



10-11 октября 2019 года

**МОГИЛЕВ,
БОБРУЙСК
БЕЛАРУСЬ**



**АШИНОСТРОЕНИЕ
ЕТАЛЛОБРАБОТКА
ОГИЛЕВ**

**Международная научно-практическая
конференция**



**ACHINE BUILDING
ETALWORKING
OGILEV**

October 10-11, 2019

**MOGILEV,
BOBRUISK
BELARUS**

**International Scientific and Practical
Conference**



могилёв
свободная экономическая зона



Уважаемые друзья!

Институт технологии металлов Национальной академии наук Беларуси вот уже почти 50 лет создает новые multifunctional литейные материалы с высокими потребительскими свойствами, разрабатывает и внедряет новые перспективные литейные технологии, а также совершенствует уже существующие. Исследования в этих направлениях всегда остаются приоритетными, актуальными и востребованными промышленным комплексом.

За время своего существования ИТМ НАН Беларуси оказал большое влияние на развитие традиционных отраслей экономики, в частности литейного производства, металлургии, машиностроения. Институтом накоплен уникальный опыт в области литья черных и цветных метал-

лов, разработано и внедрено на промышленных предприятиях Беларуси, России, Украины, Кореи, Индии, Китая новое оборудование.

Богатый опыт в области исследований и разработок позволил Институту технологии металлов выступить в качестве соорганизатора Международной научно-практической конференции «Машиностроение и металлообработка», которая, благодаря актуальности обсуждаемых проблем, объединит представителей науки, образования и производства из многих стран, а предложения, подготовленные в ходе встречи, будут успешно реализованы на практике.

Директор Института технологии металлов НАН Беларуси А.М.Брановицкий

Уважаемые дамы и господа!

Могилевская область является благоприятным регионом для развития машиностроительного и металлообрабатывающего бизнеса. Благодаря развитой системе подготовки квалифицированных кадров для предприятий металлообрабатывающего и машиностроительного комплекса, осуществлению отраслевых научных разработок наряду с выгодным географическим положением и развитой инженерно-транспортной инфраструктурой инвестиционных площадок свободной экономической зоны «Могилев» здесь располагается ряд крупных металлообрабатывающих производств и машиностроительных предприятий.

Накопленный в Могилевской области опыт в сфере машиностроения и металлообработки, а также имеющийся в регионе потенциал для дальнейшего развития данных отраслей предопределили необходимость проведения отраслевого тематического мероприятия - Международной научно-практической конференции «Машиностроение и металлообработка».

Уверен, что мероприятие послужит целям трансфера накопленных научных знаний, обмена практическим опытом, экспертными мнениями, а также позволит комплексно представить вниманию широкой международной деловой общественности промышленный, инвестиционный и научный потенциал Могилевской области.

Глава администрации СЭЗ «Могилев» А.В. Ярцев

Белорусско-Российский университет был образован в 1961 г. как Могилевский машиностроительный институт. Сегодня вуз является уникальным научным и образовательным центром, в котором обучаются по белорусским и российским образовательным программам. Получив в 2003 г. межгосударственный статус, вуз сохранил технический профиль. Машиностроение и металлообработка являются ключевыми направлениями, по которым осуществляется подготовка специалистов и проводятся научные исследования в университете.

Университет принимает активное участие в государственных научных программах Беларуси, Комплексной программе развития славянских университетов, является исполнителем проекта Союзного государства. Вуз включен в перечень ведущих учреждений образования Республики Беларусь, реализующих концепцию «Университет 3.0», направленную на подготовку высококвалифицированных специалистов, обеспечивающих внедрение инновационных разработок на коммерческой основе.

Белорусско-Российский университет имеет мощную материально-техническую и научную базу, которая была существенно укреплена в последние годы. Созданная инфраструктура позволяет нам решать самые амбициозные задачи и стремиться к достижению высоких целей.

Мы уверены, что международная научно-практическая конференция «Машиностроение и металлообработка» станет прекрасной площадкой для профессионального общения, даст стартовый деловой и творческий контакт в сферах науки, образования и производства.

Ректор университета М.Е. Лустенков

Государственное научное учреждение
«Институт технологии металлов Национальной академии наук Беларуси»
Государственное учреждение
«Администрация свободной экономической зоны «Могилев»
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет»

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МЕТАЛЛООБРАБОТКА

Материалы Международной
научно-практической конференции
(Могилев – Бобруйск, 10–11 октября 2019 года)

Могилев
«Белорусско-Российский университет»
2019

УДК 621+621.9
ББК 34.4+34.5
М 38

Редакционная коллегия: д-р техн. наук, проф. *М. Е. Лустенков* (гл. редактор); д-р техн. наук, проф. *В. М. Пашкевич* (зам. гл. редактора); канд. физ.-мат. наук, доц. *И. И. Маковецкий*; канд. техн. наук, доц. *Д. М. Свирина*; канд. техн. наук, доц. *Д. И. Якубович*; *И. В. Брискина* (отв. секретарь)

Машиностроение и металлообработка: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / Ин-т технологии металлов Нац. акад. наук Беларуси, Администрация свобод. экон. зоны «Могилев», Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2019. – 170 с. : ил.
ISBN 978-985-492-226-3.

Рассмотрены вопросы в области разработки новых технологических процессов и деталей машин, материаловедения и технологии литья, инновационного развития машиностроения и технического образования.

Сборник материалов конференции предназначен для специалистов машиностроения и металлообработки, представляющих научно-исследовательские, учебные и производственные организации.

УДК 621+621.9
ББК 34.4+34.5

ISBN 978-985-492-226-3

© Государственное научное учреждение
«Институт технологии металлов
Национальной академии наук
Беларуси», 2019
© Оформление. Межгосударственное
образовательное учреждение высшего
образования «Белорусско-Российский
университет», 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. Инновационное развитие машиностроения и технического образования

КАЗАНСКИЙ А. В., УСИК В. Н. Анализ потенциала инновационной деятельности.....	7
KOVSHOV E. E., GRADOV M. V. Training of mechanical engineers in a single educational space	9
ЛУСТЕНКОВ М. Е., ПАШКЕВИЧ В. М. Реализация модели «Университет 3.0» в МОУ ВО «Белорусско-Российский университет».....	11
ПЛЮЩЕВСКИЙ И. Н., БОРОДАВКО Е. А., БУРАЯ В. К. Отечественный научно-технический потенциал для развития аддитивных технологий в сфере 3D-металлопечати	21
САЗОНЕНКО О. П., ХОДОРКИН Ф. Н., ЖУК И. В., ПРОКОПОВИЧ Т. А. Реализация государственной научно-технической программы «Машиностроение и машиностроительные технологии» в 2016–2018 годах.....	23
СПИРИДОНОВ О. В. Требования к образованию в профессиональных стандартах рабочих машиностроения.....	25

Секция 2. Технологические процессы и детали машин

АКБАРОВ Х. У., АКБАРОВ Т. Х. Математическая модель погрешностей обработки на токарном станке с ЧПУ.....	28
БОЛОТОВ С. В., КУЛИКОВ В. П., БОЛОТОВА Е. Л. Перспективы производства интеллектуального сварочного оборудования в Республике Беларусь.....	30
ГРОМЫКО П. Н., ХАТЕТОВСКИЙ С. Н., ТРУСОВ И. В. Снижение чувствительности выходных показателей планетарных эксцентриковых передач к погрешностям изготовления и сборки звеньев.....	32
ДОВГАЛЕВ А. М. Совмещенное магнитно-динамическое накатывание поверхностей нежестких деталей.....	33
ЖИГАЛОВ А. Н. Теоретические и технологические основы механизма аэродинамического звукового упрочнения твердосплавного инструмента для процессов прерывистого резания.....	35
ИКРОМОВ Н. Физическая модификация термопластичного полимерного композиционного материала.....	37
КАПИТОНОВ А. В., КАПИТОНОВ О. А., ЛЕБЕДЕВ М. В. Анализ кинематических и энергетических параметров некоторых типов планетарных передач.....	39

КОРОТЕЕВ А. О., ФЕТИСОВА Е. А., КУЛИКОВ В. П. Дуговая сварка с двухструйной коаксиальной подачей компонентов защитной газовой среды.....	40
КОСИМОВ К. З., МУЙДИНОВ А. Ш. Пути управления сроком службы восстановленных деталей машин.....	42
ЛИПСКИЙ А. Э., САМСОНЕНКО Ю. В. Исследование стойкости инструмента из быстрорежущей стали Р6М5, модифицированной в вакууме.....	45
НАСИРОВ И. З., КОСИМОВ И. С. Выбор способа и устройства для притирки поверхности деталей.....	46
ПАШКЕВИЧ В. М., АФАНЕВИЧ В. В., МАКСИМОВ К. А. Управляемое инерционно-импульсное раскатывание внутренних цилиндрических поверхностей.....	48
ПОПОК Н. Н., ТИХОН Е. М. Оптимизация геометрических параметров расточных инструментов на основе моделирования резбовых соединений.....	50
ПРИХОДЬКО А. А. Привод конвейера с планетарным исполнительным механизмом прерывистого движения.....	52
РУБАНИК В. В., БАСОВ Ю. А., ЛУЦКО В. Ф., КРАВЧЕНЯ А. Д., ЛИНЕВИЧ А. В., КРУГЛЕШОВ А. А., КАЗЬМИН А. А. Многоцелевой ультразвуковой генератор	54
РУБАНИК В. В., КОВАЛЬЧУК Н. Л., ЛУЦКО В. Ф. Интенсификация процесса нанесения абразивного порошка на тканевую основу.....	56
СВИРЕПА Д. М., СУХОЦКИЙ С. А., СЕМЁНОВА А. С. Применение магнитно-динамических инструментов в производственной и образовательной деятельности.....	58
СТЕЦЕНКО В. Ю., БАРАНОВ К. Н., ГУТЕВ А. П. Внедрение антифрикционного силумина в белорусское автомобилестроение....	59
СТЕЦЕНКО В. Ю., ГУТЕВ А. П., БАРАНОВ К. Н. Применение антифрикционного силумина для повышения ресурса работы червячных колес.....	61
УРБАНОВИЧ В. С., МАЛИКИНА Т. Д., ЛАВЫШ Е. О., ШЛОМА Е. Н. Электроэрозионная обработка твердосплавных пластин для пайки режущих элементов из СТМ «Беланит».....	63
ФУРМАНОВ С. М., СМОЛЯР И. Н., МЕЛЬНИКОВ С. Ф. Коррекция мощности тепловложения при рельефной сварке без прерывания технологического цикла.....	65
ХАТЕТОВСКИЙ С. Н., ГРОМЫКО П. Н., ДОКОНОВ Л. Г., ГАЛЮЖИН М. А. Использование макрокоманд для формообразования зубьев прецессионной передачи на станке с ЧПУ.....	67

ХОШИМОВ Х. Х., ЮЛДАШЕВ Ш. Х. Восстановление изношенных колосников при производстве хлопка в хлопчатобумажной промышленности.....	68
--	----

KUVSHINNIKOV V. S., KOVSHOV E. E. Machine shop portal manipulator movement path modeling for digital manufacturing.....	70
---	----

Секция 3. Материаловедение и технология литья

АЛМАТАЕВ Т. О., САЙДАЛИЕВ И. Н., АЛМАТАЕВ Н. Т., КОСИМОВ И. С. Разработка и исследования композиционных материалов триботехнического назначения.....	73
--	----

БРАНОВИЦКИЙ А. М., ЛЕБЕДИНСКИЙ Ю. А., ДЕМЕНТЬЕВ В. А. Экспериментальное исследование сегрегации углерода в непрерывно-литой заготовке стали.....	75
--	----

БРАНОВИЦКИЙ А. М., ПУМПУР В. А. Инновационные литейные технологии – производству.....	77
---	----

ГРУША В. П., БЕВЗА В. Ф., БАРОН А. А., ПАЛАТКИНА Л. В. Структура и твердость серого чугуна в полых цилиндрических заготовках при литье намораживанием.....	79
--	----

ДОРОШЕНКО В. С. Метод регулируемого охлаждения отливок для разработки роторно-конвейерных линий.....	81
--	----

КОРОТКЕВИЧ З. М., БУРАК В. А. Контроль качества термообработки стали марки 30ХГСА по индукционным характеристикам	83
---	----

МАРУКОВИЧ Е. И., КОВАЛЁВ А. М., ХАРЬКОВ В. А., САЗОНЕНКО И. О., БЕЛЫХ А. Ю. Литьё заготовок из антифрикционного хромоникелевого чугуна	85
--	----

ПАЛЕХА С. А., СМАЙЛОВ С. А. Ультразвуковой метод измерения концентрации газовой фазы в жидкости.....	87
--	----

ПЕЛИКАН О. А., ГЛУШКОВ Д. В., РЕЙНТАЛЬ Е. А., ЛИХОШВА В. П., КЛИМЕНКО Л. М. Литейно-SHS-технология изготовления тонкостенных износостойких биметаллических изделий	89
--	----

ПУМПУР В. А., ДУВАЛОВ П. Ю., АНДРИЕНКО В. М. Влияние легирующих элементов на прочность и твердость чугуна ИЧХ18ВМ.....	91
--	----

РУБАНИК В. В., КРИТЧЕНКОВ И. С., САВИЦКИЙ В. О., РУБАНИК В. В. мл., PHUONG DOAN THANG, BUI HUNG THANG Использование ультразвуковых колебаний при получении графена.....	93
---	----

РУБАНИК В. В. мл., ЛОМАЧ М. С., РУБАНИК В. В., БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ М. А. Получение TiNi-покрытий гиперзвуковой металлизацией.....	95
--	----

ТАТАРИНЦЕВ В. А., ТОЛСТОШЕЕВ А. К. Методика сравнения материалов по характеристикам надежности.....	97
ТИМОШЕНКО А. Н., ЛИХОШВА В. П., ГОЛУБЧИК М. И. Лазерно-литейный метод получения дисперсно-упрочненных композиционных материалов.....	99
ФЕДОСЕНКО А. С., ЛОВШЕНКО Ф. Г. Особенности микро-структуры газотермических покрытий из механически легирован-ных порошков.....	101
ШАТРАВА А. П., ЛИХОШВА В. П. Литейно-лазерное жидкофазное соединение как метод производства слоистых композитов.....	102
ШМАТКО А. В., ЛИХОШВА В. П., КЛИМЕНКО Л. М. Затвердевание биметаллической полосы в кристаллизаторе при литейно-плазменном методе.....	103
ЯКУБОВИЧ Д. И., ЛISOBAЯ И. А. Подготовка изделий из серого чугуна для сварки трением.....	105
KHALED M. IBRAHIM. Wear resistance of hot swaged and heat treated TC21 titanium alloy.....	106
MOUSSA M. E., EL-HADAD S., KHALIFA WALEED. Microstructure modification of MG-AZ92 alloy using a rare earth oxide.....	107
EL-MELIGY MAHA, EL-BITAR TAHER. Replacement of low carbon cold rolled steel sheets instead of if steel for extra deep drawing uses.....	109
EL-MELIGY MAHA, EL-BITAR TAHER. Hot rolled martensitic/bainetic steel sheets for armoring diplomatic and cash money cars.....	110
KHEDR MAHMOUD, LI WEI, MIN NA, JIN XUEJUN. Flow stress analysis of hadfield steel at high strain rate.....	111
EL-HADAD S., MOUSSA M. E., WALY M. Influence of alloying elements on the microstructure and electrochemical behaviour of cast Al-Zn sacrificial anodes.....	112
EL-BITAR TAHER, EL-MELIGY MAHA. Development of a creep resistance exhaust valve suite for marine diesel engines containing CR-MO.....	114

УДК 351:378(476)(043.3)

АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛА ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

А. В. КАЗАНСКИЙ, В. Н. УСИК
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В Программе социально-экономического развития Республики Беларусь на 2016–2020 годы [1] дана оценка развития национальной экономики. Отмечено, что основные экономические проблемы связаны с низкой производительностью труда и высокими издержками материального производства. Последние обусловлены недостаточной инновационной активностью реального сектора экономики.

Инновационная активность в значительной мере зависит от количества субъектов, занятых научными исследованиями, качества и численности персонала, принятой системы финансирования научных исследований, а также от результативности системы подготовки кадров.

В табл. 1 представлены статистические данные, характеризующие обозначенные процессы.

Табл. 1. Статистические данные, характеризующие условия инновационной активности

Показатель	Год						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Численность организаций, выполнявших исследования	530	482	457	439	431	454	455
Численность исследователей, тыс. чел.	19,3	18,4	17,4	17,0	16,9	17,1	17,3
Из них в технической области	11,6	11,2	10,4	10,0	10,1	10,1	10,7
Удельный вес внутренних затрат на научные исследования в ВВП, %	0,65	0,65	0,51	0,50	0,50	0,58	0,61
Индекс инвестиций в основной капитал (в процентах к прошлому году)	116,3	73,6	77,4	101,0	140,1	41,8	137,3

Примечание – Составлено авторами на основе [2]

Анализ данных показывает, что в период с 2012 г. по 2016 г. наблюдались негативные тенденции по сокращению численности научных организаций, количеству исследователей и финансированию научных исследований. К 2018 г. удалось изменить ситуацию и придать процессам положительную динамику. Тем не менее, показатели 2012 г. не достигнуты.

Поскольку центральное место в регулировании инновационной деятельности, по нашему мнению, занимает экономический механизм, отметим, что основным источником финансирования науки является государ-

ственный бюджет. В 2017 г. на финансирование научных исследований бюджетом затрачено 258,5 млн р., собственных средств предприятий и организаций выделено 194,4 млн р. (75,2 % от бюджетных средств). Здесь отмечается рост, поскольку в 2014 г. собственные средства составляли только 42,7 %.

Для оценки перспектив кадрового резерва инновационного развития в табл. 2 приведены показатели по присуждению ученых степеней.

Табл. 2. Присуждение ученых степеней

Ученая степень	Год															
	1995	1996	1998	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2008	2011	2014	2015	2016	2017
	Количество присужденных ученых степеней, чел.															
Докторская	75	81	108	112	117	22	173	116	116	44	53	47	45	48	44	46
Кандидатская	327	343	411	594	604	153	1195	738	661	578	568	520	491	513	451	452

Примечание – Составлено авторами на основе [2]

Анализ данных показал, что наибольшее количество защит диссертаций и присуждения степеней состоялось в 2003 г., а затем идет снижение количества присужденных степеней, что свидетельствует о недостаточной поддержке развития кадрового потенциала.

В 2017 г. профессиональной научной и технической деятельностью занимались 532 доктора наук и 2371 кандидат наук. Основной высококвалифицированный кадровый потенциал по-прежнему сосредоточен в системе образования – 1478 докторов наук и 9281 кандидат наук.

К 2020 г. прогнозируется рост расходов на научную, научно-техническую и инновационную деятельность до 2,5 % от ВВП, в том числе за счет бюджетных источников – до 1 % [1]. Это позволит придать стимул коммерциализации результатов научных исследований, развитию в Республике Беларусь современных наукоемких производств, конкурентоспособных технологий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2016–2020 годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pravo.by/document/?guid=3871&p0=P31600466>. – Дата доступа: 05.11.2019.

2. Наука и инновационная деятельность в Республике Беларусь, 2018 / Нац. стат. комитет Респ. Беларусь. – Минск: Нац. стат. комитет Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

UDC 377.36:004.9

TRAINING OF MECHANICAL ENGINEERS
IN A SINGLE EDUCATIONAL SPACE

E. E. KOVSHOV¹, M. V. GRADOV²

¹JSC «NIKIMT-Atomstroy»

Moscow, Russia

²Moscow city pedagogical University

Moscow, Russia

Modern early training of engineers for machine-building industries faces a number of problems, among which we can highlight the main ones associated primarily with the separation of the school from the realities and problems for the creation and implementation of digital technological machines and processes that fully meet the concept of "Industry 4.0", as well as the lack of pupils stable interdisciplinary connections, such as "mathematics-informatics", "mathematics-physics", "physics-informatics".

These challenges are partially addressed through the project activities with wide involvement of the educational community for the final production result; the teaching of one school teacher in a specialized engineering class group of disciplines of mathematical and natural sciences; application of manufacturing tools to design and provision a life cycle of software products in educational process of the school.

An effective solution to the above problems is the convergent training of future engineers in the branches of digital engineering, through the implementation of the scientific and educational project "Digital Engineering School" with additional training of students in applied engineering disciplines within the scientific circles: "Computer mathematics", "Digital electronics", "Software business systems", "Mathematical modeling". Blocks or stages of the project "Digital Engineering School" are aimed at the practical formation of the digital environment.

This approach allows moving to the practical implementation of continuous engineering education "School-University-Enterprise".

The problem of training highly qualified modern engineers is not new, but constructive ways to solve it have not been found yet. Basic meaning of "Industry 4.0" is the creation of digital industries, smart factories, where all devices communicate with each other using the Internet and digital technologies. The main difficulty in the implementation of the concept "Industry 4.0" is not a choice of different modern technologies, but the lack of specialists ready to make this transition. It follows that systematic training for the implementation of this concept have to be carried out from school.

Until now, pupils in the school mastering the educational program, achieved in accordance with it the planned results then moved to the next level

of education at the University. Moreover, as a rule there they were usually told to forget everything they had known before, or worse, the faculty found deep gaps in the knowledge of the school's graduates. The same problem arose when a University graduate was in the enterprise. He had to start his career from the so called "zero level".

The conducted survey and testing of schoolchildren revealed that many of them lack systemic interdisciplinary connections that allow forming a mechanism for the synthesis of various fields of knowledge. The absence of such complex relationships, such as between "mathematics-informatics", "mathematics-physics", "physics-informatics" does not allow to build a successful innovative activity of future engineers, and in fact, there is a certain detachment from the engineering school of the University, from business and from the school. Thus, not formed a single educational space, creates the conditions for a haphazard, uncontrolled and endless educational process. This process shows no results and leads to the complete incompetence of many school leavers in the field of technological, industrial and social knowledge. Thus, it is necessary to understand that to change the situation it is necessary to make drastic decisions.

One of these solutions is the project "Digital Engineering School", which is to create an educational environment that allows implementing educational programs of convergent education and preparing pupils for the branches of digital engineering in both basic and additional education.

It is necessary that all teachers of the school take a direct and active part in the project, as well as undergo training in teaching several disciplines in the fields of mathematical, natural and social sciences. Then such professional activity will become universal and there will be an opportunity to form interdisciplinary connections among students. The opening of additional general development programs, such as "Computer mechanics and mathematics", "Digital electronics", "Software business systems", "Mathematical modeling" will help pupils to form a system thinking in the field of mathematics, physics and computer science. An important condition for the implementation of the project is the teaching of additional education programs by existing, practice-oriented employees of enterprises, who will be able to explain to students aspects of technological and production processes.

The project begins its implementation long before the graduation class of the school. This will help students through project activities and convergence of programs to engage in the development of relevant research under the guidance of both schoolteachers and faculty of universities and employees of enterprises. The project "Digital Engineering School" includes formation of digital AR-environment of educational institution; ICT in research and media activities; Smart navigation; Lean and safe school based on Internet of things (IoT); Mobile assistive robotics; AR/VR/MR and Industrial Internet of things (IIOT) in digital technology environment.

The key moment of formation of the future mechanical engineer will be participation in design conferences and hackathons held at schools, profile universities and engineering enterprises. Such events will help to form the necessary competencies for participation in research activities and improve students' professional level.

It should be noted that the project "Digital Engineering School" will help to improve the results of pupils including the all-Russian and international olympiads in mathematics, physics, computer science, will be able to form interdisciplinary competence and organize a bright in-school digital information educational environment by pupils themselves.

УДК 37.01

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ «УНИВЕРСИТЕТ 3.0»
В МОУ ВО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

М. Е. ЛУСТЕНКОВ, В. М. ПАШКЕВИЧ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Осенью 2018 г. Министерством образования Республики Беларусь дан старт экспериментальному проекту «Университет 3.0», в которые вошли 7 вузов РБ, в том числе Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет» из Могилева.

Университет ведет свою историю с 1 сентября 1961 г., когда в соответствии с Постановлением Совета Министров СССР от 10 августа 1961 г. № 714 и Постановлением Совета Министров БССР от 22 августа 1961 г. № 504 был открыт Могилевский машиностроительный институт. Институт стал в то время единственным в Белоруссии высшим учебным заведением такого профиля.

Данное обстоятельство определило траекторию развития вуза на последующие годы, т. к. большинство разработок его ученых изначально носило прикладной характер и было востребовано реальным производством. Сложились тесные творческие и дружественные связи сотрудников института с промышленными предприятиями СССР, а затем и с учебными заведениями, организациями дальнего зарубежья: Австралии, Болгарии, Германии, Египта, Польши, Сирии, Словакии, США, Украины, Швеции, Югославии и др.

Приказом Министра образования Республики Беларусь от 17.05.2000 г. № 198 Могилевский машиностроительный институт преобразован в Могилевский государственный технический университет (МГТУ).

В соответствии с Соглашением между Правительством Республики Беларусь и Правительством Российской Федерации, подписанным 19.01.2001 г., приказами Министерства образования Российской Федерации и Министерства образования Республики Беларусь от 28.11.2001 г. № 3862/518 и от 15.05.2003 г. № 2102/206 и приказом Министерства образования Республики Беларусь от 23.09.2003 г. № 371 университет был преобразован в 2003 г. в Государственное учреждение высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет».

В настоящее время в структуру университета входят восемь учебных факультетов (автомеханический, машиностроительный, строительный, экономический, электротехнический, инженерно-экономический, инженерный заочного образования, а также факультет довузовской подготовки и профориентации).

В рамках университета плодотворно развивается система непрерывного образовательного процесса «лицей – архитектурно-строительный колледж – университет – институт повышения квалификации и переподготовки кадров». Функционируют научно-исследовательская часть, научно-исследовательские лаборатории и научно-производственные центры.

Вуз стал уникальной образовательной организацией, осуществляющей подготовку по образовательным стандартам как Республики Беларусь, так и Российской Федерации. Подготовка осуществляется по 20 белорусским специальностям первой ступени и 9 специальностям магистратуры, а также по 7 направлениям подготовки и 2 специальностям магистратуры по российским образовательным стандартам. Архитектурно-строительный колледж ведет подготовку по 5, а ИПК позволяет пройти переподготовку и получить второе высшее образование по 10 специальностям. Студенческий состав университета насчитывает около 6000 человек, а общая численность обучающихся во всех структурных подразделениях вуза составляет около 8000 человек.

Проект «Университет 3.0» будет выполняться в 2018–2022 гг., он направлен на комплексное развитие образовательной, научно-инновационной и производственно-предпринимательской деятельности для обеспечения коммерциализации результатов интеллектуального труда сотрудников и выпускников университета.

Задачами проекта являются:

- в области образования – формирование комплекса образовательных услуг, направленных на развитие бизнес-среды, инновационной и деловой активности сотрудников и выпускников университета;

- в области научных исследований – создание и совершенствование субъектов инновационной деятельности университета – лабораторий, научного персонала;

– в области производственной деятельности – создание инновационной инфраструктуры университета, направленной на взаимодействие университета с современными промышленными предприятиями, а также выпуск инновационной продукции и предоставление услуг, востребованных современной рыночной экономикой.

Участниками и целевой аудиторией экспериментального проекта стали не только студенты университета, но и инновационно-активные хозяйственные структуры – инжиниринговый центр «*SimTech*», лаборатория с опытным производством «Волоконно-оптическая диагностика», лаборатория и СКБ «Взрывозащищенное электрооборудование» (ВЗЭО), а также промышленные предприятия и организации Республики Беларусь, Российской Федерации, дальнего зарубежья – потребители продукции и услуг университета, заказчики кадров.

Для реализации модели «Университет 3.0» в области образования для студентов экономического и машиностроительного факультетов проведено входное исследование состояния предпринимательского потенциала в соответствии с методологией международного мониторинга «*Global University Entrepreneurial Spirit Students' Survey*» (*GUESSS*). С целью развития предпринимательского духа студентам читаются специальные дисциплины – «Организация предпринимательской деятельности», «Основы инновационной политики и предпринимательской деятельности», «Маркетинг инноваций, предпринимательская деятельность». Для преподавания этих дисциплин активно используются современные технологии преподавания в формах деловых и бизнес-игр, а также бизнес-тренингов.

Эти же технологии будут активно применяться с 2019 г. для подготовки магистрантов всех специальностей.

Начиная с сентября 2018 г. дважды в месяц на экономическом факультете проводятся курсы для студентов в рамках школы бизнеса *BeSmart*, на которых разбираются вопросы, связанные с организацией, ведением бизнеса, проводятся мотивационные тренинги, бизнес-игры.

Разработана и запущена в виде чат-бота в мессенджере *Telegram* бизнес-симуляция «Денежный поток», обучающая управлению финансовыми потоками. Это игра, разработанная по мотивам «Денежного потока» Кийосаки, модификации «Денежный поток олигарха К. Журавского», творчески переработанных деканом экономического факультета канд. физ.-мат. наук И. И. Маковецким. Чат-бот доступен 24 часа в сутки по адресу <http://t.me/GameCashFlowBot>.

1–2 ноября 2018 г. на базе СШ № 12 г. Могилева проводилось мероприятие «Школа бизнеса *BeSmart*. Бизнес-каникулы». В нем приняли участие 19 представителей школ города. В рамках мероприятия прошли два бизнес-тренинга, а также бизнес-игра *Flixa economic*.

Все эти мероприятия имеют и свой эффект. Так, студенты университета активно участвуют в стартап-мероприятиях различного уровня. Разра-

ботаны студентами и представлены на конкурсе по программированию «Coding Fest-2018» 4 проекта (финал состоялся 23 ноября). 3 проекта от университета приняты к участию в *Mogilev Invest Day* – главном стартап-событии Могилевской области.



Mogilev Invest Day: школа бизнеса BeSmart

В области научно-производственной деятельности университетом также получены значимые результаты.

Инжиниринговый центр «SimTech» Белорусско-Российского университета (далее – Центр) создан в 2015 г. Основная идея создания этого Центра – поддержка решения задач реального сектора экономики от разработки до производства, базирующаяся на использовании технологий наукоемкого компьютерного инжиниринга. В 2015–2017 гг. Центр был оборудован высокопроизводительными сервером и вычислительными станциями, были приобретены коммерческие лицензии на программное обеспечение для инженерного анализа – *SolidWorks*, *ANSYS Mechanical CFD Maxwell 3D*, *ANSYS HPC Pack*, *ANSYS Optimetrics (For HFSS, Q3D Extractor, Maxwell)* и ряд других.

Структура Центра включает проектные группы по направлениям: грузоподъемное машиностроение, карьерная техника, металлургия, железнодорожное машиностроение.

За 2018 г. были выполнены научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы на общую сумму около 260 тыс. р.

Среди уникальных разработок Центра – первый в Республике Беларусь козловой кран грузоподъемностью 32 т с пролетом 32 м, спроектированный и изготовленный на Слуцком заводе грузоподъемного оборудования.



SimTech: козловой кран грузоподъемностью 32 т с пролетом 32 м

Среди знаковых проектов – работа с отечественным производителем карьерных самосвалов БелАЗ в области совершенствования методики проектирования платформ. На базе разработок Центра в сотрудничестве со специалистами предприятия на основе полного цикла компьютерного моделирования создана опытная платформа карьерного самосвала БелАЗ-75131 и её цифровой прототип.



SimTech: опытная платформа карьерного самосвала БелАЗ-75131

Новая платформа обладает жесткостью серийной конструкции платформы, но отличается улучшенными характеристиками ее массы и обогрева. Так, снижение массы платформы для опытного образца составило 2400 кг. Площадь обогрева по сравнению с серийным аналогом увеличена на 12 %. Выполнено моделирование процесса износа днища платформы и определена оптимальная толщина основания из стали типа *HARDOX*. Презентация продукта состоялась 29 сентября 2018 г.

Аппаратное и программное обеспечение Центра регулярно обновляется и поддерживается на современном техническом уровне. Технические решения от *Intel* для высокопроизводительных систем, системы хранения данных и лицензионное программное обеспечение на уровне ведущих мировых исследовательских центров позволяют ежедневно пополнять базу знаний Центра информацией объемом около 650 Гбайт, содержащей результаты математического моделирования технических систем.

Новая платформа обладает жесткостью серийной конструкции платформы, но отличается улучшенными характеристиками ее массы и обогрева. Так, снижение массы платформы для опытного образца составило 2400 кг. Площадь обогрева по сравнению с серийным аналогом увеличена на 12 %. Выполнено моделирование процесса износа днища платформы и определение оптимальной толщины основания из стали типа *HARDOX*. Презентация продукта состоялась 29 сентября 2018 г.

Аппаратное и программное обеспечение центра регулярно обновляется и поддерживается на современном техническом уровне. Технические решения от *Intel* для высокопроизводительных систем, системы хранения данных и лицензионное программное обеспечение на уровне ведущих мировых исследовательских центров позволяют ежедневно пополнять базу знаний Центра информацией объемом около 650 Гбайт, содержащей результаты математического моделирования технических систем.

Открытая в 2018 г. в соответствии с требованиями образовательных стандартов Российской Федерации специальность магистратуры «Компьютерный инжиниринг при проектировании транспортных и технологических машин» позволяет в условиях центра «*SimTech*» привлекать к исследованиям наиболее талантливых и перспективных молодых профессионалов, которым нравится данное направление. Получить образование по этой специальности могут не только граждане Российской Федерации, но и граждане Республики Беларусь.

В университете функционирует **научно-техническая лаборатория «Волоконно-оптическая диагностика»**, имеющая в своем составе единственное в Республике Беларусь опытно-экспериментальное производство современного эндоскопического оборудования технического применения, созданное в рамках Государственной программы инновационного развития Республики Беларусь.



Продукция лаборатории волоконно-оптической диагностики

Коллектив лаборатории успешно работает над проблемами совершенствования средств диагностики труднодоступных мест. За годы работы лабораторией выполнено более 160 научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, связанных с разработкой средств диагностики труднодоступных мест объектов различного назначения. Разработки являются весьма рентабельными и востребованы промышленностью (внедрены почти на всех белорусских ТЭЦ, службах безопасности и охраны Беларуси и России, в лабораториях технической диагностики и неразрушающего контроля, на нефтегазоперерабатывающих и нефтегазоперекачивающих предприятиях и т. д.).

Осуществляется продажа специализированных средств диагностики предприятиям, большая часть их – на основе международных контрактов. За время существования лаборатории экспорт в различные страны составил около миллиона долл. США.

При лаборатории функционирует студенческое СКБ волоконной оптики, в котором студенты осваивают навыки конструирования оптических приборов, а также изготовления их деталей и сборки.

