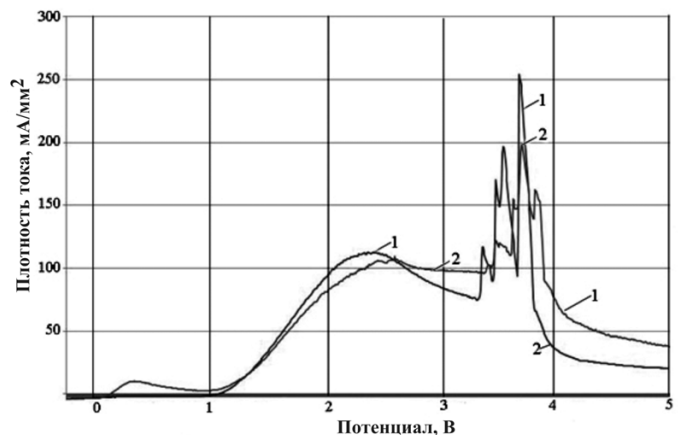


Рис. 8. Поляризационные кривые, полученные при помощи потенциодинамического метода для твердого сплава ВК8 в 10 %-м водном растворе нитрата натрия при лазерной интенсификации ЭХРО длиной волны 0,53 мкм при плотности мощности $1,05 \cdot 10^6$ Вт/м² и частоте следования импульсов:

1–10 кГц; 2–15 кГц

Исследование морфологии поверхности ВК8 после лазерной активации ЭХРО показало на равномерный характер растворения материала. Однако зона наложения лазерного излучения не выделяется (рис. 9). Кроме того, потенциостатические исследования, проведенные с целью уточнения характера растворения материала, указали на присутствие побочных реакций на обрабатываемой поверхности. Эти реакции и привели к повышению плотности тока при потенциодинамических исследованиях сплава. Таким образом, ускорение анодного растворения лазерным излучением с длиной волны 0,53 мкм не происходит.

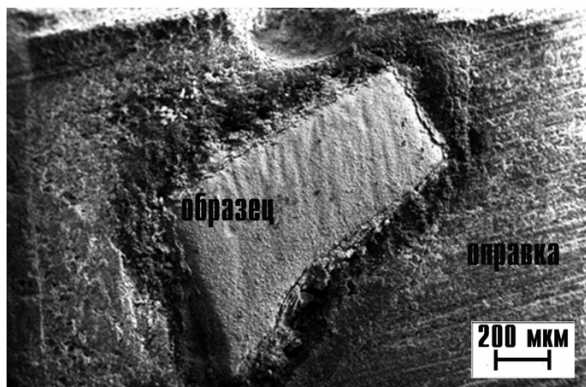


Рис. 9. Общий вид поверхности образца сплава BK8 после ЭХРО с наложением лазерного излучения с длиной волны 1,06 мкм в 10 %-м водном растворе нитрата натрия

Выводы

Применение лазерного излучения для интенсификации ЭХРО сплава BK8 является перспективным как при использовании в качестве электролита водного раствора хлорида натрия, так и нитрата натрия. При этом как для нитрата натрия, так и для хлорида натрия наибольшее значение плотности тока достигается при использовании лазерного излучения инфракрасного спектра излучения (1,06 мкм).

Частота следования импульсов оказывает влияние на скорость анодного растворения при интенсификации процесса обработки. Наибольшее значение плотность тока достигает в хлориде натрия при использовании лазерного излучения с частотой следования импульсов 2,5 кГц, а в нитрате натрия – 10 кГц. Результаты исследований по активации ЭХРО труднообрабатываемых материалов с химическим составом, отличным от сплава BK8, показывают, что наибольшее значение плотности тока также достигается при указанных значениях частот следования импульсов [5, 6]. Это подтверждает предположение о том, что основным механизмом активации процесса ЭХРО лазерным излучением видимой и инфракрасной области спектра является активация анионов электролита.

DIMENSIONAL ELECTROCHEMICAL MACHINING OF FIRM ALLOY BK8 IN THE CONDITIONS OF LASER INFLUENCE

Kh. M. Rakhimyanov, B.A. Krasilnikov, K. Kh. Rakhimyanov,
A. I. Zhuravlev, N.P. Gaar, A. A. Loktionov

Researches on anode dissolution of firm alloy BK8 in the conditions of laser influence with length of wave of an infra-red and visible spectrum was conducted in two most used electrolytes – chloride of sodium and sodium nitrate. Parameters of laser radiation which most strongly influence on speed of electrochemical dissolution are established.

Keywords: polarization tests, firm alloy, laser radiation, passivation, dissolution.

Список литературы

1. Красильников Б.А. Исследование анодного поведения твердого сплава BK8 и его составляющих в нейтральных электролитах [Текст] / Б.А. Красильников, А.А. Богаев // Научный вестник НГТУ. – Новосибирск: Изд-во: НГТУ. – 2008. – № 2(31) – С. 86–98.
2. Красильников Б.А. Определение особенностей анодного растворения твердого сплава BK8 методом вращающегося дискового электрода [Текст] / Б.А. Красильников, А.А. Богаев // Сб. науч. тр. НГТУ. – Новосибирск: Изд-во: НГТУ – 2007. – № 3(49) – С. 95–100.
3. Рахимьянов Х. М. Интенсификация электрохимической размерной обработки нержавеющей стали лазерным излучением [Текст] / Х.М. Рахимьянов, Н.П. Гаар // Механика XXI века. VII Всероссийская науч.-техн. конф. с международным участием. Сб. докладов. конф. Братск, 18–20 марта 2008 г. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2008. – С 149–152.
4. Rakhimyanov Kh. M. Possible ways for intensification of dimensional electrochemical machining (DECM) / Kh.M. Rakhimyanov, N. P. Gaar // IFOST. Novosibirsk – Tomsk, Russia, June 23–29, 2008 -Proceedings of the third international forum on strategic technologies. – Novosibirsk: NSTU-2008. – P. 106–107. [Возможные пути интенсификации электрохимической размерной обработки (ЭХРО)].
5. Рахимьянов Х.М. Анодное поведение титанового сплава марки ОТ-4 в водном растворе хлорида натрия при интенсификации лазерным излучением процесса электрохимического растворения [Текст] / Х.М. Рахимьянов, К.Х. Рахимьянов, Н.П. Гаар, А.А. Локтионов // Инновационные технологии в машино- и приборостроении. Материалы Междунар. науч.-практ. конф. 14 апреля 2010 г. – Омск: ОмГТУ, 2010. – С. 47–50.
6. Рахимьянов Х.М. Анодное поведение стали 12Х18Н9Т в водном растворе хлорида натрия при активации процесса электрохимического растворения лазерным излучением [Текст] / Х.М. Рахимьянов, Б.А. Красильников, Н.П. Гаар, А.Б. Шарапов // Сб. науч. тр. НГТУ. – Новосибирск: НГТУ, 2010. – Вып. 1(59). – С.123–128.
7. Летохов В. С. Селективное действие лазерного излучения на вещество [Текст] / В.С. Летохов // Успехи физических наук. – 1978. – Т. 125. Вып. 1. – С. 57–94.
8. Рахимьянов Х.М., Гаар Н.П. Математическое моделирование при лазерной термоактивации электрохимической размерной обработке // Современные технологические системы в машиностроении (СТСМ-2006). Сборник тезисов докладов междунар. науч.-техн. конф. Барнаул, 2006 г. – Барнаул: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та им. И.И. Ползунова, 2006. – С. 45–47.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ПРИ НАРЕЗАНИИ РЕЗЬБЫ В ВЫСОКОПРОЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛАХ

*А.М. МАРКОВ, доктор техн. наук, профессор,
П.В. ЛЕБЕДЕВ, аспирант
(АлтГТУ им. И.И. Ползунова, г. Барнаул)*

Статья поступила 2 февраля 2011 г.

656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 46,
ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»,
e-mail: pavel.lebedev@mail.ru

В работе приводятся полученные авторами соотношения для расчета суммарного сечения срезаемого слоя, суммарной длины режущих кромок, определения переменного расстояния режущей кромки от оси метчика и определения крутящего момента при нарезании резьбы, позволяющие произвести теоретическую оценку выходных параметров (надежности, точности, производительности и т.д.) для метчиков с корригированными зубьями.

Ключевые слова: внутренняя резьба, метчик, высокопрочные полимерные композиционные материалы, крутящий момент, нарезание резьбы.

Резьбонарезная операция, как правило, является «узким» местом технологического процесса изготовления деталей из ВКПМ, от которой во многом зависит качество выпускаемых конструкций. Поскольку операция резьбонарезания является одной из последних, то стабильность обеспечения требуемых параметров качества изготавливаемых изделий напрямую связана с экономическими показателями предприятия в целом. Это объясняется тем, что специфический брак, возникающий при обработке ВКПМ (прижоги, разрушение поверхностного слоя материала, срез витков резьбы), значительно снижает несущую способность резьбового соединения, а затраты, связанные с восстановлением качества детали, зачастую соизмеримы с затратами на изготовление детали до операции нарезания резьбы.

Поскольку подавляющая часть метчиков, используемых для нарезания резьбы в ВКПМ, изготавливается с корригированным профилем режущих зубьев, предлагаемые рядом авторов (Евстегнев О.Н., Матвеев В.В., Грудов А.А.) математические модели для расчета силовых характеристик процесса нарезания резьбы не позволяют получить адекватных результатов.

Крутящий момент на метчике при резании определяется суммированием крутящих моментов, со-

ответствующих всем одновременно работающим режущим зубьям инструмента, и рассчитывается на основе уточнения предложенной в работе Евстегневой О. Н. зависимости:

$$M_{кр} = K_{\xi} S_b \cos \lambda \sum_{i=1}^m (S_i r_i) + \mu \sigma_b h_3 \cos \psi \sum_{i=1}^m (B_i r_i), \text{ Нм}, \quad (1)$$

где $K_{\xi} = \frac{\tau_v}{S_b} \frac{\sin(\arctg \mu - \gamma)}{\cos(\varphi_y + \arctg \mu - \gamma) \sin \varphi_y}$ – удельная

сила резания; τ_v – касательное напряжение в условной плоскости сдвига, Н/м²; μ – коэффициент трения; γ – передний угол, град; φ_y – угол наклона условной плоскости сдвига, град; S_b – действительный предел прочности при растяжении, Н/м²; λ – угол наклона режущей кромки, град; S_i – площадь сечения срезаемого слоя, мм²; r_i – расстояние от режущей кромки до оси инструмента, мм; μ – коэффициент трения; σ_b – предел прочности материала при растяжении, Н/м²; h_3 – высота профиля резьбы, мм; B_i – суммарная длина режущих кромок i -го лезвия, мм; ψ – угол подъема резьбы, град.

Полученную в работе [1] зависимость (1), несмотря на относительную простоту и наглядность, затруднительно использовать, поскольку известны не все исходные данные. Для расчета значений каса-

тельных напряжений авторами использовался метод численного моделирования конечными элементами, подробно описанный в работе [2].

Построение модели механической обработки и моделирование износа было произведено при помощи программного комплекса *MSC Marc*. Конечноэлементный анализ механической обработки выполнялся на основе модели в Лагранжевой формулировке, предполагающей, что заготовка закреплена, а режущий инструмент движется. В силу значительных трудностей, возникающих при моделировании трехмерного контакта режущих зубьев метчика с обрабатываемой деталью, а также сложного движения инструмента, осуществляющегося самоподачей, моделировался процесс ортогональной обработки в плоскости, нормальной к оси инструмента.

Свойства композиционного материала задавались на основе рассмотрения наполнителя и связующего материала как единого целого. При этом свойства композиционного материала моделировались посредством использования усредненных характеристик слоя. В качестве материала внутренней резьбы были использованы физико-механические свойства стеклопластика КППН, состоящего из стеклонити ВМ и эпоксидного связующего ЭДИ [3], а также физико-механические свойства типичных слоистых пластиков, получаемых формованием ручной укладкой [4].

При построении модели процесса обрабатываемый материал (КППН) рассматривался как упруго-пластичное ортотропное тело, в то время как физико-механические свойства инструмента (материал Р6М5) задавались как для упругого тела. Для выбранных материалов в общем случае были заданы:

- при моделировании свойств изотропного материала – модуль упругости EX и коэффициент Пуассона $PRXY$;
- при моделировании ортотропного материала – модули упругости в направлении x , y , z (EX , EY , EZ), коэффициенты Пуассона в направлении x , y , z ($PRXY$, $PRYZ$, $PRXZ$), или младшие коэффициенты ($NUXY$, $NUYZ$, $NUXZ$) и модули сдвига (GXY , GYZ , GXZ).

Процесс удаления припуска с обрабатываемой детали моделировался использованием критерия разрушения материала (критерий Оуэна):

$$\int \left(\frac{\sigma_m}{\sigma} + B \right) \varepsilon dt \geq C, \quad (2)$$

где σ_m – среднее значение напряжений, Н/м²; σ – действующие напряжения по Мизесу, Н/м²; ε – величина пластических деформаций, мм; C – пороговая

величина, определяющая возможность разрушения материала; B – постоянная материала, описывающая величину гидростатического давления.

Вследствие значительных деформаций заготовки в процессе моделирования механической обработки сетка конечных элементов искривляется. В связи с этим производилось перестроение сетки каждое n приращений при больших пластических деформациях и при значительном проникновении контактирующих тел. Для аппроксимации геометрической модели были использованы четырехугольные ортогональные конечные элементы типа 11.

В расчетах были приняты следующие граничные условия. Закрепление осуществлено на периферии обрабатываемой детали по всем шести степеням свободы. Каждому зубу метчика сообщалась величина угловых перемещений, равная частоте вращения шпинделя станка.

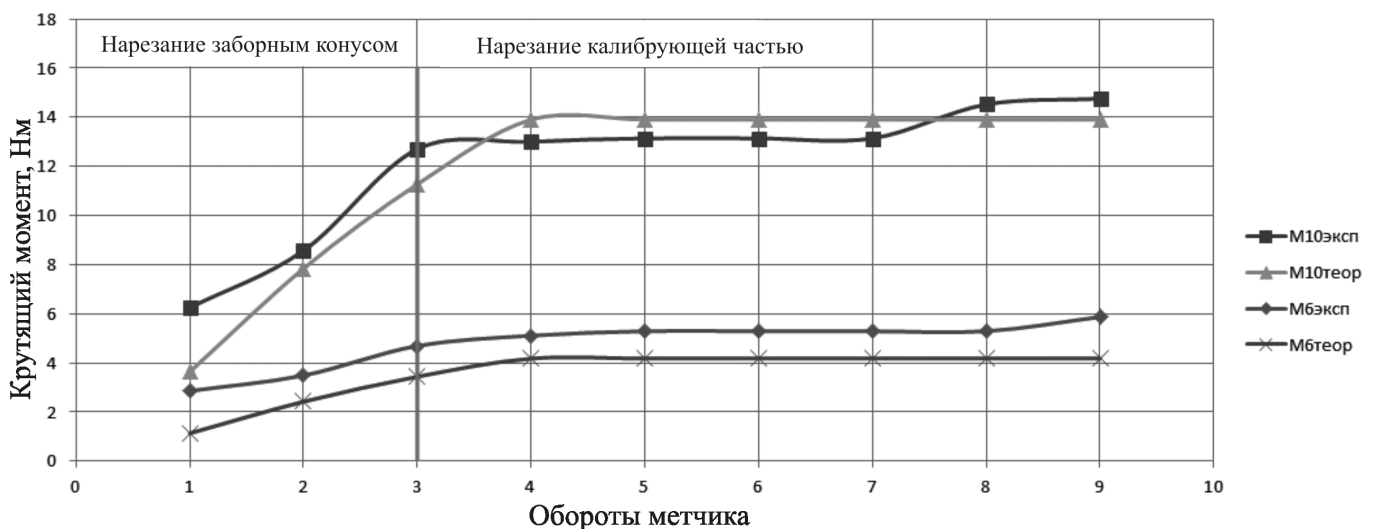
Таким образом, задача определения крутящего момента при резании сводится к определению числа одновременно работающих режущих лезвий метчика, суммарного сечения срезаемого слоя, суммарной длины режущих кромок и определению переменного расстояния режущей кромки от оси метчика. Перечисленные характеристики определялись исходя из разработанного метода, основанного на описании геометрии режущего инструмента, при котором геометрия режущих лезвий описывается уравнениями прямых, их образующих. При таком подходе суммарная площадь среза определялась исходя из координат пересечения прямых, образующих профили режущих зубьев.

В результате были получены характеристики, позволяющие адекватно оценить приращение крутящего момента на зуб метчика с скорректированным профилем (см. таблицу).

Для проверки адекватности разработанных в ходе теоретических исследований зависимостей изменения крутящего момента при резании был проведен полный факторный эксперимент 2³(ПФЭ). Экспериментальная установка, включала в себя вертикально-сверлильный станок 2Н135, тензостанцию УТ4-1, многофункциональную плату ввода/вывода аналогово-цифрового преобразователя L-780М и ЭВМ. Для определения интервалов варьирования факторов была проведена серия предварительных экспериментов. Интервал варьирования частоты вращения $n = 100 \dots 750$ об/мин, $d_{\text{мет}} = 6 \dots 10$ мм. Нижние границы интервалов варьирования определяются минимальной производительностью, верхние – качеством обработанной поверхности.

