ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ПРОИЗВОДСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ

(Кузнечно-штамповочное, литейное и другие производства)

№ 1 январь 2007

Председатель редакционного совета и Главный редактор
СЕМЁНОВ Е.И.

Зам. председателя редакционного совета:
ДЁМИН В.А.
КОЛЕСНИКОВ А.Г.

Зам. Главного редактора
КЛЕЙЗЕР П.Е.

Редакционный совет:
БЕЛЯКОВ А.И.
БЛАНТЕР М.С.
БОГАТОВ А.А.
БОКОВ А.А.
ГРОМОВ В.Е.
ГУН И.Г.
ЖЕСТКОВА И.Н.
ЗАРУБИН А.М.
КАПУСТИН А.И.
КАСАТКИН Н.И.
КОШЕЛЕВ О.С.
КРУК А.Т.
МОРОЗ Б.С.
МУРАТОВ В.С.
НАЗАРЯН Э.А.
ОВЧИННИКОВ В.В.
ПАСЕЧНИК Н.В.
ПОВАРОВА К.Б.
ПОЛЕТАЕВ В.А.
СЕМЁНОВ Б.И.
СУБИЧ В.Н.
ТРЕГУБОВ Г.П.
ТРУХОВ А.П.
ШАТУЛЬСКИЙ А.А.
ШЕРКУНОВ В.Г.
ЯКОВЛЕВ С.С.
ЯМПОЛЬСКИЙ В.М.

Ответственные за подготовку и выпуск номера:
ДЮБКОВА Н.В.
БЕЛАВЕНЦЕВ Р.Ю.
СЕРИКОВА Е.А.

Журнал зарегистрирован в Государственном Комитете Российской Федерации по печати.

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-12218 от 29.03.02

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индекс по каталогу агентства "Роспечать" **81580**, по Объединенному каталогу "Пресса России" **39205**, по каталогу "Почта России" **60261**) или непосредственно в издательстве.

Тел.: (495) 268-47-19, 268-69-19
Факс: (495) 269-48-97
http://www.mashin.ru
E-mail: zpm@mashin.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Литейное и сварочное производства

Давыдов С.В., Панов А.Г. Тенденции развития модификаторов для чугуна и стали 3
Чернышов Е.А. Отливки из антифрикционного чугуна 12
Десницкий В.В., Ольховик Е.О., Молчанюк Р.А. Исследование деформационно-прочностных характеристик материалов формы при затвердевании металла 16
Условные изображения и обозначения швов сварных соединений по ГОСТ 2.312–72 в ред. 2001 г. 19

Кузнечно-штамповочное производство

Попов И.П., Маслов В.Д., Николенко К.А. Формообразование тонкостенных крутоизогнутых отводов в жестких инструментальных штампах 23
Скоробогатов А.О. Инструментальный магазин для глубокой вытяжки оболочек на кривошипных прессах 27

Прокатно-волочильное производство

Галкин В.В., Кошелев О.С., Уланов П.В., Лаврентьев А.Ф. Исследование неравномерности деформации в заготовке прямоугольного сечения, прокатанной на клин 30

Материаловедение и новые материалы

Качалин Н.И., Белов В.Ю., Тихий Г.А., Малинов В.И., Негореев В.И., Баранов Г.В., Морозов Ю.В. Псевдосплав вольфрам–медь в качестве дугогасительных контактов для современных элегазовых выключателей 35
Решенкин А.С., Шаповалов А.П. Статистическая оценка параметров микроструктуры конструкционных сталей 44

Информация

Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку по ГОСТ 26645–85. *(Продолжение)* 47
Указатель статей, опубликованных в журнале в 2006 г. 53

Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней

Журнал выходит при содействии:
Академии Проблем Качества Российской Федерации; Министерства образования и науки Российской Федерации; Воронежского завода тяжелых механических прессов; ЦНИИЧермет; ВНИИМЕТМАШ; ИМЕТ РАН; Каширского завода "Центролит"; АМУРМЕТМАШ

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале "Заготовительные производства в машиностроении", допускаются со ссылкой на источник информации и только с разрешения редакции.

© ОАО "Издательство "МАШИНОСТРОЕНИЕ", "Заготовительные производства в машиностроении", 2007

SCIENTIFIC
TECHNICAL
AND PRODUCTION
JOURNAL

BLANKING PRODUCTIONS IN MECHANICAL ENGINEERING

(Forging and stamping, foundry and others productions)

№ 1 January 2007

Chairman of Editorial Committee and Editor-in-chief
SEMENOV E.I.

Chairman Assistants:
DEMIN V.A.
KOLESNIKOV A.G.

Editorial Assistants
KLEYZER P.E.

Editorial Committee:
BELYAKOV A.I.
BLANTER M.S.
BOGATOV A.A.
BOKOV A.A.
GROMOV V.E.
GUN I.G.
ZHESTKOVA I.N.
ZARUBIN A.M.
KAPUSTIN A.I.
KASATKIN N.I.
KOSHELEV O.S.
CRUCK A.T.
MOROZ B.S.
MURATOV V.S.
NAZARYAN E.A.
OVCHINNIKOV V.V.
PASECHNIK N.V.
POVAROVA K.B.
POLETAEV V.A.
SEMENOV B.I.
SUBICH V.N.
TREGUBOV G.P.
TRUKHOV A.P.
SHATULSKY A.A.
SHERKUNOV V.G.
YAKOVLEV S.S.
YAMPOLSKY V.M.

This issue prepared with assistance of specialists:
DYUBKOVA N.V.
BELAVENTSEV R.Yu.
SERIKOVA E.A.

Journal is registered in State Committee of Russian Federation on printing. The certificate of registration ПИ № 77-12218 from 29.03.02

An advertiser is responsible for the promotional materials

Journal is spreaded on a subscription, which can be issued in any post office (index on the catalogue of the "Rospechat" agency **81580**, on the united catalogue "Pressa Rossii" **39205**, catalogue "Pochta Rossii" **60261**) or immediately in the editorial of the journal.

Ph.: (495) 268-47-19, 268-69-19
Fax: (495) 269-48-97
http://www.mashin.ru
E-mail: zpm@mashin.ru

CONTENTS

Casting and Welding Productions

Davydov S.V., Panov A.G. Tendencies of development of cast-iron and steel conditioning agents 3
Chernyshov E.A. Bearing-iron castings 12
Desnitsky V.V., Olhovik E.O., Molchanyuk R.A. Investigations of deformative-strength properties of the molds materials during metal crystallization 16
Unified system for design documentation. Symbolic designations and representations of welds and welded joints by GOST 2.312–72 19

Forging and Stamping Productions

Popov I.P., Maslov V.D., Nikolenko K.A. Deeply curved beds forming in rigid tool stamps 23
Skorobogatov A.O. Tool matrix for the shells deep drawing on screw presses 27

Rolling and Drawing Productions

Galkin V.V., Koshelev O.S., Ulanov P.V., Lavrentiev A.F. Investigations of deformations ripple in the rectangular cross-section taper rolled feed 30

Physical Metallurgy and New Materials

Kachalin N.I., Belov V.Yu., Tikhiy G.A., Malinov V.I., Negoreev V.I., Baranov G.V., Morozov Yu.V. Tungsten-copper pseudo alloy as an arcing contact for modern sulfur hexafluoride circuit breakers 35
Reshenkin A.S., Shapovalov A.P. Statistical estimation of construction steels microstructure parameters 44

Information

Metal and alloy castings. Dimensions and mass tolerances and machining allowances by GOST 26645–85. *(Continuation)* 47
Index of the articles published in journal in year 2006 53

Journal is included into the list of the Higher Examination Board for publishing the results of thesises for competition the academic degrees

Reprint is possible only with the reference to the journal "Blanking productions in mechanical engineering"

© "Mashinostroenie Publishers", "Blanking productions in mechanical engineering", 2007

С.В. Давыдов *(Брянский государственный технический университет),*
А.Г. Панов *(Исследовательский центр "Модификатор", г. Челябинск)*

Тенденции развития модификаторов для чугуна и стали

Выполнен анализ ситуации, сложившейся в области производства и применения модификаторов для чугуна и стали. Рассмотрены базовые составы типовых промышленных модификаторов с оценкой тенденций их развития. Показано, что перспективным направлением для создания принципиально иных типов модификаторов нового поколения является наномодифицирование, основу которого составляют современные теоретические и экспериментальные исследования наноструктурного состояния железоуглеродистых расплавов.

The analysis of an existing situation in the field of conditioning agents for pig-iron and steel is executed. Base structures of typical industrial conditioning agents with an estimation of tendencies of its development are considered. It is shown, that a perspective direction for creation essentially other types of conditioning agents of new generation is nanomodifying which basis make modern theoretical and experimental researches nanostructural conditions Fe-C alloys.

Одним из основополагающих направлений развития материаловедения и литейного производства является создание определенных воздействий на жидкий кристаллизующийся расплав, которые обеспечивают протекание его объемной кристаллизации с получением плотной, мелкозернистой и гомогенной структуры металла в твердом состоянии, обладающего рядом специальных свойств.

Универсальным, относительно дешевым, технологически гибким и высокоэффективным методом управления структурой кристаллизующегося расплава является модифицирование. Под модифицированием понимают ввод в расплавленный металл на определенных технологических этапах различных веществ (модификаторов) либо в виде сплавов, либо в виде смесей, обеспечивающих появление в расплавленном металле дополнительных центров кристаллизации, которые и решают задачу получения плотной, мелкозернистой и гомогенной структуры.

Однако у этой простой производственной технологии отсутствует ясная, единая для всех способов теория модифицирования железоуглеродистых сплавов. Причиной разногласий и противоречий в области теории модифицирования является отсутствие общих представлений о модели механизма образования центров кристаллизации, причем построение модели механизма полностью определяется выбранной теорией структурного состояния железоуглеродистых расплавов.

В зависимости от постулируемой структуры железоуглеродистого расплава (форм существования углерода) разрабатывают и механизм образования центров кристаллизации, и соответствующую этому механизму теорию модифицирования. А каждая теория требует своего подтверждения через разработку определенного типа модификаторов.

Сегодня существует свыше десятка теорий модифицирования железоуглеродистых расплавов и свыше 500 действующих типов различных модификаторов, содержащих от 2...3 компонентов до полутора десятков. С учетом запатентованных составов их количество переваливает за 1000. Следует отметить, что есть просто виртуальные модификаторы, существующие только на бумаге (патент). Разобраться в этом калейдоскопе модификаторов, их свойствах довольно сложно. В результате возникает серьезная проблема экономически оптимально и правильно подобрать нужный тип модификатора для заводской технологии.

К традиционным модификаторам в области модифицирования железоуглеродистых расплавов (сталей

и чугунов) относят графит, ферросплавы различного типа (феррохром, феррованадий, ферромарганец и др.), а также модификаторы, основным компонентом которых является кремний: ферросилиций, силикокальций, силикокобарий и др. [1]. Такие материалы производят, как правило, известные ферросплавные заводы (Челябинский, Ключевский, Кузнецкий и др.) по ГОСТам и ТУ, разработанным более 20 лет назад.

Существенным недостатком любого типа модифицирования является требование достаточно высокой температуры расплава перед началом модифицирования: для чугуна $T > 1360$ °С, для стали $T > 1520$ °С. При более низких температурах модификатор плохо растворяется в расплаве и переходит в шлак ("зашлаковывается") и эффект модифицирования быстро затухает. В этом случае требуется значительный перерасход модификатора.

В настоящее время в области модифицирования стали и особенно чугуна сложилась парадоксальная ситуация. Структурные перекосы в экономике породили и структурно-технологические перекосы в области чугунолитейного производства.

Из-за низкого качества дешевых исходных материалов, а также преимущественного использования вагранки в качестве дешевого плавильного агрегата (электропечи из-за высокой стоимости электроэнергии для ряда литейных производств убыточны) эффективность традиционных модификаторов резко снизилась, что привело к массовому получению конструкционных чугунов низкой прочности.

Этому явлению способствует также то, что проявление модифицирующего эффекта ограничивается температурой расплава перед модифицированием. Нижний температурный предел модифицирования, как показывает практика, находится в пределах 1340...1360 °С. Данный температурный предел позволяет разделить расплавы чугуна на низкотемпературные (1200...1320 °С – доменный и ваграночный чугуны) и высокотемпературные (1380...1400 °С и выше – электроплавка и "дуплекс-процесс": вагранка+миксер). Следовательно, низкотемпературные расплавы чугунов фактически в настоящее время являются технологически немодифицируемыми чугунами.

Производство данных типов чугунов характерно для чугунолитейных производств с ваграночной плавкой и выпуском отливок до 400 т/год. Более того, из-за дороговизны данная группа предприятий не может использовать магнийсодержащие модификаторы, а тем более осуществить техническое перевооружение с вводом электроплавки. Вместе с тем "холодное" ваграночное литье преобладает в структуре выпуска отливок и составляет свыше 90 % всего объема выпуска отливок в России.

В табл. 1 представлены данные по некоторым странам в области выплавки чугуна [2, 3].

Высокий удельный вес отливок из чугуна в их общем объеме производства (стальное и цветное литье) в зарубежных странах сохраняется в последние десятилетия в основном за счет очень быстрого роста производства отливок из высокопрочного чугуна (ВЧ).

Если в США лишь 59 % чугунного литья изготовляют из традиционного серого чугуна с пластинчатым графитом, то в России этот чугун полностью доминирует, составляя свыше 90 % общего производства чугунного литья.

Технология получения ВЧ – это не просто внепечная обработка (модифицирование) обычного серого чугуна, как казалось вначале. Необходимы более жесткие требования по химическому составу чугуна, повышенные температуры перегрева при плавке и модифицировании, высокая чистота шихтовых материалов по сере, фосфору и кислороду. По существу, металлургическая база литейного производства России оказалась не готова к массовому выпуску ВЧ, а ее модернизация не проводилась необходимыми темпами из-за отсутствия полного понимания всех проблем, стоящих перед массовым внедрением ВЧ. В середине 1980-х гг. в общем парке российских вагранок только 4 % были с подогревом дутья, позволяющим повысить

1. Структура производства отливок из чугуна

Страна	Доля чугунных отливок в общем объеме производства литых заготовок, %		Доля отливок из высокопрочного чугуна от общего объема чугунных отливок	
	2000 г.	2002 г.	2000 г.	2002 г.
США	70,1	70,1	42,3	44,7
Япония	74,5	72,6	42,3	41,7
Германия	77,8	77,6	37,3	35,8
Великобритания	84,2	83,9	44,2	36,8
Франция	80,7	83,3	48,0	47,0
Италия	59,3	56,8	28,2	32,0
Россия	73,0	71,0	3,83	3,50

температуру чугуна для оптимального уровня модифицирования магнийсодержащими присадками (T >1400 °С). В США таких вагранок в те годы было 85 % от общего количества.

Расширение области применения электроплавки чугуна (электродуговые и индукционные печи) могло бы решить проблему перегрева чугуна с достижением 1600 °С. Однако даже в 1983 г. (перед перестройкой) электроплавка чугуна в литейных цехах составляла 17,2 % всего полученного объема чугунных отливок. В это количество входили и 9 % чугуна, выплавленного "дуплекс процессом" (вагранка + электропечь). Причем электроплавка чугуна в стране была сосредоточена в основном в литейных цехах автомобильной (КАМАЗ, ВАЗ и др.) и тракторной промышленности, а также сельскохозяйственного машиностроения, где производили в большом количестве отливки из ковкого чугуна (КЧ) и легированного чугуна.

В литейных цехах США в это время с применением электроплавки получали более 40 % всего чугуна. В 1992 г. в России было получено 13,5 % чугунных отливок с использованием электроплавки [2, 3].

Для эффективного использования магнийсодержащих модификаторов и резкого улучшения качества чугуна у вагранок технологии нет важнейшего параметра – температуры перегрева. В лучшем случае у вагранки достигается температура на выпускном желобе 1360 °С (далеко не у каждой), которой хватает для обработки чугуна только ферросилицием, причем эффективность модифицирования крайне низкая. В настоящее время в мировой практике нет модификатора, который работал бы с высоким модифицирующим эффектом при температурах расплава ниже 1300 °С. Предпринимаются попытки повысить температуру вагранок чугуна за счет ввода алюминиевых термитно-модифицирующих присадок в ковш, но температуру в ковше удается поднять с 1310 °С максимум лишь до 1347 °С, что не решает проблемы.

Аналогичная ситуация наблюдается и в доменном производстве. Около 3 % от выпуска доменного чугуна идет на изготовление крупнотоннажных отливок (прокатные валки, изложницы и т.д.), а также на получение чушкового передельного чугуна в качестве шихтового материала при получении чугунного и стального машиностроительного литья (табл. 2).

2. Производство доменного чугуна в России, тыс. т

Чугун	Год		
	2002	2003	2004
Всего доменного чугуна, в том числе:	48692,9	50814	52430
чугун передельный	45198,8	47249	49109
чугун литейный	1415,16	11457,8	1201,9

Как литейный сплав доменный чугун обладает следующими недостатками:

– наличие так называемой "наследственности" доменного чугуна, которая сохраняется при переплавке и переносится в структуру отливок, что ухудшает их конечные свойства;

– доменные чугуны невосприимчивы к модифицированию из-за их высокой эвтектичности при низком содержании кремния и низкой температуры расплава.

В России бóльшая часть доменного чугуна не подвергается графитизирующей модифицирующей обработке, поскольку, в первую очередь, температура доменного чугуна в момент заливки литейных форм еще ниже температуры ваграночного чугуна и колеблется в пределах 1180...1280 °С. Решение этой проблемы чрезвычайно актуально для получения таких крупнотоннажных и ответственных отливок из серого доменного чугуна с пластинчатой формой графита как прокатные валки и изложницы. Кроме этого, модифицирование доменного чугуна решит проблему "наследственности", что повысит качество машиностроительного литья и снизит его себестоимость.

Накоплен опыт модифицирующей обработки доменных чугунов магнийсодержащими модификаторами для получения высокопрочного чугуна с шаровидным графитом, но эта технология требует дополнительных дорогостоящих и трудоемких операций по перегреву расплава.

На основе вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Если для западных литейных производств характерен рост выпуска ВЧ, то для России характерен низкотемпературный ваграночный чугун, в значительной части не модифицируемый, в том числе и доменный чугун для литейного производства.

2. В настоящее время активно развиваются методы модифицирования ВЧ, а развития технологии модифицирования низкотемпературных расплавов чугуна практически не происходит, если исключить введение в состав графитизирующих модификаторов повышенного содержания кальция, бария и алюминия. Принципиально новых высокоэффективных графитизирующих модификаторов для серого чугуна в настоящее время не создано.

3. Отсутствие эффективной технологии "немодифицируемых" низкотемпературных ваграночных и доменных чугунов ведет к высокому росту внутренних издержек на компенсацию брака отливок, повышению их массы из-за низкой механической прочности, неудовлетворительным эксплуатационным свойствам (надежности, прочности, износостойкости и др.).

4. Разработка технологии модифицирования ваграночного и доменного чугунов является инвестиционно привлекательным проектом, который позволит уменьшить себестоимость и повысить качество данных групп чугунов, и в целом обеспечить их конкурентоспособность на внутреннем и мировом рынках.

3. Химический состав различных марок ферросилиция, % мас.

Марка ферросилиция	Si	Ba	Al	Sr	Ca	РЗМ	Mn	Cr	Fe
ФС75	74...80	–	–	–	–	–	0,4	0,4	Ост.
ФС65Ба7	60...70	7,0	3,0	–	–	–	0,4	–	Ост.
ФС75СтК	72...80	–	0,5	1,5	1,0	–	–	–	Ост.
ФС30РЗМ20	30...35	–	6,0	–	–	20...30	–	–	Ост.
Примечание. Содержание S < 0,02 %; P < 0,5 %.									

Следует также отметить, что в случае применения в электроплавке низкосортных дешевых шихтовых материалов качество чугуна электроплавки находится на уровне ваграночного чугуна низких марок.

С другой стороны, для крупных ведущих производителей отливок, имеющих электроплавильные печи, характерна другая тенденция. В целях получения конкурентного преимущества на рынке отливок высокого качества данными производителями разрабатываются и применяются комплексные присадки и лигатуры, прежде всего магнийсодержащие, в состав которых одновременно входит значительное количество функционально различных элементов. Фактически в данном случае комплексные присадки являются не столько модификаторами, сколько самостоятельными сложнолегированными сплавами. Для них характерна собственная, особая технология производства; как правило, их разрабатывают под конкретный тип сплава или группу сплавов; они требуют разработки специфической технологии ввода в расплав повышенной чистоты сплава и достаточно дороги.

Кроме того, в ряде случаев состав комплексных присадок не раскрывается, что связано с требованиями зарубежных лицензионных соглашений либо с "ноу-хау". Эта группа предприятий выпускает всего около 4 % отливок из высокопрочного чугуна

Рассмотрим основные типы современных модификаторов, их составы и тенденции их развития.

Графитизирующие модификаторы для любых типов конструкционных серых чугунов.

Графит – самый простой традиционный модификатор. Применяется в качестве компонента в модифицирующих смесях, реже – как самостоятельный модификатор. Марки: графит черный ГЛС-1, ГЛС-2, ГЛС-3.

Ферросилиций – традиционный, наиболее широко применяемый модификатор на основе кремния, не только для чугунов, но и для сталей. В табл. 3 даны химические составы различных марок ферросилиция. Базовым составом является ФС75. Для усиления модифицирующего действия в состав ферросилиция, как правило, дополнительно входят раскислители и десульфуризаторы: барий, алюминий и кальций.

Редкоземельные металлы (РЗМ) и стронций также являются сильными раскислителями. И для усиления эффекта модифицирования их вводят для замены в составе модификатора кальция и бария, поскольку эти элементы дополнительно образуют фазу неметаллических включений, которые являются центрами кристаллизации.

Смесевые графитизирующие модификаторы для серых чугунов – наиболее простые модификаторы, которые состоят, как правило, из модификаторов на основе ферросилиция, графита, карбида кремния и других компонентов (табл. 4).

Силикокальций – сплав кальция, кремния и железа – активный комплексный раскислитель и дегазатор стали и чугуна, эффективный десульфатор. Успешно применяется как для печной, так и для внепечной обработки стали, обеспечивает при высокой степени раскисления минимальное количество и оптимальную форму неметаллических включений. На основе силикокальция по требованию заказчика выплавляют комплексные сплавы с ванадием, алюминием, титаном, барием, магнием. Аналогом силикокальция является силикобарий. В табл. 5 приведены некоторые марки силикокальция и силикобария.

Ферросплавы – сплавы на основе железа с другими элементами. Предназначены в основном для легирующей и раскисляющей обработки стали и чугуна и могут входить в смесевые модификаторы в небольших

4. Состав смесевых модификаторов, % мас.

Марка модификатора	Si (суммарно)	C (графит)	SiC	Ca	Fe
ФС30У60	20...40	55...65	–	3,0	Ост.
ФС50У35	45...55	30...40	30...40	6,0	Ост.

5. Химический состав силикокальция и силикобария, % мас.

Марка модификатора	Si	Ca	Al	C	V	Ba	Mn	Ti	Fe
СК30	50,0	30,0	2,0	0,5	–	–	–	–	Ост.
ФСК15А11	40...60	10...20	9...13	1,0	–	–	–	–	Ост.
СК7Вд8	30...60	5...1	2,0	2,0	6...10	–	10,0	6	Ост.
СК10Бв10	55,0	9...12	3,5	–	–	9...12	0,3	–	Ост.
СБа30	55...65	–	3,0	–	–	35	–	–	Ост.

долях. К ним относятся: ферросилиций, феррохром, ферросиликохром, ферромарганец, феррофосфор, ферробор, ферровольфрам, ферромолибден, феррониобий, феррованадий, ферротитан, ферроцерий.

Графитизирующие модификаторы для высокопрочных чугунов и чугунов с вермикулярной формой графита. Основным компонентом в данных типах модификаторов являются магний и РЗМ, обеспечивающие в процессе кристаллизации образование в чугуне графита шаровидной (глобулярной) формы (табл. 6).

Применяют также сфероидизирующие лигатуры на основе никеля: никель-магний-цериевые, например, следующего химического состава, % мас.: 14,0...17,0 Mg; 0,4...0,6 Ce; 0,4 Cu; 0,5 C; 1,0 Fe; остальное Ni.

Наиболее крупными производителями и поставщиками ферросплавов и графитизирующих модификаторов любых типов являются предприятия Челябинска: компания "НПП Технология", Челябинский металлургический комбинат, Научно-исследовательский институт металлургии (ОАО "НИИМ"), а также Актюбинский завод ферросплавов, Кузнецкие ферросплавы (г. Новокузнецк), объединение ООО "Элитакс" (г. Москва, ГНУ РФЦНИИТМАШ), БНТУ "Метолит" (г. Минск) и др.

Особый интерес представляет продукция компании "НПП Технология", выпускающей не только типовые модификаторы, рассмотренные выше, но и успешно развивающей передовые технологии как отечественного, так и зарубежного (на лицензионной основе) литейного производства.

Основное отличие продукции "НПП Технология" – активное использование магния и РЗМ практически во всех выпускаемых марках модификаторов, лигатур и присадок.

Рассмотрим основные группы модификаторов.

Магнийсодержащие сплавы, предназначенные преимущественно для рафинирующей обработки высокосернистых ваграночных чугунов перед сфероидизацией (табл. 7). Рекомендуемый расход 0,5...1,0 % от массы модифицируемого расплава.

Модификаторы с высоким содержанием кальция, предназначенные преимущественно для рафинирующей обработки электропечного чугуна с температурой не ниже 1400 °С (табл. 8). Рекомендуемый расход 0,5...1,0 %.

Модификаторы специальные, предназначенные для получения высокопрочного чугуна с вермикулярным графитом методом внутриформенного модифицирования (ориентировочный расход 0,6...0,8 % от

6. Химический состав сфероидизирующих модификаторов, % мас.

Марка модификатора	Mg	РЗМ	Ca	Si	Al	Fe
ФСМг9	8,5...10,5	0,3...1,0	0,2...1,0	50...60	1,2	Ост.
СК15Мг9	9,0...12,0	–	12...20	40	2,0	Ост.
ФС30РЗМ20 (лигатура)	–	20...30	–	30...35	2,0...6,0	Ост.

7. Химический состав рафинирующих магнийсодержащих модификаторов, % мас.

Марка модификатора	Mg	Ca	РЗМ	Al, не более	Si	Fe
FeSiMg317	2,7...3,3	0,8...1,2	6,5...7,4	2,5	45...48	Ост.
FeSiMg910	8,5...9,5	0,8...1,2	–	1,2	45...48	Ост.

8. Химический состав рафинирующих модификаторов, % мас.

Марка модификатора	Mg	Ca	РЗМ	Si	Al	Fe
FeSiMg750	4,6...5,4	6,6...7,4	–	45...48	1,2	Ост.
FeSiMg753	4,6...5,4	6,6...7,4	2,8...3,2	45...48	1,5	Ост.
FeSiCa15Mg6	5,5...6,5	14,0...16,0	–	45...55	2,0	Ост.
FeSiCa15Mg6R4	5,6...6,4	14,0...16,0	3,7...4,3	40...50	2,0	Ост.

массы обрабатываемого металла) и методами ковшевого модифицирования (табл. 9) для внепечной обработки стали (табл. 10). Ориентировочный расход 1,0...1,5 %.

В табл. 11 приведены химические составы и марки основной группы модификаторов, предназначенных для сфероидизирующей обработки чугуна.

Инокулирующие модификаторы для стали обеспечивают глубокую очистку от вредных примесей: серы, фосфора и кислорода, резко снижающих ее прочностные свойства. Кроме этого, происходит сфероидизация неметаллических включений, что также благоприятно сказывается на механических свойствах (табл. 12).

В табл. 13 представлены модификаторы смесевые, предназначенные для обработки чугуна. Благодаря комбинации эффективных элементов – Mn, Ca, Al – модификаторы обладают хорошим модифицирующим эффектом, способствующим образованию в структуре чугуна тонкопластинчатого перлита и безферритной матрицы. Расход модификатора при вводе в ковш составляет 0,15...0,3 % от массы чугуна. При вводе в струю расход может быть снижен на 50 %.

В табл. 14 приведены модификаторы-инокулянты для внепечной обработки стали.

Особый интерес представляют смесевые модификаторы, предназначенные для заполнения порошковой проволоки, которую подают в литейную форму в момент ее заполнения расплавом (см. табл. 13).

Бескремниевые комплексные лигатуры БКЛ на основе никеля. Совершенно новый тип лигатур разработан ЗАО "НПО БКЛ". Основой лигатуры является никель; в них полностью отсутствует кремний. Фирма разрабатывает и производит бескремниевые комплексные лигатуры БКЛ; она является единственным изготовителем в стране лигатур марок АКЦе (табл. 15).

9. Химический состав модификаторов для высокопрочного чугуна, % мас.

Марка модификатора	Si	Ca	РЗМ	Al	Ti	Ba	Mg	Fe
FeSiMg317Ti4	2,7...3,3	0,8...1,2	6,5...7,4	–	3,5...4,5	45...48	2,0...4,0	Ост.
FeSiMg414MnA	3,5...4,4	0,7...1,5	3,7...4,5	3,5...4,5	–	48...52	3,5...4,5	Ост.

10. Химический состав инокулянтов для внепечной обработки стали, % мас.

Марка модификатора	Si	Ca	РЗМ	Al	Ti	Ba	Mg	Fe
FeSiCa12-77Ba3	40...45	11...13	7...8	7...8	–	3...4	1...1,5	Ост.
FeSiCa12-77Ti3	40...45	11...13	7...8	7...8	3...4	–	1...1,5	Ост.