Деятельность **лаборатории «Взрывозащищенное электрооборудование»** связана с безопасной эксплуатацией электроустановок, систем автоматизации и противоаварийной защиты взрывоопасных производств, повышением их надежности. Разработанные методики, ремонтно-эксплуатационная документация на взрывозащищенные электродвигатели, контрольно-измерительные приборы и автоматику внедрены на таких предприятиях Республики Беларусь, как ОАО «Мозырский НПЗ»,

завод «Полимир» ОАО «Нафтан», г. Новополоцк, ЗАО «Вольна» и ООО «Абсолют Инжиниринг», г. Минск, ОАО «Беларуськалий», г. Солигорск.

Сотрудники лаборатории являются экспертами-аудиторами по подтверждению соответствия продукции требованиям технического регламента Таможенного союза ТР ТС 012/2011 «О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах». Они принимают активное участие в разработке и совершенствовании государственных и межгосударственных стандартов.



В студенческом СКБ ВЗЭО

Лаборатория проводит также обучение специалистов правилам безопасной эксплуатации частотно-регулируемых приводов, электрооборудования, систем автоматизации и противоаварийной защиты и их аттестацию. Только в 2018 г. повышение квалификации и аттестацию по направлению «Эксплуатация, ремонт, монтаж, наладка, обслуживание, проектирование систем автоматизированного управления и противоаварийной защиты для взрывоопасных сред, включая оборудование во взрывозащищенном исполнении» прошли 344 специалиста предприятий Республики Беларусь.

Общий объем выполненных лабораторией научных и образовательных услуг в 2018 г. превысил 170 000 р.

Активно включились в деятельность лаборатории на условиях оплаты и студенты. Студенческое СКБ НИЛ ВЗЭО ведет работу по следующим направлениям: исследования технических параметров взрывозащищенного электрооборудования на возможность их восстановления; разработка и согласование методик (руководств) по эксплуатации, ремонту и ремонтной документации на электродвигатели во взрывозащищенном исполнении;

разработка программ и методик совместных испытаний частотно-регулируемых электроприводов и приводных механизмов, установленных во взрывоопасных зонах; разработка и исследование энергосберегающих электромеханических систем.

Эта деятельность способствует становлению выпускников вуза как специалистов, приобретению опыта решения практических задач в условиях современного производства (ОАО «Мозырский НПЗ», ЗАО «Вольна», г. Минск).

Центр сертификации и испытаний, созданный при кафедре «Оборудование и технология сварочных процессов», является единственным в Республике Беларусь органом по сертификации персонала сварочного производства, сварочного оборудования, материалов, средств защиты сварщиков. Работает испытательная лаборатория, которая аккредитована Госстандартом более чем по 50 видам испытаний в области сварочного производства и смежных областей.

Решением коллегии Госатомнадзора ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет» признан головной специализированной организацией по сварке при строительстве Белорусской АЭС.

Работающие на БелАЭС специалисты-сварщики и инженерно-технические работники проходят аттестацию в Центре сертификации и испытаний. Университет утверждает все технологические процессы сварки и контроля, которые используются на АЭС, причем не только белорусскими, но и российскими предприятиями.

Объем финансирования Центра сертификации и испытаний в 2018 г. превысил 800 тыс. р., многие разработки и услуги являются экспортными.



БелАЭС: макет

ГВПО «Белорусско-Российский университет» является головной специализированной организацией по сварке и неразрушающему контролю на объектах строительства Белорусской АЭС. Выполняется большой объем работ по оценке качества сварных соединений, аттестации технологий сварки, сварщиков и руководителей сварочных работ.



Энергетическая реакторная установка Белорусской АЭС представляет собой уникальную сварную конструкцию. Сварка является основным технологическим процессом её создания, в связи с чем занимает ключевое место в обеспечении безопасности её функционирования

Сотрудники кафедры регулярно принимают участие в семинарах по ядерной и радиационной безопасности, проводимых под эгидой МАГАТЭ.



Сотрудники Центра сертификации и испытаний Лупачев Александр Григорьевич и Коротеев Артур Олегович прошли повышение квалификации в области ядерной и радиационной безопасности реакторных энергетических установок ВВЭР по программам европейского института ENSTTI 12.09.2016-16.09.2016г. "VVER design and operational safety review", 21.11.2016-25.11.2016г. "Regulatory review of VVER accident analysis results", и утверждены в качестве независимых экспертов по ядерной и радиационной безопасности в рамках программы обеспечения технической поддержки Белорусской АЭС.

Работа Центра сертификации и испытаний

Университет смотрит в будущее с оптимизмом. Нарботанный за многие годы практический опыт и сложившийся коллектив профессионалов позволяют нам решать задачи, которые не всегда под силу современной промышленности. А это значит, что деятельность университета будет и далее востребована современным рынком, а воодушевленная успехом старших коллег молодежь свяжет свое будущее с наукой.

УДК 330.5 (470)

ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ДЛЯ РАЗВИТИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СФЕРЕ 3D-МЕТАЛЛОПЕЧАТИ

И. Н. ПЛЮЩЕВСКИЙ, Е. А. БОРОДАВКО, В. К. БУРАЯ
ГНУ «НИЭИ Минэкономки Республики Беларусь»
Минск, Беларусь

В настоящее время направления развития аддитивных технологий (далее – АТ) в мировом масштабе в значительной степени связаны с 3D-металлопечатью¹. Целесообразно оценить, насколько готов отечественный научно-технический потенциал для *развития АТ в сфере 3D-металлопечати*. С этой целью ГНУ «НИЭИ Минэкономки Республики Беларусь» проводил опрос предприятий, учреждений и организаций различной ведомственной подчиненности, который позволил сделать ряд заключений.

В целом развитие 3D-металлопечати, исследования и разработки в данном направлении в Республике Беларусь находятся на начальной стадии. Научные компетенции по 3D-металлопечати в стране развиваются независимо и сообразно собственному ранее наработанному опыту в учреждениях НАН Беларуси – ГНУ «Физико-технический институт» (далее – ФТИ) и ГНУ «Институт порошковой металлургии» (далее – ИПМ), а также частично в системе Министерства образования Республики Беларусь, а именно – в БНТУ. В табл. 1 представлена характеристика аддитивных машин, эксплуатирующихся в данных учреждениях.

Табл. 1. Сравнение установок для 3D-металлопечати трех учреждений

Параметры	ФТИ НАН Беларуси	ИПМ НАН Беларуси	БНТУ
Аддитивная технология	Электроннолучевая, прямое лазерное выращивание	Селективное лазерное сплавление	Прямое лазерное выращивание
Используемое оборудование	Модернизированная собственными силами установка украинского производства 1989 г.	Металлургический (импортный) принтер компании 3D-Systems (ProX DMP 300)	Неспециализированная лазерная установка компании ООО «Рухсерватор» (Минск)
Программное обеспечение	Недостаточное для выращивания изделий всевозможных конфигураций	Встроенное, с закрытой архитектурой	Недостаточное для выращивания изделий всевозможных конфигураций

¹ К основным технологическим разновидностям 3D-металлопечати относят селективное лазерное сплавление, прямое лазерное выращивание, электронно-лучевое сплавление.

Окончание табл. 1

Параметры	ФТИ НАН Беларуси	ИПМ НАН Беларуси	БНТУ
Производительность	<i>Более высокая по сравнению с установками, работающими по другим технологиям, но более низкая по сравнению с зарубежными аналогами, работающими по данной технологии</i>	Невысокая	Невысокая
Размеры выращиваемых изделий	Металлические крупные изделия в широком интервале размеров	Сравнительно небольшие детали, изготовленные с высокой точностью формирования мельчайших элементов	Детали простых форм и небольших размеров
Материалы	Возможность использования доступной металлической проволоки <i>(в сравнении с порошками для селективного лазерного сплавления)</i>	Высокая стоимость расходных материалов (сферических металлпорошков)	Невысокая стоимость традиционных несфероидизированных порошков

ФТИ НАН Беларуси, где используется модернизированная собственными силами установка украинского производства 1989 г., и ИПМ НАН Беларуси, приобретший зарубежную установку компании 3D-Systems с закрытой архитектурой, являются скорее их пользователями в разрезе исследований по стабильному достижению свойств выращиваемых изделий и перспективному выполнению определенных заказов для предприятий в соответствии с эксплуатационными возможностями аддитивных машин, которыми они располагают. Также в БНТУ эксплуатируется установка лазерной наплавки, модернизированная под прямое лазерное выращивание изделий, которая предназначена в основном для получения практики самого выращивания простых фрагментов небольшого размера.

Собственных разработанных аддитивных машин в данных научных учреждениях нет. Согласно проведенному опросу, например, по мнению ФТИ НАН Беларуси, существует возможность проектирования и изготовления собственными силами аддитивных машин электронно-лучевого типа, при этом это займет около 1 года, а стоимость составит 500 тыс. долл. США. Однако в целом в стране вопросы проектирования и изготовления собственных установок в настоящее время носят только виртуальный характер ввиду неясности спроса, отсутствия опыта проектирования, ограниченности квалифицированных кадровых ресурсов, значительного удельного веса импортных комплектующих в оборудовании. Отсутствие возможности производить аддитивные машины в нашей стране сопровождается отсутствием разработок ПО в соответствующей области. Существенным является также

отставание от Российской Федерации, где изготовление аддитивных машин и расходных материалов приняло характер единичных и мелкосерийных производств, разработка технологических процессов происходит по всем известным направлениям 3D-металлопечати и интенсивно развивается база технических стандартов для аддитивных производств.

В целом следует отметить, что наибольшие возможности в Республике Беларусь для применения в промышленности имеют электронно-лучевые аддитивные технологии (компетенции ФТИ НАН Беларуси), прямое лазерное выращивание (компетенция ФТИ НАН Беларуси, БНТУ) и плазменно-дуговое выращивание (компетенции неизвестны).

УДК 669
РЕАЛИЗАЦИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ
ПРОГРАММЫ «МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ» В 2016–2018 ГОДАХ

О. П. САЗОНЕНКО, Ф. Н. ХОДОРКИН¹, И. В. ЖУК, Т. А. ПРОКОПОВИЧ

¹Государственный комитет по науке и технологиям
Белорусский институт системного анализа
и информационного обеспечения научно-технической сферы
Минск, Беларусь

В Республике Беларусь разработки новшеств по актуальным вопросам материаловедения, технологии литья, машиностроения и др. проводятся в рамках Государственной научно-технической программы (далее – ГНТП) «Машиностроение и машиностроительные технологии», в состав которой входят подпрограммы: станки и инструменты; технологии машиностроения; автотракторокомбайностроение; оптическое станкостроение, технология оптико-механического производства; технологии литья. Ежегодный объем финансирования данных направлений из республиканского бюджета в 2016–2018 гг. составлял от 6,28 до 13,06 млн р. При этом доля выделяемых средств на ГНТП «Машиностроение и машиностроительные технологии» в общем объеме финансирования ГНТП изменялась по годам и составляла 15,3...21,0 %. Количество создаваемых новшеств в рамках данной ГНТП составляло по 22 единицы в 2016 и 2018 гг. и 3 единицы в 2017 г. (табл. 1).

В рамках ГНТП «Машиностроение и машиностроительные технологии» за 2016–2018 гг. разработано: машин, оборудования, приборов, инструментов, деталей – 39 единиц; технологических процессов – 7; материалов, веществ – 1 единица. Получено 11 патентов на изобретения.

По данной научно-технической программе в 2018 г. зафиксированы наибольшие показатели реализации продукции среди всех ГНТП. Так, сто-

имость реализованной продукции составила 258,8 млн р., что соответствует 79,3 % от реализованной продукции по всем ГНТП. Стоимость экспорта составила 203,6 млн р., или 88,4 % от экспорта по всем ГНТП.

Табл. 1. Объем финансирования и количество создаваемых новшеств ГНТП «Машиностроение и машиностроительные технологии»

Показатель	Объем бюджетного финансирования, млн р.			Создано новшеств, ед.		
	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.
ГНТП «Машиностроение и машиностроительные технологии»	6,28	13,06	9,12	22	3	22
Всего по 17 ГНТП	41,08	62,3	57,07	168	159	401
Доля ГНТП «Машиностроение и машиностроительные технологии» в общем объеме ГНТП, %	15,3	21,0	16,0	13,1	1,89	5,48

Объем финансирования из республиканского бюджета в разрезе подпрограмм в 2016–2018 гг. составлял 0,11...6,65 млн р./год в зависимости от подпрограммы и года финансирования, объем реализованной (выпущенной) продукции – 0,69...242,7 млн р./год (табл. 2).

Табл. 2. Данные по подпрограммам ГНТП «Машиностроение и машиностроительные технологии» за 2016–2018 гг.

Наименование подпрограммы	Количество заданий НИОКТР, шт.			Объем бюджетного финансирования НИОКТР, млн р.			Объем реализованной (выпущенной) продукции, млн р.		
	2016	2017	2018	2016	2017	2018	2016	2017	2018
Станки и инструменты	7	7	7	2,90	2,16	2,53	1,72	7,11	7,94
Технологии машиностроения	4	5	8	0,21	0,78	1,15	2,03	0,69	–
Автоматизированное машиностроение	32	23	21	1,74	6,65	4,13	52,8	242,7	234,3
Оптическое станкостроение, технология оптико-механического производства	8	7	6	1,31	2,89	1,20	2,76	2,96	8,35
Технологии литья	2	1	1	0,12	0,58	0,11	3,03	11,9	8,23
Всего	53	43	43	6,28	13,06	9,12	62,4	265,5	258,8

В 2016–2018 гг. объем выпущенной и реализованной продукции по данной программе превышал объем бюджетного финансирования НИОКТР в 9,9...25,9 раза. Выполнение программы в целом считается экономически эффективным, если отношение денежных поступлений от реализации результатов научно-технической деятельности к расходам средств республиканского бюджета на выполнение ГНТП равно или превышает 5,0.

Таким образом, ГНТП «Машиностроение и машиностроительные технологии» в 2016–2018 гг. выполнялась эффективно и была направлена на выпуск продукции (товара) как для отечественного, так и зарубежных рынков.

УДК 331.101

ТРЕБОВАНИЯ К ОБРАЗОВАНИЮ В ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СТАНДАРТАХ РАБОЧИХ МАШИНОСТРОЕНИЯ

О. В. СПИРИДОНОВ

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана,
«ВНИИ труда» Минтруда России
Москва, Россия

Одной из целей разработки профессиональных стандартов является определение квалификаций, по которым необходима подготовка кадров, разработка образовательных стандартов и учебных программ.

Соответственно, в профессиональном стандарте, помимо описания выполняемых работником трудовых действий и необходимых для этого знаний и умений, должны быть установлены пути достижения требуемой квалификации, т. е. требования к образованию и обучению и, при необходимости, к опыту практической работы.

Профессиональные стандарты рабочих в машиностроении разрабатываются с сохранением сложившейся системы тарифно-квалификационных разрядов от 1-го (самый младший) до 8-го. Впрочем, в большинстве профессий начальным разрядом является 2-й, а последним – 6-й.

Трудовая деятельность большинства рабочих в машиностроении связана с эксплуатацией сложного и дорогостоящего оборудования, что требует обязательной предварительной подготовки в виде профессионального обучения или образования.

Для младших разрядов (до 3-го включительно) как минимальное устанавливается требование к наличию обучения по программам подготовки

или переподготовки по профессиям рабочих. При этом для начального разряда требование к опыту практической работы не устанавливается, чтобы работники, успешно прошедшие обучение, имели право сразу претендовать на получение рабочего разряда. Для последующих разрядов устанавливается обязательное требование наличия опыта работы по предыдущему разряду, как правило, от шести месяцев до одного года.

Для старших разрядов (от 4-го до 6-го) в профессиональных стандартах устанавливается две возможные образовательные траектории.

В качестве основной принято получение среднего профессионального образования по программам подготовки квалифицированных рабочих. При этом требования к опыту практической работы отсутствуют, и выпускник имеет право сразу после окончания учебного заведения претендовать на получение 4-го разряда. Для получения последующих разрядов работник должен иметь опыт работы, как правило, от одного года до двух лет. Для получения 5-го разряда установлено как рекомендуемое, а для 6-го разряда как обязательное требование прохождения повышения квалификации. Но следует иметь в виду, что в настоящее время в машиностроении имеется значительная часть возрастных рабочих. Негуманно требовать от рабочих в возрасте от 35 лет и выше обязательного получения среднего профессионального образования или закрывать им путь к получению высоких разрядов. Для этой ситуации, по крайней мере на некоторое время, предусмотрена вторая образовательная траектория на основе профессионального обучения. При этом для 4-го и последующих разрядов (до 6-го включительно) устанавливается требование обязательного прохождения повышения квалификации (дополнительного профессионального обучения) и повышенные требования к опыту работы на предшествующих разрядах – не менее двух-трех лет. В некоторых профессиях, например, у многих наладчиков станков и другого технологического оборудования, 4-й разряд является начальным. В этом случае рабочий без среднего профессионального образования должен иметь опыт практической работы на том оборудовании, наладчиком которого он может стать.

Такая система двух образовательных траекторий, с одной стороны, не закрывает возможности получения высоких разрядов работникам без среднего специального образования, а с другой стороны, для быстрого получения высоких разрядов стимулирует выпускников школ и молодых рабочих к поступлению в образовательные учреждения среднего профессионального образования, а уже работающих рабочих к получению среднего профессионального образования без отрыва от производства.

Несколько обособлено от других стоят 7-й и 8-й разряды. Эти разряды крайне редко встречаются в профессиях рабочих машиностроения. Для

них устанавливается обязательное требование – среднее профессиональное образование, повышение квалификации и опыт работы на предшествующем разряде не менее трех лет.

Следует обратить внимание, что требования к образованию и опыту работы в профессиональном стандарте носят рекомендательный характер и устанавливают только нижнюю планку. Это означает, что работник при наличии указанного уровня образования и опыта работы имеет право претендовать на выполнение работ по соответствующему разряду. Однако работодатель не обязан автоматически предоставлять работнику такую возможность. Работодатель имеет право устанавливать свои требования к аттестации работников и определять порядок получения квалификационных разрядов. Однако такая процедура несет риск необъективной оценки квалификации и, как результат, ущемления прав рабочих. Выходом из данной ситуации может быть введение в практическое применение и признание со стороны работодателей системы независимой оценки квалификации всех рабочих как выпускников образовательных учреждений профессионального обучения и профессионального образования, так и уже работающих на производстве.

УДК 621.924.5 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОБРАБОТКИ НА ТОКАРНОМ СТАНКЕ С ЧПУ

Х. У. АКБАРОВ, Т. Х. АКБАРОВ
Андижанский машиностроительный институт
Андижан, Узбекистан

В машиностроительном производстве в связи с повышением требований к точности изготовления деталей находят широкое применение прецизионные станки с ЧПУ, встраиваемые в ГПС.

Анализ условий эксплуатации прецизионных токарных станков показывает, что в производственных условиях могут возникать самые разнообразные технологические ситуации. Поэтому возникает необходимость в изыскании методов, позволяющих обеспечить заданную точность обработки без снижения производительности.

Математическая модель процесса обработки позволяет получить характеристики погрешностей обработки и основных факторов, порождающих эти погрешности. Однако модель не дает представления о характере изменения размеров деталей в порядке последовательной обработки их на станке, знание этих закономерностей приобретает особую роль при решении задач управления точностью.

Выявить эти закономерности позволяет математическая модель погрешностей обработки.

Для построения математической модели погрешностей обработки была произведена обточка партии из 31 заготовки из стали 40Х.

Обработка производилась на токарном станке с ЧПУ одним резцом из ВК6М, имеющим геометрические параметры $\varphi = 100^\circ$, $\varphi_1 = 10^\circ$, $\delta = 17^\circ$, $\alpha = 13^\circ$, $\alpha_1 = 22^\circ$, $\lambda = +6^\circ$, при одной настройке на размер 9,000 мм с режимом резания, $V = 60$ м/мин, $S_0 = 0,04$ мм/об, $t = 0,5$ мм.

В порядке схода со станка измерялись диаметры обработанных поверхностей с помощью цифровой растровой измерительной системы модели I9000, ТУ2-034-206-83.

Результаты эксперимента представлены в виде точечной диаграммы.

По виду точечной диаграммы можно, хотя и грубо, судить о поведении процесса обработки во времени. Смещения центров рассеивания (уровня настройки) определяют систематическую составляющую суммарной погрешности обработки, а рассеивание размеров относительно линии смещения центров рассеивания – случайную составляющую.

Для математического описания поведения процесса обработки отклонение размеров последовательно обработанных деталей следует рассматривать как некоторую случайную функцию $Y(t)$ порядкового номера детали $t_n = n$. В тех случаях, когда параметр t может принимать лишь

дискретные значения $t = t_n = nh$, $h = 1$, случайная функция $Y(t)$ является случайной последовательностью, которую обозначим $\{y_n\}$, $n = 1, 2, \dots$, полагая $Y(t) = \{y_n\}$. При таком подходе точечную диаграмму следуют рассматривать как реализацию случайной последовательности отклонений размеров обработанных деталей $\{y_n\}$, $n = 1, 2, \dots, N$, где N – число обработанных деталей.

При этом возникает удобный критерий качества разделения суммарных погрешностей обработки – степень коррелированности отклонений от систематической составляющей.

В этом случае систематическую составляющую u_n можно представить в виде

$$u_n = A\{n\}; \quad y_n = z_n + u_n,$$

где $A\{\}$ – оператор преобразования; y_n – исходная последовательность; n – порядковый номер обработанной детали.

Задача упрощается при допущении, что систематическая составляющая изменяется по линейному закону. Тогда выражение для систематической составляющей можно записать в виде уравнения линейной регрессии

$$u_n = a_0 + a_1 n.$$

Оценку коэффициентов a_0 , a_1 можно осуществить по методу наименьших квадратов, при этом среднее квадратическое отклонение от систематической составляющей может быть оценено по формуле

$$\varepsilon_z = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (y_n - a_0 - a_1 n)^2}{N - 1}}.$$

В данном случае, когда условие некоррелированности отклонений от прямой выполняется, этот способ дает единственное решение задачи разделения погрешностей. При этом величина ε_z совпадает с дисперсией мгновенного распределения погрешностей. В результате обработки экспериментальных данных получена следующая математическая модель погрешностей обработки на токарных станках с ЧПУ:

$$\begin{cases} y_n = z_n + 0,0034879 + 0,0000988n; \\ \varepsilon_z = 0,0018. \end{cases}$$

Таким образом, построенная математическая модель погрешностей обработки позволяет оценить величины систематической и случайной составляющих суммарной погрешности, определить соотношение между ними, что способствует повышению надежности выбора принципа

управления при решении задачи повышения точности механической обработки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Невельсон, М. С.** Автоматическое управление точностью обработки на металлорежущих станках / М. С. Невельсон. – Ленинград: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. – 184 с.

УДК621.791

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО СВАРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

С. В. БОЛОТОВ, В. П. КУЛИКОВ, Е. Л. БОЛОТОВА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Развитие современного сварочного производства идёт по пути повышения качества сварки за счёт внедрения средств автоматизации процессов. Это требует применения надёжного, высокоэффективного оборудования с цифровыми средствами управления и контроля.

Сварочное оборудование с интеллектуальными функциями управления относится к оборудованию последнего, четвёртого поколения. Ведущие мировые производители сварочного оборудования KEMPPI (Финляндия), ESAB (Швеция), Lincoln (США), Fronius (Австрия) осуществляют производство подобного оборудования, относя алгоритмы управления к коммерческой тайне. В Республике Беларусь не налажено производство современного сварочного оборудования четвертого поколения, что связано с отсутствием научных основ его проектирования.

Разработка интеллектуального оборудования для дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитных газов с управляемым переносом электродного металла позволит решить задачи энерго- и ресурсосбережения, обеспечения качества сварных соединений на объектах, подведомственных Госпромнадзору и Госатомнадзору Республики Беларусь. Анализ существующих систем управления таким оборудованием показал, что большинство зарубежных производителей реализуют алгоритмы управляемого переноса электродного металла за счёт управления формой сварочного тока и напряжения. Фирма Fronius реализовала процесс СМТ (перенос «холодного» металла) за счёт реверсирования подачи проволоки. Нами предлагается перейти от понятия характеристик или основных координат (ток, напряжение на дуге) к управлению энергией,

затрачиваемой на плавление основного и присадочного материала, распределённой в пространстве и во времени. Структурная схема такой системы предполагает наличие трёх каналов управления: один – подачи проволоки и два – источником питания сварочной дуги. Такая конфигурация позволит реализовать «сеточное» управление в динамике сварочным током и напряжением, что расширит возможности воздействия на перенос электродного металла. Структура сварочного источника предполагает наличие интеллектуальных датчиков параметров режима сварки, информация с которых поступает на интеллектуальную систему обработки информации, использующую алгоритмы нечёткой логики, нейронные сети. Выбор необходимых параметров режима сварки будет осуществляться экспертной системой. В структуре предусмотрено наличие блока связи с сервером, реализующим удалённый контроль за ходом технологического процесса сварки, формирование отчётов о работе сварщиков и сварочного оборудования предприятия.

На кафедре «Оборудование и технология сварочного производства» функционирует Центр сертификации и испытаний, в котором осуществляются испытания сварочного оборудования и материалов. Здесь имеется вся необходимая материально-техническая база, в том числе современное сварочное оборудование известных мировых производителей: KEMPPi, Fronius, ESAB, комплекс роботизированной сварки Fanuc, регистратор сварочных процессов РКДП-0401, камера высокоскоростной съемки Evercam 1000-4-C, промышленные контроллеры компании National Instruments, контрольно-измерительное оборудование, программное обеспечение для моделирования процессов сварки, имитационного моделирования работы сварочного оборудования, сбора данных и управления (Ansys, Matlab, LabVIEW). На основе экспериментальных исследований и математических моделей процесса дуговой сварки с управляемым переносом электродного металла, имитационного моделирования работы сварочного оборудования будут определены параметры сварки, отражающие качество протекания процесса. Планируется разработать методики проектирования силовой части сварочного оборудования, интеллектуальные датчики параметров технологического процесса сварки, способы и алгоритмы управляемого переноса электродного металла, провести синтез и реализацию интеллектуальных систем управления процессами сварки, разработать методики и средства сертификационных и аттестационных испытаний параметров и сварочно-технологических свойств оборудования дуговой сварки на основе интеллектуальных систем.

Разработанные в результате выполнения проекта методики, алгоритмы управления, программно-аппаратные средства будут использованы при производстве сварочного оборудования белорусскими производителями ООО «ОЛИВЕР» (г. Минск), ЗАО «Машагропром» (г. Минск) на базе выпускаемых серийно источников питания. Это будет способствовать

импортозамещению интеллектуального сварочного оборудования ведущих мировых производителей KEMPPi, ESAB, Lincoln, Fronius при снижении его стоимости в 3...5 раз, объединению в единую сеть всего современного сварочного оборудования в Республике Беларусь и реализации перехода к мировой концепции «Индустрия 4.0».

УДК 621.8

СНИЖЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВЫХОДНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛАНЕТАРНЫХ ЭКСЦЕНТРИКОВЫХ ПЕРЕДАЧ К ПОГРЕШНОСТЯМ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И СБОРКИ ЗВЕНЬЕВ

П. Н. ГРОМЫКО, С. Н. ХАТЕТОВСКИЙ, И. В. ТРУСОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Для каждой механической передачи характерно наличие погрешностей изготовления и сборки. Возможность их компенсации позволяет обеспечить работоспособность передач. Наиболее распространенный способ компенсации – это создание в зацеплении контактирующих колес зазоров. Но их появление может привести к снижению кинематической точности передачи. Различные виды механических передач по-разному реагируют на появление зазора в зацеплении контактирующих звеньев. У одних передач небольшое увеличение значения зазора приводит к резкому ухудшению выходных показателей. Другие способны сохранять свои служебные свойства при его варьировании в довольно широких пределах. Во многом чувствительность выходных показателей механических передач к появлению зазоров в зацеплении определяется формой зубьев контактирующих колес, т. е. видом зацепления. Так, широкое применение эвольвентного зацепления во многом определяется способностью этого зацепления обеспечить низкую чувствительность выходных показателей к зазорам в зацеплении, следовательно, к наличию погрешностей изготовления и сборки.

Планетарные передачи эксцентрикового типа относятся к передачам, которые позволяют создать компактную, малогабаритную конструкцию механического привода. Однако при этом необходимые для приводного механизма эксплуатационные показатели эксцентриковой передачи можно получить, только обеспечив высокую точность её изготовления и сборки.

На основе проведенных исследований процесса формообразования зубьев центрального колеса планетарной эксцентриковой передачи было предложено специальное зацепление, разработанное на базе использования удлиненной эпициклоиды [1]. Проведенные компьютерные исследования

планетарной эксцентриковой передачи с разработанным зацеплением, позволили установить, что указанная передача имеет более низкую чувствительность выходных показателей к погрешностям изготовления и сборки звеньев по сравнению с зацеплением, разработанным на основе использования укороченной эпициклоиды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Использование удлиненной эпициклоиды для формообразования зубчатых поверхностей передач эксцентрикового типа / П. Н. Громыко, С. Н. Хатетовский // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2019. – № 1. – С. 14–21.

УДК 621.687 СОВМЕЩЕННОЕ МАГНИТНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ НАКАТЫВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ НЕЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ

А. М. ДОВГАЛЕВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Существующая тенденция уменьшения массогабаритных характеристик проектируемых технических систем приводит к резкому увеличению числа нежестких деталей, в связи с чем повышение качественных характеристик поверхностей указанных деталей методами поверхностного пластического деформирования (ППД) является важной технологической задачей.

В работе выполнен анализ динамических методов ППД, применяемых для отделочно-упрочняющей обработки нежестких деталей, и выявлены их преимущества и технологические особенности.

Разработана классификационная схема динамических методов ППД, в соответствии с которой предложено их разделять по следующим признакам:

- по виду связи деформирующих элементов (ДЭ) с корпусом упрочняющего инструмента (с жесткой связью, с упругой связью, со свободно расположенными в камере ДЭ);
- по количеству ДЭ, взаимодействующих с поверхностью детали (одноэлементными и многоэлементными упрочняющими инструментами);
- по способу сообщения ДЭ кинетической энергии (энергией пружины инструмента, ультразвуковым полем, струей рабочего агента под давлением, вращающимся постоянным или переменным магнитным полем, электромагнитным полем);

- по виду энергетического воздействия на поверхностный слой детали (силовое, комбинированное, совмещенное).

Установлено, что известные методы динамического ППД поверхностей нежестких деталей, наряду с преимуществами, имеют и некоторые технологические недостатки:

- характеризуются низкой производительностью и значимой по величине силой деформирования;
- для обеспечения динамического воздействия на поверхность детали применяется достаточно сложное технологическое оборудование;
- при ударной обработке на поверхности детали формируется высокая шероховатость, что требует включения в технологический процесс дополнительной финишной операции для ее уменьшения;
- снижается исходная геометрическая точность в поперечном сечении нежестких деталей (из-за появления остаточных деформаций под действием сил деформирования);
- известные методы не позволяют получать на поверхности нежестких деталей твердосмазочные покрытия на основе цветных металлов, улучшающие их антифрикционные свойства;
- ни один из известных методов ППД не позволяет сформировать антифрикционный поверхностный слой с мелкодисперсной субзерной структурой наноразмерного диапазона, существенно повышающей триботехнические свойства поверхности.

Для устранения указанных недостатков автором предложено выполнять совмещенную упрочняющую обработку поверхностей нежестких ферромагнитных деталей концентрированным потоком энергии вращающегося магнитного поля и импульсно-ударным деформированием [1–3].

Экспериментальные исследования позволили выявить преимущества разработанных методов совмещенной обработки:

- обеспечивается повышение жесткости упрочняемой тонкостенной детали;
- имеет место равномерное силовое воздействие деформирующих шаров инструмента на поверхность нежесткой детали;
- снижается требуемая величина ударной силы для осуществления пластического деформирования исходных микронеровностей поверхности;
- малое время взаимодействия деформирующих шаров инструмента с упрочняемой поверхностью;
- имеет место снижение крутящего момента деформирования, определяющего энергоемкость процесса совмещенной обработки;
- существенное повышение износостойкости упрочненных поверхностей нежестких ферромагнитных деталей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Способ поверхностного пластического деформирования и инструмент для его осуществления: пат. РФ 2068770 / А. М. Довгалева (РБ). – Оpubл. 10.11.1996.
2. Способ поверхностного пластического деформирования и инструмент для его осуществления: пат. РФ 2089373 / А. М. Довгалева (РБ). – Оpubл. 10.09.1997.
3. Способ и устройство для отделочно-упрочняющей обработки внутренней поверхности отверстия в ферромагнитной детали: пат. ВУ 22193 / В. К. Шелег [и др.]. – Оpubл. 30.06.2018.

УДК 621.9

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИЗМА АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ЗВУКОВОГО УПРОЧНЕНИЯ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ПРЕРЫВИСТОГО РЕЗАНИЯ

А. Н. ЖИГАЛОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

При прерывистом резании, к которому относится фрезерование, процесс протекает в чрезвычайно тяжелых условиях: неблагоприятное условие для клина режущего элемента в процессе стружкообразования; явление удара и циклическое воздействие температуры на инструмент при входе и выходе его из заготовки; охлаждение инструмента при холостых ходах. При резании твердосплавными инструментами вследствие ударных явлений происходит их скалывание, т. к. кратковременный пик нагрузки способствует повышению динамического предела текучести материала инструмента, вследствие чего сопротивление материала разрушению возрастает.

Для решения технологической задачи, связанной с повышением стойкости и одновременным сохранением высоких характеристик по твердости и плотности твердых сплавов, работающих в тяжелых технологических условиях с ударной нагрузкой, разработан и запатентован метод аэродинамического упрочнения (АДУ) [1].

Целью исследования метода АДУ являлась разработка теоретических и технологических основ механизма АДУ, основанного на направленном высокоэнергетическом воздействии волн звуковой частоты.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: проведен анализ методов упрочнения твердосплавных инструментов

энергетическим воздействием; проведен анализ теоретических и экспериментальных работ по влиянию звукового и ультразвукового воздействия на структуру и свойства твердых сплавов; обоснована эффективность применения волнового звукового воздействия для упрочнения твердосплавного инструмента; разработана методика упрочнения твердосплавного инструмента методом АДУ; исследовано влияние метода АДУ на износостойкость твердосплавных пластин при фрезерной обработке материала из чугуна и конструкционной стали.

Существующие методы совершенствования инструмента, в основном направленные на создание новых мелкодисперсионных инструментальных материалов, улучшение конструкций, оптимизацию режимов обработки, применение методов поверхностного упрочнения режущего инструмента, не в состоянии комплексно решить проблему, связанную с эффективной обработкой поверхностей при прерывистом резании с ударами [2, 3].