Соотношения для расчета крутящего момента

Координаты пересечения боковых профилей зубьев с прямой наклона заборного конуса метчика	
Правая сторона профиля	Левая сторона профиля
$x_n = \frac{\operatorname{tg}\alpha \left(\left(\frac{\pi d_2 (m-1)}{4} \operatorname{tg}\psi \right) + l + P(n-1) \right)}{\operatorname{tg}\alpha + \operatorname{tg}\varphi} \quad (3)$	$x_{\text{л}} = \frac{\operatorname{tg}\alpha \left(\left(\frac{\pi d_2 (m-1)}{4} \operatorname{tg}\psi \right) + P(n-1) \right)}{\operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg}\varphi} \quad (5)$
$y_n = \operatorname{tg}\varphi \left[\frac{\operatorname{tg}\alpha \left(\left(\frac{\pi d_2 (m-1)}{4} \operatorname{tg}\psi \right) + l + P(n-1) \right)}{\operatorname{tg}\alpha + \operatorname{tg}\varphi} \right] \quad (4)$	$y_{\text{л}} = \operatorname{tg}\varphi \left[\frac{\operatorname{tg}\alpha \left(\left(\frac{\pi d_2 (m-1)}{4} \operatorname{tg}\psi \right) + P(n-1) \right)}{\operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg}\varphi} \right] \quad (6)$
Площадь сечения срезаемого слоя зубом метчика	
$S = \frac{1}{2} \left(\frac{x_{1n} - x_{1\text{л}}}{\cos\varphi} + \frac{x_{2n} - x_{2\text{л}}}{\cos\varphi} \right) \left(\frac{y_2 - y_1}{\cos\alpha} \right) \cos(30 + \varphi) \quad (7)$	
Суммарная длина режущих кромок	
$\sum L = \frac{y_{2\text{л}} - y_{1\text{л}}}{\cos\alpha} + \frac{y_{2n} - y_{1n}}{\cos\alpha} + \frac{x_{2n} - x_{2\text{л}}}{\cos\varphi} \quad (8)$	
Расстояние от i -й режущей кромки до оси метчика	
$r = \frac{y_{1n} + d_1}{2}, \quad (9)$	
где P – шаг резьбы, мм; φ – угол наклона заборного конуса, град.; d_2 – средний диаметр резьбы, мм; α – угол наклона бокового профиля зуба, град.	



Сравнение теоретических и экспериментальных результатов определения величины крутящего момента при резбонарезании

В ходе проведения эксперимента (ПФЭ 2²) получена математическая модель зависимости величины крутящего момента от диаметра метчика и частоты вращения:

$$M_{кр} = 0,0289d^{1,9524}n^{0,1265}, \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (10)$$

Установлено, что погрешность между численной и полученной эмпирическим путем моделями не превышает 15 % (см. рисунок).

Полученные уравнения по расчету момента резания, геометрии режущих зубьев и площади срезаемого слоя устанавливают взаимосвязь между основными параметрами, характеризующими процесс нарезания резьбы метчиками. Кроме того, использование представленных соотношений позволяет управлять процессом нарезания резьбы как с помощью изменения режимных параметров процесса резбонарезания, так и изменения геометрических параметров режущего инструмента.

Список литературы

1. *Евстегнеева О.Н.* Повышение надежности работы метчиков при нарезании резьб в глухих отверстиях конструкционно-технологическими методами: дис. ... канд. техн. наук. – М. 2003.
2. *Лебедев П.В.* Моделирование процесса сверления стеклопластика в среде CosmosWorks / А.М. Марков, Н.И. Мозговой, П.В. Лебедев // *Обработка металлов.* – 2007. – № 4. – С. 19 – 23.
3. *Любин Дж.* Справочник по композиционным материалам. В 2 кн. / пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1988. – Кн 2– 584 с.
4. *Степанов А.А.* Обработка резанием высокопрочных композиционных полимерных материалов. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987. – 176 с.

DEFINITION OF SIZE OF A TWISTING MOMENT AT CARVING MANUFACTURING IN HIGH-STRENGTH POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS

A. M. Markov, P. V. Lebedev

In work the parities received by authors for calculation of total section a cut off layer, total length of cutting edges, to definition of variable distance a cutting edge from an axis of a tap and to twisting moment definition at the carving manufacturing are resulted, allowing to make a theoretical estimation of target parameters (reliability, accuracy, productivity etc.) for taps with the changed geometry.

Key words: internal thread, tap, high-strength polymeric composite materials, twisting moment, carving manufacturing.

ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ПОСЛЕ ФИНИШНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ¹

*Ю.С. ЧЁСОВ, канд. техн. наук, доцент,
Е.А. ЗВЕРЕВ, ассистент,
А.И. ПОПЕЛЮХ, канд. техн. наук, доцент,
П.В. ТРЕГУБЧАК, аспирант
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Статья поступила 26 января 2011 г.

Зверев Е.А. – 630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: egor_z@ngs.ru

Приведены результаты исследований влияния режимных условий круглого наружного шлифования на шероховатость поверхности износостойкого порошкового покрытия из высокохромистого чугуна.

Ключевые слова: плазменное напыление, износостойкое покрытие, шлифование, шероховатость поверхности.

Как известно, финишная механическая обработка предназначена для формирования требуемой геометрической и размерной точности, а также шероховатости поверхности деталей машин. В то же время окончательная механическая обработка газотермических покрытий вызывает определенные затруднения в силу того, что они, как правило, обладают более высоким уровнем твердости и прочности, чем основной металл детали [1–3]. При обработке покрытий часто возникают дефекты в виде трещин, сколов и отслоений. Причины их появления – резкий рост термических напряжений и упругих деформаций в зоне резания. Поэтому финишную механическую обработку покрытий чаще всего осуществляют на пониженных режимах резания, по сравнению с легированными марками сталей аналогичной твердости, и с интенсивным принудительным охлаждением.

Наибольшее распространение в машиностроении при обработке газотермических покрытий нашли такие процессы, как точение и шлифование. С точки зрения производительности процесса резания очевидный приоритет принадлежит точению. Однако основным методом обработки покрытий является все же шлифование. Несмотря на более низкую производитель-

ность, очень часто шлифование оказывается единственно возможным методом обработки, поскольку процесс является более универсальным как по способу реализации (круглое наружное и внутреннее, плоское и бесцентровое шлифование), так и по уровню твердости и качеству обрабатываемых покрытий.

При выполнении чистовых операций чаще всего используют абразивные круги из карбида кремния зеленого или из электрокорунда на керамической или бакелитовой связке твердостью СМ1 и СМ2 и с зернистостью номер 80 или 100 и открытой структурой. Следует также отметить, что на практике хорошо зарекомендовали себя и алмазные шлифовальные круги, однако они значительно дороже абразивных, поэтому и не нашли широкого применения в промышленности.

В отличие от обработки монолитных (однородных) материалов, по которым уже накоплен большой объем информации по влиянию технологических параметров процесса шлифования применительно к конкретным маркам сталей на требуемый уровень шероховатости поверхности деталей, рекомендации по режимам обработки для покрытий часто противоречивы.

Целью настоящих исследований является установление влияния режимов шлифования на шероховатость

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

поверхности износостойких покрытий из порошкового материала марки ПГ-С27, нанесенных методом плазменного напыления.

В качестве образцов в экспериментах использовались ступенчатые валы из стали 20 с участком напыленной поверхности диаметром 30 мм и длиной 100 мм. Покрытия наносили на установке «Киев-7» послойно за три прохода плазмотрона до толщины 600...630 нм. Ранее [4] было установлено, что в исследуемом диапазоне режимов напыления в покрытиях формируются три характерных типа структуры, отличающихся друг от друга по основным показателям качества (неплотность на границе «основной металл – покрытие», количество не расплавившихся частиц порошка, пористость и размеры пор). Напыление покрытий в данном случае осуществлялось в поддиапазоне режимов, обеспечивающих образование оптимального варианта структуры, т. е. структуры, с наиболее высоким уровнем эксплуатационных свойств. Финишная механическая обработка покрытий производилась на круглошлифовальном станке модели ЗБ12. Инструмент – абразивный круг из карбида кремния зеленого марки 64С80ПСМ28Б1 (ГОСТ 21445). При диаметре шлифовального круга, равном 300 мм, обеспечивается рекомендуемая при шлифовании плазменных покрытий скорость резания – 35 м/с. Скорость продольного перемещения (подачи) стола составляла 120 мм/мин. В качестве варьируемых режимных параметров приняты глубина резания (осуществляемая за счет поперечной подачи шлифовальной бабки) t (0,05...0,15 мм) и частота вращения заготовки n (125...300 мин⁻¹) при толщине припуска в пределах 0,2...0,25 мм. Снятие основного припуска производилось за несколько продольных перемещений стола с заготовкой (в зависимости от глубины резания). Завершалась обработка процессом выхаживания: снятие металла покрытия происходило за счет выборки упругих отжатых детали. Эти режимные условия были установлены нами на основе предварительных экспериментов с учетом рекомендаций [1–3]. Измерение шероховатости производили на базе комплекса изучения топографии модели *Zygo New View 7300* с дополнительным изучением характера поверхности на растровом микроскопе модели *Carl Zeiss EVO 50 XVP*.

Очевидно, что механизм формирования микрорельефа поверхности покрытий при шлифовании заметно отличается от процессов, протекающих при обработке однородных материалов. В работе [1] отмечено, что главенствующая роль в формировании шероховатости в этом случае принадлежит таким дефектам, как поры. При внедрении абразивных зерен в покрытие именно они являются концентраторами напряжений и

оказывают существенное влияние на процесс развития микротрещин.

На снимке, полученном при помощи растрового электронного микроскопа, видно, что типовая поверхность плазменно напыленного покрытия после шлифования обладает открытой пористостью (рис. 1).

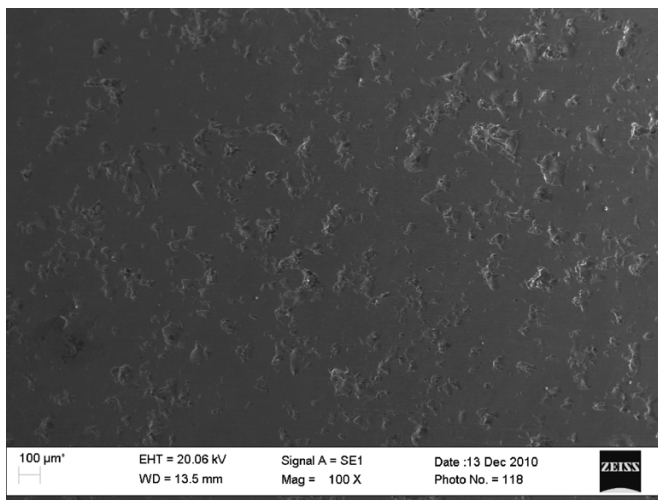


Рис. 1. Поверхность покрытия после шлифования

Несомненно, что количество и размер пор отражаются на величине шероховатости поверхности. На типовой профилограмме поверхности, изображенной на рис. 2, отчетливо виден «провал», обусловленный наличием поры.

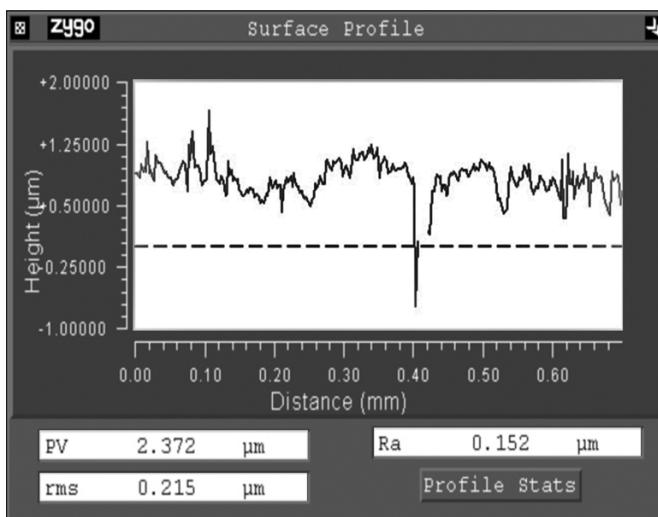


Рис. 2. Шероховатость поверхности покрытия после шлифования

В целом обработанная поверхность имеет нерегулярный микрорельеф. Следует также отметить, что помимо пор характер шероховатости поверхности зависит от таких показателей качества структуры, как степень расплавленности порошковых частиц и прочность когезионной связи между ними.

С целью установления влияния режимов абразивного шлифования на уровень шероховатости поверхности по критерию Ra был проведен двухфакторный

эксперимент, позволивший получить эмпирическую зависимость следующего вида (коэффициент корреляции равен 0,95):

$$Ra = 1,44 - 0,02n + 8,9t + 3,7 \cdot 10^{-5} n^2 - 62,6t^2 + 0,04nt.$$

Экспериментальные данные, полученные как среднее арифметическое значение результатов трех опытов в одной точке, обрабатывались с использованием программного продукта *Table Curve 3D v 4.0*.

Исследования показали, что в принятом диапазоне режимов шлифования напыленных покрытий формируется микрорельеф поверхности с шероховатостью в пределах 0,13...1,52 мкм.

Графическая зависимость шероховатости поверхности от глубины резания и частоты вращения детали, построенная на базе вышеприведенного уравнения, показана на рис. 3. Зависимость наглядно отражает сложное и неоднозначное влияние глубины резания и круговой подачи на уровень шероховатости

сти поверхности. В частности, увеличение глубины резания в диапазоне малых частот вращения образцов не сопровождается заметным ростом шероховатости. В то же время увеличение частоты вращения благоприятно сказывается лишь до определенного предела (200 мин^{-1}), ее дальнейший рост приводит к отрицательному эффекту – увеличению высоты микронеровностей. Одновременное же повышение частоты вращения и глубины резания вызывает резкий рост шероховатости. Это объясняется развитием поверхностных дефектов вследствие создания достаточно жестких режимных условий шлифования.

При разработке промышленных технологий упрочнения деталей или их восстановления методом плазменного напыления полученная зависимость позволяет на финишной стадии обработки на основе предъявляемых требований к шероховатости поверхностей деталей назначать соответствующие режимы абразивного шлифования износостойких покрытий.

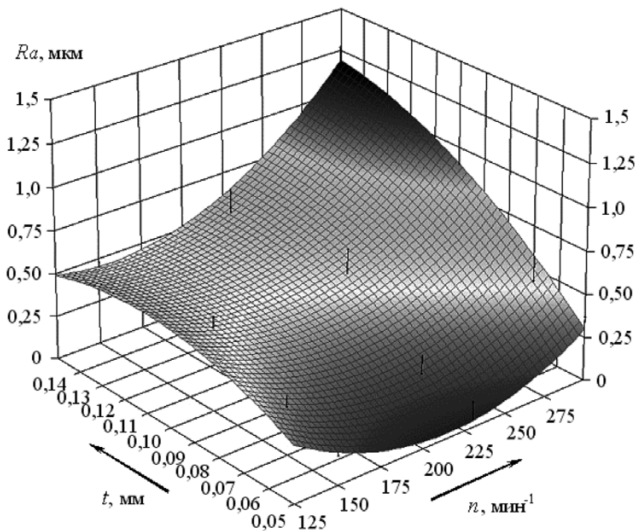


Рис. 3. Влияние режимов шлифования на шероховатость поверхности

Список литературы

1. Ситников А.А. Технологическое обеспечение точности изготовления деталей с покрытиями. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 2004. – 198 с.
2. Пузряков А.Ф. Теоретические основы плазменного напыления. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 360 с.
3. Газотермические покрытия из порошковых материалов: справочник / Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов, С.Л. Сидоренко, Е.Н. Ардаговская. – Киев: Изд-во «Наукова думка», 1987. – 544 с.
4. Чёсов Ю.С., Зверев Е.А., Трегубчак П.В. Влияние режимов плазменного напыления на структуру износостойких покрытий // Инновации в машиностроении: материалы 1-й Междунар. науч.-техн. конф. – Бийск: Изд-во АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 2010. – № 2(47). – С. 144–147.

ROUGHNESS OF A SURFACE OF WEAR-RESISTANT PLASMA COATINGS AFTER FINISHING MACHINING

Yu.S. Chosov, E.A. Zverev, A.I. Popelyukh, P. V. Tregubchak

Results of researches of influence of regimes of round external grinding on a roughness of a surface of a wear-resistant powder coating from a high-chromium iron were received.

Key words: plasma spraying, wear-resistant coating, grinding, surface roughness.

ВЫБОР КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ БАЗОВЫХ ДЕТАЛЕЙ МНОГОЦЕЛЕВОГО СТАНКА НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

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

Статья поступила 20 октября 2010 года

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

Рассматривается применение методов механики деформируемого твердого тела на этапе предварительного проектирования базовых деталей тяжелых многоцелевых станков с целью исследования их реакций на действие внешних нагрузок и определения рациональных путей по улучшению компоновки конструкций.

Ключевые слова: многоцелевой станок, базовые детали, метод конечных элементов, методы оптимизации.

Основные габаритные размеры металлорежущего станка задаются на этапе технического задания. Далее конструктор на основе расчетов на прочность и жесткость определяет размеры базовых деталей, которые должны обеспечить выполнение требований по точности и производительности механической обработки при наименьшей стоимости. В расчетах наиболее эффективно использовались методы механики деформируемого твердого тела и методы оптимизации.

Рассмотрим расчет базовых деталей многоцелевого станка (МС) сверлильно-фрезерно-расточной группы (рис. 1). МС представляет собой комплекс, состоящий из двух изделий, несоединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций – специального фрезерно-расточного станка (рис. 1, поз. 1–3) и поворотного подвижного стола (рис. 1, поз. 5–7). Данное обстоятельство позволяет проводить расчеты отдельно для стола и фрезерно-расточного станка.

В настоящей работе рассмотрим расчет конструктивных параметров базовых деталей специального фрезерно-расточного станка. Габариты станка – длина, ширина, высота заданы и составляют соответственно $21,9 \times 16,5 \times 10,9$ (м). Расчет базовых деталей поворотного подвижного стола рассмотрен в работе [1].

