ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ПРОИЗВОДСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ

(Кузнечно-штамповочное, литейное и другие производства)

№ 5 май 2009

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.
СЕРИКОВА Е.А.

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.
СЕРИКОВА Е.А.
МАКАРЕНКО Е.Д.
ГАНЖЕНКО А.Г.

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.: (499) 268-47-19, 268-69-19
Факс: (499) 269-48-97
Http://www.mashin.ru
E-mail: zpm@mashin.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Литейное и сварочное производства

Ковалевич Е.В., Валисовский И.В., Казанцев А.Г. Управляемый экологически безопасный процесс получения чугуна с шаровидным графитом 4
Дубоделов В.И., Богдан К.С., Фикссен В.Н. Дискретное дозирование металлических расплавов магнитовесовым методом 8
Михеев Р.С., Рыбачук А.М., Чернышова Т.А., Кобелева Л.И., Чернышов Г.Г., Коберник Н.В. Обработка поверхности алюминиевого сплава дуговым оплавлением в магнитном поле 13
Крайнев А.Ф. Техника производства пластмассовых изделий в историческом и логическом развитии (2-я и 3-я полосы обложки)

Кузнечно-штамповочное производство

Вдовин С.И., Михайлов В.Н., Татарченков Н.В. Многопереходная гибка труб по круглому копиру 17
Виторский Я.М., Комаишко С.Г., Кулик Г.Н., Моисей М.В. Гибка рубашки, охватывающей трубу высокого давления 20
Сидоров А.А. Определение волокнистого строения в поковках типа стержня с полусферическим фланцем 25

Прокатно-волочильное производство

Гриншпун А.И., Фурлендер Г.А., Сивак О.Б. Калибровочный стан для линии термической обработки труб 30

Материаловедение и новые материалы

Семёнов В.И. Фазовый переход при плавлении и затвердевании металла 33
Святкин А.В., Муратов В.С. Исследование влияния отжига на остаточные напряжения и твердость прутков из латуни ЛМцА58-2-1 39

Информация

Соколов В.А., Проволоцкий А.Е., Кузьменок О.С. Опыт внедрения гидроабразивной обработки в производство 41
Расторгуев Г.А. Технологическая подготовка заготовительного производства . . . 45
Отливки из чугуна и стали. Термины и определения дефектов по ГОСТ 19200 – 80 49
Промышленные выставки в июне – сентябре 2009 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.

© "Издательство "Машиностроение", "Заготовительные производства в машиностроении", 2009

SCIENTIFIC TECHNICAL AND PRODUCTION JOURNAL

BLANKING PRODUCTIONS IN MECHANICAL ENGINEERING

(Forging and stamping, foundry and others productions)

№ 5 May 2009

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

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

Editorial Assistants:
KLEYZER P.E.
SERIKOVA E.A.

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.
SERIKOVA E.A.
MAKARENKO E.D.
GANZHENKO A.G.

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 edition of the journal.

Ph.: (499) 268-47-19, 268-69-19
Fax: (499) 269-48-97
Http://www.mashin.ru
E-mail: zpm@mashin.ru

CONTENTS

Casting and Welding Productions

Kovalevich E.V., Valisovsky I.V., Kazantsev A.G. Controlled ecologically safety process of reception of spheroidal graphite iron 4
Dubodelov V.I., Bogdan K.S., Fixssen V.N. Discrete batch of metal melts by magneto-weighing method 8
Mikheev R.S., Rybachuk A.M., Chernyshova T.A., Kobeleva L.I., Chernyshov G.G., Kobernik N.V. The surface arc melting of aluminium alloy in magnetic field 13
Krainev A.F. Technique of plastic products manufacture in historical and logical evolution (2-nd and 3-d pages of cover)

Forging and Stamping Productions

Vdovin S.I., Mikhailov V.N., Tatarchenkov N.V. Multi-pass tube bending through circular cam 17
Vitorsky Ya.M., Komaishko S.G., Kulik G.N., Moisey M.V. The jacket bending encompassing the high pressure tube 20
Sidorov A.A. Analysis of flow lines arrangement in forgings like bars with hemispherical flange 25

Rolling and Drawing Productions

Grinshpun A.I., Furlender G.A., Sivak O.B. Sizing rolling mill for pipe's thermal treatment department 30

Physical Metallurgy and New Materials

Semenov V.I. Change of phase at smelting and solidification of metal 33
Svyatkin A.V., Muratov V.S. Investigation of residual strains and hardness dependence from annealing temperature of bars from brass LMtsA58-2-1 39

Information

Sokolov V.A., Provolotsky A.E., Kuzmenok O.S. Manufacturing application of hydroabrasive machining 41
Rastorguev G.A. Technological preparation of blanking production 45
Iron and steel castings. Terms and definitions of defects by GOST 19200 – 80 . . . 49
Industrial exhibitions in June – September 2009 53

Journal is included into the list of the Higher Examination Board for publishing of competitors for the academic degrees theses

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

© "Mashinostroenie Publishers", "Blanking productions in mechanical engineering", 2009

УДК 621.746

Е.В. Ковалевич, И.В. Валисовский, А.Г. Казанцев
(ОАО "НПО ЦНИИТМАШ", г. Москва)

Управляемый экологически безопасный процесс получения чугуна с шаровидным графитом

Подбор химического и фракционного состава магнийсодержащего модификатора обеспечивает протекание процесса модифицирования без пироэффекта с максимальным усвоением. Позволяет получать чугун с шаровидным графитом в любых производственных условиях, в ковшах любой емкости, не требует специального оборудования и дополнительной вентиляции.

Selection of chemical and sectarian composition magniysoderzhaschego modifier ensures the process without modification piroeffekta with maximum assimilation. Allows you to obtain spheroidal graphite cast iron in any production environment kovshah in any capacity, does not require special equipment and extra ventilation.

Ключевые слова: чугун; шаровидный графит; магний; плавка; ковш; модифицирование; пироэффект; усвоение.

Key words: cast iron; spheroidal graphite; magnesium; melting; ladle; modification; piroeffekt; assimilate.

Обработка чугуна чистым магнием или модификаторами, содержащими магний, как правило, сопровождается сильным пироэффектом и сопутствующим ему дымовыделением.

Одной из основных причин возникновения пироэффекта и значительного дымовыделения в процессе модифицирования чугуна комплексными лигатурами является быстрое всплывание этих лигатур в среде расплава, так как их плотность значительно меньше плотности чугуна. При этом магний, содержащийся в лигатуре, не успевает прореагировать с компонентами жидкого чугуна.

Как показала практика, полезное использование магния в большинстве случаев составляет от 25 до 60 % в зависимости от способа его ввода, остальной магний "вылетает" из чугуна и сгорает на его поверхности с пироэффектом и большим количеством дыма, состоящего из мелкодисперсных оксидов магния.

Можно легко подсчитать, что при остаточном содержании 0,05 % магния и его усвоении 60 % бесполезно сгорает до 0,1 % магния в атмосфере над поверхностью ковша. Это, в свою очередь, дает 1,6 кг тонкодисперсных оксидов магния на каждую тонну жидкого чугуна. Такое количество оксидов магния загрязняет 158 000 м^3 воздуха до уровня ПДК. При данных условиях применение подобных технологий возможно только при наличии хорошей вытяжной вентиляции. Однако только вентиляция без очистных сооружений не изменит опасную экологическую обстановку.

В ОАО "НПО ЦНИИТМАШ" разработан и освоен технологический процесс получения чугуна с шаровидным графитом при производстве отливок с применением модифицирующей диспергированной смеси (МДС-процесс).

Сущность МДС-процесса заключается в обработке жидкого чугуна специальным модификатором, главной составляющей которого является магний.

Это наиболее перспективная в настоящее время технология, которая может быть использована в любом производстве без дополнительных капиталовложений и при соблюдении санитарных норм.

Технология подготовки ковшей при МДС-процессе аналогична сэндвич-процессу. Принципиальное отличие заключается в подготовке модификатора. Модификатор МДС-процесса имеет фракционный состав, который обеспечивает удерживание модификатора на дне ковша при заполнении его чугуном силами поверхностного натяжения чугуна до полного завершения процесса.

Влияние технологических факторов, температуры чугуна, химического и фракционного составов модификатора и массы обрабатываемого чугуна на проте-

кание процесса модифицирования достаточно хорошо изучено. Это позволяет управлять процессом в целях минимизации пироэффекта и дымовыделений и получать чугун заданной структуры и свойств.

Для МДС-процесса пригодны все существующие в настоящее время магнийсодержащие лигатуры, которые возможно размельчить до определенного фракционного состава, и даже дисперсный порошок чистого магния в смеси с ферросилицием или другими добавками. Применение модификатора, в котором магний находится в связанном состоянии, позволяет использовать более крупную его фракцию в сравнении с порошком чистого магния, так как в этом случае упругость паров магния значительно снижается.

Для полного усвоения магния в чугуне при модифицировании его мелкодисперсным модификатором необходимо, чтобы пузырьки парообразного магния, образующиеся из его твердых частиц при контакте с жидким чугуном, успевали полностью аннигилировать за время своего образования и всплывания в чугуне. При этом необходимо также, чтобы модификатор до окончания процесса находился на дне ковша, не всплывал бы в жидком чугуне и послойно, по мере растворения, контактировал с жидким чугуном. Эти требования могут быть выполнены при соответствующем подборе фракционного и химического состава модификатора.

Правильно подобранный химический и фракционный состав модификатора позволяет получать чугун с шаровидным графитом в обычных разливочных ковшах с коэффициентом усвоения 90...95 % практически без пироэффекта и выделений оксида магния в рабочей зоне ковша, не превышающих предельно допустимую концентрацию. Это снижает расход магния при модифицировании и делает МДС-процесс на сегодняшний день самым экономичным.

Для спокойного модифицирования, без пироэффекта, с повышением температуры чугуна необходимо снижать концентрацию магния в модификаторе (рис. 1). Снижение содержания магния в модификаторе легко достигается подмешиванием в него измельченного ферросилиция, что дополнительно дает сильный графитизирующий эффект и позволяет получать даже в тонких сечениях отливки структуру без включений свободного цементита.

Модифицирование чугуна методом МДС отличается высокой стабильностью и гибкостью процесса. Возможность составлять различные комбинации модифицирующих смесей с добавками РЗМ, кальция, бария и других элементов, в том числе легирующих, позволяют получать чугун с шаровидным графитом с высокими прочностными и пластическими свойствами в литом состоянии как при выплавке чугуна в электропечах, так и при выплавке в вагранках.

Необходимое количество модифицирующей смеси определяется, в основном, в зависимости от содержания серы в исходном чугуне и, как правило, составляет до 0,1 % магния от массы обрабатываемого чугуна. Дозируется смесь с помощью мерной емкости или по массе. Модифицирующая смесь засыпается в разогретый до 600...800 °С ковш не ранее чем за 5 мин до выпуска металла. При повторении цикла модифицирования в ковше не должно быть остатков жидкого чугуна. В случае, если после слива металла в ковше все же есть остатки жидкого металла, последний, перед загрузкой модификатора, необходимо засыпать чугунной стружкой.

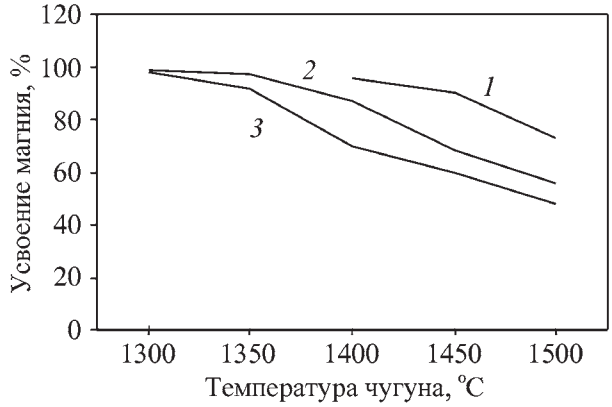


Рис. 1. Усвоение магния в зависимости от температуры чугуна и содержания магния в модификаторе:
1 – 3,5 % Mg; *2* – 4 % Mg; *3* – 5,0 % Mg

Выплавка чугуна для модифицирования может производиться в любых плавильных агрегатах (вагранка, дуговая или индукционная электропечь). Химический состав исходного чугуна должен соответствовать составу требуемой марки высокопрочного чугуна с шаровидным графитом с учетом повышения содержания кремния при модифицировании на 0,6...1,0 % в зависимости от состава применяемой модифицирующей смеси. Температура чугуна перед модифицированием должна быть в пределах 1360... 1500 °С.

Модифицирование чугуна проводится в обычных разливочных ковшах чайникового типа. На дне ковша устраивается перегородка для размещения необходимого количества модификатора. Сливать чугун в ковш следует с максимально возможной скоростью, направляя струю металла в свободный от модификатора отсек. При случайном попадании струи металла в карман с модификатором происходит вспышка магния в результате перемешивания струей модифицирующей смеси, которая всплывает в чугуне и за несколько секунд сгорает на поверхности чугуна. В этом случае модифицирование следует считать неудачным, металл должен быть слит в печь для последующего повторного модифицирования или разлит как серый чугун.

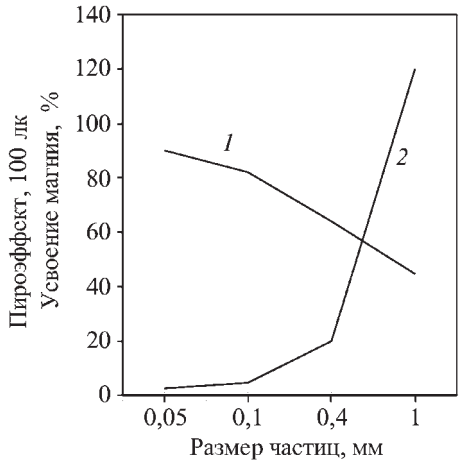


Рис. 2. Влияние размера частиц модификатора на величину пироэффекта и усвоение магния при 1400 °С:
1 – усвоение магния; *2* – пироэффект

Нормально процесс модифицирования сопровождается кипением металла, интенсивным его перемешиванием без выплесков и пироэффекта. При окончании процесса кипение прекращается. Продолжительность модифицирования в ковшах емкостью от 0,5 до 5 т составляет от одной до трех минут.

Сравнительные замеры величины свечения над поверхностью ковша при модифицировании чугуна одного химического состава при температуре 1450 °С никель-магниевой лигатурой и МДС-процессом показали, что свечение в первом случае достигает 10 000 лк, тогда как во втором лишь 1000 лк при уровне фона 500 лк. Взаимосвязь между размером частиц модификатора, величиной пироэффекта и усвоением магния приведена на рис. 2.

Выброс MgO в атмосферу зависит от коэффициента полезного использования магния, который определяется способом модифицирования. С понижением значения коэффициента полезного использования магния количество пылевидного оксида магния резко возрастает (рис. 3).

Расчеты показывают, что выбросы оксидов магния при МДС-процессе в 10–20 раз меньше, чем при модифицировании лигатурами обычной крупности сэндвич-процессом.

Для реальной оценки выбросов при модифицировании чугуна по технологии МДС исследовали воздушную среду при производстве чугуна с шаровидным графитом в промышленных условиях. Исследованиями занимались параллельно НИИ гигиены труда и профессиональных заболеваний АМН и санитарно-промышленная лаборатория завода. Отбор проб воздушной среды проводили в трех рабочих зонах в разные дни и при различных условиях модифицирования. Плавки проводили в печах ИЧТ-10. Чугун модифицировали МДС-процессом в ковшах емкостью

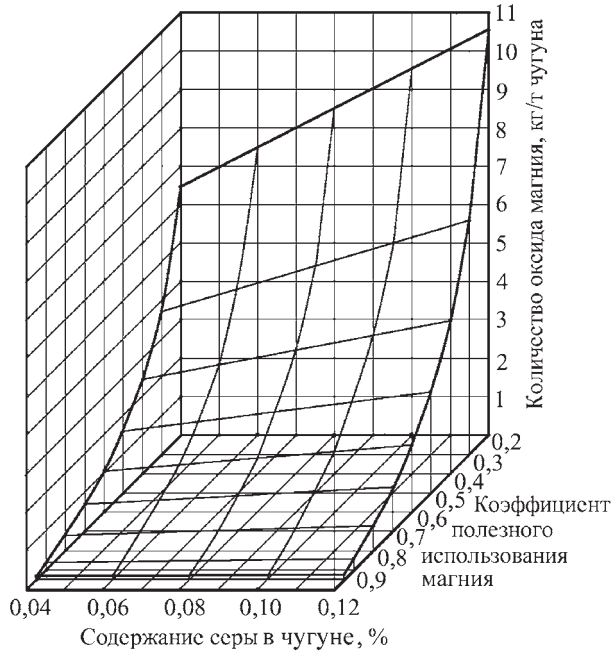


Рис. 3. Влияние усвоения магния на выделение оксида магния при модифицировании чугуна

3 т. Температура чугуна перед модифицированием – 1450...1460 °С.

Пробы воздуха отбирали в зоне дыхания:

– плавильщика, находящегося у пульта опрокидывания печи с момента начала выпуска чугуна из печи в ковш до окончания выпуска и прекращения реакции модифицирования;

– заливщика при:

• счистке шлака из ковша после модифицирования;

• разливке металла в формы.

Результаты исследований приведены в таблице.

Исследования показали, что концентрация оксида магния в зоне дыхания рабочих при получении чугуна по технологии МДС в два раза ниже предельно допустимой концентрации по санитарно-гигиеническим требованиям к воздуху рабочей зоны. Причем выделения оксида непосредственно при модифицировании, т.е. когда происходит обработка чугуна магнием даже несколько меньше, чем при счистке шлака и при разливке чугуна в формы, что позволяет рекомендовать этот способ к использованию при существующей в цехе обменной вентиляции.