11. Химический состав модификаторов для сфероидизирующей обработки чугуна, % мас.

Марка модификатора	Mg	Ca	РЗМ	Ba	Si	Al	Fe
FeSiMg521Ba2	4,7...5,3	1,5...2,0	0,5...0,8	1,8...2,2	45...48	До 1,5	Ост.
FeSiMg910Ba4	8,5...9,5	0,8...1,2	–	3,7...4,3	45...48	До 1,2	Ост.
FeSiMg923	8,5...9,5	1,5...2,0	2,8...3,2	–	45...48	До 1,5	Ост.

12. Химический состав инокулянтов, предназначенных для модифицирования серого и высокопрочного чугунов, % мас.

Марка модификатора	Si	РЗМ	Mn	Zr	Ba	Ti	Ca	Al	Fe
FeSi60MCR*	60...65	1,5...2	–	–	–	–	2,0...3,0	1,5...2,5	Ост.
FeSi75Ba4	72...78	–	–	1,5...2,0	3,0...5,0	–	1,0...1,5	1,0...1,5	Ост.
ФС65Ба4-Б	65...70	–	< 0,4	–	3,5...5,0	–	< 1,5	< 1,5	Ост.
FeSi65MnA	65...70	–	3,0...4,0	–	–	–	0,5...1,5	1,5...2,0	Ост.
FeSi50Mn10Ba3	50...60	–	10...12	–	3,0...4,0	–	1,5...3,0	1,0...1,5	Ост.
Tialloy	50...55	–	–	–	–	10...12	0,8...1,2	0,8...1,2	Ост.
FeSi60RMZ	55...60	1,8...2,2	2,5...3,5	2,5...3,5	–	–	1,0...1,5	< 1,5	Ост.
Zircalloy	70...75	–	–	1,0...2,0	–	–	2,0...2,5	< 2,5	Ост.
FeSi60CMZ*	60...65	–	3,0...4,0	3,0...4,0	1,0...1,5	–	10...11	–	Ост.
ARSI1	20...25	10...15	–	–	–	–	3...4	Ост.	6...8
ARSI2	20...25	10...15	–	–	4,0...5,0	–	3...4	Ост.	8...10
Z-GRAPH	58...65	–	6,0...7,0	6,0...7,0	2,5...3,0	–	1,0...1,5	< 1,0	Ост.
CARBAMAX2**	25...30	–	–	–	9,0...12,0	–	0,5	< 1,0	Ост.

*Модификатор дополнительно содержит 1,5...2,0 % магния.

**Модификаторы CARBAMAX содержат 45...50 % углерода.

13. Химический состав смесевых модификаторов для обработки чугуна, % мас.

Марка модификатора	Mg	Ca	РЗМ	Ba	Si	Fe
Simag10	9...11	0,5...1	0,5...1	2...4	55...65	Ост.
Simag20	19...21	0,5...1	0,5...1	2...4	50...60	Ост.
Simag30	28...32	0,5...1	0,5...1	2...4	40...50	Ост.

14. Химический состав модификаторов-инокулянтов для внепечной обработки стали, % мас.

Марка модификатора	Si	Ca	РЗМ	Al	Ba	B	Mg	Fe
INSTEEL	45...50	8...10	–	–	8...10	–	–	Ост.
INSTEEL1	45...50	8...10	–	8...10	8...10	–	–	Ост.
INSTEEL2-B	45...50	10...12	10...12	До 2	5...6	3...4	1...1,5	Ост.
INSTEEL3	40...45	10...12	7...8	7...8	5...6	–	1...1,5	Ост.
INSTEEL6	40...45	10...12	10...12	3...4	–	3...4	1...1,5	Ост.
INSTEEL7	40...45	10...12	10...12	7...8	5...6	–	–	Ост.
INSTEEL9	40...45	4...6	10...12	7...8	–	–	1...1,5	Ост.

Введение 1,5...2 кг БКЛ на тонну жидкого металла наряду с глубоким раскислением, рафинированием и модифицированием дополнительно микролегирует стали и чугуны. Лигатура не увеличивает склонность к шлакообразованию, повышает трещиноустойчивость, увеличивает жидкотекучесть, повышает усталостную

15. Химический состав лигатур БКЛ, % мас.

Марка модификатора	Al	Ca	РЗМ	Другие элементы
АКЦе	20	3	20	–
АКЦеТ	20	3	20	5 % Ti
АКЦеФ	20	3	20	8 % V
АКЦеБ	20	3	20	5 % Nb
АКЦеР	20	3	20	1 % B
АКЦеТФ	20	3	20	5 % Ti; 5 % V
АКЦеЖ	20	3	20	15 % Fe
АКЦеИт	20	3	20	6 % Y
ЖАКЦе	20	3	20	Fe – ост.

прочность, улучшает износостойкость и коррозионную стойкость.

Выполненный обзор показывает, что для обработки черных сплавов применяют комплексные присадки и лигатуры, прежде всего магнийсодержащие, в состав которых одновременно входит значительное количество функционально различных элементов. Данные элементы обычное модифицирование дополняют легированием, микролегированием, десульфурацией и раскислением. Фактически комплексные присадки являются не столько модификаторами, сколько самостоятельными сложнолегированными сплавами.

Среди прогрессивных технологий обработки чугуна особое место занимает стремительно развивающаяся технология брикетированных легковесных псевдолигатур и нанопорошков. В качестве исходных материалов при внутриформенном модифицировании применяют порошки Mg, ФС75, СК5Ба5, Fe, графита, плавикового шпата, стальную дробь (размер частиц 1...4 мм).

Разработаны схемы утилизации пылевидных отходов (до 1 мм), образующихся при производстве модификаторов на железокремниевой основе (ФС75, ФСМг7 и др.) с добавкой порошка Mg и получением брикетов. При внутриформенном модифицировании применяют дробленые легковесные модификаторы для получения высокопрочного чугуна, состоящие из Mg и РЗМ.

Использование нанопорошков (размером менее 100 нм) Al_2O_3, SiC, BN, полученных методом плазмохимического взрыва, привело к резкому измельчению зерна в чугуне и росту механических свойств последних. На широкой номенклатуре чугунов при их модифицировании в ковш под струю расплава и внутриформенном модифицировании исследовано влияние порошковых псевдолигатур Al–Ti– Mg. Установлена высокая модифицирующая способность нового модификатора [4].

Новый подход к изготовлению традиционных модификаторов серии Fe–Ni–Mg, Ni–Mg разработан в ООО "НЭК", г. Елабуга. Это способ кристаллизации расплава модификатора под флюсом во вращающейся центробежной изложнице, что позволяет получать очень чистый и плотный продукт, а в определенных условиях – с мелкокристаллической структурой. Способ также защищен патентом, а продукт изготовляют по самостоятельным ТУ.

В настоящее время установлено, что структурным элементом, формирующим строение железоуглеродистых расплавов, является *фуллерен* – новая аллотропная форма углерода. Фуллерены относятся к так называемым фрактальным кластерам, как единичным наноструктурным элементам, формирующим структурную фрактальную основу расплавов [5]. Формирование фрактальных самоорганизующихся структур осуществляется из кластеров, имеющих размеры 2...10 нм и состоящих из не менее 10^2...10^5 атомов. Примером такой структуры являются различные типы фуллереновых наночастиц углерода, которые выделены из железоуглеродистых расплавов и исследованы.

Одним из свойств фуллеренов, которое кардинально изменяет взгляды на структуру железоуглеродистых расплавов, является наличие физической поверхности раздела фуллерен–расплав. Наличие данной поверхности у фуллереновых углеродных наночастиц является таким фактором, который способен кардинально изменить существующие подходы к технологии модифицирования.

Следовательно, открывается возможность целенаправленного воздействия на эту поверхность раздела с последующим формированием в структуре расплава при его модифицировании требуемых центров кристаллизации (графитизации) за счет обработки расплава элементами Va и VIa подгрупп таблицы Менделеева, которые, как известно, являются поверхностно-активными элементами (ПАЭ) в железоуглеродистых расплавах.

Кроме того, температура расплава не является лимитирующим фактором для воздействия ПАЭ; их эффективность проявляется во всем диапазоне температур: от температуры начала плавления сплава до технологической температуры перегрева расплава.

Применение ПАЭ открывает новые аспекты воздействия на структуру железоуглеродистых расплавов через воздействие на фуллереновые структуры и углеродные наночастицы. В результате исследований разработана принципиально новая технология наномодифицирующей обработки железоуглеродистых расплавов, отличительной новизной которой является эффективная модифицирующая обработка низкотемпературных (T < 1300 °С) железоуглеродистых расплавов, особенно ваграночных и доменных чугунов.

Технология наномодифицирования является "чистым" модифицированием, поскольку управляет только процессами зарождения, роста и развития центров кристаллизации (графитизации). Она не несет в себе

функции легирования, раскисления, дегазации, десульфурации, которые характерны для многих типов применяемых комплексных присадок на основе магния и многокомпонентных лигатур.

В основе технологии наномодифицирования железоуглеродистых расплавов – новый тип модификатора "Glitter", который избирательно воздействует на наноструктуры расплава чугуна: фуллереновые комплексы и углеродные наночастицы. Модификатор "Glitter" представляет собой комплекс химических соединений ПАЭ и их твердых растворов с другими элементами. В состав модификатора входят ПАЭ Va и VIa подгрупп таблицы Менделеева, а также алюминий, сурьма, медь, олово и другие элементы [5].

Наномодифицирование решает следующие технико-экономические задачи:

– модифицирование "немодифицируемых" ваграночных и доменных чугунов, составляющих основу российской заготовительной базы машиностроения;

– решает проблему модифицирования доменных чугунов при получении крупнотоннажных отливок;

– способствует созданию технологии безотходной утилизации отвальных шлаков медно-никелевого и титанового плавильного производств в качестве дешевого шихтового материала и полиметаллического ферросплава, которых в России скопилось сотни миллионов тонн;

– создает малоэнергоемкую технологию получения ковкого чугуна, возвращая в машиностроительное производство уникальный конструкционный материал.

Заключение

Существующую ситуацию на рынке модификаторов можно охарактеризовать как неустойчивую.

Определенную роль в выборе путей развития технологий модифицирования может сыграть успешно стартовавший в 2005 г. в Челябинске форум "Литейный Консилиум". Целью создания форума было организовать возможность объединения усилий специалистов (различных областей знаний) для решения проблем литейщиков, а первой проблемой для его работы выбрана именно проблема модифицирования черных сплавов.

Форум организован при генеральной финансовой поддержке компании "НПП" с участием фирмы "Проджелта" (Италия). Техническое и информационное сопровождение обеспечили ООО "Исследовательский центр Модификатор" (Москва) и компания "НПП". Главными итогами форума стали организация рабочей группы и выбор направлений исследований в области модифицирования черных сплавов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Чугун:** Справ. изд. / под ред. А.Д. Шермана и А.А. Жукова. М.: Металлургия, 1991. 576 с.

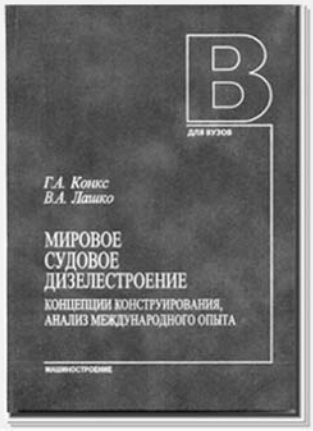
2. **Гини Э.Ч.** Литейное производство в XX веке. Анализ итогов // Литейное производство. 2002. № 7. С. 6–8; 2002. № 8. С. 4–9; 2004. № 5. С. 2–3.

3. **Баландин Г.Ф., Беликов О.А., Гини Э.Ч. и др.** Литейное производство в России // Справочник. Инженерный журнал. 2000. № 6. С. 11–14; 2000. № 7. С. 22–24.

4. **Крушенко Г.Г., Ямских И.С., Бонченков А.А., Мишин А.С.** Повышение качества чугунных отливок с помощью нанопорошков // Металлургия машиностроения. 2002. № 2(9). С. 20–21.

5. **Давыдов С.В.** Технология наномодифицирования доменных и ваграночных чугунов // Заготовительные производства в машиностроении. 2005. № 2. С. 3–9.

Сергей Васильевич Давыдов, д-р техн. наук;
Алексей Геннадьевич Панов, канд. техн. наук



Мировое судовое дизелестроение

Концепции конструирования, анализ международного опыта

Учебное пособие для вузов

/ Г.А. Конкс, В.А. Лашко. – М.: Машиностроение, 2005. – 512 с., ил.

ISBN 5-217-03290-1

Цена с НДС 594 руб.

Рассмотрены все важные аспекты создания и развития современных судовых МОД, СОД и ВОД, судовых дизель-электрических агрегатов, дана информация о фирмах–изготовителях судовой дизельной техники. Приведены конструктивные особенности, технические характеристики, программы выпуска моделей судовых дизелей и дизель-генераторов.

Для студентов специальностей 101200 «Двигатели внутреннего сгорания» и 240500 «Эксплуатация судовых энергетических установок», а также для аспирантов и специалистов отраслей дизелестроения, судостроения и судоходства.

Приобрести книгу можно непосредственно в издательстве "Машиностроение", прислав заявку в отдел реализации по факсу: (495) 269-48-97 (работает круглосуточно); по e-mail: realiz@mashin.ru; по почте: 107076, Москва, Стромынский пер., 4. ОАО "Издательство "Машиностроение". Справки по тел. (495) 269-66-00. http://www.mashin.ru

Е.А. Чернышов *(Нижегородский государственный технический университет)*

Отливки из антифрикционного чугуна

Приведены марки отечественных и зарубежных антифрикционных чугунов, их химический состав, микроструктура, твердость, назначение и условия применения по ГОСТ 1585–85, а также режимы термической обработки отливок из антифрикционного чугуна.

The article describes the grades of domestic and foreign bearing cast irons, its chemical compound, microstructure, hardness, function and application conditions by GOST 1585–85, and also regimes of thermal treatment of bearing cast iron castings.

Отливки из антифрикционного чугуна применяют для деталей, работающих в узлах трения со смазкой. В соответствии с ГОСТ 1585–85 марки антифрикционного чугуна, его химический состав, микроструктура и твердость должны соответствовать нормам, указанным в табл. 1–3.

В марке антифрикционного чугуна буквы означают: АЧ – антифрикционный чугун; С – серый чугун с пластинчатым графитом; В – высокопрочный чугун с шаровидным графитом; К – ковкий чугун с компактным графитом; цифра – порядковый номер марки.

1. Химический состав антифрикционного чугуна

Марка чугуна	Массовая доля элементов, %												
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Cu	Sb	Pb	Al	Mg	P	S
АЧС-1	3,2...3,6	1,3...2,0	0,6...1,2	0,2...0,5	–	–	0,8...1,6	–	–	–	–	0,15...0,40	≤ 0,12
АЧС-2	3,0...3,8	1,4...2,2	0,3...1,0	0,2...0,5	0,2...0,5	0,03...0,10	0,2...0,5	–	–	–	–	0,15...0,40	≤ 0,12
АЧС-3	3,2...3,8	1,7...2,6	0,3...0,7	≤ 0,3	≤ 0,3	0,03...0,10	0,2...0,5	–	–	–	–	0,15...0,40	≤ 0,12
АЧС-4	3,0...3,5	1,4...2,2	0,4...0,8	–	–	–	–	0,04...0,40	–	–	–	≤ 0,30	0,12...0,20
АЧС-5	3,5...4,3	2,5...3,5	7,5...12,5	–	–	–	–	–	–	0,4...0,8	–	≤ 0,20	≤ 0,05
АЧС-6	2,2...2,8	3,0...4,0	0,2...0,6	–	–	–	–	–	0,5...1,0	–	–	0,5...1,0	≤ 0,12
АЧВ-1	2,8...3,5	1,8...2,7	0,6...1,2	–	–	–	≤ 0,7	–	–	–	0,03...0,08	≤ 0,2	≤ 0,03
АЧВ-2	2,8...3,5	2,2...2,7	0,4...0,8	–	–	–	–	–	–	–	0,03...0,08	≤ 0,2	≤ 0,03
АЧК-1	2,3...3,0	0,5...1,0	0,6...1,2	–	–	–	1,0...1,5	–	–	–	–	≤ 0,2	≤ 0,12
АЧК-2	2,6...3,0	0,8...1,3	0,2...0,6	–	–	–	–	–	–	–	–	≤ 0,25	≤ 0,12

2. Микроструктура антифрикционного чугуна

Марка чугуна	Графит			Перлит*		Фосфидная эвтектика (характер распределения)	Прочие составляющие
	Форма	Размер	Распределение	Занимаемая площадь	Дисперсность		
АЧС-1 АЧС-2 АЧС-3 АЧС-4	ПГф1, ПГф2, ПГф4, ВГф2	ПГд15 – ПГд180	ПГр1 – ПГр3	П – П70 П85, П70 П – П85	ПД0,3 – ПД1,6	ФЭр1, ФЭр2	Цементит не допускается

Марка чугуна	Графит			Перлит*		Фосфидная эвтектика (характер распределения)	Прочие составляющие
	Форма	Размер	Распределение	Занимаемая площадь	Дисперсность		
АЧС-5	ПГф1, ПГф2, ПГф4, ВГф2	ПГд15 – ПГд180	ПГр1 – ПГр3	Аустенит: после закалки – не менее 80 % поля шлифа, в литом состоянии – не менее 45 % поля шлифа. Карбиды: после закалки – не более 8 %, в литом состоянии – не более 25 %			
АЧС-6				П – П85	ПД0,3 – ПД1,6	ФЭр2, ФЭр3	Цементит не допускается
АЧВ-1	ШГф2, ШГф4, ШГф5	ШГд15 – ШГд180		П96 – П45	ПД0,3 – ПД1,0	ФЭр1, ФЭр2	Не более 5 % цементита
АЧВ-2				П70 – П45			
АЧК-1	КГф2, КГф3	КГд15 – КГд90		П – П85			Цементит не допускается
АЧК-2				П70 – П45			

* Для всех марок чугуна структура металлической основы вида Пт1.

3. Твердость антифрикционного чугуна

Марка чугуна	Твердость НВ	Марка чугуна	Твердость НВ
АЧС-1	180...241	АЧС-6	100...120
АЧС-2	180...229	АЧВ-1	210...260
АЧС-3	160...190	АЧВ-2	167...197
АЧС-4	180...229	АЧК-1	187...229
АЧС-5	180...290 140...180*	АЧК-2	167...197

* После нагрева до температуры 950...1000 °С, выдержки и закалки.

Назначение антифрикционного чугуна приведено в табл. 4.

Содержание марганца в чугуне марки АЧС-5 в зависимости от толщины стенки отливки приведено в табл. 5.

Режимы термической обработки отливок из антифрикционного чугуна приведены в табл. 6.

Условия применения антифрикционного чугуна в узлах трения. Применение отливок из антифрикционного чугуна в узлах трения требует соблюдения следующих условий:

– тщательный монтаж, обеспечивающий точное сопряжение трущихся поверхностей и отсутствие перекоса;

4. Назначение антифрикционного чугуна

Марка чугуна	Назначение	Марка чугуна	Назначение
АЧС-1	Для работы в паре с закаленным или нормализованным валом	АЧС-6	Для работы в узлах трения при температуре до 300 °С в паре с валом, не подвергающимся термической обработке
АЧС-2	То же	АЧВ-1	Для работы в узлах трения с повышенными окружными скоростями в паре с закаленным или нормализованным валом
АЧС-3	Для работы в паре с закаленным или нормализованным валом или валом, не подвергающимся термической обработке	АЧВ-2	Для работы в условиях трения с повышенными окружными скоростями в паре с валом, не подвергающимся термической обработке
АЧС-4	Для работы в паре с закаленным или нормализованным валом	АЧК-1	Для работы в паре с нормализованным или закаленным валом
АЧС-5	Для работы в особо нагруженных узлах трения в паре с закаленным или нормализованным валом	АЧК-2	Для работы в паре с валом, не подвергающимся термической обработке

5. Содержание марганца в чугуне марки АЧС-5

Толщина стенки отливки, мм	Массовая доля марганца, %	Твердость НВ
От 5 до 10	От 7,5 до 8,5	180...290; 140...180 (после термообработки по режиму 1 табл. 6)
Св. 10 » 20	Св. 8,5 » 9,5	
» 20 » 30	» 9,5 » 10,5	
» 30 » 40	» 10,5 » 11,5	
» 40 » 60	» 11,5 » 12,5	

6. Режимы термической обработки отливок из антифрикционного чугуна

Номер режима	Режим термической обработки
1	Закалка: нагрев до 1000...1050 °С, выдержка 3...5 ч, вода
2	Нормализация: нагрев на 30...50 °С выше точки Ac_3, выдержка 1...2 ч, воздух
3	Отпуск для снятия напряжений после литья или термической обработки: нагрев до 200...500 °С, выдержка 1...3 ч, воздух
4	Отжиг для получения перлитного ковкого чугуна: нагрев до температуры первой стадии графитизации 900...980 °С, выдержка 2...8 ч, воздух

– непрерывная смазка, не допускающая искрений или значительного нагрева узла трения;

– повышение зазоров по сравнению с установленными для бронзы на 15...30 % при наличии значительного нагрева узла трения в работе – до 50 %;

– приработка на холостом ходу и постепенное повышение рабочих нагрузок.

7. Режимы работы деталей из антифрикционного чугуна

Марка чугуна	Давление p, МПа	Скорость скольжения v, м/с	p v, МПа·м/с
	Не более		
АЧС-1	5,0 14,0	5,0 0,3	12,0 2,5
АЧС-2	10,0 0,1	0,3 3,0	2,5 0,3
АЧС-3	6,0	1,0	5,0
АЧС-4	15,0	5,0	40,0
АЧС-5	20,0 30,0	1,0 0,4	20,0 12,5
АЧС-6	9,0	4,0	9,0
АЧВ-1	1,5 20,0	10,0 1,0	12,0 20,0
АЧВ-2	1,0 12,0	5,0 1,0	3,0 12,0
АЧК-1	20,0	2,0	20,0
АЧК-2	0,5 12,0	5,0 1,0	25 12,0

Примечание. Приводимые для некоторых марок чугуна два предельных значения для p и, соответственно, для v указывают допустимые сочетания значений каждого из этих показателей.

Режимы работы деталей из антифрикционного чугуна в узлах трения должны соответствовать нормам, указанным в табл. 7.

В зарубежных странах нет стандарта, объединяющего марки антифрикционных чугунов. В зарубежных марках нет полного совпадения химических составов. Основным критерием идентичности приняты интервалы твердости (табл. 8).

8. Зарубежные марки антифрикционного чугуна

Страна, стандарт	Марка чугуна	Номер режима термической обработки	Твердость НВ	Страна, стандарт	Марка чугуна	Номер режима термической обработки	Твердость НВ
Россия, ГОСТ 1585	**АЧС-1**	3	180...241	Россия, ГОСТ 1585	**АЧС-2**	3	180...229
Германия, DIN 1691	GG-220HB	–	180...250	Германия, DIN 1691	GG-190HB	–	170...230
Япония, JIS G 5501	FC-250	–	229...269	Япония, JIS G 5501	FC-200	–	217...255
Великобритания, BS 1452	300	–	180...255	Великобритания, BS 1452	250	–	160...235

Страна, стандарт	Марка чугуна	Номер режима термической обработки	Твердость НВ	Страна, стандарт	Марка чугуна	Номер режима термической обработки	Твердость НВ
Россия, ГОСТ 1585	**АЧС-3**	3	160...190	Германия, DIN 1691	GGG-50	–	170...220
Германия, DIN 1691	GG-170HB	–	140...205	Франция, NF A 32-201	FGS 500-7	–	170...230
Япония, IS G 5501	FC-100	–	160...201	Россия, ГОСТ 1585	**АЧК-1**	4	187...229
Великобритания, BS 1452	200	–	135...210	США, ASTM A 602	M5003	–	187...241
Россия, ГОСТ 1585	**АЧС-4**	3	180....229	Германия, DIN 1692	GTS 5504	–	180...230
Россия, ГОСТ 1585	**АЧС-5**	1; 3	180...290 140...180*	Япония, JIS G 5703	FCMWP 540	–	183...241
Германия, DIN 1691	GG-240HB	–	180...275	Франция, NF A 32-702	MN 540-4	–	180...240
Россия, ГОСТ 1585	**АЧС-6**	–	100...120	Великобритания, BS 6681	P55-04	–	180...230
Россия, ГОСТ 1585	**АЧВ-1**	2; 3	210...260	Россия, ГОСТ 1585	**АЧК-2**	4	167...197
Германия, DIN 1691	GGG-60	–	200...250	США, ASTM A 602	M4504	–	163...217
Япония, JIS G 5502	FCD 60	–	192...269	Германия, DIN 1692	GTS 45-06	–	150...200
Франция, NF A 32-201	FGS 600-3	–	190...270	Япония, JIS G 5703	FCMWP 490	–	167...229
Великобритания, BS 2789	600/3	–	192...269	Франция, NF A 32-702	MN 450-6	–	150...210
Россия, ГОСТ 1585	**АЧВ-2**	2; 3	167...197	Великобритания, BS 6681	P50-05	–	160...220
США, ASTM A 536	80-55-06	–	190...225				

* После термообработки по режиму 1.

Методы испытания. Микроструктуру антифрикционного чугуна определяют по ГОСТ 3443–87.

Определение твердости проводят по ГОСТ 27208–87. Число образцов для определения твердости устанавливают в соответствии с рекомендациями нормативно-технической документации.

Евгений Александрович Чернышов, д-р техн. наук

В.В. Десницкий, Е.О. Ольховик, Р.А. Молчанюк
(Санкт-Петербургский институт машиностроения)

Исследование деформационно-прочностных характеристик материалов формы при затвердевании металла

Предложена методика, позволяющая экспериментальным методом определить температурную зависимость изменения упругих свойств материалов литейной формы. Полученные данные позволяют с использованием численных методов расчета оценить параметры силового взаимодействия затвердевающего металла отливки, формы и стержня.

In work is offered technique, allowing by an experimental method to determine temperature dependence change of elastic properties mold materials. The received data allow estimating parameters of force interaction hardening casting metal, mold and a core with use numerical methods of calculation.

Проблема образования горячих трещин в стальных фасонных отливках является знаковой для современного литейного производства и в настоящее время не имеет полного научно-обоснованного решения, что объясняется сложностью и многофакторностью силового взаимодействия металла отливки и материала формы при затвердевании. Наибольшую склонность к образованию горячих трещин имеют отливки больших габаритных размеров при относительно небольшом сечении стенок.

Среди современных предприятий большое распространение для изготовления форм и стержней получили связующие материалы на основе различных синтетических смол. Они облегчают процесс формовки, обеспечивают легкое извлечение модели после формовки, улучшенную выбиваемость и меньшее содержание вредных выбросов в атмосферу.

Однако ограниченное количество сведений о температурной зависимости деформационно-прочностных свойств для материалов формы существенно затрудняет возможность прогнозирования результатов силового взаимодействия металла затвердевающей отливки и формы. Хорошо известно, что значительное увеличение прочностных свойств смесей при высоких температурах снижает податливость формы и вызывает возможность образования таких дефектов, как горячие трещины. Поэтому наибольший интерес вызывает изучение деформационных процессов в системе отливка–форма с определением термокинетических зависимостей изменения упругости и податливости материала формы и стержня.

Конструкция экспериментальной установки для исследования деформационных свойств формы представлена на рис. 1. Установка состоит из неподвижной основы-плиты *1*, на которую закрепляется специальная опока *2*, в которой находятся два исследуемых образца *3*. Литниковая система находится в верхней полуформе и обеспечивает одновременную заливку обоих образцов.

Температуру металла и формы измеряли с помощью набора вольфрам-рениевых термопар, установленных непосредственно в форме и одном из образцов. Дифференциальная регистрация температуры осуществлялась с использованием персонального компьютера. Исследования построены по схеме затруднения усадки отливки опорной поверхностью, при этом один конец образца-отливки закрепляется в захватах, а другой имеет выступы в форме.

Конструкция установки позволяет одновременно измерять перемещения опорных частей отливки и силы, возникающие в образце, пружинным динамометром и датчиком перемещений *4*. Конец отливки, который закреплен в захватах и является условно неподвижным, подпружинен динамометром и перемещается только при наличии силы, развиваемой при усадке образца. Расшифровка записей с датчика перемещения и пружинного динамометра позволяет представить ход перемещения конца отливки с упорными частями. На этой основе строится кинетика реализованной усадки от времени и кинетика развития усадочных напряжений в металле образца отливки.

Эксперименты выполняли для стали 25Л, а в качестве исследуемых материалов формы использовали песчано-глинистую смесь и смесь, полученную по alpha-set-процессу.