Анализ реакций базовых деталей в составе несущей системы фрезерно-расточного станка. Базовые детали станка имеют сложную компоновку. Это – пространственные тонкостенные конструкции,

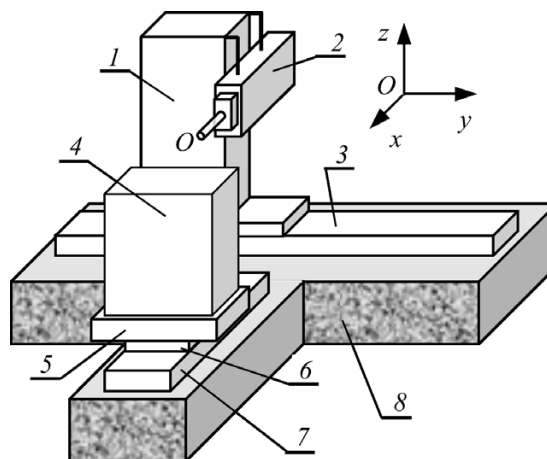


Рис. 1. Компоновка многоцелевого станка:

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

имеющие различно ориентированные ребра жесткости, многосвязный замкнутый контур, разную толщину стенок, что затрудняет непосредственный анализ их реакций на внешние воздействия в составе несущей системы. Для сравнительной оценки эффективности выбора внешних габаритов конструкций представим их упрощенной геометрией поперечного сечения. Так, в частности, в отличие от реальной конструкции стойка будет иметь прямоугольное коробчатое поперечное сечение без ребер жесткости, односвязный замкнутый профиль.

Расчетные условия для несущих систем станков выбираются на основе анализа опыта эксплуатации станков, близких по компоновке. При этом вы-

являются операции, в которых точность и производительность близки к предельным значениям. Для сверлильно-фрезерно-расточных станков такой операцией является торцовое фрезерование. Ряд значений для расчета выбирается в качестве исходных в соответствии с техническим заданием на проектирование станка. Так, станок должен обеспечить наибольшее усилие подачи 40 кН, для чистового фрезерования – 3 кН.

Для несущей системы станка принимаются следующие расчетные условия:

- шпиндельная бабка находится в крайнем верхнем положении при среднем положении стойки на станине, при этом вылеты шпинделя ($\leq 0,4$ м) и ползуна ($\leq 0,6$ м) соответствуют предельным значениям;

- внешней нагрузкой для станка являются силы резания, приложенные в точке O оси шпинделя (рис. 1). Для составляющих сил резания принимается соотношение $P_x : P_y : P_z = 0,5 : 1,0 : 0,7$;

- станина опирается на упругие опоры (64 опоры), жесткость которых принимается из такого расчета, что опора воспринимает нагрузку 40 кН при вертикальной деформации $2 \cdot 10^{-5}$ м;

- учитывается податливость подвижных стыков: стойка – шпиндельная бабка, шпиндельная бабка – ползун, стойка – станина. Расчет перемещений т. O (рис. 1) в направлении осей x, y, z проводится для условий чистовой обработки на основе стержневой модели шероховатой поверхности [2]. Окончательно перемещения т. O шпинделя с учетом контактных деформаций в стыках по осям x, y, z составляют соответственно: $\delta_x = 13,89$ мкм; $\delta_y = 8,11$ мкм; $\delta_z = 5,45$ мкм.

Математическая модель несущей системы фрезерно-расточного станка формулируется как задача математического программирования:

минимизировать

$$f(X) = \sum_{i=1}^n \rho_i V_i \quad (1)$$

при ограничениях:

$$\text{на напряжения } g_1 = 1 - \sigma_{\text{ЭКВ}} / [\sigma] \geq 0,$$

на перемещения т. O по оси

$$x \quad g_2 = 1 - \Delta_x / [\Delta_x] \geq 0,$$

$$y \quad g_3 = 1 - \Delta_y / [\Delta_y] \geq 0,$$

$$z \quad g_4 = 1 - \Delta_z / [\Delta_z] \geq 0,$$

на переменные

$$\text{проектирования } g_5 = V_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

где n – число пластинчатых конечных элементов; ρ – плотность материала; V – объем материала конструкции; $\sigma_{\text{ЭКВ}}, [\sigma]$ – эквивалентное и допускаемое напряжения; $\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z, [\Delta_x], [\Delta_y], [\Delta_z]$ – расчетные и до-

пускаемые (в скобках) перемещения т. O по осям x, y, z соответственно. За целевую функцию (1) принята масса конструкции. Переменной проектирования является толщина стенки профиля базовых деталей.

При назначении допускаемых перемещений $[\Delta_x], [\Delta_y], [\Delta_z]$ несущей системы в зоне обработки рассматриваются отклонения от плоскостности и прямолинейности на обработанной поверхности. Согласно ГОСТ 24643-81 для 6 квалитета при фрезеровании допуски плоскостности и прямолинейности составляют [3]:

- при вертикальном перемещении шпиндельной бабки (5 м) – 60 мкм;

- для поперечного хода стойки (до середины станины 4,5 м) – 60 мкм.

По заводским данным погрешность обработки в зоне резания распределяется между фрезерно-расточным станком и столом как 70 и 30 %. Из-за невозможности учета в расчете всех факторов, влияющих на точность обработки, принимаем коэффициент запаса по жесткости равным 1,5. Окончательно допуски плоскостности и прямолинейности для фрезерно-расточного станка составляют 28 мкм.

Перемещения т. O в зоне резания определяются суммой перемещений в результате собственных деформаций несущей системы и контактных деформаций в стыках. При расчете несущей системы из полученного допуска на перемещения т. O (28 мкм) вычитаются перемещения т. O , полученные в результате контактных деформаций. Окончательно получаем:

$$[\Delta_x] = 14,11 \text{ мкм}, [\Delta_y] = 19,89 \text{ мкм}, [\Delta_z] = 22,55 \text{ мкм}.$$

В процессе оптимизации несущей системы станка считаем, что перемещения в зоне обработки по координатным осям x, y, z должны быть меньше или равны соответствующим допускаемым перемещениям. Для принятой системы предпочтительным считается вариант с наименьшей массой и перемещениями, равными или близкими допускаемым значениям.

Задача условной оптимизации (1) решается методом штрафных функций в форме (r – штрафной параметр)

$$\varphi(X, r) = f(X) + r \sum_{j=1}^J [1 / g_j(X)]$$

с использованием метода Давидона–Флетчера–Пауэлла для решения задачи безусловной оптимизации [4].

На рис. 2 представлено деформированное состояние несущей системы фрезерно-расточного станка. Видно, что стойка испытывает совместное действие изгиба и кручения и является наиболее нагруженным элементом несущей системы станка. В таблице при-

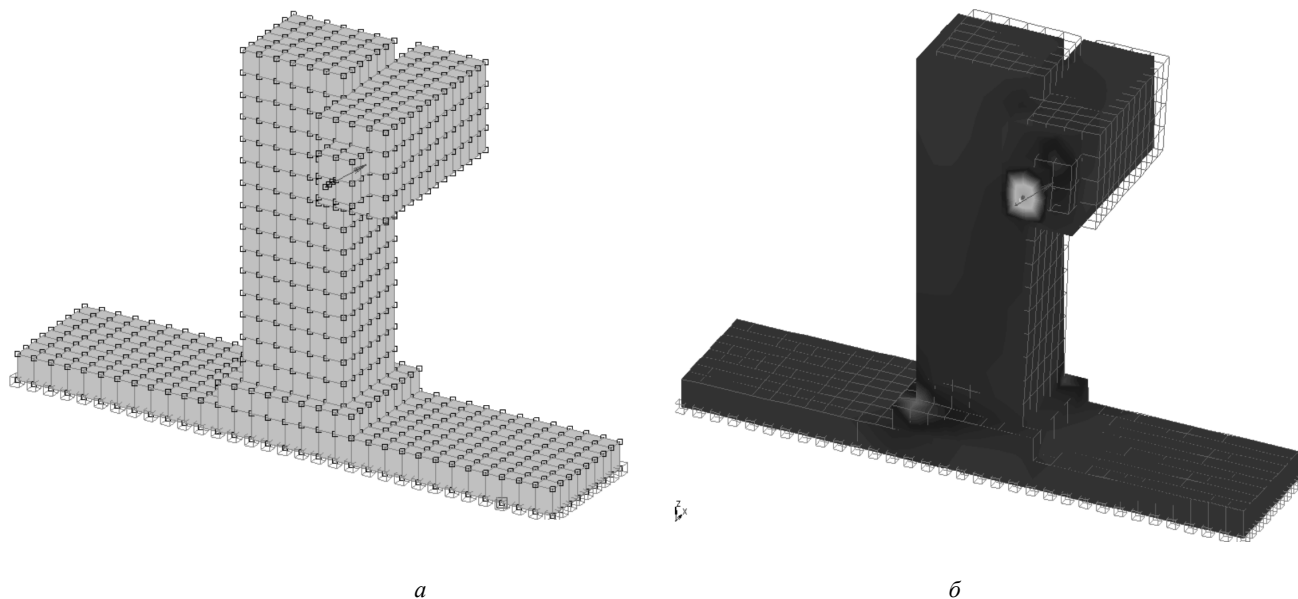


Рис. 2. Исходное (а) и деформированное (б) состояния станка

ведены результаты исследования несущей системы с различным исполнением базовых деталей для разных условий эксплуатации в сравнении с серийным исполнением.

• *Типовые условия эксплуатации:* чистовая обработка, фреза торцовая диаметром 250 мм, число зубьев 20, глубина резания 0,5 мм, подача на зуб 0,05 мм, частота вращения шпинделя 170 мин⁻¹ (максимальное значение 500 мин⁻¹).

Результаты расчетов показывают, что имеются возможности по улучшению компоновки базовых деталей по сравнению с их серийным исполнением. Для принятой системы предпочтений следует признать лучшим вариант несущей системы со

стойкой с размерами поперечного сечения 1,8 м (по оси *x*) и 2,6 м (по оси *y*). Вариант несущей системы со стойкой 1,6 × 2,8 (м) отклонен по причине большой протяженности сечения стойки по оси *y*, так как это приводит к дальнейшему уменьшению рабочего хода (рабочего пространства) стойки по этой оси. Отметим, что в процессе оптимизации активным ограничением является перемещение т. *O* по оси *y*. Если при проектировании станка ориентироваться на типовые условия эксплуатации, то на примере расчета серийного варианта видно, что выигрыш по массе составляет около 30 % при сохранении норм точности на обработку.

Результаты расчета несущей системы

Параметр	Условия эксплуатации					Типовые серийный
	серийный	Предельные расчетный			серийный	
Вариант						
Размеры поперечного сечения (в осях), м:						
–стойка (<i>x-y</i>)	2,0 · 2,46	2,3 · 2,3	2,46 · 2,46	1,8 · 2,6	1,6 · 2,8	2,0 · 2,46
–шпиндельная бабка (<i>y-z</i>)	1,3 · 2,20	1,8 · 1,9	1,30 · 2,20	1,7 · 2,0	1,7 · 2,0	1,3 · 2,20
–ползун (<i>y-z</i>)	0,6 · 0,80	0,7 · 0,7	0,80 · 0,80	0,8 · 0,8	0,8 · 0,8	0,6 · 0,80
Перемещения т. <i>O</i> , мкм:						
– ось <i>x</i> (норма 14,11)	7,34	6,75	6,43	9,51	9,58	6,28
– ось <i>y</i> (норма 19,89)	19,89	19,89	19,89	19,89	19,89	19,89
– ось <i>z</i> (норма 22,55)	11,58	11,74	11,56	12,10	12,69	11,20
Толщина стенки, мм:						
–плоскость <i>yz, xz</i>	98	94	96	99	98	71
–плоскость <i>xy</i>	146	162	147	107	106,7	99
Масса, т	169,9	179,7	181,0	158,2	157,2	119,3

АНАЛИЗ ОТДЕЛЬНОЙ БАЗОВОЙ ДЕТАЛИ

Стойка. В конструкциях тяжелых МС колонкового типа стойка является одним из наиболее ответственных элементов несущей системы, находится в условиях сложного нагружения с большими крутящими и изгибающими моментами и работает как консоль без поддержки по длине со стороны фундамента. Серийная стойка представляет собой пространственную тонкостенную конструкцию, состоящую из двух частей, соединяющихся между собой посредством болтового соединения (рис. 3). Передняя часть стойки, имеющая направляющие для шпиндельной бабки, состоит из двух замкнутых контуров. Внутренняя полость задней части стойки содержит пересекающиеся продольные и поперечные ребра по всей высоте и служит для размещения противовеса (разгружает привод вертикального перемещения шпиндельной бабки от ее веса).

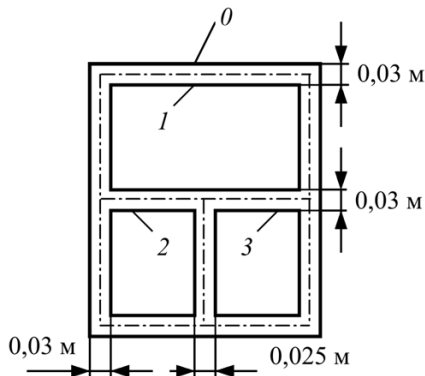


Рис. 3. Поперечное сечение стойки

1. Для исследования многосвязного контура серийной стойки на крутильную жесткость (рис. 3) воспользуемся аналогией Прандтля [5]. В случае n -связного поперечного сечения крутящий момент определяется по формуле

$$M = 2 \left(\iint \varphi dx dy + \sum_{i=1}^{n-1} \varphi_i F_i - \varphi_0 F_0 \right), \quad (2)$$

где φ – функция Прандтля; F_i, F_0 – площади, ограниченные внутренними и наружными контурами. В рассматриваемом случае формула (2) принимает следующий вид:

$$M = 2 \sum_{i=1}^{n-1} f_i w_i = 2 \sum_{i=1}^{n-1} f_i \varphi_i,$$

где f_i – площадь, ограниченная контуром, всюду делаящим толщину сечения в поперечном сечении пополам; w_i – функция поверхности провисания мембраны (w_i тождественна φ_i). Относительный угол закручивания вычисляется по формуле

$$\theta = M / (GI_k),$$

где GI_k – жесткость поперечного сечения на кручение. На рис. 4 приведены результаты расчета по отношению к серийному варианту (рис. 4, а), жесткость на кручение которого принята за 100 %.

Анализ результатов показывает, что в данных условиях наилучшей является стойка с квадратным поперечным сечением (рис. 4, з), у которой жесткость на кручение на 26 % выше по сравнению с серийным вариантом. Некоторое улучшение по жесткости имеет место и в случае, изображенном на рис. 4, е. На практике стойка выполняется также и с квадратным поперечным сечением 2×2 м (рис. 4, д). Однако жесткость сечения в этом случае на 35 % меньше жесткости на кручение серийного варианта.

2. Стойка может иметь различные варианты расположения ребер, которые в значительной степени определяют ее жесткость, а следовательно, и жесткость станка в целом. Для исследования влияния компоновки ребер на жесткость стойки рассмотрим ее упрощенную конструкцию. На рис. 5 показаны варианты расположения ребер (на передней стенке ребра отсутствуют). Расположение ребер в серийной конструкции изображено на рис. 5, а.

Расчетная схема стойки моделирует все виды деформации серийной конструкции. Влияние стенок на перемещения узлов стойки для всех вариантов расположения ребер одинаково, так как конеч-

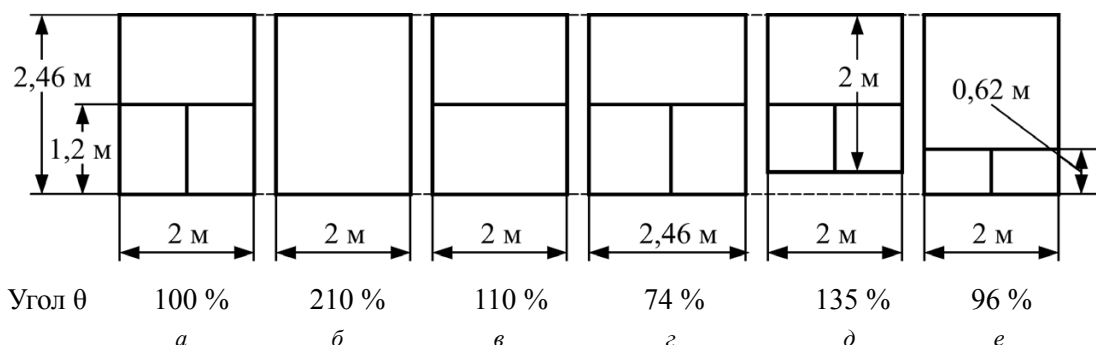


Рис. 4. Компоновка поперечного сечения стойки

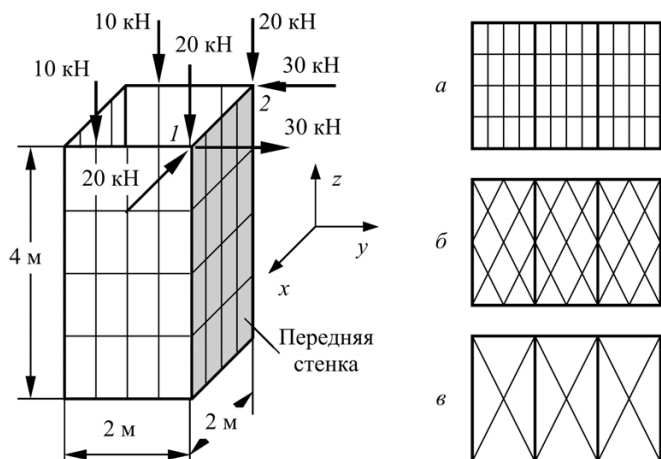


Рис. 5. Расчетная схема стойки и развертка полости стойки с разной компоновкой ребер жесткости

ноэлементная схема позволяет иметь постоянную сетку для пластинчатых конечных элементов, моделирующих стенки стойки. Исходные данные для расчета: толщина стенки 0,04 м; толщина ребра 0,06 м; жесткое защемление стойки по нижнему контуру.