Предлагаемый процесс имеет преимущества в сравнении с существующими методами модифицирования, в том числе:

– обеспечивает стабильное получение чугуна с шаровидным графитом в обычных разливочных ковшах любой емкости;

– может быть использован в любом литейном цехе, поскольку не требует специального оборудования и дополнительной вентиляции;

Содержание оксидов магния в воздушной среде при модифицировании чугуна по технологии МДС

Дата отбора проб	Место отбора проб	Содержание оксидов магния, мг/м^3			
		1-й ковш	2-й ковш	3-й ковш	Среднее
1 февраля	ИЧТ-10	1,73	4,33	–	2,02
	Счистка шлака	0,43	2,62	–	1,52
	Заливка форм	0,43	0,86	–	0,64
3 февраля	ИЧТ-10	0,43	0,88	–	0,65
	Счистка шлака	–	0,88	–	0,88
	Заливка форм	0,43	0,88	–	0,65
23 марта	ИЧТ-10	3,26	5,80	5,0	4,68
	Счистка шлака	5,20	4,81	–	5,00
	Заливка форм	3,40	4,27	–	3,83
3 апреля	ИЧТ-10	4,02	5,43	–	4,72
	Счистка шлака	4,22	3,62	–	3,92
	Заливка форм	4,21	–	–	4,21
8 апреля	ИЧТ-10	4,12	4,77	–	4,44
	Счистка шлака	3,70	3,10	–	3,40
	Заливка форм	–	4,75	2,94	3,84
12 апреля	ИЧТ-10	4,65	3,66	4,33	4,21
	Счистка шлака	2,91	5,81	3,43	4,05
	Заливка форм	2,94	–	–	2,94
13 апреля	ИЧТ-10	3,67	4,49	2,42	3,52
	Заливка форм	3,16	4,62	2,28	3,35

– обеспечивает спокойное протекание процесса без пироэффекта;

– позволяет проводить модифицирование чугуна в широком интервале температур 1360...1500 °С, что дает возможность использовать для модифицирования металл, полученный в любых плавильных агрегатах (вагранка, дуговые и индукционные электропечи);

– выделение в атмосферу оксидов магния при модифицировании составляет 0,002...0,006 мг/л;

– позволяет получать чугун с заданной структурой и высокими параметрами механических свойств в литом состоянии. Чугун марок ВЧ40...ВЧ60 включительно может быть получен без дополнительного легирования с относительным удлинением в литом состоянии 15...3 % соответственно;

– характеризуется экономичностью, низким расходом магния (0,05...0,1 % от массы модифицируемого чугуна в зависимости от содержания серы) и высокой степенью десульфурации.

Евгений Владимирович Ковалевич, д-р техн. наук;
Игорь Васильевич Валисовский, д-р техн. наук;
Александр Георгиевич Казанцев, д-р техн. наук

УДК 621.746.2:66.028

В.И. Дубоделов, К.С. Богдан, В.Н. Фикссен *(Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев)*

Дискретное дозирование металлических расплавов магнитовесовым методом

Приведена конструктивно-функциональная схема весового магнитодинамического дозатора металлических расплавов с микропроцессорным блоком измерения массы и управления процессом дозирования. Даны результаты экспериментальных исследований опытного образца дозатора на моделирующей жидкости и алюминиевом расплаве. Уточнены конструктивные параметры силоизмерительного механизма дозатора и алгоритма управления. Определена погрешность дозирования расплава и показаны пути ее снижения.

Scheme of weighing magneto-dynamic batcher for metallic melts with microprocessor unit of measuring mass and control of the batch process is presented. Results of experimental investigations of pilot model of the batcher with help of simulating liquid and aluminium melt are given. Structural parameters of power-measuring of the batcher have been defined more precisely. The error of melt batch is defined and ways of its decrease are shown.

Ключевые слова: дискретное дозирование; весы; магнитодинамический насос; микропроцессор; металлический расплав; отливка.

Key words: discrete batch; scales; magneto-dynamic pump; microprocessor; metal melt; casting.

В литейных цехах отечественных и зарубежных машиностроительных фирм с высоким уровнем механизации и автоматизации трудоемких работ заливку металлических расплавов в литейные формы осуществляют с помощью заливочно-дозирующих устройств, принцип действия которых основан на объемном, временном или весовом методах дозирования. По способу выдачи расплава заливочные устройства могут быть классифицированы на электромеханические, электрогидравлические, электропневматические, электромагнитные и комбинированные [1].

Многолетняя практика эксплуатации различных заливочных устройств металлических расплавов свидетельствует о том, что наиболее технологичными являются магнитодинамические насосы (МДН), обеспечивающие поддержание заданной температуры расплава, корректировку его химического состава и перемешивание, управление расходом расплава путем изменения магнитного поля в активной зоне МДН.

Учитывая, что среди различных методов дозирования наиболее точным и универсальным является весовой, совмещение подачи расплава с помощью МДН и непрерывного контроля его переменной массы в процессе заливки дает возможность получить результаты дозирования расплавов, удовлетворяющие современным требованиям литейных технологий. Такой метод дозирования был назван магнитовесовым.

Точность дискретного дозирования металлических расплавов зависит от двух основных факторов: колебаний расхода расплава, поступающего из заливочного устройства в литейную форму в выходной фазе дозирования; метрологических и динамических характеристик весового устройства. Стабилизация расхода расплава обеспечивается МДН посредством управления током электромагнита [2].

Реализация магнитовесового метода дозирования возможна двумя методами: дозирование с присоединением жидкометаллической массы к весам; дозирование с отсоединением жидкометаллической массы от весов.

Анализ показал, что наибольшее распространение в практике литейного производства получил метод весового дозирования с присоединением массы к весам, реализация которого связана с необходимостью использования для формирования дозы промежуточной емкости (ковша), установленной на весах той или иной конструкции [3]. Этот метод, наряду с известными преимуществами, имеет ряд недостатков, основными из которых являются: двойной перелив расплава и, как следствие, потери температуры, дополнительное его окисление и увеличение времени цикла заливки, а также ощутимое влияние жидкотекучести, колебаний расхода и давления падающей струи расплава на точность дозирования. Кроме того, усложняется конструкция заливочного устройства в целом, что влечет за собой дополнительные расходы материалов и электроэнергии.

При весовом дозировании с использованием метода отсоединения массы от весов заливка литейных форм осуществляется непосредственно из заливочного устройства, установленного или подвешенного на весах, что позволяет значительно уменьшить потери температуры расплава и время цикла заливки, прак-

тически исключить влияние давления падающей струи на точность дозирования.

Реализация процесса дискретного дозирования расплавов методом отсоединения массы с помощью подвесных весов является наиболее простым техническим решением. Однако область применения таких дозирующих устройств ограничена необходимостью использования в качестве подающего устройства разливочного ковша, поскольку другие типы подающих устройств в данном случае не применимы. Кроме того, автоматизировать такое устройство по ряду причин довольно сложно, в связи с чем в процессе заливки литейных форм необходимо участие оператора.

Современные подвесные электронные весы имеют допустимую погрешность 0,05 % от наибольшего предела взвешивания (НПВ). Поэтому при заливке сравнительно больших доз расплава из ковша в форму указанная погрешность весов приемлема. В случае заливки малых доз расплава (0,1...0,5 % от НПВ) эта погрешность соизмерима с величиной дозы, в результате чего не может быть обеспечена требуемая точность дозирования.

Платформенные электронные весы, в отличие от подвесных, являются универсальными. На них можно установить практически любое подающее устройство и построить дозатор, работающий по методу отсоединения массы. Такие весы должны обладать значительной грузоподъемностью и высокой чувствительностью, особенно при заливке небольших доз расплава. Учитывая, что лучшие образцы технологических платформенных весов имеют погрешность 0,02 % от НПВ, при большой массе брутто подающего устройства с расплавом, организовать процесс дозирования малых доз расплава методом отсоединения массы не представляется возможным. Так, например, при массе брутто, равной 800 кг НПВ весов должен быть не менее 1000 кг. Тогда абсолютная погрешность взвешивания составит ±200 г. Очевидно, что такая погрешность приемлема при дозе расплава от 20 кг и выше, а при дозах менее 20 кг эта погрешность не удовлетворяет требованиям технологии.

В настоящее время в технологических процессах металлургических производств и, в частности, при заливке металлических расплавов в формы широко применяют так называемые "чистые" тензометрические платформенные весы, в которых нагрузка воздействует непосредственно на силоизмерительные датчики. Однако эти весы, наряду с высокими метрологическими характеристиками, имеют сравнительно низкую перегрузочную способность, составляющую не более 150 % и допустимую пиковую перегрузку до 300 % от НПВ.

Поэтому очевидно, что применение таких весов оправдано и дает хорошие результаты в медленно изменяющихся процессах при небольших ускорениях изменения силы, т.е. при отсутствии систематических либо случайных ударных воздействий на силоизмерительные датчики.

Многолетний опыт эксплуатации "чистых" тензометрических весов, особенно в тяжелых, а иногда экстремальных условиях металлургических производств, показал, что для повышения надежности этих весов необходимо применять специальные методы и средства защиты от перегрузок и других дестабилизирующих факторов. Существуют различные подходы к решению этой задачи.

На основе результатов теоретических и экспериментальных исследований установлено, что наиболее эффективное повышение ударостойкости, а следовательно, и надежности тензометрических весов, может быть достигнуто путем создания гибридных конструкций силоизмерительного механизма (СМ), обеспечивающих поглощение кинетической энергии удара до силового входа силоизмерительных датчиков. Одной из таких конструкций является пружинно-тензометрический СМ, разработанный в Физико-технологическом институте металлов и сплавов НАН Украины (ФТИМС) и реализующий способ двойного преобразования силы, созданной массой взвешиваемого груза, в электрический сигнал [4, 5].

Основной конструктивной особенностью пружинно-тензометрического СМ является использование в нем одного силоизмерительного датчика с гораздо меньшей, при прочих равных условиях, номинальной нагрузкой, что значительно снижает стоимость весов в целом в сравнении с "чистыми" тензометрическими весами на четырех датчиках. Это стало возможным благодаря измерению суммарной деформации упругого подвеса грузоприемной платформы весов в ее центре жесткости, координаты которого, в общем случае, не совпадают с координатами центра симметрии платформы [4] и определяются с помощью предложенного нами экспериментально-расчетного способа [6] при юстировке СМ.

Результаты экспериментов показали, что, чем точнее определены координаты центра жесткости $C_ж$ упруго подвешенной платформы, тем меньше погрешность от расположения груза на платформе, а следовательно, и общая погрешность взвешивания [4]. Кроме того, в силоизмерительную цепь весов введен специальный электромагнитный фиксатор [7]. Это позволяет использовать в режиме дискретного дозирования один и тот же участок статической характеристики датчика независимо от массы груза на платформе, что существенно повышает линейность показаний в диапазоне взвешивания.

На основе магнитодинамической установки МДН-6А и пружинно-тензометрических платформенных весов был разработан опытно-промышленный образец весового дозатора дискретного действия, конструктивно-функциональная схема которого приведена на рис. 1. Магнитодинамический насос (МДН-6А) с индуктором *6*, электромагнитом *7*, заливочной воронкой *1*, сливным желобом *2* и лотком *3* установлен на грузоприемной платформе *8*. Платформа *8* опирается на основные упругие элементы *9* в виде винтовых цилиндрических пружин сжатия, закрепленных на не-

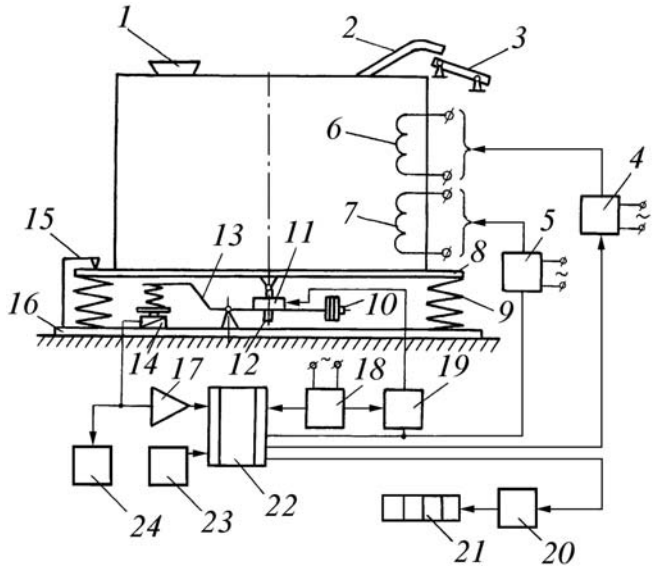


Рис. 1. Конструктивно-функциональная схема опытного образца МДН-дозатора

подвижном основании *16* в виде рамы, установленной на виброизолированном фундаменте. В центре жесткости $C_ж$ упруго подвешенной платформы *8* посредством шарового шарнира закреплена пластина *12* с рифленой поверхностью сторон. Для защиты упругих элементов *9* от перегрузок применены ограничители *15*, а для демпфирования низкочастотных колебаний платформы *8* при воздействии различного рода импульсных возмущений – регулируемые гидравлические успокоители колебаний (на схеме не показаны). Измерительный неравноплечий рычаг *13* первого рода с опорным шарниром установлен на неподвижном основании *16* в подплатформенном пространстве. Для создания квазиравновесия рычага *13* служит противовес *10*, размещенный на конце правого плеча рычага *13*, а его левое плечо через передаточный упругий элемент соединено с силовым входом тензорезисторного силоизмерительного датчика *14* балочного типа фирмы HBM (ФРГ). Предел допустимой погрешности этого датчика составляет 0,02 % от наибольшего предела взвешивания.

Электромагнитный фиксатор *11*, укрепленный на правом плече рычага *13*, взаимодействует с пластиной *12* и служит для осуществления механической связи (смыкания) рычага *13* с платформой *8* в ее центре жесткости $C_ж$ при работе или настройке весов. Передаточное отношение рычага *13* и жесткость передаточного упругого элемента могут варьироваться в зависимости от требуемого диапазона взвешивания.

Выход датчика *14* подключен через усилитель *17* сигнала к входу микропроцессорного блока *22* измерения массы и управления процессом дозирования. Выходы блока *22* подключены через электронные ключи к блокам *4* и *5* управления индуктором и электромагнитом МДН соответственно, к блоку *19* управления электромагнитным фиксатором *11* и к блоку *20*

Рис. 2. Опытный образец МДН-дозатора

управления цифровым индикатором *21* массы. В состав схемы входят также клавиатура *23*, самописец *24* и блок питания *18*. Индуктор и электромагнит МДН питаются от отдельных трансформаторов. Фото опытного образца МДН-дозатора приведено на рис. 2.

Процесс дозирования расплава происходит следующим образом. В исходном состоянии фиксатор *11* отключен, его колодки не удерживают пластину *12* и платформа *8* разъединена с рычагом *13*, а следовательно, и с датчиком *14*, выходной сигнал $U_и$ которого близок к нулю. После заполнения тигля МДН через воронку *1* расплавом алюминия упругие элементы *9* деформируются (сжимаются) на величину, пропорциональную массе нетто расплава. По сигналу из блока *22* срабатывает электронный ключ в блоке *19*, включается электромагнитный фиксатор *11*, в результате чего платформа *8* смыкается с рычагом *13* посредством пластины *12* и силоизмерительная цепь весов замыкается. Далее, по команде из блока *22* происходит обнуление весоизмерительной схемы, после чего включается электромагнит насоса и расплав по желобу *2* через лоток *3* начинает поступать в приемную чашу литейной формы (на схеме не показана). При этом общая масса брутто насоса уменьшается, пропорционально уменьшается суммарная деформация упругого подвеса платформы *8* и увеличивается деформация передаточного упругого элемента, а следовательно, и сила на силовом входе датчика *14*. Выходной сигнал $U_и$ датчика *14* через усилитель *17* поступает в блок *22*, где обрабатывается и подается через блок *20* на вход цифрового индикатора *21* массы. Одновременно обработанный сигнал сравнивается в блоке *22* с заданным, который соответствует величине дозы m_d расплава и установлен с помощью клавиатуры *23*. При достижении массы слитого расплава величины 0,9 m_d из блока *22* выдается команда на блок *5* на уменьшение расхода $Q_н$ расплава из МДН до величины (0,1...0,2) $Q_{н\,max}$ и осуществляется режим "доливки" в выходной фазе дозирования. При достижении массы слитого расплава величины m_d электромагнит МДН отключается и процесс дозирования заканчивается. Спустя 3...5 с по команде из блока *22* электронный ключ в блоке *19* отключает фиксатор *11*, и рычаг *13*

возвращается в первоначальное положение, при котором $U_и \approx 0$. Последующие циклы дозирования и заливки расплава в литейные формы происходят аналогично. Результаты дозирования за любой промежуток времени могут быть извлечены из блока *22* и отображены на бумажном носителе с помощью принтера, что позволяет получить необходимый документ для анализа технологического процесса изготовления отливок и учета готовой продукции.

Таким образом, разработанный опытный образец весового магнитодинамического дозатора металлических расплавов, благодаря введению в силоизмерительный механизм пружинно-тензометрических весов электромагнитного фиксатора *11*, измерение массы расплава, стекающего по желобу *2* и лотку *3* насоса в литейную форму, осуществляется независимо от общей массы брутто насоса с расплавом. При этом заливка каждой дозы расплава начинается при одном и том же положении измерительного рычага *13* относительно горизонтали, а следовательно, при постоянной начальной силе на силовом входе датчика *14*, что дает возможность сузить диапазон взвешивания до требуемого значения и обеспечить дозирование и заливку малых доз расплава методом отсоединения массы.

Алгоритм управления процессом взвешивания, дозирования и заливки расплава в литейную форму реализован программно в блоке *22*. Для этой цели также применяется персональный компьютер, что значительно увеличивает объем памяти и расширяет возможности системы управления, однако увеличивает эксплуатационные затраты.

Для определения рациональных параметров, метрологических показателей и динамических свойств опытного образца весового МДН-дозатора металлических расплавов он был смонтирован на технологическом участке. По разработанной методике проводились экспериментальные исследования.