Экспериментальные данные, полученные при развитии термической усадки образца, приведены на

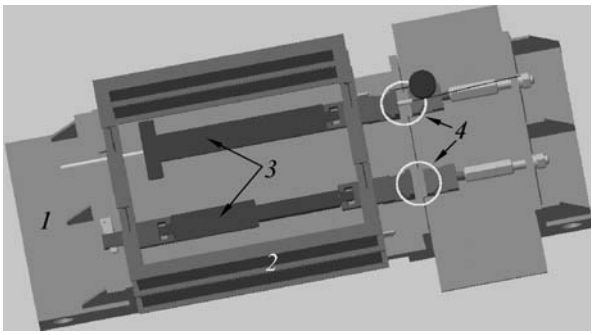


Рис. 1. Экспериментальная установка для изучения деформационно-прочностных характеристик металла и материалов формы

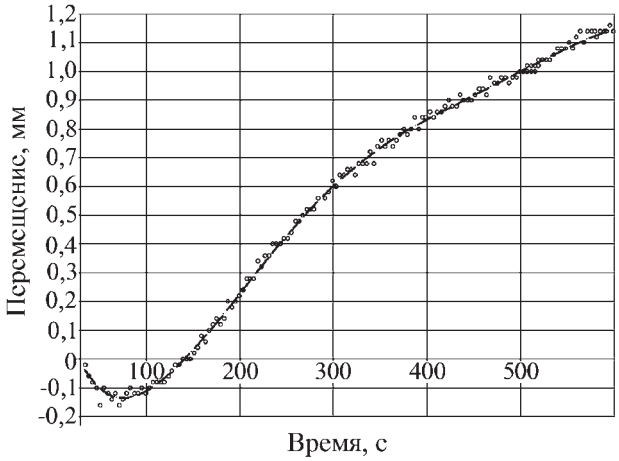


Рис. 2. Экспериментальные данные по перемещению опорной стенки отливки-образца при затвердевании металла

рис. 2. После заливки формы металлом датчики перемещений фиксировали значительное предусадочное расширение (отрицательные значения перемещения на рис. 2), инициированное первоначальным разогревом формы, который вызывает перемещение масс формы без образования напряжений в отливке и внедрения ее в форму. При затвердевании отливки благодаря усадке металла происходит перемещение границы металл–форма, при этом фиксируется кинетика перемещения опорной стенки образца и сила затрудненной усадки.

Параллельно натурным экспериментам проводили компьютерное моделирование силового взаимодействия между отливкой и формой. Численную модель расчета напряженно-деформированного состояния выполняли по методу конечных элементов. Компьютерный эксперимент не выполняет расчет предусадочного расширения, а использует только данные по перемещению опорной стенки отливки-образца при термической усадке. Модель силового взаимодействия отливки и формы представляет собой сложную систему, постоянно определяющую соотношение сил и деформаций с течением времени.

При остывании отливки на температуру

$$\Delta T = T_0 - T,$$

где T_0 – начальная температура; T – температура на расчетном шаге при затвердевании происходит пропорциональное изменение объема. При этом возникают термические деформации:

$$\varepsilon_{ij}^{T} = \alpha_{ij} \Delta T,$$

где α_{ij} – матрица коэффициентов теплового расширения, 1/°C, i, j – номера декартовых координат. Затвердевающий металл и материал формы являются изотропными материалами, поэтому объемная усадка происходит одинаково во всех направлениях и коэффициент объемной усадки определяется с использованием символа Кронекера.

Полную деформацию элементарного элемента $\varepsilon = \varepsilon^U + \varepsilon^T$ рассчитывали как сумму упругой деформации ε^U, обусловленной внешними нагрузками, и термической деформации ε^T, обусловленной изменением температуры. Тогда, если модель материалов является упруголинейной, напряжения в металле и материале формы можно определить исходя из закона Гука

$$\sigma = E\varepsilon^U = E(\varepsilon - \varepsilon^T),$$

где E – модуль.

Для нелинейного анализа используют зависимости модуля упругости от температуры $E(T)$. Для большинства марок сталей вид этой зависимости хорошо известен и является линейной или кусочно-линейной. Для модели деформации отливки в условиях сопротивления перемещению опорной стенки использовали зависимость изменения упругости металла от температуры.

Численными методами расчета по известным данным эксперимента определяли баланс сил и деформаций, которые развиваются при силовом взаимодействии между отливкой и формой. При этом рассчитывали и выделяли только результаты поиска баланса сил и деформаций. В результате на каждом шаге по времени получили расчетные и экспериментально определенные значения перемещений опорной стенки, напряжений, температуры, модуля упругости металла отливки, плотности и модуля упругости материала формы.

В расчетной модели первоначально модуль упругости материала формы задавали в зависимости от плотности, которая увеличивается при внедрении опорной стенки в форму. Для набора заданных упругостей формы рассчитывали кинетику усадки отливки и развитие напряжений в металле отливки (рис. 3).

Поскольку большинство материалов формы и стержней являются композитными материалами со сложными свойствами, температурная зависимость модуля упругости является практически неизвестной или мало изученной. Упругие свойства формы зависят от множества факторов, а наиболее сильно от плотности. При достижении определенной температуры (по данным авторов статьи ≈ 700...1000 °C для alpha-set-процесса) происходят термодеструкция связующего с одновременным резким снижением модуля упругости, плотности и, как следствие, полное разупрочнение участков формы.

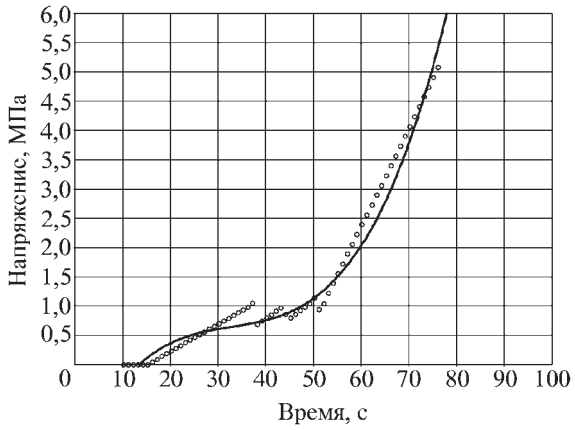


Рис. 3. Кинетика развития напряжений в металле отливки образца

Изменение плотности формы, по данным [1] предполагали от 1650 до 1750 кг/м^3, а изменение модуля упругости ступенчато от $20\cdot10^9$ до $60\cdot10^9$ Н/м^2 через $10\cdot10^9$ Н/м^2. Силы, возникающие при сокращении отливки, вызывают деформацию формы. Она зависит от модуля упругости формовочного материала и степени его расширения от температуры. Деформация формы является неизвестной величиной и зависит от развития напряжений в металле и форме. Деформацию определяли по методу последовательного приближения. Искомые условия определяются равенством сил сжатия со стороны отливки силами сопротивления деформации со стороны формы.

Для расчета распределения напряжений в форме использовали экспериментально определенное перемещение границы раздела металл–форма, которое рассматривали вначале как перемещение стороны граничного элемента формы, примыкающего к отливке. При перемещении стороны элемента в нем возникают сжимающие напряжения, изменяется плотность и модуль упругости. Распределение напряжений вглубь вычисляли путем последовательного рассмотрения пар элементов, где рассматривается баланс их напряженного состояния, и равновесие достигается перемещением общей границы между элементами.

Деформация элементарных объемов материала формы проявляется при перемещении их границы. При этом меняется его плотность и, соответственно, модуль упругости. Одновременно модуль упругости материала стержня зависит от температуры и времени. На рис. 4 представлено расчетное изменение напряжений в форме при затвердевании отливки-образца. По значениям напряжений, возникающих в элементарном объеме, определяли перемещение более удаленной границы объема и, соответственно, плотность, модуль упругости и напряжение во втором слое материала формы.

Сопоставление расчетных и натурных экспериментов позволило определить модуль упругости формы (рис. 5) при затвердевании отливки. Получили близкое соответствие расчетов и экспериментов без учета предусадочного расширения при модуле упруго-

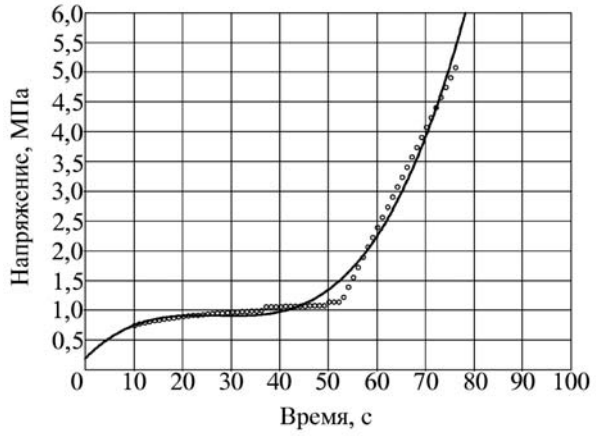


Рис. 4. Кинетика развития напряжений в материале формы при модуле упругости $40\cdot10^9$ Н/м^2

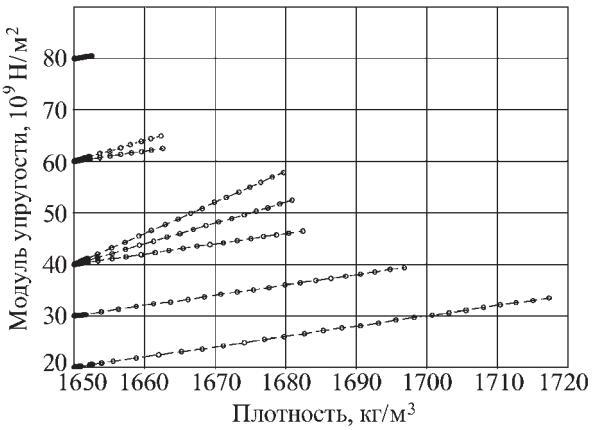


Рис. 5. Расчетное изменение модуля упругости материала формы (alpha-set-процесс) в зависимости от ее плотности

сти формы $40\cdot10^9$ Н/м^2. Полученные данные необходимы для использования в специализированном программном обеспечении для моделирования напряженно-деформированного состояния реальных отливок.

Развитие усадки отливки и возникающих напряжений также зависит от длины отливки, увеличение габаритных размеров отливки повышает опасность образования горячих трещин. Анализ деформационных процессов в отливке и форме, выполненный при разработке литейной технологии, позволит не допустить образования дефектов типа горячих трещин в производстве и снизить брак и затраты на исправление дефектов.

Выводы

Разработаны экспериментальные методики и численные методы для определения деформационно-прочностных характеристик материалов формы и стержней. Использование полученных результатов возможно на производстве для оптимального регулирования податливости формовочной смеси, что в свою очередь позволит снизить брак по горячим трещинам и размерной точности стальных отливок.

Исследования и расчеты проведены в рамках совместной научно-технической работы при участии сотрудников кафедры "Машины и технология литейного производства" Санкт-Петербургского института машиностроения, кафедры "Физико-химические основы литейного производства" Санкт-Петербургского государственного политехнического университета и АОЗТ "РУСТ-95" (Санкт-Петербург).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Матвеев И.А., Желателева Р.В., Десницкая Л.В., Ольховик Е.О.** Деформационные процессы при формировании размерной точности стальных отливок. СПб.: Изд-во С.-Петербургского института машиностроения, 2005. 124 с.

Владимир Владимирович Десницкий, д-р техн. наук;
Евгений Олегович Ольховик, канд. техн. наук;
Роман Анатольевич Молчанюк, инженер

Условные изображения и обозначения швов сварных соединений по ГОСТ 2.312–72 в ред. 2001 г.

ГОСТ 2.312–72 устанавливает условные изображения и обозначения швов сварных соединений в конструкторских документах изделий всех отраслей промышленности, а также в строительной документации, в которой не использованы изображения и обозначения, применяемые в строительстве.

1. Изображение швов сварных соединений

1.1. Шов сварного соединения независимо от способа сварки условно изображают:

– видимый – сплошной основной линией (рис. 1, *а*, *в*);

– невидимый – штриховой линией (рис. 1, *г*).

Видимую одиночную сварную точку независимо от способа сварки условно изображают знаком "+" (рис. 1, *б*), который выполняют сплошными линиями (рис. 1, *д*).

Невидимые одиночные точки не изображают.

От изображения шва или одиночной точки проводят линию-выноску, заканчивающуюся односторонней стрелкой (см. рис. 1). Линию-выноску предпочтительно проводить от изображения видимого шва.

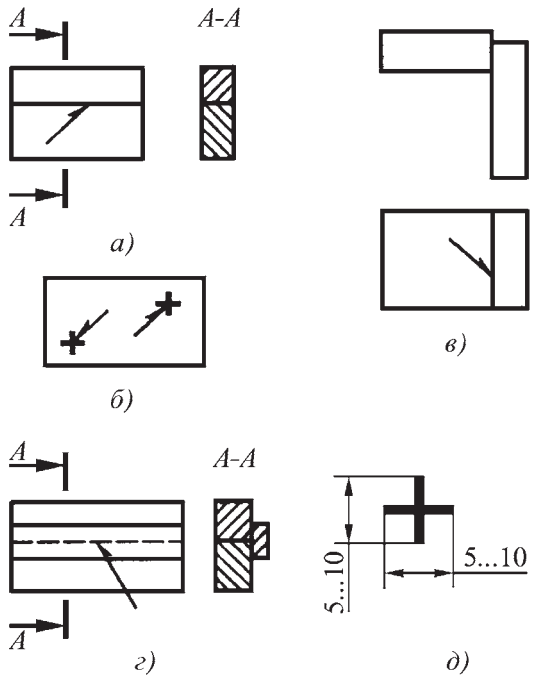


Рис. 1. Условное изображение сварных швов:
а, *в* – видимый шов – основная линия; *б* – видимая одиночная сварная точка – знак "+" (*д*); *г* – невидимый шов – штриховая линия

1.2. На изображение сечения многопроходного шва допускается наносить контуры отдельных проходов, при этом их необходимо обозначать прописными буквами русского алфавита (рис. 2).

1.3. Шов, размеры конструктивных элементов которого стандартами не установлены (нестандартный шов), изображают с указанием размеров конструктивных элементов, необходимых для выполнения шва по данному чертежу (рис. 3).

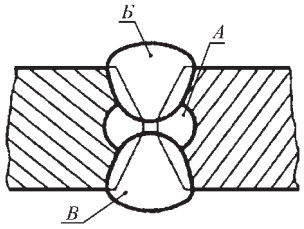


Рис. 2

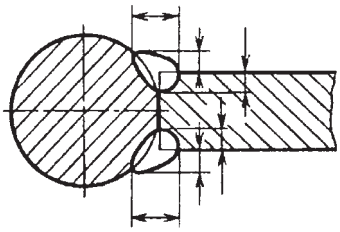


Рис. 3

Границы шва изображают сплошными основными линиями, а конструктивные элементы кромок в границах шва – сплошными тонкими линиями.

2. Условные обозначения швов сварных соединений

2.1. Вспомогательные знаки для обозначения сварных швов приведены в табл. 1.

В условном обозначении шва вспомогательные знаки выполняют сплошными тонкими линиями.

Вспомогательные знаки должны быть одинаковой высоты с цифрами, входящими в обозначение шва.

2.2. Структура условного обозначения стандартного шва или одиночной сварной точки приведена на рис. 4.

Знак ◺ выполняют сплошными тонкими линиями. Высота знака должна быть одинаковой с высотой цифр, входящих в обозначение шва.

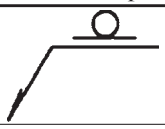
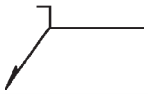
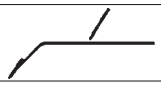
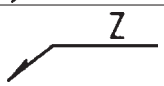
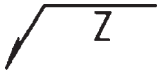
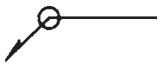
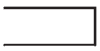
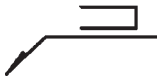
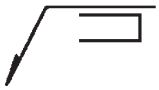
2.3. Структура условного обозначения нестандартного шва или одиночной сварной точки приведена на рис. 5.

В технических требованиях чертежа или таблицы швов указывают способ сварки, которым должен быть выполнен нестандартный шов.

2.4. Условное обозначение шва показано на рис. 6.

2.5. Обозначение шероховатости механически обработанной поверхности шва наносят на полке или под полкой линии-выноски после условного обозна-

1. Вспомогательные знаки для обозначения сварных швов

Вспомогательный знак	Значение вспомогательного знака	Расположение вспомогательного знака относительно полки линии-выноски, проведенной от изображения шва	
		с лицевой стороны	с оборотной стороны
	Усиление шва снять		
	Наплывы и неровности шва обработать с плавным переходом к основному металлу		
	Шов выполнить при монтаже изделия, т.е. при установке его по монтажному чертежу на месте применения		
	Шов прерывистый или точечный с цепным расположением. Угол наклона линии ≈60°		
	Шов прерывистый или точечный с шахматным расположением		
	Шов по замкнутой линии. Диаметр знака 3...5 мм		
	Шов по незамкнутой линии. Знак применяют, если расположение шва ясно из чертежа		

Примечания:

1. За лицевую сторону одностороннего шва сварного соединения принимают сторону, с которой производят сварку.
2. За лицевую сторону двустороннего шва сварного соединения с несимметрично подготовленными кромками принимают сторону, с которой производят сварку основного шва.
3. За лицевую сторону двустороннего шва сварного соединения с симметрично подготовленными кромками может быть принята любая сторона.

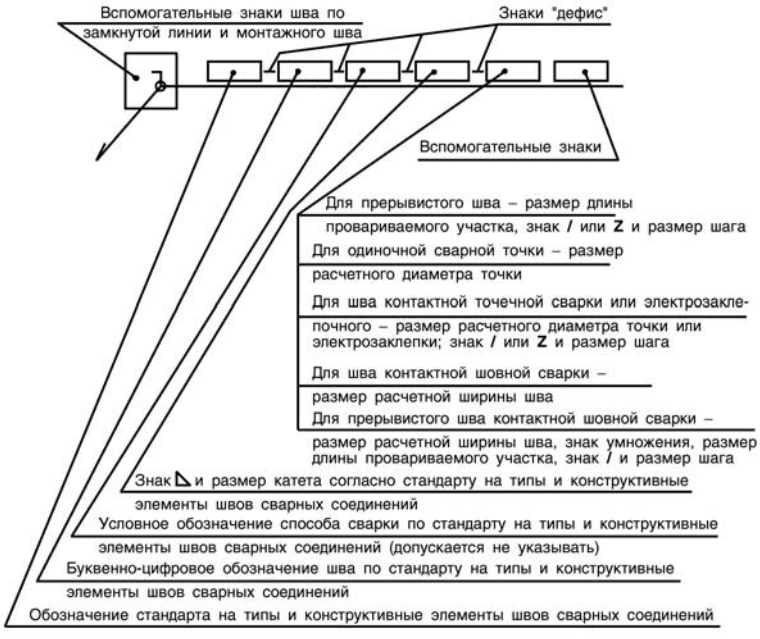


Рис. 4

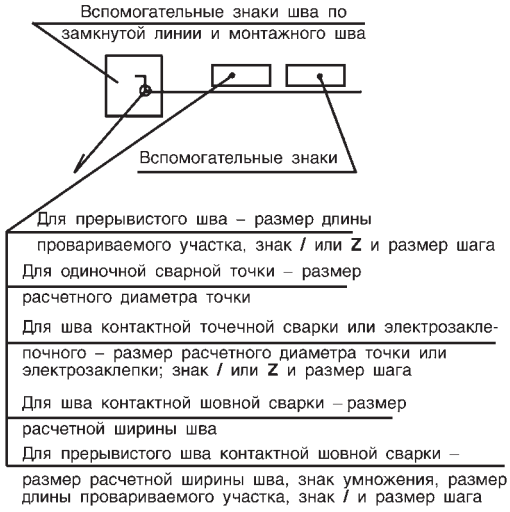


Рис. 5

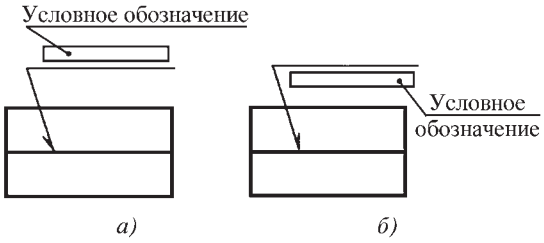


Рис. 6. Условное обозначение шва:
а – на полке линии-выноски, проведенной от изображения шва с лицевой стороны; *б* – под полкой линии-выноски, проведенной от изображения шва с оборотной стороны

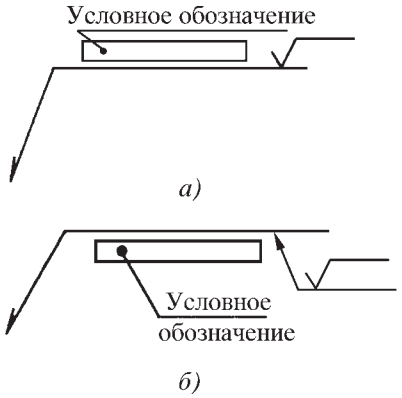


Рис. 7

чения шва (рис. 7), или указывают в таблице швов, или приводят в технических требованиях чертежа, например: "Параметр шероховатости поверхности сварных швов...".

2.6. Если для шва сварного соединения установлен контрольный комплекс или категория контроля шва, то их обозначение допускается помещать под линией-выноской (рис. 8).

В технических требованиях или таблице швов на чертеже приводят ссылку на соответствующий нормативно-технический документ.

2.7. Сварочные материалы указывают на чертеже в технических требованиях или таблице швов. Допускается сварочные материалы не указывать.

2.8. При наличии на чертеже одинаковых швов обозначение наносят у одного из изображений, а от изображений остальных одинаковых швов проводят линии-выноски с полками. Всем одинаковым швам присваивают один порядковый номер, который наносят:

– на линии-выноске, имеющей полку с нанесенным обозначением шва (рис. 9, *а*);

– на полке линии-выноски, проведенной от изображения шва, не имеющего обозначения, с лицевой стороны (рис. 9, *б*);

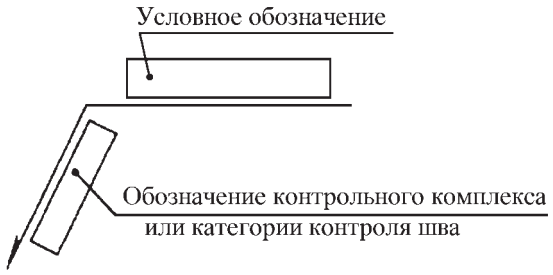


Рис. 8

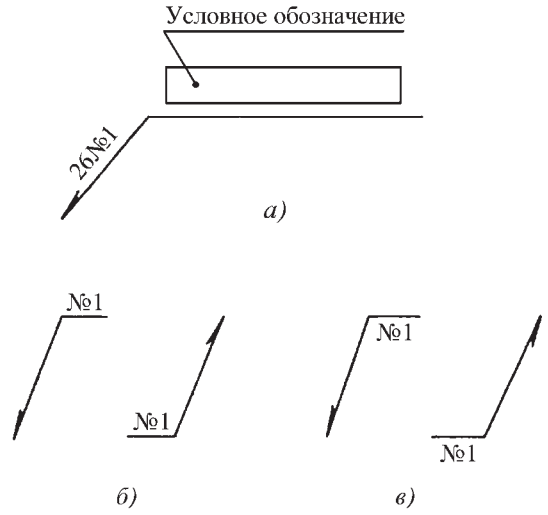


Рис. 9

– под полкой линии-выноски, проведенной от изображения шва, не имеющего обозначения, с оборотной стороны (рис. 9, *в*).

Число одинаковых швов допускается указывать на линии-выноске, имеющей полку с нанесенным обозначением (см. рис. 9, *а*).

Примечание. Швы считают одинаковыми, если:

1) одинаковы их типы и размеры конструктивных элементов в поперечном сечении;

2) к ним предъявляют одни и те же технические требования.

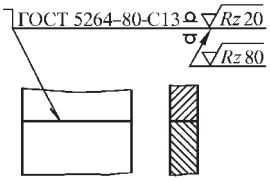
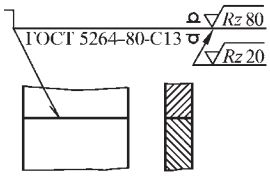
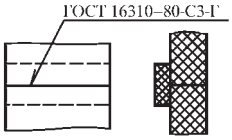
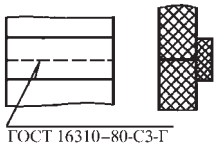
2.9. Примеры условных обозначений швов сварных соединений приведены в табл. 2 и 3.

3. Упрощения обозначений швов сварных соединений

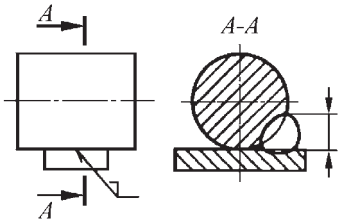
3.1. При наличии на чертеже швов, выполняемых по одному и тому же стандарту, обозначение стандарта указывают в технических требованиях чертежа (запись по типу: "Сварные швы... по...") или таблице.

3.2. Допускается не присваивать порядковый номер одинаковым швам, если все швы на чертеже оди-

2. Примеры условных обозначений стандартных швов сварных соединений

Характеристика шва	Форма поперечного сечения шва	Условное обозначение шва, изображенного на чертеже	
		с лицевой стороны	с оборотной стороны
Шов стыкового соединения с криволинейным скосом одной кромки, двусторонний, выполняемый дуговой ручной сваркой при монтаже изделия. Усиление снято с обеих сторон. Параметр шероховатости поверхности шва: с лицевой стороны – Rz = 20 мкм; с оборотной стороны – Rz = 80 мкм			
Шов стыкового соединения без скоса кромок, односторонний, на остающейся подкладке, выполняемый сваркой нагретым газом с присадочным прутком			

3. Пример условного обозначения нестандартного шва сварного соединения

Характеристика шва	Условное изображение и обозначение шва на чертеже
Шов соединения без скоса кромок, односторонний, выполняемый ручной дуговой сваркой при монтаже изделия	
Примечание. В технических требованиях делают следующее указание: "Сварка ручная дуговая".	

наковы и изображены с одной стороны (лицевой или оборотной). При этом швы, не имеющие обозначения, отмечают линиями-выносками без полок (рис. 10).

3.3. На чертеже симметричного изделия при наличии на изображении оси симметрии допускается отмечать линиями-выносками и обозначать швы только

Рис. 10

на одной из симметричных частей изображения изделия.

3.4. На чертеже изделия, в котором имеются одинаковые составные части, привариваемые одинаковыми швами, эти швы допускается отмечать линиями-выносками и обозначать только у одного из изображений одинаковых частей (предпочтительно у изображения, от которого приведена линия-выноска с номером позиции).

3.5. Допускается не отмечать на чертеже швы линиями-выносками, а приводить указания по сварке записью в технических требованиях чертежа, если эта запись однозначно определяет места сварки, способы сварки, типы швов сварных соединений и размеры их конструктивных элементов в поперечном сечении и расположение швов.

3.6. Одинаковые требования, предъявляемые ко всем швам или группе швов, приводят один раз – в технических требованиях или таблице швов.

УДК 621.983.001

И.П. Попов, В.Д. Маслов, К.А. Николенко
(Самарский государственный аэрокосмический университет)

Формообразование тонкостенных крутоизогнутых отводов в жестких инструментальных штампах

Исследован процесс изготовления тонкостенных отводов в жестких инструментальных штампах. Рассмотрено напряженно-деформированное состояние трубной заготовки в процессе обработки.

The paper describes the results of creation of stamps for thin-sheet bend production. The strain and stress states of tube are determined.

В различных отраслях машиностроения широко применяют тонкостенные отводы, изготавливаемые из трубных заготовок диаметром 25...100 мм с толщиной стенки 0,8...2 мм из алюминиевых и титановых сплавов, хромоникелевых коррозионно-стойких сталей и др.

Наиболее сложны в изготовлении отводы с радиусом кривизны по срединной поверхности, равным либо меньше 1,5 D (где D – диаметр исходной трубной заготовки).

В настоящее время для изготовления таких отводов наиболее часто применяют два основных способа формообразования трубных заготовок:

проталкивание через фильеру, имеющую криволинейную ось, с внутренним наполнителем;

протяжка трубной заготовки по рогообразному сердечнику.

Для осуществления гибки проталкиванием требуется специальное оборудование и устройства, имеющие ограниченное применение. В качестве наполнителя используют, как правило, полиуретан, стоимость которого в настоящее время на порядок превышает стоимость высококачественных инструментальных сталей, а стойкость – невысока.

При изготовлении отводов протяжкой по рогообразному сердечнику наряду с необходимостью использования специализированных прессов возникает необходимость дифференцированного нагрева деформируемой заготовки и инструмента.

Разными исследователями выполнен ряд разработок, направленных на создание технологии и оснастки для изготовления отводов из трубных заготовок с использованием универсального деформирующего оборудования [1–3]. Но поскольку в конструкциях устройств используют сложной формы внутренние оправки для создания давления и предотвращения гофрообразования заготовки, предложенные схемы не нашли широкого применения.

Указанные недостатки в большинстве случаев можно устранить, если для изготовления отводов из трубных заготовок использовать жесткие инструментальные штампы, а в качестве деформирующего оборудования использовать универсальные листоштамповочные прессы.

Для отработки такой технологии разработан, изготовлен и исследован штамп, рабочие части которого выполнены жесткими (рис. 1).

Штамп состоит из двух разъемных полуматриц *3*, на поверхности разъема которых выполнена фильера. Оправка, вводимая в деформируемую заготовку, выполнена жесткой, а ее форма обеспечивает равномерный зазор S_z между оправкой и поверхностью фильеры, равный по величине 1,1...1,2 толщины исходной трубной заготовки.

Оправка состоит из двух частей, разъем между которыми выполнен по ее срединной поверхности и имеет величину зазора $H = (3{,}5...4)\,S$, где S – толщина исходной трубной заготовки.

При этом наружная часть оправки, примыкающая к внешнему радиусу изгибаемого изделия, выполнена неподвижной, в то время как внутренняя часть оправки имеет возможность перемещаться на величину зазора H и смыкаться с внешней частью оправки.