С использованием основных положений теорий волновых процессов, квантовой физики, классической теплоемкости и термодинамики, теории дислокаций, самоорганизации и хаотизации, упругости и пластичности, реологии, а также с применением технологии функционально ориентированного проектирования и имитационного реологического моделирования дано математическое описание механизма АДУ, связанного с накачкой энергии в твердое тело, смещением атомов кристаллической решетки и дислокаций в свободное, а затем в самоорганизованное состояние [4]. Предложен алгоритм и методика упрочнения твердосплавного инструмента методом АДУ.

Проведенные исследования влияния метода АДУ на износостойкость твердосплавных пластин при фрезерной обработке материала из чугуна СЧ20 и конструкционной стали 45 твердосплавными пластинами В35, Т5К10 и Т15К6, упрочненными АДУ, показали, что износ пластин, упрочненных АДУ, значительно меньше износа неупрочненных. Например, при пути резания, равном 400 м, износ пластин сплава В35 при фрезеровании чугуна СЧ20 меньше на 22,4...35,3 %, чем износ неупрочненных пластин В35. При 60 мин фрезерования заготовок из стали 45 сплавами Т5К10 и Т15К6, упрочненными АДУ, происходит снижение износа при различной вариации режимов резания на 18,8...37,5 % по сравнению с аналогичными неупрочненными пластинами.

Получены степенные зависимости износа по задней поверхности от времени резания для твердых сплавов МС131 и МС111, неупрочненных и упрочненных АДУ, которые удобно использовать для предварительного выбора твердосплавной пластины и назначения режимов резания, а также планирования их ресурсной стойкости. Проводятся работы по внедрению в производственных условиях метода АДУ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Способ аэродинамического упрочнения изделий: пат. ВУ 21049 / А. Н. Жигалов, Г. Ф. Шатуров, В. М. Головков. – Оpubл. 06.30.2017.
2. **Жигалов, А. Н.** Методы упрочнения твердосплавного инструмента, их достоинства и недостатки / А. Н. Жигалов, А. А. Жолобов, О. Н. Кляус // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 25–26 апр. 2019 г. / Белорус.-Рос. ун-т. – Могилев, 2019. – С. 39–40.
3. **Жолобов, А. А.** Особенности производства твердосплавного инструмента основными мировыми производителями / А. А. Жолобов, А. Н. Жигалов, А. В. Богданов / Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 25–26 апр. 2019 г. / Белорус.-Рос. ун-т. – Могилев, 2019. – С. 41.
4. **Жигалов, А. Н.** Алгоритм энергообмена при температурно-волновом воздействии метода аэродинамического звукового упрочнения / А. Н. Жигалов // Материалы 5 Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 16–17 мая 2019 г. / НИУ «Ин-т прикладной физ. проблем им. А. Н. Севченко» Белорус. гос. ун-та. – Минск, 2019. – С. 178–180.

УДК 621.763/621.317.42

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Н. ИКРОМОВ

Андижанский машиностроительный институт
Андижан, Узбекистан

Физической модификацией можно значительно улучшить свойства полимерных материалов и покрытий. Более технологичной модификацией является магнитная обработка материалов. Однако до настоящего времени недостаточно изучено влияние магнитного поля на прочностные свойства полимерных композиционных материалов и покрытий на их основе.

В связи с этим нами было изучено влияние магнитного поля на прочностные свойства композиционного термопластичного полимерного материала и покрытий на его основе.

В качестве объектов исследования был выбран один из кристаллических термопластов – пентапласт, а в качестве наполнителей железный порошок, графит и тальк. Основной задачей являлось определение оптимальных режимов обработки магнитным полем разрабатываемых композиционных пентапластовых материалов и покрытий из них, включающих систему наполнителей. Прежде всего исследовали зависимость

прочностных свойств полимерных материалов и покрытий из них от длительности воздействия постоянного магнитного поля. При этом для решения задачи и выявления перспективных возможностей использования магнитного поля было последовательно изучено влияние магнитного поля на покрытие из полимеров без наполнителя и с наполнителями.

Исследование влияния длительности и напряженности воздействия магнитного поля на прочностные свойства пентапластовых покрытий показали, что с увеличением длительности обработки магнитным полем постоянной напряженностью 4 кА/м адгезионная прочность возрастает от 120 до 160 кН/м², а микротвердость покрытий – от 105 до 155 МПа. Оптимальное время обработки покрытий из пентапласта – 1000 с. Можно отметить, что с соответствующими изменениями адгезионной прочности и микротвердости уменьшаются изнашивание и силы трения полимерных покрытий.

Если установить постоянной длительность воздействия магнитного поля, то можно определять влияние напряженности магнитного поля на свойства покрытий. При этом адгезионная прочность и микротвердость покрытий после обработки в постоянном магнитном поле увеличиваются на 40...60 %, т. е. адгезионная прочность увеличивается от 120 до 205 кН/м² а микротвердость – от 105 до 165 МПа. Максимальные значения этих величин достигаются для пентапластовых покрытий при напряженности около 140 кА/м².

Таким образом, исследования показали, что воздействие постоянного магнитного поля приводит к повышению свойств покрытий. Оптимальные режимы воздействия зависят от природы полимера.

Дальнейшие эксперименты проведены с наполненными пентапластами. Для этого исследовали влияние времени воздействия и напряженности магнитного поля на адгезионную прочность и микротвердость композиционных пентапластовых покрытий с различными наполнителями. Эти наполнители были выбраны как представители ферромагнитных (железный порошок), парамагнитных (графит) и диамагнитных (тальк) материалов. В композиции на основе пентапласта вводили 20 мас. ч. железного порошка, а остальных наполнителей по 10 мас. ч.

В результате исследований определено, что эффективность влияния обработки магнитным полем на адгезионную прочность и микротвердость наполненных покрытий зависит от магнитных свойств наполнителя и природы полимера. Так, адгезионная прочность покрытий, наполненных железным порошком, лежит в пределах 160...195 кН/м², а микротвердость – 148...200 МПа, графитом – 133...180 кН/м² и 127...168 МПа соответственно; тальком – 130...165 кН/м² и 126...156 МПа соответственно. При этом наиболее существенное увеличение адгезионной прочности и микротвердости наблюдалось у композиционных пентапластовых покрытий,

наполненных железным порошком и обработанных при напряженности магнитного поля 120...160 кА/м² в течение 1000 с.

Максимальные значения свойств покрытий из таких слабополярных полимеров, как пентапласт, смещены в сторону больших напряжений (120...160 кА/м²) по сравнению с сильнополярными эпоксидными покрытиями (80...120 кА/м²). Для ориентации слабополярных полимеров требуется более высокая напряженность магнитного поля. При увеличении времени воздействия магнитного поля на покрытия из термопластичных полимеров до 600900 с свойства их увеличиваются в 1,2...1,6 раза.

Результаты исследований показывают, что эффект влияния магнитного поля зависит от природы полимера и подложки. Так, адгезионная прочность для пентапластовых покрытий увеличивается на стальной подложке на 75 %, на алюминиевой на 43 %, на медной на 3 %.

Таким образом, для магнитной модификации пентапластовых композиционных материалов и покрытий на их основе с целью увеличения их прочностных свойств рекомендованы следующие оптимальные режимы: для пентапластовых композиций и покрытий с ферромагнитными наполнителями – напряжение 120...160 кА/м² и время 1000 с; для пентапластовых композиций и покрытий с пара- и диамагнитными наполнителями – напряжение 160...200 кА/м² и время 1000 с.

УДК 621.83.06, 621.9.08

АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКИХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НЕКОТОРЫХ ТИПОВ ПЛАНЕТАРНЫХ ПЕРЕДАЧ

А. В. КАПИТОНОВ, О. А. КАПИТОНОВ, М. В. ЛЕБЕДЕВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Проведен анализ кинематических и энергетических параметров некоторых типов механических планетарных кулачково-плунжерных, роликовых и зубчатых эксцентриковых передач. Эти передачи имеют небольшие массогабаритные характеристики и большие передаточные отношения. Они могут эффективно использоваться в мехатронике и робототехнике.

Разработаны конструкции механических передач с передаточными отношениями: одноступенчатые – 7, 8, 11, 14, 50, двухступенчатые – 49, 64, 121. Наибольшее значение передаваемой мощности для всех передач – 1,5 кВт.

В результате компьютерного твердотельного моделирования кинематики и динамики исследуемых передач выявлено, что колебания угловых скоростей выходного вала незначительны – 60 град/с при частоте вращения

ведущего вала 9000 град/с (1500 об/мин), что характеризует высокую плавность вращения их разработанных конструкций.

Экспериментальная оценка кинематических погрешностей планетарных передач проводилась на стенде. Для контроля профиля рабочих поверхностей передач использовалась координатно-измерительная машина Carl Zeiss DuraMax 5/5/5 с программным обеспечением Calypso. Оценка точности контроля рабочих поверхностей осуществлялась на основе разработанной системы контроля поверхностей сложной геометрической формы и методики 3D-моделирования погрешностей изготовления деталей.

В результате моделирования кинематики и экспериментальной оценки получены графики угловых скоростей, кинематических погрешностей, нормальных сил, мощностей и КПД передач.

Используя метод преобразования Фурье, получили амплитудно-частотные и фазочастотные спектры исследуемых характеристик передач, по которым можно оценить их кинематические и энергетические параметры.

Установлены основные технологические факторы, связанные с точностью изготовления и сборки деталей зацепления, влияющие на качество работы исследуемых передач (плавность работы, уровень шума, КПД и др.), определены пути повышения их кинематических и энергетических параметров.

УДК 621.791.763.2

ДУГОВАЯ СВАРКА С ДВУХСТРУЙНОЙ КОАКСИАЛЬНОЙ ПОДАЧЕЙ КОМПОНЕНТОВ ЗАЩИТНОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ

А. О. КОРОТЕЕВ, Е. А. ФЕТИСОВА, В. П. КУЛИКОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Дуговая сварка в среде защитных газов получила широкое распространение и является основным способом, используемым на предприятиях Республики Беларусь и других стран. Объем её применения составляет около 80 % от всех используемых способов и постоянно растет. Как правило, схема газовой защиты при сварке заключается в подаче в зону горения дуги струи газа, вытесняющего воздух и создающего необходимую защитную атмосферу, определяющую технологические характеристики процесса.

Наиболее распространенным для сварки конструкционных низкоуглеродистых и низколегированных сталей является углекислый газ, во многом благодаря относительно невысокой стоимости и широким возможностям получения в промышленных масштабах. Между тем, в последнее время

в связи с повышением требований к качеству сварных конструкций все в большей степени стали проявляться его недостатки, среди которых наиболее существенный – пониженная ударная вязкость сварных швов.

Одним из путей решения этой проблемы является переход на использование защитных газовых смесей на основе аргона $\text{Ar} + \text{CO}_2$. Такая защитная газовая среда является более перспективной с точки зрения снижения разбрызгивания электродного металла при сварке и повышения механических характеристик сварного соединения, но обладает более высокой стоимостью, что зачастую является существенным препятствием у многих предприятий для перехода на её использование.

Перспективным направлением в таких условиях является реализация двухструйной независимой коаксиальной подачи компонентов защитной газовой смеси в зону сварки. Поток защитного газа в этом случае физически и функционально разделяется на два независимых потока. В центральной части сопла через специальное отверстие подается чистый аргон с небольшим расходом, а по кольцевому каналу сопла подается углекислый газ, обеспечивающий надежную защиту зоны сварки от воздуха. Такая схема газовой защиты встречалась в источниках литературы, однако ключевым моментом, отличающим предлагаемую технологию от предпринимаемых ранее и не получивших распространения в дальнейшем попыток, основанных лишь на экономии расхода аргона, является реализация механизма взаимодействия газовых потоков, их взаимной инжекции с образованием в зоне сварки атмосферы, переменной по своему составу.

Основная идея при этом заключается в том, что в различных участках защитной газовой атмосферы наиболее эффективной с точки зрения протекания физических процессов выступает защитная смесь с разным соотношением компонентов. Для плавления сварочной проволоки наиболее эффективной является защитная газовая смесь с небольшим количеством углекислого газа (около 5 %), способствующим снижению силы поверхностного натяжения и уменьшению размеров капель расплавленного электродного металла. Для столба дуги количество углекислого газа можно несколько увеличить. Повышение окислительного потенциала в этом случае приведет к его стабилизации и некоторому сжатию. Для сварочной ванны наиболее предпочтительна смесь, состоящая из 82 % Ar и 18 % CO_2 . В то же время в периферийной части защитной газовой атмосферы наличие аргона является необязательным.

Таким образом, формирование защитной смеси с наиболее эффективным соотношением компонентов на каждом из участков будет способствовать улучшению технологических характеристик процесса.

Сущность механизма взаимодействия газовых компонентов заключается в их взаимной инжекции за счет разности скоростей потоков. При этом уменьшение расхода аргона, подаваемого по центральному каналу сопла, будет эффективно с точки зрения снижения затрат на дорогостоящие газы, а

также создаст условия для инъекции в него углекислого газа в необходимых количествах для формирования требуемого состава смеси $Ag + CO_2$.

В докладе отражены результаты исследований по разработке технологии сварки с двухструйной коаксиальной подачей компонентов защитной газовой среды. На основании математического моделирования и экспериментальных данных установлены зависимости между расходами газов и составом образующейся при сварке газовой смеси в различных участках защитной атмосферы дуги. Определены основные технологические характеристики процесса и области наиболее оптимальных с точки зрения стабильности горения дуги и минимизации разбрызгивания электродного металла значений параметров режима. Исследованы металлургические особенности протекания реакций в сварочной ванне и характер влияния химического состава присадочного материала на механические характеристики металла шва при сварке низкоуглеродистых микрелегированных высокопрочных сталей.

Установлено, что технология позволяет существенно снизить затраты на защитные газы, улучшить технологические характеристики процесса, повысив частоту переноса электродного металла и снизив разбрызгивание, использовать более дешевые сварочные проволоки отечественного производства. Независимая подача газов позволяет формировать в зоне сварки защитные смеси с различным соотношением компонентов, что делает технологию универсальной, и дает возможность сваривать стали различных структурных классов без применения дополнительного газового оборудования.

УДК 621.791

ПУТИ УПРАВЛЕНИЯ СРОКОМ СЛУЖБЫ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

К. З. КОСИМОВ, А. Ш. МУЙДИНОВ

Андижанский машиностроительный институт
Андижан, Узбекистан

Занимаясь проблемой повышения ресурса при восстановлении и упрочнении изношенных деталей машин, мы обратили внимание на идею известного российского учёного Д. Н. Гаркунова, состоящую в том, что средние сроки службы различных деталей одной и той же машины должны быть кратными между собой и межремонтному периоду машины [1].

Следует отметить, что для реализации этой идеи отсутствуют теоретические и практические рекомендации.

В связи с этим нами проведены теоретические и практические исследования по определению эффективности использования упрочненных деталей с повышенным ресурсом. Результаты этих исследований более подробно описаны в [2].

Полученные результаты показали, что для каждого частного случая можно получить кратное значение коэффициента износостойкости, соответствующее конкретному числу. Чтобы получить более понятное представление, эти полученные значения можно расположить по осям времени (рис.1).



Рис. 1. Схема зависимости между ресурсом упрочненной детали – ресурсом сопряжения – межремонтным ресурсом машины: $T_{p1}, T_{p2}, \dots, T_{pi}$ – межремонтные ресурсы машины; $T_{пред1}, T_{пред2}, \dots, T_{предi}$ – предельные ресурсы машины; $T_1, T_2, \dots, T_i$ – ресурсы восстановленной машины

Для нашего примера увеличение износостойкости одной детали пары трения от 1 до 2,5 раза не обеспечивает двукратное (межремонтный ресурс машины) увеличение ресурса сопряжения. Для некоторых способов упрочнения изношенных деталей машин такое 1,5-кратное значение разности между максимальным и минимальными значениями износостойкости является внушительным показателем, т. к. достижение верхнего значения сопровождается увеличением материальных, энергетических и других расходов. Однако детали, имеющие показатель от 1 до 2,5 раза из-за недостаточности ресурса до второго межремонтного ресурса, машины выбраковывают, увеличивая этим расходы запасных частей на ремонт машин.

Если учесть условия, при которых межремонтный ресурс машины должен быть не менее 80 % ресурса до предельного состояния, то ресурс детали целесообразно обеспечить от T_p до $T_{пред}$. Для нашего примера по схеме (см. рис. 1) целесообразные значения износостойкости детали следующие: от 1,0 до 1,25; от 2,5 до 2,75; от 4,0 до 4,25 и т. д.

Экспериментальные исследования показали, что с использованием различных составов композиционных материалов и современных способов восстановления можно управлять износостойкостью деталей при их упрочнении. При этом в широком диапазоне выбирается гранулометрический состав, форма и структура получаемого композиционного

покрытия. Этим обеспечивается соответствующий ресурс сопряжения детали с межремонтным ресурсом машины.

Лабораторные и полевые испытания восстановленных деталей с применением композиционных материалов, в составе которых до 50 % были твердосплавные порошки марок ВК8, Т15К6, ПТЖ23Н6М, ПГ-ФБХ-6-2, ПГ-ФХ-800 и др., показали, что износостойкость этих материалов до 31 раз больше, чем широко используемой закаленной стали.

На наш взгляд, для требуемого показателя износостойкости можно найти соответствующий износостойкий композиционный порошковый материал путем подбора материала, состава, вида и размера частиц. Такие материалы более подробно приведены в справочниках по конструкционным материалам, например в [3].

При выполнении задач по увеличению и управлению ресурсом машин предлагаемые научные положения кратного увеличения ресурса восстанавливаемых деталей в отношении с межремонтным ресурсом машины будут теоретической основой для повышения эффективности использования техники, связанной с износом деталей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гаркунов, Д. Н.** Триботехника (конструирование, изготовление и эксплуатация машин): учебник / Д. Н. Гаркунов. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва: МСХА, 2002. – 632 с.
2. **Косимов, К.** Теоретические предпосылки кратного увеличения ресурса восстановленных деталей машин / К. Косимов // Тр. ГОСНИТИ. – Москва, 2011. – Т. 108. – С. 260–265.
3. Справочник по конструкционным материалам: справочник / Б. Н. Арзамасов, Т. В. Соловьева, С. А. Герасимов; под ред. Б. Н. Арзамасова, Т. В. Соловьевой. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 640 с.

УДК 621.9

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТА ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ Р6М5, МОДИФИЦИРОВАННОЙ В ВАКУУМЕ

А. Э. ЛИПСКИЙ, Ю. В. САМСОНЕНКО
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Важнейшим техническим и экономическим показателем процесса механической обработки является стойкость инструмента. Стойкость – важнейший фактор принятия решений о количестве режущего инструмента, области применения инструментальных материалов, а также оптимальности условий его эксплуатации. Стойкость есть свойство инструмента выполнять заданные функции, сохраняя эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение определенного промежутка времени или наработки, поэтому стойкость является одной из характеристик надежности инструмента.

Для проведения исследований была взята партия пластинок из быстрорежущей стали Р6М5 из одной партии. Для экспериментов отбирали пластинки одной твердости HRC 62, которые были разделены на две партии: одна из них составила контрольную группу, другая прошла модифицирование в вакууме низкоэнергетическим ионным потоком. Модифицирование проводилось при режимах, оптимальных для быстрорежущей стали Р6М5: $E = 2,5$ кэВ, $I = 0,50$ мА, $t = 45$ мин. Изнашивание пластинок из быстрорежущей стали исследовали при продольном точении стали 45 (HB180), при следующих режимах резания: $S = 0,38$ мм/об, $t = 1,0$ мм, $V = 55,76$ м/мин, d обработки 50 мм. Фиксируемые параметры изнашивания: h_z – фаска износа задней поверхности; $Нл$ – ширина лунки; $Вл$ – длина лунки; $Рл$ – радиус лунки.

Полученные данные свидетельствуют о том, что модифицирование в вакууме резцов из стали Р6М5 замедляет развитие очагов износа передней и задней поверхностей инструмента. Также почти полностью отсутствуют проточкины и усы износа у краев контактных площадок инструмента, где наиболее сильно реализуются химико-окислительные виды износа. Отсутствие дополнительных очагов износа у краев контактных площадок положительно влияет на стойкость инструмента, т. к. при этом устраняются источники интенсивного трения и тепловыделения.

Анализ зависимостей износ–время для инструментов из быстрорежущей стали показывает, что с увеличением скорости резания стойкость модифицированного инструмента становится заметно больше по сравнению со стойкостью немодифицированного инструмента.

Облучение пластинок из быстрорежущей стали Р6М5 изменяет их свойства и повышает стойкость в 1,8...2,4 раза; разработанный метод упрочнения материалов низкоэнергетическим потоком ионов весьма эффективен для повышения стойкости и может быть рекомендован для упрочнения инструментов из быстрорежущей стали.

УДК 608.11; 62-1/9

ВЫБОР СПОСОБА И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРИТИРКИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ

И. З. НАСИРОВ, И. С. КОСИМОВ

Андижанский машиностроительный институт
Андижан, Узбекистан

Притирка деталей применяется для окончательной отделки предварительно отшлифованных деталей, она производится путём выравнивания малейших неровностей и чистоты поверхности деталей, что способствует увеличению межремонтного периода как деталей, так и всего двигателя. Притирку производят чугунами или бронзовыми притирами в присутствии абразивного порошка, связующего его масла и химической активной жидкости.

В Андижанском машиностроительном институте разработаны и внедрены новые способы притирки поверхности деталей: притирка с помощью ремня (наподобие метода заострения ножа о ремень), притирка фарфоровым бруском (наподобие узбекского деовского метода заострения ножа об основание фарфоровой чашки в домашних условиях), притирка с помощью эксцентриковой ротационной щетки [1].

Испытания новых способов притирки поверхности деталей, включая средства их реализации, позволили сократить трудоемкость работ в среднем на 20...30 % и продолжительность притирки в 2...3 раза. По каждому предложенному способу притирки были обработаны шейки 10 коленчатых валов различных двигателей; результаты показали хорошие эксплуатационные свойства автомобилей по сравнению со свойствами автомобилей, притирка деталей которых проводилась традиционными способами [2].

Из предложенных способов наилучшие показатели имел способ притирки деталей с помощью эксцентриковой ротационной щетки, поэтому он был выбран для дальнейших исследований (рис. 1).

Устройство для осуществления этого способа содержит шлифовальный станок 1, на который установлены обрабатываемая деталь 2, эксцентриковая ротационная щетка 3 и направлятель 4 свободных абразивных зерен, которые в смеси со связующей жидкостью подаются из бака 5 с краником 6

и наносятся на рабочую поверхность притира соплом 7, производящим обработку поверхности. Эксцентриковая ротационная щетка 3 состоит из четырех (и более) кольцевых пластмассовых элементов 8, в которые влита щетина 9 из тонких капроновых нитей. Кольцевые пластмассовые элементы 8 укреплены на валу 10 с помощью двух эксцентриковых фланцев 11, один из которых зафиксирован на валу 10. В свою очередь, кольцевые пластмассовые элементы 8 также зафиксированы между собой и с фланцем 11. Ротационные щетки 3 закреплены на валу 6 болтом 12 и шайбой 13.

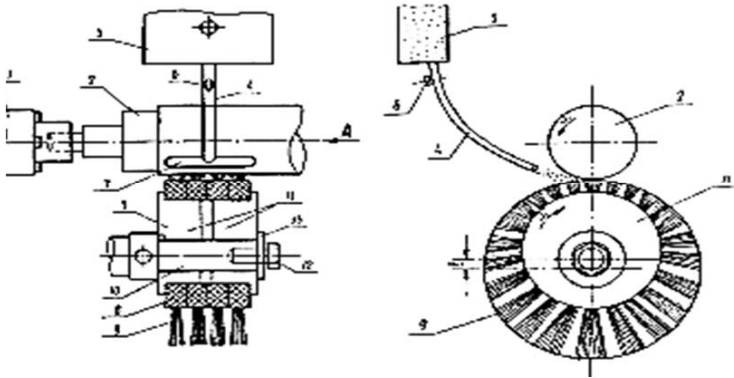


Рис. 1. Устройство для осуществления способа притирки деталей ротационной щеткой (вид сверху)

Внедрение предлагаемого способа позволяет повысить качество притирки деталей с помощью повышения качества воздействия на обрабатываемую поверхность за счет неравномерного касания щетинок о шероховатость поверхности деталей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Способ притирки поверхности детали и притир: пат. IAP 03685 / И. З. Насиров, Т. О. Алматаев, И. С. Косимов. – 5 с.
2. **Носиров, И. З.** Ёнилғи тозалигининг двигатель деталлари ейилишига ва автомобил самарадорлигига оптимал таъсирини аниқлаш услуги / И. З. Носиров, Н. Каримходжаев, И. С. Косимов // Современные материалы, техника и технологии в машиностроении: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Андижан, 19–20 апр. 2014 г. – Андижан, 2014. – № 95. – С. 288–291.

УДК 621.787
УПРАВЛЯЕМОЕ ИНЕРЦИОННО-ИМПУЛЬСНОЕ РАСКАТЫВАНИЕ
ВНУТРЕННИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В. М. ПАШКЕВИЧ, В. В. АФАНЕВИЧ, К. А. МАКСИМОВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Известны различные методы ударного (динамического) поверхностно-пластического деформирования внутренних цилиндрических поверхностей. Среди них можно выделить импульсно-силовое вибронакатывание, магнитно-динамическое раскатывание, пневмоцентробежную обработку, импульсно-ударную пневмовибродинамическую обработку, центробежно-ударное упрочнение и др. Применение данных методов имеет как достоинства, так и недостатки.

К недостаткам относятся невозможность использования для упрочняющей обработки нежестких деталей, необходимость использования дополнительного источника энергии – сжатого воздуха или дополнительного привода для вращения инструмента.

Инерционно-импульсное раскатывание и реализующий его инструмент (рис. 1) используют энергию вращающейся заготовки (при этом вращение инструменту не придается). Инструмент может работать и в случаях, когда заготовка остается неподвижной, а вращение придается инструменту. Такая схема работы может быть применена в случаях, когда заготовка массивна (например, является корпусной деталью). Такое применение может быть полезно, например, для обработки отверстий корпусов под подшипники для повышения контактной жесткости рабочих поверхностей.

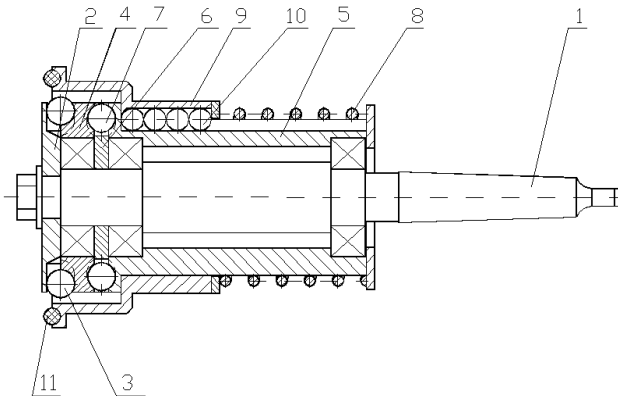


Рис. 1. Инерционно-импульсный раскатник отверстий

Принцип работы инструмента при использовании со станками токарной группы следующий. Заготовка устанавливается в шпинделе станка, а инструмент неподвижно в пиноли задней бабки. Заготовке посредством шпинделя придается вращение. Инструмент подводится к торцу заготовки, и вращение при помощи фрикционного кольца 11, закрепленного на втулке 9, передается через подвижную шпонку, выполненную из набора шаров 10, на корпус 5. Подвижная шпонка позволяет втулке 9 свободно перемещаться вдоль оси корпуса и при этом передавать вращение. Пружина 8 в процессе обработки позволяет сохранять контакт между торцом заготовки и инструментом, а соответственно, способствует передаче вращения.

Корпус является ведущим звеном редуцирующего узла, с помощью которого частота вращения уменьшается и передаётся на выходное звено 4, выполняющее также функции опорного элемента для деформирующих шаров 3.

Опорный элемент имеет на своей левой торцевой поверхности замкнутую волнообразную канавку. Она выполнена таким образом, что деформирующие шары, обкатываясь по ней, в наиболее удаленных от оси инструмента точках выступают за наружную цилиндрическую поверхность. С противоположной стороны движение деформирующих шаров ограничено радиальными пазами сепаратора 2.

Важным параметром, влияющим на процесс обработки, является скорость шара в момент нанесения удара по поверхности. На величину скорости могут влиять различные факторы, среди которых следует выделить принимаемый на этапе проектирования инструмента вид волнообразной канавки. Установлено, что среди исследованных видов наибольший интерес представляют канавки, выполненные в виде спирали Архимеда и участков прямых линий. При этом скорость шара в момент нанесения удара при прочих равных условиях существенно отличается от нуля.

Так, например, для канавки, выполненной в виде спирали Архимеда, применительно к описанной схеме инструмента на процесс деформирования влияет скорость шара в верхней точке кривой, когда он удаляется от центра канавки. Этому случаю соответствует восходящая ветвь кривой, описанной уравнением в полярной системе координат

$$\rho = R_0 + \frac{2A}{\pi} z\varphi,$$

где R_0 – минимальный радиус дорожки; A – амплитуда беговой дорожки; z – число периодов беговой дорожки; φ – угол поворота.

Продифференцировав по времени уравнение многопериодной линии, можно получить скорость в любой момент времени. Для спирали Архимеда она определяется следующим соотношением:

$$v = \frac{2A}{\pi} z\omega,$$

где ω – угловая частота вращения опорного элемента.

УДК 621.01/004.896
ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАСТОЧНЫХ
ИНСТРУМЕНТОВ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЗЬБОВЫХ
СОЕДИНЕНИЙ

Н. Н. ПОПОК, Е. М. ТИХОН
Полоцкий государственный университет
Новополоцк, Беларусь

Точность сборных режущих инструментов с регулируемыми резцовыми вставками (блоками), например, расточных режущих инструментов, зависит от точности исполнения резьбового соединения винт–гайка. Для повышения точности этого резьбового соединения чаще всего используется разрезная гайка (втулка), которая позволяет регулировать зазоры в резьбе и тем самым повышать точность перемещения резцовых вставок [1].

Как правило, соединение винта с втулкой происходит в сжатом состоянии втулки. Приведение резьбового соединения в рабочее положение производится путем снятия напряжения сжатия, в результате которого происходит компенсация зазоров в резьбовом соединении. При этом ставится задача по выбору размеров нарезаемых пазов во втулке – глубины, ширины, шага пазов – и других параметров, обеспечивающих требуемую точность перемещений.

Для решения этой задачи произведено моделирование резьбового соединения винт–втулка в программной среде ANSYS (рис. 1).

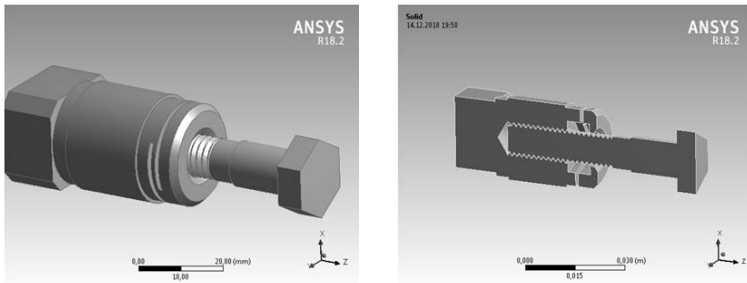


Рис. 1. Трехмерная модель втулки и винта

Моделируется резьба М12 с шагом 0,5 и 1 мм, выполненная с точностью 6g. Глубина прорезаемого паза – 18 и 21 мм, ширина паза – 1 и 1,5 мм, шаг паза – 2 и 2,5 мм (ширина выступа – 1 и 1,5 мм). Составляется план эксперимента (моделирования), включающий три фактора (глубину, ширину, шаг паза во втулке), варьируемые на двух уровнях – максимальном и минимальном их значениях. При изменении осевой нагрузки на резьбу от 50 до 200 Н рассматриваются напряжение в резьбовом соединении и перемещение винта.

На основе результатов моделирования была разработана *математическая модель* расчета напряжений и перемещений в блочно-модульных расточных режущих инструментах, позволяющая оптимизировать геометрические параметры винта и разрезной втулки в механизмах настройки режущих лезвий (рис. 2).

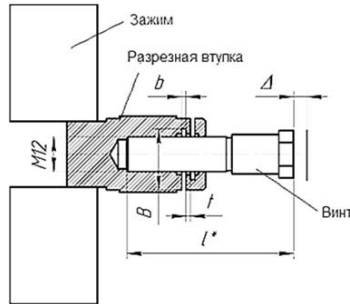


Рис. 2. Схема физической модели перемещений

Формулы, описывающие данную модель:

$$y_1 = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3;$$

$$y_2 = b + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3;$$

где $y_1 = \Delta$ – величина перемещения, мм; $y_2 = \sigma$ – величина напряжения, МПа; x_1, x_2, x_3 – факторы: $x_1 = b$ – ширина паза, мм; $x_2 = t$ – шаг паза, мм; $x_3 = B$ – глубина паза, мм; $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3$ – коэффициенты регрессии.

Статистическая обработка результатов расчетов позволила получить формулы в следующем виде:

$$\Delta = -0,0283 - 0,00124 \cdot b - 0,0175 \cdot t + 0,00325 \cdot B;$$

$$\sigma = 39,285 - 11,575 \cdot b - 75,95 \cdot t + 6,23 \cdot B.$$

Оптимальными параметрами резьбового соединения являются ширина паза, равная двум шагам резьбы, и глубина паза, равная четырем пятым от диаметра втулки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Попок, Н. Н.** Анализ тенденций проектирования инструментальных систем / Н. Н. Попок // Вестн. ПГУ. Сер. 1. – 2012. – № 3. – С. 71–81.

УДК 621.833.51 ПРИВОД КОНВЕЙЕРА С ПЛАНЕТАРНЫМ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ МЕХАНИЗМОМ ПРЕРЫВИСТОГО ДВИЖЕНИЯ

А. А. ПРИХОДЬКО

Кубанский государственный технологический университет
Краснодар, Россия

Проектирование исполнительных цикловых механизмов, которые обеспечивают остановку выходного звена, является важной практической задачей, поскольку такие механизмы используются в различных отраслях машиностроения [1, 2]. Они сообщают рабочему органу вращательное или поступательное движение с остановками при равномерном вращении входного вала. Наиболее распространенными в настоящее время являются два типа механизмов: механизмы постоянной структуры с односторонней связью (храповые, анкерные механизмы) и механизмы переменной структуры (мальтийские механизмы, звездчатые механизмы, неполные зубчатые колеса).

Однако прерывистое движение в данных механизмах обеспечивается за счет разрыва кинематической цепи, поэтому они не могут быть использованы в быстроходных машинах вследствие ударов, возникающих в начале или конце фазы движения. Для устранения данного недостатка предлагается планетарный механизм с эллиптическими зубчатыми колесами, в котором обеспечивается прерывистое движение выходного звена при вращательном движении входного звена без разрыва кинематической цепи (рис. 1).