После определения координат центра жесткости весовой упруго подвешенной платформы был окончательно закреплен измерительный рычаг с электромагнитным фиксатором (см. рис. 1) и определена погрешность от расположения груза на платформе методом угловых испытаний [6]. Обработка полученных данных показала, что указанная погрешность не превышает 0,1 % от НПВ.

Далее, согласно методике, были сняты статические характеристики весов $\overline{C} = f(m)$ в диапазонах 0...5; 0...10; 0...15 и 0...20 кг, определен порог чувствительности весов в этих диапазонах и верность показаний. По результатам статистической обработки полученных данных построены графики зависимостей $\overline{C} = f(m)$ для указанных диапазонов взвешивания (рис. 3), где $\overline{C}$ – среднее значение показаний цифрового индикатора *21* весов; m – масса гирь. Анализ полученных экспериментальных данных показал, что зависимости $\overline{C} = f(m)$ линейны во всех диапазонах взвешивания. Погрешность ΔC не превышает 0,1 % от НПВ и зависит от метрологических характеристик упругого подвеса платформы *8* и передаточной пружины.

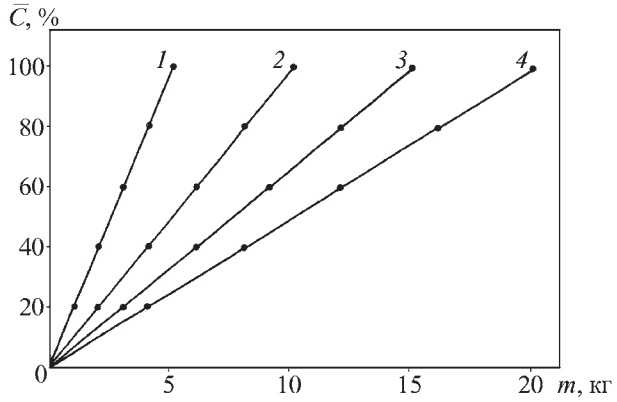


Рис. 3. Зависимости $\overline{C} = f(m)$ для четырех диапазонов взвешивания:
1 – 0...5 кг; *2* – 0...10 кг; *3* – 0...15 кг; *4* – 0...20 кг

Были проведены исследования по определению влияния силовых кабелей МДН на погрешность взвешивания. Установлено, что силовые кабели, благодаря специальной подвеске, практически не ухудшают работу силоизмерительного механизма весов. Ощутимых отклонений их метрологических показателей от нормы не обнаружено.

Кроме того, представляло интерес определить влияние электромагнитных полей, сетевых и радиопомех, вибраций и случайных ударных воздействий на метрологические и динамические характеристики весов. В процессе экспериментов было установлено, что микропроцессорный блок измерения массы и управления процессом дозирования устойчиво работает в условиях действия различного рода помех и других дестабилизирующих факторов, сохраняя свои метрологические показатели на требуемом уровне во всех диапазонах взвешивания. Для повышения динамической точности весов и стабильности их работы в весоизмерительную схему целесообразно дополнительно вводить полосовые фильтры, а силоизмерительный механизм в случае необходимости, снабжать успокоителями колебаний.

В результате экспериментальных исследований пружинно-тензометрических весов в составе опытного образца весового МДН-дозатора металлических расплавов уточнены конструктивные параметры упруго подвешенной платформы, передаточной пружины измерительного рычага, электромагнитного фиксатора, откорректирован алгоритм управления программой микропроцессорного блока измерения массы и управления процессом дозирования, выбраны рациональные режимы работы системы дозирования в выходной фазе заливки форм с учетом переменной массы в тигле МДН.

Исследование процесса дозирования расплава на опытном образце весового МДН-дозатора проводилось в два этапа. На первом этапе на платформе весов вместе с магнитодинамическим насосом была установлена емкость, заполненная моделирующей жидко-

стью (водой) и снабженная сливным патрубком с электромагнитным клапаном, подключенным к микропроцессорному блоку измерения массы и управления процессом дозирования. Заданную массу дозы установили с помощью клавиатуры в указанном блоке. Отливка доз осуществлялась в автоматическом режиме в диапазоне 0...5 кг при НПВ весов 5000 г при постоянном расходе жидкости. Величина доз m_d составляла 1, 2, 3 и 4 кг.

В результате обработки полученных экспериментальных данных было установлено, что абсолютная погрешность дозирования постоянна для всех доз при постоянном уровне жидкости в емкости, т.е. при постоянном гидростатическом давлении, а следовательно, при постоянном расходе. При уменьшении количества жидкости в емкости погрешность дозирования уменьшалась, что соответствует ранее полученным результатам исследований [2]. Для исключения влияния уровня жидкости в емкости на погрешность дозирования был откорректирован алгоритм управления и программа, его реализующая.

На втором этапе исследования проводились на жидком алюминиевом сплаве [8]. В микропроцессорном блоке *22* с помощью клавиатуры *23* задавали величину m_d и значения 0,9 m_d, при котором происходит уменьшение расхода расплава из МДН в выходной фазе дозирования. Заливку доз расплава производили в металлические формы. Каждую полученную отливку взвешивали на контрольных весах, абсолютная погрешность которых составляла ±2 г. После статистической обработки экспериментальных данных была определена относительная погрешность дозирования, которая не превышает 0,5 % от величины дозы, что вполне удовлетворяет требованиям технологии. Уменьшить указанную погрешность возможно путем стабилизации расхода расплава в выходной фазе дозирования. Графики дискретного дозирования моделирующей жидкости и алюминиевого расплава на опытном образце весового МДН-дозатора приведены на рис. 4, где N – номер дозы, m_d — масса дозы, T — время заливки.

Результаты экспериментальных исследований опытного образца весового МДН-дозатора металлических расплавов хорошо согласуются с результатами физического моделирования процесса дозирования на экспериментальном стенде и использованы при разработке опытно-промышленного образца дозатора.

Техническая характеристика весового МДН-дозатора металлических расплавов

Вместимость по жидкому алюминию, кг	160
Мощность индукторов, кВт	20
Мощность электромагнита, кВт	5
Напряжение питания, В	380/26-75
Частота, Гц	50
Температура расплава, °С	600...800
Расход металла при заливке, кг/с	0,3...0,7
Диапазон дозирования, кг	от 2 до 10
Предел допустимой погрешности дозирования, %	0,5
Масса брутто, кг, не более	600
Габаритные размеры, мм	1660×600×1180

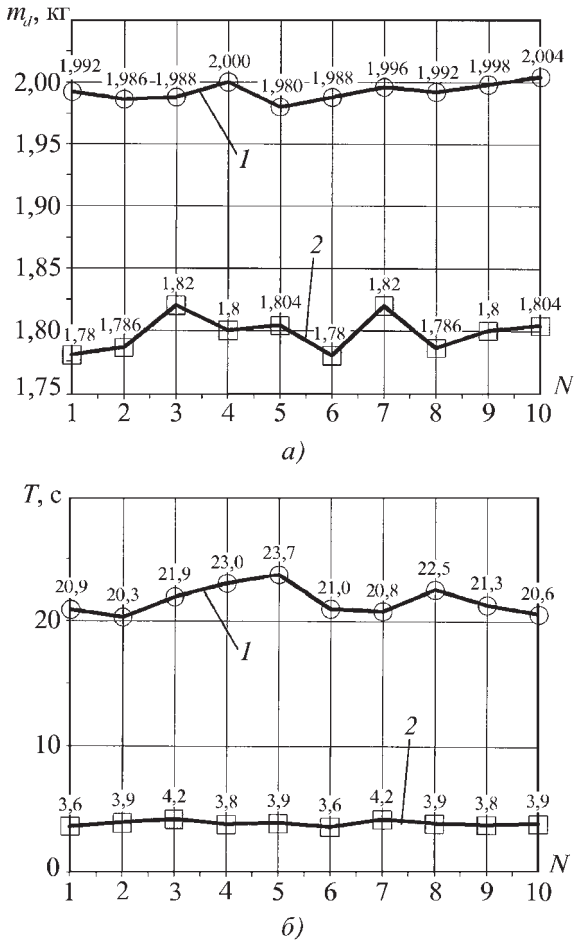


Рис. 4. Графики дискретного дозирования моделирующей жидкости (*1*) и алюминиевого расплава (*2*):
а – $m_d = f(N)$; *б* – $T = f(N)$

Опыт Физико-технологического института металлов и сплавов НАН Украины в области создания оборудования для заливки черных и цветных расплавов в разовые и постоянные формы магнитовесовым методом может быть полезен при решении задачи повышения качества дозирования расплавов в литейном производстве.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Дембовский В.В.** Автоматизация литейных процессов: справ. Л.: Машиностроение, 1989. 246 с.

2. **Магнитодинамические** насосы для жидких металлов / В.П. Полищук, М.Р. Цин, Р.К. Горн и др. Киев: Наук. думка, 1989. 256 с.

3. **Средства** и системы автоматизации литейного производства / К.С. Богдан, В.Н. Горбенко, В.М. Денисенко, Ю.П. Каширин. М.: Машиностроение, 1981. 272 с.

4. **Богдан К.С.** Экспериментальные исследования пружинно-тензометрических весов для литейных технологий // Процессы литья. 1997. № 2. С. 57–66.

5. **Пат. 20226535 RU, MKU6 G01G 19/00.** Устройство для взвешивания / К.С. Богдан, Н.С. Струтинский. Опубл. 10.01.95. Бюл. № 1.

6. **Определение** координат центра жесткости весовой упруго подвешенной платформы / К.С. Богдан, И.В. Корниец, Н.И. Тарасевич, А.А. Санкин // Металлургическая и горно-рудная промышленность. 2002. № 6. С. 99–101.

7. **Пат. 44030А UA, 7G01G 13\24, 19/12.** Ваговий дозатор металевих розплавів / К.С. Богдан, В.І. Дубодєлов, В.К. Погорський та інші. – Надр. 15.01.2000. Бюл. № 1.

8. **Богдан К.С., Санкин А.А., Терновой С.А.** Исследование пружинно-тензометрических весов для дискретного дозирования расплавов методом отсоединения массы // Процессы литья. 2003. № 3. С. 75–82.

Виктор Иванович Дубоделов, член-кор. НАН Украины;
Ким Степанович Богдан, д-р техн. наук;
Владислав Николаевич Фикссен, канд. техн. наук

УДК 669.715:621.791

Р.С. Михеев, А.М. Рыбачук, Т.А. Чернышова, Л.И. Кобелева, Г.Г. Чернышов, Н.В. Коберник *(Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, МГТУ им. Н.Э. Баумана)*

Обработка поверхности алюминиевого сплава дуговым оплавлением в магнитном поле

Исследована возможность модифицирования поверхностных слоев антифрикционного алюминиевого сплава АК9 при дуговом оплавлении поверхности в магнитном поле. Применение четырехполюсной магнитной системы позволяет регулировать геометрические размеры зоны оплавления (ширину и глубину) и дисперсность получаемой структуры. Образцы после обработки обладают более высокими триботехническими характеристиками и микротвердостью по сравнению с исходным материалом.

The possibility of surface layers modification of the antifriction aluminium alloy Al–9Si by surface arc melting in magnetic field have been studied. The using of four-polar magnetic system allows controlling the welding pool sizes (width and depth) and the produced structure dispersion. After the treatment the samples have tribological characteristics and microhardness which are better than those of basic material.

Ключевые слова: антифрикционные алюминиевые сплавы; дуговое оплавление поверхности; магнитное поле; трибология.

Key words: antifriction aluminium alloys; the surface arc melting; magnetic field; tribology.

Введение. При эксплуатации механизмов и машин наиболее сильному физико-химическому и механическому воздействию подвергается поверхностный слой. Разрушение деталей (усталостное, абразивный износ, эрозия, коррозия, кавитационный износ и др.), как правило, начинается с поверхности. Поэтому при изготовлении и восстановлении деталей машин остро стоит задача получения износостойких поверхностных слоев. В промышленности для решения этой задачи широко применяют термомеханические, дуговые, лучевые и плазменные методы обработки поверхности металлических изделий [1].

Известны работы, авторы которых предлагают использовать микроплазменные разряды, а также лазерное излучение для модифицирования поверхностного слоя конструкционных материалов [2, 3].

Однако такие методы поверхностной обработки не всегда оправданы с экономической точки зрения из-за низких скоростей обработки и необходимости сложного и дорогостоящего оборудования. Кроме того, микроплазменная обработка в вакуумных камерах связана с известными ограничениями в размерах изделий, а при лазерной обработке необходимо учитывать отражающие свойства обрабатываемого материала.

Более экономичным и гибким методом обработки поверхности конструкционных материалов является дуговое оплавление с воздействием на дугу и расплавленную ванну магнитным полем, позволяющее получать высококачественные, плотные и однородные по составу поверхностные слои (Магнитная система: а. с. 654964 / А.И. Акулов, Б.К. Буль, Г.Г. Чернышов, А.М. Рыбачук и др. Опубл. 1979, Бюл. № 12).

В данной статье рассмотрена возможность применения метода дугового оплавления в магнитном поле для модифицирования поверхностных слоев литых образцов из алюминиевого сплава АК9.

Материалы и методы исследования. Для экспериментов по модифицированию структуры поверхностного слоя оплавлением дугой в магнитном поле выбран антифрикционный алюминиевый сплав АК9, близкий по составу известному английскому сплаву AS-78 (Al–4 % Si–1 % Cu). Сплав можно рассматривать как модельный при постановке работы по оценке эффектов диспергирования структуры, так как известно, что изменение размеров кристаллов кремния

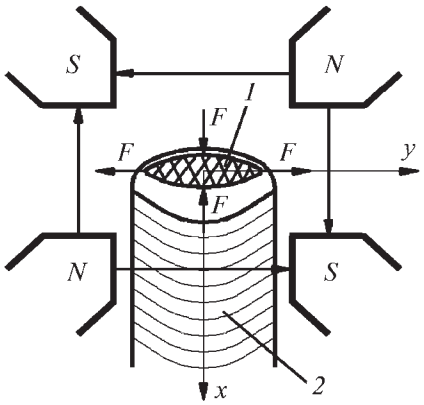


Рис. 1. Схема воздействия магнитных полей на дугу: *1* – дуга; *2* – шов

в антифрикционных силуминах заметно отражается на их износостойкости (Строганов С.Б., Ротенберг В.А., Гершман Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием. М., 1977. 272 с.).

Пластины из алюминиевого сплава АК9 (9...11 % Si; ≤1 % Cu; 0,2...0,4 % Mg; 0,2...0,5 % Mn; ≤0,3 % Ni; ≤0,5 % Zn; ≤1,3 % Fe; Al – остальное) размерами 8×50×120 мм получали методом литья в кокиль.

Переплав тонкого поверхностного слоя литых пластин осуществляли сварочной дугой, горящей в атмосфере аргона между вольфрамовым электродом и изделием на постоянном токе прямой полярности в центре четырехполюсной магнитной системы (рис. 1).

Данная магнитная система, размещенная со стороны сварочной горелки, позволяет осуществлять обработку поверхности изделия без доступа к обратной стороне шва. При наложении поперечных магнитных полей неизбежно возникают продольные относительно шва магнитные поля. В результате получается комбинация четырех магнитных полей, в центре которых вдоль вертикальной оси напряженность магнитного поля равна нулю.

Каждое из окружающих магнитных полей воздействует на дугу, изменяя ее форму. Дуга растягивается поперек шва и боковыми магнитными полями сжимается вдоль шва, т.е. из концентрической превращается в эллипсоидную. Совместное действие боковых и поперечных магнитных полей определяет степень сжатия дуги и ее проплавляющую способность [4].

Помимо этого, в сварочной ванне появляются объемные электродинамические силы, направленные к поверхности свариваемого изделия. Объемные электродинамические силы, возникающие при взаимодействии вихревых токов с магнитным полем системы, и, следовательно, форма (глубина и ширина) сварочной ванны регулируются изменением тока в обмотках электромагнитов.

Параметры режима оплавления образцов из сплава АК9 с воздействием на дугу магнитным полем приведены в табл. 1.

Структуру модифицированных поверхностных слоев исследовали на оптическом микроскопе Leica DMILM с использованием программы Qwin для анализа изображений. Микротвердость по глубине шва

1. Параметры режима дугового оплавления в магнитном поле пластин из сплава АК9

Режим оплавления	Сварочный ток, А	Напряжение на дуге, В	Длина дуги, мм	Скорость оплавления, м/ч	Магнитная индукция, Тл
1	110	16	2,4	14	0,048
2	100	18	2,4	14	0,12

измеряли на приборе Wilson Wolpert 432SVD при нагрузке 0,4905 Н (0,05 кгс).

Для оценки эффективности модифицирования проводили испытания на сухое трение скольжения исходных образцов в литом состоянии и после оплавления дугой в магнитном поле. Трение осуществляли на установке МТУ-01 (ТУ 4271-001-29034600–2004) по схеме: вращающаяся втулка (контртело из стали 40Х, твердость более 45 HRC) по шайбе (пластина из сплава АК9) в диапазоне нагрузок 18...60 Н при скорости скольжения 0,39 м/с.

В процессе испытания регистрировали момент трения и изменение массы путем взвешивания каждого образца до и после испытания с точностью $\pm 0{,}5 \cdot 10^{-3}$ г. Первый этап трибонагружения длительностью 15 мин при нагрузке 18 Н и скорости скольжения 0,39 м/с считали приработочным.

Поведение образцов при сухом трении скольжения оценивали по коэффициенту трения f, коэффициенту стабильности процесса трения $\alpha_{ст}$ и объемной интенсивности изнашивания I_V [5]:

$$f = \frac{M}{R_{ср} F_н}; \quad (1)$$

$$\alpha_{ст} = \frac{f_{ср}}{f_{max}}; \quad (2)$$

$$I_V = \frac{\Delta m}{\rho L}, \quad (3)$$

где M – момент трения; $R_{ср}$ – средний радиус втулки; $F_н$ – осевая нагрузка; $f_{ср}$ – средний коэффициент трения; f_{max} – максимальный коэффициент трения; Δm – потеря массы образца; ρ – плотность образца; L – путь трения.