Поскольку величина зазора S_z близка к толщине исходной трубной заготовки, деформирование заготовки при проталкивании осуществляется в гарантированном зазоре, что препятствует образованию гофр

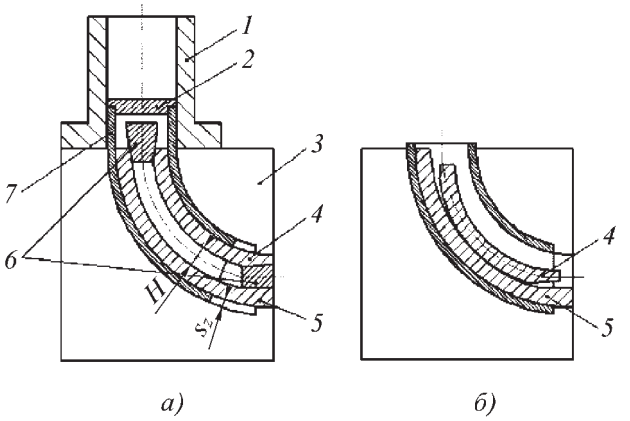


Рис. 1. Схема инструментального штампа для формообразования отводов:
а – с замками оправки; *б* – без замков оправки; *1* – направляющая втулка; *2* – пуансон; *3* – разъемные полуматрицы; *4* – внутренняя часть оправки; *5* – внешняя часть оправки; *6* – замки оправки; *7* – деформируемая заготовка

на поверхности заготовки и обеспечивает изготовление качественной детали.

Стойкость рабочих частей устройства, изготовленных из инструментальных углеродистых сталей У8А–У10А, для сложных гибочных штампов составляет 600...700 тыс. ударов [1]. Такая стойкость рабочих частей устройства на несколько порядков превышает стойкость деталей из полиуретана и позволяет экономить значительные средства на ремонт и восстановление работоспособности устройства.

Для отработки технологического процесса и определения особенностей формоизменения трубной заготовки выполнено компьютерное моделирование процесса изгиба заготовки в штампе исследуемой конструкции с использованием программных продуктов ANSYS–LS-DYNA.

Поэтапное деформирование заготовки приведено на рис. 2.

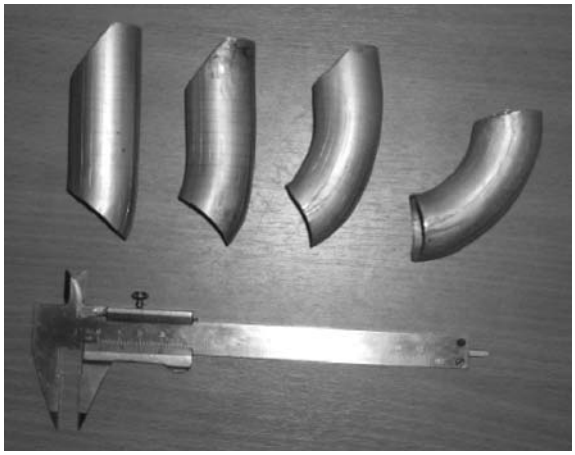


Рис. 2. Деформированная заготовка на различных этапах процесса формообразования отвода

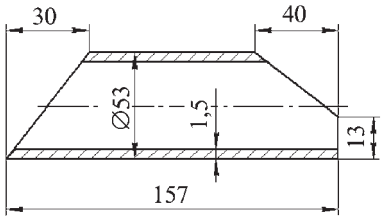


Рис. 3. Форма исходной трубной заготовки

В качестве материала для проведения экспериментов использовали трубные заготовки диаметром 53 мм и толщиной 1,5 мм из стали 12Х18Н10Т.

Наиболее рациональная форма заготовки для изготовления отвода с наружным диаметром 53 мм в штампе предлагаемой конструкции показана на рис. 3. Заготовка представляет собой отрезок трубы со скошенными торцами. На торце, к которому прикладывается деформирующая сила, есть плоский участок.

Исследования показали, что отклонение от рекомендуемой формы заготовки приводит к гофрообразованию на боковой поверхности детали, к неперпендикулярности торцев штампованной детали оси готового изделия, а также к чрезмерному утонению и разрушению детали.

Для анализа процесса формообразования и определения деформированного состояния использовали метод координатной сетки (рис. 4) как наименее трудоемкий и достаточно точный.

Результаты исследования деформированного состояния заготовки представлены на рис. 5 и 6. На этих же графиках приведены и теоретические кривые изменения толщины, полученные в результате компьютерного моделирования процесса формообразования отвода с использованием программного продукта ANSIS–LS-DINA.

Установлены следующие особенности деформирования трубной заготовки в штампе предлагаемой конструкции.

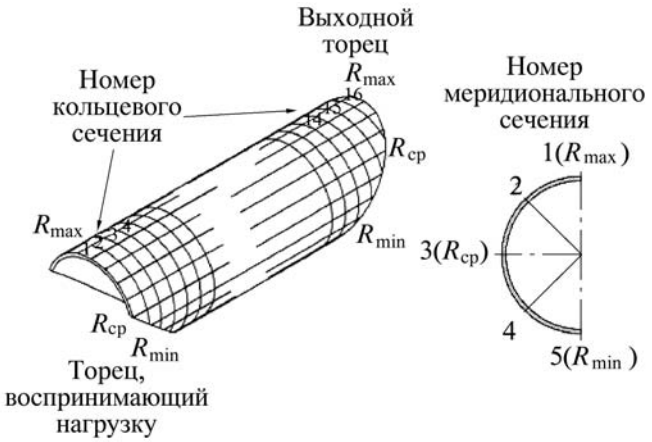


Рис. 4. Схема нанесения координатной сетки на трубную заготовку

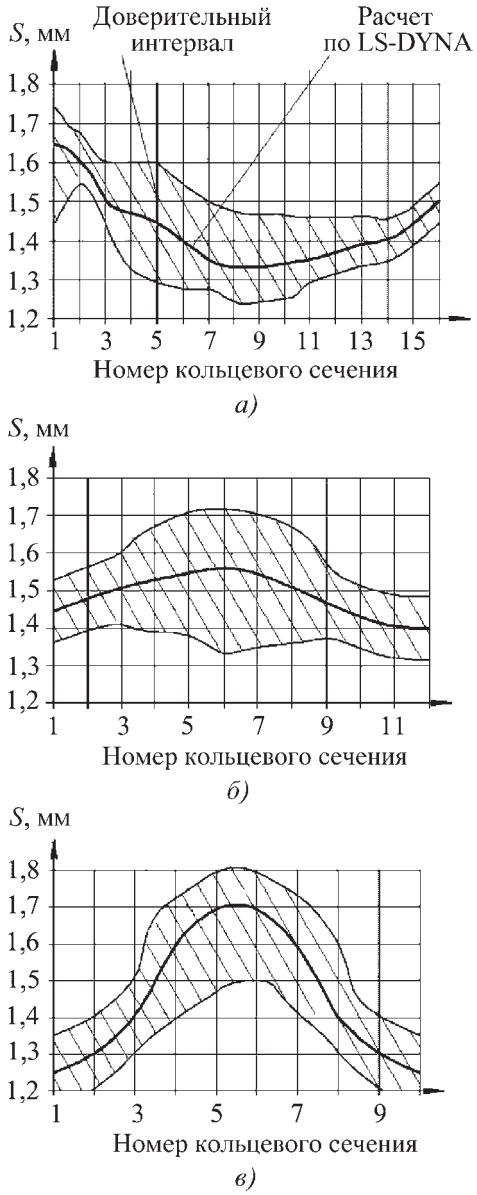


Рис. 5. Изменение толщины заготовки в меридиональном направлении:
а – R_{max}; *б* – $R_{ср}$; *в* – R_{min}

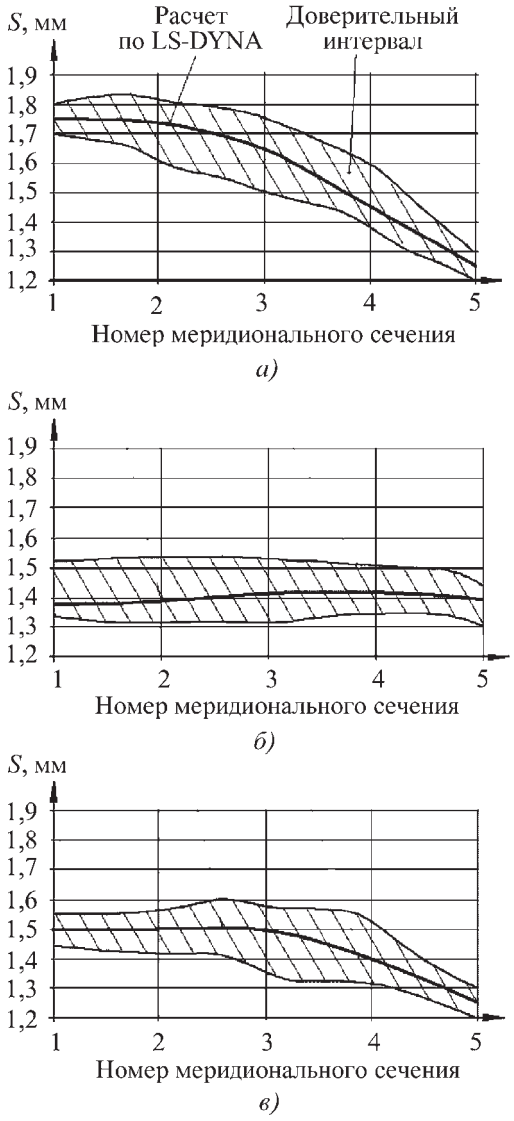


Рис. 6. Изменение толщины по поперечному сечению заготовки:
а – торец, воспринимающий нагрузку; *б* – середина заготовки; *в* – выходной торец

1. Максимальное утонение наблюдается на торцах штампованной детали со стороны минимального радиуса гиба детали.

2. Со стороны образующей по максимальному радиусу гиба утонение наблюдается в центральной части деформируемой заготовки.

3. Максимальная разнотолщинность штампованной детали не превышает 24 %.

На рис. 7 показано сравнение экспериментальных значений изменения силы (деформирование заготовки диаметром 53 мм с толщиной стенки 1,5 мм из коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т, смазка – машинное масло с наполнителем из графитового порошка) с теоретической кривой, полученной при моделировании процесса с помощью программного продукта ANSYS–LS-DYNA.

Характер изменения силы с увеличением хода пуансона позволяет сделать следующие выводы:

1. Сила деформирования максимальна на промежуточных стадиях процесса деформирования.

2. На силу деформирования влияют два фактора, соотношение между которыми в процессе деформирования изменяется: развитие очага деформации на начальной стадии деформирования и сокращение протяженности прямолинейного участка трубной заготовки на заключительной стадии деформирования.

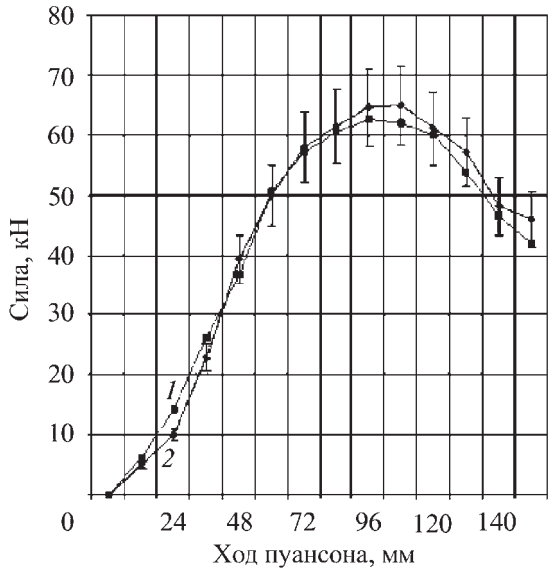


Рис. 7. Изменение силы деформирования по ходу процесса: *1* – расчет по программам ANSYS и LS-DYNA; *2* – экспериментальные данные

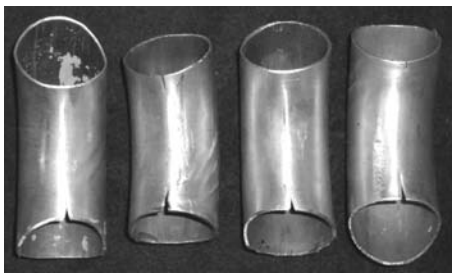


Рис. 8. Разрыв заготовок в опасном сечении при формообразовании отводов

Результаты исследований показали, что после того как сила достигает своего максимума, та часть заготовки, которая уже изогнута, в дальнейшем практически не деформируется. Она лишь преодолевает силы трения, перемещаясь в зазоре между внутренней оправкой и рабочей поверхностью полуматриц.

В процессе исследований также установлено, что опасное сечение на деформируемой заготовке при формообразовании отводов в штампе исследуемой конструкции находится на выходной кромке штампуемой детали со стороны минимального радиуса гиба (рис. 8). Установлено, что если пластичность металла невысока ($\delta_р$ меньше 20 %), то при формообразовании отводов с относительным радиусом кривизны ~1 происходит разрушение заготовки.

Рис. 9. Изделия, изготовленные в штампе предложенной конструкции

Для формообразования крутоизогнутых отводов диаметром 53 мм с толщиной стенки 1,5 мм спроектирована и изготовлена штамповая оснастка, отработаны и внедрены в серийное производство технологические процессы изготовления отводов. Рабочие части штампа изготовлены из стали 5ХНМ с твердостью 40...45 HRC. На рис. 9 представлены изделия, изготовленные в штампе предложенной конструкции.

Использование штампа предложенной конструкции позволяет отказаться от применения специализированного оборудования, изготовлять отводы на гидравлическом листоштамповочном прессе, повысить точность обводов деталей и снизить уровень их разнотолщинности.

ЛИТЕРАТУРА

1. **А.с.** 1310068 СССР, МПК В 21D 9/15. Способ изготовления крутоизогнутых колен.

2. **А.с.** 1433546 СССР, МПК В 21 D 9/01. Устройство для гибки трубных заготовок.

3. **Эрбейгель С.А., Письменный Э.И., Сагалович И.И.** Формообразование крутоизогнутых патрубков из тонкостенных заготовок на универсальных гидропрессах // Кузнечно-штамповочное производство. 1989. № 4. С. 21–24

Игорь Петрович Попов, д-р техн. наук;
Валентин Дмитриевич Маслов, канд. техн. наук;
Константин Анатольевич Николенко, инженер

А.О. Скоробогатов *(Московский государственный вечерний металлургический институт)*

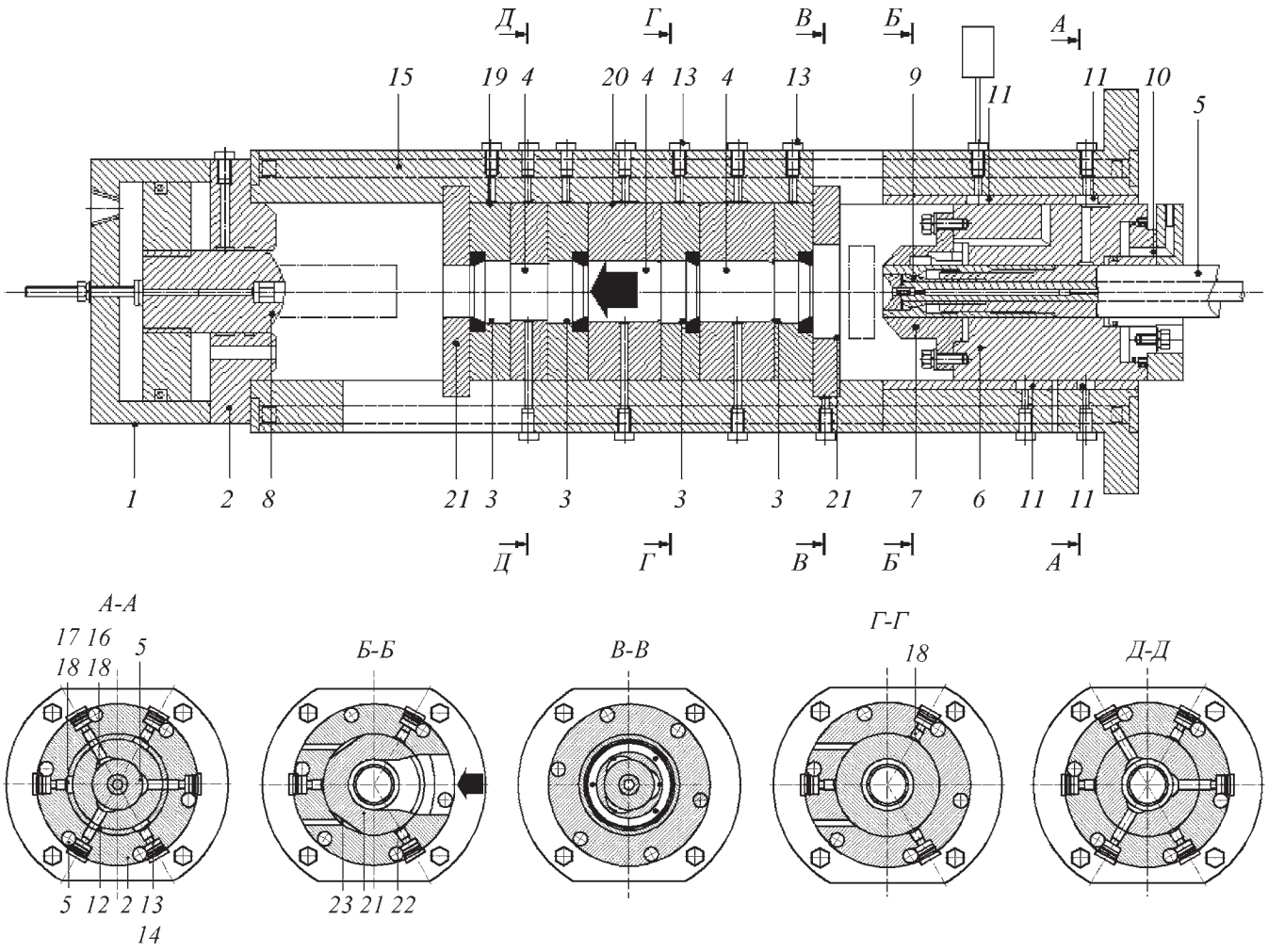
Инструментальный магазин для глубокой вытяжки оболочек на кривошипных прессах

Рассмотрена конструкция инструментального магазина, предназначенного для глубокой вытяжки без зазора оболочек на горизонтальном кривошипном прессе в условиях массового производства.

The article considers the construction of tool matrix for the shells deep drawing on horizontal screw press.

Рассмотрен горизонтальный кривошипный пресс для вытяжки полых изделий. Количество ходов пуансона находится в диапазоне 300...550 ходов в минуту, длина хода варьируется в пределах 45...61 см.

В целях повышения общей устойчивости процесса вытяжки, а также для обеспечения топологической повторяемости продукции в конструкцию горизонтального кривошипного пресса включена система создания гидростатической подушки (рисунок). Во время возвратно-поступательных ходов области между контактными поверхностями инструмента и заготовки равномерно заполняются жидкостью высокого давления; происходит точное позиционирование пуансона с заготовкой по общей со стационарным



Инструментальная оснастка кривошипного пресса для вытяжки круглых полых изделий

инструментом (вытяжные матрицы и распорные кольца) концентрической оси.

Распорные кольца необходимы для исключения тангенциальных отклонений пуансона с заготовкой в момент последовательных переходов от одной матрицы к другой.

Таким образом, в базе инструментального магазина пуансон под действием жидкости высокого давления находится в состоянии гидростатического равновесия, т.е. созданная в конструкции инструментального магазина гидростатическая подушка поддерживает площадь контакта инструмента и заготовки постоянной. К технологическим преимуществам конструкции относятся: гидродинамическое трение, малая энергоемкость, высокие ресурс службы матриц, жесткость, производительность и качество производимой продукции.

На рисунке показан инструментальный магазин *1* для вытяжки оболочки из листового металла. В корпусе *2* инструментального магазина установлен набор чередующихся между собой матриц утонения *3* и распорных колец *4*. Для удобства осуществления мероприятий в рамках системы технологического обслуживания и ремонта, снижения стоимости матриц утонения, экономии дорогостоящих инструментальных сталей (твердых сплавов) их конструкция выполнена из двух деталей: корпуса и деформационного кольца. Количество матриц утонения и распорных колец может варьироваться в зависимости от механических свойств материала заготовки и инструмента, конечной топологии изделия, степени и скорости деформации.

Выравнивание (гидростатическое подвешивание) матриц утонения в пределах корпуса инструментального магазина выполнено по внутреннему диаметру. Распорные кольца также выровнены между собой по внутреннему диаметру и соосны матрицам утонения. Пуансон *5* совершает возвратно-поступательные ходы сквозь матрицы и распорные кольца, следствием чего является формообразование конечного профиля оболочки.

Ложемент *6* и чашкодержатель *7* соединены с пуансоном *5* и необходимы для фиксации предварительно вытянутой чашки на входе в первую матрицу. Оформление днища оболочки происходит в окрестности точки переднего выстоя при контакте сводообразователя *8* с передним концом пуансона *5*. Сводообразователь *8* установлен в окрестностях точки переднего выстоя в корпусе *2* инструментального магазина *1*; привод поршня *9* сводообразователя *8* осуществлен от гидростанции пресса.

Относительные перемещения между ложементом *6* и пуансоном *5* обеспечены гидростатической подушкой, созданной с помощью гидравлической камеры *10*, которая соединена с источником жидкости высокого давления и расположена между пуансоном и ложементом.

Создание гидростатической подушки и последующее центрирование заготовки на чашкодержателе, а также окончательная фиксация положения комплектов матриц утонения и распорных колец в пределах корпуса инструментального магазина осуществлены с помощью гидростатических упоров *11*. Эти упоры также определяют начальное положение пуансона *5*.

Три гидростатических упора *11* расположены под углом 120° друг к другу. Для ограничения давления жидкости, созданного в гидростатических упорах, между ложементом и корпусом установлено металлическое уплотнительное кольцо *12*.

Жидкость высокого давления поступает от гидростанции в фиттинги *13* по магистралям *14*. Рабочее давление жидкости равно 32 МПа. Отметим, что количество и расположение гидравлических магистралей зависит от необходимых параметров управления потоками жидкости в системе пресса. Для упрощения приведенной на рисунке схемы показана только одна магистраль высокого давления. Для выравнивания давления во всей фиттинговой арматуре в корпусе инструментального магазина выполнены горизонтальные гидравлические каналы *15* (см. рисунок, *разрез А–А*).

Поддержание горизонтального положения пуансона в процессе вытяжки осуществлено от нескольких гидравлических упоров: выполненных в базе ложемента *16* и распорных колец *17* (см. рисунок, *разрез А–А*). Гидростатические упоры *16* и *17* расположены под углом 120° друг относительно друга. Для питания упоров жидкостью высокого давления предусмотрены каналы *18*, проточенные в ложементе *6* и связанные с фиттингами *13* (см. рисунок, *разрез Г–Г*).

Локализация смещений от центральной оси при одновременной подаче смазки между трущимися поверхностями в режиме последовательного перемещения пуансона *5* через матрицы позволяет достичь баланса сил, действующих на пуансон. Техническими преимуществами такой схемы являются охлаждение, а также смазка и центрирование трущихся поверхностей. В случае повышенных требований к точности конечной формы оболочки гидростатические упоры можно выполнить и в базе матриц утонения, что дополнительно снизит податливость конструкции инструментального магазина.

Центрирование матриц утонения и распорных колец происходит под действием давления жидкости, накопленной в гидростатических упорах *19* и *20*; конструктивные особенности и питание гидравлической жидкостью высокого давления аналогичны изложенным выше.

Установочная обойма *21* также имеет гидростатическое подвешивание, созданное путем подачи жидкости высокого давления в гидростатические упоры *22* (см. рисунок, *разрез Б–Б*). Питание гидростатических упоров *22* жидкостью высокого давления осуществлено через фиттинги *13*. Накопитель *23* спроектирован в целях приведения к балансу потерь гидравлической жидкости в момент подачи очередной заготовки к установочной обойме *21* в направлении стрелки.

Постепенное перемещение пуансона сквозь последовательно уменьшающиеся внутренние диметры матриц утонения и распорных колец приводит к удлинению линейного размера и утонению стенок заготовки – формированию необходимого профиля оболочки. При достижении пуансоном окрестности верхней мертвой точки сводообразователь и поршень сводообразователя входят в контакт, и происходит оформление донной части цилиндрического полого контейнера. Начало обратного хода сопровождается выдачей изделия в направлении, показанном на схеме стрелкой.

Выводы

Наиболее существенным техническим достоинством представленного инструментального магазина является точное центрирование матриц утонения, распорных колец, а также установочной обоймы по оси действия пуансона в пределах корпуса инструментального магазина за счет создания гидростатической подушки. Организованная таким образом дополнительная жесткость конструкции позволяет поддерживать постоянство зазора между статическими и подвижными частями инструмента. В результате достигнуты необходимая устойчивость процесса вытяжки и повторяемость формы оболочек; циркуляция жидкости обеспечивает удаление избытка теплоты от трения контактных поверхностей инструмента и заготовки.

Александр Олегович Скоробогатов, канд. техн. наук

ВНИМАНИЕ!

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
“Студент – специалист – профессионал” (ССП – 2007)
28 – 29 апреля 2007 г.
Российская Федерация, г. Воронеж

Воронежский государственный технический университет и колледж Профессиональных технологий, экономики и сервиса в апреле 2007 г. проводят II международную научно-практическую конференцию “Студент – специалист – профессионал” (ССП – 2007) с изданием сборника материалов конференции.

На конференции будут обсуждены следующие научные и практические проблемы:

– методические основы подготовки студентов;
– развитие вузовской науки и крупных научно-образовательных центров;
– инновационные педагогические технологии подготовки студентов по общетехническим и специальным дисциплинам;
– исследования в области профессиональной подготовки в период работы на предприятии;
– научные исследования по перспективным направлениям работы инженерных кадров;
– научные основы творчества студентов и специалистов;
– оценка качества и организации профессионального уровня специалистов;
– научные исследования студентов и профессионалов.

Адрес оргкомитета:
394006, г. Воронеж, ул. Ворошилова, 18, ВГКПТЭиС
ученому секретарю конференции
Поташникову Михаилу Григорьевичу
Тел./факс (4732)39-18-90
E-mail: pteis @ comch.ru

Приглашаем Вас принять участие в работе конференции.

УДК 621.771 : 669.14.018.27

В.В. Галкин, О.С. Кошелев, П.В. Уланов*, А.Ф. Лаврентьев
*(Нижегородский государственный технический университет, *ОАО "ГАЗ")*

Исследование неравномерности деформации в заготовке прямоугольного сечения, прокатанной на клин

Проведен анализ деформированного состояния металла прокатанной на клин заготовки прямоугольного сечения. Определены закономерности течения отдельных объемов металла в зависимости от степени деформации и отношения длины дуги контакта валка к толщине прокатываемой полосы. Сделано сравнение полученных данных с теоретической моделью С.И. Губкина, данными математического моделирования с применением комплекса DEFORM (МКЭ) и результатами исследования горячей прокатки А.И. Целикова.

The analysis of stressed condition of the taper rolled feed has been done. The dependencies of the separate metal volumes flow on the degree of strain and rate between of roller–metal contact arc length and feed thickness have been determined. The comparison of investigation's results and mathematical modeling and theoretical conceptions has been made.

В статье рассмотрена операция прокатки полосовой заготовки одновременно от середины в обе стороны двумя валками по одной поверхности (рис. 1). Прокатанная поверхность состоит из двух частей: клиновидного профиля длиной 420 мм, переходящего в поверхность постоянной толщины $h = 8$ мм. Прокатку проводят при температуре 1100±20 °С с постоянной продольной скоростью перемещения инструмента $V = 0{,}2$ м/с.

Данную операцию применяют, в частности, при автоматизированном изготовлении рессорного листа малолистовых рессор автомобилей семейства ГАЗель [1].

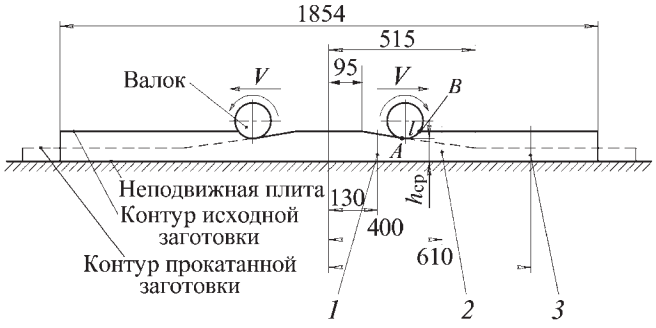


Рис. 1. Схема раскатки заготовки прямоугольного сечения на клин

Основным показателем работоспособности рессорного листа является усталостная прочность. Структурно-механические исследования качества металла, прокатанного на клин, показали, что в целом после прокатки прочностные показатели, отвечающие за усталостную выносливость, изменились [2]. После термообработки сохраняется неравномерный наклеп, полученный в процессе горячей прокатки как по длине, так и по толщине листа.