Если обозначить, например, угол поворота передней стенки, по которой скользит шпиндельная бабка, как $\theta = |y_1 - y_2| / L_{12}$, где y_1, y_2 – линейное перемещение точек 1 и 2 соответственно по оси y ; L_{12} – расстояние между точками 1 и 2 (рис. 5); M – масса стойки, то получим следующие результаты:

компоновка ребер	θ , %	θ/M %
рис. 5, а	100	100
рис. 5, б	70	70
рис. 5, в	100,3	124

Результаты расчета показывают, что серийная конструкция стойки с пересекающимися продольными и поперечными ребрами по всей высоте (рис. 5, а) тяжелее на 24 % стойки с диагонально пересекающимися ребрами (рис. 5, в) при равной жесткости

и менее жесткая, чем стойка с диагонально пересекающимися продольными и поперечными ребрами (рис. 5, б). Следовательно, при проектировании стойки предпочтение следует отдать наклонным ребрам. Как известно, влияние продольных ребер на перемещения от кручения весьма незначительно, а от изгиба – не превышают 10...20 %.

Выводы

1. Показано, что на этапе проектирования, используя разнообразные методы механики деформируемого твердого тела и упрощенное представление базовых деталей, можно предварительно исследовать реакцию базовых деталей тяжелых многоцелевых станков на действие внешних нагрузок и определить рациональные пути по улучшению конструкций.

2. Результаты такого анализа служат далее основой для формирования реальной геометрии базовых деталей и построения более точных их математических моделей с целью выбора оптимальных параметров.

Список литературы

1. Атапин В.Г. Оптимизация несущей системы стола тяжелого многоцелевого станка // Обработка металлов. – 2006. – № 4(33). – С. 30–32.
2. Демкин Н.Б. Контактное взаимодействие шероховатых поверхностей. – М.: Наука, 1970. – 227 с.
3. Гжиров Р.И. Краткий справочник конструктора. – Л.: Машиностроение, 1983. – 464 с.
4. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс. – М.: Радио и связь, 1988. – 128 с.
5. Атапин В.Г. Сопротивление материалов: учебник / В.Г. Атапин, А.Н. Пель, А.И. Темников. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – 556 с. – (Серия «Учебники НГТУ»).

CHOICE OF DESIGN PARAMETERS OF BASE DETAILS OF THE MACHINING CENTER AT THE DESIGN STAGE

V.G. Atapin

Application of solid mechanics methods for stage of preliminary designing of base details of heavy machining center with a research objective of their reactions to action of external loadings and definitions of rational ways on improvement of configuration of constructions is considered.

Key words: machining center, base details, finite element method, penalty-function method, the Davidon-Fletcher-Powell's method.

О МОДЕЛЯХ ДЛЯ РАСЧЕТА КОНТАКТНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ НЕСУЩЕЙ СИСТЕМЫ МНОГОЦЕЛЕВОГО СТАНКА

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

Статья поступила 20 февраля 2011 г.

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

Рассматривается возможность применения известных моделей для расчета контактных деформаций в соединениях несущей системы тяжелого многоцелевого станка на этапе проектирования.

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

Наличие в несущей системе станка большого количества соединений (неподвижных и подвижных) базовых деталей оказывает существенное влияние на точность механической обработки. Для тяжелых многоцелевых станков, у которых стойки достигают высоты 10...15 м (рис. 1), перемещения инструмента в зоне резания определяются как сумма перемещений в результате упругих деформаций несущей системы и контактных деформаций в ее соединениях (стыках).

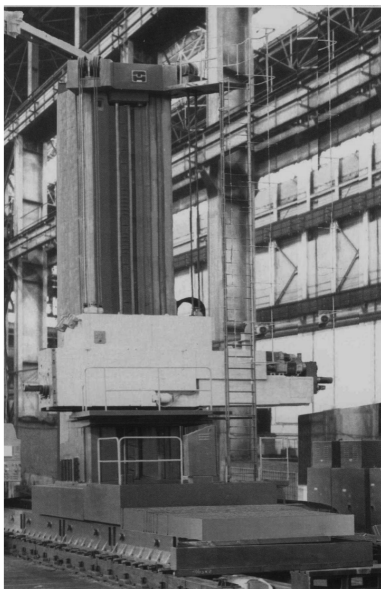


Рис. 1. Тяжелый многоцелевой станок сверлильно-фрезерно-расточной группы

Для расчета контактных деформаций разработан ряд моделей.

1. Эмпирические модели, полученные на основе систематики результатов экспериментов [1]. Для центрального нагружения неподвижных пло-

ских стыков малой площади (до $(30...50)10^{-4} \text{ м}^2$) используются 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 упругие 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 [5]:

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

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 [1].

2. Модели шероховатой поверхности в виде стержней, сфер и эллиптических поверхностей [2,

3]. 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.* 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, $r_i = (r_{i\text{н}} r_{i\text{пр}})^{1/2}$, $r_{i\text{н}}, r_{i\text{пр}}$ – 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, v_i, b_i – параметры опорной кривой i -й поверхности, $K_2 = \Gamma(v_1 + 1) \Gamma(v_2 + 1) / \Gamma(v_1 + v_2 + 1)$, Γ – гамма-функция; $K_3 = f(v)$ – коэффициент; $H_{\max} = H_{\max 1} + H_{\max 2}$ – наибольшая высота неровностей профиля, где $\lg H_{\max i} = 0,79 + 0,98 \lg R_{ai}$ [6], 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, $R_i = (R_{i\text{н}} R_{i\text{пр}})^{1/2}$, $R_{i\text{н}}, R_{i\text{пр}}$ – соответственно радиус волны в поперечном и продольном направлениях; p_a – номинальное давление.

▪ *Сферическая модель.* 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 – соответственно контурное и фактическое давления в стыке, и для случая $H_{\max} \geq 0,1 H_B$:

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

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

3. Модели соединений, используемые в программных комплексах, в частности ANSYS.

В работе дана сравнительная оценка указанных моделей на примере компоновки вертикального подвижного стыка «стойка–шпиндельная бабка» тяжелого многоцелевого станка (рис. 2). Вычислялось перемещение торца шпинделя (точки O) по оси y . Исходные данные для расчета:

- материал направляющих имеет модуль упругости $E = 0,8 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона $\mu = 0,25$;
- класс шероховатости поверхности направляющих 7, $R_a = 0,63$ мкм;
- 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 $p_1(R_1) = 0,0691$ МПа, $p_2(R_2) = 0,0065$ МПа, $p_3(R_3) = 0,0153$ МПа.

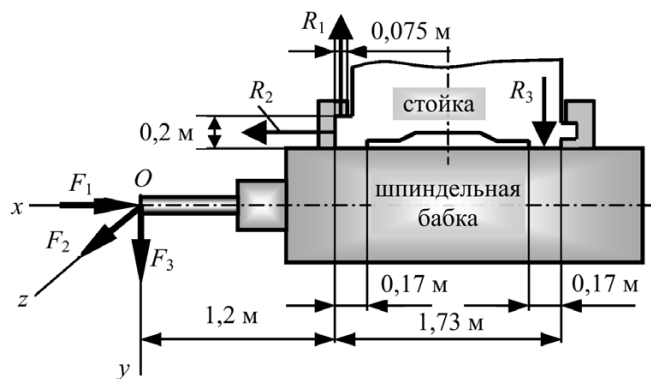


Рис. 2. Расчетная схема подвижного стыка «стойка – шпиндельная бабка»

Вычисления упругих перемещений вследствие поворота в поперечной плоскости направляющих проводились на основе зависимости при работе основной грани и одной планки [1]:

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

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 направлении оси x от внешней нагрузки.

При использовании модели соединения ANSYS геометрическая модель создавалась в системе проектирования SolidWorks (рис. 3, 4). Конечно-элементный анализ модели проводился средствами комплекса ANSYS для двух случаев: 1) шероховатость стыкуемых поверхностей не учитывается, 2) стык имеет шероховатые поверхности. Разность результатов, полученных в двух случаях, дает величину контактных деформаций. Сравнение моделей контакта, использу-

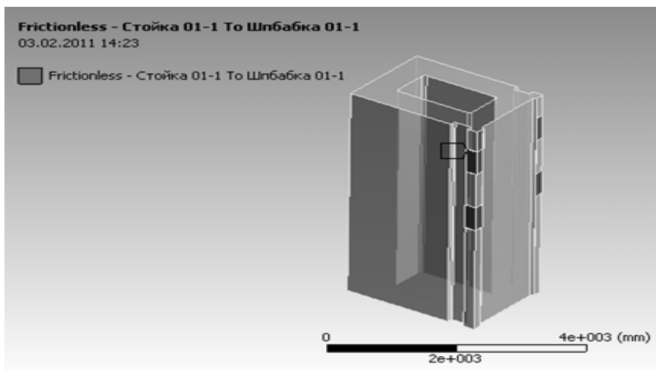


Рис. 3. Моделирование стыков на стойке (шпиндельная бабка здесь прозрачна)

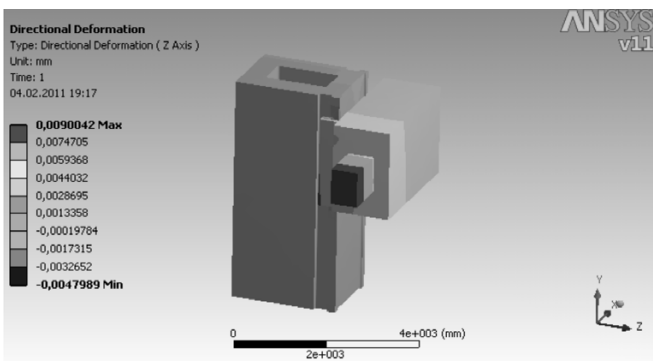


Рис. 4. Моделирование и результаты расчета подвижного стыка «стойка – шпиндельная бабка» в ANSYS

мых в ANSYS, приведено в табл. 1. При определении наибольшей высоты неровностей профиля H_{max} использовались формулы для стержневой модели, приведенные ранее, и в нашем случае $H_{max} = 3,92$ мкм. В дальнейшем при определении контактных деформаций использовались две модели – Bonded для первого случая и Frictionless для второго случая, которые наиболее полно отражают работу стыков с учетом работы плоскостей и граней.

Таблица 1

Сравнение моделей контакта ANSYS

Модель	Перемещение т. О по оси у, мкм
No separation	3,9334
Bonded	3,7894
Rough	7,8217
Frictionless	9,0042

Приведенные в табл. 2 результаты показывают, что для расчета контактных деформаций в соединениях несущей системы тяжелого многоцелевого станка, отличающихся большой площадью контакта поверхностей, предпочтительно использовать стержневую модель шероховатой поверхности и модель Frictionless ANSYS. Как известно из литературы, стержневая модель лучше соответствует экспериментальным данным. Расчет на основе эмпирических зависимостей (технический расчет) ориентирован на средние значения контактной податливости k , что отражается на перемещении. В условиях автоматизированного проектирования следует использовать модель Frictionless ANSYS, дающую практически такой же результат, как стержневая модель.

Таблица 2

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

Метод	Перемещение т.О по оси у, мкм	Нормальное сближение поверхностей a , мкм	
		Грань R_1	Грань R_3
Технический расчет [1]	3,11 [4]	1,45	0,43
Сферическая модель	4,53 [4]	1,96	1,46
Стержневая модель	5,26 [4]	2,33	2,04
Модель ANSYS	5,21	–	–

Список литературы

1. Левина З.М., Решетов Д.Н. Контактная жесткость машин. – М.: Машиностроение, 1971. – 264 с.
2. Демкин Н.Б. Контактное взаимодействие шероховатых поверхностей. – М.: Наука, 1970. – 227 с.
3. Трение, изнашивание и смазка: справочник/ под ред. И.В. Крагельского и В.В. Алипина. – М.: Машиностроение, 1978. – Кн.1. – 400 с.
4. Атапин В.Г., Войнова Е.В. Расчет контактных деформаций в соединениях тяжелого многоцелевого станка // Обработка металлов. – 2010. – № 4. – С. 27-31.
5. Металлорежущие станки/ под ред. В.Э. Пуша. – М.: Машиностроение, 1986. – 256 с.
6. Демкин Н.Б., Рыжов Э.В. Качество поверхности и контакт деталей машин. – М.: Машиностроение, 1981. – 244 с.

ABOUT CALCULATION MODELS OF CONTACT DEFORMATIONS FOR AUTOMATION DESIGN OF CARRIER SYSTEM OF MACHINING CENTER

V.G. Atapin, E.V. Voinova

Application of known models for calculation of contact deformations in connections of carrier system of machining center at a design stage is consider.

Key words: machining center, contact deformations, design, calculation models.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ АДГЕЗИОННОГО ИЗНОСА ЛЕЗВИЙНОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

*А.В. ШАШОК¹, канд. техн. наук, доцент,
А.В. КУТЫШКИН², доктор техн. наук, профессор,
Е.А. ФРОЛОВ¹, аспирант,
И.В. КОЖЕМЯКО², аспирант
(¹Рубцовский индустриальный институт (филиал)
АлтГТУ им. И.И. Ползунова, г. Рубцовск,
²НГТУ, г. Новосибирск)*

Статья поступила 15 декабря 2010 г.

Кутышкин А.В. – 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: avk_200761@mail.ru

Предлагаются физико-вероятностные модели образования и разрушения адгезионных металлических связей между лезвийным режущим инструментом и материалом обрабатываемой заготовки. Рассмотрено использование этих моделей для оценки динамики износа главной задней поверхности режущего инструмента. Представлены результаты расчета износа режущего инструмента в сравнении с результатами экспериментальных исследований, опубликованных в открытой печати.

Ключевые слова: лезвийный режущий инструмент, адгезионные металлические связи, износ режущего инструмента, износ задней поверхности режущего инструмента.

Наиболее распространенным видом износа лезвийного режущего инструмента при обработке различных групп сталей является износ по его главной задней поверхности. Для количественной оценки преимущественных видов износа лезвийного режущего инструмента, включая указанный, чаще всего используются эмпирические модели, построенные на основе статистической обработки данных экспериментальных исследований и данных его производственной эксплуатации. Несмотря на достаточно широкое практическое использование моделей подобного вида, значительный интерес представляет разработка моделей прогнозирования преимущественных видов износа режущего инструмента, учитывающих специфику протекания соответствующих физико-механических процессов.

Одним из основных механизмов, определяющих характер развития износа режущих поверхностей режущего инструмента, является адгезионный механизм, описанный в работах [1,2]. На основании результатов, полученных в этих работах, предлагается принять следующие предположения.

Будем считать, что объем материала режущей части инструмента dQ , удаляемый с элементарной

площадки скользящего контакта его задней поверхности с материалом обрабатываемой заготовки dl , за элементарный отрезок времени dt вследствие образования и последующего разрушения адгезионных металлических связей (АМС) может быть оценен выражением

$$dQ = V \cdot dt \cdot dl \cdot \delta \cdot p_I \cdot p_{II}, \quad (2)$$

где V – скорость резания; δ – толщина зоны разрушения АМС в инструменте, принимаемая равной толщине полос скольжения в металлах ($\delta \approx 3 \cdot 10^{-10}$ м); p_I – вероятность образования АМС на рассматриваемой площадке контакта инструмента и обрабатываемой заготовки; p_{II} – вероятность смещения зоны разрушения АМС в инструмент.

Образование АМС происходит за счет активации контактирующих в процессе обработки поверхностей инструмента и заготовки, что обусловлено преимущественно пластической деформацией элементарных объемов обрабатываемого металла. Уровень данной активации предлагается оценивать мощностью пластической деформации W этих объемов [3]. Будем считать, что уровень активации, достаточный для образования АМС, соответствует

мощности W_k , затрачиваемой на полное пластическое смятие поверхностных микронеровностей материала обрабатываемой заготовки в пределах площади его скользящего контакта с инструментом dl . При этом

$$W/W_k \approx q_3/q_k \quad (3)$$

где q_3 – среднее нормальное давление на задней поверхности режущего инструмента; q_k – среднее нормальное давление, необходимое для полного пластического смятия микронеровностей материала обрабатываемой заготовки на площадке dl .

Величину q_3 с учетом известных данных [4] о характере распределения нормальных и касательных нагрузок на задней поверхности режущего инструмента можно оценить зависимостью

$$q_3 = 0,5043 \cdot q_{3 \max}; \quad q_{3 \max} = 0,5 \sigma_B \quad (4)$$

где σ_B – предел прочности материала обрабатываемой заготовки при средней температуре Θ_3 на задней поверхности режущего инструмента. Величина Θ_3 может быть оценена с использованием алгоритма теплофизического анализа, предложенного в работе А.Н. Резникова [4].

Значение q_k в свою очередь, определяется выражением [5]

$$q_k = 2,5 \sigma_{-B} (1 - \mu), \quad \mu = \frac{1}{2(1,385 - \gamma)} \quad (5)$$

где σ_{-B} – предел прочности на сжатие материала режущей части инструмента при температуре Θ_3 ; μ – постоянная трения; γ – передний угол режущего инструмента.

Характер расположения зоны разрушения АМС (в материале обрабатываемой заготовки или в материале режущей части инструмента) зависит от чувствительности механизмов разрушения поверхностных слоев инструмента и обрабатываемого металла к субмикрорезультатам в структуре АМС. Основными характеристиками такой чувствительности являются средние длины критических трещин Гриффитса–Орвана [6] в поверхностных слоях инструмента ζ_1 и обрабатываемой заготовки ζ_2 . В первом приближении будем полагать, что

$$\zeta_1/\zeta_2 \approx \sigma_2^2/\sigma_1^2 \quad (6)$$

где σ_1, σ_2 – истинные пределы прочности на разрыв материала режущей части инструмента и материала обрабатываемой заготовки при температуре Θ_3 .