Результаты и обсуждение. Рис. 2 позволяет оценить влияние магнитной индукции на форму шва. Глубина поверхностных слоев, полученных дуговым оплавлением в магнитном поле, уменьшается от 1,2 до 0,5 мм при увеличении магнитной индукции от 0,048 до 0,12 Тл, так как достигается большая степень расфокусирования сварочной дуги; ширина шва соответственно увеличивается от 7 до 8,5 мм.

Микроструктуры образцов из сплава АК9 в исходном состоянии и после обработки сварочной дугой в магнитном поле приведены на рис. 3. Литая структура сплава АК9 состоит из крупных ячеисто-дендрит-

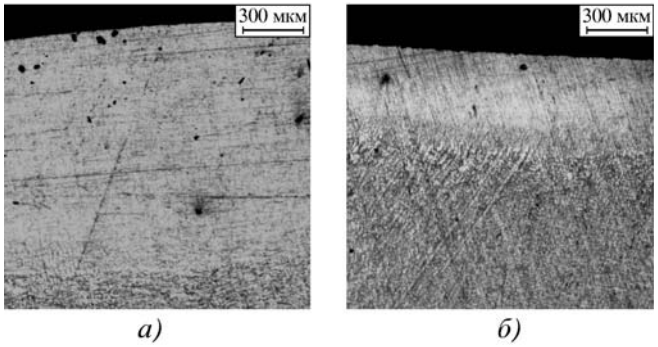


Рис. 2. Макрошлифы поверхностных слоев, полученных при оплавлении пластин из сплава АК9 по режимам 1 (*а*) и 2 (*б*)

ных кристаллов α–Al (30...50 мкм), окруженных эвтектическими прослойками, содержащими помимо α–Al и эвтектического кремния алюминиды Ni, Fe, Cu [6].

После модифицирующей обработки наблюдается значительное диспергирование исходной структуры, вызванное высокими скоростями охлаждения, характерными для дугового процесса. Размер ячеисто-дендритных кристаллов α–Al уменьшается до 5...7 мкм; толщина эвтектических прослоек не превышает 3 мкм (см. рис. 3, *б*).

Вблизи линии сплавления дисперсность структуры оплавленного слоя (см. рис. 3, *в*) несколько меньше в результате частичного наследования структуры подложки при эпитаксиальной кристаллизации, а также меньшего концентрационного переохлаждения в начале кристаллизации сварочной ванны.

Модифицированный слой характеризуется достаточно равномерным распределением микротвердости по глубине *x*, причем увеличение микротвердости, достигаемое при оплавлении дугой в магнитном поле, составляет не менее 20 % от исходного уровня (рис. 4). Изменение магнитной индукции практически не отразилось на значениях микротвердости оплавленного слоя.

Результаты испытаний на сухое трение скольжения образцов в исходном состоянии и после обработки поверхности сварочной дугой в магнитном поле

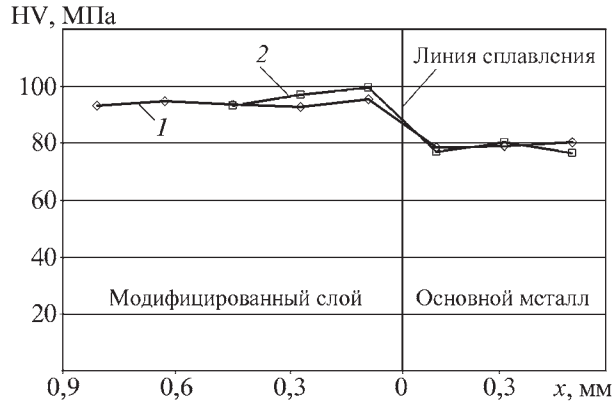


Рис. 4. Микротвердость поперечного сечения модифицированных образцов:
1 – режим 1; *2* – режим 2

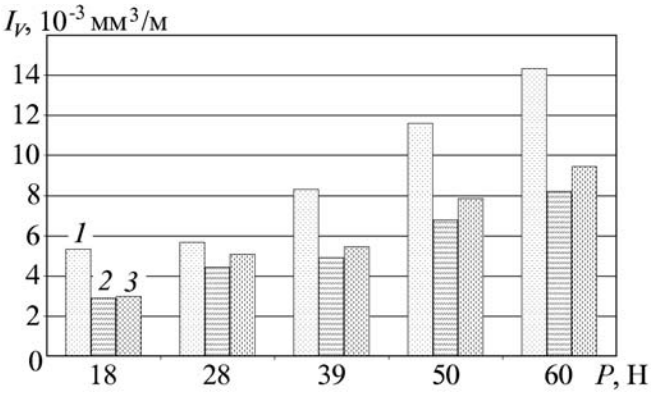


Рис. 5. Интенсивность изнашивания I_V образцов из сплава АК9 в исходном состоянии (*1*) и после модифицирования поверхностного слоя по режимам 1 (*2*) и 2 (*3*) в зависимости от нагрузки *P* при трении

показали, что модифицирование поверхностных слоев приводит к существенному улучшению триботехнических характеристик.

Уменьшение интенсивности изнашивания образцов I_V после модифицирующей обработки (рис. 5) связано с уменьшением размеров кристаллов кремния и относительных размеров участков твердого раствора на основе алюминия, что, соответственно, отражается на долях абразивного и адгезионного изнашивания образцов (Строганов С.Б., Ротенберг В.А., Гершман Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием. М., 1977. 272 с.).

Рис. 6 позволяет сопоставить коэффициенты трения образцов из сплава АК9 в исходном состоянии и после обработки сварочной дугой в магнитном поле ($f_{мод}/f_{исх}$) в зависимости от приложенной нагрузки.

Образец с поверхностным слоем, полученным после модифицирующей обработки по режиму 1, облада-

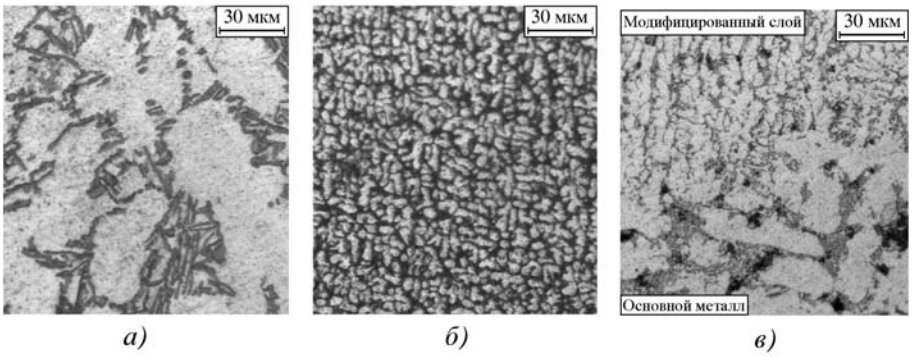


Рис. 3. Микроструктура сплава АК9 в исходном (литом) состоянии (*а*) и после обработки дугой в магнитном поле (режим 1): верхняя часть модифицированного слоя (*б*), участок вблизи линии сплавления (*в*)

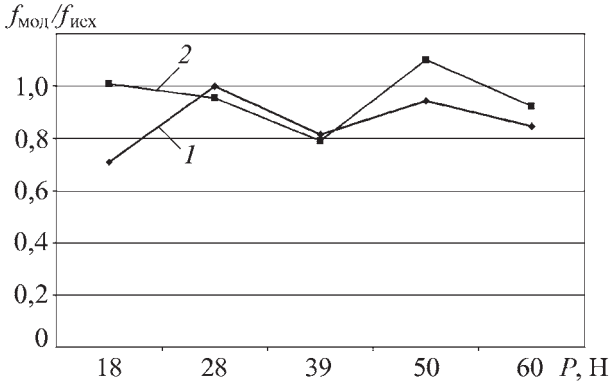


Рис. 6. Соотношение коэффициентов трения $f_{мод}/f_{исх}$ образцов из сплава АК9 после модифицирующей обработки и в исходном состоянии в зависимости от нагрузки *P* при трении:
1 – режим 1; *2* – режим 2

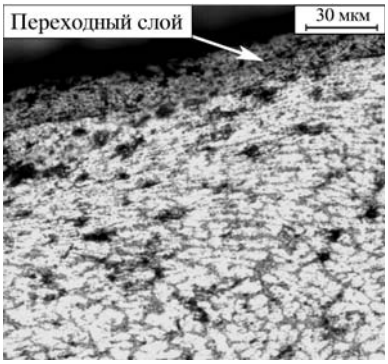


Рис. 7. Микроструктура модифицированного поверхностного слоя после испытаний на трение (шлиф поперечный к плоскости скольжения)

ет коэффициентом трения ниже, чем литой образец, во всем диапазоне трибонагружения. При обработке дугой по режиму 2 коэффициент трения модифицированного образца также оказывается ниже, чем у исходного образца.

В процессе сухого трения скольжения приповерхностные слои испытывают сильную пластическую деформацию, следы которой можно наблюдать в поперечном сечении образца после испытания (рис. 7).

На контактных поверхностях формируется переходный слой, представляющий собой механическую смесь из материала контртела и испытываемого образца, а также их оксидов [7]. Переходный слой способствует снижению коэффициента трения и интенсивности изнашивания образцов. Чем дисперснее структура образца, испытываемого на трение, тем интенсивнее процессы наноструктурирования в переходном слое.

2. Коэффициенты стабильности сухого трения скольжения $\alpha_{ст}$ литых образцов из сплава АК9 и образцов после обработки сварочной дугой в магнитном поле

Образец	$\alpha_{ст}$ при нагрузке *P*, Н				
	18	28	39	50	60
Исходный	0,87	0,91	0,92	0,93	0,9
Модифицированный:					
режим 1	0,93	0,84	0,85	0,82	0,85
режим 2	0,87	0,81	0,82	0,85	0,84

Исходные образцы, а также образцы после модифицирующей обработки характеризуются коэффициентами стабильности сухого трения скольжения, близкими к единице (табл. 2), что также свидетельствует об устойчивом характере процесса трения скольжения.

Выводы

Образцы из алюминиевого сплава АК9 после модифицирования поверхностных слоев дуговым оплавлением в магнитном поле имеют более высокие триботехнические характеристики и микротвердость по сравнению с исходным материалом.

Применение четырехполюсной магнитной системы позволяет регулировать геометрические размеры зоны оплавления (ширину и глубину) и дисперсность получаемой структуры. Процесс дугового оплавления с воздействием на дугу и расплав магнитным полем может быть полезен для получения высококачественных и однородных по составу износостойких поверхностных слоев.

Работа выполнена при финансовой поддержке НШ-2991-2008.3 и РФФИ, грант № 08-03-12024-офи, грант № 08-0800476-а.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Атаманов М.В., Васильев В.И., Зайцев В.В. и др.** Новые технологии повышения прочности деталей машин // Автомобильный транспорт. 1995. № 7. С. 31–33.

2. **Лаптева В.Г., Куксенова Л.И., Иванов В.А., Конышев М.Е.** Влияние микроплазменной обработки на свойства приповерхностного слоя образцов из различных конструкционных материалов: мат. науч.-техн. конф. с участием иностранных специалистов "Трибология-Машиностроению". М.: ИМАШ РАН, 2008. CD-ROM, секция 3, № 19.

3. **Бирюков В.П.** Лазерное упрочнение поверхностей трения мощными газовыми, твердотельными и волоконными лазерами: мат. науч.-техн. конф. с участием иностранных специалистов "Трибология-Машиностроению". М.: ИМАШ РАН, 2008. CD-ROM, секция 3, № 7.

4. **Рыбачук А.М.** Формирование сварного шва магнитным полем // Сварщик профессионал. 2005. № 5. С. 9–10.

5. **Чичинадзе А.В., Берлинер Э.М., Браун Э.Д. и др.** Трение, износ и смазка (трибология и триботехника). М.: Машиностроение, 2003. 469 с.

6. **Abbot T.B., Parker B.A.** The structures of fully eutectic aluminium-silicon alloys castings // Mater. Sci. 1990. Vol. 25. P. 2100–2106.

7. **Zhang J., Alpas A.T.** Transition between mild and severe wear in aluminium alloys // Acta Mater. 1997. Vol. 45. P. 513–528.

Роман Сергеевич Михеев, инженер;
Александр Михайлович Рыбачук, канд. техн. наук;
Татьяна Александровна Чернышова, д-р техн. наук;
Любовь Ивановна Кобелева, канд. техн. наук;
Георгий Георгиевич Чернышов, д-р техн. наук;
Николай Владимирович Коберник, канд. техн. наук

УДК 621.774.6

С.И. Вдовин, В.Н. Михайлов, Н.В. Татарченков
(Орловский государственный технический университет)

Многопереходная гибка труб по круглому копиру

Приведены формулы и пример расчета радиуса копира, переходов операции гибки, включая перемещения гибочного инструмента и заготовки, с учетом реальной формы трубы, отличающейся от ее прототипа в конструкторской документации трубопровода.

In the paper the authors have shown formulae and sample for the computation of cam radius, bending passes including advances of bending tool and workpiece taking into account tube actual form differed from its prototype in design documentation for tubing.

Ключевые слова: числовое программное управление; перемещение гибочного инструмента; перемещение заготовки; уравнение изогнутой оси; упругая разгрузка.

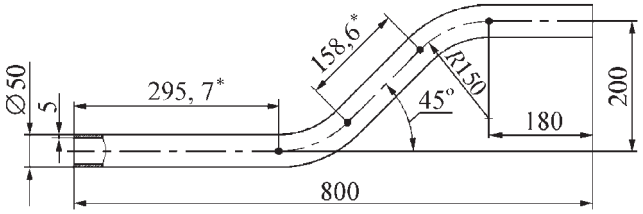
Key words: numerical control; bending tool advance; workpiece advance; deflection curve equation; elastic unloading.

Для изготовления трубопроводов сложной формы применяют числовое программное управление оборудованием. Для подготовки управляющей программы необходим чертеж изогнутой трубы или трехмерный графический объект на электронном носителе. В обоих случаях изготовитель имеет дело с абстрактной геометрической моделью, упрощенной по сравнению с ее реальным воплощением.

В качестве примера на рис. 1 приведен чертеж трубы сравнительно простой формы, ее ось содержит две дуги окружности, сопрягающиеся с отрезками прямых; границы дуг обозначены точками.

Показанные на рис. 1 сопряжения тороидальных и цилиндрических участков трубы не вполне соответствуют действительности. Реальная форма изогнутой оси трубы отличается тем, что на стыке прямых и дуг окружностей всегда имеются кривые переменного радиуса R.

На рис. 2 приведены две такие кривые, сопрягающиеся в точках 1 и 2 с дугой радиуса R_0; к точкам сопряжения названных кривых с прямыми участками привязаны системы координат.



* Размер для справок

Рис. 1. Пример задания размеров трубопровода

Угловой размер трубы $\varphi_т = 45°$ (см. рис. 1) обеспечивается перемещением обкатывающего ролика на угол $\varphi_{гиб}$, который, как и радиус копира $R_к$, задают с учетом деформаций разгрузки (пружинения) заготовки. Длины цилиндрических участков трубопровода зависят от перемещений заготовки между переходами гибки.

Изменение радиуса оси трубы от значения R_0 в начале разгрузки до $R_{ост}$ – в конце разгрузки находят из

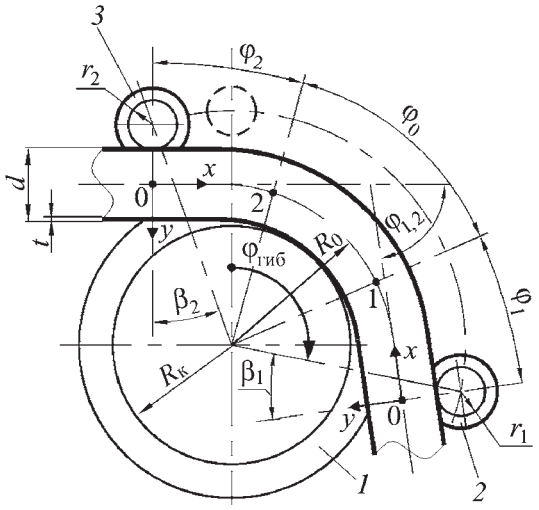


Рис. 2. Схема гибки трубы обкатыванием по копиру:
1 – копир; *2* – обкатывающий ролик; *3* – опорный ролик

условия самоуравновешенности эпюры остаточного напряжения

$$\sigma_{\text{ост}} = \sigma_{\text{гиб}} + E\rho\sin\alpha\left(\frac{1}{R_{\text{ост}}} - \frac{1}{R_0}\right),$$

где E – модуль упругости материала; ρ, α – полярные координаты с началом в центре сечения трубы.

Приближенная формула напряжения изгиба на радиус R_0:

$$\sigma_{\text{гиб}} = \pm A\left(\frac{\rho\sin|\alpha|}{R_0}\right)^n \qquad (1)$$

содержит константы формулы напряжения текучести в функции интенсивности деформации

$$\sigma_s = A\varepsilon^n$$

(значения A и n для основных конструкционных материалов приводятся в научно-технической литературе).

Учитывая симметрию эпюры $\sigma_{\text{ост}}$, приравниваем нулю удвоенный интеграл вида

$$2\int_F \sigma_{\text{ост}}\rho\sin\alpha dF = 0,$$

где F – площадь половины сечения трубы ($0 \le \alpha \le \pi$).

После подстановки выражений $\sigma_{\text{ост}}$ и $\sigma_{\text{гиб}}$ в данный интеграл получаем уравнение

$$\frac{1}{R_{\text{ост}}} = \frac{1}{R_0} - \frac{M_0}{EJ}, \qquad (2)$$

где M_0 – изгибающий момент при радиусе изогнутой оси R_0; J – момент инерции сечения трубы.