Согласно работе [3] объективной оценкой усталостной прочности материала при циклической нагрузке являются не осредненные характеристики сопротивления деформированию и разрушению, которые определяют при статической нагрузке на образцах, а локальные характеристики и их сочетания в отдельных объемах изделий. Это обусловлено неодинаковой структурой материала, формирование которой определяется локальной деформацией по объему металла заготовки или неравномерным течением отдельных ее частей при деформации. Очевидно, для объективной оценки работоспособности рессоры в условиях циклической нагрузки необходимо проведение анализа деформированного состояния металла прокатанного листа и определение закономерностей

течения отдельных объемов металла в зависимости от степени деформации.

В связи с изложенным выше целью проведенной работы являлось:

– определение неравномерности деформации отдельных объемов прокатанной полосы и развития первой в зависимости от степени деформации;

– определение прочностных характеристик локальных объемов металла и их сопоставление с неравномерностью деформации.

Оценку неравномерности течения металла проводили с помощью методик, основанных на замере деформации прокатанных винтов и изгиба вертикальных линий, нанесенных на боковую поверхность прокатываемой полосы [4]. В целях определения формы и положения зоны локализации деформации, а также тенденции ее развития, сравнивали полученные результаты с данными механических испытаний по замеру твердости, математического моделирования с применением комплекса DEFORM (МКЭ) с теоретической (геометрической) моделью очага деформации по С.И. Губкину, а также оценкой неравномерности деформации при горячей прокатке согласно исследований А.И. Целикова.

По первой методике в исходную полосу сечением 13×75 мм вертикально ввертывали титановые винты по схеме, приведенной на рис. 2. Их установка соответствовала положению после прокатки зонам со степенью деформации ε = 4; 23 и 40 %, в которых отношение длины дуги контакта валка с полосой l к средней толщине прокатываемой полосы $h_{ср}$ имеет следующие значения: при ε = 4 % $\frac{l}{h_{ср}} = 0{,}475$; при ε = 23 % $\frac{l}{h_{ср}} = 1{,}349$; при ε = 40 % $\frac{l}{h_{ср}} = 2{,}276$.

Неравномерность течения металла в слоях заготовки по толщине оценивали по величине распределения деформации на участках между рядами установленных винтов. Для ее замера проводили продольные разрезы винтов на проволочном электроэрозионном станке (рис. 3).

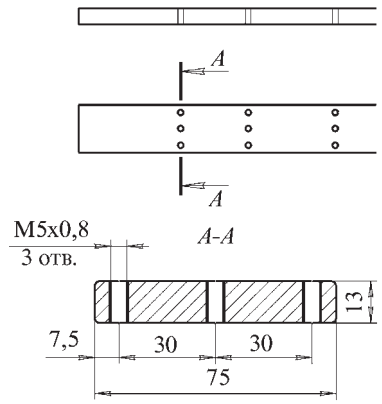


Рис. 2. Схема установки винтов в заготовке перед прокаткой

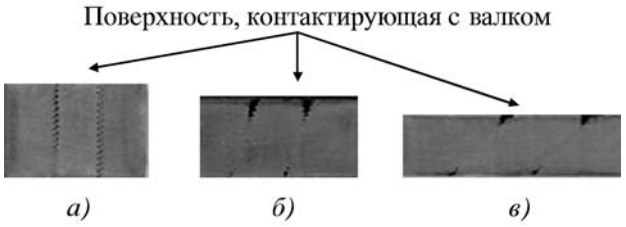


Рис. 3. Продольный профиль прокатанных винтов:
а – степень деформации ε = 4 %; *б* – ε = 20 %; *в* – ε = 40 %

Рассчитывали истинные высотную ε_h и продольную ε_l деформации по выражениям:

$$\varepsilon_h = \ln\frac{z_1}{z};\ \varepsilon_l = \ln\frac{d_1}{d},$$

где z и d – соответственно шаг и диаметр резьбы недеформированного винта, z_1 и d_1 – соответственно шаг и диаметр резьбы прокатанного винта.

Значения продольной ε_l и высотной ε_h деформаций приведены на рис. 4.

Замеры отклонений рисок от вертикального положения, приведенные на рис. 5 и в таблице, показали, что их изгиб непостоянен по длине прокатки, имеет сложный профиль и меняется немонотонно: сначала

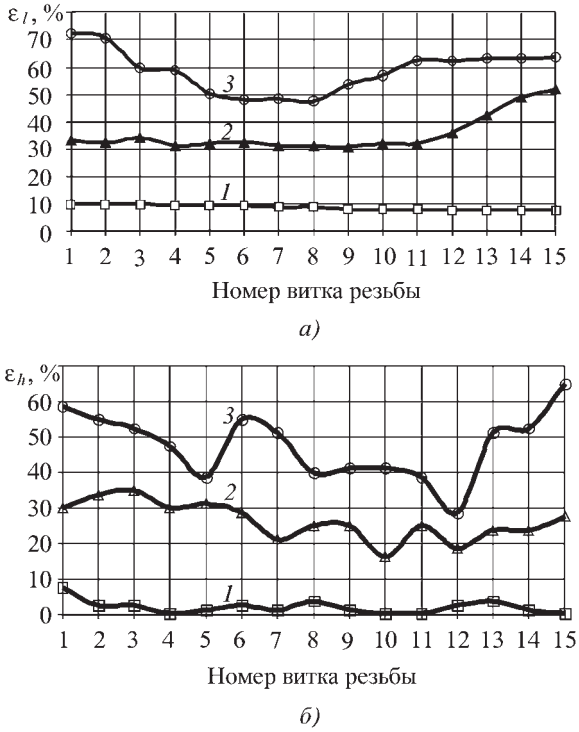


Рис. 4. Распределение продольной (ε_l) и высотной (ε_h) деформаций по толщине прокатанной заготовки:
1 – степень деформации ε = 4 %; *2* – ε = 20 %; *3* – ε = 40 %; витки резьбы пронумерованы от поверхности заготовки, прилегающей к неподвижной плите

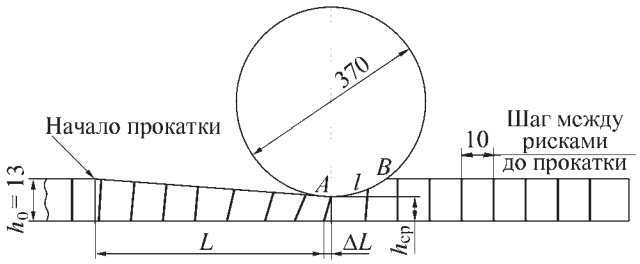


Рис. 5. Схема замеров отклонения рисок на боковой поверхности заготовки от вертикального положения

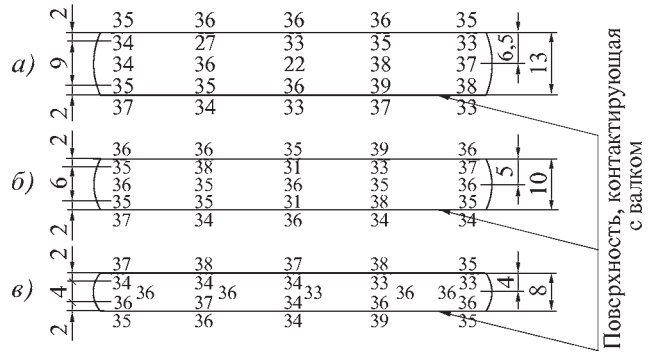


Рис. 6. Замеры твердости (HRC) в поперечных сечениях горячекатаной заготовки:
а – степень деформации ε = 4 %; *б* – ε = 20 %; *в* – ε = 40 %

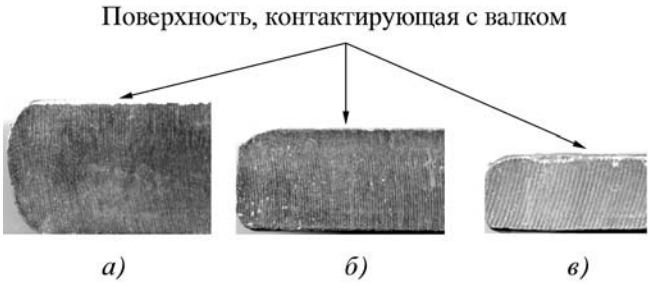


Рис. 7. Форма боковой поверхности прокатанной заготовки:
а – степень деформации ε = 4 %; *б* – ε = 20 %; *в* – ε = 40 %

увеличивается со стороны, контактирующей с валком, а затем, начиная со степени деформации 23 %, начинает уменьшаться. Эти результаты подтверждают данные распределения деформации прокатанных винтов по высоте и позволяют сделать следующее заключение о положении зон интенсивного течения металла по толщине прокатываемой полосы:

– при малых обжатиях ε ≤ 4 % наибольшая интенсивность деформации наблюдается у слоев, контактирующих с валком;

– при деформациях, близких ε ≈ 23 %, интенсивность деформации средних слоев становится выше, чем слоев, контактирующих с валком;

– при больших степенях обжатия ε ≈ 40 % более интенсивно вновь начинают деформироваться контактирующие с валком слои.

Послойные замеры твердости в поперечных сечениях горячекатаной заготовки, результаты которых приведены на рис. 6, подтверждают изложенную выше закономерность изменения интенсивности деформации.

Дополнительным подтверждением вышеизложенного вывода может служить форма поверхности заготовки (рис. 7).

Существует несколько версий объяснения неравномерности распределения деформации по высоте заготовки. Одна из них основана на действии сил трения [4]. Эти силы затрудняют перемещение деформируемого металла относительно поверхности роликов в продольном и поперечном направлениях. Вследствие этого в очаге деформации образуются зоны затрудненной деформации, влияние которых ослабевает по мере удаления от поверхности контакта.

Другим объяснением является положение зон локализации деформации, выдвинутое в XIX веке Киком и Блаузом и развитое С.И. Губкиным.

Согласно С.И. Губкину зона максимальных деформаций (зона локализации деформации) определяется областью действия максимальных тангенциальных напряжений. Последние определяются формой и величиной контактной поверхности инструмента, находящегося в активном движении (рис. 8).

Результаты математического моделирования операции прокатки на клин приведены на рис. 9 и 10 (см. цветную вкладку) в виде картин эквивалентных на-

Результаты замеров отклонения рисок на боковой поверхности прокатанной заготовки

Участок полосы до прокатки, мм	Длина прокатанного участка L, мм	$h_{ср}$, мм	$\varepsilon = \frac{h_0 - h_{ср}}{h_0} \times 100$, %	$l/h_{ср}$	ΔL, мм
0...100	101	12,7	0...2,3	0...0,31	0,2
100...200	108	12,5	2,3...3,8	0,31...0,48	0,6
200...300	118	11,5	3,8...11,5	0,48...1,35	3,5
300...400	154	8	11,5...38,4	1,35...2,28	2

Примечание: l – длина дуги AB; $h_{ср}$ – текущая высота заготовки.

Рис. 8. Схемы траекторий направления главных тангенциальных напряжений по С.И. Губкину:
а – степень деформации ε = 4 %; *б* – ε = 40 %

пряжений и деформаций. Область максимальных тангенциальных напряжений соответствует направлениям, исходящим из крайних точек дуги контакта валка с заготовкой и образующим угол ≈ 45° с касательными в этих точках (рис. 8). С увеличением обжатия их направление постоянно меняется, что влечет за собой изменение формы и размеров зоны интенсивных напряжений. При степенях обжатия до 20 % она представляет собой конус, основание которого увеличивается с ростом деформации. Вершина конуса – ядро деформации перемещается по толщине прокатываемой полосы по направлению от поверхности, контактирующей с валком, к поверхности, контактирующей с неподвижной плитой. При этом при степени деформации ε ≈ 23 % вершина конуса располагается на указанной выше поверхности. С увеличением деформации свыше 23 % форма локально деформированного объема представляет собой усеченную пирамиду, захватывающую зону смещаемого объема металла перед роликом.

При анализе изменения формы очага деформации можно отметить, что основными его параметрами являются длина дуги контакта ролика с полосой l и средняя толщина прокатываемой полосы $h_{ср}$ (см. рис. 5). Их отношение в момент изменения закономерности течения отдельных слоев заготовки при ε ≈ 23 % соответствует значению $\frac{l}{h_{ср}} \approx 2$. Это согласно с разделением процесса прокатки по видам по А.И. Целикову соответствует переходу от прокатки высоких полос $\left(\frac{l}{h_{ср}} < 2\right)$ к прокатке полос средней высоты $\left(\frac{l}{h_{ср}} = 2\ldots5\right)$.

В целом полученные данные свидетельствуют о соответствии формы и места нахождения зоны локализации деформации положениям теории С.И. Губкина о геометрической модели очага деформации [5]. Они сопоставимы с результатами замера деформации прокатанных винтов, изгиба рисок на боковой поверхности полосы, данными механических испытаний по твердости и положениями теории горячей прокатки А.И. Целикова.

Для объективной оценки и прогнозирования работоспособности прокатанного рессорного листа необходимо исследовать факторы, влияющие на сопротивление усталости. В данной работе проведена оценка влияния неравномерности деформации на формирование структуры с учетом ее изменения при термообработке, которая существенно влияет на характеристику циклической прочности. Существует мнение, что основным структурным параметром, влияющим на зарождение и распространение усталостной трещины, является размер зерна материала, а для высокопрочных металлов – размер субзерна или одной из его структурных составляющих [5].

Поэтому, в силу того что после термообработки в стали 50ХГФА разнозернистость структуры практически исчезла, в данной работе проведено исследование изменения тонкой структуры (субструктуры) прокатанного металла с помощью рентгеноструктурного анализа. Размеры блоков мозаики и величину микронапряжений определяли на дифрактометре ДРОН-2.

Качественный анализ рентгенограмм показал, что сталь 50ХГФА в зависимости от вида обработки содержит следующие фазы:

после горячей прокатки: феррит, карбиды в виде цементита и легированного цементита;

после закалки и последующего отпуска: кроме перечисленных выше фаз, карбид ванадия.

По результатам исследования построены гистограммы, приведенные на рис. 11 и 12, из которых сле-

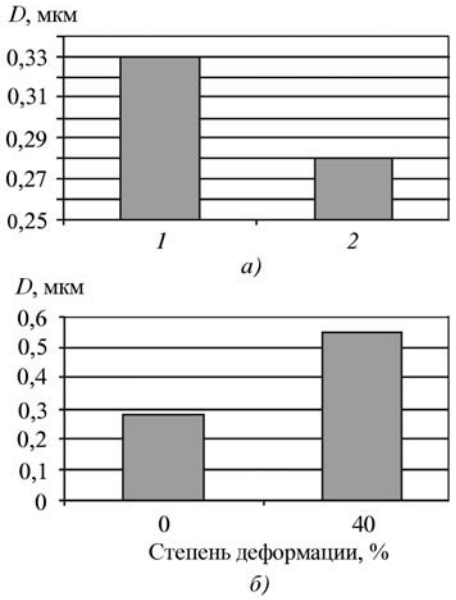


Рис. 11. Размеры блоков мозаики *D* недеформированной (*а*) и деформированной термически обработанной (*б*) стали 50ХГФА:
1 – сталь в состоянии поставки; *2* – сталь поле термической обработки

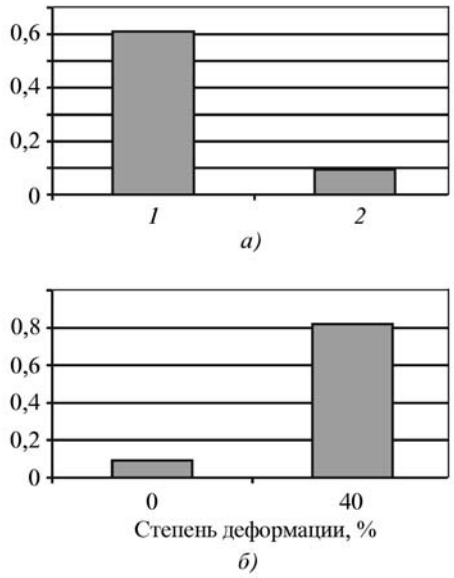


Рис. 12. Зависимость микронапряжений стали 50ХГФА от ее состояния (*а*) и степени деформации (*б*):
а и *б* – недеформированная и деформированная сталь соответственно; *1* – сталь в состоянии поставки; *2* – сталь после термической обработки

дует, что после термообработки изменения тонкой структуры, полученные при прокатке материала, не исчезли. Это выражается в увеличении размеров блоков мозаики и уровня микронапряжений с увеличением степени деформации. По результатам работ Д.С. Казарковского и других исследователей [5], полученные данные могут свидетельствовать о снижении предела выносливости термически обработанного, предварительно прокатанного металла по сравнению с металлом, не подвергнутым предварительной пластической деформации.

Выводы

Неравномерное течение отдельных слоев прокатываемой заготовки имеет определенную закономерность: с начала прокатки и до степени деформации $\varepsilon \approx$ ≈ 20 % максимум интенсивности деформации смещается от слоев, контактирующих с валком, к слоям, контактирующим с неподвижной плоской плитой; при дальнейшем увеличении ε до 40 % вновь более интенсивно деформируются контактирующие с валком слои заготовки. В целом изменение характера интенсивности деформации соответствует критерию $\frac{l}{h_{ср}} \approx 2$ перехода прокатки высоких полос к прокатке полос средней высоты (по А.И. Целикову).

Форма и положение области интенсивной деформации соответствует геометрической модели локально деформированного объема (по С.И. Губкину [5]) и данным математического моделирования с применением комплекса DEFORM (МКЭ): с начала прокатки и до степени обжатия $\varepsilon \approx 20$ % зона интенсивной деформации имеет форму пирамиды с основанием, соответствующим площади контакта ролика с заготовкой. При обжатиях $\varepsilon \approx 23$ % вершина пирамиды (ядро деформации) находится на поверхности заготовки, контактирующей с неподвижной плитой. С увеличением обжатия до $\varepsilon \approx 40$ % зона интенсивной деформации приобретает форму усеченной пирамиды.

Структурные исследования на уровне субструктуры термически обработанного металла прокатанного листа свидетельствуют о сохранении неравномерности горячего наклепа, полученного при прокатке, что выражается в увеличении размеров блоков мозаики и величины микронапряжений при увеличении степени деформации.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Мишин А.Ф., Теменко Л.С., Волгунин А.А. и др.** Изготовление малолистовых рессор в ОАО "ГАЗ" // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2001. № 8. С. 42–45.

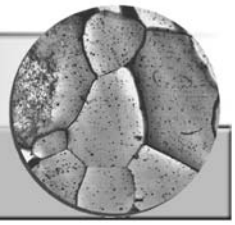
2. **Галкин В.В., Михаленко Ф.П., Уланов П.В.** Анализ работоспособности малолистовой рессоры из листов, полученных обработкой полосового проката // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2001. № 8. С. 3–7.

3. **Терентьев В.Ф.** Усталость металлических материалов. Наука, 2003. 254 с.

4. **Пресняков А.А.** Очаг деформации в обработке металлов давлением. Алма-Ата: Издательство "Наука", 1988. 136 с.

5. **Казарновский Д.С., Чернов Е.И., Газов В.И.** Связь между тонкой структурой и усталостной прочностью высокоуглеродистой сталью // Металлы. 1984. № 3. С. 153–158.

Владимир Викторович Галкин, канд. техн. наук;
Олег Сергеевич Кошелев, д-р техн. наук;
Павел Валерьевич Уланов, начальник кузнечного цеха;
Алексей Федорович Лаврентьев, инженер



Н.И. Качалин, В.Ю. Белов, Г.А. Тихий, В.И. Малинов, В.И. Негореев, Г.В. Баранов, Ю.В. Морозов *(Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, г. Саров)*

Псевдосплав вольфрам–медь в качестве дугогасительных контактов для современных элегазовых выключателей

Приведены результаты исследований, направленных на оптимизацию технологии изготовления вольфрам-медного псевдосплава с высокими физико-механическими свойствами. Описан пример практического использования заготовок, полученных по разработанной технологии.

The article brings the results of the studies aimed at optimization of the manufacturing technology of a tungsten-copper pseudo alloy with high physical and mechanical properties. An example of practical implementation of blanks produced following the developed technology is given.

Особенности композиционных материалов на основе соединений тугоплавких металлов с медью и вопросы, возникающие при производстве таких материалов, постоянно находят отклик в научно-технической литературе. Интерес к подобным материалам обуславливается давно наметившейся тенденцией к использованию псевдосплавов, содержащих компоненты с резко отличающимися физическими свойствами.

Ярким примером такого материала является псевдосплав вольфрам–медь, используемый в качестве дугогасительных контактов в коммутационных аппаратах. Например, в элегазовом выключателе с пружинно-моторным приводом для коммутации в энергосистемах напряжением 6 и 10 кВ.

Одним из эффективных путей повышения надежности работы и коммутационного ресурса выключателя является применение контактных материалов, в которых сочетаются основные свойства, обуславливающие надежную работу дугогасительных систем выключателя: стойкость к свариванию, высокая дугостойкость и эрозионная стойкость, механическая прочность, хорошая электропроводность и др.

Известно, что кроме состава на свойства электроконтактного материала существенное влияние оказывает структура: величина зерна, текстура и разного рода примеси (включения). Определяющую роль играет процесс образования единственно возможного адгезионного контакта двух металлов, так как в системе вольфрам–медь практически отсутствует диффузионное и химическое взаимодействие [1]. Качество псевдосплава зависит от полноты смачивания вольфрама жидкой медью, что является непременным условием образования материала.

Электроконтактные свойства, служащие критерием оценки пригодности контактов (сопротивление электрическому и механическому износу, стойкость нерасходуемых электродов) являются структурночувствительными. Механизм разрушения контактов контролируется структурой материала. Например, скорость испарения из капилляров и сопротивление механическим и термическим нагрузкам связаны с дисперсностью структуры контактов, так же как и пластичность материала, влияющая на способность к релаксации ударных нагрузок.

На электроэрозионную стойкость контактов влияют не только размер, но и морфология частиц структурных составляющих материала. Сопротивление износу является ориентационно чувствительным свойством.

Высокая плотность псевдосплава также является необходимым условием длительной работы электроконтакта. Наличие закрытой пористости в псевдосплаве более 3 % приводит к лавинообразному уменьшению механических свойств материала.

Соотношение вольфрама и меди в псевдосплаве влияет на его электроконтактные свойства: вольфрам обеспечивает более высокую стойкость электроконтакта, а медь – электропроводность. Оптимальное соотношение необходимо устанавливать в каждом отдельном случае применительно к конструкции конкретного коммутатора [2, 3].

В настоящее время отечественная промышленность выпускает материал с неоднородной структурой, большим количеством инородных включений. Средний условный размер зерен на основе вольфрама составляет 20 мкм; часто выявляются зерна величиной 60...100 мкм и очаги скопления меди размерами до 200 мкм. Все это свидетельствует о том, что материал, получаемый по существующим технологиям, не удовлетворяет современным требованиям, предъявляемым к высоконагруженным электроконтактам.

Целью настоящей работы являлась разработка технологии изготовления заготовок электроконтактов для высоконагруженного элегазового выключателя из псевдосплава вольфрам–медь (W–Cu), обладающего однородной и мелкозернистой структурой. *Проведены испытания и сравнение трех различных методов: метода спекания и пропитки медью спеченного пористого вольфрамового каркаса [4], метода спекания механоактивированной шихты [5] и метода пропитки медью пористого вольфрамового каркаса, полученного плазменным напылением*. Каждый метод получения псевдосплава представляет собой самостоятельное направление.

Метод пропитки расплавом меди предварительно спеченного вольфрамового каркаса

Исследование кинетики спекания образцов проводили в целях разработки технологии изготовления псевдосплава W–Cu с различной плотностью, условно разделенной на три группы: первая – менее 14 г/см^3, вторая – 14...17 г/см^3, третья – более 17 г/см^3.

Заготовки и вырезанные из них образцы изготавливали из следующих материалов: порошок вольфрама марки ПВТ по ТУ 48-19-72–92; порошок меди марки ПМС-2 по ГОСТ 4960–75; порошок никеля марки ПНК-1Л5 по ГОСТ 9722–97; медь прутковая марки М1 по ГОСТ 1535–91.

Технология приготовления шихты представляла собой механическое перемешивание порошков в биконическом контейнере в течение 5 ч при соотношении шихты и металлических шаров 10:1. В результате обеспечено равномерное распределение компонентов в шихте. Масса навески шихты на один образец составляла 50 г, а на одну заготовку – 250 г.

Гидростатическое прессование образцов диаметром 20 и высотой 20 мм и заготовок проводили в гидростате давлением 150 МПа. При гидростатическом прессовании шихта уплотнялась до относительной плотности 50 %; полученные прессовки становились транспортабельными, и их перемещали на операцию спекания. Все процессы спекания и пропитки медью проводили в индукционно-водородной печи в среде водорода, а отжиг – в среде аргона.

При спекании прессованные образцы и заготовки устанавливали в рабочей зоне молибденовой нагревательной камеры печи на порошок Al_2O_3. В процессе нагрева происходило восстановление окислов в порах прессовок и дальнейшее спекание за счет диффузионных, рекристаллизационных и криповых процессов. При спекании температуру и время выдержки варьировали в пределах 1000...1450 °С и 1...2 ч соответственно.

При пропитке спеченные образцы и заготовки устанавливали в рабочей зоне нагревательной камеры печи в порошок Al_2O_3 так, чтобы исключить вытекание расплавленной меди из зоны пропитки. Медь для пропитки закладывали сверху на спеченные образцы и заготовки из расчета 20...40 % от их массы.

Температурный режим пропитки зависит от жидкотекучести меди, определяемой температурой перегрева расплава меди, и величины действующих на нее капиллярных сил, определяемых пористостью и размерами пор предварительно спеченного образца.

При пропитке температуру варьировали в пределах 1250...1400 °С в течение 1 ч [1].

Совмещенный процесс спекания и пропитки медью проводили по схеме пропитки спеченных образцов и заготовок. После извлечения из печи образцы и заготовки обрабатывали резанием для удаления излишка меди. Среднюю плотность образцов и заготовок, а также разноплотность заготовок определяли методом гидростатического взвешивания.

Известно, что для получения плотности псевдосплава W–Cu–Ni менее 14 г/см^3 необходимо, чтобы перед пропиткой медью открытая пористость образцов была не менее 50 %. Добавка никеля является технологической и применяется для химического активирования процесса спекания вольфрама. Стандартная технология изготовления образцов включает два основных этапа: получение спеченных пористых образцов и пропитка этих образцов медью.

Первоначально образцы изготавливали методом спекания с дальнейшей пропиткой медью в водороде. В последующем было принято решение объединить процессы спекания и пропитки в один для уменьшения общего времени проведения технологического процесса и увеличения количества пор, заполняемых при пропитке медью. Это позволило получить образцы с плотностью 13,8...13,9 г/см^3. Изначально было выбрано два состава исходной шихты % мас.: 1) 97 % W, 2 % Cu, 1 % Ni; 2) 87 % W, 10 % Cu, 3 % Ni. При пропитке медь закладывали из расчета 40 % от массы образца.

Исходя из полученных в ходе работ данных, представленных в табл. 1, решено остановиться на составе шихты 87 % W, 10 % Cu, 3 % Ni, так как при ее использовании была получена меньшая плотность псевдосплава.

Образцы плотностью 15...16 г/см^3 изготавливали спеканием пористой прессовки с последующей пропиткой медью в среде водорода. Теоретически материал состава 79 % W, 20 % Cu, 1 % Ni имеет плотность 15,5 г/см^3. Для размещения 20 % мас. Cu необходимо иметь 35%-ную пористость спеченного образца перед пропиткой. Так как часть меди вводится изначально в

1. Технологические параметры изготовления образцов из псевдосплава W–Cu плотностью менее 14 г/см^3

№	Состав шихты, % мас.	Режим спекания	Режим пропитки	Ориентировочный состав псевдосплава, % мас.	Плотность, г/см^3
1	97 W; 2 Cu; 1 Ni	V_1 = 25 °С/мин, T_1 = 950 °С, τ_1 = 2 ч; V_2 = 5 °С/мин, T_2 = 1200 °С, τ_2 = 1 ч; охлаждение с печью		84 W; 15,2 Cu; 0,8 Ni	16,12...16,07
2	97 W; 2 Cu; 1 Ni	V_1 = 25 °С/мин, T_1 = 950 °С, τ_1 = 2 ч; V_2 = 5 °С/мин, T_2 = 1100 °С, τ_2 = 1 ч; охлаждение с печью	V_1 = 25 °С/мин, T_1 = 950 °С, τ_1 = 1 ч; V_2 = 5 °С/мин, T_2 = 1250 °С, τ_2 = 1 ч; охлаждение с печью	77 W; 22,2 Cu; 0,8 Ni	15,25...15,27
3	97 W; 2 Cu; 1 Ni	V_1 = 25 °С/мин, T_1 = 950 °С, τ_1 = 2 ч; V_2 = 5 °С/мин, T_2 = 1000 °С, τ_2 = 2 ч; охлаждение с печью		72 W; 27,2 Cu; 0,8 Ni	14,83...14,94
4	87 W; 10 Cu; 3 Ni			72 W; 26 Cu; 2 Ni	14,52...14,21
5	87 W; 10 Cu; 3 Ni	Процессы спекания и пропитки совмещены	V_1 = 25 °С/мин, T_1 = 950 °С, τ_1 = 2 ч; V_2 = 5 °С/мин T_2 = 1250 °С, τ_2 = 1 ч; охлаждение с печью	66 W; 32 Cu; 2 Ni	13,73...13,91

Примечание. V – скорость нагрева до температуры T; τ – время выдержки при температуре T. Цикл 2 (индекс "2") следует за циклом 1 (индекс "1").

шихту, то перед пропиткой пористость образца должна быть около 30 %.