Основываясь на допущении о жесткопластичности материалов обрабатываемой заготовки и инструмента, будем считать, что:

$$\sigma_1 \cong \sigma_{СИ}, \quad \sigma_2 \cong \sigma_{SM}, \quad \sigma_{СИ} \cong (0,7 \dots 0,8) \sigma_{и},$$

где $\sigma_{SM}, \sigma_{СИ}$ – напряжения текучести соответственно материалов обрабатываемой заготовки и режущей части инструмента при температуре Θ_3 ; $\sigma_{и}$ – предел прочности при изгибе материала режущей части инструмента при температуре Θ_3 .

Вероятности p_I и p_{II} в первом приближении предполагается принять равными вероятностям безотказной работы открытых одноканальных систем массового обслуживания (СМО) [7], функционирование которых моделирует образование и разрушение АМС при следующих предположениях. Требованиями на обслуживание в этих СМО являются площадки скользящего контакта инструмента и материала обрабатываемой заготовки. Поток случайных событий в данных системах полагаются близкими к простейшим. В рассматриваемых СМО возможны только два состояния: состояние «0» – состояние готовности к обслуживанию или завершеному обслуживанию и состояние «1» – состояние обслуживания поступившего требования. Режим работы СМО будем считать стационарным. Вероятность безотказной работы такой СМО p_0 равна вероятности состояния «0» и определяется выражением [7]:

$$p_0 = (1 + \lambda_{01} / \mu_{10})^{-1} \quad (7)$$

где γ_{01} и μ_{10} – интенсивности переходов СМО из состояния «0» в состояние «1» и обратно соответственно.

В СМО, моделирующей условия возникновения АМС, завершение обслуживания поступившего требования означает образование данной связи. Параметры СМО и величина p_I согласно принятым ранее оценкам условий активизации областей контакта (3), а также (7) определяются выражениями

$$\lambda_{01.I} = a_1 W^{-1}; \quad \mu_{10.I} = a_1 W_k^{-1}; \quad p_I = (1 + q_k/q_3)^{-1} \quad (8)$$

Для СМО, моделирующей условия размещения зоны разрушения АМС завершение обслуживания поступившего требования означает смещение этой зоны в инструмент. Интенсивности $\gamma_{01.II}$ и $\mu_{10.II}$ а также вероятность p_{II} , с учетом принятых ранее условий расположения зоны разрушения АМС (6), согласно (7) равны

$$\lambda_{01.II} = a_2 \zeta_1^{-1}; \quad \mu_{10.II} = a_2 \zeta_2^{-1}; \quad p_{II} = (1 + \sigma_{SM}^2/\sigma_{СИ}^2)^{-1} \quad (9)$$



Объем материала режущей части инструмента Q , удаляемый с его задней поверхности за время обработки одной заготовки τ , определяется интегрированием выражения (2) в предположении о том, что вероятности p_I и p_{II} мало меняются за время обработки одной заготовки. Тогда

$$Q = \int_0^{b\tau} \int_0^1 V \delta p_I p_{II} dt dl \cong bV \delta p_I p_{II} \tau; \quad b = \frac{t}{\sin \varphi \cos \lambda}, \quad (10)$$

где τ – полное время контакта задней поверхности режущего инструмента с обрабатываемым материалом за время обработки одной заготовки, определяемое в зависимости от метода обработки; t – глубина резания; b – ширина срезаемого слоя; φ, λ – соответственно главный угол в плане и угол наклона главной режущей кромки инструмента.

С другой стороны, объем материала режущей части инструмента, удаляемый с его задней поверхности за элементарный отрезок времени dt , можно оценить из геометрических соображений следующей зависимостью [8]:

$$dQ = b \left(\frac{h_3 dh_3 \operatorname{tg} \alpha}{1 - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \gamma} + \frac{dh_3^2 \operatorname{tg} \alpha}{2(1 - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \gamma)} \right) \cong b \frac{h_3 dh_3 \operatorname{tg} \alpha}{1 - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \gamma}, \quad (11)$$

где h_3 – текущее значение высоты площадки износа; dh_3 – приращение высоты площадки износа за время dt ; α, γ – соответственно задний угол и передний угол режущего инструмента. Интегрируя (11), получаем

$$Q = b \frac{0,5 \Delta h_3^2 \operatorname{tg} \alpha}{1 - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \gamma}, \quad (12)$$

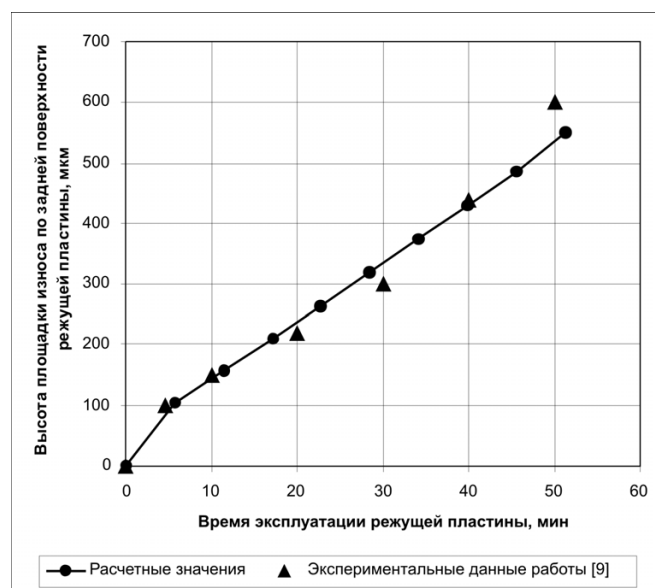
где Δh_3 – приращение высоты площадки износа за время обработки одной заготовки, значение которого можно найти из (10) и (12):

$$\Delta h_3 = \sqrt{2 \cdot p_I p_{II} \frac{v(1 - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \gamma)}{\operatorname{tg} \alpha} \delta \tau}. \quad (13)$$

Проверка адекватности предлагаемой физико-вероятностной модели осуществлялась путем сравнения расчетных значений высоты площадки износа по задней поверхности режущего инструмента с экспериментальными данными работы [9]. Эксперименты проводились в условиях продольного точения цилиндрических заготовок стали С-60 (Сталь 60, $\sigma_B \approx 700$ МПа,) твердосплавными режущими пластинами группы применяемости по ISO P30 (материал – ТК15К6; предел прочности при изгибе $\sigma_{и} = 1180$ МПа;

предел прочности на сжатие $\sigma_{-B} = 4120 - 4210$ МПа; геометрические параметры: $\varphi = 75^\circ; \gamma = 15^\circ; \alpha = 6^\circ$) с режимами резания: $V = 110$ м/мин; $S = 0,2$ мм/об; $t = 2$ мм.

На рисунке совместно представлены расчетные значения величины площадки износа по задней поверхности режущего инструмента в зависимости от времени его эксплуатации и аналогичные экспериментальные данные. Относительная ошибка ϵ моделирования процесса износа режущего инструмента в зависимости от времени его эксплуатации T составляет: от 2 до 4 % для $T \leq 20$ мин; от 2 до 6 % для $20 < T \leq 40$ мин; от 0 до 8 % для $T > 40$ мин.



Расчетные значения высоты площадки износа по задней поверхности режущей пластины в зависимости от времени ее эксплуатации

Наибольшие отклонения расчетных значений величины площадки износа h_3 от экспериментальных наблюдается в последнем диапазоне T , соответствующем периоду, в котором обычно происходит катастрофический износ всех типов лезвийных режущих инструментов.

Полученные значения величины относительной ошибки ϵ позволяют сделать вывод об адекватности предложенной физико-вероятностной модели и возможности ее использования при технологической подготовке производства, например, для оценки величины погрешности обработки, обусловленной износом режущего инструмента.

Список литературы

1. Когаев В.П., Дроздов Ю.Н. Прочность и износостойкость деталей машин. – М.: Высшая школа, 1991. – 319 с.

2. *Трибология: Исследования и приложения. Опыт США и стран СНГ* / под ред. В.А. Белого, К. Лудемы, Н.К. Мышкина. – М.: Машиностроение; Нью-Йорк; Аллертон пресс, 1993. – 454 с.
3. *Степанский Л.Г.* Прогнозирование надежности деформирующего инструмента: учеб. пособие. – М.: МГТУ «Станкин», 1995. – 99 с.
4. *Резников А.Н.* Теплофизика процессов механической обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.
5. *Лоладзе Т.Н.* Прочность и износостойкость режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.
6. *Владимиров В.И.* Физическая природа разрушения металлов – М.: Metallurgia, 1984. – 280 с.
7. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
8. *А.В. Шашок.* Оценка надежности функционирования режущего инструмента на операциях токарной обработки // Вестник машиностроения, 2002. – № 9. – С. 60 – 63.
9. *Nikhil R. Dhar, Md. Kamruzzaman, Soumitra Paul,* Wear Behavior of Uncoated Carbide Inserts under Dry, Wet and Cryogenic Cooling Conditions in Turning C-60 Steel. J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng., April-June 2006, Vol. XXVIII, No. 2, p. 146 – 152.

PREDICTION OF ADHESIVE FLANK WEAR OF THE CUTTING TOOL

A.V. Shashok, A.V. Kutyshkin, E.A. Frolov, I.V. Kogemyko

Physical-probabilistic models of formation and breaking of adhesive bonds between the metal blade cutting tool and workpiece material are offered. Use of these models for an estimation of dynamics of major flank wear surface of the cutting tool is considered. Results of calculation of wear of the cutting tools in comparison with the results of experimental studies published in the open press are presented.

Key words: cutting tool, adhesive metal linkages, wear of the cutting tool, flank wear of the cutting tool

ШЛИФОВАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ НА ОСНОВЕ СИЛИКОКАРБИДА ТИТАНА

*Г.И. СМАГИН¹, канд. техн. наук, доцент,
В.Н. ФИЛИМОНЕНКО¹, канд. техн. наук, доцент,
Н.Д. ЯКОВЛЕВ¹, ст. преподаватель,
М.А. КОРЧАГИН², доктор техн. наук, с.н.с.,
В.Ю. СКИБА¹, канд. техн. наук, доцент,
(¹НГТУ, г. Новосибирск,
²ИХТМ СО РАН, г. Новосибирск)*

Статья поступила 14 января 2011 г.

Смагин Г.И. – 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: G.Smagin@ngs.ru

В предлагаемой статье исследуется новый материал, полученный по технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). По результатам исследований авторов предлагается его применение для изготовления бесвязочных абразивных кругов, используемых на операциях суперфиниширования и чистовой шлифовки различных материалов.

Ключевые слова: самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС); СВС абразивные круги; СВС связка; шлифовальные круги без связки; эталонный обрабатываемый материал; коэффициент шлифования; удельный съем материала при шлифовании.

ВВЕДЕНИЕ

Потребность техники в абразивных инструментах продолжает оставаться высокой. В настоящее время промышленность начинает применять новые абразивные круги, созданные при использовании метода самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) [1 – 3]. Метод СВС обладает рядом специфических особенностей, отличающих его от традиционных способов получения неорганических соединений. В первую очередь, к ним следует отнести высокие температуры в волне СВС и быстротечность процессов реагирования исходных компонентов, протекающих при градиентах температуры до 10^6 К/с. Кроме того, минимальные внешние энергетические затраты и простота оборудования, возможность синтеза больших количеств продукта и его чистота делают СВС весьма привлекательным по сравнению с традиционными методами. В настоящее время наиболее широкое использование метода СВС в машиностроении наблюдается для получения абразивных материалов, применяемых в производстве абразивных порошков, доводочных паст и, существенно в меньшей мере, шлифовальных кругов [3].

Традиционные разработки шлифовальных кругов с использованием данного метода (СВС) связаны обычно с добавлением в связку дополнительного

абразива и изменения его зернистости и концентрации с целью увеличения режущей способности кругов на черновых операциях шлифования. В частности, с использованием этого подхода был получен шлифовальный инструмент на основе систем $TiB_2 - Me$ и $TiC - Me$ (где Me – интерметаллическая или металлическая матрица) с добавками абразивов SiC ; Al_2O_3 или AC ; KP различной зернистости [1]. В этих системах – Me является связкой, а TiB_2 и добавочный абразив – режущими частицами. В настоящей работе приведены результаты по получению методом СВС абразивного инструмента на основе силикокарбида титана Ti_3SiC_2 и результаты его испытаний.

Шлифовальный инструмент, изготовленный по технологии СВС на основе силикокарбида титана, состоящий из одних абразивных частиц и пор, получил название бесвязочный. В работе [4], где также разработан бесвязочный шлифовальный круг, технология изготовления инструмента состоит из импульсного прессования абразивного мелкодисперсного порошка с последующим высокотемпературным спеканием в вакууме. В предлагаемом же варианте изготовления абразивного круга на первое место выходит более экономичная технология изготовления абразивного инструмента (СВС) с получением монофазного продукта Ti_3SiC_2 .

Силикокарбид титана, по данным [9], имеет высокую температуру разложения (2300 °С), низ-

кую плотность – $4,5 \text{ г/см}^3$ и характеризуется достаточно высокими значениями модуля упругости и модуля сдвига, соответственно равными 326 ГПа и 135 ГПа. Кроме того, материал имеет достаточно высокую вязкость разрушения при комнатной температуре – $7 \dots 12 \text{ Дж/м}^2$, а его тепло- и электропроводность выше, чем у титана. Материал мало чувствителен к термическим ударам.

Такой комплекс свойств вызывает значительный интерес к Ti_3SiC_2 , и поэтому на данный момент существует большое количество работ по его синтезу [5–8]. Анализ приведенных в литературе данных показывает, что наиболее часто используемыми методами получения силикокарбида титана являются различные варианты реакционного спекания или изостатического прессования. Однако практически во всех работах отмечаются трудности получения монофазного Ti_3SiC_2 . Как правило, в продуктах синтеза помимо силикокарбида присутствует карбид титана или SiC.

Проблему получения строго монофазного Ti_3SiC_2 нам удалось решить путем объединения возможностей предварительной механической активации смеси исходных реагентов, определенного состава и последующего СВС в атмосфере аргона.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для приготовления исходных реакционных смесей использовались порошки: титана (марки ПТОМ-2), полупроводникового кремния и ламповая сажа (марки ПМ-15). Механическую активацию (МА) реакционных смесей проводили в планетарной шаровой мельнице АГО-2 с водяным охлаждением [10]. Объем каждого из двух стальных барабанов мельницы 160 см^3 . Диаметр шаров 8 мм, масса шаров в каждом барабане 200 г, масса образца 10 г. Центробежное ускорение шаров 600 м/с^2 (60 g). Для предотвращения окисления во время МА барабаны с образцами вакуумировались и затем заполнялись аргоном до давления 0,3 МПа. После МА образцы выгружались из барабанов в боксе с аргоновой атмосферой.

Активированные реакционные смеси с небольшим уплотнением (до относительной плотности 0,3...0,35) загружались в графитовый тигель диаметром 40 мм с центральным графитовым стержнем диаметром 10 мм. Сжигание образцов проводили в проточном СВС-реакторе объемом 6 литров. Перед иницированием СВС-реактор с образцом продувался аргоном. Во время СВС и до полного остывания продуктов горения в реактор постоянно подавался аргон со скоростью 9,5 л/мин. Иницирование горения осуществляли с помощью стандартного запального состава (Ti + 2B) + 35 мас. % Ni массой 0,5 г. Поджигание этого запального состава производили

нихромовой спиралью, нагреваемой электрическим током. Для измерения скорости и температуры горения использовались закрепленные на определенном расстоянии друг от друга вольфрам-рениевые термопары (ВАР 5/ВР 20) диаметром 100 мкм. Сигналы от термопар записывались на шлейфовом осциллографе Н-117/1.

Реакционные смеси после механической активации и продукты СВС исследовались с помощью рентгенофазового анализа (РФА) и сканирующей электронной микроскопии. Рентгенограммы снимались на дифрактометре ДРОН-3,0 с использованием CuK_α излучения. Электронно-микроскопическое излучение проведено на микроскопах JSM-T20 и JEM-2000 FX-II фирмы «JEOL».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных экспериментов по подбору соотношения концентрации исходных реагентов и продолжительности механической активации реакционных смесей найдены условия, обеспечивающие реализацию СВС в данной системе, с образованием в качестве конечного продукта строго монофазного соединения Ti_3SiC_2 . Для примера на рис. 1 приведена рентгенограмма полученного продукта.

При исследовании полученных образцов на сканирующем электронном микроскопе было установлено, что продукты СВС представляют собой пористый, хорошо проплавленный спек с пластинчатой микроструктурой. На рис. 2 изображена микрофотография поверхности полученного продукта СВС.

При исследовании поперечных сколов этих продуктов при большем увеличении было обнаружено, что пластинчатые частицы состоят из более тонких, плотноупакованных пластинок толщиной $0,07 \dots 0,2 \text{ мкм}$ (рис. 2).

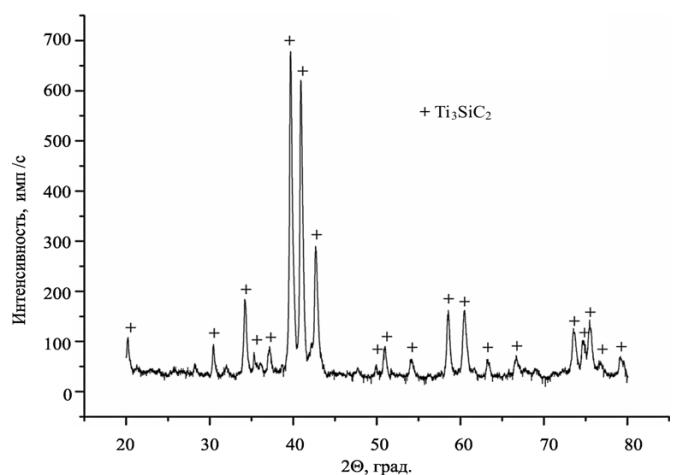


Рис. 1. Рентгенограмма продукта СВС



Объединение этих тонких пластинок в блоки могут представлять собой уже размеры в среднем (40×8×5) мкм. Продукт состоит из хаотично расположенных блоков пластин разных размеров – от игольчатых до спаянных в блоки. Для технолога выход этих блоков на поверхность и будет представлять абразивный слой шлифовального круга (рис. 2 и 3).