С учетом формулы (1) выражаем изгибающий момент

$$M_0 = \frac{2A}{R_0^n}\int_0^{\pi}\sin^{n+1}\alpha d\alpha \int_{0,5d-t}^{0,5d}\rho^{n+2}d\rho, \qquad (3)$$

находим его значение численным интегрированием и подставляем в (2). Приравниваем $R_{\text{ост}}$ радиусу оси трубы $R_{\text{т}}$ (на рис. 1 $R_{\text{т}}$ = 150 мм) и решаем уравнение (2) относительно неизвестного радиуса гибки R_0 средствами компьютерной математики (MathCAD).

Обозначим x_1 и x_2 (в общем виде – x_i) абсциссы точек сопряжений кривых 0–1 и 0–2, приведенных на рис. 2, с дугой радиуса R_0. В пределах указанных кривых переменного радиуса R изгибающий момент

$$M = M_0 x/x_i\,. \qquad (4)$$

Согласно формуле (1) величины M и $(1/R)^n$ пропорциональны, поэтому изгибающий момент можно выразить так же как $M = M_0(R_0/R)^n$. Из равенства приведенных выражений M следует уравнение изогнутой оси трубы

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_0}\left(\frac{x}{x_1}\right)^m, \qquad (5)$$

где $m = 1/n$.

Угол гибки $\varphi_{1,\,2}$ назначают с учетом соответствующего размера трубы $\varphi_{\text{т}}$, а также пружинения заготовки. На рис. 2 угол $\varphi_{1,\,2}$ составляют угловые размеры дуги радиуса R_0 и кривых 0–1 и 0–2 соответственно φ_0, φ_1, φ_2. Значения φ_1, φ_2 рассчитываются по отдельности.

Уравнения для кривой 0–1

$$\begin{aligned} &R_1\cos\beta_1 = R_0\cos\varphi_1 + y_1 + 0{,}5d + r_1;\\ &R_1\cos(\beta_1+\varphi_1) = (r_1 + 0{,}5d)\cos\varphi_1 - \omega_1 + R_0, \end{aligned} \qquad (6)$$

содержат неизвестные: ординату точки 1 y_1, углы β_1, φ_1 и прогиб данной кривой ω_1, отсчитываемый от касательной, проведенной из точки 1. Известными величинами являются: рассчитанная до этого величина R_0, а также радиусы обкатывающего ролика и его траектории – r_1 и R_1. Рекомендуемое значение $R_1 \approx R_0 + 0{,}6d$ [1].

Заменяя в уравнении (5) $1/R$ на d^2y/dx^2, после двукратного интегрирования получаем

$$\begin{aligned} &\text{tg}\varphi_1 = \frac{x_1}{(m+1)R_0};\ y_1 = \frac{x_1^2}{(m+1)(m+2)R_0};\\ &\omega_1 = \frac{x_1^2}{(m+2)R_0}. \end{aligned} \qquad (7)$$

В результате совместного решения уравнений (6) и (7) стандартными средствами компьютерной математики находят значения x_1, y_1, β_1, φ_1, ω_1. Аналогичные уравнения с заменой индексов 1 при x_1, y_1, β_1, φ_1, ω_1, r_1, R_1 на индекс 2 используются для расчета кривой 0–2. При этом R_2 – расстояние между центрами радиусов r_2 и R_0 (см. рис. 2).

Когда в процессе упругой разгрузки кривизна изогнутой оси трубы $1/R$ уменьшается, кривые 0–1 и 0–2 полностью выпрямляются на некоторых расстояниях от точек 1 и 2, где деформации гибки были упругими. Обозначим эти расстояния $x_{i,\,y}$. Согласно (5)

$$x_{i,\,y} = x_i\,(R_0/R_y)^n\,, \qquad (8)$$

где $R_y = Ed/(2\sigma_{0,2})$ – предельный радиус упругого изгиба трубы; $\sigma_{0,2}$ – начальное напряжение текучести.

В результате пружинения остаточные значения угловых размеров кривых 0–1 и 0–2 существенно уменьшаются по сравнению с φ_1 и φ_2 (какими они были на активной стадии деформирования) и определяются интегрированием:

$$\varphi_{i,\,\text{ост}} = \int_{x_{i,\,y}}^{x_i}\left(\frac{1}{R} - \frac{M}{EJ}\right)dx.$$

Переменный радиус кривых R и момент M заменяем согласно (5) и (4), после интегрирования получаем

$$\varphi_{i,\ \text{ост}} = \frac{x_i^{m+1} - x_{i,\ y}^{m+1}}{(m+1)R_0 x_i^m} - \frac{M_0(x_i^2 - x_{i,\ y}^2)}{2x_i EJ}. \qquad (9)$$

Угол изогнутой оси трубы $\varphi_{1,\ 2} = \varphi_1 + \varphi_0 + \varphi_2$ (см. рис. 2) уменьшается в результате пружинения, его остаточное значение должно соответствовать размеру чертежа $\varphi_т$, т.е.

$$\varphi_{1,\ \text{ост}} + \varphi_{0,\ \text{ост}} + \varphi_{2,\ \text{ост}} = \varphi_т,$$

где $\varphi_{0,\ \text{ост}} = \varphi_0 R_0/R_т$. Отсюда получаем формулу для угла φ_0, на котором изгибаемая труба прилегает к копиру:

$$\varphi_0 = (\varphi_т - \varphi_{1,\ \text{ост}} - \varphi_{2,\ \text{ост}})R_т / R_0.$$

Чтобы определить угол изогнутой оси трубы $\varphi_{1,\ 2}$ в конце активной стадии деформирования, необходимо прибавить к φ_0 значения φ_1, φ_2, найденные при расчете параметров кривых 0–1 и 0–2. Вычисленный при совместном решении уравнений (6) и (7) угол β_1 используем для определения углового перемещения обкатывающего ролика:

$$\varphi_{гиб} = \varphi_{1,\ 2} + \beta_1.$$

В качестве примера подготовки данных программы, управляющей операцией гибки, воспользуемся размерами трубы, приведенными на рис. 1. Размер 180 мм относится к центру радиуса и крайней точке прямолинейного участка оси трубы, однако из двух названных привязок этого размера можно обеспечить лишь одну. Ее выбирают в зависимости от функциональной значимости длин цилиндрических участков трубы и прочих размеров.

Отдавая приоритет привязке размера 180 мм к центру радиуса 150 мм, получаем уменьшение длины l цилиндрического участка трубы по сравнению с размером 180 мм на некоторую величину Δl. В пределах Δl цилиндрический участок плавно переходит в тороидальный согласно кривой 0–1 на рис. 2.

Для расчета величины Δl примем радиусы обкатывающего ролика r_1 и его орбиты R_1 равными 20 и 200 мм соответственно. Радиус R_0 вычисляем, решая уравнение (2), при этом остаточный радиус $R_{\text{ост}} = 150$ мм. Для материала трубы (сталь 12Х18Н9Т) с параметрами функции упрочнения (2) $A = 1150$ МПа, $n = 0{,}239$ получаем $R_0 = 145{,}5$ мм; радиус копира $R_к = R_0 - 0{,}5d = 120{,}5$ мм.

Решая систему уравнений (6) и (7), находим координаты точки 1 (см. рис. 2) $x_1 = 73{,}7$ мм, $y_1 = 1{,}16$ мм; углы $\beta_1 = 0{,}3$ рад, $\varphi_1 = 0{,}1$ рад; прогиб $\omega_1 = 6$ мм.

При модуле упругости $E = 188000$ МПа и начальном напряжении текучести $\sigma_{0,2} = 300$ МПа предельный радиус упругого изгиба данной трубы $R_y = 15667$ мм. Подставляя это значение в формулу (8),

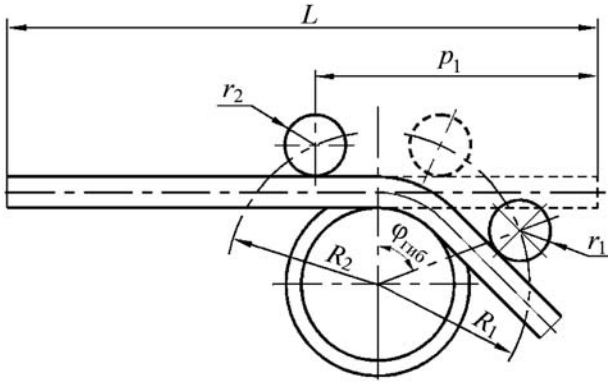


Рис. 3. Схема первого перехода гибки

определяем координату $x_{1,\ y} = 24$ мм границы участка, на котором напряжения гибки являются упругими по всему сечению трубы.

Согласно формуле (9) имеем $\varphi_{1,\ \text{ост}} = 0{,}052$ рад. Кривая переменной кривизны 0–1 после разгрузки имеет длину, приблизительно равную $(x_1 - x_{1,\ y})$, т.е. около 50 мм. Если вместо указанной кривой начертить продолжение дуги радиуса $R_т = 150$ мм, то длина указанного продолжения при значении угла 0,052 рад составит 7,8 мм. Разность (50 – 7,8) мм является той величиной Δl, на которую уменьшается длина l цилиндрического участка трубы, номинально равная 180 мм (см. рис. 1). В общем случае $\Delta l = x_i - x_{i,\ y} - R_т\varphi_{i,\ \text{ост}}$.

Заметим, что расчетные значения x_1 и $x_{1,\ y}$ зависят от радиуса орбиты обкатывающего ролика R_1. Чем он меньше, тем меньше и разность $(x_1 - x_{1,\ y})$, однако уменьшение R_1 по сравнению с имеющимися рекомендациями может привести к вмятинам на стенке трубы из-за увеличения силы обкатки.

Аналогично рассчитываются параметры кривой 0–2 на рис. 2. Значения x_2 и $\varphi_{2,\ \text{ост}}$ учитываются при назначении приведенного на рис. 3 параметра позиционирования заготовки: $p_1 = R_т(\varphi_т - \varphi_{2,\ \text{ост}}) + l_1 + x_2$.

В рассчитываемом примере $l_1 = 180$, в общем случае, для j-го перехода имеем формулу

$$p_j = R_т(\Sigma\varphi_т - \varphi_{2,\ \text{ост}}) + \Sigma l + x_2,$$

где $\Sigma\varphi_т$, Σl – сумма размеров тороидальных и цилиндрических участков, образованных на трубе после j-го перехода соответственно (см. рис. 1).

Значения длины изогнутой оси трубы, рассчитанные по номинальным и реальным размерам, практически одинаковы. Поэтому длину заготовки L задают согласно данным чертежа или компьютерной модели трубопровода.

Возвращаясь к рассматриваемому примеру, заметим, что кривые переменной кривизны с двух сторон сопрягают дугу радиуса $R_т = 150$ мм с соседними прямолинейными участками оси трубы. Следовательно, справочный размер 158,6 мм на рис. 1 также фактически уменьшится, причем с двух сторон.

Если рассчитанное уменьшение протяженности какого-либо из цилиндрических участков трубы окажется неприемлемым, рассматривают альтернативные варианты реальной формы изогнутой оси – с уменьшенным радиусом и с увеличенным углом по сравнению с заданными в чертеже размерами $R_т$ и $\varphi_т$.

Выводы

Подготовка программ, управляющих многопереходной обкаткой трубы по копиру, включает в себя расчет позиционирования заготовки и перемещения гибочного инструмента при выполнении каждого перехода.

Рассчитываемые данные программы, а также реальная форма изогнутой трубы существенным образом зависят от пружинения заготовки и радиуса траектории обкатывающего ролика.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Гальперин А.И.** Машины и оборудование для изготовления криволинейных участков трубопроводов. М.: НЕДРА, 1983. 203 с.

Сергей Иванович Вдовин, д-р техн. наук;
Валерий Николаевич Михайлов, доцент;
Николай Владимирович Татарченков, зав. лабораторией

УДК 621.643/.644-987.001.24(035)

Я.М. Виторский, С.Г. Комаишко, Г.Н. Кулик, М.В. Моисей *(ОАО "Дефорт", Санкт-Петербург)*

Гибка рубашки, охватывающей трубу высокого давления

Рассмотрен процесс изготовления продуктового холодильника для установок производства полиэтилена высокого давления. Описаны операции заготовительного производства, использующие методы обработки металлов давлением для удовлетворения нужд мелкосерийного производства. Представлены различные вспомогательные устройства, дающие возможность проведения волочения труб, одевания "рубашки" на колено высокого давления, а также шлифование внутренних поверхностей труб $D_у$ 19 мм.*

The process of manufacture of a grocery refrigerator for installations of manufacture of high pressure polyethylene is discussed. Operations of procuring manufacture using processing methods of metals by pressure for the needs of small-lot production are described.Various auxiliaries, allowing drawing of pipes, "jacket" clothing on a high pressure knee, and also grinding of an internal surface of pipes $D_у$ 19 mm are presented.

Ключевые слова: полиэтилен высокого давления; холодильник продуктовый; контрольные образцы; труба; волочение; гибка; шлифование.

Key words: high pressure polyethylene; refrigerator grocery; control samples; pipe; drawing; folding; grinding.

Процесс производства полиэтилена высокого давления состоит из нескольких стадий, одна из которых – это постепенное охлаждение и снижение давления полиэтилен-этиленовой смеси на выходе из автоклавного реактора полимеризации. В этих целях используется соответствующее оборудование – холодильник продуктовый. Подавляющее большинство установок получения полиэтилена высокого давления в Российской Федерации и странах СНГ импортные, с большим стажем работы. Для замены выходящих из строя холодильников ОАО "Дефорт" освоил изготовление такого оборудования, взяв за аналог зарубежные образцы, конструкция которых представляет собой плоский змеевик, состоящий из соединенных между собой секций, одна из которых показана на рис. 1, *а*.

При работе холодильник имеет два основных режима:

– подготовка к пуску или разогрев. В межтрубное пространство подается перегретый пар, и так как стенки рубашки и трубы высокого давления разогреваются не одинаково, то из-за разницы в их тепловом расширении возникают дополнительные напряжения к напряжениям, связанным с разницей температуры по толщине стенок;

– запуск холодильника. В межтрубное пространство подается охлажденный конденсат пара, а в трубу высокого давления собственно продукт (смесь этилена с полиэтиленом). При этом стенки рубашки и трубы высокого давления, имея обратную разницу температуры (по сравнению с разогревом), испытывают до-

* Согласно ГОСТ 28338–89 величина $D_у$ обозначается *DN*.

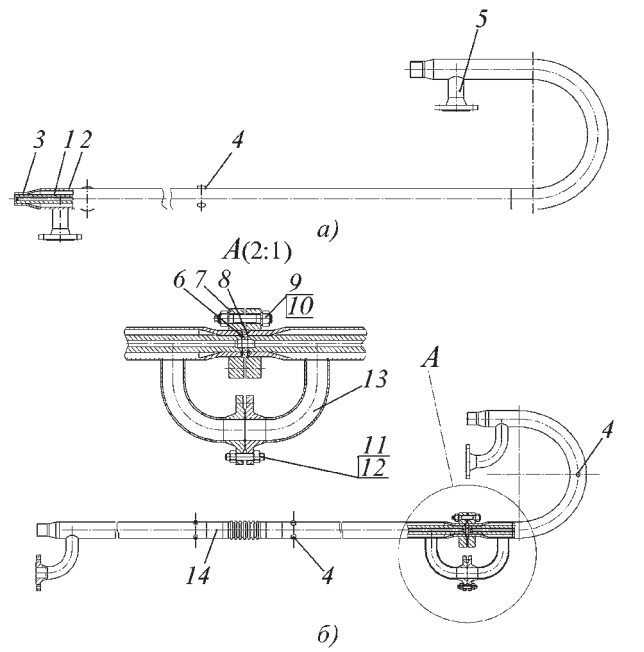


Рис. 1. Секция холодильника для установки производства полиэтилена высокого давления:
а – секция с неуравновешенным плечом; *б* – секция и колено с уравновешенными плечами; *1* – корпус (труба высокого давления); *2* – рубашка; *3* – втулка резьбовая; *4* – бобышка (упор); *5* – патрубок; *6* – линза; *7* – фланец резьбовой (сталь 25Х2М1Ф); *8* – кольцо центрирующее; *9* – гайка (сталь 25Х1МФ); *10* – шпилька (сталь 25Х1МФ); *11*, *12* – гайка и шпилька (сталь 20); *13* – отвод гнутый; *14* – компенсатор сильфонный

полнительные напряжения. Кроме того, имея разную длину прямых участков, а следовательно, и разное удлинение при изменениях температуры, в элементах секций возникают напряжения и деформации.

В течение 2 лет эксплуатации холодильника № 1 производилась отработка рабочих режимов производства полиэтилена и по ее окончании было принято решение провести ревизию основных частей этого оборудования, которая выявила трещину на трубе высокого давления одной из секций в районе колена. Срочно были изготовлены несколько секций и установлены в действующий холодильник, а изъятые подвергли всесторонним исследованиям, ничего не выявившим.

Однако в процессе изучения причин произошедшего с помощью методов математического моделирования (метода конечных элементов, программы ANSYS) была предложена более совершенная схема конструкции холодильника. Идея состояла в том, что секции следует изготовлять из двух частей: собственно секции, снабженной компенсатором, и колена с уравновешенными плечами (рис. 1, *б*). Конструкция была согласована с потребителем и головной организацией, отвечающей за безопасность эксплуатации оборудования для производства полиэтилена высокого давления, – ОАО "ИркутскНИИхиммаш".

Операции контроля

Прежде чем приступить к изготовлению секций холодильника, были разработаны карты контроля для всех операций их производства, поскольку контрольные операции сопровождают производство от начала и до завершения.

Укрупненный перечень работ по контролю можно представить следующим блоком.

1. При разработке конструкторской документации определяется:

– в соответствии с какой нормативной документацией требуется проводить контроль;

– наличие средств контроля и пригодность их для его проведения (поверка и калибровка);

– необходимость приобретения, изготовления, поверки, калибровки, паспортизации недостающих средств контроля.