Исходная шихта имела следующий состав, % мас.: 97 % W, 2 % Cu, 1 % Ni. При пропитке медь закладывали из расчета 30 % от массы образца. Результаты проведенных работ и технологические режимы представлены в табл. 2.

2. Технологические параметры изготовления образцов из псевдосплава W–Cu плотностью 14...17 г/см^3

№	Состав шихты, % мас.	Режим спекания	Режим пропитки	Ориентировочный состав псевдосплава, % мас.	Плотность, г/см^3
1	97 W; 2 Cu; 1 Ni	V_1 = 25 °С/мин, T_1 = 950 °С, τ_1 = 2 ч; V_2 = 5 °С/мин, T_2 = 1200 °С, τ = 1 ч; охлаждение с печью	V_1 = 25 °С/мин, T_1 = 950 °С, τ_1 = 1 ч; V_2 = 5 °С/мин, T_2 = 1250 °С, τ_2 = 1 ч; охлаждение с печью	84 W; 15,2 Cu; 0,8 Ni	16,23

№	Состав шихты, % мас.	Режим спекания	Режим пропитки	Ориентировочный состав псевдосплава, % мас.	Плотность, г/см^3
2	97 W; 2 Cu; 1 Ni	V_1 = 25 °С/мин, T_1 = 950 °С, τ_1 = 2 ч; V_2 = 5 °С/мин, T_2 = 1180 °С, τ_2 =1 ч; охлаждение с печью	V_1 = 25 °С/мин, T_1 = 950 °С, τ_1 = 1 ч; V_2 = 5 °С/мин, T_2 = 1250 °С, τ_2 = 1 ч; охлаждение с печью	82 W; 17,2 Cu; 0,8 Ni	15,98
3	97 W; 2 Cu; 1 Ni	V_1 = 25 °С/мин, T_1 = 950 °С, τ_1 = 2 ч; V_2 = 5 °С/мин, T_2 = 1150 °С, τ_2 =1 ч; охлаждение с печью		80 W; 19,2 Cu; 0,8 Ni	15,67
4	97 W; 2 Cu; 1 Ni	V_1 = 25 °С/мин, T_1 = 950 °С, τ_1 = 2 ч; V_2 = 5 °С/мин, T_2 = 1120 °С, τ_2 =1 ч; охлаждение с печью		79 W; 20,2 Cu; 0,8 Ni	15,46
5	97 W; 2 Cu; 1 Ni	V_1 = 25 °С/мин, T_1 = 950 °С, τ_1 = 2 ч; V_2 = 5 °С/мин, T_2 = 1100 °С, τ_2 =1 ч; охлаждение с печью		77 W; 22,2 Cu; 0,8 Ni	15,26

Состав компактного псевдосплава W–Cu плотностью выше 17 г/см^3 подразумевает наличие в нем минимального количества меди и максимального количества вольфрама. Для обеспечения такой плотности выбирали температуры спекания и пропитки значительно выше, чем для псевдосплава с плотностью 13,0...16,0 г/см^3.

Спекание образцов проводили по следующему режиму: нагрев до температуры 950 °С за 40 мин; выдержка в течение 120 мин; нагрев до температуры 1450 °С за 100 мин; выдержка в течение 60 мин; охлаждение вместе с печью.

Пропитку образцов медью проводили по следующему режиму: нагрев до температуры 950 °С за 40 мин; выдержка в течение 60 мин; нагрев до температуры 1250 °С за 60 мин; выдержка в течение 60 мин; нагрев до температуры 1400 °С за 30 мин; выдержка в течение 60 мин; охлаждение вместе с печью.

Для химической активации процесса спекания в вольфрамовый порошок добавляли доли процента никеля. Определяли зависимость пористости после спекания и плотности после пропитки медью образцов от содержания никеля в количестве 0,035... 0,110 % мас. В соответствии с рис. 1 при увеличении содержания никеля от 0,035 до 0,110 % пористость спеченных образцов убывала с 22,0 до 15,0 %. Максимальная плотность псевдосплава 17,5 г/см^3 достигнута при содержании никеля 0,095 %. Такая экстремальная зависимость свидетельствует о том, что в спеченных образцах с пористостью выше 16 % поры открытые. При пористости ниже 16 % начинается закрытие пор на отдельных участках, что препятствует пропитке медью некоторых областей образца. На это указывает падение плотности образцов, пропитанных медью, при содержании никеля более 0,095 %.

Теоретически псевдосплав плотностью 17,5 г/см^3 содержит меди около 8,8 % мас. при стопроцентной пропитке медью спеченных образцов с пористостью 17,3 %. Практически более целесообразно получать псевдосплав в левой окрестности максимальных значений плотности (см. рис. 1), где гарантирована полная пропитка медью.

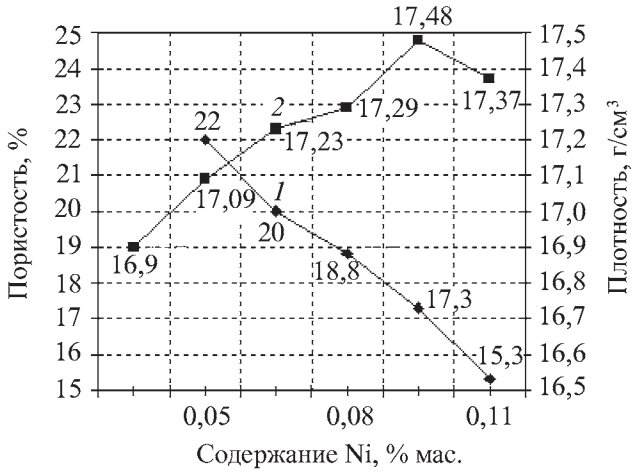


Рис. 1. Зависимость пористости (*1*) спеченной вольфрамовой заготовки и плотности (*2*) заготовки, пропитанной медью, от содержания никеля в шихте

Исследованиям разноплотности подвергали контрольные заготовки со средними плотностями 14,00, 15,60 и 16,82 г/см^3. Заготовки, предварительно обработанные на токарном станке, разрезали на 16 образцов электроискровым методом. Класс шероховатости образцов составлял *Rz* 20. Определяли абсолютную Δ и относительную λ разноплотность заготовок:

для заготовки со средней плотностью 14,00 г/см^3 Δ = 0,11 г/см^3, λ = 0,78 %;

для заготовки со средней плотностью 15,60 г/см^3 Δ = 0,22 г/см^3, λ = 1,41%;

для заготовки со средней плотностью 16,82 г/см^3 Δ = 0,18 г/см^3, λ = 1,10 %.

В результате проведенных исследований для дальнейшего изготовления заготовок выбраны три группы псевдосплавов W–Cu–(Ni) различного химического состава и различной плотности. Для каждой группы разработан свой технологический режим спекания и пропитки в водороде (табл. 3).

Режимы приготовления шихты и гидростатического прессования для этих псевдосплавов унифицированы: время перемешивания шихты 5 ч, давление гидростатического прессования 150 МПа. Кроме этого, рекомендуется проводить отжиг заготовок в инертной среде при температуре 600 °С в течение 20 мин для снижения твердости медной составляющей псевдосплава.

3. Технологические параметры изготовления заготовок облицовок из псевдосплава W–Cu–(Ni)

№	Состав шихты, % мас.	Режим спекания	Режим пропитки	Ориентировочный состав псевдосплава, % мас.	Плотность, г/см^3
1	87 W; 10 Cu; 3 Ni	Процессы спекания и пропитки совмещены	V_1 = 25 °С/мин, T_1 = 950 °С, τ_1 = 2 ч; V_2 = 5 °С/мин, T_2 = 1250 °С, τ_2 = 1ч; охлаждение с печью	66 W; 32 Cu; 2 Ni	13,0...14,0
2	97 W; 2 Cu; 1 Ni	V_1 = 25 °С/мин, T_1 = 950 °С, τ_1 = 2 ч; V_2 = 5 °С/мин, T_2 = 1150 °С , τ_2 = 1 ч; охлаждение с печью	V_1 = 25 °С/мин, T_1 = 950 °С, τ_1 = 1 ч; V_2 = 5 °С/мин, T_2 = 1250 °С, τ_2 = 1 ч; охлаждение с печью	80 W; 19,2 Cu; 0,8 Ni	15,0...16,0
3	99,95 W; 0,05 Ni	V_1 = 25 °С/мин, T_1 = 950 °С, τ_1 = 2 ч; V_2 = 5 °С/мин, T_2 = 1450 °С , τ_2 = 1 ч; охлаждение с печью	V_1 = 25 °С/мин, T_1 = 950 °С, τ_1 = 1 ч; V_2 = 5 °С/мин, T_2 = 1250 °С, τ_2 = 1 ч; V_3 = 5 °С/мин, T_3 = 1400 °С, τ_3 = 1 ч; охлаждение с печью	89 W; 10,96 Cu; 0,04 Ni	16,5...17,2

Металлографические исследования

Микроструктуру псевдосплавов выявляли методом химического травления. Фотографирование и исследование микроструктуры проводили на микроскопе "NEOPHOT-32" при увеличениях ×500, ×800. Измерение среднего условного размера зерна фазы на основе вольфрама проводили в соответствии с ГОСТами 21073.2–75 и 21073.3–75. Твердость измеряли на приборах ТК-2 и ТШ-2М, микротвердость – на приборе ПМТ-3 при нагрузке 0,2 Н на индентор.

Микроструктура образца из псевдосплава W–Cu с плотностью 13,91 г/см^3 состоит из фазы на основе вольфрама в виде зерен округлой формы и матричной фазы на основе меди (рис. 2, *а*). Величина зерен вольфрама колеблется в пределах 2...20 мкм. Наблюдается незначительное количество конгломератов зерен вольфрама и несколько неравномерное распределение фазы на основе меди.

Микроструктура образца с плотностью 15,67 г/см^3 состоит из вольфрамовых зерен округлой формы и медной фазы (рис. 2, *б*). При этом вольфрамовые зерна равномерно распределены в медной фазе, но на фотографии также видна область заметного скопления меди. Размер зерен колеблется в пределах 8...20 мкм.

При исследовании твердости этого образца получили следующие данные: твердость 96...97 HRB и 217...222 НВ3000. Этот же образец разрезали на две части. Одну часть отжигали в аргоне при температуре 600 °С в течение 20 мин, а вторую оставили без отжига. Измеряли микротвердость медной фазы, проводя по 10 измерений на каждом образце. На образце, прошедшем отжиг, получены следующие результаты: среднее значение 1490 Н/мм^2, минимальное значение 1010 Н/мм^2, максимальное значение 1860 Н/мм^2. У другого образца эти значения выше и составляют 2015, 1140 и 3560 Н/мм^2 соответственно.

Микроструктура образца с плотностью 17,1 г/см^3 состоит из вольфрамовых зерен, спеченных между собой, и участков, заполненных медью (рис. 2, *в*). Структура пор сообщающаяся, форма пор вытянутая с пережимами, достаточно разветвленная.

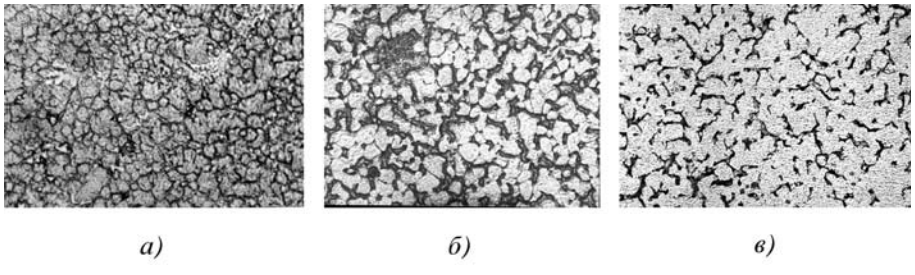


Рис. 2. Микроструктура образцов псевдосплава W–Cu:
а – образец № 5 по табл. 1 плотностью 13,91 г/см^3; *б* – образец № 3 по табл. 2 плотностью 15,67 г/см^3; *в* – образец плотностью 17,1 г/см^3, содержащий 0,05 % масс. Ni в шихте

Метод изготовления псевдосплава W–Cu из механоактивированной шихты

Исследование кинетики спекания образцов

Для проведения исследований шихту состава 80 % W и 20 % Cu приготавливали в высокоэнергетической шаровой планетарной мельнице АПФ-3 с ускорением мелющих тел ~60g в течение 10 мин.

Изучение технологических свойств шихты и особенностей ее поведения при прессовании и спекании проводили на образцах (таблетках), полученных односторонним осевым прессованием в стальной пресс-форме ∅10,85 мм. Прессование позволяет качественно оценить свойства порошка, связанные с уплотняемостью и формуемостью. Исследуемые образцы прессовали односторонним прессованием на гидропрессе при давлении 30...300 МПа. Давление прессования изменяли с шагом 30 МПа в интервале от 30 до 150 МПа и с шагом 50 МПа в интервале от 150 до 300 МПа.

Плотность прессовок определяли по геометрическим размерам и массе (рис. 3).

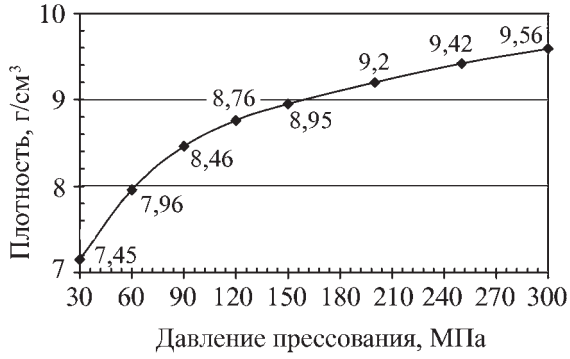


Рис. 3. Зависимость плотности образцов от давления прессования

Следует отметить, что значительного прироста плотности при давлении прессования свыше 150 МПа не наблюдалось, а максимальная плотность 9,59 г/см^3 была получена при давлении прессования 300 МПа.

Формуемость механоактивированной шихты при всех давлениях прессования была удовлетворительной, трещин и сколов на поверхности образцов не обнаружено. Таким образом, давление прессования, равное 150 МПа, следует считать оптимальным.

Дальнейшие исследования были направлены на изучение кинетики спекания образцов в зависимости от давления прессования

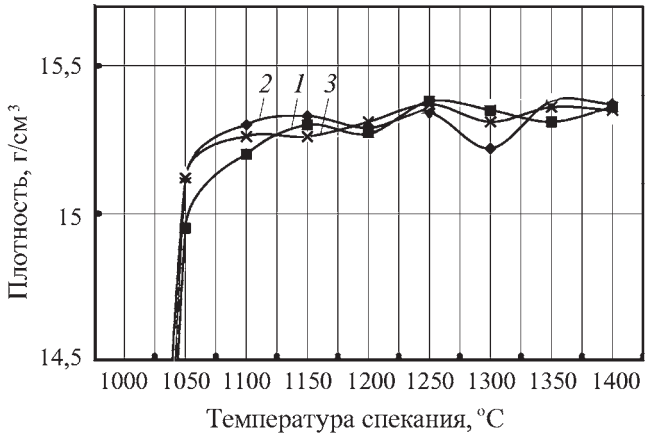


Рис. 4. Зависимость плотности псевдосплава состава 80 % W, 20 % Cu от температуры спекания при различных давлениях прессования:
1 – давление прессования 75 МПа; *2* – 150 МПа; *3* – 300 МПа

(75, 150, 225 и 300 Н/мм^2) и температуры спекания (9 значений температуры от 1000 до 1400 °С с интервалом 50 °С при выдержке 60 мин). Каждый температурный режим включал предварительную выдержку при температуре 950 °С в течение 1 ч. Результаты опытов приведены на рис. 4.

Теоретическая плотность материала состава 80 % W 20 % Cu составляет 15,64 г/см^3. В ходе работ экспериментально получен псевдосплав пористостью 1,7...2,0 %.

Металлографические исследования материала образцов

Исследования проводили на образцах, полученных после прессования шихты указанного состава давлением 150 МПа и спеченных в водороде при температурах 1000...1400 °С с интервалом в 50 °С.

4. Твердость образцов в зависимости от температуры спекания

№ п/п	Температура спекания, °С	Плотность, г/см^3	Твердость HRB
1	1100	15,30	99...100
2	1150	15,33	96...97
3	1200	15,33	96...97
4	1250	15,34	96...97
5	1300	15,38	90...94
6	1350	15,38	90...94
7	1400	15,37	90...92

Цель исследований – определение микроструктуры и твердости и изменения этих параметров в процессе спекания механоактивированной шихты.

Микроструктуру исследовали и фотографировали с помощью микроскопа "NEOPHOT-32" и системы анализа изображений "SIAMS-600"; выявляли методом химического травления. Результаты измерений твердости приведены в табл. 4.

На рис. 5 приведены фотографии микроструктуры образцов из композиционного материала W–Cu, из которых видно, что при температуре спекания 1000 °С образуется каркас из частиц порошка, входящих в состав шихты, с межчастичной пористостью, при этом внутри каждой частицы выявляется мелкодисперсная микроструктура. Начиная с температуры 1100 °С, пористость постепенно уменьшается, выявляются 3 фа-

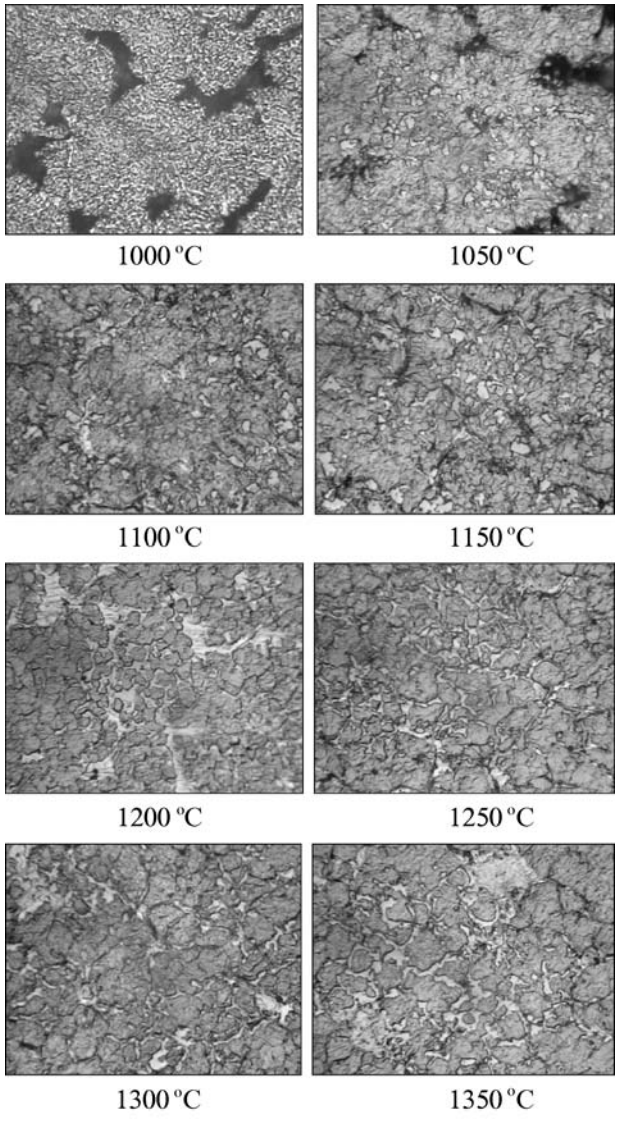


Рис. 5. Микроструктура псевдосплава состава 80 % W, 20 % Cu, ×1000:
под фотографиями указаны температуры спекания образцов

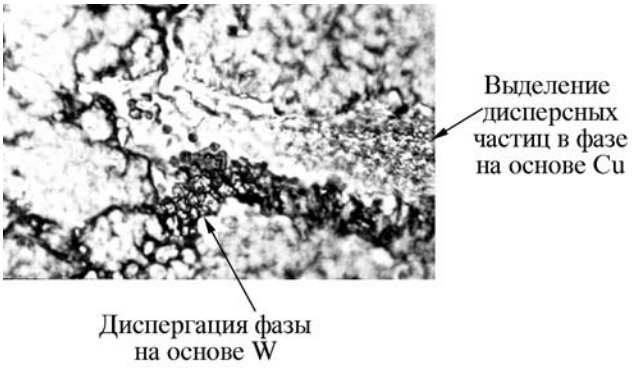


Рис. 6. Микроструктура псевдосплава состава 80 % W, 20 % Cu, спеченного при температуре 1150 °С, ×2000

зы: фаза темно-серого цвета, фаза цвета меди и новая фаза светло-серого цвета, расположенная хаотично по полю шлифа в виде отдельных частиц и в виде глобулярных скоплений. Объяснить происхождение этой фазы на данном этапе работы не представляется возможным.

С увеличением температуры спекания объем фазы медного цвета существенно увеличивается, при этом внутричастичная дисперсность уменьшается, образуется традиционная зеренная структура. При температуре спекания 1350 °С средняя величина зерна темно-серой фазы (предположительно состоящей из W) составляет 5...7 мкм, фаза светло-серого цвета остается практически неизменной.

В образцах, спеченных при 1150 °С (рис. 6), на границе вольфрамовой и медистой фаз наблюдается некоторый распад фазы на основе W на более мелкие фрагменты – субзерна. В фазе на основе Cu обнаружена коагуляция частиц неизвестного по механизму дисперсионного упрочнения состава.

Твердость псевдосплавов с увеличением температуры спекания плавно уменьшается с 99...100 до 90...92 HRB.

Метод пропитки образцов, полученных плазменным напылением

Одним из возможных вариантов изготовления электроконтактов из вольфрам-медного композиционного материала может быть технология формообразования заготовок напылением плазменного каркаса из вольфрамового порошка с последующей пропиткой медью. Физико-механические характеристики электроконтактов, изготовленных с помощью данной технологии, в силу особенностей формирования плазменных покрытий будут значительно отличаться от характеристик электроконтактов, полученных методом порошковой металлургии.

Нанесение плазменного покрытия – это процесс, при котором для расплавления и переноса материала на поверхность изделия используются тепловые и динамические свойства плазменной струи. Распыляемый материал в плазменной струе плавится, выносится потоком газа в виде мелких расплавленных или находящихся в высокопластичном состоянии частиц из сопла со скоростью 50...100 м/с. Эти частицы ударяются о подложку (основу), в результате чего расплющиваются, сцепляются с поверхностью основы или друг с другом, мгновенно затвердевают, образуя покрытие, имеющее чешуйчатое строение.

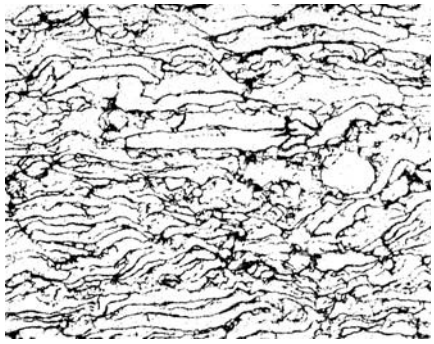


Рис. 7. Микроструктура вольфрамового каркаса, ×500

Для получения псевдосплава W–Cu с плотностью ~17 г/см^3 необходимо обеспечить открытую пористость напыленной вольфрамовой заготовки ~22...23 %. Исследования по напылению вольфрама проводили на порошке марки ПВП-1 ТУ 48-49-71–78 зернистостью менее 0,071 мм. Плотность и пористость напыленного каркаса определяли методом гидростатического взвешивания. Подбором режима напыления (расстояние до подложки, ток дуги и др.) удалось получить вольфрамовый слой пористостью 21,6...22,5 %. Микроструктура плазменного вольфрамового каркаса представлена на рис. 7.

При выбранном режиме нанесли вольфрам толщиной ~1 мм на медные диски ∅25×2 мм с последующей их пропиткой. Плотность полученного композиционного материала составила 17,02...17,07 г/см^3. Типичная микроструктура материала представлена на рис. 8.

Для изготовления опытной заготовки было решено использовать следующую технологическую схему: изготовление формозадающей модели; нанесение медного подслоя толщиной 0,6...0,7 мм методом газопламенного напыления; напыление плазменного вольфрамового каркаса толщиной 1,5...2,0 мм; удаление формозадающей модели токарной обработкой; пропитка заготовки медью.

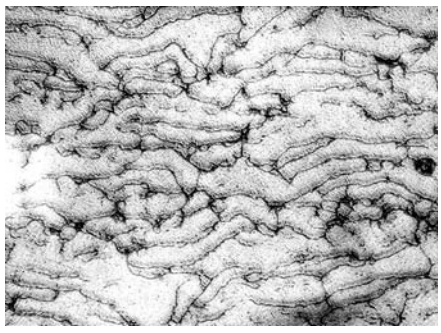
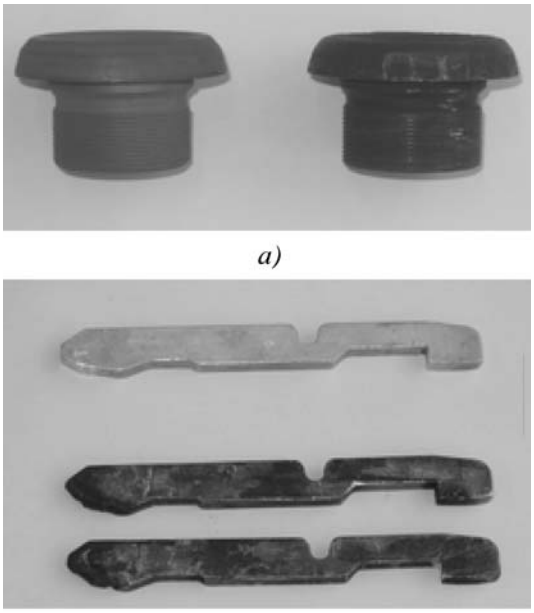


Рис. 8. Микроструктура псевдосплава W–Cu, изготовленного плазменным напылением, ×500



а)

б)

Рис. 9. Дугогасительные контакты типа "грибок" (*а*) и "ламель" (*б*), изготовленные из псевдосплава W–Cu плотностью 15,5...16,0 г/см^3:
а, справа и *б, внизу* – контакты, прошедшие коммутационные испытания на отключение токов КЗ до 40 кА

Необходимым требованием к процессу образования вольфрамового слоя на формозадающей модели является равноплотность материала на всех участках модели. Во время напыления на формозадающую модель это требование выполняется контролем параметров режима напыления и обеспечением постоянства скорости осаждения покрытия, за счет соответствия скорости перемещения плазмотрона, линейной скорости вращения напыляемого участка заготовки.

Таким образом, проведенными исследованиями показана возможность изготовления электроконтактов из псевдосплава W–Cu плотностью ~17 г/см^3 с применением метода плазменного напыления. Отработана программа движения плазмотрона при напылении вольфрамового слоя на формозадающую модель.

Заключение

В соответствии с проведенными исследованиями была разработана технология изготовления и получены дугогасительные контакты, которые в составе элегазового выключателя успешно прошли коммутационные испытания в Научно-исследовательском Центре по испытаниям высоковольтной аппаратуры "РАО ЕЭС России" (ОАО "НИЦ ВВА") (рис. 9).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Корнилова В.И. и др.** Влияние кислорода на процесс жидкофазного спекания высокодисперсных смесей вольфрам–медь // Порошковая металлургия. 1985. № 3.

2. **Паничкина В.В., Сиротюк М.М.** Влияние легирования на свойства псевдосплавов вольфрам–медь // Порошковая металлургия. 1985. № 7.

3. **Скороход В.В., Соломин Ю.М. и др.** Спекание вольфрам-медных композиций различного происхождения // Порошковая металлургия. 1983. № 9.

4. **Пат.** 5889220 США, МПК В 22 F 9/00/00.05-15E.98П / Akiyoshi Naoyoshi, Nakada Kimio, Koda Katsumi, Yamabe Hiroyuki, Nakayama Masao. Медно-вольфрамовые сплавы и способы их получения (Copper-tungsten alloys and their manufacturing methods).

5. **Григорьева Т.Ф., Баринова А.П., Ляхов Н.З.** Механохимический синтез интерметаллических соединений // Успехи химии. 2001. № 70 (1).

Николай Иванович Качалин, инженер;
Владимир Юрьевич Белов, инженер;
Григорий Андреевич Тихий, инженер;
Владимир Иванович Малинов, канд. техн. наук;
Владимир Иванович Негореев, инженер;
Глеб Викторович Баранов, инженер;
Юрий Васильевич Морозов, инженер

Читайте в следующем номере

- **Руднева В.В.** Развитие теории и освоение нанотехнологии плазмометаллургического производства карбида кремния для гальванотехники
- **Макаренко А.Г., Самборук А.А., Ермошкин А.А., Борисенкова Е.А.** Самораспространяющийся высокотемпературный синтез карбида и нитрида титана из гранулированной шихты

УДК 62.19, 519.22

А.С. Решенкин, А.П. Шаповалов *(Ростовский военный институт ракетных войск им. Главного маршала артиллерии М.И. Неделина)*

Статистическая оценка параметров микроструктуры конструкционных сталей

На основе экспериментальных исследований построены функциональные зависимости математических ожиданий линейных размеров зерен феррита от процентного содержания углерода в сталях; представлено обоснование применения двойного нормального распределения для оценки статистических параметров микроструктуры конструкционных сталей; определена абсолютная ошибка результатов исследований.

On basis of experimental researches the functional dependencies of the expectation values of linear dimensions of ferrite grains on the carbon content in steels are made.

Разработка вопросов применения различных систем и средств неразрушающего контроля связана с необходимостью получения как можно более полной информации об объекте диагностирования. От того каким образом и с какой точностью введены данные в математическую модель диагностируемого объекта, зависит уровень достоверности результатов контроля. Получение такой информации в большинстве случаев связано с применением методов математической статистики.