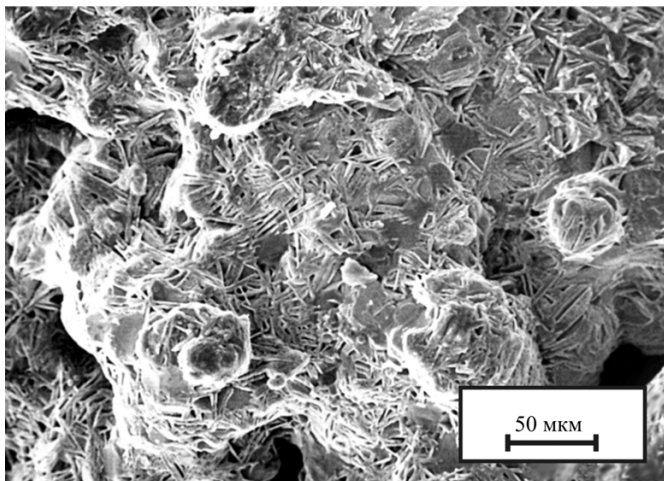


Рис. 2. Микрофотография поверхности продукта СВС

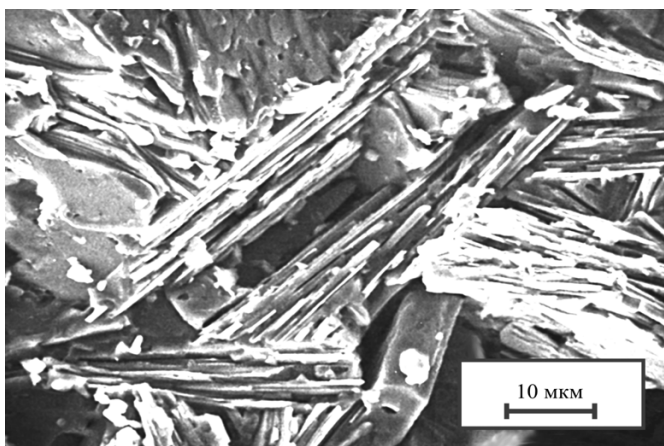


Рис. 3. Микроструктура полученного карбосилицида титана

В экспериментах по получению абразивного инструмента цилиндрической формы заданных размеров было установлено, что после предварительной механической активации смеси исходных реагентов в течение 2 мин, скорость распространения волны СВС составляет 8 ± 2 мм/с. Максимальная температура в волне горения этих образцов равна 1550 ± 200 °С.

Пластинчатые структуры СВС соединения Ti_3SiC_2 обладают абразивными свойствами, и поэтому представляет большой интерес для разработки нового шлифовального инструмента.

Испытание полученных кругов из данного материала с размерами 40×30×10 мм, выполненных по форме А8 (круги для внутренней шлифовки), проводились шлифованием по упругой схеме. При шлифовании в качестве детали использовались эталонные образцы из поделочного камня серпантинита сечением 10×10 мм. По аналогии с испытаниями шлифовальных кругов, приведенными в [2], нагрузка на каретку (с закрепленной на ней образцом для обработки из поделочного камня) на шариковых направляющих назначалась в 25Н. Скорость шлифования равнялась 3000 об/мин, при охлаждении водой.

Традиционные исследования составов шлифовальных кругов связаны с добавлением в связку (шихту) дополнительного абразива или других наполнителей с целью увеличения режущей способности круга и изменения его зернистости для технологических целей, отсюда и были проведены подобные исследования кругов с разными шихтами по абразиву. Оказалось, что шихта, как матрица, состава Ti_3SiC_2 весьма чувствительно реагирует на такие добавки. Так, добавка 5 % абразива SiC зернистостью 80 мкм к общему объему шихты снизила прочность корпуса круга в три раза, по сравнению с прочностью круга без дополнительной добавки абразива.

Отсюда рекомендация: исследуемый состав рационально применять без дополнительных добавок абразива, но в этом случае применение таких кругов ограничивается чистовыми и доводочными операциями шлифования, а сами круги войдут в классификацию как бессвязочные. Эксплуатационные испытания указанных кругов представлены на рис. 4. Исследован режим обработки по упругой схеме шлифования материала типа серпантинит (змеевик) твердостью 5 по Моосу.

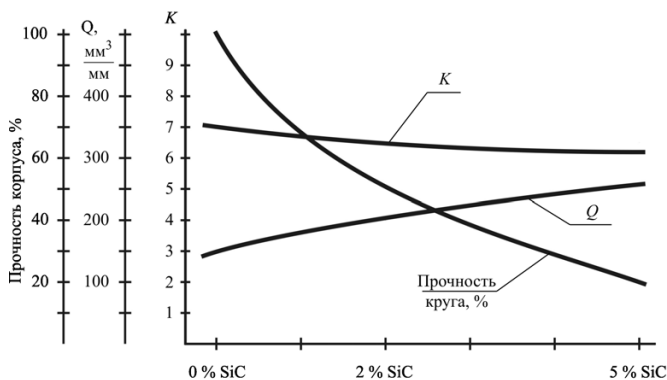


Рис. 4. Влияние добавки абразива SiC (80 мкм) в шихту круга СВС Ti_3SiC_2 на коэффициент шлифования (K), сошлифованный объем образца – Q, прочность круга в % по отношению к исходному образцу

Вывод

Новый шлифовальный инструмент, относящийся к абразивным инструментам без связки, показал свою работоспособность при обработке материала типа серпантенит, обладает необходимыми прочностными и режущими характеристиками. Зернистость шлифовального круга обеспечивается способом его изготовления, т. е. размерами блоков, составляющих его структуру, 20...40 мкм в результате реакции СВС и состава шихты. Количественно параметр «концентрация абразивных частиц» в круге в рассматриваемом случае является предельно возможным, а абразивный инструмент после операции спекания методом СВС относится уже к бессвязочному (абразив плюс поры).

Список литературы

1. Смагин Г.И. Получение шлифовальных кругов методом самораспространяющегося температурного синтеза / Г.И. Смагин, Н.Д. Яковлев, М.А. Корчагин // Инструмент Сибири. – 2001. – № 1(10). – С. 23 – 29.
2. Смагин Г.И. Особенности СВС технологий изготовления абразивных шлифовальных кругов и их маркировка / Г.И. Смагин, В.Н. Филимоненко, Н.Д. Яковлев, М.А. Корчагин // Обработка металлов. – 2010. – № 3. – С. 22 – 25.
3. Мержанов А.Г. Процессы горения и синтеза материалов / под ред. В.Т. Телены, А.В. Хачаяна. – Черноголовка: Изд-во ИСМАН, 1998. – 512 с.

4. Орбинский В.М. Повышение точности обработки при суперфинишировании новым абразивным инструментом без связки / В.М. Орбинский, А.И. Банников, О.А. Макарова, А.И. Курченко // Обработка металлов. – 2001. – № 2(13). – С. 11 – 13.

5. Jianfeng Zhang, Lianjun Wang, Lu Shi, Wan Jiang, Lidong Chen. Rapid fabrication of Ti_3SiC_2 – SiC nanocomposite using the spark plasma sintering – reactive synthesis (SPS – RS) method // Scripta Materialia. – 2007. – Vol. 56. – Issue 3. – P. 241 – 244.

6. Daniel P. Riley, Erich H. Kisi, David Phelan. SHS of Ti_3SiC_2 : ignition temperature depression by mechanical activation // Journal of the European Ceramic Society. – 2006. – Vol. – 26. – P. 1051 – 1058.

7. Zhu Jiaoqun, Mei Bingchu. Effect of aluminum on synthesis of Ti_3SiC_2 by spark plasma sintering (SPS) from elemental powders // Journal of Materials Synthesis and Processing. – 2002. – Vol. 10. – No. 6. – P. 353 – 358.

8. Shi – Bo, Hong – Xiang Zhai. Synthesis and reaction mechanism of Ti_3SiC_2 by mechanical alloying of elemental Ti, Si, and C powders // Journal of American Ceramic Society. – 2005. – Vol. 88. – No. 8. – P. 2092 – 2098.

9. Надуткин А.В. Синтез и микроструктура керамических наноламинатов на основе Ti_3SiC_2 . / А.В. Надуткин, П.В. Истомина, Е.И. Истомина // Тезисы VIII Международной научной конференции «Химия твердого тела и современные микро- и нанотехнологии. – Кисловодск, 2008. – С. 142.

10. А.с. №975068 (СССР). Аввакумов Е.Г., Поткин А.Р., Самарин О.И.. Планетарная мельница // Бюллетень изобретений. – 1982. – № 43.

THE GRINDING TOOL ON A BASIS TITAN SILICON KARBID

G.I. Smagin, V.N. Filimonenko, N.D. Yakovlev,
M.A. Korchagin, V.Y. Skeebea

In offered article the new material received on technology of self-propagating high-temperature synthesis (SHS) is investigated. On materials of researches of authors its application for manufacturing a abrasive wheels without bond used on operations finish grinding and final grinding of various materials is offered.

Key words: self-propagating high-temperature synthesis (SHS); abrasion SHS wheel marking; grinding wheels without bond; model work material; G-ratio; material removal rate.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СВАРНЫХ ВАЛИКОВ, СФОРМИРОВАННЫХ В ПОДВОДНОМ СОСТОЯНИИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ

*T. HASSEL, Dr.-Ing.,
Я.С. ЛИЗУНKOBA, научный сотрудник,
F.-W. BACH, Prof., Dr.-Ing. habil.,
(Institute of Materials Science of the Leibniz University Hanover),
А.А. БАТАЕВ, доктор техн. наук, профессор
А.А. НИКУЛИНА, канд. техн. наук, доцент,
А.М. ТЕПЛЫХ, аспирант,
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Статья поступила 10 февраля 2011 г.

Никулина А.А. – 630092, Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: _aelita27@mail.ru

В связи с интенсивным освоением морского пространства, добычей газа и нефти со дна океана, строительством и ремонтом ветросиловых установок в прибрежной зоне целесообразна разработка высококачественных технологий подводной сварки и резки. Одно из актуальных направлений исследований связано с автоматической подводной сваркой с применением порошковой проволоки. В статье рассмотрена возможность адаптации порошковой проволоки к автоматическому подводному роботу, описана конструкция самозащитной порошковой проволоки, ее состав, а также приведены результаты структурных исследований швов, полученных с использованием порошковой проволоки, разработанной в Институте материаловедения университета Ганновера.

Ключевые слова: структура, порошковая проволока, подводная сварка

ВВЕДЕНИЕ

Добыча нефти и газа со дна океана широко распространена во многих странах. Транспортировка добытых полезных ископаемых к местам их потребления осуществляется по подводным трубопроводам, которые тянутся на сотни километров по дну океана. Множество судов и кораблей строятся и эксплуатируются во всем мире. Если ремонт судов невозможен в сухих доках, то они ремонтируются непосредственно на плаву в подводных условиях. Каждый год увеличивается количество вводимых в эксплуатацию ветросиловых установок в морской и прибрежной зоне. В связи с этим остро стоит проблема разработки высококачественных технологий подводной сварки и резки для ремонта и обслуживания различного рода конструкций.

На сегодняшний день существует два основных способа подводной сварки: сварка в сухих доках и мокрая сварка. Метод сухой сварки основан на использовании специально разработанных камер различной конструкции. При этом сварка происходит без контакта свариваемого изделия с водой. Сварка в сухой камере обеспечивает высокое качество сварных соединений, однако изготовление

камеры и ее монтаж чрезвычайно длительны и затратны [1].

При мокрой сварке сварщик и свариваемый объект находятся непосредственно в водной среде. Подводная сварка этого типа основана на способности дуги устойчиво гореть в газовом пузыре, образующемся в воде при ее испарении и разложении теплом дуги, а также за счет паров и газов, выделяющихся при расплавлении металла и покрытия электродов. Технологический процесс происходит без каких-либо дополнительных сооружений и устройств. Благодаря этому сварщик имеет большую свободу перемещений, что делает мокрую сварку наиболее эффективной и самой экономичной из существующих способов сварки под водой, в первую очередь, при восстановлении металлоконструкций с развитой поверхностью на небольшой глубине [1].

Мокрая ручная сварка покрытыми электродами в настоящее время является основным технологическим процессом, используемым для восстановления и создания большинства подводных металлоконструкций. Несмотря на широкое распространение этого метода, он имеет ряд недостатков, ограничи-

вающих его применение (тяжелые условия работы водолаза-сварщика, низкая производительность процесса, ограничение по глубине – мокрый способ сварки подходит для глубины, доступной для человека в скафандре (до 100 м)). Наиболее перспективный путь увеличения производительности подводной сварки и распространения области ее применения – механизация и автоматизация процесса с максимальным сокращением времени пребывания человека под водой. Применение полуавтоматов сможет повысить производительность труда, а также сократить время пребывания сварщика под водой в 5 – 10 раз [2].

Способ мокрой механизированной сварки самозащитными порошковыми проволоками сочетает в себе положительные качества ручной дуговой сварки штучными электродами (маневренность и универсальность дугового процесса) с преимуществами механизированных способов сварки (высокая производительность, удобство работы и др.) [3]. Порошковая проволока представляет собой непрерывный электрод, состоящий из металлической оболочки и порошкового сердечника (рис. 1). Сердечник содержит смесь минералов, руд, ферросплавов и выполняет те же функции, что и покрытия обычных сварочных электродов: стабилизацию дугового разряда, защиту металла от окружающей среды, раскисление и легирование металла шва и др. [4].

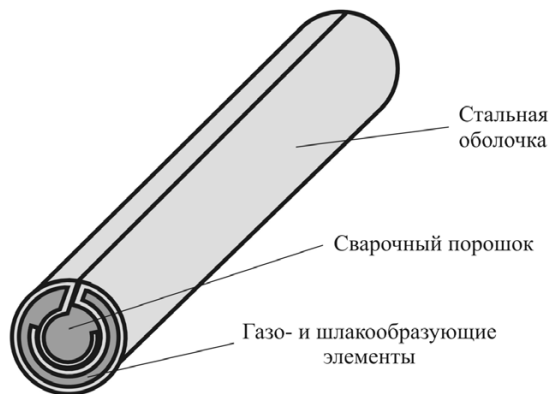


Рис. 1. Схема самозащитной порошковой проволоки

Несмотря на явные преимущества порошковой проволоки, подводная сварка с ее применением имеет ряд технологических и металлургических проблем. К ним относятся:

- высокая скорость охлаждения (как результат – высокие внутренние напряжения и трещины);
- повышенное содержание водорода в сварном шве (повышенная пористость и снижение механических свойств);
- возможность высыпания порошка из проволоки;
- проникновение воды в сердечник проволоки;
- равномерность заполнения проволоки.

В настоящее время проблема получения качественной порошковой проволоки стоит особо остро, поскольку именно свойства проволоки оказывают существенное влияние на качество сварных соединений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Самозащитная проволока, применяемая для подводной сварки низкоуглеродистой стали, разрабатывается и изготавливается в Институте материаловедения университета им. Лейбница г. Ганновера (Германия). В качестве наиболее эффективной была выбрана двухслойная конструкция проволоки (рис. 2). Она позволяет разделить сварочный порошок по его назначению: металлический порошок и легирующие элементы находятся во внутренней камере, а шлако- и газообразующие элементы – во внешней камере (рис. 3). Такая конструкция обеспечивает более равномерное оплавление сердечника и эффективную защиту металла от окисления [4].

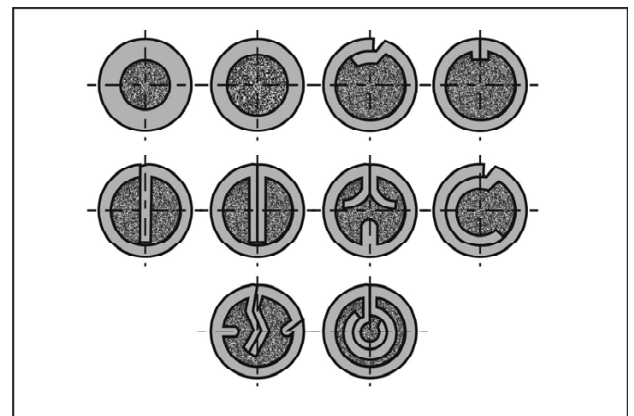


Рис. 2. Возможные конструкции оболочек порошковой проволоки [4]

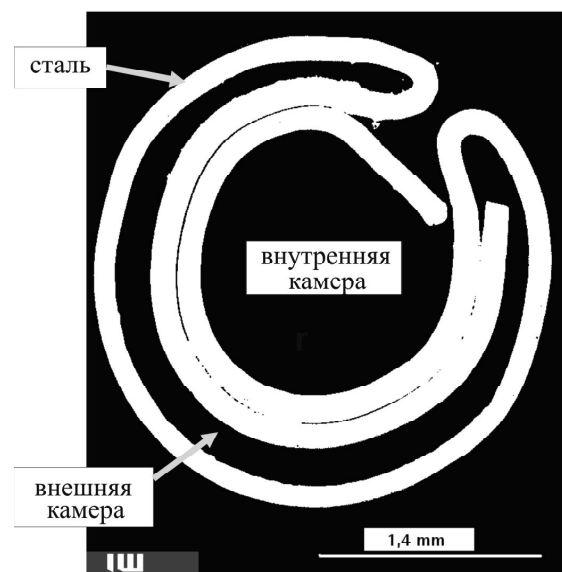


Рис. 3. Сечение двухслойной порошковой проволоки [5]

Состав проволоки

Внешняя камера		Внутренняя камера		
Компонент	Масса, %	Компонент	Масса, % *	Масса, % **
Рутил	45	Железо	30	5
Магнетит	5	Ферромарганец	20	40
Доломит	30	Ферросилиций	15	15
Каолин	10	Рутил	20	20
Кварц	10	Гексафлюорсилкат	10	10
		Никель	5	10

* – исходный состав;

** – состав порошка, предложенный на основании проведенных исследований.

Сварочный порошок, используемый для производства порошковой проволоки, представляет собой смесь порошков определенного гранулометрического состава (минералов, руд, ферросплавов и других металлических порошков) [4]. На основании литературного обзора и исследований, проведенных ранее в Институте материаловедения, предварительно был предложен состав проволоки (см. таблицу).