2. При подготовке производства:

– разрабатываются необходимые пооперационные и технологические карты контроля;

– устанавливаются объемы входного контроля материалов и комплектующих в части испытания их механических свойств, исследования микроструктуры металла и неразрушающего контроля;

– разрабатываются формы записи контроля в журнале и актов их сдачи-приемки;

– определяется, в соответствии с какой нормативной документацией требуется проводить контроль;

– устанавливается наличие средств контроля и пригодность их для его проведения (поверка и калибровка);

– рассматривается необходимость приобретения, изготовления, поверки, калибровки, паспортизации недостающих средств контроля.

3. При производстве изделия осуществляется пооперационный контроль в соответствии с разработанными картами с записью в журнале и оформляются акты сдачи-приемки изготовляемого изделия.

Более подробно рассмотрим контроль при операциях сварки и пайки как наиболее ответственных в цикле производства секций продуктового холодильника.

При сварочных работах проводили визуальный и измерительный контроль на всех стадиях, начиная с подготовки кромок, монтажной сборки, проплавки корневого шва и заканчивая собственно сваркой. Перед началом работ сварщик сваривал контрольные образцы (рис. 2, *а–в*). Кроме визуального и измерительного контроля каждый шов, в зависимости от его типа, контролировали либо ультразвуком, либо рентгеноскопией, либо капиллярной дефектоскопией.

Одной из подготовительных операций является изготовление контрольного образца паяного соединения (рис. 2, *г*). Перед пайкой производится зачистка

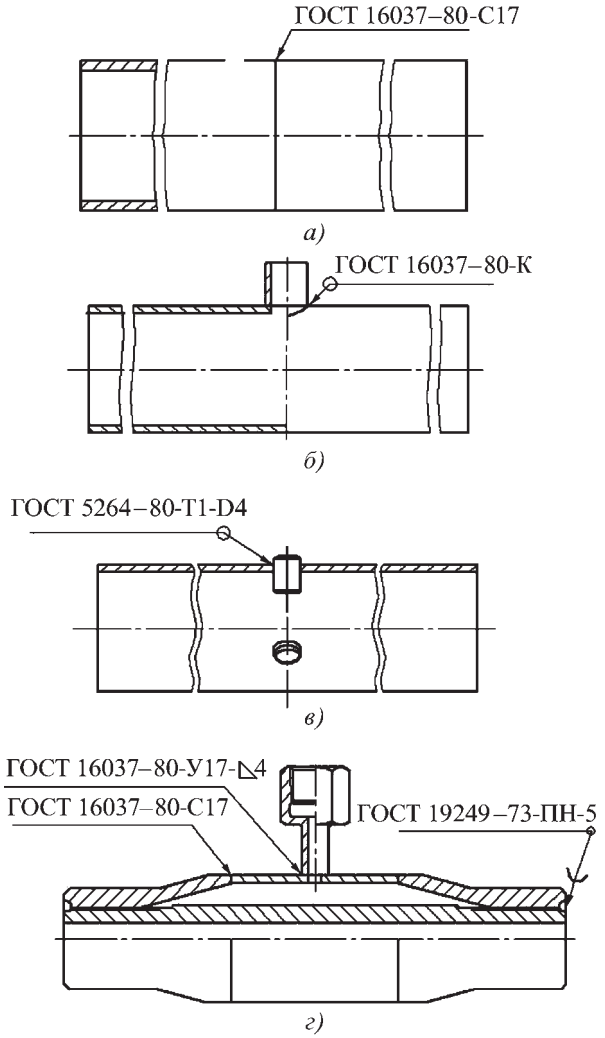


Рис. 2. Контрольные образцы:
а–в – для проверки сварных соединений; *г* – для проверки паяного соединения

сопрягаемых поверхностей до металлического блеска для удаления следов оксидов, ржавчины, окалины и других загрязнений. Затем производят обезжиривание поверхностей под пайку органическими растворителями безворсовыми салфетками. После обезжиривания поверхности сушат чистым сжатым воздухом или инертным газом (аргоном, азотом), предварительно проверив чистоту газа.

Навинчивание втулок (рис. 2, *г*) на концевые части корпуса (трубы высокого давления) должно производится в перчатках из бязи, чтобы не оставлять жировых пятен от рук на паяемых поверхностях. При сборке деталей под пайку необходимо обеспечивать зазор в резьбовом соединении 0,02...0,15 мм, который является оптимальным для пайки высокотемпературными припоями углеродистых и низколегированных сталей. Непосредственно перед пайкой место соединения подвергают равномерному нагреву до температуры, не превышающей температуру отпуска материала трубы. Флюс и припой вводят со стороны выточки на торце соединяемых деталей.

При визуальном контроле в паяном соединении не должно быть трещин, отдельных пор и включений паяльного флюса более 0,5 мм, шов должен быть непрерывным и равномерным.

Паяное контрольное соединение подвергают гидравлическому испытанию при пробном давлении 3,45 МПа при температуре воды 5...40 °С. После этого производят металлографическое исследование на двух шлифах, вырезанных из диаметрально противоположных участков контрольного соединения. Оно включает:

– исследование зон термического влияния со стороны стали 20 и 30Х2Н2МФА-Ш на наличие диффузионных зон и структурных изменений в них, и химической эрозии (зональной или общей);

– исследование паяного шва на наличие в нем дефектов (неспаев, пор и включений паяльного флюса);

– измерение глубины проникновения припоя в зазор резьбового соединения (паяльный зазор);

– контроль твердости сталей 20 и 30Х2Н2МФА-Ш после термического воздействия процесса пайки.

При положительных результатах данных исследований можно приступать к выполнению паяных соединений на производимом изделии.

К операциям контроля относится проверка механических свойств материала всех комплектующих, входящих в это изделие на всех стадиях производства, а также проведение гидравлических испытаний после окончательной сборки.

Подготовительные операции

Для изготовления продуктового холодильника № 1 трубы высокого давления размером 40×12 мм из стали 30Х2Н2МФА-Ш были сделаны на Первоуральском новотрубном заводе волочением из трубной заготовки 48×12 мм. В дальнейшем было принято решение изготовить требуемые трубы своими силами с помощью волочения. Данный процесс был смоделирован [1] и на основании полученных результатов был спроектирован и изготовлен волочильный стан. Его схема показана на рис. 3. Как видно из рисунка, максимально возможная длина труб, получаемая на нем, около 5 м. Заготовкой служили горячекатаные трубы размером 48×12 мм. Волочение происходило в два перехода 48→45→41.

Полученные трубы термообрабатывали (закалка + отпуск) в вертикальной печи с получением требуемых механических свойств [2]. Далее выполняли такие операции, как правка, внешнее шлифование, расточка и внутреннее шлифование, а также визуальный, измерительный и ультразвуковой контроль. Внутреннее шлифование производили с помощью устройства для финишной обработки внутренних цилиндрических поверхностей, изображенного на рис. 4 [3]. После дос-

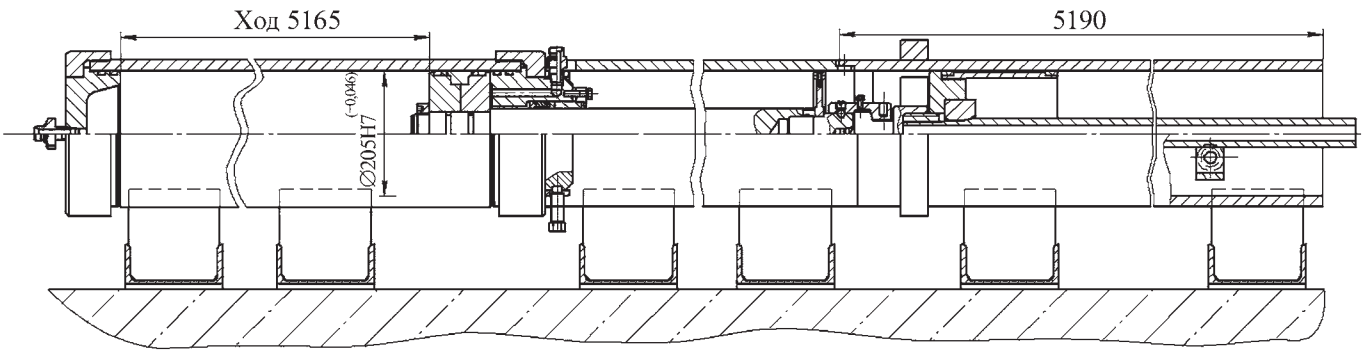


Рис. 3. Волочильный стан

тижения требуемой шероховатости (*Ra* 0,2...0,4 на внутренней поверхности и *Ra* 3,2 на внешней) и удовлетворительных результатов по всем видам контроля на концах патрубков нарезали резьбу.

Патрубки, предназначенные для изготовления колен, подвергали изгибу на трубогибе, используя метод последовательного нажатия пуансоном на участок трубы, находящийся между двух опор. По достижении требуемых размеров производили отпуск при температуре 600 °С. Для исключения окисления внутренней поверхности труб, торцы их герметизировали, а внутреннюю полость наполняли аргоном.

При изготовлении колена необходимо произвести операцию одевания рубашки (трубы 76×4,5 мм из стали 20) на колено высокого давления. Сделать их раздельно для дальнейшего совместного монтажа невозможно, поскольку колено на концах имеет прямолинейные участки. Существующая технология, состоящая из гибки колена, разрезания его на отдельные сегменты, одевания их на колено высокого давления, и дальнейшая сварка хотя и разрешены Правилами Ростехнадзора (для данного типоразмера труб), но подразумевают очень большой объем неразрушающего контроля различными методами.

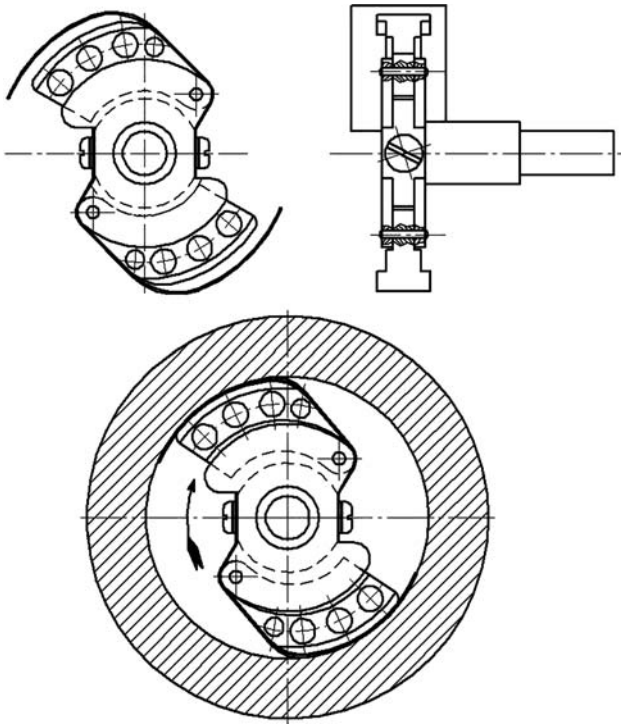


Рис. 4. Устройство для финишной обработки внутренних цилиндрических поверхностей

Для выполнения операции сборки гибкой было создано устройство, изображенное на рис. 5 [4]. Оно состоит из шаблона *1* со средством зажима *2*, наружной трубы *3*, также имеется состоящий из подвижного в осевом направлении прижима *4* с приводом *6* и неподвижного, относительно шаблона, прижима *5*. Шаблон выполняется с возможностью вращения, а профиль его рабочего ручья в поперечном сечении соответствует профилю наружной трубы. В наружную трубу вставлена оправка *7* с утолщением *8* (дорном), задающим межтрубный зазор.

Наружная труба взаимодействует с лотком *9*. Его профиль также соответствует профилю наружной трубы. Лоток перемещается вместе с наружной трубой,

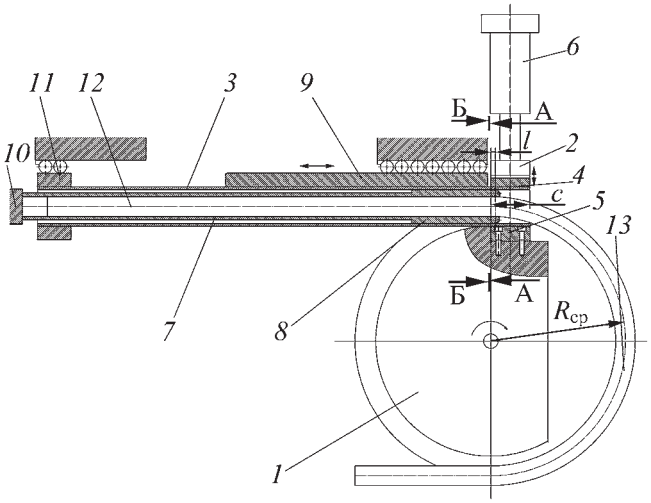


Рис. 5. Устройство для одевания рубашки на криволинейное колено

обеспечивает ее упор в месте гиба и исключает растягивающие силы от действия сил трения. Оправка *7* закреплена неподвижно зажимом *10*. Свободный конец наружной трубы закреплен на подвижной опоре *11*. Прямолинейный участок внутренней трубы *12* свободно размещен внутри оправки *7*, а ее изогнутая часть *13* – в плоскости гиба.

Изогнутая часть внутренней трубы располагается в зоне описываемой внутренним диаметром наружной трубы при гибке и имеет возможность смещаться вдоль продольной оси в пределах этой зоны, в зависимости от стадии процесса гибки. При этом продольной осью, характеризующей величину и направление смещения, является ось, лежащая в плоскости гиба, параллельная оси оправки и проходящая через центр вращения шаблона. Средство зажима *2* выполнено с возможностью вращения относительно оси шаблона.

Процесс изготовления элемента криволинейной формы, содержащего установленные коаксиально друг относительно друга трубы, начинают с установки наружной трубы *3* требуемой длины на полой цилиндрической оправке *7*. Подвижный лоток *9* взаимодействует с наружной трубой *3* и обеспечивает упор, перемещающийся вместе с наружной трубой *3* относительно оправки *7* синхронно с шаблоном *1* и средством зажима *2*. Прямолинейную часть *12* внутренней трубы заводят в полую оправку *7* и устанавливают неподвижно относительно шаблона *1*, а изогнутую часть *13* внутренней трубы располагают в плоскости гиба, ориентировочно в зоне описываемой внутренним диаметром наружной трубы *3* при гибке.

Оправку *7* закрепляют неподвижно в зажиме *10*. Части оправки *8* и наружной трубы *3* размещают в полости средства зажима *2* между подвижным *4* и неподвижным *5* зажимами и зажимают, перемещая зажим *4*. Давление зажимов *4* и *5* на наружную трубу *3* должно обеспечивать ее удержание и синхронное перемещение с шаблоном *1* и средством зажима *2* при их совместном вращении.

Оправка *7* с утолщением *8* обеспечивает как сохранение постоянства зазора между внутренней поверхностью трубы *3* и наружной поверхностью изогнутой части *13* внутренней трубы, так и препятствует овализации поперечного сечения наружной трубы. После прохождения всего криволинейного участка *13* оправку *7* удаляют, и готовый элемент трубопровода снимают с шаблона *1*.

Описанный процесс гибки наружной трубы *3* одновременно с размещением ее коаксиально внутренней трубе позволяет предварительно проводить все технологические операции с внутренней трубой заданной формы (не изменяющейся при последующей гибке наружной трубы), в том числе и дефектоскопию, что значительно повышает надежность эксплуатации трубопровода, собранного из элементов, изготовленных таким способом.

Кроме вышеперечисленных к подготовительным операциям относятся изготовление фланцев высокого давления по ОСТ 26-2030–76 из стали 25Х2М1Ф по ТУ 108.131–86, шпилек по ОСТ 26-2031–76 из стали 25Х1МФ, гаек по ОСТ 26-2032–76 из стали 25Х1МФ и линз конических по ОСТ 26-2021–76 из стали 38ХН3МФА. Материал для заготовок проходит тщательный входной контроль и термообрабатывается. Заготовки для гаек могут быть изготовлены либо волочением, либо фрезерованием.

Бобышки делают из калиброванного проката ∅16 (сталь 20) порезкой пилой на мерные длины, а втулки резьбовые – механической обработкой из проката обычной точности (сталь 20).

Для данного типа холодильника требуется изготовление измерительных линз из стали 38ХН3МФА, поскольку управление холодильником производится на основании измерения термодинамических параметров продукта.

Для комплектации необходим трубный металлопрокат из стали 20 по ГОСТ 8732 размером 76×4,5, 45×3, порезанный на мерные длины и сильфонные компенсаторы, фланцы, шпильки, гайки, паронитовые прокладки.

К подготовительным операциям относится также изготовление отводов из трубы и приварка их к фланцу.

Операции сборки

Одной из первых операций сборки является сборка секций. Для этого сваривается рубашка, состоящая из двух патрубков и сильфонного компенсатора. При сборке под сварку требуется соблюдение соосности всех компонентов, поэтому она производится в специальном приспособлении. Детали сваривают с выполнением требований, предъявляемых к проведению сварочных работ. После этого, во избежание перегиба сильфонного компенсатора при транспортировке, собранную рубашку закрепляют в струбцине. Затем внутрь ее вставляется корпус в виде трубы высокого давления, технология изготовления которой описана ранее, на его концы накручиваются резьбовые втулки, затем они привариваются к рубашке, а внутреннее соединение с корпусом, пропаивается высокотемпературным припоем. Корпус центрируется в рубашке при помощи бобышек.

Таким же образом собираются колена.

Далее секции крепятся хомутами на раме и соединяются друг с другом коленами. Для этого на резьбовые втулки накручиваются фланцы и монтируется линзовое соединение, после чего фланцы между собой стягиваются шпильками и гайками из стали 25Х1МФ.

Внутренние полости рубашек соединяются перетоками, состоящими из двух фланцев состыкованных с помощью шпилек и гаек из стали 20, паронитовой прокладки, двух гнутых отводов (приваренных к фланцам). Перетоки монтируются по месту. Каждая секция проходит гидроиспытания.