Разработанный механизм работает следующим образом [3]. Входному валу 1 сообщается вращательное движение, которое передается водилу 2, благодаря чему цилиндрическое зубчатое колесо 6 обкатывается вокруг неподвижного зубчатого колеса 4. Вращательное движение цилиндрического колеса 6 передается валу 8 сателлита и эллиптическому зубчатому колесу 7, которое приводит в движение эллиптическое зубчатое колесо 5

и, соответственно, выходной вал 3. В момент времени, когда передаточное отношение пары эллиптических колес равно передаточному отношению пары цилиндрических колес, выходной вал 3 останавливается. Далее скорость выходного вала увеличивается до максимального значения, затем опять уменьшается до нуля. Таким образом обеспечивается прерывистое движение с остановками выходного звена.

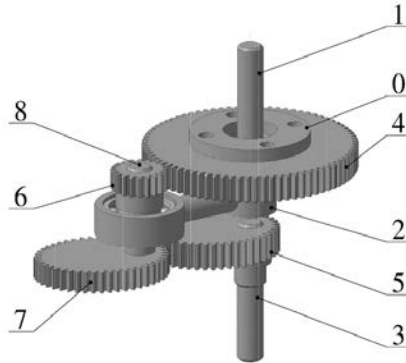


Рис. 1. Планетарный механизм прерывистого движения

Механизмы прерывистого движения применяются в конвейерах автоматических линий. Пример использования синтезированного механизма в системе привода конвейера показан на рис. 2.

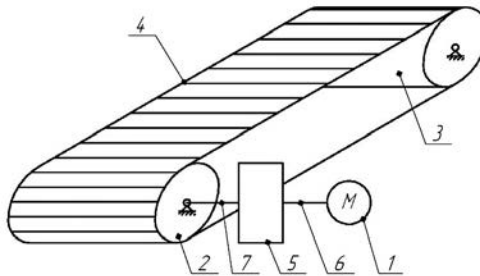


Рис. 2. Привод конвейера дискретного действия: 1 – двигатель; 2 – ведущий шкив; 3 – ведомый шкив; 4 – конвейерная лента; 5 – планетарный механизм прерывистого движения; 6, 7 – входной и выходной валы механизма

Преимуществами разработанного устройства являются компактность исполнительного механизма, надежность, простота уравнивания,

а также улучшенные динамические характеристики за счет реализации прерывистого движения без разрыва кинематической цепи.

Работа выполнена при поддержке стипендии президента РФ (СП-2763.2019.1).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Фролов, К. В.** Теория механизмов и машин / К. В. Фролов, С. А. Попов, А. К. Мусатов. – Москва: Высшая школа, 1987. – 496 с.

2. **Тимофеев, Г. А.** Проектирование механизма прерывистого движения на базе волновой зубчатой передачи с генератором волн внутреннего деформирования / Г. А. Тимофеев, Н. Н. Барбашов, А. Н. Цибровский // Вестн. МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Машиностроение. – 2016. – № 2. – С. 113–124.

3. **Prikhodko, A. A.** Kinematics of planetary mechanisms with intermittent motion / A. A. Prikhodko, A. I. Smelyagin, A. D. Tsybin // Procedia Engineering. – 2017. – Т. 206. – С. 380–385.

УДК 621.9.048.6:621.373.52

МНОГОЦЕЛЕВОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ГЕНЕРАТОР

В. В. РУБАНИК¹, Ю. А. БАСОВ¹, В. Ф. ЛУЦКО¹, А. Д. КРАВЧЕНЯ¹,
А. В. ЛИНЕВИЧ¹, А. А. КРУГЛЕШОВ¹, А. А. КАЗЬМИН²

¹Институт технической акустики НАН Беларуси

Витебск, Беларусь

²Гродненский государственный университет им. Янки Купалы

Гродно, Беларусь

Ультразвуковые (УЗ) технологии, основанные на использовании энергии УЗ-колебаний, занимают важное место среди высоких технологий, позволяющих интенсифицировать многие технологические процессы. Обычно в практике как отечественного, так и зарубежного проектирования под конкретный процесс разрабатывается ультразвуковой генератор с согласованным акустическим ультразвуковым инструментом (один генератор – один инструмент). Хотя в настоящее время на рынке УЗ-оборудования появляются и унифицированные разработки.

В связи с этим в ГНУ «ИТА НАН Беларуси» разработан опытный образец многоцелевого ультразвукового генератора «УГЗ 500» (рис. 1), обладающего высокой универсальностью. Универсальность позволяет использовать его в составе разнообразного ультразвукового оборудования,

т. е. один и тот же электронный генератор можно использовать в оборудовании для различных технологических процессов (ультразвуковое резание, ультразвуковое упрочнение, ультразвуковая очистка, ультразвуковая сварка, ультразвуковое диспергирование и др.).



Рис. 1. Функциональная схема генератора

Разработанный на базе современной схемотехники ультразвуковой генератор обеспечивает оптимальные режимы работы в широком диапазоне частот от 16 до 100 кГц мощностью до 500 Вт и имеет следующие характеристики:

- цифровой синтез частоты генерации
- возможность мгновенной установки любой частоты генерируемых колебаний в рабочем диапазоне генерации с точностью 0,1 Гц;

- возможность создания частотно-временных профилей генерации;

- автоматическая подстройка частоты генерации на резонансную частоту преобразователя;

- автоматическая подстройка импеданса выходного каскада генератора;

- использование централизованного цифрового управления всеми модулями генератора, позволяющее относительно просто изменять алгоритм работы генератора;

- управление режимами работы генератора через экранное меню.

На основе данного генератора разработаны пьезоэлектрические преобразователи и технологические узлы для поверхностного пластического деформирования (ППД) изделий из алюминиевых и титановых сплавов (технология внедрена на 558-м Авиационно-ремонтном заводе, г. Барановичи), а также для ультразвуковой резки полотна автомобильных шин (рис. 2). Таким образом, один и тот же генератор использовали для разных технологических процессов и, естественно, акустической системой с определенным импедансом и резонансной частотой (40 и 20 кГц). Перестройка генератора под конкретный вид инструмента осуществляется за счёт изменения пределов рабочих параметров частоты, мощности генератора и времени генерации УЗ-колебаний в настройках программного обеспечения.

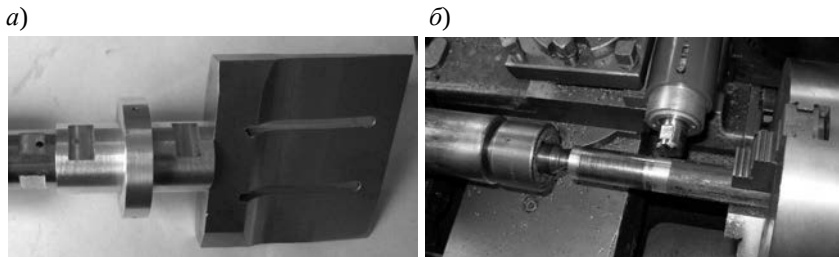


Рис. 2. Ультразвуковой инструмент для: *а* – резки полотна автомобильных шин; *б* – ППД тел вращения

Заводские испытания показали, что разработанный генератор «УЗГ 500» может быть использован для интенсификации различных технологических процессов с соответствующими акустическими системами.

УДК 621.922.024

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ АБРАЗИВНОГО ПОРОШКА НА ТКАНЕВУЮ ОСНОВУ

В. В. РУБАНИК, Н. Л. КОВАЛЬЧУК, В. Ф. ЛУЦКО

Институт технической акустики НАН Беларуси
Витебск, Беларусь

Известно, что ультразвуковые колебания интенсифицируют процессы, происходящие в жидкой среде, такие как очистка, обезжиривание, механоактивация, диспергирование и др. С этой точки зрения представляет интерес использовать ультразвуковую обработку для интенсификации процесса нанесения абразивного порошка на эластичную основу гибкого шлифовального шнура [1].

Технология получения эластичных шлифовальных шнуров и лент, разработанная в Институте технической акустики НАН Беларуси (рис. 1), включает следующие этапы: пропускание заготовки технического шнура через емкость с абразивным и связующим веществами, к которой подводятся ультразвуковые колебания, термообработка (сушка) при температуре 350 °С, намотка готового эластичного шлифовального инструмента на приемную катушку.

В качестве заготовки для получения гибкого абразивного шнура использовали технический шнур на тканевой основе марки Р6927 производства ОАО «Лента», г. Могилев, диаметр 2,7 мм.

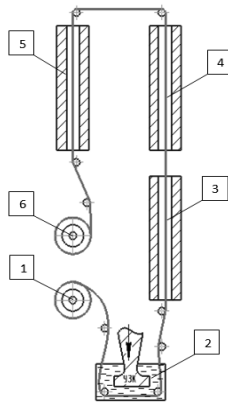


Рис. 1. Технологическая схема установки для получения гибкого шлифовального шнура: 1, 6 – катушки; 2 – емкость с абразивным и связующим веществами; 3, 4, 5 – печи для термообработки

Источником ультразвуковых колебаний служил ультразвуковой генератор УЗДН-2Г с частотой колебаний 22 кГц. Амплитуда на торце концентратора составляла 15...20 мкм. В качестве абразивного вещества использовали порошок электрокорунда дисперсностью 50 мкм.

Микроструктура поверхности образцов гибкого абразивного шнура (рис. 2) показывает, что при ультразвуковой обработке абразивные частицы Al_2O_3 более равномерно распределены по поверхности шнура и не имеют крупных агломератов, что, естественно, приводит к улучшению эксплуатационных свойств гибкого инструмента.

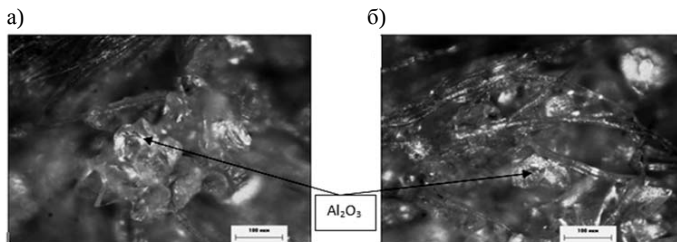


Рис. 2. Микроструктура поверхности образцов абразивного шнура: а – пропитка без применения УЗК; б – пропитка с применением УЗК

Необходимо отметить (рис. 3) незначительное уменьшение напряжения разрыва образцов, полученных при пропитке с наложением ультразвуковых колебаний, что связано с внедрением зерен абразива между

нитями образцов и, как следствие, с частичным их разрывом, что не влияет в значительной степени на эксплуатационные характеристики шлифовального инструмента.

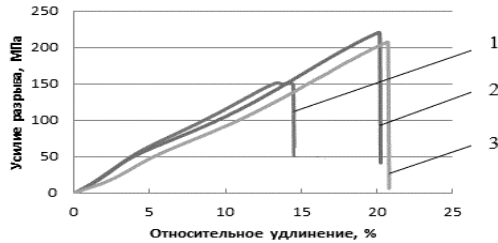


Рис. 3. Диаграмма растяжения образцов абразивного шнура: 1 – исходный образец; 2 – с нанесенным абразивом без применения УЗК; 3 – с нанесенным абразивом с применением УЗК

Таким образом, наложение ультразвуковых колебаний на клеевую среду с абразивным порошком позволяет получить эластичный шлифовальный шнур с более равномерным распределением абразивных частиц по поверхности и с повышенными прочностными характеристиками.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Артемьев, В. В.** Ультразвук и обработка материалов / В. В. Артемьев, В. В. Клубович, В. В. Рубаник. – Минск: Экоперспектива, 2003.

УДК 621.9

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНО-ДИНАМИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Д. М. СВИРЕПА, С. А. СУХОЦКИЙ, А. С. СЕМЁНОВА

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В Белорусско-Российском университете разработан ряд технологий магнитно-динамического упрочнения внутренних цилиндрических, плоских и наружных цилиндрических поверхностей деталей, а также инструментов и установок для их реализации [1]. Разработки защищены патентами Республики Беларусь и Российской Федерации [2].

Методы магнитно-динамического упрочнения обеспечивают снижение шероховатости обрабатываемой поверхности на величину до трех классов,

упрочнение поверхностного слоя на глубину до 2 мм, повышение микротвердости до 50 %, повышение износостойкости деталей пар трения за счет получения маслоудерживающего рельефа на поверхности обрабатываемой заготовки и др.

Методы магнитно-динамического упрочнения внедрены в производство на ряде машиностроительных предприятий Могилевской и Минской областей. Кроме того, данные технологии изучаются в ходе образовательного процесса кафедр «Технология машиностроения», «Металлорежущие станки и инструменты» студентами первой и второй ступеней образования.

Смоделированный процесс магнитно-динамической обработки позволяет не только минимизировать время разработки новых инструментов, подбирать оптимальные конструкторские параметры инструментов в зависимости от требуемых качественных характеристик обрабатываемой детали, но и производить расчет параметров инструментов студентам на практических занятиях, в курсовом и дипломном проектировании [3].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Довгалец, А. М.** Классификация инструментов для магнитно-динамического упрочнения / А. М. Довгалец, Д. М. Свирепа, Д. М. Рыжанков // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2008. – № 2. – С. 30–38.
2. Инструмент для отделочно-упрочняющей обработки: пат. РБ 11536 / А. М. Довгалец, Д. М. Рыжанков, Д. М. Свирепа. – Опубл. 28.02.2009.
3. Математическое моделирование магнитно-динамического инструмента для упрочняющей обработки плоских поверхностей / А. М. Довгалец, Н. А. Леванович, С. А. Сухоцкий, Д. М. Свирепа // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2010. – № 4. – С. 55–65.

УДК 669.715

ВНЕДРЕНИЕ АНТИФРИКЦИОННОГО СИЛУМИНА В БЕЛОРУССКОЕ АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЕ

В. Ю. СТЕЦЕНКО, К. Н. БАРАНОВ, А. П. ГУТЕВ
Институт технологии металлов НАН Беларуси
Могилев, Беларусь

Традиционно в автомобилестроении в узлах трения используют различные антифрикционные бронзы (БрОЦС 5-5-5, БрАЖ 9-4, БрОФ 6,5-0,15 и др.). Их главными недостатками являются относительно высокая стоимость, большой удельный вес и импортное производство. В ИТМ НАН Беларуси разработан более дешевый, относительно легкий отечественный

заменитель бронзы – антифрикционный силумин (АС).

Наш институт тесно сотрудничает с флагманами белорусского автомобилестроения в области испытания разработок и их внедрения в производство. На заводе «Могилевтрансмаш» ОАО «МАЗ» – управляющая компания холдинга «БЕЛАВТОМАЗ» (г. Могилев) проводились эксплуатационные испытания втулок балансиров ходовой системы из АС в полуприцепе МТМ-933014 с грузами не более 25 т. В полуприцеп были установлены одновременно балансиры с серийными из бронзы из БрАЖМц 10-3-1,5 и втулками из АС. При плановом текущем ремонте полуприцепа, после 20 000 км пробега по дорогам Республики Беларусь общего пользования, было установлено, что втулки балансира из АС по износостойкости превосходят аналогичные из бронзы БрАЖМц 10-3-1,5 и рекомендованы в качестве заменителя серийных. С 2018 г. втулки балансира из АС поставляются на конвейер завода «Могилевтрансмаш» ОАО «МАЗ» – управляющая компания холдинга «БЕЛАВТОМАЗ» и на частное предприятие «Трансмастер» (г. Могилев) для производства балансиров как запасных автозапчастей (рис. 1). Также на ОАО «МАЗ» – управляющая компания холдинга «БЕЛАВТОМАЗ» успешно прошли испытания втулки насоса подачи охлаждающей жидкости термомашин и втулки подшипников скольжения шпинделей бесцентрошлифовального станка 3Е184А из АС. В текущем году была поставлена первая партия заготовок из АС для изготовления втулок скольжения в технологическом оборудовании на производственных площадях ОАО «МАЗ» – управляющая компания холдинга «БЕЛАВТОМАЗ».



Рис. 1. Балансиры ходовой системы полуприцепов МАЗ в сборе с втулками из антифрикционного силумина

На ОАО «БЕЛАЗ – управляющая компания «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ» успешно прошли испытания опытные втулки сателлитов дифференциалов

карьерных самосвалов грузоподъемностью 45...55 т из АС взамен аналогичных втулок из бронзы БрОФ 6,5-0,15. Установлено, что при вдвое большем времени испытаний втулки из АС имеют в 2 раза меньше износ и меньше нагреваются в сравнении с бронзами БрАЖН 10-4-4 и БрОФ 6,5-0,15. В текущем году была поставлена первая партия заготовок из АС для замены бронзовых втулок сателлитов дифференциалов карьерных самосвалов.

На ОАО «Минский завод колесных тягачей» проводились испытания втулок сателлитов межколесных дифференциалов центральных редукторов ведущих мостов на полноприводном шасси с нагрузкой на ось 15 т. После завершения дорожных испытаний с общим пробегом 28 000 км, по оценке технического состояния, втулки сателлитов межколесных дифференциалов из АС работали в штатном режиме без повышенного нагрева, вибраций и посторонних шумов. Втулки имели естественную приработку, пригодны для дальнейшей эксплуатации и рекомендованы для замены аналогичных из бронзы БрАЖН 10-4-4 в межколесных дифференциалах ведущих мостов ОАО «МЗКТ».

В настоящее время в ИТМ НАН Беларуси создано опытно-промышленное производство сплошных и полых цилиндрических заготовок из АС в соответствии с техническими условиями ТУ ВУ 700002421.003-2011. Для их производства разработаны и освоены центробежное и непрерывное горизонтальное литье, литье в струйные кристаллизаторы и охлаждаемые кокиля. АС применяется для замены бронз и латуней при изготовлении направляющих втулок, подшипников скольжения, вкладышей, шестерен червячных колес, поршней гидроцилиндров, сальниковых бус и других деталей технологического оборудования, работающих в условиях трения скольжения.

УДК 669.715

ПРИМЕНЕНИЕ АНТИФРИКЦИОННОГО СИЛУМИНА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА РАБОТЫ ЧЕРВЯЧНЫХ КОЛЕС

В. Ю. СТЕЦЕНКО, А. П. ГУТЕВ, К. Н. БАРАНОВ

Институт технологии металлов НАН Беларуси
Могилев, Беларусь

При изготовлении венцов колес для червячных передач возникает необходимость применения материала, обладающего достаточной прочностью, коррозионной стойкостью и износоустойчивостью. Традиционно для производства червячных колес используют оловянистые и безоловянистые бронзы и латуни, например БрАЖ 9-4, БрОФ 10-1 и др., основными недостатками которых являются достаточно большой удельный

вес и высокая стоимость. Поэтому применение более легкого и дешевого заменителя импортной бронзы – весьма актуальная задача. Разработанный в ГНУ «Институт технологии металлов НАН Беларуси» антифрикционный силумин (АС) обладает более низким удельным весом, высокими эксплуатационными свойствами и дешевле аналогичных бронз. Для определения целесообразности использования АС при изготовлении червячных колес необходимым условием является проведение их промышленных испытаний.

На МЦ «ССМ-Тяжмаш» ПАО «Северсталь» (г. Череповец, РФ) были проведены производственные испытания червячных колес из АС, которые были установлены совместно с новым червячным валом в редуктор наплавочной установки УНМ-4 взамен аналогичных из бронзы БрА9ЖЗЛ (стойкость 1 год). Испытания проходили с марта 2017 г. по июль 2018 г. при работе редуктора в круглосуточном режиме в условиях постоянной консистентной смазки. В июле 2018 г. установка УНМ-4 была остановлена на плановый ремонт с целью проверки динамики износа опытного образца. Во время контрольной разборки было выявлено, что износ зуба червячного колеса отсутствовал, деталь пригодна для дальнейшего применения. Таким образом, установлена возможность использования червячных колес из АС производства ГНУ «Институт технологии металлов НАН Беларуси» взамен аналогичных из бронзы БрА9ЖЗЛ на производственных площадях МЦ «ССМ-Тяжмаш».

На ООО «НТЦ «Редуктор» (г. Санкт-Петербург, РФ) были проведены производственные испытания мотор-редуктора червячного МЧ-100МСп с венцом червячного колеса из АС. Испытания проходили в период с 16 июля по 17 августа 2018 г. на производственных площадях ООО «НТЦ «Редуктор». Целью испытаний была проверка работоспособности мотор-редуктора, определение его нагрузочной способности, а также целесообразности применения АС в качестве материала для изготовления червячных колес. Испытания проводились в соответствии со специально разработанной программой и методикой испытаний НТЦ.Р-25.053.00.000ПМ, предусматривающей два режима – испытания без нагрузки и испытания со ступенчатым повышением нагрузки до значения 600 Н·м, превышающего номинальное значение, указанное в паспорте на стандартный мотор-редуктор МЧ-100М с червячным колесом и венцом из бронзы марки БрО10Ф1 (475 Н·м). Мотор-редуктор был заправлен смазкой Трансол-100. Червяк, сопряженный с червячным колесом, был изготовлен из стали 40Х с упрочнением поверхности витка ТВЧ до твердости 45...50 HRCэ. При испытаниях контролировались следующие параметры: продолжительность этапа нагружения, величина нагрузки, температура корпуса, характер шума, состояние зубьев червячного колеса. В результате проведенных испытаний установлено, что мотор-редуктор МЧ-100МСп с венцом червячного колеса из АС показал

хорошие результаты при испытаниях с кратковременной нагрузкой, превышающей номинальную для данного мотор-редуктора, и рекомендован для дальнейшего применения.

На ЗАО «Тулаэлектропривод» (Тульская область, РФ) проводились опытные работы по проверке возможности замены бронзы БрА10ЖЗМц2 на АС. Из заготовки АС было получено червячное колесо ЭП41.10.406, установленное затем в электропривод ЭП4В-В-1000-11-Э21-2-11111 и испытанное в составе привода. Испытания проходили в испытательном центре ЗАО «Тулаэлектропривод» в период с 26.12.2017 г. по 09.07.2018 г. Общая наработка электропривода составила 9500 циклов. Согласно протоколу испытаний электропривод с червячным колесом ЭП41.10.406 силового редуктора, изготовленным из АС, типовые испытания выдержал. Червячное колесо после испытаний имело значительно меньший износ зубьев и полное отсутствие налипания на сопряженный червяк в отличие от применяемой в настоящее время по КД бронзы БрА10ЖЗМц2. Установлено, что АС, полученный по технологии ГНУ «ИТМ НАН Беларуси», пригоден для использования в качестве материала червячных колес в силовых редукторах приводов серии ЭП4 с крутящим моментом на валу червячного колеса не более 250 Н·м и частотой вращения не более 45 об/мин.

Также червячные колеса из АС успешно прошли производственные испытания в редукторах и станках на ОАО «Завод «Оптик» (г. Лида), ОАО «Станкозавод «Красный Борец» (г. Орша), ОАО «Завод «ЭВИСТОР» (г. Витебск), что подтверждается полученными актами испытаний.

Таким образом, по результатам производственных испытаний установлено, что применение АС в качестве материала для изготовления червячных колес взамен тяжелой и дорогой бронзы позволяет повысить ресурс работы трущихся деталей и снизить их стоимость.

УДК 621.9.048.4

ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННАЯ ОБРАБОТКА ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН ДЛЯ ПАЙКИ РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ СТМ «БЕЛАНИТ»

В. С. УРБАНОВИЧ, Т. Д. МАЛИКИНА,
Е. О. ЛАВЫШ, Е. Н. ШЛОМА
НПЦ НАН Беларуси по материаловедению
Минск, Беларусь

Метод крепления режущего элемента из сверхтвердого материала (СТМ) вакуумной пайкой на твердосплавную пластину используют ведущие зарубежные производители лезвийного инструмента, такие как «Mitsubishi», «Seco», «Pramet», «Korloy», «Mikrobor», «ZCC-Cutting Tools Europe GmbH». Твердосплавная пластина с напайными режущими

элементами из СТМ механически крепится в держателе. Надежность соединения обеспечивается за счет равномерного нагрева и охлаждения при пайке, контроля температуры, отсутствия окислительных процессов. При этом сохраняются физико-механические свойства СТМ.

Одной из важных задач при изготовлении такого инструмента является подготовка поверхности твердосплавной пластины для пайки СТМ, которая определяет надежность крепления сверхтвердого материала. В литературе этот вопрос слабо освещен. В данной работе представлены результаты исследования влияния электроэрозионной обработки твердосплавных пластин на элементный состав, качество их поверхности и вакуумную пайку режущих элементов из нового СТМ «Беланит», разработанного для обработки твердосплавных сталей и чугунов.

Для подготовки поверхности твердосплавной пластины с помощью электроэрозионной обработки использовались графитовый и медный электроды, а также латунная проволока. Пайка режущих элементов из СТМ «Беланит» на основе нитридной керамики производилась медным припоем с легирующими добавками в высокотемпературной вакуумной электропечи СНВЭ-1.3.1/16 И4.

Установлено, что наличие углерода на поверхности твердосплавных пластин после электроэрозионной обработки их графитовым электродом препятствует смачиванию твердого сплава при последующей напайке СТМ. Показано, что наличие меди на поверхности твердого сплава после электроэрозионной обработки медным электродом и латунной проволокой способствует улучшению смачивания при пайке. Электроэрозионная резка латунной проволокой применялась для углового крепления режущего элемента из СТМ.

Вид твердосплавных пластин различной конфигурации после электроэрозионной обработки представлен на рис. 1, *а*, режущие элементы из СТМ «Беланит» – на рис. 1, *б*. В качестве припоя использовался медно-титановый припой с легирующими добавками олова, свинца и никеля. Микрофотография слоя припоя состава Cu–Ti–Sn, а также соединение твердосплавной резцовой пластины и режущего элемента из СТМ показаны на рис. 1, *в*. Резцовые вставки после пайки и механической обработки представлены на рис. 1, *г*.

Из рис. 1, *в* видно, что паяный шов однородный по плотности и структуре. Толщина шва составляет порядка 18...20 мкм. Припой обеспечивает хорошее смачивание и адгезию к спаиваемым материалам.

Таким образом, использование медного электрода и латунной проволоки при электроэрозионной обработке твердосплавной пластины для подготовки поверхности и применение припоя на основе Cu–Ti–Sn позволяет получить надежное паяное соединение с отсутствием в нем пор и остатков флюса, вызывающих коррозию. Применение этих составляющих в технологии высокотемпературной вакуумной пайки обеспечивает хорошую

смачиваемость поверхности твердосплавной пластины припоем, что дает возможность достичь наилучших результатов и наиболее прочного сцепления спаиваемых материалов.

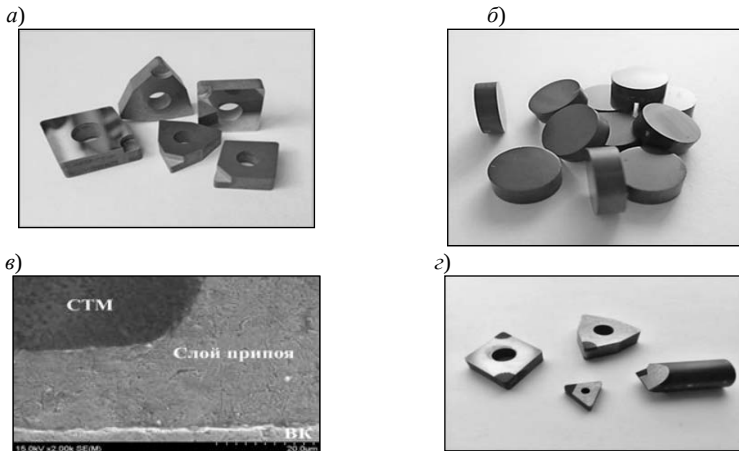


Рис. 1. Твердосплавные пластины различной конфигурации после электроэрозионной обработки (а); внешний вид режущих элементов из СТМ (б); соединение твердосплавной резцовой пластины и керамического режущего элемента из СТМ ($\times 2000$) (в); резцовые вставки после механической обработки (г)

УДК 621.791.763.2

КОРРЕКЦИЯ МОЩНОСТИ ТЕПЛОВЛОЖЕНИЯ ПРИ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКЕ БЕЗ ПРЕРЫВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА

С. М. ФУРМАНОВ, И. Н. СМОЛЯР, С. Ф. МЕЛЬНИКОВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Микропроцессорные регуляторы контактной сварки могут осуществлять управления контактными сварочными машинами с обратной связью по току, напряжению и другим параметрам. Микропроцессоры в таких системах рассчитывают коэффициент мощности сварочной машины и измеряют время задержки включения тиристоров для стабилизации действующего значения тока во вторичном контуре. Такие системы работают по жесткой программе и не адаптируются к возмущающим воздействиям.

Компьютерное управление позволяет обеспечить точное воспроизведение режима рельефной сварки и контроль не только таких параметров, как

сварочный ток и напряжение между электродами, но и усилие сжатия электродов и перемещение подвижного электрода, что дает более достоверную оценку процесса.

Компьютеризация технологического процесса контактной сварки должна базироваться на более точных численных методах и подходах, основанных на достижениях в области информатики, электроники и электротехники. Компьютерная диагностика и управление обеспечивают существенное повышение качества контактной сварки благодаря обработке большого объема данных при помощи автоматизированной системы.

Задачей разрабатываемой корректирующей системы является получение сварных соединений со стабильными прочностными характеристиками способом контактной рельефной сварки с адаптивным управлением мощностью тепловложения в межэлектродную зону без прерывания технологического цикла сварки.

В корректирующих системах регулирования мощности тепловложения вычисление угла α_{n+1} открытия тиристоров в следующем периоде будет определяться на основе измерения в предыдущем периоде действующих значений сварочного тока I_2 и напряжения $U_{ЭЭ}$, длительности включенного состояния тиристоров λ и пересчета коэффициента мощности $\cos\varphi$ сварочной машины.

Оптимизация ввода электрической энергии осуществляется за счет корректирующей системы регулирования мощности тепловложения P в межэлектродную зону в зависимости от заданной табличной мощности тепловложения $P_{\text{зад}}$. При этом мощность тепловложения при подогреве $P_{\text{под}}$ корректируют пропорционально усилию сжатия электродов при подогреве $F_{\text{под}}$ введением коэффициента пропорциональности $K_{\text{сж}}$ с целью регулирования степени разогрева контакта между свариваемыми деталями, т. е. $P_{\text{под}} = K_{\text{сж}} \cdot P_{\text{зад}}$. Плавный переход от мощности тепловложения при подогреве $P_{\text{под}}$ к мощности тепловложения при сварке $P_{\text{св}}$ осуществляют за время нарастания мощности тепловложения $\tau_{\text{нар}}$, которое согласовывают с перемещением подвижного электрода и скоростью деформации рельефа через коэффициент датчика перемещения $K_{\text{д.п.}}$.

Благодаря тому, что переход от мощности тепловложения при подогреве $P_{\text{под}}$ к мощности тепловложения при сварке $P_{\text{св}}$ осуществляется плавно за время нарастания мощности тепловложения $\tau_{\text{нар}}$, исключается бросок намагничивающего тока в первичной цепи сварочного трансформатора, который неизбежно приводит к повышению мощности тепловложения при сварке $P_{\text{св}}$ в течение нескольких начальных периодов и повышению вероятности появления выплесков. При этом время нарастания мощности $\tau_{\text{нар}}$ должно быть больше времени нарастания до максимального значения усилия сжатия электродов при сварке $F_{\text{св}}$, иначе вероятность появления выплесков также значительно возрастет.

Время измерения $\tau_{\text{изм}}$ параметров режима, характеризующих процесс рельефной сварки, таких как действующие значения напряжения межэлектродной зоны $U_{\text{ЭЭ}}$, сварочного тока I_2 и мощности тепловложения P , а также коэффициент мощности сварочной машины $\cos\varphi$ совпадает с продолжительностью включения тиристоров λ и производится в течение каждого полупериода мгновенного напряжения. В начале протекания сварочного тока i_2 в n -м положительном полупериоде задается напряжение управления $U_{y\ n}$ и вводится угол включения тиристоров α_n , при этом за время $\tau_{\text{изм}\ n}$ происходит измерение заданных параметров, далее производится вычисление напряжения управления $U_{y\ n+1}$ и угла включения тиристоров α_{n+1} . Однако угол включения тиристоров α_n сохраняется в течение периода напряжения $T = 0,02$ с. Угол включения α_{n+1} начинает действовать только в $(n + 2)$ -м положительном полупериоде. Следовательно, коррекция режима сварки начинает действовать через один полупериод. Таким образом, время расчета напряжения управления U_y весьма ограничено и составляет менее 0,01 с.

Коэффициент мощности сварочной машины определяется по аппроксимирующей зависимости $\cos\varphi = f(\alpha, \lambda)$, коэффициент регулирования мощности – по аппроксимирующей зависимости $K_S = f(\alpha_n, \cos\varphi)$.

Зная коэффициент регулирования мощности K_S и мощность тепловложения P в текущем полупериоде, находят полнофазную мощность по выражению $P_{\Pi} = P / K_S$.

Задание табличной мощности тепловложения $P_{\text{зад}}$ осуществляется в табличном виде с интервалом 10 мс, равным полупериоду напряжения.

Таким образом, коэффициент регулирования мощности $K_{S_{n+1}}$ в следующем $(n + 1)$ -м периоде определяется из соотношения $K_{S_{n+1}} = P_{\text{зад}} / P_{\Pi}$.

УДК 621.83 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАКРОКОМАНД ДЛЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЗУБЬЕВ ПРЕЦЕССИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ НА СТАНКЕ С ЧПУ

С. Н. ХАТЕТОВСКИЙ, П. Н. ГРОМЫКО,
Л. Г. ДОКОНОВ, М. А. ГАЛЮЖИН
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Как правило, поверхности, отличные от цилиндрических, конусных и сферических поверхностей, могут быть обработаны только на станках с ЧПУ, если не используются специальные режущие инструменты.

Вместо таких инструментов используются сферические фрезы. Поверхность детали в этом случае представляется в виде дискретного множества точек, в которых осуществляется касание со сферической

поверхностью фрезы, которая является исходной инструментальной поверхностью.

Для составления программы для станка с ЧПУ в рассматриваемом случае используются САПР или самостоятельные пакеты прикладных программ САМ-направления. Такие компьютерные программы позволяют автоматически получить программу для станка с ЧПУ. При этом необходимо предварительно разработать твердотельную модель детали.