В основе работы лежат положения стереометрической металлографии [1], представляющие собой систему методов микроскопического анализа и позволяющие по количественным измерениям на плоскостной структуре рассчитать геометрические параметры действительной пространственной микроструктуры металлов и сплавов. Особенностью исследования является обоснование применения финитного двойного нормального распределения (ДНР), полученного профессором В.П. Котельниковым [2], для оценки статистических параметров микроструктуры конструкционных сталей.

Для исследований использовали сертифицированные конструкционные стали марок 10; 22; 30; 40 и 55. Образцы этих сталей были нормализованы и подготовлены в виде микрошлифов. Используя линейный метод определения структурного состава сплава [1], определяли линейные размеры зерен феррита. Объемы выборки для сталей различных марок приведены ниже.

Марка стали	10	22	30	40	55
Объем выборки	1089	927	1021	713	987

При обработке экспериментальных данных получили значения математических ожиданий линейных размеров зерен феррита исследуемых сталей. Для их корректного использования в математических моделях необходим выбор аппроксимирующей зависимости изменения линейных размеров зерен от процентного содержания углерода, содержащегося в стали.

На рис. 1 приведены результаты подбора функциональных зависимостей. В качестве основных рассматривали линейную, экспоненциальную и степенную аппроксимации экспериментальных данных. Анализ полученных результатов показал, что наибольшее приближение к экспериментальным данным обеспечивает линейная аппроксимация (достоверность аппроксимации $R^2 = 0{,}9667$), которую можно записать в виде выражения (1) для расчета линейного размера зерна феррита для сталей с различным содержанием углерода:

$$d = -0{,}0249 \cdot \mathrm{C} + 0{,}0212, \qquad (1)$$

где d – линейный размер зерна феррита, мм; C – содержание углерода в стали, %.

При обработке статистического материала было необходимо решить задачу выравнивания статистических рядов. Как правило, в большинстве случаев в металлографии для анализа параметров микроструктуры в качестве основного используют нормальный закон распределения. Однако в реальных образцах микрошлифов числовые характеристики измеряемых величин принимают конечный характер, определяемый законами материаловедения. В связи с этим более предпочтительным является использование финитных распределений. По мнению авторов статьи, наиболее удачным для этих целей является ДНР [2]. Его несомненным преимуществом является возможность задания двух границ изменения случайной величины, что равносильно знанию еще двух моментов асимметричного распределения.

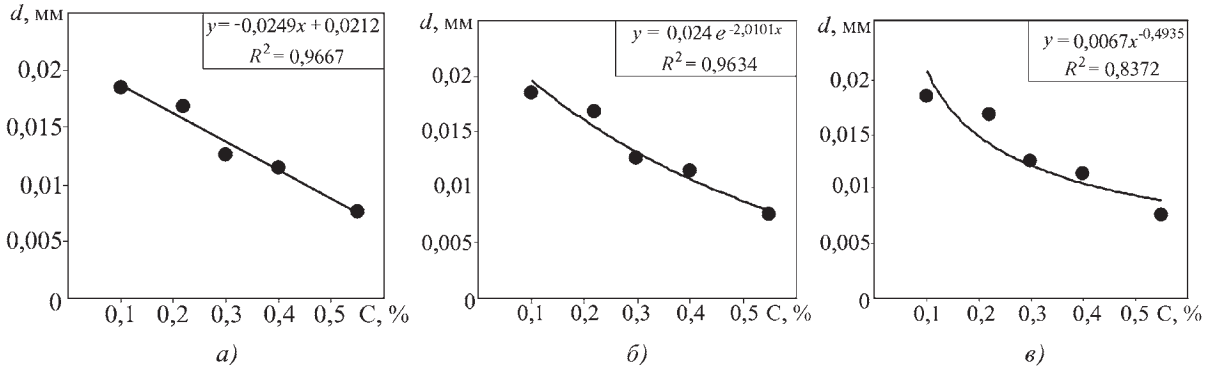


Рис. 1. Аппроксимации зависимости линейного размера зерен феррита от содержания углерода:
а – линейная; *б* – экспоненциальная; *в* – степенная

При использовании ДНР необходимо задать математическое ожидание m, дисперсию D и пределы изменения a и b случайной величины.

В этом случае плотность и функция ДНР случайной величины u ($a < u < b$) имеют вид:

$$f(u) = g(z(u))\frac{d}{du}z(u); \quad F(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\left(\int_{-\infty}^{z(u)} e^{\frac{-t^2}{2}}\,dt\right), \quad (2)$$

где $g(z(u)) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{z(u)^2}{2}}$, $z(u) = \gamma + \eta\nu$, γ, η – параметры формы распределения:

$$\eta = \left[\left(\frac{1}{\sin\left(\pi\frac{D}{2(b-m)(m-a)}\right)}\right) - 1\right]^{0,5}; \quad \gamma = -\nu\sqrt{(\eta^2+1)}, \quad (3)$$

ν – квантиль стандартного нормального распределения, вычисляемый по формуле Гастингса [3] при уровне вероятности $p = (m - a)/(b - m)$; t – нормированное отклонение.

В результате статистической обработки результатов измерений линейных размеров зерен феррита d рассчитали и построили распределения плотностей вероятности (рис. 2), где *1* – экспериментальная плот-

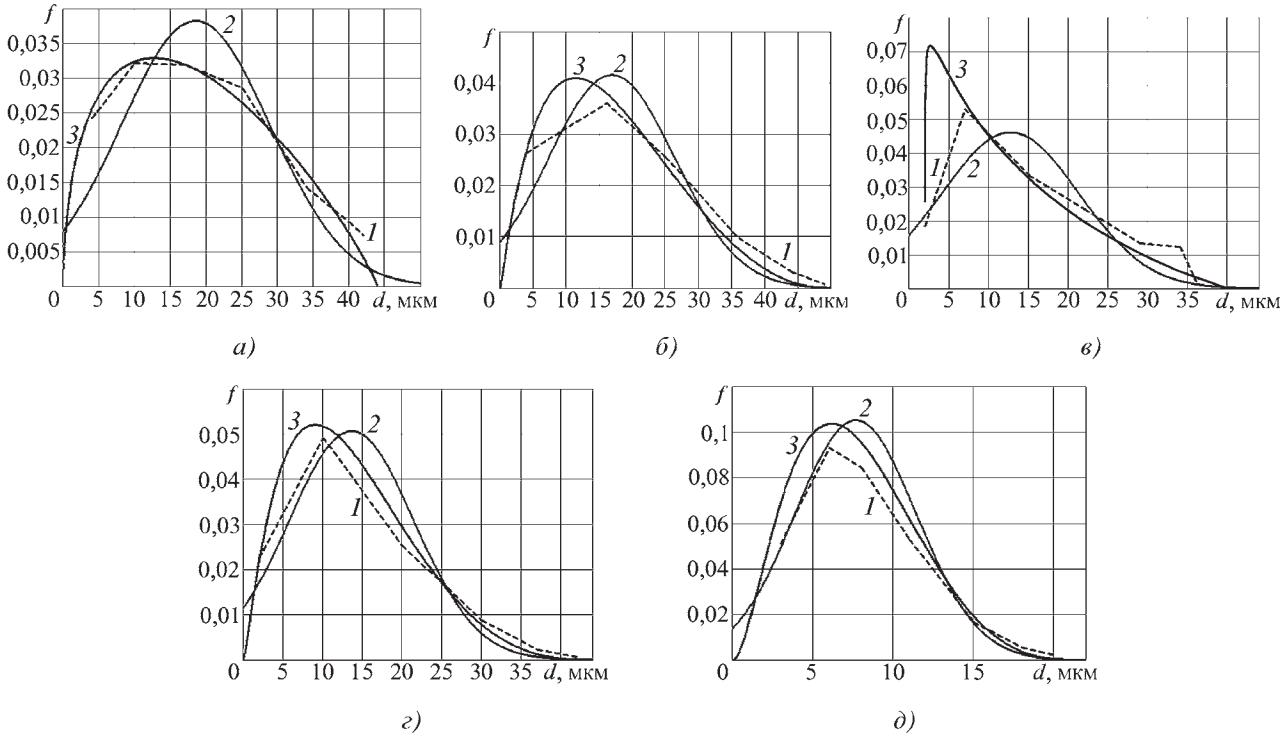


Рис. 2. Распределение плотностей вероятности для сталей различных марок:
а – 10; *б* – 22; *в* – 30; *г* – 40; *д* – 55

Коэффициенты корреляции данных

Марка стали	Эксперимент – двойное нормальное распределение	Эксперимент – нормальное распределение
10	0,99342	0,959769
22	0,997357	0,952703
30	0,983258	0,890454
40	0,997853	0,959847
55	0,994782	0,987224

ность распределения; *2* – плотность распределения, соответствующая нормальному закону; *3* – плотность распределения, соответствующая двойному нормальному закону.

Анализ полученных зависимостей показал, что двойное нормальное распределение наиболее точно описывает результаты эксперимента. В таблице приведены коэффициенты корреляции между экспериментальными данными и данными, рассчитанными с использованием нормального и двойного нормального распределений.

При использовании количественных оценок параметров микроструктуры важным вопросом является знание возможной погрешности полученной оценки.

Разница между истинным средним значением линейного размера зерна феррита a для рассматриваемых сталей и найденной из опыта средней арифметической выборки a_i ($i = 1...5$ по числу марок сталей) составляет абсолютную статистическую ошибку определения ε (при объеме выборки, составляющем $z = 10$ измерений на каждую сталь):

$$\varepsilon = |a - \bar{a}|. \qquad (4)$$

Поскольку величина a неизвестна, определить ошибку по формуле (4) невозможно. В этом случае рассчитаем ее по формуле

$$\varepsilon = t\sigma(\bar{a}), \qquad (5)$$

где $\sigma(\bar{a})$ — среднее квадратичное отклонение средней арифметической выборки (выборочной средней).

Величину $\sigma(\bar{a})$ определяли экспериментально по результатам повторных выборок. Для этого на микрошлифах каждой стали в нескольких полях зрения проводили по 10 выборок и определяли для каждой выборки средние арифметические значения линейных размеров зерен феррита (выборочные средние).

При этом $\sigma(\bar{a})$ рассчитали по формуле

$$\sigma(\bar{a}) = K\sqrt{\frac{\bar{a}_1^2 + \bar{a}_2^2 + \ldots + \bar{a}_{10}^2}{z} + (\overline{a_0})^2}, \qquad (6)$$

где $\bar{a}_0$ — средняя арифметическая всех выборочных средних; K – поправочный коэффициент, зависит от объема выборки и числа выполненных независимых измерений:

$$K = \sqrt{\frac{z}{z-1}}. \qquad (7)$$

Подставляя в (7) число независимых измерений $z = 10$, получаем $K = 1{,}054$.

Результаты расчетов средних квадратичных отклонений выборочных средних для исследуемых сталей приведены ниже.

Марка стали	10	22	30	40	55
$\sigma(\bar{a})$, %	5,35	11,28	6,19	8,94	5,75

Полученные значения $\sigma(\bar{a})$ использовали для расчета ε по (5).

Нормированное отклонение t рассчитывали для различных уровней доверительной вероятности P. Некоторые значения t в зависимости от P следующие:

P	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95
t	0,6745	0,8416	1,0364	1,2816	1,6449	1,9600

В металлографическом анализе [1] принято оценивать ε для 50 %-ной доверительной вероятности ($P = 0{,}50$). Однако при использовании результатов исследования в технических приложениях этого недостаточно и, как правило, ε рассчитывают при 90 %-ной и выше доверительной вероятности.

В этом случае для $P = 0{,}9$ нормированное отклонение $t = 1{,}6449$. Таким образом, ε для исследуемых сталей составляет:

Марка стали	10	22	30	40	55
ε, %	8,8	18,6	10,2	14,7	9,5

В целом результаты исследований показали достаточную точность полученных экспериментальных данных, что позволяет рекомендовать их для использования при построении математических моделей.

Таким образом, применение полученных функциональных зависимостей математических ожиданий линейных размеров зерен феррита от процентного содержания углерода в конструкционных сталях и использование двойного нормального распределения при статистическом описании результатов металлографического анализа позволяют повысить точность математических моделей, описывающих структуру диагностируемого объекта, что, в свою очередь, обеспечивает большую достоверность результатов контроля.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Салтыков С.А.** Стереометрическая металлография. М.: Металлургия, 1976. 271 с.

2. **Котельников В.П.** Предельное распределение суммы коррелированных случайных величин / Третья Всероссийская школа-коллоквиум по стохастическим методам: тез. докладов. М.: ТВП, 1996. С. 91–92.

3. **Справочник** по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами / под ред. М. Абрамовица, И. Стиган. М.: Наука, 1979. 832 с.

Андрей Станиславович Решенкин, канд. техн. наук;
Алексей Павлович Шаповалов, инженер

Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку по ГОСТ 26645–85.

*Продолжение**

Термины, применяемые в настоящем стандарте, и их определения

1. *Номинальный размер детали (отливки)* – размер, указанный на чертеже детали (отливки).

2. *Средний размер детали* – размер детали, соответствующий середине поля его допуска.

3. *Вид размеров отливки* – совокупность размеров отливки, характеризующихся подобными конструктивными и технологическими условиями формирования их точности.

Размеры вида 1 – размеры элементов отливок, образованных одной частью литейной формы или одним стержнем.

Размеры вида 2 – размеры элементов отливок, образованных двумя полуформами или полуформой и стержнем (в том числе размеры, выходящие на плоскость разъема отливки или пересекающие ее).

Размеры вида 3 – размеры элементов отливок, образованных тремя и более частями литейной формы, несколькими стержнями или подвижными элементами формы, а также толщины стенок, образованных двумя и более частями формы или формой и стержнем.

4. *Действительный размер отливки* – действительный местный размер, измеряемый двухточечным методом.

5. *Допуск смещения элемента отливки по плоскости разъема* – разность предельных отклонений положений частей элемента отливки, формируемых в разных полуформах.

6. *Общий допуск элемента отливки* – комплексный допуск, включающий допуск размера от поверхности до базы и независимо назначенные допуски формы и расположения нормируемого участка поверхности.

7. *Неровность поверхности отливки* – совокупность чередующихся выступов и впадин на поверхности отливки.

Неровность поверхности отливки подразделяется на шероховатость (микронеровности) и волнистость (мезонеровности).

8. *Шероховатость поверхностей* – по ГОСТ 2789–73 и ГОСТ 25142–82.

Шероховатость поверхностей – совокупность повторяющихся неровностей малой величины (микронеровностей).

Базовой линией для определения параметров шероховатости служит средняя линия микропрофиля поверхности. Приняты обозначения: *Ra* – среднее арифметическое отклонение микропрофиля поверхностей, мкм; *Rz* – высота неровностей профиля, мкм (по десяти точкам).

9. *Волнистость поверхностей* – по СЭВ 3951–73.

Волнистость поверхности – совокупность повторяющихся неровностей средней величины (мезонеровностей), т.е. неровностей поверхности с шагом, превышающим базовую длину, на которой измеряется шероховатость данной поверхности.

Базовой линией для определения значений параметров волнистости служит средняя линия профиля поверхности.

Базовая длина для измерения волнистости поверхностей отливок принимается равной 4...10 базовым длинам для измерения шероховатости, но не менее пяти шагов волнистости и не более 100 мм.

Волнистость занимает промежуточное положение между шероховатостью и отклонениями формы поверхности.

10. *Допуск неровностей поверхности отливки* – наибольшая высота мезонеровностей поверхности отливки.

11. *Припуск на обработку* – толщина слоя металла, удаляемая с поверхности отливки при ее обработке в целях обеспечения заданных размеров, формы, расположения, волнистости и шероховатости поверхности детали.

12. *Общий припуск* – суммарный припуск на все переходы обработки, соответствующий серединам полей допусков детали и отливки.

13. *Минимальный литейный припуск* – припуск, необходимый для обеспечения заданных требований к качеству (шероховатости, волнистости и бездефектности) поверхности детали и зависящий от толщины удаляемого при обработке поверхностного слоя, шероховатости и волнистости поверхности отливки. Поверхностные дефекты отливки не должны выходить за пределы минимального литейного припуска.

* Начало см. в № 11, 12, 2006 г.

14. *Поверхностный слой отливки (детали)* – слой металла с видоизмененными (при формировании или предшествующей обработке) составом, микроструктурой и свойствами, обладающий повышенным сопротивлением лезвийной обработке.

15. *Технологический напуск* – местное или неравномерное увеличение тела отливки по сравнению с чертежом литой детали с нормативными припусками на обработку, вызванное особенностями литейной технологии. К технологическим напускам относятся: пополнения, обеспечивающие направленную кристаллизацию отливки; пополнения, сглаживающие местные углубления и выступы; пополнения и стяжки, компенсирующие искажение конфигурации отливки под влиянием напряжений, возникающих при охлаждении; непроливаемые отверстия; усадочные ребра; формовочные уклоны.

16. *Параметры точности отливки* – обобщенные характеристики точности размеров, поверхностей или отливки в целом.

Параметры точности размеров и поверхностей отливки включают класс точности размера, степень коробления элемента отливки, степень точности поверхности, а также смещение элемента отливки и ряд припуска поверхности отливки.

Параметры точности отливки в целом включают класс размерной точности, степень коробления, степень точности поверхностей и класс точности массы, а также смещение отливки.

17. *Нормы точности отливки* – требования к уровню значений параметров точности отливки.

Нормы точности устанавливают в зависимости от назначения, конструктивно-технологических особенностей, условий эксплуатации и изготовления отливки.

18. *Виды механической обработки:* черновая, получистовая, чистовая и тонкая – различаются по обеспечиваемым точности и шероховатости обработанной поверхности.

Количество технологических переходов, необходимых для выполнения каждого вида обработки, зависит от условий обработки и конкретных особенностей отливки и обрабатываемой поверхности.

Приложение 1 *(рекомендуемое)*

Таблица 9

Классы размерной точности отливок

Технологический процесс литья	Наибольший габаритный размер отливки, мм	Тип сплава			
		Цветные легкие нетермообрабатываемые сплавы	Нетермообрабатываемые черные и цветные тугоплавкие сплавы и термообрабатываемые цветные легкие сплавы	Термообрабатываемые чугунные и цветные тугоплавкие сплавы	Термообрабатываемые стальные сплавы
		Класс размерной точности отливки			
Литье под давлением в металлические формы и по выжигаемым моделям с применением малотерморасширяющихся огнеупорных материалов (плавленного кварца, корунда и т.п.)	До 100 100...250 250...630	3т–6 3–7т 4–7	3–7т 4–7 5т–8	4–7 5т–8 5–9т	5т–8 5–9т 6–9
Литье по выжигаемым моделям с применением кварцевых огнеупорных материалов	До 100 100...250 250...630	37 4–8 5т–9т	4–8 5т–9т 5–9	5т–9т 5–9 6–10	5–9 6–10 7т–11т
Литье по выплавляемым моделям с применением кварцевых огнеупорных материалов	До 100 100...250 250...630	4–8 5т–9т 5–9	5т–9т 5–9 6–10	5–9 6–10 7т–11т	6–10 7т–11т 7–11
Литье под низким давлением и в кокиль без песчаных стержней	До 100 100...250 250...630 630...1600 1600...4000	5т–9т 5–9 6–10 7т–11т 7–11	5–9 6–10 7т–11т 7–11 8–12	6–10 7т–11т 7–11 8–12 9т–13т	7т–11т 7–11 8–12 9т–13т 9–13

Технологический процесс литья	Наибольший габаритный размер отливки, мм	Тип сплава			
		Цветные легкие нетермообрабатываемые сплавы	Нетермообрабатываемые черные и цветные тугоплавкие сплавы и термообрабатываемые цветные легкие сплавы	Термообрабатываемые чугунные и цветные тугоплавкие сплавы	Термообрабатываемые стальные сплавы
		Класс размерной точности отливки			
Литье в песчано-глинистые сырые формы из низковлажных (до 2,8 %) высокопрочных (более 160 кПа или 1,6 кгс/см^2) смесей, с высоким и однородным уплотнением до твердости не ниже 90 единиц	До 100 100...250 250...630 630...1600 1600...4000 4000...10000	5–10 6–11т 7т–11 7–12 8–13т 9т–13	6–11т 7т–11 7–12 8–13т 9т–13 9–13	7т–11 7–12 8–13т 9т–13 9–13 10–14	7–12 8–13т 9т–13 9–13 10–14 11т–14
Литье по газифицируемым моделям в песчаные формы. Литье в формы, отвержденные в контакте с холодной оснасткой. Литье под низким давлением и в кокиль с песчаными стержнями. Литье в облицованный кокиль	До 100 100...250 250...630 630...1600 1600...4000 4000...10000	5–10 6–11т 7т–11 7–12 8–13т 9т–13	6–11т 7т–11 7–12 8–13т 9т–13 9–13	7т–11 7–12 8–13т 9т–13 9–13 10–14	7–12 8–13т 9т–13 9–13 10–14 11т–14
Литье в песчано-глинистые сырые формы из смесей с влажностью 2,8...3,5 % и прочностью 120...160 кПа (1,2...1,6 кгс/см^2), со средним уровнем уплотнения до твердости не ниже 80 единиц. Литье центробежное (внутренние поверхности) Литье в формы, отверждаемые в контакте с горячей оснасткой. Литье в вакуумно-пленочные песчаные формы	До 100 100...250 250...630 630...1600 1600...4000 4000...10000	6–11т 7т–11 7–12 8–13т 9т–13 9–13	7т–11 7–12 8–13т 9т–13 9–13 10–14	7–12 8–13т 9т–13 9–123 10–14 11т–14	8–13т 9т–13 9–13 10–14 11–14 11–15
Литье в песчано-глинистые сырые формы из смесей с влажностью 3,5...4,5 % и прочностью 60...120 кПа (0,6...1,2 кгс/см^2) с уровнем уплотнения до твердости не ниже 70 единиц Литье в оболочковые формы из термореактивных смесей. Литье в формы, отверждаемые вне контакта с оснасткой без тепловой сушки. Литье в формы из жидких самотвердеющих смесей. Литье в песчано-глинистые подсушенные и сухие формы	До 100 100...250 250...630 630...1600 1600...4000 4000...10000	7–11 7т–12 8–13т 9т–13 9–13 10–14	7–12 8–13т 9т–13 9–13 10–14 11т–14	8–13т 9т–13 9–13 10–14 11т–14 11–15	9т–13 9–13 10–14 11т–14 12–15
Литье в песчано-глинистые сырые формы из высоковлажных (более 4,5 %) низкопрочных (до 60 кПа или 0,6 кгс/см^2) смесей с низким уровнем уплотнения до твердости ниже 70 единиц	До 100 100...250 250...630 630...1600 1600...4000 4000...10000 Св. 10000	7–12 8–13т 9т–13 9–13 10–14 11т–14 11–15	8–13т 9т–13 9–13 10–14 11т–14 11–15 12–15	9т–13 9–13 10–14 11т–14 11–15 12–15 13т–16	9–13 10–14 11т–14 11–15 12–15 13т–16 13–16

Примечания: 1. Меньшие значения классов размерной точности относятся к простым отливкам и условиям массового автоматизированного производства, бóльшие – к сложным отливкам единичного и мелкосерийного производства, средние – к отливкам средней сложности и условиям механизированного серийного производства.

2. В табл. 9–14 к цветным легкоплавким сплавам отнесены сплавы с температурой плавления ниже 700 °С (973 К), к цветным тугоплавким – сплавы с температурой плавления выше 700 °С (973 К).

3. В табл. 9–14 к легким отнесены сплавы с плотностью до 3,0 г/см^3, к тяжелым – сплавы с плотностью свыше 3,0 г/см^3.

***Приложение 2** (рекомендуемое)*

Таблица 10

Степень коробления элементов отливок

Отношение наименьшего размера элемента отливки к наибольшему (толщины или высоты к длине элемента отливки)	Степень коробления элемента отливки			
	Многократные формы		Разовые формы	
	Нетермообрабатываемые отливки	Термообработанные отливки после правки	Нетермообрабатываемые отливки	Термообработанные отливки после правки
Св. 0,200	1–4	2–5	3–6	4–7
0,100...0,200	2–5	3–6	4–7	5–8
0,050...0,100	3–6	4–7	5–8	6–9
0,025...0,050	4–7	5–8	6–9	7–10
До 0,025	5–8	6–9	7–10	8–11

Примечания: 1. Меньшие значения диапазонов степеней коробления относятся к простым отливкам из легких цветных сплавов; бóльшие – к сложным отливкам из черных сплавов.

2. Степень коробления отливки, указываемую на чертеже, следует принимать по ее элементу с наибольшей степенью коробления.

***Приложение 3** (рекомендуемое)*

Таблица 11

Степень точности поверхностей отливок

Технологический процесс литья	Наибольший габаритный размер отливки, мм	Тип сплава			
		Цветные легкие нетермообрабатываемые сплавы	Нетермообрабатываемые черные и цветные тугоплавкие сплавы и термообрабатываемые цветные легкие сплавы	Термообрабатываемые чугунные и цветные тугоплавкие сплавы	Термообрабатываемые стальные сплавы
		Степень точности поверхностей			
Литье под давлением в металлические формы	До 100	2–6	3–7	4–8	5–9
	100...250	3–7	4–8	5–9	6–10
	250...630	4–8	5–9	6–10	7–11
Литье в керамические формы, литье по выжигаемым и выплавляемым моделями	До 100	3–8	4–9	5–10	6–11
	100...250	4–9	5–10	6–11	7–12
	250...630	5–10	6–11	7–12	8–13
Литье под низким давлением и в кокиль без песчаных стержней, центробежное литье в металлические формы	До 100	4–9	5–10	7–11	7–12
	100...250	5–10	6–11	7–12	8–13
	250...630	6–11	7–12	8–13	9–14
Литье в оболочковые формы из термореактивных смесей. Литье в облицованный кокиль, литье в вакуумно-пленочные песчаные формы	До 100	6–12	7–13	8–14	9–15
	100...250	7–13	8–14	9–15	10–16
	250...630	8–14	9–15	10–16	11–17
Литье по газифицируемым моделям в песчаные формы	До 100	7–14	8–15	9–16	10–17
	100...250	8–15	9–16	10–17	11–18
	250...630	9–16	10–17	11–18	12–19
	630...1600	10–17	11–18	12–19	13–19
	1600...4000	11–18	12–19	13–19	14–20

Технологический процесс литья	Наибольший габаритный размер отливки, мм	Тип сплава			
		Цветные легкие нетермообрабатываемые сплавы	Нетермообрабатываемые черные и цветные тугоплавкие сплавы и термообрабатываемые цветные легкие сплавы	Термообрабатываемые чугунные и цветные тугоплавкие сплавы	Термообрабатываемые стальные сплавы
		Степень точности поверхностей			
Литье в песчано-глинистые сырые формы из низковлажных (до 2,8 %) высокопрочных (более 160 кПа или 1,6 кгс/см^2) смесей с высоким и однородным уплотнением до твердости не ниже 90 единиц. Литье в песчаные отвержденные, сухие или подсушенные формы, окрашенные покрытиями на водной основе, нанесенными пульверизацией или окунанием. Литье в кокиль с песчаными стержнями	До 100	7–14	8–15	9–16	10–17
	100...250	8–15	9–16	10–17	11–18
	250...630	9–16	10–17	11–18	12–19
	630...1600	10–17	11–18	12–19	13–19
	1600...4000	11–18	12–19	13–19	14–20
Литье в песчано-глинистые сырые формы из смесей с влажностью 2,8...3,5 % и прочностью 120...160 кПа (1,2...1,6 кгс/см^2) со средним уровнем уплотнения до твердости не ниже 80 единиц. Литье в песчаные отвержденные, сухие или подсушенные формы, окрашенные покрытиями на водной основе, нанесенными кистью или самовысыхающими покрытиями, нанесенными пульверизацией или окунанием	До 100	8–15	9–16	10–17	11–18
	100...250	9–16	10–17	11–18	12–19
	250...630	10–17	11–18	12–19	13–19
	630...1600	11–18	12–19	13–19	14–20
	1600...4000	12–19	13–19	14–20	15–20
	4000...10000	13–19	14–20	15–20	16–21
Литье в песчано-глинистые сырые формы из смесей с влажностью 3,5...4,5 % и прочностью 60...120 кПа (0,6...1,2 кгс/см^2) с уровнем уплотнения до твердости не ниже 70 единиц. Литье в песчаные отвержденные сухие или подсушенные формы, окрашенные самотвердеющими покрытиями, нанесенными кистью	До 100	9–16	10–17	11–18	12–19
	100...250	10–17	10–17	11–18	12–19
	250...630	11–18	12–19	13–19	14–20
	630...1600	12–19	13–19	14–20	15–20
	1600...4000	13–19	14–20	15–20	16–21
	4000...10000	14–20	15–20	16–21	17–21
Литье в песчано-глинистые сырые формы из высоковлажных (выше 4,5 %) и низкопрочных (до 60 кПа или 0,6 кгс/см^2) смесей с низким уровнем уплотнения до твердости ниже 70 единиц. Литье в песчаные отверждаемые, сухие или подсушенные неокрашенные формы. Литье в формы из жидких самотвердеющих смесей	До 100	10–17	11–18	12–19	13–19
	100...250	11–18	12–19	13–19	14–20
	250...630	12–19	13–19	14–20	15–20
	630...1600	13–19	14–20	15–20	16–21
	1600...4000	14–20	15–20	16–21	17–21
	4000...10000	15–20	16–21	17–21	18–22
	Св. 10000	16–21	17–21	18–22	19–22

Примечание. Меньшие значения степеней точности поверхности относятся к простым отливкам и условиям массового автоматизированного производства, бóльшие – к сложным отливкам единичного и мелкосерийного производства, средние – к отливкам средней сложности и условиям механизированного серийного производства.