Заключение

Разработана усовершенствованная конструкция и освоено производство холодильников продуктовых для установок производства полиэтилена высокого давления с автоклавными реакторами, которые в Российской Федерации ранее не изготовлялись. Созданная конструкция устраняет проблему образования трещин при различных режимах работы холодильника продуктового.

Во время отработки технологии производства холодильников продуктовых созданы оригинальные технологии – сборки рубашек с коленом трубы высокого давления методом гибки, – волочения труб из высокопрочной стали 30Х2Н2МФА-Ш. Это важно с точки зрения удовлетворения потребностей мелкосерийности данного вида производства.

Как неотъемлемая часть решения основной задачи решалась проблема обеспечения безопасности эксплуатации данного оборудования за счет многоступенчатого контроля производства методами неразрушающего контроля, а также контроля уровня механических свойств материалов, входящих в данное изделие.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Опыт** развития технологии и оборудования для нужд мелкосерийного производства с использованием обработки металлов давлением / С.Г. Комаишко, А.Г. Комаишко, Г.Н. Кулик и др. // Состояние, проблемы и перспективы развития кузнечно-прессового машиностроения, кузнечно-штамповочного производства и обработки металлов давлением – основы машиностроительного комплекса и национальной безопасности России: сб. докл. и матер. VIII Конгресса "Кузнец-2008". Рязань: ООО "Политех", 2008. С. 349–354.

2. **Освоение** производства колен реактора установок для изготовления полиэтилена высокого давления / Я.М. Виторский, В.Я. Дмитриев, С.Г. Комаишко и др. // Заготовительные производства в машиностроении. 2008. № 4. С. 20–27.

3. **Устройство** для финишной обработки внутренних цилиндрических поверхностей: пат. 68948 Рос. Федерация (заявка № 2007132297/22 от 15.08.2007 г.).

4. **Способ** изготовления элемента криволинейной формы, содержащего внутреннюю и наружную трубы, установленные коаксиально относительно друг друга, и устройство для его осуществления: пат. 2262405 Рос. Федерация (заявка № 2004105781/02 от 27.02.2004 г.).

Ярослав Михайлович Виторский, д-р техн. наук;
Сергей Георгиевич Комаишко, генеральный директор;
Георгий Николаевич Кулик, главный металлург;
Михаил Вильгельмович Моисей, главный конструктор

УДК 621.735.32

А.А. Сидоров *(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)*

Определение волокнистого строения в поковках типа стержня с полусферическим фланцем

Проведено исследование волокнистого строения поковок типа стержня с полусферическим фланцем, штампуемых на горизонтально-ковочных машинах. Дан анализ двух различных схем получения таких поковок и влияние каждой из этих схем на волокнистое строение. Получены картины волокнистого строения поковок при компьютерном моделировании в программном комплексе DEFORM-3D при различных соотношениях размеров полусферы и относительной высаживаемой длины.

The research of flow lines arrangement in forgings like bars with hemispherical flange, which forged with the help of horizontal forging machines, has been made. The analysis of two different methods of forming such kind of forgings and the influence of each method on the flow lines arrangement is submitted. The patterns of flow lines arrangement in forgings with the different ratios of hemispherical flange dimensions and relative length of upset, which was obtained with the help of the software DEFORM-3D, is submitted.

Ключевые слова: волокнистое строение; макроструктура; горизонтально-ковочные машины.

Key words: flow lines arrangement; macrostructure; horizontal forging machines.

Осесимметричные поковки для деталей типа стержня с утолщением представляют собой распространенный вид поковок, используемых в машиностроении.

К ним относятся поковки полуосей автомобилей, валиков коробок передач, валов и коленчатых валов с фланцем. Классификация осесимметричных поковок типа стержня с утолщением рассмотрена в [1].

Одним из видов таких поковок являются поковки типа стержня с полусферическим фланцем (рис. 1).

Детали, изготовляемые из этих поковок, применяют в автомобильной, приборостроительной и авиаци-

онной отраслях промышленности в конструкциях различного рода шарниров (в частности как основу шаровой опоры). Эти детали являются ответственными деталями машин, при выходе из строя которых может произойти авария.

При эксплуатации эти детали подвергаются действию сил трения скольжения, приводящих к изнашиванию рабочей контактной поверхности шаровой опоры. При этом возникают высокие динамические и повторно-переменные нагрузки в месте перехода от стержня детали к фланцу. Поэтому необходимо получить детали с наиболее высокими показателями предела выносливости в нагруженных зонах.

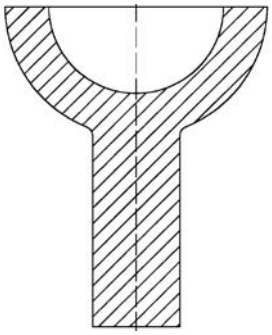


Рис. 1. Поковка типа стержня с полусферическим фланцем

Ранее было установлено, что значительное влияние на показатели выносливости материала оказывает его макроструктура, в частности, направление волокон. В работе И.С. Зиновьева (Исследование формоизменения и волокнистого строения при наборной высадке: дис. ... канд. техн. наук, М., 1973) были сформулированы основные требования к макроструктуре осесимметричных поковок с утолщением:

- симметричность расположения волокон макроструктуры;
- плавность волокон макроструктуры;
- повторение волокнами макроструктуры рабочего контура детали.

В данной статье рассмотрен вопрос о влиянии различных схем получения поковки типа стержня с полусферическим фланцем на картину ее волокнистого строения.

Формирование полусферы осуществляют двумя способами: вытяжкой из плоского фланца с большим отношением диаметра D к высоте H и обратным выдавливанием из плоского фланца с малым отношением D/H. Схемы процессов показаны на рис. 2 и 3.

Соотношения размеров полусферы (радиусов внешнего R и внутреннего r), объема V и диаметра стержня d разнообразны.

Объем полусферы $V = \frac{2}{3}\pi(R^3 - r^3)$. Вместе с тем этот объем равен объему высаживаемой части стержня с диаметром d и длиной высадки $l_в$ (объем высадки $V_в = \frac{\pi d^2}{4} l_в$). Задача сводится к тому, чтобы найти расположение волокон при большинстве соотношений R/r и $l_в/d$. Величина R при заданном значении r определяется объемом высадки, который определяется относительной высаживаемой длиной ψ. Удобнее от отношения R/r перейти к отношению $2r/d$, так как диапазон разброса этого отношения больше.

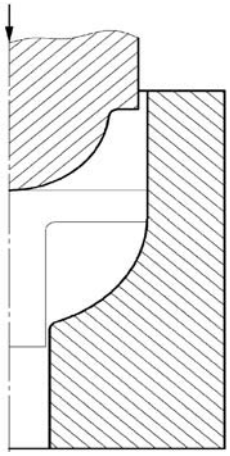


Рис. 2. Схема вытяжки полусферы из плоского фланца с большим отношением D/H

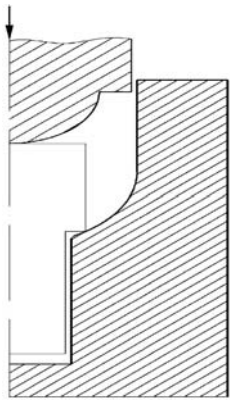


Рис. 3. Схема обратного выдавливания полусферы из плоского фланца с малым отношением D/H

Для установления предпочтительной схемы формирования полусферы с точки зрения волокнистого строения поковки было проведено компьютерное моделирование в программном комплексе для моделирования процессов обработки металлов давлением, термической обработки и обработки резанием DEFORM-3D.

Для анализа распределения волокон по конфигурации поковки использовали вертикальные Лагранжевые линии (функция flow net), которые отражают волокнистое строение поковки и "деформируются" одновременно с поковкой.

Исходные данные для моделирования:

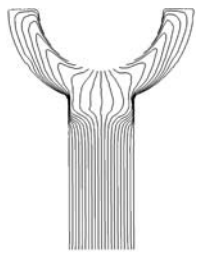
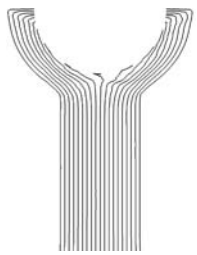
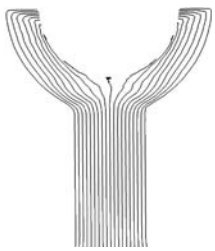
- конструкция штампа;
- кривые упрочнения стали 20;
- условия трения (закон трения Зибеля);
- скорость деформирования;
- температура.

В результате получены картины волокнистого строения поковок при различных соотношениях размеров полусферы ($2r/d = 1{,}6$; $1{,}9$) и относительной высаживаемой длины ($\psi = 1{,}5$; $5{,}4$).

Величина ψ определяет число предварительных переходов, предшествующих окончательному формированию полусферического фланца. Например, для осуществления формирования полусферического фланца при $\psi = 5{,}4$ необходимо осуществить два предварительных наборных перехода (формирование конуса), затем для схемы на рис. 2 – формирование фланца с последующей вытяжкой и для схемы на рис. 3 – окончательное формирование полусферического фланца.

В табл. 1 приведены картины волокнистого строения для обеих схем получения полусферы.

1. Картины волокнистого строения для различных схем получения полусферы

Вытяжка полусферы из плоского фланца с большим отношением D/H	
$2r/d = 1{,}6$; $\psi = 2{,}5$; $D/H = 4{,}7$	$2r/d = 1{,}9$; $\psi = 5{,}4$; $D/H = 4{,}3$
	
Обратное выдавливание полусферы из плоского фланца с $D/H = 1$	
$2r/d = 1{,}6$; $\psi = 2{,}5$	$2r/d = 1{,}9$; $\psi = 5{,}4$
	

Из табл. 1 видно, что определить, какая из двух схем является предпочтительной с точки зрения картины волокнистого строения, затруднительно.

С одной стороны, вытяжка полусферы из плоского фланца дает плавное распределение волокон во фланце и равномерный выход волокон на рабочую поверхность фланца, но при этом спутанность волокон в месте перехода от стержня к фланцу.

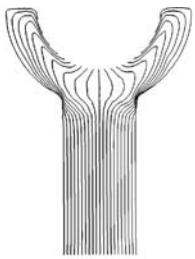
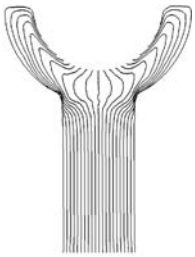
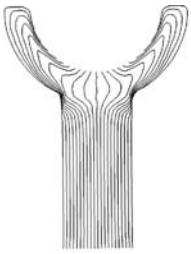
С другой стороны, обратное выдавливание полусферы из плоского фланца, наоборот, дает плавное распределение волокон в месте перехода от стержня к фланцу, но неравномерный выход волокон на рабочую поверхность фланца.

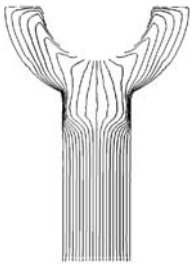
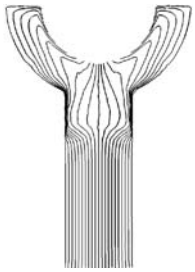
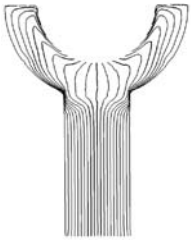
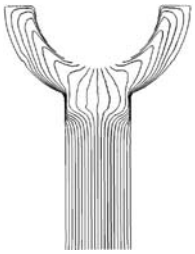
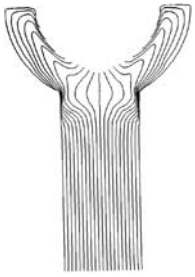
Таким образом, окончательный выбор картины волокнистого строения в поковках типа стержня с полусферическим фланцем, а соответственно и способ формирования фланца, зависят от конкретного назначения конечной детали и условий ее эксплуатации.

В табл. 2 и 3 приведены картины волокнистого строения поковки, полученной на горизонтальной ковочной машине (ГКМ) вытяжкой из фланца и обратным выдавливанием соответственно для различных значений отношений внутреннего диаметра полусферы и диаметра исходной заготовки $2r/d$ и относительной высаживаемой длины ψ.

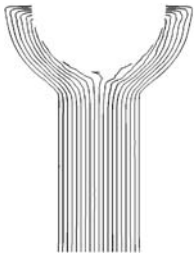
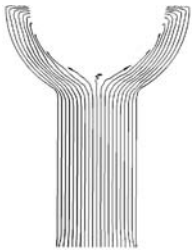
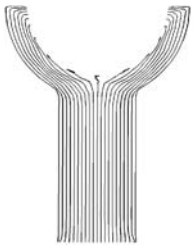
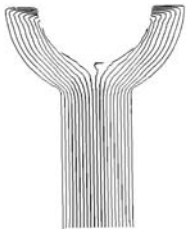
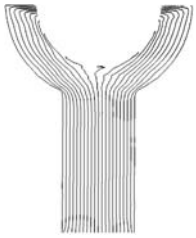
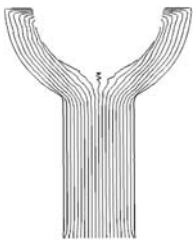
Пример. Возьмем деталь с внутренним диаметром сферы $2r = 70$ мм, диаметром стержня $d = 40$ мм. Найдем отношение диаметра фланца к высоте: $2r/d = 70/40 = 1{,}75$.

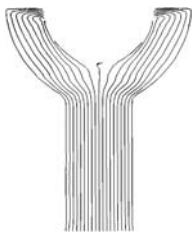
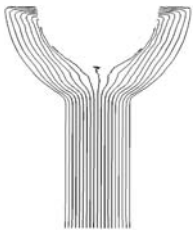
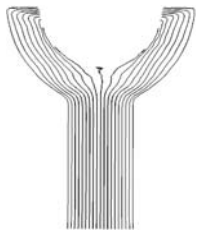
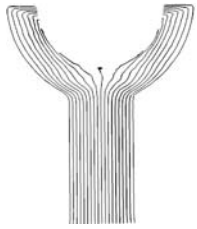
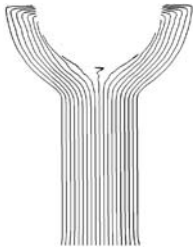
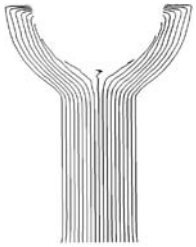
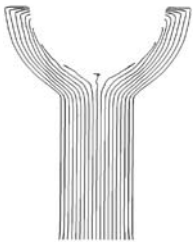
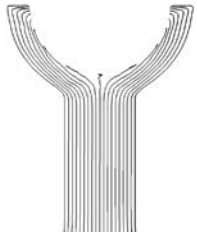
2. Картины волокнистого строения поковки, полученной вытяжкой из фланца

Вытяжка полусферы из плоского фланца с большим отношением D/H			
$\psi = 2{,}5$			
$2r/d = 1{,}6$	$2r/d = 1{,}7$	$2r/d = 1{,}8$	$2r/d = 1{,}9$
$\psi = 4$			
$2r/d = 1{,}6$	$2r/d = 1{,}7$	$2r/d = 1{,}8$	$2r/d = 1{,}9$
			

Вытяжка полусферы из плоского фланца с большим отношением D/H			
ψ = 5,4			
$2r/d = 1,6$	$2r/d = 1,7$	$2r/d = 1,8$	$2r/d = 1,9$
			
ψ =3,5			
$2r/d = 1,6$	$2r/d = 1,7$	$2r/d = 1,8$	$2r/d = 1,9$
			

3. Картины волокнистого строения поковки, полученной обратным выдавливанием

Обратное выдавливание полусферы из плоского фланца с $D/H = 1$			
ψ=2,5			
$2r/d = 1,6$	$2r/d = 1,7$	$2r/d = 1,8$	$2r/d = 1,9$
			
ψ=4			
$2r/d = 1,6$	$2r/d = 1,7$	$2r/d = 1,8$	$2r/d = 1,9$
			

Обратное выдавливание полусферы из плоского фланца с $D/H = 1$			
ψ=5,4			
$2r/d = 1{,}6$	$2r/d = 1{,}7$	$2r/d = 1{,}8$	$2r/d = 1{,}9$
			
ψ=3,5			
$2r/d = 1{,}6$	$2r/d = 1{,}7$	$2r/d = 1{,}8$	$2r/d = 1{,}9$
			

Затем вычислим относительную высаживаемую длину $\psi = l_в/d$. Примем, что $l_в = 158$, тогда $\psi = l_в/d = 3{,}95$. По этим параметрам из формулы для объема полусферы можно получить значения внешнего радиуса этой полусферы.

По таблицам, используя отношение размеров фланца $2r/d$ и относительную высаживаемую длину ψ, выбираем картину с волокнистым строением, которое является более подходящим для режима работы конечной детали.

Выводы

1. Получены картины волокнистого строения поковок, полученных вытяжкой полусферы из плоского фланца с большим отношением D/H и обратным выдавливанием полусферы из плоского фланца с малым отношением $D/H = 1$, для различных значений отношений внутреннего диаметра полусферы и диаметра исходной заготовки $2r/d$ и относительной высаживаемой длины ψ.

2. Не установлен предпочтительный способ получения поковок типа стержня с полусферическим фланцем, штампуемых на ГКМ, с точки зрения макроструктуры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Ковка** и штамповка: справочник. В 4 т. / Ред. совет: Е.И. Семенов и др. М.: Машиностроение, 1986. Т. 2. Горячая штамповка / под ред. Е.И. Семенова. 592 с.

Александр Александрович Сидоров, инженер

УДК 621.774.3.06

А.И. Гриншпун, Г.А. Фурлендер, О.Б. Сивак
(ОАО "АХК ВНИИМЕТМАШ им. академика А.И. Целикова")

Калибровочный стан для линии термической обработки труб

Изложены особенности конструкции нового калибровочного стана, устанавливаемого в линию термической обработки труб, в целях повышения их точностных и геометрических параметров.

Article contains description of design features of new sizing rolling mill placed in pipe's thermal treatment department for increasing pipe's precisional and geometrical characteristics.

Ключевые слова: калибровочный стан; клеть; труба.

Key words: sizing rolling mill; stand; pipe.