Если деталь имеет параметрическую поверхность, то возможен другой подход к разработке программы для станка с ЧПУ. Здесь имеется в виду такая параметрическая поверхность, которая не может быть получена за счет стандартных функций системы ЧПУ станка. Параметризация поверхности означает, что данная поверхность может быть задана системой параметрических уравнений или уравнением в координатной форме, когда одна декартова координата точки поверхности выражается через две другие. В этом случае программирование станка с ЧПУ эффективно выполнять на основе системы макрокоманд, которые позволяют запрограммировать траекторию движения центра сферической фрезы с обеспечением касания ее исходной инструментальной поверхности с поверхностью детали, установленной на станке. Примером может служить система, реализованная в языке FANUC MACRO B.

Параметрические поверхности характерны для зубчатых колес. Зубчатые поверхности, которые невозможно получить на зубообрабатывающем оборудовании, могут быть обработаны на станках с ЧПУ с использованием макрокоманд.

Не исключением являются зубчатые поверхности сателлита прецессионной передачи. Если сателлит в прецессионной передаче сопряжен с центральным колесом с зубьями в виде цилиндрических роликов, то возможна обработка как цилиндрической, так и сферической фрезой.

УДК 621.791

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗНОШЕННЫХ КОЛОСНИКОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ХЛОПКА В ХЛОПЧАТОБУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Х. Х. ХОШИМОВ, Ш. Х. ЮЛДАШЕВ
Андижанский машиностроительный институт
Андижан, Узбекистан

В условиях рыночной экономики в Узбекистане кардинально изменился подход к выращиванию и переработке хлопка. На сегодняшний день по всем областям и районам Республики Узбекистан открываются хлопкоперерабатывающие предприятия.

Основной задачей, поставленной перед этими предприятиями, является использование современных технологий по обработке хлопка и качественное отделение хлопкового волокна.

На мировом рынке цена хлопкового волокна зависит от его качественных характеристик, таких как сорт, класс, длина, прочность.

Повышение качества волокна на хлопкоперерабатывающих заводах является важной проблемой, поскольку она неразрывно связана с возросшими требованиями успешной работы хлопчатобумажных предприятий. Отделение волокон от семян проводится в рабочих камерах пыльных джинов. При этом сила сопротивления на отделение волокон от семян в 2...3 раза меньше, чем от разрыва волокон, поэтому оно отделяется от семян, не теряя своей длины. Основной корпус сепаратора рабочей камеры состоит из пыльного диска и колосниковой решетки.

В рабочей камере в результате трения лезвия пилы–колосника–семян хлопка рабочие органы быстро изнашиваются. Поэтому эти рабочие органы определяют ресурс пыльной джиновой машины.

Колосники имеют поперечное сечение длиной 535 мм и трапециевидный изогнутый профиль размером $15,2 \times 16$ мм.

При отливке колосника сложно формировать требуемую рабочую форму, которая в несколько раз меньше длины поперечного сечения. Следовательно, 50...60 % отливок будут непригодны для работы. Еще 10...15 % колосников оказываются неработоспособными при сборе решетки. Это означает, что в среднем из 1000 отливок пригодными для работы будут около 300 колосников. Кроме того, срок службы колосника составляет всего 3...4 месяца.

В итоге из-за износа рабочей поверхности колосника на 0,8...1 мм выбраковывается. Поэтому восстановление рабочей поверхности колосников является одной из актуальных проблем хлопкоочистительной промышленности.

В связи с этим докторанты Андижанского машиностроительного института проводят научные исследования над повышением износостойкости и восстановлением рабочей поверхности колосника наплавкой. При этом лабораторно исследуются состав, структура, твердость и износостойкость новой и восстановленной рабочих поверхностей, различных по составу наплавленного слоя колосника. Результаты некоторых испытаний приводятся в табл. 1 и 2 и на рис. 1–3.

Табл. 1. Состав материала наплавленного слоя образца № 2 в процентах

Образец № 2	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Ti	W
	0,83	5,08	0,29	0,02	0,021	0,05	0,03	0,09	0,08	0,01

Табл. 2. Рекомендованный электрод

Марка	C	Mn	Si	S	P	Fe
Z408	2,30	0,38	4,50	0,003	0,020	–



Рис. 1. Микрофотография образца № 2 до травления (x50)

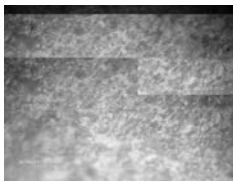


Рис. 2. Микрофотография основного металла образца № 2 (x300)

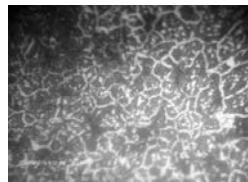


Рис. 3. Микрофотография наплавленного слоя образца № 2 (x300)

В результате изучения микроструктуры определено следующее.

Загрязнённость неметаллическими включениями по ГОСТ 1778-70:

- оксиды точечные ОТ – 5 баллов;
- силикаты недеформирующиеся СН – 4 балла;
- силикаты пластичные СП – 3 балла;
- сульфиды (С) – 3 балла.

На наплавленном слое имеются микропоры.

Микроструктура: в сердцевине образца перлит + феррит, твердость HRA 40...42, на поверхности образца сорбит + карбиды, твердость наплавленного слоя HRA 75.

В соответствии с этим были изготовлены образцы колосников и покрытия с несколькими типами электродов и порошковыми материалами, а также даны необходимые рекомендации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Абралов, М. А.** Основы сварки / М. А. Абралов, М. М. Абралов. – Ташкент: Талкин, 1999.
2. Чигитли пахтага дастлабки ишлов бериш технологияси: учебник / К. Ж. Жаббаров [и др.]. – Ташкент: Укитувчи, 1987.

UDC 004.021

MACHINE SHOP PORTAL MANIPULATOR MOVEMENT PATH MODELING FOR DIGITAL MANUFACTURING

V. S. KUVSHINNIKOV, E. E. KOVSHOV
JSC «NIKIMT-Atomstroy»
Moscow, Russia

Machining workshops are often equipped with specialized units to allow heavy loads transportation. Often, the workshop is equipped with a large portal manipulator (PM), which is used for auxiliary operations like moving objects

from/to holding locations, as well as between work areas. Operating time cost of such manipulators is relatively high, which is caused by a number of factors: operating with one object at a time leads to a queue, low movement speed and long distances increase path efficiency requirements, the estimated masses objects require powerful engines usage. There is an additional opportunity for increasing efficiency of such important mechanism as PM in digital production context due to decreasing workshop area population. This can be achieved, among other things, by reducing auxiliary time via forming an optimized manipulator's end effector (EE) movement path.

In robotics, there are many approaches to planning manipulator path. There are methods on the base of graphs, methods of potential fields, using cell decomposition, intellectual and others. Many various methods are based on similar mathematics. Moreover, a very important aspect of path search method applicability is chosen method of robot's operating area and obstacles representing convenience. Such methods as object-dependent, regular or adaptive decomposition, visibility graphs methods, exploring tree methods [1], hierarchical search, quasi-random and pseudo-random points choice, and others are applied. While some path methods can achieve greater path optimization, others provide more complete solution, and still others differ in speed due to the reduced accompanying calculations complexity [1]. Hybrid methods with best advantages and less flaws compared to separate methods are commonly used.

The approach proposed for PM movement path modeling involves a multi-level processing. It includes manipulator's invalid configurations set calculation and periodic updating, considering load dimensions, as well as PM operating area's neural map creation and activation using wave-front propagation method [2], route network creation for making EE PM path's reference points sequence. It is also proposed to use hierarchical methods for increasing path's detailing and smoothing, depending on reference path's initial detailing.

Manipulator's invalid configurations set is based on updatable obstacle data for more detailed workshop layout mapping, manipulator's movement time and auxiliary operations time reduction. Various operating area's parts availability will change during work process, like in the holding area, for example. Proposed method allows take-away cost pre-evaluation for holding areas' items considering their next destination point. Logistic algorithms may use such data to raise items accessibility and make placements that are more beneficial.

For operating area representation, the cell decomposition approach with a given discreteness is applied. Each piece of 3D space accommodates a set of PM's configurations and is associated with one artificial neuron.

The Hopfield neuron model is used. Neuron i is described by input vector Y , weight vector W_i , displacement vector θ_i , that form a sum network signal

$$u_i = W_i \times Y + \theta_i = \sum_{j=1}^n w_{ij} v_j + \theta_i.$$

The sum signal is processed by a nonlinear activation function Φ and formed the output signal of the neuron Y_i . Hyperbolic tangent, sigmoidal function and others can be used as activation function. Piecewise given function is chosen as a weight function of the i -th and j -th neurons

$$w_{ij} = \begin{cases} 0 & \rho(q_i, q_j) = 0; \\ f(\rho(q_i, q_j)) & 0 < \rho(q_i, q_j) < r; \\ 0 & r < \rho(q_i, q_j), \end{cases}$$

where $\rho(q_i, q_j)$ – Euclidean distance between configurations, corresponding to i and j neurons; $f(\rho(q_i, q_j))$ – decreasing function of the form $f(x) = 1/x$; r – neuron region radius i.e. how far each neuron affects other neurons' weights [3].

Few artificial neuron digital representation options with different synaptic connections types and number were tested during test simulations, using the QT cross-platform framework. Several neural map activation methods, like 2d/3d rasters and wave propagation application, as well as static and dynamic obstacles processing methods were also considered. Activated route map and three-dimensional path are visualized through QT v4.5 built-in libraries and third-party point clouds visualizing applications, for example, Aviz Cubix [4]. Such visualization is not required during the PM operation, but is extremely useful for clarifying the results, development and debugging of digital model.

REFERENCES

1. **Yang, K.** 3D smooth path planning for a UAV in cluttered natural environments / K. Yang, S. Sukkarieh // IEEE/RSJ intern. conf. on intelligent robots and systems: IROS 2008. – 2008. – P. 794–800.
2. **Barraquand, J.** Numerical potential field techniques for robot path planning / J. Barraquand, B. Langlois, J. C. Latombe // Fifth International Conference 'Robots in Unstructured Environments'. – 1991. – Vol. 2. – P. 1012–1017.
3. **Lagoudakis, M. G.** Mobile Robot Local Navigation with a Polar Neural Map / M. G. Lagoudakis // The Center for Advanced Computer Studies University of Southwestern Louisiana. – 1999.
4. **Bach, B.** Visualizing dynamic networks with matrix cubes / B. Bach, E. Pietriga, J. D. Fekete // In Proc. CHI '14. – 2014. – P. 877–886.

УДК 541.3 : 621.89

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Т. О. АЛМАТАЕВ, И. Н. САЙДАЛИЕВ,

Н. Т. АЛМАТАЕВ, И. С. КОСИМОВ

Андижанский машиностроительный институт

Андижан, Узбекистан

Целью работы является изучение и разработка новых композиционных полимерных материалов с оптимальными эксплуатационными свойствами для рабочих органов машин и механизмов. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи: изучение физико-механических и триботехнических свойств композиционных полимерных материалов в период приработки; разработка композиционных полимерных материалов с оптимальными физико-механическими и триботехническими свойствами в период их приработки.

Результаты экспериментальных исследований показали, что введением в состав фураноэпоксидной композиции твердых наполнителей, таких как железные и медные порошки, цемент и графит, повышаются твердость и температура стеклования материала покрытий, что влечет за собой увеличение периода приработки. А введением мягких наполнителей типа фторопласт и полиэтилен, наоборот, твердость и температура стеклования материала покрытий снижаются, что объясняется снижением физико-механических свойств и повышением коэффициента трения за счет увеличения плотности трибоэлектрического заряда и температуры в зоне трения, способствующего интенсификации процесса. Наблюдается незначительное увеличение периода приработки при введении графита, фосфогипса и талька, несмотря на сравнительно большую анизотропию механических свойств. В отдельных случаях для графита процесс сопровождается некоторым сглаживанием поверхностей покрытий. С повышением содержания наполнителей (кроме фторопласта и полиэтилена) период приработки изменяется экстремально и проходит через максимум. Повышение содержания железного порошка и цемента приводит к увеличению твердости полимерных покрытий, что влечет за собой снижение времени установившегося значения коэффициента трения. Повышение содержания фторопласта с низкими теплопроводными и высокими диэлектрическими свойствами приводит к некоторому увеличению температуры и плотности трибоэлектрического заряда в зоне взаимодействия композиционных полимерных покрытий. Это повышает влияние электростатических сил взаимодействия контактирующих тел, следовательно, наблюдается рост коэффициента трения. При этом имеет место существенное снижение периода приработки пропорционально твердости

покрытий. Аналогичное изменение периода приработки в зависимости от вида и содержания вводимого наполнителя наблюдается и у пентапластовых покрытий.

На базе комплексного анализа результатов исследования установлено, что в процессе приработки имеют место значительные изменения физико-механических и триботехнических характеристик композиционных полимерных материалов и покрытий на их основе в широком интервале режимов эксплуатации в зависимости от вида, содержания и размера частиц выводимого наполнителя. Наименьшая продолжительность приработки наблюдается у фуранэпоксидных покрытий при введении полиэтилена и фторопласта, а наибольшая – у пентапластовых с железным порошком и стекловолокном. При этом необходимо отметить, что важнейшими свойствами материала, влияющими на их работоспособность и продолжительность процесса приработки, являются микротвердость, тепло и электропроводность, значение которых изменяется введением наполнителей различного рода. Введением в композицию железного порошка повышаются микротвердость, температура стеклования и адгезионная прочность материала. С увеличением содержания железного порошка эта тенденция еще более усиливается. При этом поверхностное сопротивление материала снижается, что приводит к увеличению электропроводности материала.

Таким образом, введение в композицию железного порошка и других наполнителей, повышающих механические и прочностные свойства фуранэпоксидного полимера, приводит к увеличению продолжительности их периода приработки. А с введением наполнителей, снижающих физико-механические свойства, таких как полиэтилен и фторопласт, продолжительность периода приработки композиционных полимерных материалов с наполнителями, повышающими физико-механические свойства, уменьшается, и наоборот, снижающие физико-механические свойства покрытий увеличивают продолжительность процесса приработки.

По результатам экспериментальных исследований был разработан ряд композиционных полимерных материалов с заданными триботехническими и эксплуатационными свойствами.

УДК 621.74.047.001.57

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЕГРЕГАЦИИ УГЛЕРОДА В НЕПРЕРЫВНО-ЛИТОЙ ЗАГОТОВКЕ СТАЛИ

А. М. БРАНОВИЦКИЙ, Ю. А. ЛЕБЕДИНСКИЙ, В. А. ДЕМЕНТЬЕВ

Институт технологии металлов НАН Беларуси
Могилев, Беларусь

Заметный температурный интервал затвердевания и значительная концентрация углерода могут приводить к существенной ликвации углерода по сечению заготовки из непрерывно-литой стали, что влечет за собой весомую долю брака при изготовлении из таких заготовок изделий малых размеров, например металлокорда. Для минимизации сегрегации разработаны так называемые импульсные режимы охлаждения [1, 2]. В частности, для образца непрерывно-литой заготовки из стали 80К (0,807 % С, 0,2051 % Si, 0,5177 % Mn) и размером сечения 250 × 300 мм (рис. 1) выполнены измерения профиля концентрации углерода двумя способами: химическим на газоанализаторе ГОУ-1 и оптическим эмиссионным спектральным на установке Foundry MasterSmart Optimum.

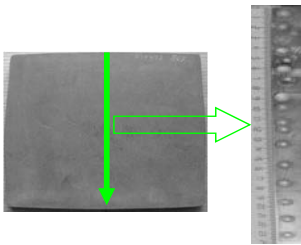


Рис. 1. Сечение заготовки и область измерений концентрации

В первом случае в области измерений (см. рис. 1) для каждой экспериментальной точки высверливалось отверстие $\varnothing 8$ мм на глубину около 10 мм, при этом получалось 3...4 г стружки, что позволяло провести 3...4 измерения на газоанализаторе. Ввиду значительного усреднения по большому объему наблюдалось сглаженное распределение концентрации, например, значения концентрации на прямой (см. рис. 1) практически совпадали со значениями, полученными с отклонениями от прямой влево и вправо на 1...1,5 см.

Во втором случае в области измерений (см. рис. 1) для каждой экспериментальной точки проводилось 3...4 измерения на спектроанализаторе, при этом расходуется гораздо меньшее количество металла. Пятно испаряемого металла достаточно широкое (диаметром до 1 см), поэтому измерения не сильно зависят от осцилляций концентрации, вызванных случайными неоднородностями микроструктуры в данной зоне.

Химические измерения использовались для контроля спектральных. В обоих случаях использовалось усреднение по нескольким измерениям для каждой экспериментальной точки, характер профиля распределения углерода получился один и тот же, поэтому экспериментальный материал был собран воедино (на рис. 2 отрезками показаны расстояния между

максимальными и минимальными значениями в этих точках).

Следует отметить некоторую трудоёмкость химического способа (сверление стали 80К) и времяёмкость обоих способов измерений, связанную с необходимостью накопления достаточной статистики измерений [3].

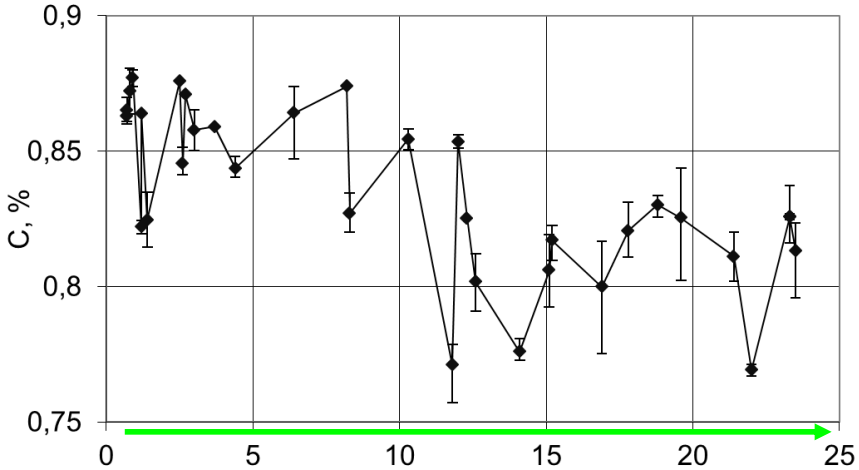


Рис. 2. Профиль концентрации углерода в образце (см. рис. 1)

Распределение в нижней части (18...25 см) имеет часто встречающийся профиль с «провалом» в зоне около 3 см от нижней грани. Минимальная концентрация углерода наблюдается в центре заготовки, а также существенная разница в профилях концентрации верхней и нижней частей заготовки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Применение метода импульсной непрерывной кристаллизации с целью регулирования структуры и свойств графитизированных сталей / Н. М. Александрова [и др.] // Сталь. – 2006. – № 3. – С. 83–87.
2. Sang, B. A novel technique for reducing macrosegregation in heavy steel ingots / B. Sang, X. Kang, D. Li // Journal of Materials Processing Technology 210. – 2010. – P. 703–711.
3. Минимизация структурной и химической неоднородности стального литья за счет ускоренного импульсного охлаждения при кристаллизации / А. В. Кушнарв [и др.] // Современные технологии и оборудование для внепечной обработки и непрерывной разливки стали: тез. докл. Междунар. конф. – Москва, 2007. – С. 41.

УДК 621.74.04
ИННОВАЦИОННЫЕ ЛИТЕЙНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ПРОИЗВОДСТВУ

А. М. БРАНОВИЦКИЙ, В. А. ПУМПУР
Институт технологии металлов НАН Беларуси
Могилев, Беларусь

Создаваемые в Институте технологии металлов НАН Беларуси (далее – Институт) технологии непрерывного литья являются энерго- и ресурсосберегающими по сравнению с такими, как литье в песчаные формы, по выплавляемым моделям и многими другими. Энергозатраты значительно уменьшаются, прежде всего, за счет высокой производительности и автоматизации труда. Увеличивается выход годного продукта. Повышается экологичность литья, так как отсутствуют дымо-, газо- и пылевыведение при подготовке формы и в процессе изготовления отливок, а также образование отвалов горелой земли.

К примеру, внедрение технологии непрерывного горизонтального литья заготовок деталей транспортного машиностроения из разных марок бронз, латуней и чугуна и оборудования позволяет: повысить качество литья; снизить потери металла в 1,5...2 раза по сравнению с кокильным литьем; уменьшить расход электроэнергии на 20...30 %; повысить производительность труда в 1,5...2 раза; повысить выход годного литья до 90...92 %. Применение технологии на Гомельском литейном заводе «Центролит» позволило предприятию с 2016 г. выпустить литейной продукции на сумму свыше 2 млн р. и поставлять ее на экспорт.

Данная технология и оборудование имеют постоянный спрос за рубежом. В 2016 г. опытную машину для непрерывного литья проволочной заготовки из никелевых и медно-никелевых сплавов Институт поставил в Россию ООО «КУЗОЦМ Технолоджи», г. Каменск-Уральский.

Известная во всем мире технология непрерывно-циклического литья полых цилиндрических заготовок из чугуна методом направленного затвердевания, созданная в Институте и освоенная на одном из передовых литейных предприятий республики УЧНПП «Технолит», г. Могилев, позволяет получать отливки с заранее заданными структурой и физико-механическими свойствами. Эта технология и в настоящее время пользуется спросом, в частности, в 2016 г. машина непрерывноциклического литья намораживанием изготовлена и поставлена Институтом ООО «Механика», г. Рязань.

Примером успешного сотрудничества Института с производством является импортозамещающая ресурсосберегающая технология получения горячекатаных цинковых анодов для Белорусского металлургического завода (г. Жлобин). В Институте действует опытно-экспериментальное производство по выпуску импортозамещающей продукции – цинковых анодов. Вследствие разницы в стоимости анодов, закупаемых в России и

произведенных Институтом из отходов гальванического производства завода, ежегодный экономический эффект составляет свыше 170 тыс. р.

Импортозамещающая технология изготовления биметаллических червячных колес методом электрошлакового переплава внедрена на заводе «Могилевлифтмаш», где организован серийный выпуск биметаллических червячных колес главного привода лифтов, что значительно повысило эксплуатационные характеристики отечественных лифтов. Ее внедрение позволило повысить конкурентоспособность лифтов на внутреннем и внешнем рынках за счет увеличения надежности и долговечности главного привода.

В 2018 г. ученые и специалисты Института разработали и изготовили для завода «Могилевлифтмаш» комплект оборудования для модернизации установки электрошлакового переплава, выполнили шефмонтаж и наладку установки.

На базе Института создано производство по изготовлению заготовок деталей машиностроения из силуминов с повышенными механическими и антифрикционными свойствами, не уступающими бронзе. Стоимость заготовок из антифрикционного силумина в среднем в 3 раза ниже, чем аналогичных из бронз, а износостойкость – в 4...6 раз выше. Изделия из антифрикционного силумина с успехом заменяют в узлах трения импортные детали машиностроения, многократно и успешно прошли испытания на различных предприятиях Республики Беларусь и Российской Федерации, что подтверждено более чем двадцатью актами испытаний и положительными отзывами.

В Институте создано производство по выпуску деталей дробильно-размольного оборудования с повышенным ресурсом работы. В результате исследований, выполненных учеными Института, стойкость деталей к износу и срок их эксплуатации в центробежных дробилках и мельницах, поставляемых за рубеж, возросли на 30...50 %. С 2016 по 2019 гг. произведено и поставлено таких деталей предприятиям республики и в Россию на сумму свыше 430 тыс. долл. США.

Для создания и усовершенствования литейных технологий и решения проблем предприятий-заказчиков широко используется компьютерное моделирование. В частности, в 2018 г. ученые Института успешно завершили выполнение двух совместных международных проектов на основе моделирования микроструктуры бинарных сплавов, затвердевающих при перемешивании, и многомасштабного моделирования литья сталей во время вторичного охлаждения непрерывно-литой заготовки (в условиях Белорусского металлургического завода).

Созданные учеными и специалистами Института технологии и оборудование находят спрос в республике и за ее пределами, так как являются инновационными и позволяют получать высококачественные литые изделия при значительном энерго- и ресурсосбережении.

УДК 621.74.047

СТРУКТУРА И ТВЕРДОСТЬ СЕРОГО ЧУГУНА В ПОЛЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВКАХ ПРИ ЛИТЬЕ НАМОРАЖИВАНИЕМ

В. П. ГРУША¹, В. Ф. БЕВЗА¹, А. А. БАРОН², Л. В. ПАЛАТКИНА²¹Институт технологии металлов НАН Беларуси

Могилев, Беларусь

²Волгоградский государственный технический университет

Волгоград, Россия

Метод непрерывно-циклического литья намораживанием полых цилиндрических заготовок без применения стержня обеспечивает получение плотной мелкодисперсной структуры серого чугуна с заданным фазовым составом, что существенно повышает эксплуатационные характеристики деталей и ресурс их работы по сравнению с традиционными способами получения аналогичных отливок. Композиционный подход при выявлении взаимосвязи свойств и структуры серого чугуна позволяет приобрести новые знания, использовать их при экспресс-контроле качества отливок и прогнозировать эксплуатационные свойства детали.

Целью работы являлось исследование взаимосвязи структуры и твердости по толщине стенки в полых чугунных отливках.

Анализ структуры и свойств проводили в отливках с толщиной стенки 14 мм, полученных методом намораживания из серого чугуна индукционной плавки. В исследуемом чугуне при содержании углерода 2,7 % и дополнительном легировании хромом, никелем и медью в десятых долях процента степень эвтектичности находится в пределах 0,72...0,73.

Исследование распределения, формы, длины и количества включений графита по толщине стенки показало наличие зонного строения (рис. 1).



Рис. 1. Различия в графитовых включениях по толщине стенки ($\times 100$): а – наружная зона отливки; б – средняя; в – внутренняя поверхность

Травление на дендритную структуру выявило также наличие зон (по протяженности совпадающих с зонами графита), не имеющих между собой четких границ, но с присущим изменением в размере кристаллов и степени их разветвленности. Так, в наружной зоне объемная доля дендритов $f_{\text{дк}}$ максимальна и составляет 60...62 %. Постепенно снижаясь к середине, она остается на уровне 57 % до самой внутренней поверхности отливки. При этом снаружи преобладают кристаллы с развитой осью 1-го порядка среднего размера 2,0...4,0 мкм. В сечении средней зоны наблюдаются преимущественно кристаллы с развитыми осями 2-го порядка и длиной оси 1-го порядка 0,6...0,8 мкм, а внутренняя зона представлена зернами с развитыми осями 1-го и высшего порядков. Анализ вторичной структуры показал полное отсутствие феррита, порядка 10 % по площади занимают зерна перлита с дисперсностью 1,6 мкм, остальная матрица представлена перлитом с расстоянием между пластинами цементита до 0,3 мкм. Включения цементита наблюдаются только в наружной зоне на глубине не более 5 мм. Они равномерно распределены и занимают в среднем по площади от 5 до 10 %, что объясняет повышение среднего значения твердости в этой зоне на 3...5 % (рис. 2). Анализ результатов микротвердости в радиальном направлении от наружной поверхности, проведенный на приборе ПМТ-3 при нагрузке 10 г, показал, что отношение средних значений этого показателя у эвтектики и дендритов составляет 0,59.

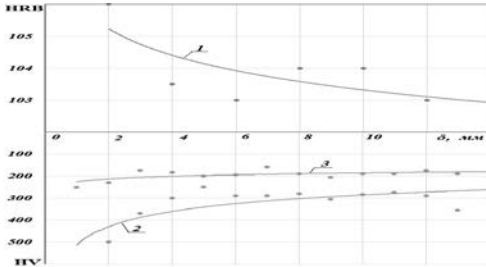


Рис. 2. Распределение твердости (1), микротвердости дендритов (2) и эвтектики (3) по толщине стенки

Сравнительный анализ значений прочностных характеристик показал, что при равных условиях по твердости у исследуемого чугуна прочность на разрыв в зоне с объемной долей дендритов $f_{\text{дк}} \approx 60$ % составляет 375...400 МПа, это существенно выше, чем у серых чугунов, полученных другими методами литья.

Полученные результаты позволили выявить взаимосвязь дендритной структуры и твердости отливок из серого чугуна при литье намораживанием. При этом определены направления дальнейших исследований для оценки влияния условий формирования толстостенных полых цилиндрических отливок из серого чугуна в стальном водоохлаждаемом кристаллизаторе и последующей их термообработки на структурные изменения и механические свойства.

УДК 621.74.045.072.2

**МЕТОД РЕГУЛИРУЕМОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ОТЛИВОК
ДЛЯ РАЗРАБОТКИ РОТОРНО-КОНВЕЙЕРНЫХ ЛИНИЙ****В. С. ДОРОШЕНКО****Физико-технологический институт НАН Украины
Киев, Украина**

В плане развития теплообменных процессов и структурообразования при кристаллизации и охлаждении сплавов в литейной форме, создания методов литья с использованием вакуума и криотехнологии рассматривали способ литья в оболочковые формы с опорным наполнителем (ОН) в контейнерах. Такие формы получают по разовым моделям или по горячей металлической модельной оснастке. ОН, чаще кварцевый песок, усиливает оболочку, препятствуя вытеканию из нее металла при появлении в ней трещин или других нарушений целостности стенок. С целью ускорения на 25...50 % литейного процесса, согласно справочнику «Специальные способы литья» под ред. В. А. Ефимова, опорный слой вакуумируют во время заливки металлом оболочек до затвердевания на отливке достаточно толстой корки, удаляя выделяющиеся газы. Также при разработке роторно-конвейерных линий (РКЛ) длительности операций формовки, заливки и охлаждения отливок (часто наиболее длительная операция) должны быть примерно одинаковыми для выполнения их на соразмерных роторах.

С учетом способов литья в вакуумируемые и замороженные формы, формовке песчаной смесью с сыпучим зернистым льдом, входящим в ее состав, предложено использовать для оболочковых форм ОН из песчаной смеси с зернистым льдом в количестве 5...100 %. Зернистый (гранулированный или чешуйчатый) лед получают на серийно выпускаемых льдогенераторах с обширной номенклатурой по производительности преимущественно для пищевой промышленности и охлаждения пищевых продуктов. При засыпке песчаной оболочки таким ОН в контейнере она с комнатной температуры в течение нескольких минут охладится до температуры, близкой к температуре ОН со льдом. Затем заливка металлом оболочки с ОН, затвердевание и охлаждение отливки будет подобно литью в замороженной форме, для которого характерна более мелкозернистая структура отливок по сравнению с литьем в песчано-глинистых формах без применения криотехнологии.

Вакуумирование сыпучего ОН при заливке обеспечит направленный газоотвод и даст эффект вакуумного всасывания. Последнее улучшит формозаполнение металла, сравнимое с таким показателем для прокаленных форм и нагретых до ~ 800 °С. Замороженные формы рекомендуют заливать в течение не более 3 мин во избежание накопления конденсата влаги

(из воздуха цеха) на холодной поверхности полости формы. В рассматриваемом случае также следует принять меры, чтобы до заливки металлом лед ОН не начал таять и не увлажнил песчаную оболочку в среде низкотемпературного наполнителя.

Песчаная оболочка служит «теплоизолятором» для металла при заливке, но таяние льда (особенно при ОН на 100 % из льда) позволит оболочке с отливкой двигаться вниз ко дну контейнера, проплавливая лед в контейнере. Быстрое охлаждение отливки будет подобно операции закалки в литейной форме. В конечном итоге отливка быстро окажется в контейнере с водой. Оболочковая форма осыплется с отливки из-за перепада температур и разной усадки металла и неметаллических материалов. Наличие льда в ОН от 5 до 100 % обеспечит версии взаимодействия отливки и формы от варианта литья в замороженные формы до варианта литья с самозакалкой отливки в литейной форме путем ее контакта с плавящимся льдом и водой, заполняемой формовочный контейнер. Толщиной оболочковой формы в зависимости от вида металла и толщины стенки отливки можно регулировать скорость процесса кристаллизации, степень зернистости структуры и нередко фазовый состав металла отливки, а температурой, массой ОН и долей в нем льда также можно в некоторых пределах регулировать операции, свойственные охлаждению отливки и термообработке.

Многие сплавы металлов для литья в кокиль с быстрым охлаждением могут входить в область применения такого литейного способа с термообработкой, а именно, закалкой отливок в литейной форме. При этом процессы плавления льда, испарения воды и конденсации пара в контакте со льдом напоминают привычные процессы круговорота воды, наблюдаемые в природе. Поэтому их можно отнести к экологическим природоподобным технологическим процессам литейного производства.

Исследуя предпосылки и развивая технологию регулирования в широких пределах охлаждения отливки в песчаной форме, достигаются два эффекта, которые позволяют не только оптимально сокращать время охлаждения (выдержки) отливки в форме (1), но и влиять на формирование структуры металла (2). Первый эффект полезен для сокращения длины конвейерной ветки для охлаждения отливок на формовочно-заливочных линиях или площадей на заливочном плацу, а также для комплектации литейных РКЛ соразмерными по величине роторными модулями, разбивая процессы формовки и за ним следующие на операции примерно одинаковой длительности. Второй эффект позволяет влиять на свойства отливки, зависящие от скорости кристаллизации и структуры металла.

Кстати, на РКЛ для пищевой промышленности известна одновременная установка ряда дозаторов для смешивания различных ингредиентов и фасования их в одном пакете, что можно заимствовать для аналогичных действий при формовке оболочек в литейных контейнерах.

УДК 620.179.14
КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ТЕРМООБРАБОТКИ СТАЛИ МАРКИ 30ХГСА
ПО ИНДУКЦИОННЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

З. М. КОРОТКЕВИЧ, В. А. БУРАК
Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Беларусь

Контроль качества термообработки изделий из конструкционной стали 30ХГСА – важная и актуальная задача машиностроения. Одним из перспективных для решения этой задачи является магнитный метод неразрушающего контроля структурного состояния с использованием импульсного намагничивания.

Было проведено исследование магнитных параметров, измеренных в проходном соленоиде с помощью измерителя магнитной индукции в импульсном режиме намагничивания-перемагничивания ИМИ-И [1], реализующего контроль в разомкнутой магнитной цепи. Измерения магнитной индукции изделия в процессе импульсного намагничивания и перемагничивания позволяют получить петлю магнитного гистерезиса, характеристики которой могут быть использованы в качестве информативных параметров для неразрушающего контроля.

Образцы, изготовленные из холоднокатаной и горячекатаной стали 30ХГСА, предварительно размагничивались, а затем намагничивались несимметричным полем противоположных полярностей. Такое намагничивание дает возможность получить несимметричную петлю магнитного гистерезиса, что позволяет использовать большее количество новых магнитных параметров за счет рассмотрения как предельной, так и частной петель магнитного гистерезиса, полученных в рамках одного измерения.

Полученные магнитные индукции (рис. 1): остаточная магнитная индукция B_r ; максимальная релаксационная магнитная индукция B_{mp} ; разность dB между максимальной релаксационной магнитной индукцией и остаточной магнитной индукцией.