Порошковая проволока для подводной сварки производится на установке, представляющей собой прокатный стан с четырьмя клетями (рис. 4). Стальная лента (сталь 20 с размерами 24x0,4 мм) поступает из бобины в первую клетку, где происходит формирование U-образного профиля. Затем профиль заполняется смесью из шлако- и газообразующих компонентов и закрывается во второй клетке (формируется внешняя камера). Далее формируется внутренняя камера, которая заполняется смесью из металлического порошка и легирующих элементов. Для уплотнения порошка готовая проволока протягивается через фильеры до получения конечного диаметра 2,8 мм. Коэффициент вытяжки при этом не превышает значения 1,3.

Для автоматизированной подводной сварки в институте материаловедения был изготовлен сварочный автомат на базе машины для плазменной резки «Bach – Apolda MultiCut». Созданный автомат позволяет определить оптимальные режимы сварки с использованием разрабатываемой проволоки и предназначен для сварочных работ под водой на глубине до 250 м.

Основными объектами структурных исследований являлись образцы проволоки, наплавленные на стальную подложку. Наплавка была использована как модельный процесс для анализа качества разработанной проволоки. Для сравнения было выбрано два режима – под водой и на воздухе. Металлографические исследования полученных наплавов проводили на микроскопе AxioPlan 2. Измерение микротвердости осуществляли на микротвердомере Виккерса «Struers Duramin» при нагрузке 0,5 Н. Структурные и дюрметрические исследования выполнены совместно с сотрудниками Новосибирского государственного технического университета.

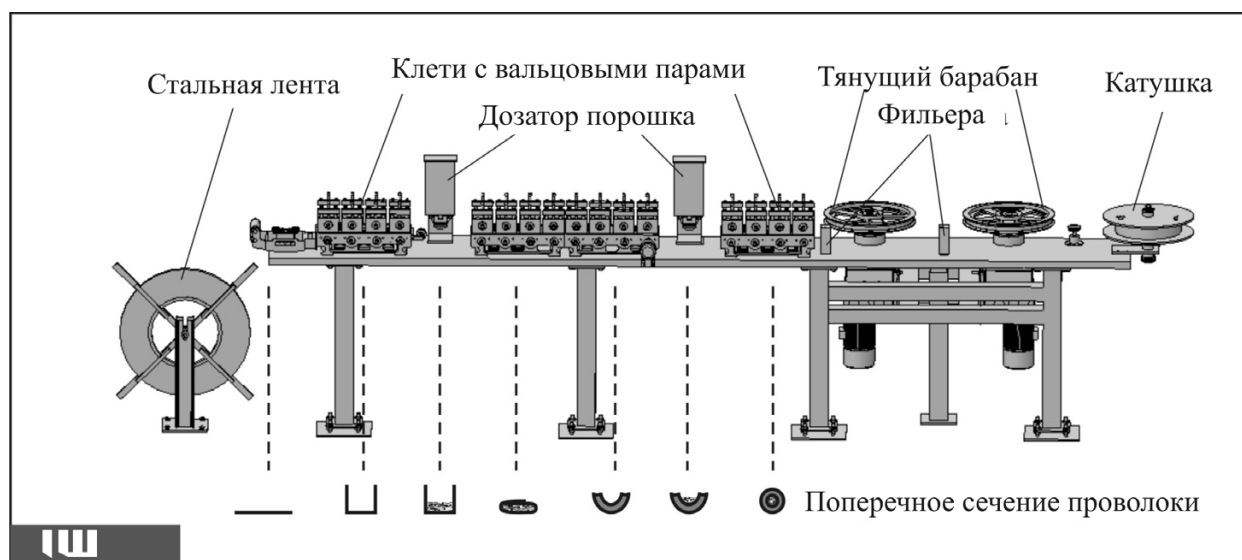
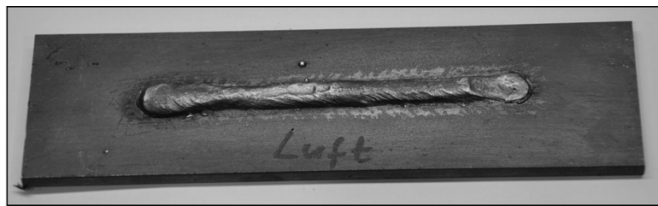


Рис. 4. Схема волочильного станка, используемого для производства порошковой проволоки [5]

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Внешний вид наплавленных валиков представлен на рис. 5. В обоих случаях отсутствуют видимые поверхностные дефекты. На рис. 6, *a* показана струк-



a



б

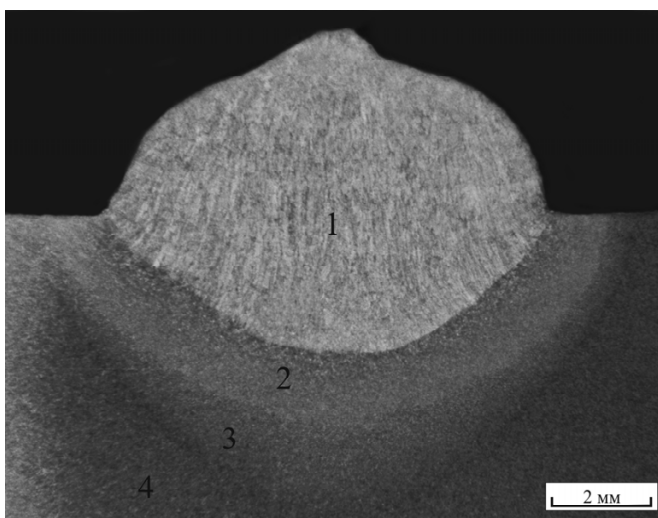
Рис. 5. Общий вид наплавленных валиков:
a – наплавка на воздухе; *б* – подводная наплавка

тура наплавленного на воздухе валика (в поперечном сечении). Следует отметить, что в данном сечении были обнаружены поры. Анализируя снимок, можно выделить четыре основные зоны: 1 – наплавленный валик; 2 – зона термического влияния (ЗТВ), прилегающая к наплавке; 3 – ЗТВ, расположенная у основного металла; 4 – основной металл. Изменение структуры при этом происходит плавно. Отмеченные зоны в случае наплавки под водой также присутствуют, однако их размеры значительно меньше за счет более высокой скорости охлаждения (рис. 6, *б*). На рис. 7 и 8 представлены структуры основных зон наплавки, сформированных на воздухе и под водой соответственно. Для первой зоны характерно наличие двух типов структуры. Верхняя область наплавки

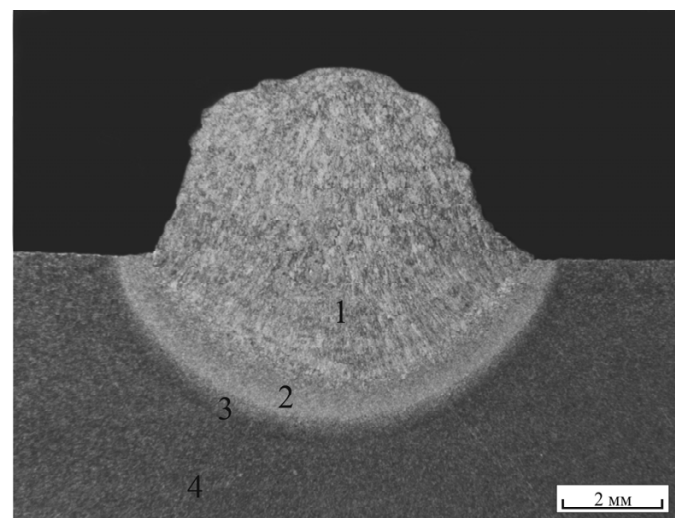
состоит из полиэдрического феррита с глобулярными выделениями цементита. По границам бывших аустенитных зерен расположен видманштеттов феррит (рис. 7, *a* и 8, *a*). Нижняя часть имеет явно выраженное дендритное строение (рис. 7, *б*) с крупными пластинами видманштеттова феррита, промежутки между которыми заняты феррито-карбидной смесью. Для наплавки, выполненной под водой, характерно бейнитно-ферритное строение первой зоны (рис. 8, *б*).

Зона термического влияния, непосредственно прилегающая к зоне наплавки, в первом случае представляет собой перлит с грубыми пластинами видманштеттова феррита по границам (рис. 7, *в*). При наплавке под водой видманштеттова структура является более дисперсной. Кроме этого образуется бейнит (рис. 8, *в*). В обоих случаях в зоне, примыкающей к наплавке, размер зерна значительно больше, чем в основном металле. Это обусловлено нагревом металла до температуры, близкой к линии солидуса, т. е. перегревом. При удалении в глубь от зоны наплавки размер бывших аустенитных зерен уменьшается (рис. 8, *з*).

Участок полной перекристаллизации, переходящий в участок неполной перекристаллизации, также относится к зоне термического влияния. В указанных областях видманштеттов феррит отсутствует. Участок полной перекристаллизации представляет собой мелкую феррито-перлитную структуру. Для участка неполной перекристаллизации характерно наличие крупных ферритных зерен, окруженных мелкими построениями псевдоперлитного типа (рис. 7, *г*, 8, *д*). Ниже этих зон располагается основной металл, не претерпевший изменений в процессе сварки (рис. 8, *е*).



a



б

Рис. 6. Общий вид поперечного сечения валиков, наплавленных на воздухе (*a*) и в воде (*б*)

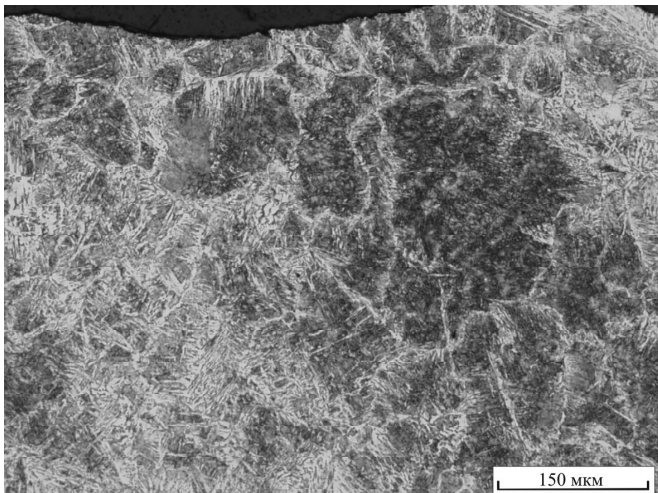
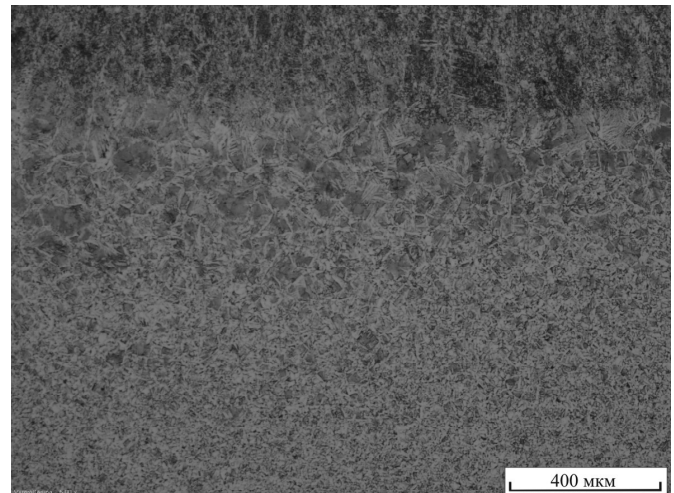
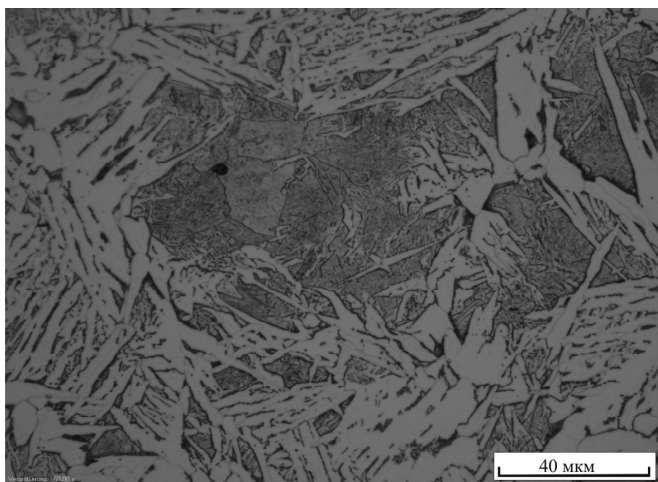
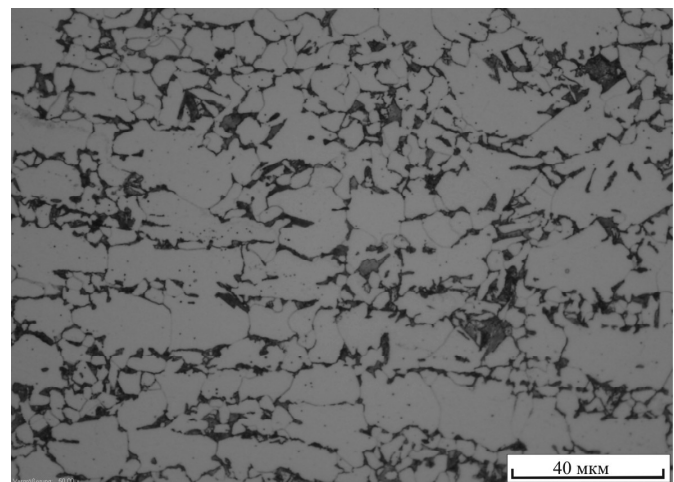
*a**б**в**г*

Рис. 7. Структура основных зон, сформированных при наплавке порошковой проволоки на воздухе:

a – зона наплавки; *б* – зона термического влияния, прилегающая к наплавленному валику;
в – видманштеттов феррит в зоне термического влияния; *г* – участок неполной перекристаллизации

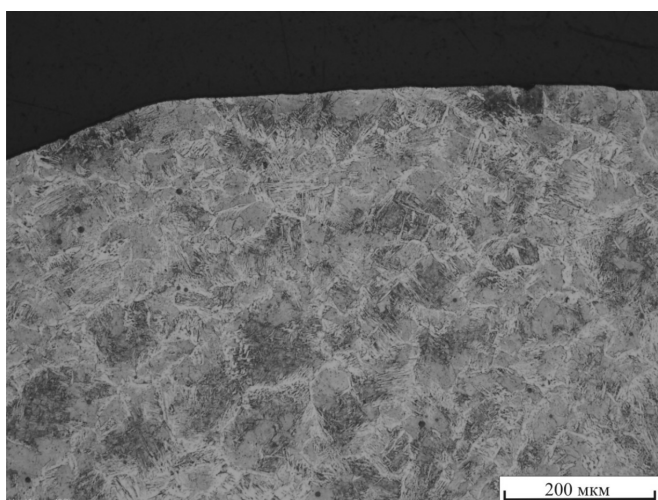
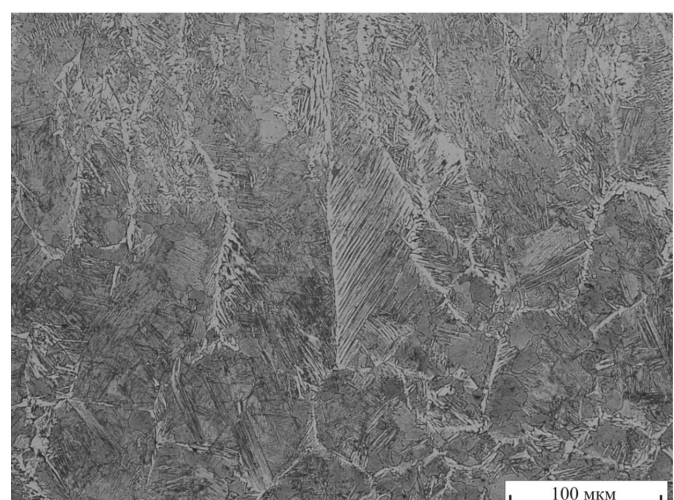
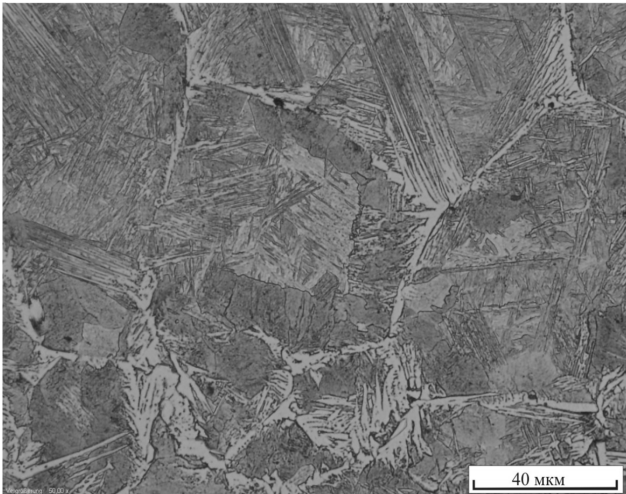
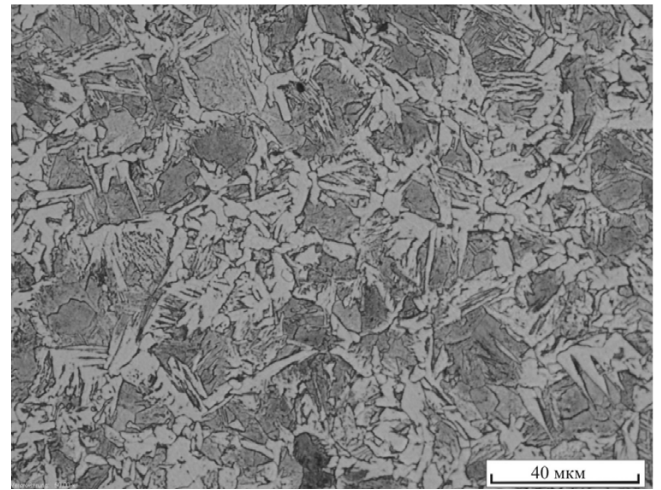
*a**б*