Приложение 4 *(справочное)*

Шероховатость поверхностей отливок

Соответствие между шероховатостью и степенями точности поверхностей отливок представлено в табл. 12.

Таблица 12

Шероховатость поверхности	Значение шероховатости для степеней точности поверхности отливки										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Среднее арифметическое отклонение профиля *Ra*, мкм, не более	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0
Высота неровностей профиля *Rz*, мкм, не более	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Шероховатость поверхности	Значение шероховатости для степеней точности поверхности отливки										
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Среднее арифметическое отклонение профиля *Ra*, мкм, не более	25,0	32,0	40,0	50,0	63,0	80,0	100,0	–	–	–	–
Высота неровностей профиля *Rz*, мкм, не более	–	–	–	–	–	–	–	500	630	800	1000

(Продолжение следует.)

Сварка. Резка. Контроль

Справочник. В 2-х томах / Под общ. ред. Н.П. Алешина, Г.Г. Чернышова. – М.: Машиностроение, 2004. – 1104 с., ил.

ISBN 5-217-03262-6

Цена с НДС 1430 руб.

В первом томе приведены теоретические основы сварки, виды сварных соединений, технологические основы проектирования сварных конструкций, сущность процессов, оборудование, сварочные материалы, выбор режимов сварки: дуговой, электрошлаковой, электрической, контактной, концентрированными источниками питания, давлением, газовой и т.д.

Изложены сведения по газовой сварке и резке, а также гидро- и гидроабразивной резке; их способы, оборудование и области применения.

Во втором томе приведены технология и особенности сварки различных материалов: стали и сплавов, чугуна, цветных металлов и сплавов, тугоплавких металлов и сплавов, металлических композиционных материалов, разнородных металлов и сплавов. Рассмотрены способы наплавки, материалы для наплавки, виды наплавочных материалов, особенности восстановления деталей наплавкой. Даны технологии нанесения различных покрытий. Изложены основы неразрушающего контроля качества сварных соединений, организации и экономики сварочного производства и т.д.

Для инженерно-технических работников всех отраслей промышленности, а также рекомендуется как учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению 651400 «Машиностроительные технологии и оборудование» по специальности 120500 «Оборудование и технология сварочного производства». Справочник может быть полезен высококвалифицированным рабочим.

Приобрести книгу можно непосредственно в издательстве "Машиностроение", прислав заявку в отдел реализации
по факсу: (495) 269-48-97 (работает круглосуточно); по e-mail: realiz@mashin.ru;
по почте: 107076, Москва, Стромынский пер., 4. ОАО "Издательство "Машиностроение".
Справки по тел. (495) 269-66-00.
http://www.mashin.ru

Указатель статей, опубликованных в журнале в 2006 г.

Артес А.Э. К вопросу развития отечественного машиностроения . . . . . № 12

Литейное и сварочное производства

Антонов А.А., Чернышев Г.Н., Овчинников В.В., Замалетдинов Э.Р. Исследование уровня напряжений в сварных соединениях из алюминиевого сплава 1460 . . . . . № 8
Балабанов А.Н. Технологичность конструкции отливок . . . . . № 10
Богодухов С.И., Сулейманов Р.М. Проектирование отливок, изготовляемых литьем в песчаные формы, для автоматизированного машиностроения . . . . . № 11
Болдырев Д.А. Ковшовое модифицирование высокопрочного чугуна по технологии "сандвич-процесса" . . . . . № 1
Грушко О.Е., Овчинников В.В., Алексеев В.В., Шамрай В.Ф. Структура, способность к выдавке и свариваемость листов из сплавов системы Al–Mg–Si , легированных кальцием . . . . . № 3
Деев В.Б., Селянин И.Ф., Войтков А.П. Влияние наследственности шихты на кристаллизацию алюминиевых сплавов . . . . . № 5
Жуков А.А. Обеспечение качества отливок газотурбинных двигателей на основе использования методов статистического анализа . . . . . № 11, 12
Кавицкий И.М., Рушаник Б.А. Снижение количества лигатуры на основе редкоземельных металлов при получении высокопрочного чугуна . . . . . № 5
Кирюхина Т.Н., Кузьмин Н.Н. Вязкость и плотность формовочных красок . . . . . № 9
Кирюхина Т.Н., Кузьмин Н.Н. Противопригарные наполнители для формовочных красок . . . . . № 7
Кирюхина Т.Н., Кузьмин Н.Н. Связующие и растворители для формовочных красок . . . . . № 8
Кирюхина Т.Н., Кузьмин Н.Н. Седиментационная устойчивость формовочных красок . . . . . № 11
Кузнецов В.Г., Дергачев Б.А., Назаратин В.В., Смирнов А.П. Литниковые системы с последовательным расположением питателей . . . . . № 8
Кузнецов В.Г., Назаратин В.В., Смирнов А.П. Гидравлика заполнения литейной формы . . . . . № 5
Кузнецов В.Г., Назаратин В.В., Смирнов А.П. Напорное течение металла в литниковых системах . . . . . № 9
Кузнецов В.Г., Назаратин В.В., Смирнов А.П. О применимости законов гидравлики для расчета процесса заполнения литейной формы. Расчет процесса заполнения формы через двухъярусную литниковую систему с обратным стояком . . . . . № 7
Кульбовский И.К., Мануев М.С., Солдатов В.Г. Повышение ударной вязкости стали 20ГЛ для отливок деталей железнодорожного транспорта . . . . . № 6
Кульбовский И.К., Солдатов В.Г., Мануев М.С. Повышение механических свойств низколегированной стали для ответственных отливок железнодорожного транспорта . . . № 4
Леушин И.О., Гейко И.В. Повышение экологической безопасности заливки стального расплава в оболочковую форму . . . . . № 8
Маркировка огнеупоров и огнеупорного сырья по ГОСТ 24717–2004 . . . . . № 4
Марукович Е.И., Карпенко В.М., Карпенко М.И. Улучшение состава, структуры и свойств высокопрочных чугунов при литье в формах с интенсивным теплообменом . . . № 1
Материалы фенольные формовочные. Общие технические условия. ГОСТ 28804–90 . . . . . № 3
Минаев А.А. Сравнительный анализ баз данных изобретений по литейному производству России и США . . . . . № 3
Миненко Г.Н. Энергетическое воздействие на расплав железоуглеродистых сплавов . . . . . № 2
Назаратин В.В., Квятковский А.Ф. Литье зубчатых колес с применением способа захолаживания рабочих поверхностей . . . . . № 3
Овчаренко В.И., Кенис М.С., Чечушкин П.Г. Влияние особенностей литниковой системы на качество отливок распределительных валов из чугуна с вермикулярным графитом . . . . . № 6
Овчинников В.В., Клюшкин М.К. Стыковая сварка оплавлением заготовок полотен ленточных пил из инструментальных углеродистых сталей . . . . . № 1
Огнеупоры. Классификация по ГОСТ 28874–2004 . . . . . № 1, 2
Ольховик Е.О., Десницкий В.В. Разработка методов автоматизированного проектирования технологии изготовления отливок . . . . . № 4
Павеле Л.А. Обеспечение качества при лазерной резке металлов . . . . . № 5
Петрунин И.Е., Карабанов В.В. Уникальная разновидность пайки припоями на железной основе . . . . . № 10
Проволока сварочная из титана и титановых сплавов по ГОСТ 27265–87 . . . . . № 6
Проволока стальная сварочная. Технические условия. ГОСТ 2246–70 . . . . . № 7
Рязанцев В.И. Сварные авиационные конструкции с клеями, грунтами, пастами и анаэробными композициями . . . . . № 12
Рязанцев В.И., Мацнев В.Н., Гринин В.В., Овчинников В.В. Сборка–сварка авиационных конструкций на станочных комплексах с ЧПУ . . . . . № 4
Рязанцев В.И., Осокина Т.Н., Овчинников В.В. Особенности технологии сварки магниево-литиевых сплавов . . . . . № 9
Рязанцев В.И., Ракчеев В.Н., Мацнев В.Н. Оптимизация размеров сварных точечных соединений . . . . . № 2
Семёнов Б.И., Семёнов А.Б., Солодилов С.А. Локальное механическое перемешивание металлов в твердом состоянии внедренным индентором.
Часть 1 . . . . . № 8
Часть 2 . . . . . № 9
Фигуровский Д.К. Применение магнитогидродинамических технологий для управления процессами структурообразования при кристаллизации сплавов на основе меди . . . . . № 10
Фигуровский Д.К., Вафаги Мохаммад Али, Дмитриев В.В., Тронза В.И. Особенности формирования структуры меди М1 при электромагнитном перемешивании в процессе кристаллизации . . . . . № 12
Фридляндер И.Н., Грушко О.Е., Денисов Б.С., Варганов В.А., Овчинников В.В. Сварка поковок и штамповок из алюминиевого сплава 1420 . . . . . № 11
Юркевич С.Н., Томашевич А.В., Мышковец В.Н., Юркевич А.С. Восстановление деталей авиатехники из медных сплавов с точечными и локальными дефектами методом лазерной наплавки . . . . . № 2
Юркевич С.Н., Юркевич А.С. Ремонт деталей из высокопрочных сталей 30ХГСН2А и 30ХГСА с хромовым покрытием с точечными и локальными дефектами без расхромирования . . . . . № 4

Кузнечно-штамповочное производство

Воронцов А.Л., Дмитриев А.М., Коробова Н.В. Сжатие полой цилиндрической заготовки в закрытой матрице . . . . . № 3
Голенков В.А., Вдовин С.И. Оценка ресурса пластичности при раскатке заготовок сильфонов . . . . . № 10
Головин В.А., Филиппов Ю.К., Игнатенко В.Н. Холодное выдавливание полых деталей с фланцем заданных размеров . . . . . № 2
Грачёв А.В., Сафонов А.В. Влияние параметров фрикционной электромеханической системы управления на время включения муфты винтового пресса . . . . . № 1
Гусев И.А. Штамп для получения поковок оребренных деталей методом радиального истечения . . . . . № 4
Додин Ю.С., Козлов А.М., Костин И.Г. Расчет составных матриц . . . . . № 1
Каменецкий Б.И., Резер А.И., Богатов А.А. Гидравлическая формовка сложных полых изделий . . . . . № 9
Катрич Ю.П. Изготовление длинномерных и осесимметричных поковок с применением комбинированного выдавливания сдвигом . . . . . № 1

Ковалевич М.В. Расчет режимов пневмотермической формовки деталей коробчатой формы в режиме сверхпластичности . . . . . № 9
Крук А.Т. Анализ затрат энергии на ходе деформирования кривошипных горячештамповочных прессов . . . . . № 2
Крук А.Т., Дибнер Ю.А. Автоматизация процессов изготовления поковок коленчатых валов . . . . . № 4
Матвеев А.С. Управление формой коленных зон полосовых крутоизогнутых ступенчатых полуфабрикатов . . . . . № 3
Матрицы с круглым отверстием быстросменные. Конструкция и размеры по ГОСТ 16641 – 80 в ред. 2006 г. . . . № 10
Назарян Э.А., Аракелян М.М. Глубокая вытяжка молибденовых контейнеров для выращивания монокристаллов . . . . . № 8
Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н., Голумбовская С.Ю. Исследование процесса деформирования заготовок в бойках с упругими элементами . . . . . № 7
Петров В.И., Лялин В.М., Баранов А.Н. Прогнозирование стойкости пуансонов обратного полугорячего выдавливания по методу планирования эксперимента . . . . . № 7
Покрас И.Б., Картель Г.А. Новые конструкторские разработки радиально-ковочного инструмента на основе автоматизированного комплекса SHK-14 . . . . . № 3
Попов И.П., Демьяненко Е.Г. Штамп для изготовления тонкостенных сварных оболочек . . . . . № 12
Сабадаш А.В., Нуркаев И.Б., Родионов А.Е., Скворцова С.С. Дефекты при штамповке фланцевых болтов и способы их устранения . . . . . № 6
Свистунов В.Е., Чубуков В.А., Ремнев А.В. Ротационная поперечная гибка листовых заготовок . . . . . № 2
Семёнов Е.И., Лавриненко В.Ю. Повышение качества шаровых пальцев . . . . . № 2
Серебренников А.М., Родинков С.В., Дроздов И.В., Вакаренко В.В. Оборудование для формовки гофростенок корпусов трансформаторных баков . . . . . № 3
Смирнов В.К., Литвинов К.И., Харитонин С.В. Вальцовка заготовок для штамповки лопаток паровых и газовых турбин . . . . . № 5
Смирнов В.К., Литвинов К.И., Харитонин С.В. Применение горячей вальцовки заготовок в кузнечно-штамповочном производстве . . . . . № 4
Смирнов В.К., Литвинов К.И., Харитонин С.В., Волков В.А., Кошаев Ш.Д. Применение вальцовки заготовок при штамповке лопаток газотурбинных двигателей летательных аппаратов . . . . . № 6
Сосенушкин Е.Н. Автоматическая классификация деталей машиностроения, изготовляемых холодной и полугорячей объемной штамповкой . . . . . № 5
Ткачёв И.В., Смольянинов В.М. Расчет геометрических параметров заготовки при изгибе плакированных металлов . . . . . № 11
Токарев И.К., Гимон А.В., Вугман А.С. Применение систем автоматического проектирования при построении цикловых диаграмм . . . . . № 7
Филиппов Ю.К., Бондаренко С.К. Комбинированное прямое выдавливание с высадкой полой заготовки из жаропрочного никелевого сплава . . . . . № 8
Филиппов Ю.К., Бондаренко С.К. Штамповка полых заготовок с широким фланцем со сквозным и глухим отверстиями из жаропрочного никелевого сплава . . . . . № 9
Харитонин С.В., Смирнов В.К., Степаненко В.И., Литвинов К.И., Кошаев Ш.Д., Волков В.А., Левин И.В. Сопротивление деформации жаропрочных и титановых сплавов . . . . . № 10
Харитонин С.В., Смирнов В.К., Степаненко В.И., Литвинов К.И., Кошаев Ш.Д., Волков В.А., Левин И.В. Разупрочнение и сопротивление деформации жаропрочных и титановых сплавов при дробном обжатии . . . . . № 11
Челищев С.Б. Новое листообрабатывающее оборудование с ЧПУ . . . . . № 1
Черкасова И.Н. Силовой режим внедрения клинового пуансона при изготовлении лезвий сельскохозяйственных орудий . . . . . № 1
Шубин И.Н., Марченков И.А., Фадеева Е.В. Напряженно-деформированное состояние при раздаче трубчатых заготовок с подпором . . . . . № 12
Яковлев С.С. Изотермическая пневмоформовка элементов ячеистых многослойных листовых конструкций квадратного поперечного сечения из анизотропного материала . . . . . № 8

Прокатно-волочильное производство

Битков В.В. Производство холоднокатаной проволоки для армирования железобетонных конструкций на высокоскоростных линиях модульного типа. . . . . № 8
Ващук В.А., Чернявский А.О. Напряженное состояние и эксплуатационная надежность валков трубопрокатного стана . . . . . № 3
Киркин Д.С., Калягин Ю.А., Лукин С.В. Термическое упрочнение стальной катанки . . . . . № 10
Колпаков С.В. Состояние и перспективы производства плоского и сортового проката и труб для машиностроения на предприятиях металлургического комплекса России . . . . . № 4
Котенок В.И., Медведев В.Е., Сафонов А.С., Шавырин В.В. Новая разработка ОАО АХК "ВНИИМЕТМАШ" в области поперечно-клиновой прокатки . . . . . № 12
Кривенцов А.М., Семенцул Р.В., Аксенов В.В., Соломичев Н.В. Расчет режимов деформации в вытяжных системах калибров при прокатке углеродистых и легированных сталей . . . . . № 6
Кушнарев А.В., Киричков А.А., Камардин В.М., Иваницкий А.Р. Модернизация производства железнодорожных колес на Нижнетагильском металлургическом комбинате . . . . № 7
Матвеев А.С. Оценка прочности сцепления слоев при холодном плакировании прокаткой. . . . . № 6
Матвеев А.С. Плакирование стали никелем в вакууме . . . . . № 4
Матвеев А.С. Прокатка трехслойной ленты никель–сталь–никель . . . . . № 5
Матвеев Б.Н. Компьютерное моделирование для предсказания структуры и свойств готового проката (Обзор литературных данных) . . . . . № 2
Прутки из сплавов горячекатаные и кованые. Сортамент. ГОСТ 22411–77 . . . . . № 1
Райков Ю.Н., Сивак Б.А., Колясов Д.В. Совершенствование прокатки катанки . . . . . № 10
Сёмин В.А., Сёмин П.В. Математическое моделирование ротационной вытяжки с использованием метода конечных элементов. . . . . № 5
Сёмин В.А., Сёмин П.В., Лисунец Н.Л. Моделирование раскатки колец и дисков с использованием системы DEFORM-3D . . . . . № 12
Смирнов В.К., Инатович Ю.В. Продольная прокатка заготовок для металлорежущего инструмента . . . . . № 9
Твердость после закалки некоторых марок инструментальной легированной стали по ГОСТ 5920–2000 . . . . . № 9
Харитонов В.А., Корчунов А.Г., Андреев В.В. Применение радиально-сдвиговой протяжки при производстве бунтового калиброванного металла . . . . . № 11

Материаловедение и новые материалы

Амосов А.П., Макаренко А.Г., Окунев А.Б. Композиционный порошок системы TiC–Ni, полученный методом СВС с фильтрацией газов, для нанесения газотермических покрытий. . . . . № 3
Ампилогов А.Ю., Быков Ю.А., Третьяков В.И. Новый метод определения охлаждающей способности закалочных сред . . . . . № 6

Астащенко В.И., Шибаков В.Г., Мокроусов Ю.М. Унифицированная технология отжига стальных заготовок . . . . . № 9
Довыденков В.А., Крысь М.А., Фетисов Г.П. MIM-технология: новые возможности изготовления заготовок . . . . . № 8
Довыденков В.А., Крысь М.А., Фетисов Г.П. Влияние технологических факторов на размерную точность стальных заготовок, изготовляемых по MIM-технологии . . . . . № 12
Епархин О.М. Структура и свойства поршневого сплава на основе заэвтектического силумина . . . . . № 8
Жулейкин С.Г., Коваленко В.В., Грачев В.В., Попова Н.А., Козлов Э.В., Громов В.Е. Закономерности эволюции перлитной структуры стали 9Х2ФМ в процессе ударного нагружения . . . . . № 2
Кенис М.С., Трошина Т.М., Якубович Е.А. Температурное поле заготовки, охлаждаемой в конвейерном баке . . . . . № 4
Козлов Э.В., Малиновская В.А., Попова Н.А., Игнатенко Л.Н., Сизоненко Н.Р., Апасов А.М. Структурно-фазовые состояния в нитроцементованной стали 20Х2Н4А . . . . . № 1
Курганова Ю.А., Чернышова Т.А., Кобелева Л.И. Применение дискретно армированного композиционного материала в узлах трения . . . . . № 4
Ларионов А.Я., Коваленко О.В. Термодинамические свойства жидких силуминов . . . . . № 1
Ловшенко Ф.Г., Ловшенко Г.Ф., Марукович Е.И. Получение, структура и свойства жаропрочных механически легированных алюминиевых материалов с низким коэффициентом линейного расширения . . . . . № 12
Ловшенко Ф.Г., Ловшенко Г.Ф., Марукович Е.И. Получение, структура и свойства механически легированных алюминиевых материалов на основе двойных систем . . . . . № 6
Мальцев И.М. Программный комплекс для выбора марки стали при проектировании деталей машин . . . . . № 11
Маслов Л.Н., Шаврин О.И., Дементьев В.Б., Князев А.Г., Скворцов А.Н. Геометрические показатели качества заготовок абразивно-изнашиваемых цилиндрических деталей, изготовляемых с применением термомеханического упрочнения . . . . . № 5
Михайленко Ю.Е., Темлянцев М.В. Снижение обезуглероживания стали при нагреве в методических печах . . . . . № 8
Оржицкая Л.К., Спектор Я.И. Развитие марочного сортамента коррозионно-стойких сталей . . . . . № 9
Панфилов А.В., Панфилов А.А., Чернышова Т.А., Кобелева Л.И. Применение алюмоматричных композиционных материалов в узлах трения промышленного оборудования и транспортной техники . . . . . № 5
Пачурин Г.В., Пименов Г.В., Пачурин К.Г. Влияние поверхностной обработки на эксплуатационную долговечность стальных изделий . . . . . № 1
Петросян А.С., Африкян Т.Г. Порошковые железохромистые износостойкие материалы . . . . . № 6
Пучков Ю.А., Нгуен Ш.Х., Березина С.Л. Исследование структуры и свойств никель-фосфорных и хромоуглеродных защитных покрытий для алюминиевых пресс-форм . . . . . № 3
Романов А.И., Гарибов Г.С., Кошелев В.Я., Касаткин В.В. Неметаллические включения в гранулах жаропрочных никелевых сплавов и методы их удаления . . . . . № 7
Сильман Г.И., Камынин В.В., Полухин М.С. Управление структурой и свойствами антифрикционных чугунов . . . . . № 10
Симонов В.Н. Стойкость к солевой коррозии хромоалитированных защитных покрытий . . . . . № 4
Третьяков В.И., Фан Бай, Ампилогов А.Ю. Математическое моделирование диффузии элемента при ограниченной растворимости в матрице . . . . . № 7
Цвиркун О.А., Иванов Ю.Ф., Будовских Е.А., Громов В.Е. Фазовый состав и дефектная субструктура железа после электровзрывного алитирования . . . . . № 11
Целлермаер И.Б., Коновалов С.В., Громов В.Е., Иванов Ю.Ф., Ротштейн В.П. Электронно-пучковая модификация перлитной стали.
Зона твердофазного преобразования . . . . . № 7
Зона жидкофазного преобразования . . . . . № 8
Юрьев А.Б., Ефимов О.Ю., Громов В.Е., Иванов Ю.Ф., Чинокалов В.Я. Структурно-фазовое состояние плазменно-упрочненного валка после его эксплуатации . . . . . № 3

Информация

Бердников Э.Б., Ермишин Н.Н. Методика экспериментального исследования пневматического молота с использованием компьютерных прикладных программ . . . . . № 10
Богданов Э.Ф. Уточнение формулы для определения приведенного момента инерции кривошипно-ползунного механизма пресса . . . . . № 7
Борецкий В.Р., Сорокин С.В. Производство материалов шлифовальных регенерированных из вторичного сырья . . . . . № 6
Волохин А.И., Наумов А.А. Рекомендации по освоению новых перспективных технологических процессов в области обработки металлов давлением и созданию и производству по ним новых видов кузнечно-прессового оборудования на период 2006–2015 гг. . . . . № 10
Езжев А.С., Марков М.Д. Учебный штамповочный модуль . . . . . № 2
Епархин О.М. Применение функции качества на примере производства поршней . . . . . № 6
Итоги Четвертой международной недели металлов . . . . . № 5
Коробова Н.В. Отчет о XII ежегодной научной сессии РАН в области заготовительных производств машиностроения . . . . № 7
Матвеев Б.Н. Исторический обзор техники производства проволоки и струн . . . . . № 7
Матрицы с круглым отверстием. Конструкция и размеры по ГОСТ 16637–80 . . . . . № 7
Минаев А.А. Мониторинг изобретательской деятельности в области порошковой металлургии. . . . . № 5, 6
Минаев А.А. Современные представления о закономерностях развития литейного производства . . . . . № 11
Новые патенты на изобретения . . . . . № 1, 2, 5
Олейников В.Н. Повышение стойкости рабочих частей вырубных штампов путем облучения ионами Ar^+ и легирования атомами Al . . . . . № 11
Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку по ГОСТ 26645–85 . . . . . № 11, 12
Павеле Л.А. Производительность лазерной резки металлов . . . № 3
Первов М.Л., Корнилов В.В. Отчет о всероссийской научно-технической конференции "Прогрессивные технологические процессы, новые материалы и оборудование обработки металлов давлением" . . . . . № 11
Пожарский А.В. Пламенная отражательная печь для переплава алюминиевого лома . . . . . № 6
Порошки металлические. Определение размера частиц сухим просеиванием по ГОСТ 18318–94 . . . . . № 12
Семёнов Е.И., Овчинников А.Г. К 110-летию Михаила Васильевича Сторожева . . . . . № 10
Темлянцев М.В. Состав окалины, образующейся на стали 45Г17Ю3 при высокотемпературном нагреве . . . . . № 1
Трегубов В.И., Крыкин С.А. Особенности применения ресурсосберегающих технологий при производстве сталей для инструментального производства . . . . . № 5
Троицкий Д.И. Выбор стратегий формирования размерного ряда металлопроката в заготовительном производстве . . . № 5
Указатель статей, опубликованных в журнале в 2005 г. . . . . № 1
Черкасова И.Н. Применение вальцовки для изготовления лезвий ножей лемехов-плоскорезов . . . . . № 11

Цветная вкладка

Крайнев А.Ф. Техника обработки материалов давлением. . . . . № 1, 3, 5, 7, 10

Поздравляем!

Кроху Валентину Андреевну

доктора технических наук, профессора,

академика Академии Проблем Качества РФ,

Почетного члена Международной Академии информатизации

с 75-летием

В.А. Кроха родилась 9 января 1932 г. в г. Хороле Полтавской области. В 1956 г. она окончила Киевский политехнический институт по специальности "Материаловедение, оборудование и технология термической обработки металлов".

Трудовую деятельность В.А. Кроха начала в Экспериментальном научно-исследовательском институте кузнечно-прессового машиностроения (ЭНИКМАШ) в г. Воронеже, где прошла путь от инженера до заведующей исследовательской лабораторией прогрессивных технологий обработки металлов давлением.

В 1964 г. В.А. Кроха защитила кандидатскую диссертацию, а в 1985 г. – докторскую диссертацию. В 1989 г. ей присвоено ученое звание профессора.

С 1969 г. по настоящее время В.А. Кроха работает на кафедре "Технология конструкционных материалов" в Воронежской государственной лесотехнической академии (ВГЛТА) доцентом, заведующей кафедрой и профессором.

Научная деятельность В.А. Крохи неразрывно связана с фундаментальными исследованиями свойств металлов и сплавов, обрабатываемых холодной деформацией. Результаты этих исследований опубликованы в ее монографии "Кривые упрочнения металлов при холодной деформации" (1968) и справочнике "Упрочнение металлов при холодной пластической деформации" (1980). Под ее руководством разработан ряд государственных стандартов.

Результаты исследований проф. В.А. Крохи внедрены на ряде заводов НИИ и КБ в автомобильной, станкоинструментальной и авиационной промышленности.

В.А. Кроха – автор около 200 научных работ, опубликованных в отечественных и зарубежных изданиях, соавтор справочников "Холодная объемная штамповка" (1973), "Ковка и объемная штамповка. Т.3: Холодная штамповка" (1987), руководящих материалов "Специализированное кузнечно-прессовое оборудование, применяемое при обработке давлением наиболее массовых деталей в отраслях машиностроения и металлообработке" (1964), "Типовые решения по технологическим процессам изготовления заготовок (поковок) для наиболее распространенных и трудоемких общемашиностроительных деталей" (1965) и "Прогрессивные технологические процессы и кузнечно-прессовое оборудование для объемной штамповки" (1966).

В.А. Кроха – активный и целеустремленный научный работник, опытный педагог и воспитатель, обладающий широкой научно-технической эрудицией. В.А. Кроха всегда сочетала административную, научную и педагогическую деятельность с общественной работой. Она работала членом научно-технического совета Минстанкопрома СССР, членом научно-методического совета по трибологии Министерства общего и профессионального образования РФ, заместителем декана лесомеханического факультета, является членом двух докторских диссертационных советов. В.А. Кроха неоднократно поощрялась руководством ВГЛТА, районными и областными организациями, награждена медалью "Ветеран труда".

В.А. Кроха – одна из немногих женщин, высококвалифицированных специалистов в области обработки металлов давлением, пользуется заслуженным авторитетом и уважением среди коллег как в нашей стране, так и за рубежом.

Редколлегия и редакция журнала "Заготовительные производства в машиностроении" поздравляют Валентину Андреевну Кроха с юбилеем и желают ей доброго здоровья, благополучия и успехов в науке и воспитании молодых специалистов.

Ордена Трудового Красного Знамени ОАО "Издательство **"Машиностроение"**,
107076, Москва, Стромынский пер., 4/1, стр. 3
Учредитель ООО "Издательство Машиностроение – 1".
E-mail: zpm@mashin.ru
Телефоны редакции журнала: (495) 268-47-19, 268-36-54, 268-69-19. **http://www.mashin.ru**
Дизайнер *Погорелова Т.Н.* Технический редактор *Жиркина С.А.* Корректоры *Сажина Л.И., Сонюшкина Л.Е.*
Сдано в набор 31.10.06 г. Подписано в печать 15.12.06 г. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 7,35 (в т.ч. вкл. 0,49). Уч.-изд. л. 8,96 (в т.ч. вкл. 0,75). Заказ 36. Свободная цена.
Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ОАО "Издательство "Машиностроение".
Отпечатано в Подольской типографии – филиале ОАО "ЧПК". 142110, Подольск, ул. Кирова, д. 15.