Остаточная магнитная индукция B_r до температуры отжига 500 °С практически не изменяется по величине как для холоднокатаной, так и для горячекатаной сталей, с увеличением температуры отжига до 650 °С величина остаточной магнитной индукции для холоднокатаной стали уменьшается, так как структура стали становится более однородной. Поведение B_r горячекатаной стали в этом интервале не изменяется. Дальнейшее увеличение температуры отжига от 650 до 900 °С приводит к неоднозначной зависимости остаточной магнитной индукции B_r для холоднокатаной стали, для горячекатаной наблюдается увеличение значений до температуры 760 °С, а затем спад.

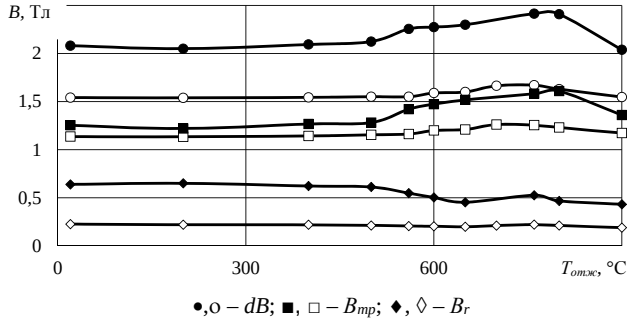


Рис. 1. Зависимости магнитных индукций от температуры отжига образцов холоднокатаной (●, ■, ◆) и горячекатаной (○, □, ◇) стали 30ХГСА

Величина максимальной релаксационной магнитной индукции $B_{тр}$, разности dB между максимальной релаксационной магнитной индукцией и остаточной магнитной индукцией с ростом температуры отжига изменяются одинаковым образом. Для холоднокатаной стали 30ХГСА с увеличением температуры отжига от 200 до 800 °С они возрастают, причем до 500 °С этот рост медленный, затем более резкий. При увеличении температуры отжига свыше 800 °С наблюдается спад величин индукции. Для горячекатаной стали резкого изменения характеристик не наблюдается.

Абсолютные значения величин магнитной индукции для холоднокатаной стали выше, чем для горячекатаной, что обусловлено более высокими прочностными характеристиками, полученными в процессе изготовления холоднокатаной стали.

Контроль качества термообработки изделий из холоднокатаной стали марки 30 ХГСА по параметрам магнитной индукции применим для определения недогрева (температура отжига до 500 °С). Для горячекатаной стали чувствительность индукционных характеристик невысокая, поэтому необходимо использовать отличные от индукции параметры или использовать их для построения множественных регрессионных моделей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прибор для измерения магнитной индукции ферромагнитных стержней в процессе импульсного намагничивания-перемагничивания / З. М. Короткевич [и др.] // Приборостроение-2013: материалы 6 Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 20–22 нояб. 2013 г. – Минск: БНТУ, 2013. – С. 70–72.

УДК 669.15

ЛИТЬЁ ЗАГОТОВОК ИЗ АНТИФРИКЦИОННОГО
ХРОМОНИКЕЛЕВОГО ЧУГУНА

Е. И. МАРУКОВИЧ, А. М. КОВАЛЁВ,
В. А. ХАРЬКОВ, И. О. САЗОНЕНКО, А. Ю. БЕЛЫХ
Институт технологии металлов НАН Беларуси
Могилев, Беларусь

По ряду технологических, экономических и экологических причин применение методов для получения отливок из антифрикционных чугунов, существующих традиционных методов получения литых заготовок (центробежное литье, литье в кокиль, литье в формы из ХТС и т. д.) иногда становится нецелесообразным. В связи с этим возникает необходимость использования специализированных методов литья, одним из которых является литье по газифицируемым моделям.

Для изготовления моделей использовался предварительно подвешенный полистирол марки Т180С. Формировалась система одновременной заливки нескольких заготовок путём собирания полученных из пенополистирола моделей в блоки. На модельные блоки методом окунания наносилось специальное технологическое покрытие с последующей его сушкой при температуре 40...50 °С в течение 4...5 ч.

Далее модельные блоки помещались на дно опоки с предварительно уплотненным с помощью вибрации слоем кварцевого песка и производилась формовка их песком с одновременным вибрационным воздействием.

Чугун необходимого состава получали в индукционной печи с кислой футеровкой на основе кремнезема. Температура перегрева сплава при переливе в ковш составляла (1500 ± 10) °С. Для измерения температуры в печи использовался пирометр типа Кельвин Контакт 1600. Температура расплава чугуна в ковше регистрировалась термопарой типа ТПП с защитным кварцевым колпачком. Заливка производилась в опоку с модельными блоками, которая предварительно вакуумировалась. Температура заливки первого модельного блока составляла (1400 ± 5) °С, для последующих – соответственно (1350 ± 5) и (1300 ± 5) °С.

На основе данных, полученных в ходе проведения первичных экспериментов по получению отливок, было составлено представление о формировании отливок из чугуна марки ХНВ при литье с использованием газифицируемых моделей. Анализ зависимостей микроструктуры отливки от химического состава, условий теплоотвода при затвердевании отливки в условиях термодекструкции пенополистирола, а также процессов структурной наследственности при приготовлении расплавов в конечном итоге позволил добиться получения необходимой структуры литого изделия.

Считается, что наиболее подходящим материалом для деталей типа «поршневые кольца» является перлитный чугун. Его структура обычно представляет собой мелкопластинчатый перлит с равномерно распределенным графитом, с отдельными мелкими, равномерно распределенными включениями фосфидной эвтектики. Структурно-свободный цементит не допускается. Феррит допускается в виде отдельных мелких включений на площади не более 5 % от площади шлифа.

Оценка микроструктуры полученных отливок производилась по ГОСТ 3443–87. На нетравленной части было отмечено, что форма включения графита – пластинчатая прямолинейная ПГф1; длина включений графита – ПГд180; распределение – колонии пластинчатого графита, равномерное; количество включений графита – ПГ-10.

Структура металлической основы – перлит. Содержание перлита и феррита – П (Ф0) – П96 (шкала 6Б, ряд 2). Феррит в структуре не наблюдается. Дисперсность перлита – Пд 0,5-Пд1. Строение фосфидной эвтектики – тройная мелкозернистая, ФЭ 3; равномерное, ФЭр1. Площадь включений фосфидной эвтектики – не более ФЭп2000. Наблюдаются отдельные включения ледебурита в незначительных количествах. Содержание цементита или цементита ледебурита – менее Ц2.

Химический состав полученных отливок : С – 3,23...3,29 %, Si – 1,62...1,74 %, Mn – 0,63...0,66 %, Cr – 0,29...0,31 %, Ni – 1,29...1,35 %, Cu – 0,12...0,135 %, P – 0,27...0,274 %, имеются следы Mo и W.

Твердость полученных образцов 94...98 HRB.

Таким образом, в ходе проведения экспериментов были определены оптимальные значения толщины теплоизоляционного покрытия пенополистирольной модели (необходимая толщина не менее 0,4 мм), величины рабочего вакуума в опоке до 0,06 МПа. Выявлено, что для получения необходимой структуры следует соблюдать поддержание оптимального химического состава чугуна и применение чистых шихтовых материалов без использования возвратных отходов.

УДК 669-1

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ
ГАЗОВОЙ ФАЗЫ В ЖИДКОСТИ

С. А. ПАЛЕХА, С. А. СМАИЛОВ

Карагандинский государственный индустриальный университет
Темиртау, Казахстан

Технологический ход кислородно-конвертерной плавки или внепечной обработки металла в ковше существенным образом зависит от параметров дутьевого режима. Эта зависимость в значительной степени обуславливается гидродинамикой ванны и, в частности, связана с распределением газовой фазы в жидкости.

Современный кислородно-конвертерный процесс характеризуется очень высокой интенсивностью подачи кислорода в жидкую ванну. Установлено, что перемешивание конвертерной ванны является мощным фактором, ускоряющим тепло- и массообменные процессы. При продувке жидкой ванны газами ее газосодержание по высоте резко отличается и, кроме расхода (скорости) струй, конфигурации сопла, зависит от положения фурмы. Изучение влияния механизма взаимодействия закрученного газового потока с жидкой ванной на рассредоточение дутья и концентрацию газовой фазы в барботажной области представляет не только теоретический, но и практический интерес с точки зрения оптимизации конструкции фурмы и выбора рационального расхода дутья.

С целью выбора рационального расхода дутья и оптимизации конструкции фурмы были проведены эксперименты на холодной модели сталеразливочного ковша, продувку вели кислородом. Для определения степени рассредоточения газовой струи в объеме ковша использовали ультразвуковой импульсный метод. Закрученные потоки создавались фурмой с завихрителями с шагом спирали 0,6; 2; 3; 4; 6. В работе применяли ультразвуковой прибор УК-14П. Источником ультразвуковых колебаний служили пьезоэлектрические преобразователи с частотой 85 кГц. С помощью излучающего и приемного преобразователей осуществлялось сквозное прозвучивание ультразвуком жидкой ванны. В ходе исследования использовали фурмы различной конструкции и различные дутьевые режимы. Фиксировали время распространения упругих колебаний в жидкой ванне. Зная размеры модели и время распространения ультразвуковых колебаний (УЗК), рассчитывали скорость УЗК. С увеличением площади межфазной поверхности газ-жидкость происходило затухание УЗК, а время их распространения в жидкой ванне, соответственно, возрастало.

Пьезоэлектрические преобразователи устанавливались в 18 точках в различных сечениях ковша. Это позволило составить картину распределения газожидкостных потоков по всему объему ковша.

Была найдена оптимальная конструкция фурмы с завихрителем с шагом спирали, равным 2. При использовании этой фурмы концентрация газовой фазы в жидкости во всех точках замера была почти одинакова, т. е. газ равномерно рассредоточивался по объёму ковша. При этом на срезе сопла формируется турбулентная сильно закрученная газовая струя с большим углом раскрытия, максимально рассредоточенная по объёму ковша. Площадь межфазной поверхности жидкость–газ, по сравнению с другими фурмами, резко увеличивается, а скорость распространения ультразвуковой волны, соответственно, уменьшается. При этом концентрация газовой фазы в жидкости во всех точках замера почти одинакова, т. е. газ равномерно рассредоточен по объёму ковша.

Данный вывод был сделан по результатам расчёта скорости УЗК, которая слабо изменялась по сечению ванны. Для этой фурмы характерны большая дальнобойность в горизонтальном направлении и более равномерное распределение пузырей по объёму ванны, что создает более благоприятные условия для развития массо- и теплообменных процессов, происходящих на границе раздела фаз. Однако на дне ковша была выявлена застойная зона, в которой скорость распространения УЗК максимальна. По результатам экспериментов была скорректирована глубина погружения фурмы в ковш с целью усиления перемешивания металла в подфурменной зоне. При этом для данной фурмы не замечено возникновение режима пробоя ванны, при котором наблюдается канальный ход газа, приводящий к большим выбросам и потерям металла на практике.

Хорошие данные получены для фурмы с шагом спирали, равным 3.

Однако меньший угол раскрытия струи не позволяет максимально рассредоточить газовый поток по объёму ковша, поэтому для этой фурмы наблюдается возрастание скорости прохождения УЗК от центра ковша, где концентрация газа выше, к его периферии.

Ультразвуковой метод измерения концентрации газа в жидкости прост в применении и дает возможность оценки гидродинамической обстановки ванны и позволяет прогнозировать процесс продувки металла газом на практике.

УДК 621.74.046
ЛИТЕЙНО-SHS-ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ
ИЗНОСОСТОЙКИХ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

О. А. ПЕЛИКАН, Д. В. ГЛУШКОВ, Е. А. РЕЙНТАЛЬ,
В. П. ЛИХОШВА, Л. М. КЛИМЕНКО

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины
Киев, Украина

В настоящее время в ряде отраслей промышленности (авиационной, металлургической, горнодобывающей, строительной и др.) существует огромная потребность в тонкостенных (толщина подложки до 5 мм) биметаллических пластинах «низкоуглеродистая сталь – износостойкий сплав». Получение таких изделий традиционными методами весьма затруднительно, что связано со сложностью обеспечения равномерного нагрева тонколистовой заготовки, ее деформацией в разогретом до высоких температур состоянии при перемещении в литейную форму, а также высокой скоростью охлаждения заготовки вследствие большой поверхности теплоотдачи при малом теплосодержании.

Наиболее перспективным направлением решения данной проблемы является использование тепла экзотермической SHS-реакции. Это позволяет осуществить равномерный нагрев твердой тонколистовой подложки до заданной температуры без ее деформации непосредственно в литейной форме.

В результате проведенных исследований определены основные технологические параметры, оказывающие влияние на процесс нагрева твердой подложки теплом экзотермической реакции: масса, степень уплотнения, состав экзотермической смеси, величина воздушного зазора между смесью и подложкой.

На основе результатов математического моделирования температурного поля металлической подложки, нагреваемой теплом экзотермической SHS-реакции, определены эффекты неравномерности ее пространственного нагрева, получены температурно-временные зависимости, необходимые для разработки технологического процесса изготовления тонкостенных биметаллических изделий.

Оптимизация технологических параметров нагрева тонкостенной металлической подложки неразрывно связана с управлением тепловыделением при стационарном SHS-процессе. Для этого необходимо определить способы влияния на такие параметры, как: количество тепловой энергии, выделяемой одним граммом экзотермической смеси; скорость распространения волны горения; площадь поверхности волны горения; молярная масса веществ, участвующих в реакции взаимодействия.

Волна горения имеет определенную протяженность и состоит из ряда зон: зона прогрева, зона реакции, зона догорания и зона вторичных физико-химических превращений, определяющих состав и структуру конечных продуктов.

На основании представления о равномерности скорости основных зон волны горения в стационарном режиме в привязке к технологическому процессу получения биметаллического литья литейно-SHS-методом экспериментально определена скорость волны горения для реакции ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{Al}$). Установлено, что энергоотдача и темп выделения энергии реакции ($3\text{TiO}_2 + 6\text{Al}$), по сравнению с предыдущей, значительно ниже. Однако данная реакция может протекать совместно с реакцией ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{Al}$) в одном реакторе, не нарушая протекание процесса обеих реакций, а только снижая общий темп выделения энергии. Следовательно, открывается возможность совместного использования этих реакций для поиска механизма управления скоростью течения реакции и темпом выделения тепловой энергии.

Таким образом, оптимизацию нагрева металлической подложки теплом реакции твердофазного горения при SHS-литейном процессе получения плоских биметаллических изделий необходимо проводить на основе: подбора соотношений компонентов химической реакции или несколько совместно протекающих реакций, обеспечивающих необходимую скорость волны горения и темп выделения тепловой энергии; учета объемных изменений компонентов реакции и воздуха в процессе химической реакции; выбора геометрии и объема камеры горения при разработке реактора СВС; механизма управления плотностью исходных компонентов реакции.

Определен способ инициализации химической реакции для стабильного развития и дальнейшего ее протекания в условиях стационарного процесса, а также места поджога и направление движения волны горения.

На основании обобщенных результатов выполненных исследований разработаны технологическая схема и рациональные режимы процесса получения тонкостенных биметаллических изделий литейно-SHS-методом. Установлено, что оптимальная температура нагрева стальной подложки составляет $(0,7...0,8)T_{\text{с.ст.}}$. Для обеспечения указанной температуры масса экзотермической смеси должна составлять $0,8...1,2$ массы подложки. Определено, что оптимальная температура заливки расплава износостойкого чугуна на разогретую подложку составляет $(1,09...1,12)T_{\text{л.чуг.}}$.

Разработаны технические рекомендации по использованию литейно-SHS-технологии в различных отраслях промышленности.

УДК 621.74.04

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПРОЧНОСТЬ
И ТВЕРДОСТЬ ЧУГУНА ИЧХ18ВМ

В. А. ПУМПУР, П. Ю. ДУВАЛОВ, В. М. АНДРИЕНКО

Институт технологии металлов НАН Беларуси
Могилев, Беларусь

Одним из важнейших факторов повышения срока службы деталей из износостойких высокохромистых чугунов (ИЧХ) является их термическая обработка. Существует мнение, что в высокохромистых чугунах, содержащих 3,5...3,6 % углерода, при кристаллизации выпадают крупные заэвтектические карбиды, которые сравнительно легко выкрашиваются при работе. Такие чугуны при закалке в масле дают трещины, а при охлаждении на воздухе их механические свойства повышаются незначительно. Поэтому для повышения механических свойств в них вводят элементы, способствующие переохлаждению аустенита, такие как никель, молибден, марганец и др. Кроме того, известно, что улучшению механических свойств чугуна способствуют такие способы его термической обработки, как закалка, отпуск.

Цель исследований – выбор состава сплава ИЧХ18ВМ на основе оценки влияния легирующих элементов Ni, Mo, Mn, для проведения дальнейших исследований влияния различных способов термической обработки на износостойкость сплава.

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований прочности образцов при изгибе и их твердости по Роквеллу. Образцы получены из сплава ИЧХ18ВМ с разным содержанием никеля, молибдена и марганца литьем в комбинированную форму. В ходе исследований сравнивались по прочности и твердости образцы литые и термически обработанные двумя способами:

- 1) закалка: нагрев до температуры 860 °С – охлаждение на воздухе;
- 2) закалка и отпуск: нагрев до температуры 200 °С – остывание с печью.

На основе регрессионной обработки результатов экспериментов построены полиномиальные зависимости, отражающие влияние процентного содержания Ni (рис. 1), Mo (рис. 2) и Mn (рис. 3) на прочность при изгибе и твердость исследуемых образцов.

Из результатов исследований, к примеру, следует, что для литых образцов наибольшая прочность на изгиб (84,3 кг/мм²) достигается при легировании Mn в количестве от 0,4 до 0,6 % (см. рис. 3), твердость такого сплава равна 55 HRC. Наибольшую твердость имеет сплав, легированный Mo в количестве до 0,3 % (см. рис. 2). При этом прочность на изгиб сплава составляет от 63,9 до 68,6 кг/мм².

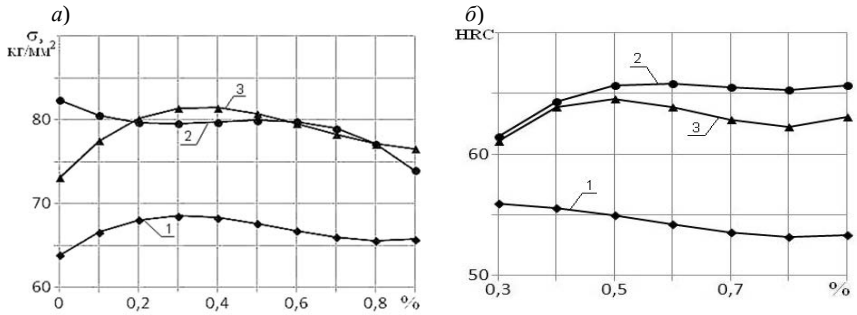


Рис. 1. Влияние процентного содержания Ni на прочность при изгибе (а) и твердость (б) литых (1), закаленных (2) и закалено-отпущенных (3) образцов из ИЧХ18ВМ

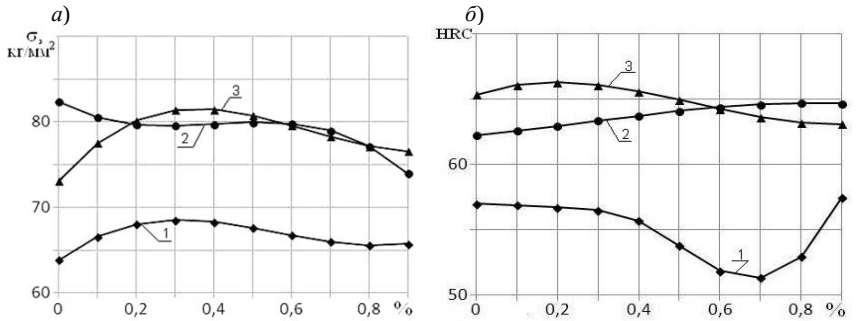


Рис. 2. Влияние процентного содержания Mo на прочность при изгибе (а) и твердость (б) литых (1), закаленных (2) и закалено-отпущенных (3) образцов из ИЧХ18ВМ

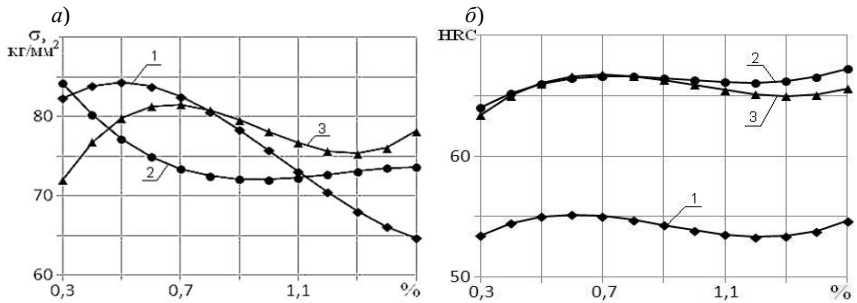


Рис. 3. Влияние процентного содержания Mn на прочность при изгибе (а) и твердость (б) литых (1), закаленных (2) и закалено-отпущенных (3) образцов из ИЧХ18ВМ

УДК 678.86

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ
ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ГРАФЕНАВ. В. РУБАНИК, И. С. КРИТЧЕНКОВ,
В. О. САВИЦКИЙ, В. В. РУБАНИК мл.Институт технической акустики НАН Беларуси
Витебск, БеларусьPHUONG DOAN THANG, BUI HUNG THANG
Institute materials science vast
Ha Noi, Vietnam

В настоящее время графен рассматривается как перспективный материал для электроники, медицины, автомобилестроения и др. Существует достаточно много способов получения графеновых частиц, среди которых можно выделить микромеханическое расслаивание графита, расслаивание графита с использованием химических методов и расслаивание графита в жидкой фазе [1, 2].

Целью данной работы является получение графеновых частиц в водной среде в присутствии ПАВ с помощью ультразвуковой обработки (УЗО).

Для приготовления суспензии графита использовали 900 мг графита, который помещали в 150 мл воды с 1,5 мл ПАВ с кондиционирующими добавками (рис. 1, а). УЗО проводили с помощью ультразвукового генератора УЗДН 2Т мощностью 0,4 кВт и частотой 22 кГц в течение 2, 4 и 6 ч в кавитационном режиме.

а)



б)



Рис. 1. Приготовленная суспензия графита (а) и образцы высушенных суспензий графита после УЗО (б)

Образцы высушенных суспензий (рис. 1, б) с фиксированной концентрацией графита были исследованы методом рентгеновского дифракционного анализа на дифрактометре ДРОН-2, оборудованном рентгеновской трубкой с железным анодом.

Установлено, что исходный графит имел интенсивный пик в области $2\theta \approx 33,8^\circ$. В процессе УЗО интенсивность этого пика уменьшалась по мере снижения концентрации графита в суспензии и роста концентрации графеновых частиц. Поскольку однослойным графеновым частицам не может принадлежать рефлекс 002, интенсивность исходной линии уменьшалась [3] (рис. 2) в зависимости от времени ультразвуковой обработки.

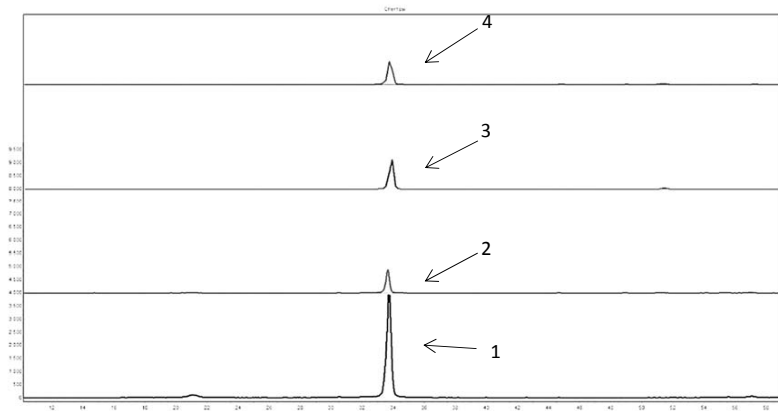


Рис. 2. Зависимость интенсивности линии 002 от времени УЗО: 1 – исходный графит, после УЗО в течение: 2 – 2 ч, 3 – 4 ч, 4 – 6 ч

Таким образом, разработанная методика позволяет получать графен при воздействии ультразвуковых колебаний на суспензии графита. Экспериментальные результаты показали, что количество полученного графена при данных режимах УЗО с увеличением времени более 2 ч практически не изменяется.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ (проект № Т19В-009).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. A roadmap for graphene / K. S. Novoselov [et al.] // Nature. – 2012. – Vol. 490, № 7419. – P. 192–200.
2. **Soldano, C.** Production, properties and potential of graphene / C. Soldano, A. Mahmood, E. Dujardin // Carbon. – 2010. – Vol. 48, № 8. – P. 2127–2150.
3. Получение водных суспензий графена под воздействием ультразвука в присутствии фторсодержащих ПАВ / В. М. Самойлов [и др.] // Неорганические материалы. – 2015. – Т. 51, № 2. – С. 137–145.

УДК 620.19:669.295'24:62-427
ПОЛУЧЕНИЕ TiNi-ПОКРЫТИЙ ГИПЕРЗВУКОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИЕЙ

В. В. РУБАНИК мл., М. С. ЛОМАЧ, В. В. РУБАНИК

Институт технической акустики НАН Беларуси

Витебск, Беларусь

М. А. БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ

Объединённый институт машиностроения НАН Беларуси

Минск, Беларусь

Одним из перспективных направлений применения метода гиперзвуковой металлизации (ГМ) является получение коррозионностойких покрытий, обладающих адаптивными свойствами к окружающей среде. К таким относятся и покрытия на основе сплава TiNi, обладающего эффектом памяти формы [1, 2].

Толщина полученного покрытия составляет от 500 до 900 мкм (рис.1). Размер частиц напыляемого покрытия, зависящий в основном от распыляемого материала, в случае TiNi составляет от 5 до 25 мкм. Покрытие образовалось за счёт распыления материала расплавленных в электрической дуге проволок, формирования частиц в условиях их интенсивного взаимодействия с распыляющим факелом, а также последующей укладки расплавленных капель в слой. При этом, поскольку в слое протекают процессы быстрой кристаллизации, деформации и отпуска, структурное состояние и свойства покрытий сложным образом зависят от сочетания параметров процесса ГМ. Кроме того, появляются оксиды, а часть элементов может выгорать.

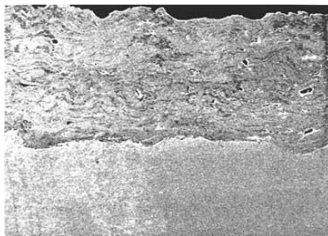


Рис. 1. Микроструктура покрытия из сплава $Ti_{49,6}Ni_{50,4}$

Покрытия, сформированные данным способом, характеризуются высокой прочностью сцепления с подложкой, т. к. поры и несплошности полностью отсутствуют на границе раздела покрытие–основа. По сечению покрытия наблюдается незначительная пористость.

Измерения микротвёрдости полученных покрытий увеличиваются, по сравнению с основой, с 0,50 до 2,5 ГПа. Микротвёрдость покрытия по мере

удаления от поверхности раздела увеличивается с 4,5 до 6,0 ГПа. Это связано с тем, что процесс напыления шел в три этапа и на первом этапе температура составляла 150 °С, что привело к отпуску первого слоя материала. Твердость напыленного слоя после отжига при 500 °С составляет 7,0...8,0 ГПа (рис. 2) [3].

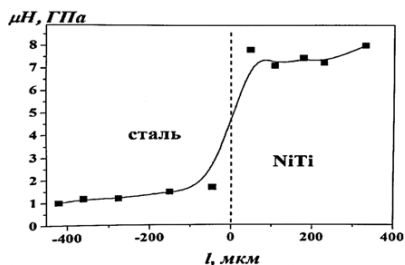


Рис. 2. Микротвердость вблизи границы раздела основа/покрытие после отжига 500 °С в течение 120 мин

Экспериментально установлено, что сформированные покрытия методом гиперзвуковой металлизации из проволоки сплава $Ti_{49,6}Ni_{50,4}$ покрытия толщиной порядка 500 мкм имеют преимущественно B19' структуру, характерную для мартенситного состояния никелида титана. Выявлено, что термообработка при 500 °С в течение двух часов изменяет фазовый состав покрытий и обеспечивает повышение их твёрдости от 6 до 8 ГПа. Высокие значения микротвёрдости полученных из проволоки $Ti_{49,6}Ni_{50,4}$ покрытий позволяют рекомендовать их не только в качестве коррозионностойких, но и упрочняющих [4].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бледнова, Ж. М. Перспективы использования материалов с памятью формы для формирования многофункциональных покрытий на изделиях машиностроительного назначения / Ж. М. Бледнова, Н. А. Махутов, П. О. Русинов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2013. – Т. 79, № 11. – С. 49–56.
2. Corrosion behavior of thermal sprayed nitinol coatings / J. M. Guilemany [et al.] // Corrosion Science. – 2009. – Vol. 5, iss. 1. – P. 171–180.
3. Rubanik, V.V. Microstructure and microhardness of wire flame spraying nitinol coating / V. V. Rubanik, M. Belotserkovsky, V. V. Rubanik Jr. // Shape memory and superelastic technologies (SMST – 2013): Proceedings, Prague, Czech Republic, 20–24 May 2013. – P. 364–365.
4. Рубаник, В. В. Теоретические и технологические основы высокоэнергетической обработки материалов с памятью формы: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.07 / В. В. Рубаник. – Минск, 2017. – 420 л.

УДК 620.169.1:620.178.4

МЕТОДИКА СРАВНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ
ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ НАДЕЖНОСТИ

В. А. ТАТАРИНЦЕВ, А. К. ТОЛСТОШЕЕВ

Брянский государственный технический университет
Брянск, Россия

На этапе технического проектирования при выборе материала, вида и режима термической обработки деталей возникает потребность в сравнительной оценке вариантов по характеристикам надежности – долговечности и вероятности возможных отказов. Непосредственная оценка влияния выбора материала и его термообработки на характеристики надежности (долговечности и вероятности разрушения) конкретной детали по результатам сравнительных натурных испытаний затруднительна либо из-за отсутствия соответствующего испытательного оборудования, позволяющего производить испытания при нагружении, близком к эксплуатационному, либо по экономическим соображениям, не дающим возможность поставить на испытания достаточное количество натурных деталей. Расчетные оценки ресурса и вероятности разрушения не всегда дают удовлетворительную точность. В ряде случаев расчетные сравнительные оценки, например для различных видов термообработки одного и того же материала, носят противоречивый характер. Поэтому представляет интерес использование для оценки материалов сравнительных испытаний материалов при программном нагружении. Составление режимов нагружения при усталостных испытаниях образцов основывается на допущении об одинаковой повреждаемости материала в детали при действии эксплуатационного нагружения и в образце от программного блока нагружения, реализованного на стенде [3]. Равенство накопленной повреждаемости материала в образце и детали обеспечивается в соответствии с линейной гипотезой суммирования усталостных повреждений путем преобразования режима нагруженности детали в блок программного усталостного нагружения образца за счет изменения амплитуд напряжений ступеней блока или числа циклов их действия. Неоднозначность применения линейной гипотезой суммирования усталостных повреждений для циклически упрочняющихся и циклически разупрочняющихся сталей не позволяет гарантировать совпадение долговечностей при эксплуатационных и программных режимах нагружения.

Нередки случаи, когда для конкретной детали имеются данные об эксплуатационных отказах при каком-то одном из вариантов материала. Принимая такой вариант за базовый, можно построить по [1] программный блок нагружения лабораторного образца из того же материала. Сравнивая

функции распределения усталостной долговечности лабораторных образцов и эксплуатируемых деталей, можно выполнить корректировку режима блочного нагружения для конкретной детали путем пропорционального повышения или понижения уровня напряжений при сохранении числа циклов их действия [2]. Параметры идентифицированного таким образом блока нагружения сохраняют постоянными для всех исследуемых вариантов материалов. По полученным результатам блочных испытаний строили кривые распределения циклической долговечности образцов, сопоставление которых дает информацию для сравнительной оценки эффективности применения того или иного материала и вида термической обработки с учетом влияния особенностей режима нагружения на механизм процесса накопления повреждений в металле.

Данная методика была реализована для сравнительной оценки различных вариантов материалов при модернизации корпуса автосцепки грузового вагона. Сравнивали восемь вариантов сталей [2]. По результатам испытаний получена сравнительная оценка легирования и режимов термической обработки на долговечность и вероятность усталостного разрушения корпуса автосцепки (рис. 1).

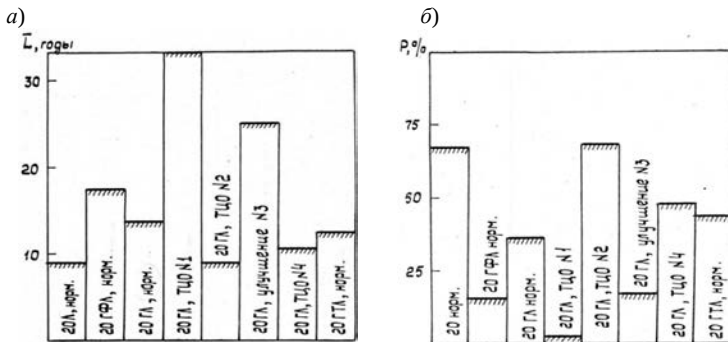


Рис. 1. Оценка средней долговечности (а) и вероятности образования усталостной трещины при наработке 10 лет для корпуса автосцепки (б)

Установлено, что применение термоциклической обработки (ТЦО) по режиму № 1 для корпуса из стали 20ГЛ повышает среднюю долговечность в 3,66 раза, вероятность появления трещины за 10 лет эксплуатации снижается в 73,7 раза по сравнению со сталью 20Л. Также эффективной термической обработкой является термоулучшение (режим 3), приводящее к повышению средней долговечности корпуса в 2,73 раза по сравнению с нормализованной сталью 20Л.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гарф, М. Э.** Испытания на усталость применительно к задачам оптимизации конструкций / М. Э. Гарф. – Киев: Наукова думка, 1984. – 175 с.
2. **Татаринцев, В. А.** Влияние микроструктуры на статическую и циклическую прочность литых сталей для несущих деталей вагонов / В. А. Татаринцев, А. К. Толстошеев, П. А. Гришанов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2017. – № 12. – С. 20–25.
3. **Tatarintsev, V. A.** Microstructure influence on resistance to rupture of low-alloyed steels / V. A. Tatarintsev // The Physics of Metals and Metallography. – 1992. – № 5. – P. 77–87.