Рис. 8. Структура основных зон, формируемых при наплавке порошковой проволоки под водой:

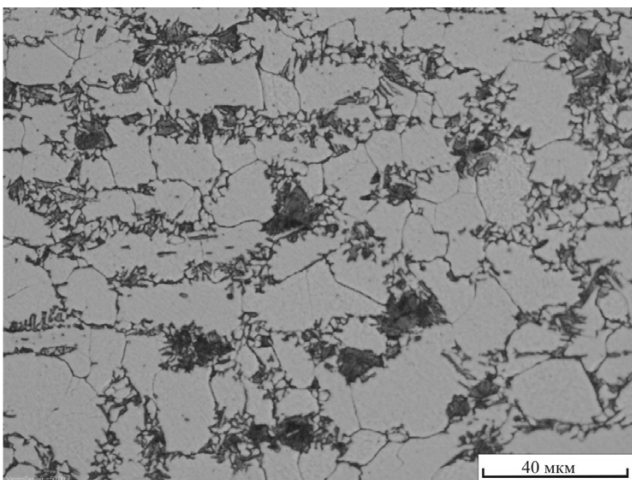
a – верхняя зона наплавленного валика; *б* – нижняя зона наплавленного валика; *в* – зона термического влияния со стороны валика;
г – зона термического влияния, удаленная от валика; *д* – участок неполной перекристаллизации; *е* – основной металл
 (см. также с. 36)



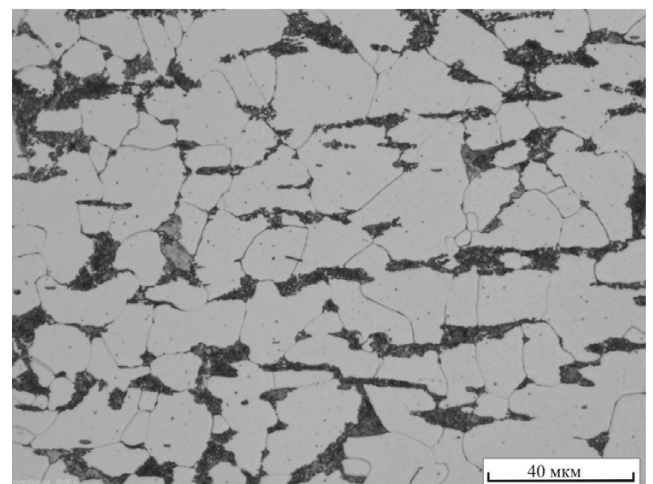
а



б



в



г

Рис. 8. Окончание

ДюрOMETрические исследования показали, что в обоих случаях микротвердость наплавленного слоя не превышает 270...300 HV (рис. 9), что свидетельствует о получении достаточно надежного сварного валика.

На основании проведенных исследований можно сделать следующее заключение. Как на воздухе, так и под водой наплавка приводит к формированию характерных зон с плавно изменяющейся структурой. При этом ширина зоны термического влияния



а



б

Рис. 9. Микротвердость наплавленного валика в поперечном сечении на воздухе (а) и под водой (б)

при наплавке под водой значительно меньше. В обоих случаях в наплавленном валике формируется неблагоприятная структура видманштеттова типа. Полученные результаты позволили оптимизировать состав разрабатываемой порошковой проволоки. ДюрOMETрические исследования показали, что в зоне наплавки уровень микротвердости не превышает 270...300 HV, что свидетельствует о достаточно высокой надежности полученного на основе разработанной проволоки соединения наплавленного слоя и подложки.

Список литературы

1. Кононенко В.Я. Применение мокрой автоматизированной сварки при ремонте корпусов и судов на плаву / В.Я. Кононенко, П.М. Грицай, В.И. Семенкин // Автоматическая сварка. – 1994. – №12. – С. 35-38.
2. Электросварка под водой – <http://websvarka.ru/weld-62.html>.
3. Кононенко В.Я. Опыт мокрой механизированной сварки самозащитными порошковыми проволоками при ремонте под водой газо- и нефтепроводов» / В.Я. Кононенко, А.Г. Рыбченков // Автоматическая сварка. – 1994. – № 9–10. – С. 29-32.
4. Походня И.К. Сварка порошковой проволокой / И.К. Походня, А.М. Суптель, В.И. Шлепаков. – Киев: Наукова думка, 1972. – 342 с.
5. Hamkens J. H. «Underwater wet welding with self-protecting filler wire» // J.H. Hamkens / PhD Thesis, Institute of Materials Science of Leibniz Universität Hannover. – Dusseldorf, 1992. – 130 с.

STRUCTURE AND PROPERTIES OF BEADED WELDS CREATED UNDER WATER BY POWDER WIRE

T. Hassel, Y. Lizunkova, F.-W. Bach,
A. Bataev, A. Nikulina, A. Teplih

In connection with the intensive development of offshore industry and the interrelated expansion of underwater technology (oil and gas production from the ocean bed, construction of offshore wind parks etc.) problems of high-quality welding and cutting technology gain special significance. The Institute of Materials Science of the Leibniz University Hanover has been working in the field of underwater technology for many years. Great experience in the development of welding material, welding and cutting technology especially for the maritime area has been achieved. The results of metallographic and microhardness research of build-up welding at air and under water are presented.

Key words: structure, powder wire, underwater welding.

ОТКРЫТИЕ В НОВОСИБИРСКЕ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА «СВАРОЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НГТУ - KJELLBERG»

Уровень развития машиностроения определяется, в первую очередь, наличием высокотехнологичного оборудования и квалификацией обслуживающего его персонала. Одним из наиболее эффективных путей решения данной задачи является организация при вузах специализированных учебных центров ведущих мировых фирм. В связи с этим при Новосибирском государственном техническом университете (НГТУ) на базе механико-технологического факультета совместно с немецкой фирмой «Kjellberg Finsterwalde» организуется современный научно-образовательный центр «Сварочные технологии».

«Kjellberg Finsterwalde» – это группа предприятий, которая занимается разработкой и производством установок для плазменной резки материалов, сварочного оборудования и электродов для сварки и наплавки. Уже с 1922 года имя Kjellberg считается синонимом высококачественной сварки. Являясь пионером автоматизированной сварочной техники, Kjellberg Finsterwalde более 70 лет занимается вопросами оптимизации сварочного производства, разрабатывая сварочные тракторы и автоматы. Особое внимание уделяется такому процессу, как сварка под флюсом. Также особенностью предприятия является индивидуальный подход к каждому клиенту и возможность технических решений конкретных производственных задач.

В каталогах продукции Kjellberg Finsterwalde представлено более 60 наименований стандартных и большое количество специализированных электродов для сварки и наплавки. Сварочные электроды с зарекомендовавшим себя высоким качеством изготавливаются на одной из самых современных фабрик Европы.

Началом совместной работы НГТУ и Kjellberg Finsterwalde считается 10 сентября 2010 года, когда был подписан меморандум о сотрудничестве. Основными целями договора являются обучение и переподготовка специалистов-сварщиков в университете, а также внедрение современной сварочной техники на предприятиях региона. Согласно условиям меморандума на 150 м² площадей, выделяемых НГТУ, будет основан новый учебный центр, оснащенный современной сварочной техникой, предоставляемой немецкой стороной. Для студентов выпускных курсов, обучающихся в области машиностроения и обладающих достаточными знаниями немецкого языка фирмой «Kjellberg Finsterwalde» будет выделяться ежемесячная стипендия в размере 300 евро.

В феврале 2011 года два сотрудника кафедры «Материаловедение в машиностроении» НГТУ (Огнев А.Ю. и Теплых А.М.) прошли стажировку в учебном центре фирмы Kjellberg в г. Финстервальде (Германия) для дальнейшего квалифицированного обслуживания сварочного оборудования и осуществления учебного процесса в организованном центре.



Представители Kjellberg Хайко Шрёдер, Норберт Питч и проректор НГТУ Анатолий Андреевич Батаев

Необходимо отметить, что научно-образовательный центр «Сварочные технологии НГТУ – Kjellberg» является на данный момент единственным в России представительством известного немецкого концерна. Оборудование, предоставляемое компанией Kjellberg Finsterwalde, позволит студентам на практике ознакомиться с такими технологиями, как ручная дуговая сварка покрытыми электродами, полуавтоматическая сварка в среде защитных



Научно-образовательный центр «Сварочные технологии» располагается в V корпусе НГТУ

Обучение в научно-образовательном центре будет осуществляться на современном оборудовании концерна Kjellberg Finsterwalde



Система слежения за сварным швом с пальчиковым сенсором обеспечивает повышение уровня автоматизации процесса сварки

газов, автоматическая сварка и наплавка под флюсом. В будущем планируется поставка роботизированного комплекса для сварки и плазменно-порошковой установки для нанесения защитных и износостойких покрытий.

Задачи, решаемые при создании научно-образовательного центра, следующие. 1. Обучение студентов машиностроительного профиля с использованием установленного в центре оборудования. 2. Переобучение сотрудников машиностроительных предприятий для работы на современном сварочном оборудовании. 3. Выполнение сложных высокотехнологичных работ по заказам предприятий г. Новосибирска (выполнение хозяйственных работ). 4. Помощь учебным организациям г. Новосибирска при подготовке машиностроительных кадров (на базе механико-технологического факультета).

Привлечение современных машиностроительных технологий в г. Новосибирск позволит решить ряд важнейших для города задач: 1) повысить общий уровень машиностроительного производства. 2) оказать реальную помощь машиностроительным предприятиям г. Новосибирска в выборе соответствующего оборудования. 3) укомплектовать машиностроительные предприятия кадрами высокой квалификации, способными быстро адаптироваться к решению новых производственных задач. 4) поднять престиж инженерных (в первую очередь машиностроительных) специальностей в вузах города. 5) освоить выпуск современной высокотехнологичной продукции, конкурентоспособной на внешних и внутренних рынках. 6) обеспечить быструю подготовку нового производства.

Благодаря открытию научно-образовательного центра современные машиностроительные технологии и высококачественное оборудование, отвечающее последнему слову техники, станет намного доступнее для предприятий города Новосибирска и Сибирского региона.

Я.С. ЛИЗУНКОВА,
руководитель отдела сбыта
концерна Kjellberg в России,

В.Г. БУРОВ, декан
Механико-технологического факультета
Новосибирского государственного
технического университета,
канд. техн. наук., профессор.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научно-технический и производственный журнал «Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)» выходит 4 раза в год. В журнале публикуются статьи, содержащие новые и оригинальные результаты исследований по следующим научным направлениям (рекомендованные ВАК): 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки, 05.02.08 – Технология машиностроения, 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов, 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение). В печатном виде журнал распространяется через Роспечать по подписке, подписной индекс – 70590. Электронная версия журнала доступна на платформе eLIBRARY.RU.

Статью с приложениями и их электронные версии на CD можно направлять в редакцию **по почте** либо **по электронной почте (obrmet@ngs.ru)**. Одновременно со статьей высылается **оригинал экспертного заключения** о возможности открытого опубликования статьи на почтовый адрес редакции: 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), корп. 5, ком. 274, зам. гл. редактора *Атапину В.Г.*

Все рукописи рецензируются.

Плата за публикацию рукописей не взимается.

Требования к оформлению рукописей

Формат оригиналов – **A4**. Текст набирается в русифицированном редакторе **Microsoft Word**. Шрифт – **Times New Roman**, размер шрифта основного текста – **14 пт**, параметры страницы – все поля **2 см**. Выравнивание по ширине. Межстрочный интервал **полуторный**. Абзацный отступ – **1,25 см**. Переносы включены.

Рисунки, таблицы, графики, фотографии должны быть четкими и понятными, могут быть включены в текст статьи.

Пример оформления статьи:

УДК 621.9.06:518.4

ВЫБОР КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ БАЗОВЫХ ДЕТАЛЕЙ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В.Г. ИВАНОВ, доктор техн. наук, профессор,
....., канд. техн. наук, доцент,
В.С. ПЕТРОВ, аспирант, магистрант,
(НГТУ, г. Новосибирск)

<Контактная информация для переписки>

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

Рассматривается применение методов механики деформируемого твердого тела на этапе предварительного проектирования базовых деталей с целью исследования их реакций на действие внешних нагрузок и определения рациональных путей по улучшению компоновки конструкций.

Ключевые слова: многоцелевой станок, базовые детали, метод конечных элементов, метод штрафных функций.

<текст статьи; список литературы>

Choice of design parameters of base details at the design stage

V.G. Ivanov,, V.S. Petrov,

Application of solid mechanics methods for stage of preliminary designing of base details of heavy machining center with a research objective of their reactions to action of external loadings and definitions of rational ways on improvement of configuration of constructions is considered.

Key words: machining center, base details, finite element method, penalty-function method.

Статья **должна содержать следующие разделы:** 1. Введение. 2. Методика проведения исследований или расчетов. 3. Результаты исследования. 4. Обсуждение результатов. 5. Выводы. 6. Список литературы. Следует избегать повторений, излишних подробностей и известных положений, подробных выводов формул и уравнений (приводить лишь окончательные формулы, пояснив, как они получены).

На отдельном листе указывается следующая информация (для РИНЦ):

- индекс УДК,
- название статьи (на русском и английском языках),
- фамилия, имя, отчество каждого автора в именительном падеже (на русском и английском (фамилия, И.О.) языках),

- место работы авторов с указанием почтового адреса организации,
- контактная информация для переписки (почтовый адрес, e-mail, телефон),
- аннотация (на русском и английском языках),
- ключевые слова (на русском и английском языках).

Требования к набору рукописей

Единицы физических величин. При подготовке рукописи необходимо руководствоваться Международной системой единиц (СИ). Использование в тексте сокращённых обозначений единиц без числовых значений величин, а также помещение их в строку с формулами не допускается. Обозначения единиц набирают прямым шрифтом (Па, Вт/м², Дж/(кг · К) и т. д.).

Таблицы нумеруются, если их число более одной. Заголовок необходим, когда таблица имеет самостоятельное значение, без заголовка дают таблицы вспомогательного характера.

Математические формулы. Сложные и многострочные формулы должны быть целиком набраны в редакторе формул Microsoft Equation 3.0. Смешение символов из текстовых редакторов с символами из редактора формул не допускается. Следует по возможности упрощать набор формул, простые дробные выражения по возможности писать в одну строку, используя косую дробь. *Порядковые номера присваиваются только наиболее важным формулам, на которые имеются ссылки в тексте*, номера помещают в круглых скобках у правого края полосы. Разрешено использовать только сквозную нумерацию.

Расшифровка символов в формуле (экспликация) даётся в той последовательности, в которой они используются в формуле. Строка экспликации начинается со слова “где” (двоеточие после него не ставят). Допускается использование слова “Здесь”, если формула перед экспликацией заканчивается точкой.

Латинские буквы в математических формулах набираются курсивом. Числа Re, Fr, St, Pr и др., знаки математических функций (sin, ctg, arcsin, ..., sh, Arsh, grad, rot, div, lim, exp, ln, lg и др.), химические элементы и соединения (Cu, H–O–H, C₂H₅OH), а также обозначение const набирают прямым шрифтом. Для осреднения величин, математических ожиданий, дисперсий высших моментов рекомендуются угловые скобки < >. Следует избегать всякого рода индексов над буквами: тильд, чёрточек и т.д.

Рисунки (не более 6 шт.), которые предоставляются вместе со статьёй, должны быть созданы *только* в векторных редакторах и экспортированы в один или оба векторных формата: SVG и EPS. *Важно* при экспортировании в EPS преобразовать текст в контур. Желательно также предоставить «родной» файл для вашего векторного редактора. При особой сложности рисунка (например, скриншот), его можно представить в растровых TIFF, PNG, JPEG, BMP, WMF форматах. *Рисунки сканированные откуда-либо не принимаются.*

Рекомендуемые размеры рисунков: 60 × 150, 60 × 70 мм. Вместо громоздких надписей на рисунках следует использовать цифровые или буквенные обозначения, которые должны разъясняться в подписи под рисунком или в тексте. Если в тексте один рисунок, то он не нумеруется, а в тексте при упоминании о нём пишется (см. рисунок).

Фотографии должны быть представлены файлом в формате TIFF с размерами 1024 × 768 pt и разрешением не менее 300 × 300 dpi. На фотографиях нельзя наносить какие-либо пометки.

Библиографический список, оформленный в соответствии с ГОСТ Р 7.05-2008 «Библиографическая ссылка», составляется по ходу упоминания литературы в тексте и приводится в конце рукописи. В него не следует включать неопубликованные материалы; ссылки на электронные ресурсы и тезисы в библиографическом списке не приветствуются. Ссылки в тексте на литературу даются в квадратных скобках, например [1], [2, 3], [4–7], [4, стр. 23–28]. Список литературы должен включать для заказных статей не более 25 наименований, для обычных статей — не более 10, для кратких сообщений — не более 5.

Дополнительная информация приведена на сайте www.nstu.ru
(раздел «Научная и инновационная деятельность»; научные издания).