УДК 621.791.725; 621.74.04

ЛАЗЕРНО-ЛИТЕЙНЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ
ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. Н. ТИМОШЕНКО, В. П. ЛИХОШВА, М. И. ГОЛУБЧИК

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины
Киев, Украина

На современном этапе развития науки и техники возникла необходимость в новых нетрадиционных материалах с повышенными трибологическими и физико-механическими свойствами и в создании на их основе технологий производства деталей и машин. Совершенствование технологических процессов получения литых дисперсно-упрочненных композиционных материалов (КМ) – одно из важнейших условий промышленного производства. Актуальной проблемой при этом является разработка современных высокоэффективных способов получения КМ как на основе традиционных литейных технологий (пропитки, осаждения), так и принципиально новых схем с использованием концентрированных источников энергии, например, лазерного излучения. Вместе с тем наиболее перспективное направление – разработка новых гибридных методов получения КМ, которые позволяют управлять комплексом тепловых, гидро- и газодинамических параметров процесса получения КМ, а значит, и физико-механическими характеристиками нового материала, а также реализовать непрерывные технологические процессы.

С этой целью создан лазерно-литейный метод непрерывного формирования суспензионного расплава с последующим получением композиционного материала. Разработана технологическая схема, которая предусматривает подготовку расплава в индукционной печи, его подачу в реактор смешения при одновременном введении в расплав частиц, которые

подвергаются лазерной обработке в газолазерном потоке.

Для гибридного лазерно-литейного метода разработаны конструкции фурм, которые отличаются условиями лазерной обработки частиц (на выходе из фурмы или в самой фурме) и формированием газопорошкового потока (степенью рассеяния частиц по поверхности газовой каверны и размерами самой каверны).

Предложены и реализованы конструкции реакторов смешения, где происходит непрерывное формирование металлической суспензии, которые отличаются:

- наложением механического вращения на реактор смешения с возможностью управления количеством вводимых частиц в расплав и интенсивностью их замешивания (принудительное перемешивание расплава);

- образованием вихревого движения расплава в результате управления гидродинамикой потока и уменьшением объема расплава в реакторе (вынужденное перемешивание расплава);

- обработкой подвижной струи расплава.

Постоянство температуры в реакторе обеспечивается термостатированием.

Для реализации управления скоростью охлаждения расплава рассмотрены различные способы его затвердевания: в кокиле, на металлическом барабане или в песчаной форме.

Экспериментальная апробация подтвердила эффективность применения лазерно-литейного метода для получения дисперсно-упрочненного композиционного материала на основе алюминиевых и медных сплавов.

Разработанный лазерно-литейный метод открывает возможности получения пористого материала с равномерно распределенной пористостью в матрице алюминиевого сплава. Исследовано влияние способа затвердевания расплава на количество и размеры пор, что позволило управлять плотностью получаемого пористого материала в зависимости от скорости кристаллизации.

УДК 53.49.00
ОСОБЕННОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ
ПОКРЫТИЙ ИЗ МЕХАНИЧЕСКИ ЛЕГИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ

А. С. ФЕДОСЕНКО, Ф. Г. ЛОВШЕНКО
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Прочность является одной из важнейших характеристик материала, оказывающих влияние на его работоспособность, в связи с чем создание высокопрочных материалов считается многозначащей стратегической задачей современного материаловедения. Большое влияние на данную характеристику оказывает размер зерна, с уменьшением которого повышается прочность, твердость, вязкость. На практике величину зерна изменяют посредством легирования сплавов, управлением процессами кристаллизации и охлаждения, вводят модифицирующие добавки и т. д.

Как известно, порошки, полученные по технологии реакционного механического легирования, отличаются субмикро-/микроструктурным типом структуры. Их неотъемлемой составляющей являются наноразмерные упрочняющие фазы в виде интерметаллидов, оксидов, карбидов, боридов и т. д., как правило, синтезируемые в процессе реакционного механического легирования и определяющие комплексное упрочнение материалов.

В ходе выполнения исследований было установлено, что структура плазменных покрытий, формируемых из механически легированных порошков, существенно отличается от структуры покрытий, полученных напылением промышленно выпускаемых аналогов. Формируемые из разработанных порошков слои имеют микроскопический тип структуры с размером зерна не более одного микрометра. В свою очередь, зерна состоят из блоков величиной до 100 мкм.

Исходя из этого следует, что синтезируемые в процессе реакционного механического легирования термодинамически стабильные соединения, помимо роли упрочняющих фаз, дополнительно выполняют функцию модификаторов, обеспечивая наследственность мелкозернистой структуры, характерной для порошков, даже после кратковременного нагрева до температуры выше температуры плавления. Этим, вероятно, определяется и повышенная до 40 % твердость покрытий из синтезируемых порошков по сравнению с твердостью покрытий из серийно выпускаемых материалов.

УДК 621.375.826

ЛИТЕЙНО-ЛАЗЕРНОЕ ЖИДКОФАЗНОЕ СОЕДИНЕНИЕ КАК МЕТОД ПРОИЗВОДСТВА СЛОИСТЫХ КОМПОЗИТОВ

А. П. ШАТРАВА, В. П. ЛИХОШВА

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины
Киев, Украина

В современном производстве применение того или иного способа получения слоистых композиционных материалов обуславливается свойствами исходных материалов, формой изготавливаемой металлопродукции, условиями ее эксплуатации и методами обработки изделий.

Классифицировать способы изготовления слоистых композитов можно исходя из характера протекания процессов на границе соединения составляющих: металлургический, диффузионный или адгезионный. Наиболее прочное соединение происходит в условиях металлургических процессов. Однако величина переходного слоя (слоя соединения) должна быть как можно уже, т. к. в противном случае перемешивание составляющих (особенно разнородных) приводит к ухудшению качества применяемых исходных материалов и, как следствие, качества изделия в целом. Решению данной проблемы способствует использование концентрированного источника локального нагрева – лазерного излучения.

В работе применены литейные методы подготовки и подачи заливочных материалов в зону обработки поверхности основы концентрированным лазерным излучением, что позволило создать новый литейно-лазерный метод производства слоистых изделий (композитов).

Исходя из особенностей данного технологического процесса, в работе принимались следующие значения основных параметров: мощность излучения $P = 500...900$ Вт; диаметр пятна фокусирования $d_n = 0,2...0,5$ см; скорость движения луча $V = 1...1,2$ см/с; материалы основы – стали марок Ст 3, 25, 30; заливочные материалы – чугуны марок СЧ25, СЧ30, ЧХ16, бронзы ОЦС, алюминиевые сплавы АК7, АК9.

Данный метод позволяет получать слоистые изделия, состоящие из железоуглеродистых, медных и алюминиевых сплавов. При этом для дальнейшего повышения физико-механических характеристик рабочих слоев целесообразно использование дополнительной термической обработки. Например, твердость серых и хромистых чугунов после термообработки составляет 50...62 HRC.

При заливке хромистого чугуна на сталь в узком (до 25 мкм) слое происходит образование металлургического соединения исходного и залитого слоев, а также диффузия хрома из чугуна в сталь при их соединении.

При заливке бронзы БрО5Ц5С5 на поверхность заготовки из стали

марки Ст 3 получены биметаллические образцы с плотным и узким слоем соединением по линии контакта. Структура залитого слоя бронзы аналогична структуре в литом состоянии, при этом происходит ее диспергирование в результате повышенной скорости охлаждения при затвердевании. Твердость бронзы и стали не претерпевает изменений.

Переходной слой между залитым алюминиевым сплавом и сталью плотный, но неравномерный (от 7 до 21 мкм). Что, очевидно, связано с наличием тугоплавкой окисной пленки на поверхности расплава АК7, которая препятствует формированию диффузионного соединения этих сплавов.

Выводы

1. Предложен новый метод литейно-лазерного жидкофазного соединения разнородных материалов для получения слоистых композитов.

2. Литейно-лазерный метод производства слоистых композитов позволяет качественно соединять не только традиционные железоуглеродистые, но и цветные сплавы (сталь – бронза, сталь – алюминий).

3. Установлено, что данный метод производства позволяет увеличить ресурс эксплуатации деталей машин в 2,5...6,0 раза по сравнению с серийными изделиями и уменьшить на 70...80 % расходы на покупку дорогостоящих высоколегированных материалов.

УДК 621.74.046:669.14

ЗАТВЕРДЖЕННЯ БІМЕТАЛІЧЕСЬКОЇ ПОЛОСИ В КРИСТАЛІЗАТОРІ ПРИ ЛІТЕЙНО-ПЛАЗМЕННОМУ МЕТОДІ

А. В. ШМАТКО, В. П. ЛИХОШВА, Л. М. КЛИМЕНКО

**Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України
Київ, Україна**

Згідно [1], третя світових енергетических витрат припадає на заміну, ремонт і відновлення зношених деталей, причому половина всіх втрат припадає на процеси, пов'язані з абразивним зносом. В частині, актуальною є проблема збільшення терміну експлуатації машин і механізмів гірничодобувної, металургічної і будівельної промисловості.

Неперервний литейно-плазменний метод отримання биметалічних конструкцій [2] дозволяє отримувати прості вироби типу «полоса биметалічна», яка використовується для зносостійкого посилення ковша гірничодобувної і землерийної техніки, кузовів самосвалів,

засыпных бункеров и пр. Суть метода заключается в получении биметаллического изделия путем заливки расплава на предварительно разогретую плазменным тепловым источником стальную заготовку с последующим охлаждением данной конструкции в кристаллизаторе. Характер затвердевания расплава в кристаллизаторе непосредственно влияет на качество выпускаемого изделия.

Было осуществлено численное моделирование охлаждения расплава с целью определения фронта кристаллизации, выбора оптимальных скоростей подачи полосы и соответствующего массового расхода расплава, которые определяют общую скорость проведения процесса.

Выявлено, что для скоростей подачи заготовки 2...8 мм/с характерно полное охлаждение подаваемого расплава до температур ниже линии солидус. Форма и размеры жидкой лунки и небольшой объем жидкофазной области способствуют снижению риска образования усадочных дефектов. Чем меньше длина жидкой лунки, тем меньше вероятность появления в изделии усадочной пористости и усадочных раковин. На рис. 1 приведены значения жидкой фазы в продольном сечении, которые дают представление о фронте кристаллизации для скоростей до 8 мм/с. Поскольку важным фактором в условиях промышленного применения является производительность, то при выборе оптимальной скорости предпочтительны результаты, полученные при $V_{cast} \approx 8$ мм/с.

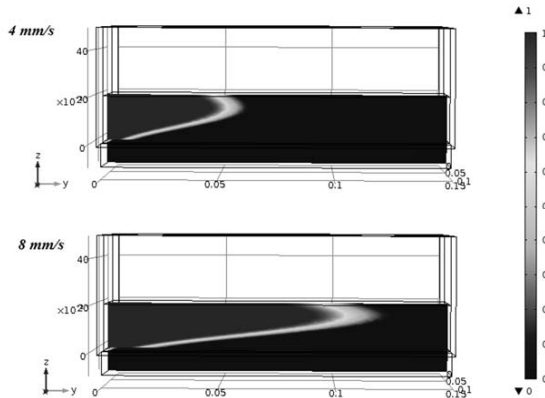


Рис. 1. Объемная доля жидкой фазы в продольном сечении для скоростей подачи заготовки 4 и 8 мм/с соответственно

При дальнейшем увеличении скорости подачи полосы и, как следствие, скорости движения расплава в кристаллизаторе наблюдается неполное затвердевание чугунного слоя на момент выхода из кристаллизатора. Причем чем больше скорость, тем больше доля жидкой и жидко-твердой

фазы в объеме, что в свою очередь может привести к прорыву металла и появлению усадочных дефектов из-за невозможности компенсации усадки жидким металлом. Таким образом, скорости $V_{cast} > 10$ мм/с являются неудовлетворительными при длине кристаллизатора 150 мм.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Брыков, М. Н.** Износостойкость сталей и чугунов при абразивном изнашивании / М. Н. Брыков, В. Г. Ефременко, А. В. Ефременко. – Херсон: Гринь Д.С., 2014. – 364 с.

2. Спосіб одержання зносостійких багатошарових металевих виливків: пат. UA № 54486 / В. П. Лихошва, В. Л. Найдек, П. М. Каричковський, О. А. Пелікан, Д. В. Глушков, Р. С. Надашкевич. – Оубл. 10.11.2010.

УДК 621.791

ПОДГОТОВКА ИЗДЕЛИЙ ИЗ СЕРОГО ЧУГУНА ДЛЯ СВАРКИ ТРЕНИЕМ

Д. И. ЯКУБОВИЧ, И. А. ЛИСОВАЯ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Одной из основных трудностей сварки трением серого чугуна является наличие в его структуре большого количества углерода, который находится главным образом в форме пластинчатого графита с объемным расположением в матрице. При сварке трением наличие графитовых включений приводит к тому, что в стадии нагрева на торцах свариваемых изделий графит не успевает полностью выгореть или перейти в другое фазовое состояние. В результате образуется пленка из графита, которая играет роль смазывающего материала и уменьшает интенсивность нагрева изделия. На стадии проковки данная пленка не вытиснится из зоны соединения металла и оказывает негативное влияние на образование общих межатоомных связей в сварном шве.

Проведенные исследования по сварке трением на образцах из СЧ20 имели прочность не более 0,2 МПа, что говорит об отсутствии устойчивого процесса получения неразъемного соединения.

Для повышения прочностных характеристик сварных соединений предложено провести диффузионное хромирование кромок изделия с целью образования между оксидом хрома и углеродом твердого раствора хрома в α -железе и карбидной фазы.

Диффузионное хромирование кромок изделия проводили в стальном контейнере в засыпке порошком оксида хрома Cr_2O_3 при температурах 1000...1100 °С в течение трех часов с последующим охлаждением на воздухе. После химико-термической обработки на поверхности изделия был обнаружен слой высокопрочного хромистого чугуна толщиной до 0,7...1 мм. Пластинчатый графит в данном слое отсутствовал. Исследования проводились на нетравленных микрошлифах с использованием оптического микроскопа Лабомет1 при увеличениях до $\times 600$.

Также было установлено, что глубина залегания хромированного слоя чугуна зависит от температуры нагрева и времени выдержки при данной температуре.

В результате работы были установлены причины снижения прочности сварного соединения и разработана технология подготовки изделий из серого чугуна для сварки трением, заключающаяся в диффузионном хромировании торцевых частей заготовок.

WEAR RESISTANCE OF HOT SWAGED AND HEAT TREATED TC21 TITANIUM ALLOY

KHALED M. IBRAHIM
Central metallurgical R&D Institute
Cairo, Egypt

Titanium alloys have been widely used for advanced structural materials in aerospace applications, petroleum sector and military applications. The properties of titanium alloys can be improved by producing ultrafine grained structure using mechanical deformation. In addition, mechanical surface treatments such as shot peening and ball-burnishing are also widely applied to enhance the mechanical properties of titanium alloys as well as other materials. These surface treatments lead to a characteristic surface roughness, increased near-surface dislocation density (cold work) and development of macroscopic residual stresses. Shot peening is frequently applied to improve the fatigue strength as well as wear resistance. Therefore, in research work a titanium alloy with a composition of Ti-6,55Al-3,41Mo-1,77Zr (wt., %) was cast into bars in a graphite mould using vacuum induction skull melting furnace (ISM). The cast bars were hot swaged at 700 °C to reduce the cast bar diameter from 25 mm to 8,5 mm. Two different regimes of heat treatment were applied on the swaged samples. The first treatment process was applied at 1050 °C (above β -transus) for 30 min and then water quenching for getting fine lamella structure. In the second treatment, a step treatment was used where the samples were firstly heated to 1050 °C for 30 min.

and then the furnace cooled to 800 °C with a cooling rate of 1 °C/min and hold for 30 min at 800 °C then water quenching for getting coarse lamella structure. Both solution treatments were followed by ageing process at 500 °C for 24 h. The grain size of the as-cast structure was estimated to be 660 μm and the swaged samples obtained a very fine grain size in the range of 50 μm , as shown in Fig. 1. The best combination of hardness, tensile properties, and wear resistance of the $\alpha + \beta$ titanium alloy was achieved by heat treating the samples at 1050 °C due to the obtained fine lamellar structure of $\alpha + \beta$. The minimum wear rate was reported for the heat-treated samples with fine lamellar structure and the maximum wear rate was obtained for as-cast samples due to its coarse and heterogeneity microstructure.

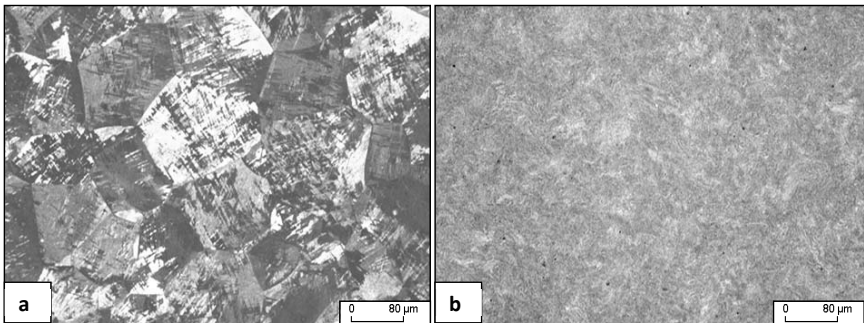


Fig. 1. Microstructure of the investigated TC21 titanium alloy: a – As-cast; b – Swaged

MICROSTRUCTURE MODIFICATION OF MG-AZ92 ALLOY USING A RARE EARTH OXIDE

M. E. MOUSSA¹, S. EL-HADAD¹, WALEED KHALIFA²

¹Department of Casting Technology Central Metallurgical Research and
Development Institute

Helwan, Egypt

²Cairo University, Faculty of Engineering
Giza, Egypt

Introduction

Magnesium alloys based on Mg-Al system (AZ and AM alloys) are currently receiving considerable attention. These alloys are characterized with their comprehensive properties, such as low density, high specific strength, high damping property, good electromagnetic shielding, excellent machinability and

good castability. However, the reduced strength of these Mg alloys acts as problem to exploiting their usage. Many research works aimed at improving the strength of these alloys via modifying their microstructures using chemical modifiers as Ca, Sr or by using rare earth elements such as Y, Eu and etc [1]. In the current investigation, a rare earth (RE) compound; Y_2O_3 , was used instead of the elemental Y and its effects on the microstructure modification was studied.

Experimental work

Charges of about 20 kg of commercial grade AZ92 alloy with a nominal composition (in wt. %) of Mg-8Al-2Zn-0.2Mn was prepared as the base alloy for this investigation. Commercial pure Mg was melted to above 650 °C and then Zn was added into the Mg melt. A gas mixture of tetrafluoroethane (CF_3CH_2F , HFC-134a, 1 vol %) and carbon dioxide (CO_2 , Bal.) was used for protection. After complete melting, the slag was removed then, a mechanical stirrer by using stainless steel stirrer was introduced into the crucible to create a vortex in the molten alloy at a speed of 600 rpm for 5 minutes. Nominal amounts of Y_2O_3 ranges from 0,0 to 2,5 wt. % were added into the melt vortex in the form of preformed master powder (Al-30 wt. % Y_2O_3). The melt was poured at about 750 °C into a cylindrical sodium silicate- CO_2 sand mould with dimensions of outer diameter ($\varnothing$ 100 mm), inner diameter ($\varnothing$ 42 mm) and length (250 mm). The samples were then cut and polished for microstructure observation and mechanical properties evaluation.

Results and discussion

The microstructure shown in fig. 1 indicates the structural modification of AZ92 samples using Y_2O_3 . It is clear that without Y_2O_3 addition, the microstructure is coarse dendritic structure. With addition of Y_2O_3 , the microstructure was gradually modified. Addition of 2,5 wt. % Y_2O_3 achieved the best combination of tensile strength and elongation, Fig. 2, due to the uniform distribution of Y_2O_3 along the grain boundaries of the investigated AZ92 magnesium alloy matrix.

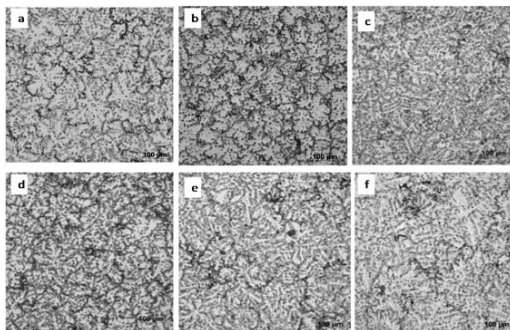


Fig. 1. Microstructure of AZ92: a – 0,0; b – 0,5; c – 1,0; d – 1,5; e – 2,0; f – 2,5 wt. % Y_2O_3

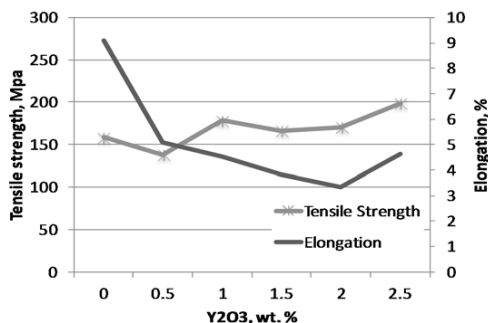


Fig. 2. Tensile properties of the different samples.

Conclusions

AZ92 Mg-alloy can be successfully modified by addition of 2.5wt. % Y₂O₃.

References: Fusheng Pan, Mingbo Yang, Xianhua Chen, J. Mater. Sci. Tech. – 2016. – № 32. – P. 1211–1221.

REPLACEMENT OF LOW CARBON COLD ROLLED STEEL SHEETS INSTEAD OF IF STEEL FOR EXTRA DEEP DRAWING USES

MAHA EL-MELIGY¹, TAHER EL-BITAR²

¹Associate Professor at Plastic Deformation Dept. in CMRDI
Egypt

²Professor at Plastic Deformation Dept. in CMRDI
Egypt

Heavy trucks, bulldozers and Excavators need oil filters having long depth with respect to the diameter. The Processing of that type of oil filters is considered sensitive as it contains extra deep drawing (EDD) process. Usually IF steel (0,004 % C) sheets are used for processing the extra deep drawing product.

The current research project aims at replacement of low price - low carbon steel sheet (0,05 % C) instead of high price IF steel sheets for processing extra deep drawing oil filters.

The project include a series of phases starting with compact slab processing (CSP) of low carbon steel, which can be directly forward to a tunnel furnace for temperature homogenization. Homogenized slabs are forward to rough rolling mill where the thickness is extensively reduced to suit finish rolling stands. A design of the finish rolling is essentially needed to create consecutive dynamic recrystallized ferrite grains. Finish hot rolled sheets are usually water quenched

on the run out table (ROT) before coiling. Water quenching secure creation of ultra fine ferrite grains.

Finish hot rolled sheets would be transferred to cold rolling mill to reach the final thickness. It is essentially to consider decrease of the amount of the thickness reduction from pass to the other to avoid edge cracking due to increase of strain hardening.

Final cold rolled sheets are subjected to process annealing cycle at a temperature near to Ac1. The project includes microscopic investigation and mechanical testing at the different project phases.

HOT ROLLED MARTENSITIC/BAINETIC STEEL SHEETS FOR ARMORING DIPLOMATIC AND CASH MONEY CARS

MAHA EL-MELIGY¹, TAHER EL-BITAR²

¹Associate Professor at Plastic Deformation Dept. in CMRDI
Egypt

²Professor at Plastic Deformation Dept. in CMRDI
Egypt

Armor steel is usually used in many military applications in addition to some civil useful uses. The civil applications and uses are including security regions and rooms in the country embassies, bullet proof doors. Furthermore, the armor steel sheet are used for diplomatic and cash money transfer cars.

Ballistic resistance is in direct connection with the ultra high strength and microstructure constituents of the steel sheets. These properties depend to a great extent on the deformation temperature, amount of strain and strain rate. Consequently, it is important to widely investigate the hot deformation cycles to optimize the deformation parameters that result in the desired microstructural constituents and mechanical properties.

The project aims at development of ultra high strength steel sheets, micro-alloyed with boron and suitable for armoring diplomatic and cash money transfer cars.

Generally, the project contains phases, which include preparation of the steel alloy followed by hot deformation (rough and finish hot flat rolling). Hot deformation shall consider a working window at the deformation map to avoid instability region during deformation. A numerical model and roll pass design would be previously constructed.

The finish hot rolled sheets would then subjected to a delay time in the region of bainite phase creation and finally to water cooling.

The different phases of the project include mechanical testing as well as microstructural investigations to assess the capability of the steel sheets to withstand the sudden impacts of bullets.

FLOW STRESS ANALYSIS OF HADFIELD STEEL AT HIGH STRAIN RATE

MAHMOUD KHEDR^{1, 2, 3}, WEI LI¹, NA MIN⁴, XUEJUN JIN^{1, 2}

¹Institute of Advanced Steels and Materials, School of Materials Science
and Engineering, Shanghai Jiao Tong University
Shanghai, China

²Collaborative Innovation Center for Advanced Ship and Deep-Sea
Exploration, Shanghai Jiao Tong University
Shanghai, China

³Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering
at Shoubra, Benha University
Cairo, Egypt

⁴Key laboratory for Microstructures, Shanghai University
Shanghai, China

The flow stress of Hadfield steel is affected by dynamic strain ageing (DSA), mechanical twinning, and forest hardening contributed by dislocation accumulations. In this study, austenitic Hadfield steel was tensile tested at a strain rate of 10^0 s^{-1} , and the twins characteristics and dislocation densities were estimated quantitatively at different strain levels. DSA was suppressed as a result of performing the tensile testing under high strain rate, so that its effect on the flow stress was neglected. The deformation twins were studied by the transmission electron microscopy. In addition, dislocation densities were estimated by analysing the X-ray diffraction patterns using Rietveld analyses carried out by the MAUD programme. It was found that during the initial stages of deformation, the mechanical twinning was more effective than the forest hardening because of the nucleation of twin boundaries. However, with increasing strain, the thicknesses of the twinned plates were increased, resulting in reduced contributions by the mechanical twinning to the flow stress of the Hadfield steel. Nevertheless, increasing of dislocation densities with increasing strain resulted in enhanced contributions by forest hardening to the flow stress.

INFLUENCE OF ALLOYING ELEMENTS ON THE MICROSTRUCTURE AND ELECTROCHEMICAL BEHAVIOUR OF CAST AL-ZN SACRIFICIAL ANODES

S. EL-HADAD, M. E. MOUSSA, M. WALY

Department of Casting Technology Central Metallurgical
Research and Development Institute
Helwan, Egypt

Introduction

Aluminium is known as an ideal material for sacrificial anodes used for cathodic protection in sea water. This is due to its low density and high current capacity (2980 Ah/kg) on one side and its low price on the other side. Aluminium is typically alloyed with other elements to encourage the breakdown of the oxide film and move the operating potential of the metal towards a more electronegative direction. These alloying additives are known as modifiers and depassivators. Elements as zinc, magnesium, barium and cadmium are considered modifiers, while indium, mercury and tin are used as depassivators [1]. In the current study, the influence of adding Sn and Mg on the microstructure and electrochemical properties of the Al – 5 wt. % Zn anode alloy was investigated.

Experimental work

Ingots of high purity Al and pure Zn were cut for melting. Afterwards, the charge of about 1,5 kg of each alloy was melted in a graphite crucible placed in an electric resistance furnace. The base composition of the investigated alloy was Al-5 wt. % Zn. Tin was added in amounts of (0,1...1,0) wt. % to produce modifications of the base alloy with Sn and magnesium was added with (0,5...2,0) wt. % to make another set of alloys based on Mg. Manual stirring was applied using a stainless steel rod for homogenization of the additives. The cast samples were sectioned transversely at 20 mm above the bottom of each casting and prepared for microstructure examination. A potentiostat was used for all the electrochemical measurements. The electrochemical cell was a three electrode assembly: Ag/AgCl reference electrode, a platinum electrode (cathode) and the working electrode (anode). A 3,5 % NaCl solution was prepared. Tafel curves along with resistance readings were plotted.

Results and discussion

The microstructure shown in fig. 1 indicates the structural changes of Al-Zn anodes with alloying additives. Tin was dispersed in the matrix and its distribution was found to be dependent on the amount of addition. It is clear that 0,5 wt. % Mg refined the microstructure of the alloy. Further addition caused grain coarsening. These results are expected to affect the corrosion behaviour of the different samples.

The electrochemical properties of the samples were summarized as shown in table 1. Addition of 0,1 % Sn decreased the corrosion rate due to its grain refining

effect, however increasing Sn addition increased the corrosion rate. On the other hand, Mg containing samples showed high corrosion rate which is considered an advantage considering the application of the alloy as sacrificial anodes.

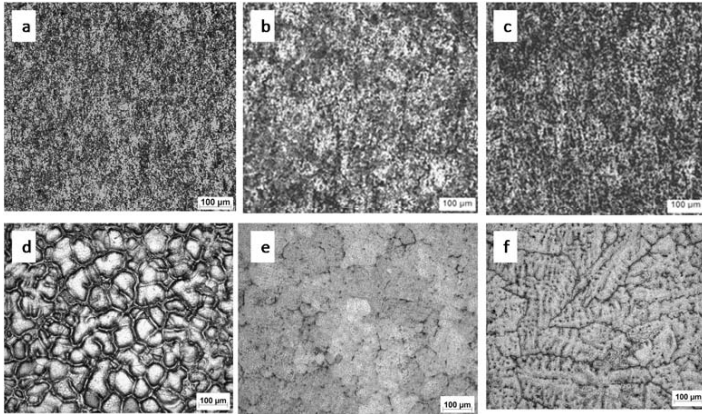


Fig. 1. Microstructure of: a – Al-5 Zn; b – 0,1 Sn; c – 1,0 Sn; d – 0,5 Mg; e – 1,0 Mg; f – 2,0 Mg

Table 1

Sample	5 Zn	0,1 Sn	0,6 Sn	1,0 Sn	0,5 Mg	1,0 Mg	2,0 Mg
Corr. rate, mpy	24,14	14,99	20,9	30,41	74,164	57,356	72,67

Conclusions

Addition of Sn or Mg to the standard Al-5 % Zn alloy can significantly alter its properties and hence its application as sacrificial anode.

REFERENCES

1. **Hollingsworth, E. H.** Corrosion of Aluminum and Aluminum Alloy / E. H. Hollingsworth, N. Y. Hunsicker // Metals Handbook. – 1987. – Vol. 13, Corrosion, 9th Ed., ASM International, Metals Park, Ohio. – P. 583.

Acknowledgments

The authors would like to acknowledge the financial support of the Science Technology and Development Fund-Egypt; grant No. 26565.

DEVELOPMENT OF A CREEP RESISTANCE EXHAUST VALVE SUITE FOR MARINE DIESEL ENGINES CONTAINING CR-MO

TAHER EL-BITAR¹, MAHA EL-MELIGY²

¹Professor at Plastic Deformation Dept. in CMRDI
Egypt

²Associate Professor at Plastic Deformation Dept. in CMRDI
Egypt

Exhaust valves of marine diesel engines are subjected to thermal yielding (working temperatures 380...400 °C) and mechanical yielding (running hours 8000...10000 hr). Both thermal and mechanical yielding are main sources for creep failure.

To enhance the capabilities of the exhaust valves to withstand the thermal and mechanical stresses, proper alloying elements should be added to the steel alloy. Furthermore, the valve design is of prime importance.

Both Cr and Mo are the main alloying elements in addition to Si, which is recently added to enhance the alloy capability. Chromium (Cr)-Molybdenum (Mo) steel alloys are usually used for high temperature applications, where Mo delays the creep rate and suppress the coagulation and coarsening of carbides under hot temperature conditions. On the other hand, Cr is added to the alloy to enhance oxidation resistance of steel. At the same time Cr creates good hardening ability and provides excellent working strength to the steel. The alloy designers add Si to secure a ferrite portion in the steel matrix to provide the alloy with some ductility for reducing brittle failure.

The project is dealing with alloy design and specs of the exhaust valve for marine diesel engines, which would lead to improvement of failure resistance at about 10000 hr running hours and an ambient temperature 400 °C.

The project contains multi-phases and steps starting with alloy preparation of 0,4 % C steel. The alloy additionally contains 10 % Cr, 2...3 % Si and 1...1,4 % Mo. The forging die for the primary valve shape would be designed and machined putting into consideration tolerances of shaping and machining. The alloy would be subjected to control hot forging by using the forging dies. Forged parts are then finally heat treated.

Laboratory and field testing would be executed on the alloy as well as on the designed valve.



ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ Национальной академии наук Беларуси

ИННОВАЦИОННЫЕ ЛИТЕЙНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ПРОИЗВОДСТВУ

Директор Института технологии металлов НАН Беларуси
А. М. Брановицкий, канд. техн. наук

*ул. Бялыницкого-Бирули, 11
212030, г. Могилев, Республика Беларусь
Факс (+375 222) 640149 Тел. (+375 222) 649327*

www.itm.by E-mail: info@itm.by



Приоритетные направления научной и научно-технической деятельности

Фундаментальные научные исследования:

- Теория, материалы, техника и технология литейных и металлургических процессов

Прикладные научные исследования:

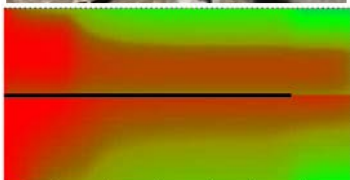
- Новые многофункциональные и специализированные материалы с особыми свойствами для использования в промышленности

Научно-техническая деятельность:

- Разработка ресурсо- и энергосберегающих технологий получения отливок из металлов и сплавов

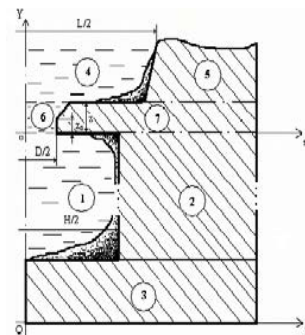
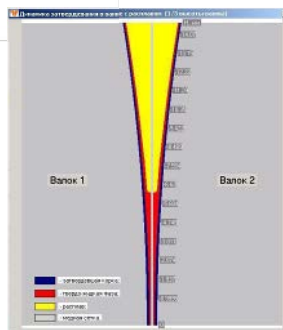
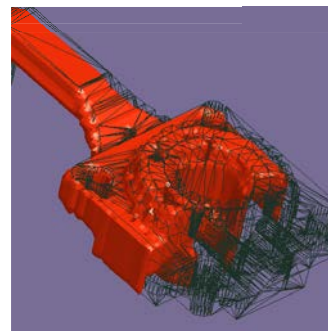
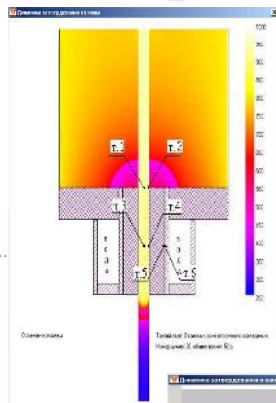
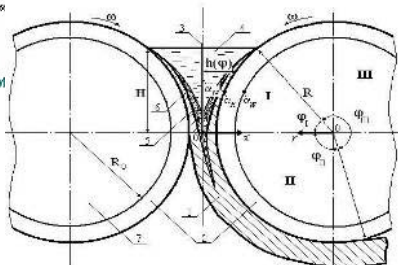


Математическое моделирование теплофизических процессов при литье



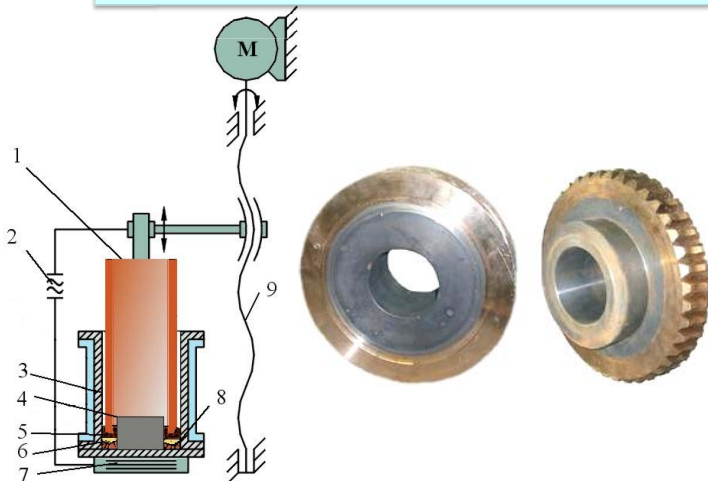
0.100 0.120 0.160

Текущее время





ЭЛЕКТРОШЛАКОВАЯ НАПЛАВКА



1 – полый бронзовый электрод; 2 – источник питания; 3 – водоохлаждаемый кристаллизатор; 4 – чугунная часть отливки; 5 – шлаковый гарнисаж; 6 – ванна расплавленного металла; 7 – поддон; 8 – затвердевшая бронзовая часть отливки; 9 – механизм перемещения электрода

**Биметаллические
отливки бронза
БрО12Ф – серый чугун
СЧ20** предназначены для
изготовления червячных
колес главного привода
лифтов

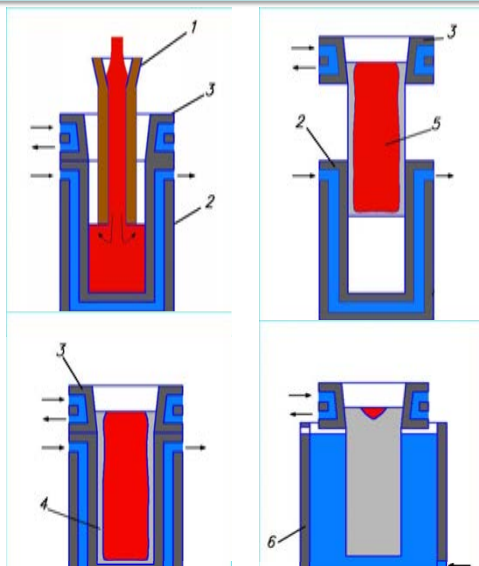
**Разработанная технология
электрошлаковой наплавки
биметаллических червячных
колес серийно используется
на ОАО «Могилевлифтомаш»**



ИТМ НАН Беларуси

ЛИТЬЕ ЗАКАЛОЧНЫМ ЗАТВЕРДЕВАНИЕМ

схема литья закалочным
затвердеванием



**Патент 2288067
RU**

установка литья закалочным
затвердеванием



- 1 – заливочное устройство;
- 2 – стационарный кристаллизатор;
- 3 – подвижный кристаллизатор;
- 4 – стакан;
- 5 – расплав;
- 6 – закалочная ванна



ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА МЕТОДА

- ❖ Получение литых заготовок с наноструктурным эвтектическим кремнием
- ❖ Высокая экологическая безопасность, процесс исключает применение вредных модификаторов
- ❖ Высокая производительность процесса литья
- ❖ Процесс легко поддается механизации и автоматизации
- ❖ Высокие механические свойства (σ_B на 30-70 % выше чем при непрерывном литье)
- ❖ Высокая износостойкость (для сплава АК-18 в 5-15 раз выше чем у бронзы)



Износостойкость антифрикционных силуминов при сухом фрикционном трении о сталь (400 НВ)

Сплавы	Термообработка	НВ	Увеличение износостойкости по сравнению с бронзой БрОЗЦ7С5Н
АК12М2	—	78	В 27 раз
	Т5: 512 °С 3ч, закалка в воде, старение 175 °С 5 ч	115	В 34 раз
АК18М2	—	95	В 32 раз
	Т5: 512 °С 3ч, закалка в воде, старение 175 °С 5 ч	136	В 40 раз

Ресурс работы червячного колеса из антифрикционного силумина АК18М2 **в 6 раз** выше, чем у аналогичного из бронзы БрАЖ 9-4



ПОДШИПНИКИ СКОЛЬЖЕНИЯ ИЗ АНТИФРИКЦИОННОГО СИЛУМИНА



Подшипники скольжения из антифрикционного силумина успешно прошли производственные испытания взамен бронзовых из БрОЦС5-5-5 в парах скольжения сборочных станков на **ОАО «Белшина» (г. Бобруйск, Беларусь)**. Было установлено, что за 6 месяцев работы линейный износ втулок из антифрикционного силумина составил не более 0,04 %, что является лучшим показателем, чем для бронзы. На сопрягаемых частях стального вала следы задиров и износа отсутствовали.



ВТУЛКИ БАЛАНСИРОВ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ МАШИН ИЗ АНТИФРИКЦИОННОГО СИЛУМИНА



Полуприцеп трехосный МТМ 933014

На заводе «Могилевтрансмаш» (г. Могилев, Беларусь) втулки из антифрикционного силумина прошли испытания в составе балансиров ходовых систем большегрузных машин и прицепов. Втулки балансиров были установлены взамен серийных из бронзы БрАЖМц10-3-1,5. В результате после пробега 20000 км с грузом не более 25 т установлено, что втулки из антифрикционного силумина по износостойкости превосходят серийные и рекомендованы для замены аналогичных из бронз.



МЕТОД ЛИТЬЯ НАМОРАЖИВАНИЕМ

Высокое качество – получение отливок с заданной структурой и повышенными физико-механическими свойствами за счет направленного затвердевания металла.

Ресурсосбережение – использование первичного тепла отливок для управления процессом структурообразования чугуна.

Экологическая чистота – отсутствие формовочных и стержневых смесей, исключение операций по выбивке, обрубке и очистке литья.

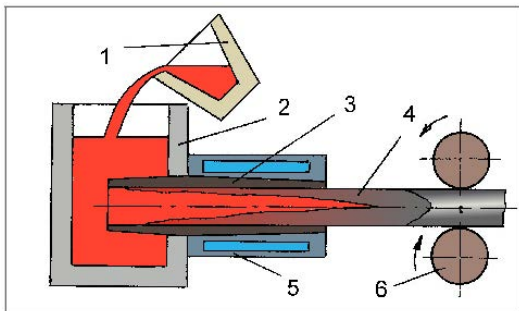
Безотходное производство с использованием вторичного сырья.

Работа по созданию и промышленной реализации принципиально нового метода литья намораживанием удостоена Государственной премии Республики Беларусь в области науки и техники 2010 г.



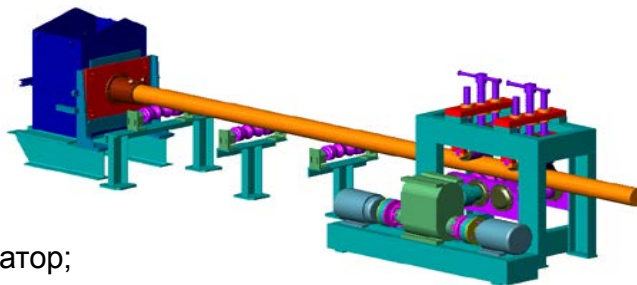


НЕПРЕРЫВНОЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ ЛИТЬЕ



- 1 – заливочный ковш;
- 2 – металлоприемник;
- 3 – графитовая фильера;
- 4 – отливка;
- 5 – водоохлаждаемый кристаллизатор;
- 6 – тянущий механизм

Производство профильных
заготовок различного типоразмера
из **чугуна и цветных металлов**
для деталей, применяемых в
различных отраслях
промышленности





ИТМ НАН Беларуси

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ



Оборудование оснащено современной системой управления, построенной на базе сервопривода; индукционным каналным миксером, позволяющим сократить затраты на электроэнергию и обеспечивающим стабильность поддержания заданного температурного режима; механизмом резки/ломки непрерывно-литых заготовок



Каунасский литейный завод «Центролит», г. Каунас, **Литва**



Бакинский опытно-механический литейный завод, г. Баку, **Азербайджан**

ООО «Бакан» г. Санкт-Петербург, **Россия**
Институт стали и сплавов г. Москва, **Россия**

ООО «Кольчугмет» г. Кольчугино, **Россия**
ООО «Бакан» г. Санкт-Петербург, **Россия**
Институт стали и сплавов г. Москва, **Россия**
ООО «Кольчугмет» г. Кольчугино, **Россия**

ООО «ПМК «Региональное объединение сталелитейщиков», г. Санкт-Петербург, **Россия**

ЧП «Укркристалмет» г. Луцк, **Украина**



могилёв

свободная экономическая зона

СЭЗ «МОГИЛЕВ» – ТОЧКА РОСТА НАУКИ И БИЗНЕСА

Глава администрации СЭЗ «Могилев»
А. В. Ярцев

дом ^{СЭЗ} **для ВАШЕГО**
БИЗНЕСА

ул. Челюскинцев, 78А
212030, г. Могилев, Республика Беларусь
Тел. (+375 222) 62 66 01
Факс (+375 222) 62 66 02
E-mail: info@fezmogilev.by

WWW.FEZMOGILEV.BY

ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ



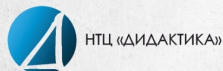
МОГИЛЁВ, БОБРУЙСК
БЕЛАРУСЬ
10-11 ОКТЯБРЯ 2019

**МАШИНОСТРОЕНИЕ
МЕТАЛЛООБРАБОТКА
ОГИЛЕВ**

Международная научно-практическая
конференция



mogilev
free economic zone



International Scientific and Practical
Conference



Международная научно-практическая
конференция



International Scientific and Practical
Conference

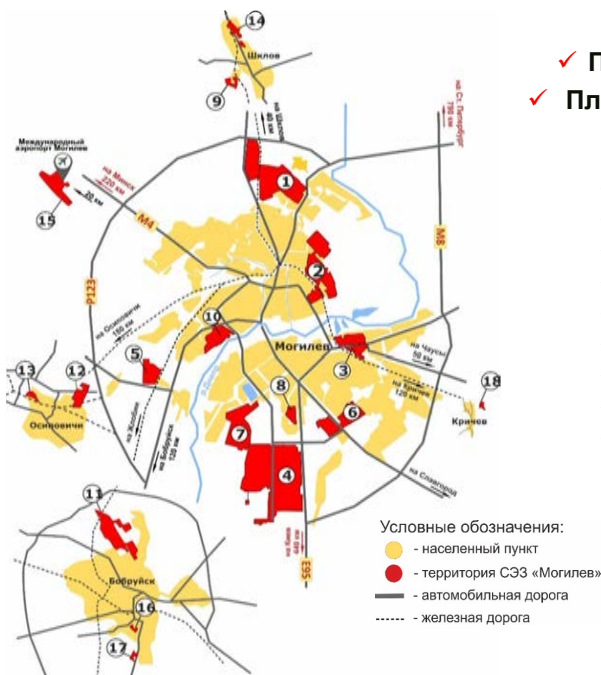


Международная научно-практическая
конференция



International Scientific and Practical
Conference

СТРУКТУРА СВОБОДНОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЗОНЫ «МОГИЛЕВ»



- ✓ 18 участков общей площадью 3 339,4 га
- ✓ Площадь свободных земельных участков ≈ 420 га
- ✓ Площадь производственных помещений ≈ 120 тыс. м²

Участок 1 – 373,00 га
Участок 2 – 182,60 га
Участок 3 – 65,69 га
Участок 4 – 925,23 га
Участок 5 – 78,50 га
Участок 6 – 187,95 га
Участок 7 – 237,03 га
Участок 8 – 58,00 га
Участок 9 – 92,14 га

Участок 10 – 102,74 га
Участок 11 – 322,02 га
Участок 12 – 248,00 га
Участок 13 – 63,75 га
Участок 14 – 104,05 га
Участок 15 – 206,75 га
Участок 16 – 14,33 га
Участок 17 – 22,13 га
Участок 18 – 55,48 га

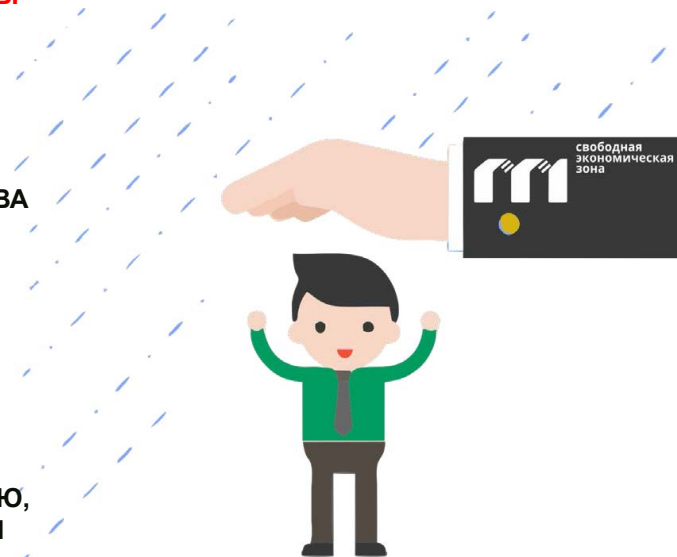
**Все участки СЭЗ «Могилев»
расположены в промышленных
центрах г. Могилева и области**

НАЛОГОВЫЕ ЛЬГОТЫ И ТАМОЖЕННЫЕ ПРЕФЕРЕНЦИИ



ПРЕДУСМОТРЕННЫЕ НАЦИОНАЛЬНЫМ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВОМ НАЛОГОВЫЕ ЛЬГОТЫ И ТАМОЖЕННЫЕ ПРЕФЕРЕНЦИИ В СЭЗ «МОГИЛЕВ»:

- ✓ ОСВОБОЖДЕНИЕ ОТ НАЛОГА НА ПРИБЫЛЬ, ПОЛУЧЕННУЮ ОТ РЕАЛИЗАЦИИ ТОВАРОВ (РАБОТ, УСЛУГ) СОБСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ЭКСПОРТ ИЛИ ДРУГИМ РЕЗИДЕНТАМ СЭЗ
- ✓ ОСВОБОЖДЕНИЕ ОТ НАЛОГА НА НЕДВИЖИМОСТЬ
- ✓ ОСВОБОЖДЕНИЕ ОТ ЗЕМЕЛЬНОГО НАЛОГА И АРЕНДНОЙ ПЛАТЫ ЗА УЧАСТКИ В ГРАНИЦАХ СЭЗ «МОГИЛЕВ»
- ✓ ОСВОБОЖДЕНИЕ ОТ УПЛАТЫ ВВОЗНЫХ ТАМОЖЕННЫХ ПОШЛИН И НАЛОГОВ ПО СЫРЬЮ, ПОМЕЩЕННОМУ ПОД ПРОЦЕДУРУ СВОБОДНОЙ ТАМОЖЕННОЙ ЗОНЫ, ПРИ ВЫВОЗЕ ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ ЗА ПРЕДЕЛЫ ЕАЭС



Меры стимулирования инвестиционного развития

Точки роста

Налоговые и
таможенные
льготы

Сопутствующая
инфраструктура:

Объекты
промышленного
назначения

Научно-
технические
центры

Инженерная
Транспортная
Социальная
Финансово-экономическая
Инновационная

**ИНЖЕНЕРНО-ТРАНСПОРТНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА
УЧАСТКА №4 СЭЗ «МОГИЛЕВ»**

[illegible]

- ### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

● - свободные земельные участки

● - действующие резиденты

- - зарезервированные участки

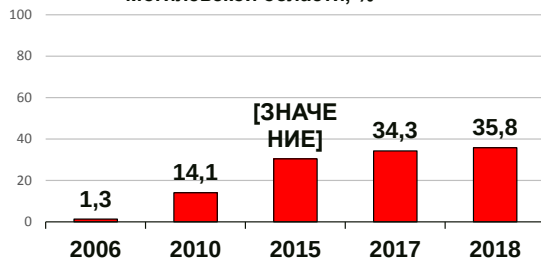


**ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ ОТ РЕАЛИЗАЦИИ
ИНВЕРСИОННЫХ ПРОЕКТОВ**

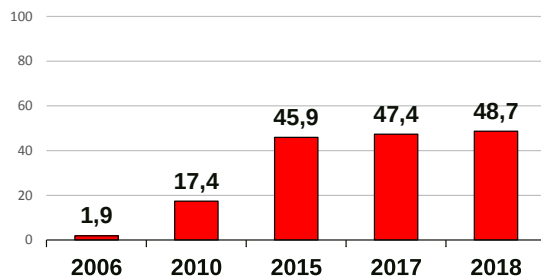


ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЭЗ «МОГИЛЕВ»

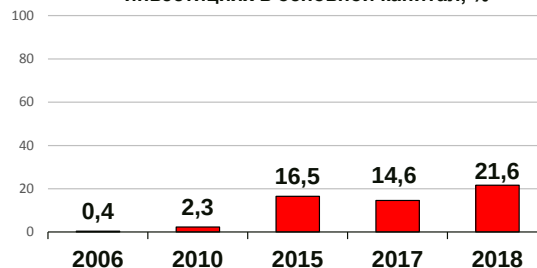
Удельный вес СЭЗ «Могилев»
в объеме промышленного производства
Могилевской области, %



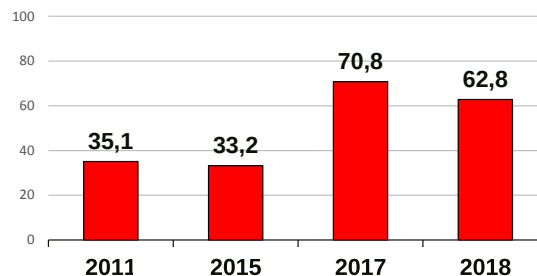
Удельный вес СЭЗ «Могилев»
в показателях объемов экспорта товаров
Могилевской области, %



Удельный вес СЭЗ «Могилев»
в привлеченных в Могилевскую область
инвестициях в основной капитал, %



Удельный вес СЭЗ «Могилев»
в привлеченных в Могилевскую область
ПИИ на чистой основе, %

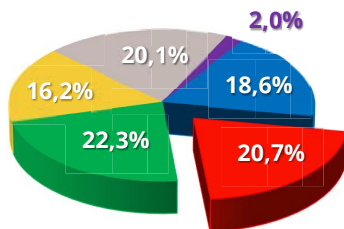


СВОБОДНАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЗОНА «МОГИЛЕВ»

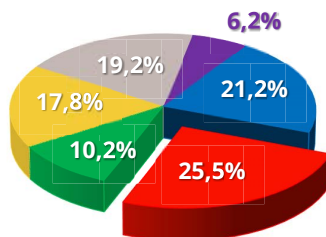


УДЕЛЬНЫЙ ВЕС СЭЗ «МОГИЛЕВ» В ПОКАЗАТЕЛЯХ СЭЗ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ЗА 2018 ГОД

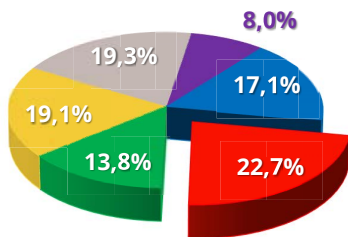
Прямые иностранные
инвестиции на чистой
основе



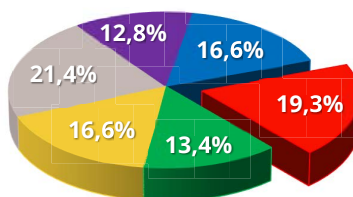
Инвестиции
в основной капитал



Объем производства
промышленной продукции



Экспорт
товаров



СЭЗ «Могилев»

СЭЗ «Брест»

СЭЗ «Витебск»

СЭЗ «Гродноинвест»

СЭЗ «Гомель Ратон»

СЭЗ «Минск»

СРЕДНЕМЕСЯЧНАЯ НАЧИСЛЕННАЯ ЗАРПЛАТА ЗА 2018 ГОД, РУБ.





Белорусско-Российский университет – региональный научный и образовательный центр в области машиностроения

**Ректор Белорусско-Российского университета
М. Е. Лустенков, д-р техн. наук, проф.**

Пр-т Мира, 43
212022, г. Могилев, Республика Беларусь
Тел./Факс (+375 222) 225821 Тел. (+375 222) 230007

www.bru.by

ИСТОРИЯ УНИВЕРСИТЕТА. УНИВЕРСИТЕТ СЕГОДНЯ

ММИ

Могилевский машиностроительный
институт

Создан в **1961 г.**



МГТУ

Могилевский государственный
технический университет

Статус университета в **2000 г.**



БРУ

Белорусско-Российский
университет

Преобразован в **2003 г.**

Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования **«Белорусско-Российский университет»** – крупный региональный образовательный центр, в структуру которого также входят:

- Архитектурно-строительный колледж БРУ;
- Лицей БРУ;
- Институт повышения квалификации и переподготовки кадров.

7 факультетов

23 кафедры

7 учебных корпусов, 3 общежития



ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ



Образовательные программы Республики Беларусь



Образовательные программы Российской Федерации

**I ступень
высшего образования**

23 специальности

7 направлений подготовки
(бакалавриат)

**II ступень
высшего образования**

7 специальностей
(магистратура)

2 направления подготовки
(магистратура)

**Основные направления
подготовки**

Технология машиностроения, металлообработка, автомобилестроение, энергетика и приборостроение, IT-технологии, строительство, экономика

**Количество
студентов**

Свыше **5000** человек

**Количество
выпускников**

Более **44** тысяч
(первый выпуск – **1966** г.)

1140
(первый выпуск – **2008** г.)

ЦЕНТР СЕРТИФИКАЦИИ И ИСПЫТАНИЙ БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования "Белорусско-Российский университет" является головной специализированной организацией по сварке и неразрушающему контролю на объектах строительства Белорусской АЭС. Выполняется большой объем работ по оценке качества сварных соединений, аттестации технологий сварки, сварщиков и руководителей сварочных работ.



Схема реакторной энергетической установки ВВЭР



Аттестована технология сварки главного циркуляционного трубопровода с парогенератором (б), фланцем корпуса реактора (в) и главным циркуляционным насосом (а). Сварные соединения относятся к I классу безопасности и непосредственно участвуют в работе реактора и контакте с радиоактивным жидким теплоносителем.



Научный
руководитель:
д-р техн. наук, проф.
В.П. Куликов

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Руководитель лаборатории: д-р техн. наук, проф. Ф.Г. Ловшенко

Группа материалов	Физико-механические свойства
	алюминиевые
высокопрочные	$\sigma_B = 5000\text{—}770 \text{ МПа}, \sigma_B^{500} = 100\text{—}170 \text{ МПа}, \sigma_B^{550} = 85\text{—}120 \text{ МПа}$
низкой плотности	$\sigma_B = 550\text{—}600 \text{ МПа}, \sigma_B^{400} = 100\text{—}110 \text{ МПа}, d = 2,5\text{—}2,6 \text{ г·см}^{-3}$
с низким коэффициентом линейного расширения	$\sigma_B = 440\text{—}460 \text{ МПа}, \sigma_B^{500} = 110\text{—}120 \text{ МПа}, \sigma_B^{500} = 70\text{—}75 \text{ МПа}, \alpha = (17,5\text{—}18,0) \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$
с большим значением эффективного сечения захвата тепловых нейтронов	$\sigma_B = 480\text{—}520 \text{ МПа}, \sigma_B^{500} = 130\text{—}150 \text{ МПа}, \sigma_B^{500} = 80\text{—}100 \text{ МПа},$ эффективное сечение захвата тепловых нейтронов — 300—400 барн
с высоким значением электропроводности	$\sigma_B = 210\text{—}350 \text{ МПа}, \sigma_B^{350} = 90\text{—}120 \text{ МПа}, \sigma_B^{500} = 54\text{—}80 \text{ МПа},$ $\sigma_B^{500} = 40\text{—}70 \text{ МПа}, \delta = 11 \%, \rho = (0,50\text{—}0,53) \rho_{\text{Cu}}$
медные	
высокопрочные	НВ 250, $\sigma_B = 1100 \text{ МПа}, \delta = 2\text{—}3 \%$
высокопрочные с низким значением электрического сопротивления	НВ 170—240, $\sigma_B = 850\text{—}950 \text{ МПа}, \sigma_B^{500} = 300\text{—}350,$ $\sigma_B^{500} = 200\text{—}230 \text{ МПа}, \rho = (2,3\text{—}2,4) \cdot 10^{-8} \text{ Ом·м}$
железные	
конструкционные стали общего назначения	HRC 24—26, $\sigma_B = 770 \text{ МПа}, \delta = 14 \%$
жаропрочные стали общего назначения	HRC 34, $\sigma_B = 970 \text{ МПа}, \delta = 9 \%, \sigma_B^{600} = 500 \text{ МПа},$ $\sigma_B^{700} = 350 \text{ МПа}, \sigma_B^{800} = 200 \text{ МПа}$
жаропрочные стали специального назначения	HRC 46—54, $\sigma_B = 1150\text{—}1400 \text{ МПа}, \delta = 3\text{—}6 \%, \sigma_B^{600} = 500 \text{ МПа},$ $\sigma_B^{700} = 350 \text{ МПа}, \sigma_B^{800} = 200 \text{ МПа}$
никелевые	
жаропрочные	HRC 55—57, $\sigma_B = 1100\text{—}1300 \text{ МПа}, \delta = 2\text{—}6 \%$

Механически легированные жаропрочные композиционные материалы



ЛАБОРАТОРИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Лаборатория «Волоконно-оптическая диагностика», имеющая в своем составе производство современного эндоскопического оборудования технического применения.

Научный руководитель:
канд. техн. наук, доц. В.Н. Усик



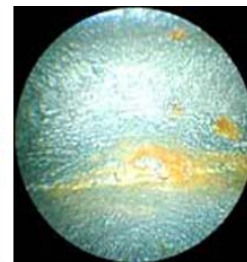
Вид объекта через эндоскоп



дефекты на лопатке
турбины



изображение
радиоэлементов



коррозия сварного
шва

ИНЖИНИРИНГОВЫЙ ЦЕНТР «SIMTECH»



Научный
руководитель:
канд техн. наук,
доц.
О.В. Леоненко

SimTech: козловой кран
грузоподъемностью 32 т с пролетом 32 м



SimTech: Опытная платформа карьерного
самосвала БелАЗ-75131

ПРОЕКТ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА

Лаборатория аддитивных технологий

3D-принтер по металлу Shining EP M250



3D-сканер Shining Einscan-Pro



Производство изделий со сложной геометрией, с внутренними полостями и каналами
Печать из порошков алюминия, титана, нержавеющей стали
SLM-технология (технология селективного лазерного плавления)
Максимальный размер детали – 250x250x300 мм

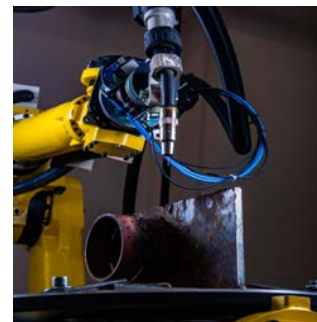
ПРОЕКТ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА

Лаборатория плазменных, термомеханических и сварочных технологий

Робототехнический комплекс сварки FANUC M-710iC/50:



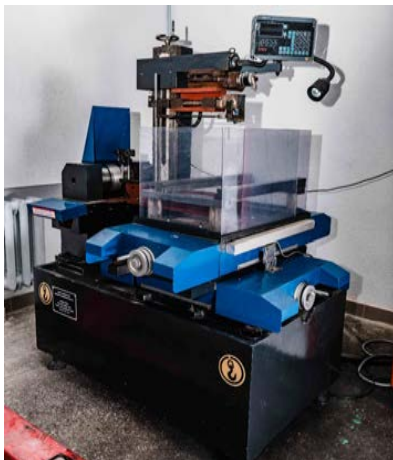
- шестиосевой робот;
- двухосевой позиционер;
- досягаемость 2050 мм;
- грузоподъемность 50 кг



ПРОЕКТ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА

Многопрофильная учебно-экспериментальная лаборатория

Проволочно-вырезной
станок DK7725



Профилевырезной
станок D7135ZNC



Токарный с ЧПУ СК6140



ПРОЕКТ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА

Многопрофильная учебно-экспериментальная лаборатория

Плоскопрофилешлифовальный
Орша-60120



Зубофрезерный с ЧПУ
GBCH-332CNC26



Зубошлифовальный с ЧПУ
SMG405GF3-09



ЦЕНТР HAAS

HAAS technical education center (HTEC)

Вертикально-фрезерный
TM-1



Токарный с ЧПУ
ST-20Y



Вертикально-фрезерный
обрабатывающий центр
MiniMill



СВЯЗЬ УНИВЕРСИТЕТА С ПРОИЗВОДСТВОМ

В университете созданы и эффективно функционируют филиалы кафедр на предприятиях:

- ОАО «МАЗ» – управляющая компания холдинга «БЕЛАВТОМАЗ» завод «Могилевтрансмаш»;
- ОАО «Автомотосервис и торговля-1» г. Могилев;
- СЗАО «Могилевский вагоностроительный завод»;
- МОАО «Красный металлист»;
- ООО «СКБ ДалС»;
- ОАО «Институт «Могилевгражданпроект»;
- РУП «Могилевавтодор»;
- ОДО «СТРИМ»;
- ИООО «ЭПАМ Системз»;
- УЗ «Могилевская областная больница»



Партнёры Конференции
Conference partners



Научное издание

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МЕТАЛЛООБРАБОТКА

Материалы Международной
научно-практической конференции
(Могилев – Бобруйск, 10–11 октября 2019 года)

**Авторы несут персональную ответственность
за содержание представленных материалов**

Редакторы: *И. В. Голубцова;*

Т. А. Рыжикова;

А. Т. Червинская;

А. А. Подошевка

Компьютерный дизайн *Н. П. Полевничая*

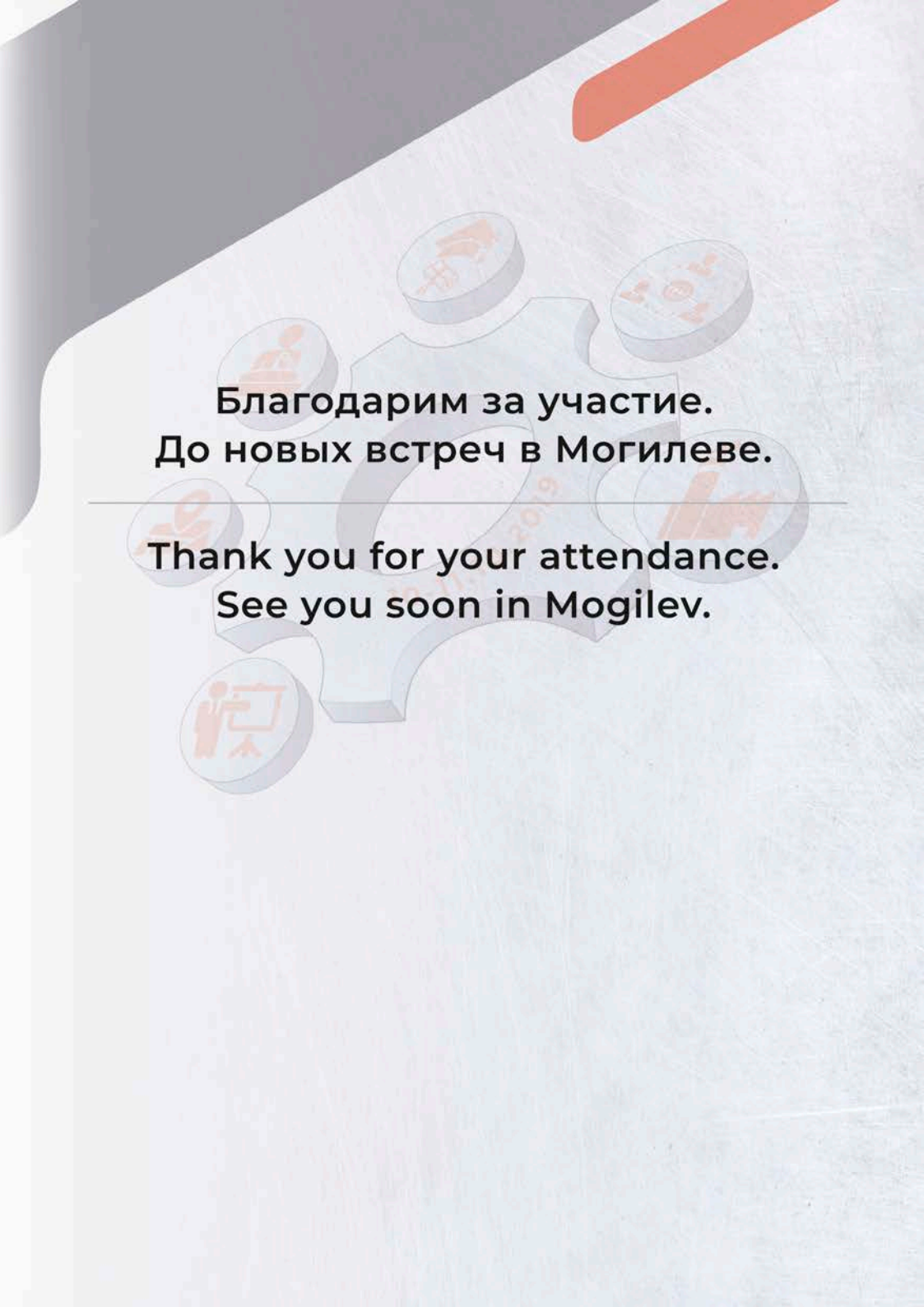
Подписано в печать 24.10.2019. Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 9,88. Уч.-изд. л. 10,63. Тираж 100 экз. Заказ № 665.

*Выпущено по заказу государственного научного учреждения
«Институт технологии металлов Национальной академии наук Беларуси».*

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, Могилев.

The background features a large, light blue gear with a 3D effect. Around the gear are several circular icons with orange symbols: a person at a desk, a graduation cap, a bar chart, a person at a presentation, and a person at a computer. A faint date '2019' is visible in the center. A horizontal line separates the Russian and English text.

**Благодарим за участие.
До новых встреч в Могилеве.**

**Thank you for your attendance.
See you soon in Mogilev.**

ISBN 978-985-492-226-3



9 789854 922263



itm.by



fezmogilev.by



bru.by