Устойчивый рост производства бесшовных труб для нефтегазового комплекса в последние годы сопровождается возросшими требованиями к их качеству. Это вызвало необходимость совершенствовать и отрабатывать технологию производства труб, особенно на заключительных стадиях их производства. Организация на трубных заводах современных участков термической обработки труб является одним из путей решения поставленной задачи.

В состав оборудования такого участка должны входить не только печи для термообработки, на которых обеспечивается заданный уровень качества труб по механическим характеристикам, но и прокатное оборудование, которое должно обеспечивать требуемые геометрические параметры конечного изделия.

Таким оборудованием являются калибровочные станы.

Эти станы должны быть специализированы и содержать следующие основные конструктивные и технологические решения:

1. Калибровочный стан должен иметь групповой привод, так как он прост по конструкции, надежен, стоимость его невелика, его легко обслуживать, и он требует низких эксплуатационных расходов.

Применение группового привода обуславливается тем, что в результате минимального суммарного обжатия (не более 1,2 %) числа оборотов по клетям практически одинаковые, а следовательно, и вытяжки незначительны.

2. Клети калибровочного стана должны быть построены по схеме с внутренней раздачей момента, которая позволяет существенно сократить массу, габаритные размеры клети и стана в общем.

3. В состав калибровочного стана должны входить трехвалковые чистовые регулируемые клети, осуществляющие окончательную калибровку труб по диаметру. Их применение позволяет повысить точность выпускаемых труб, а также значительно увеличить срок эксплуатации валков всей калибрующей группы без переточек.

4. Калибровочный стан должен обладать небольшими габаритными размерами и металлоемкостью, позволяющими вписать его в ограниченные площади участка термообработки труб без нарушения норм техники безопасности и необходимых условий его обслуживания. Отметим, что такие участки располагаются, как правило, в пролетах с легкими колоннами и кранами малой грузоподъемности.

ОАО "АХК ВНИИМЕТМАШ им. академика А.И. Целикова" разработана серия станов для калибровки труб диаметром до 168, 273 и 426 мм, соответствующих всем требованиям, предъявляемым к такому оборудованию.

Рассмотрим конструкцию стана для калибровки труб диаметром до 168 мм.

Калибровочный стан (рис. 1) состоит из четырех рабочих клетей *1*, которые устанавливаются с помощью салазок *2* на постамент *3*. Смена клетей производится гидравлическим механизмом *4*. Привод осуществляется одним двигателем с помощью редуктор-шестеренной клети *5*.

Клети полностью взаимозаменяемы, и в линию стана можно устанавливать комплект клетей в любом сочетании.

На стане клети чередуются таким образом, чтобы валки каждой последующей перекрывали выпуски предыдущей.

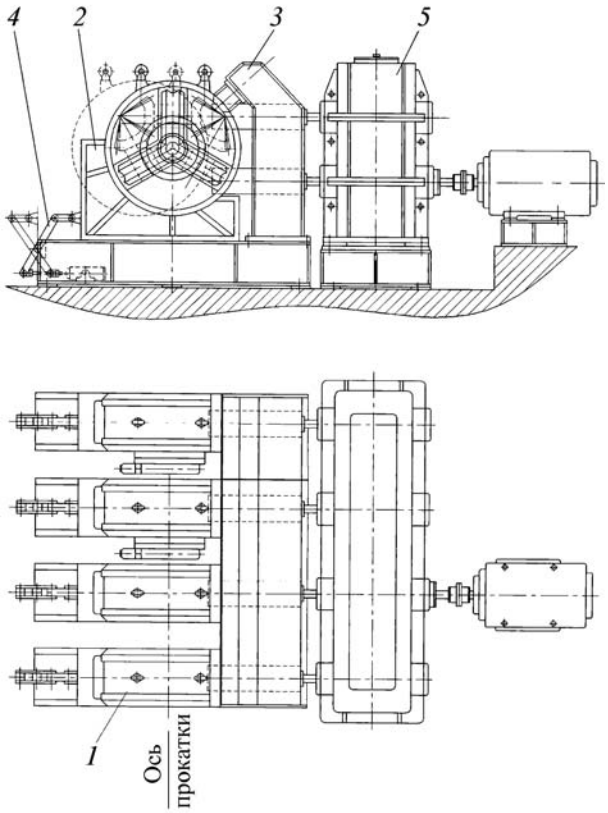


Рис. 1. Калибровочный стан

Фиксируются клети на оси калибрования специальным устройством. Механизм для перевалки обеспечивает как единичную, так и групповую перевалку клетей.

При этом время смены всего комплекта составляет не более 20 мин.

Окончательная обработка калибров валков производится в собранной клети на специальном обточном станке.

Калибровочный стан имеет групповой привод. Клети приводятся через общий редуктор-шестеренную клеть от электродвигателя переменного тока с частотным регулированием.

Трубы от печи к калибровочному стану транспортируются регулируемым по высоте рольгангом. Плавное изменение высоты роликов от печи к стану осуществляется для каждого диаметра труб посредством тяги и винтового механизма.

Для обеспечения возможности транспортировки через стан труб, не требующих калибрования, предусмотрены "фальшклети" с приводными роликами, которые устанавливаются вместо рабочих клетей.

Рабочая нерегулируемая клеть (рис. 2) состоит из разъемного корпуса, в котором размещаются валы с подшипниковыми опорами и коническими зубчатыми шестернями.

Крутящий момент на валок вводного вала передается от привода. Передача крутящего момента на остальные валки осуществляется с помощью конических зацеплений вводного вала. Подшипниковые опоры валов имеют многоступенчатую защиту от попадания влаги и механических частиц (окалины).

Рабочая регулируемая клеть (рис. 3) состоит из разъемной станины *1*, трех узлов валков *2*, связанных между собой зубчатыми коническими шестернями *3*, механизма радиальной регулировки валков *4* в виде эксцентриковых втулок *5*, шарнирно связанных с приводом их поворота *6*.

Каждая зубчатая коническая шестерня *3* жестко установлена на подшипниках в корпусе клети.

Валы валков *7* выполнены полыми с внутренним зацеплением и связаны с зубчатыми коническими шестернями *3* посредством зубчатых обойм *8*, закрепленных на ступицах конических шестерен и промежуточных зубчатых валов *9*, расположенных внутри полого вала. Один из трех узлов валков *10* связан с двумя коническими шестернями, расположенными по обе стороны полого вала, на которых также закреплены зубчатые обоймы, а полый вал соединен с каждой из них отдельными зубчатыми валами *11*, *12*.

Механизм радиальной регулировки валков *4* выполнен в виде приводного диска *13* с зубьями по спирали Архимеда и сцепленных с ним трех кулачков *14*, имеющих на конце проушины *15*, которые через серьги *16* связаны с эксцентриковыми втулками *5*.

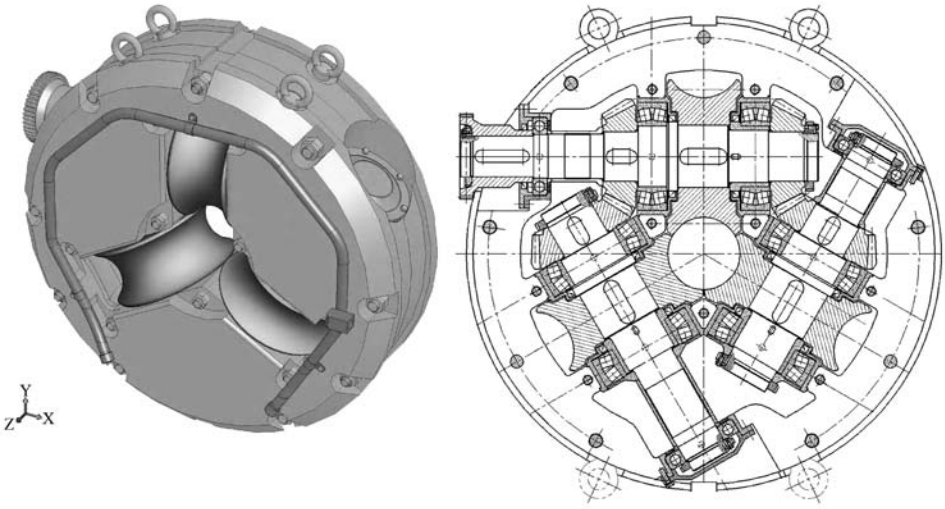


Рис. 2. Рабочая нерегулируемая клеть

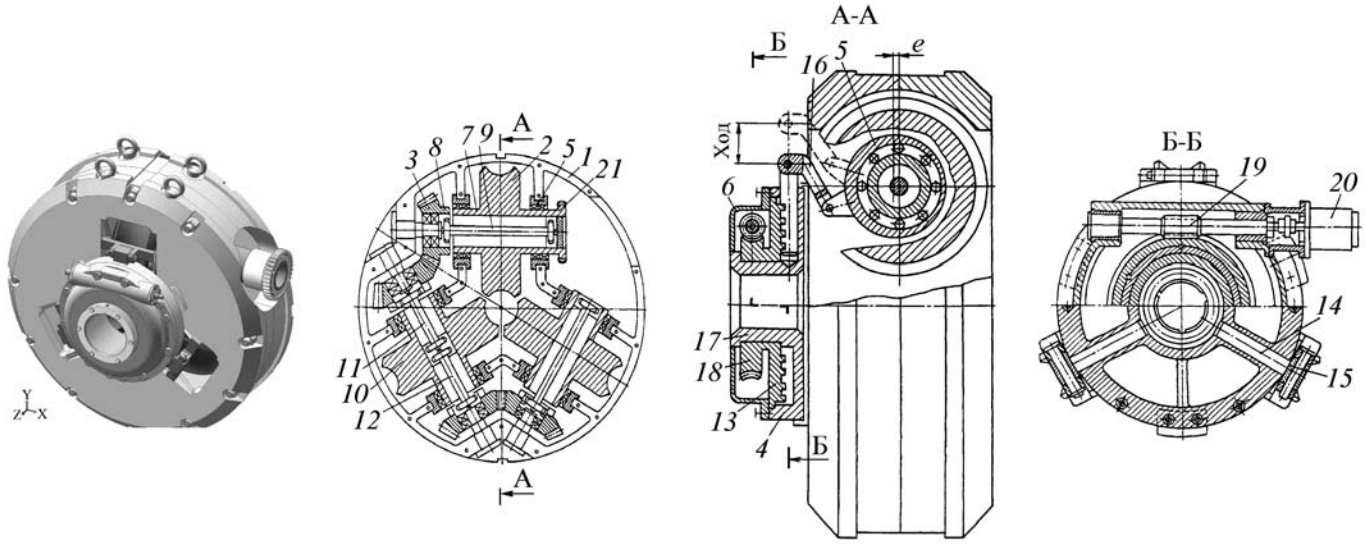


Рис. 3. Рабочая регулируемая клеть

Диск *13* вращается на цапфе *17* корпуса механизма регулировки с помощью червячного колеса *18*, насаженного на диск и находящегося в зацеплении с червяком *19*. Корпус снабжен радиальными гнездами под углом 120°, являющимися направляющими для кулачков. Приводится механизм регулировки от электродвигателя *20*.

Раствор валков *2* регулируется вращением червяка *19*. При этом диск *13* вращается, а связанные с ним кулачки *14* перемещаются в радиальном направлении и через серьги *16* поворачивают эксцентриковые втулки *5*, смещая оси валков в радиальном направлении.

Зубчатые конические шестерни *3* при этом сохраняют свое неизменное положение вследствие перекоса промежуточных зубчатых валов *9*, *11*, *12* и зубчатых обойм *8*.

Крутящий момент на три валка передается от зубчатой втулки *21* через зубчатый вал *9* на зубчатую обойму *8*, зубчатую коническую шестерню *3* и далее через валы *11*, *12* на вторую пару шестерен и третий валок.

Разработанная ОАО "АХК ВНИИМЕТМАШ им. академика А.И. Целикова" конструкция такой клети запатентована [1].

Техническая характеристика калибровочного стана 50/168

Размеры калибруемых труб, мм:	
наружный диаметр	50...168
толщина стенки	5...25
Температура калибруемых труб, °С	500...750
Скорость выхода трубы из калибровочного стана, м/мин	50...120
Число рабочих клетей	4
Клеть рабочая нерегулируемая:	
число валков	3
диаметр валков, мм	450
давление металла на каждый валок, кН	600
момент прокатки на вводном валу, кН·м	20
Клеть рабочая регулируемая:	
диапазон регулирования, мм	±1,5
число валков	3
диаметр валков, мм	450
давление металла на каждый валок, кН	150
момент прокатки на вводном валу, кН·м	10
Электродвигатель главного привода:	
тип	1LA8-35
мощность, кВт	290
Габаритные размеры стана, м:	
длина	3
ширина	5
высота	2

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Пат. 2311976.** Трехвалковая рабочая клеть продольной прокатки с регулируемым раствором валков / Н.В. Пасечник, И.А. Целиков, А.И. Гриншпун. Зарегистр. 10.12.2007.

Аркадий Иосифович Гриншпун, канд. техн. наук;
Григорий Авраамович Фурлендер, канд. техн. наук;
Олег Борисович Сивак, инженер-конструктор

УДК 669.046

В.И. Семёнов *(МГТУ им. Н.Э. Баумана)*

Фазовый переход при плавлении и затвердевании металла

Рассмотрен механизм межатомных взаимодействий, позволяющий изучать реальную структуру жидких металлов, процессы плавления и затвердевания.

The mechanism of the interatomic interaction is considered, allowing to study real structure of liquid metals, processes of melting and solidification.

Ключевые слова: плавление; затвердевание; перегруппировка атомов; свободная энергия; структура металла; энергетический барьер; метастабильное состояние; переохлаждение.

Key words: melting; solidification; atoms regrouping; free energy; structure of metal; power barrier; metastable state; supercooling.

Твердый металл плавится при нагреве, но какого-либо перегрева при температуре плавления не происходит. Экспериментальные исследования рентгеновскими и нейтронографическими методами однозначно показали, что плавление разрушает дальний, но сохраняется ближний порядок в структуре межатомных конфигураций. Такое изменение структуры оправдывает возможность непрерывного перехода твердого металла в жидкий.

Однако оно наталкивается на ряд известных трудностей. Это, прежде всего, изменение энтропии металла, которое имеет место при плавлении и затвердевании. Препятствием считается также существенная разница межатомных конфигураций, свойств и поведения твердого и жидкого металла. Отсюда делается вывод, что непрерывность перехода совершенно невероятна, а наблюдаемый непрерывный переход твердого в жидкий предлагается считать результатом каталитического действия твердой поверхности.

По-видимому, закономерное переохлаждение ниже температуры плавления можно представить как сохранение структуры жидкого металлического раствора. Сходство структур стабильного и метастабильного состояний металла позволяет рассматривать его термодинамическую стабильность, изучать закономерности и делать сравнительные оценки равновесий межатомных конфигураций с тем, чтобы от нарушенных равновесий через кинетику атомных перегруппировок выявлять пути развития и свойства фазового перехода [1, 2]. В течение фазового перехода расплав находится в контакте со своими твердыми кристаллами. Свободная энергия расплава и энергия кристаллической решетки тесно связаны через электронные оболочки атомов, причем связи точно соответствуют изменению теплоты образования соответствующих кристаллических соединений. Поведение атомов расплава отвечает непрерывному изменению термодинамического состояния затвердевающего металла.

У металлов атомы связаны металлической связью, которая основана на коллективизации валентных электронов. Коллективизированные электроны создают новый сравнительно устойчивый физический объект – электронный "газ". Из общих закономерностей электронного строения атомов можно ожидать, что электронный "газ" обладает рядом принципиальных особенностей, которые отличают его от отдельных валентных электронов свободных невозмущенных атомов.

Согласно принципу Паули электроны должны занимать в свободном невозмущенном атоме самые низкие энергетические уровни. Вместе с тем, как показало изучение атомных спектров, заполнение орбиталей электронами происходит согласно правилам Гунда. Правила ограничивают порядок заполнения требованием, по которому заполненные конфигурации обязаны быть устойчивыми. Это обстоятельство приводит к своего рода разрыву между возможностями для электронов занимать последовательно самые низкие энергетические уровни и требованием общей устойчивости к заполненной электронной конфигурации.

Электронный "газ" проявляет значительную способность оптимизировать заполнение незаполненных внешних электронных оболочек с соблюдением всех требований устойчивости согласно правилам Гунда. Электронный "газ" безошибочно так трансформирует внешние электронные оболочки, что дает возможность внутренним электронным оболочкам и электронному облаку в целом снизить некомпенсированную энергию связи с ядром атома.

Специфические изменения конфигураций внешних орбиталей количественно обнаруживают себя че-

рез растворимость – свойство, характеризующее способность атомов вступать во взаимодействие с соседними атомами. Конкуренция за эти изменения орбиталей усиливается в металлическом растворе при снижении температуры и увеличении скорости охлаждения. Например, из литейной практики хорошо известно, что быстрая кристаллизация позволяет получать твердые растворы и эвтектики при существенно более высоких концентрациях компонентов в сравнении с равновесными их значениями и способна радикально расширить возможности легирования сплавов.

В двухкомпонентном металлическом α-растворе свободная энергия на атом равна:

$$f^{\alpha} = xf_A^{\alpha} + (1-x)f_B^{\alpha} + \Delta f_{AB}^{\alpha}, \qquad (1)$$

где f_A^{α} и f_B^{α} – свободные энергии на атом компонентов A и B в α-растворе; x и $(1 - x)$ – соответственно их доли в α-растворе; Δf_{AB}^{α} – энергия смешения. Энергия смещения Δf_{AB}^{α} определяет уровень ассоциативного межатомного электронного взаимодействия. При этом существенно не только ее абсолютное значение, но и то, что она является отрицательной величиной в формуле (1) при суммировании. Вследствие этого в α-растворе свободная энергия на атом f^{α} минимальна.

Потенциальное поле энергии смешения электронного "газа" действует и усиливает межатомные связи в широкой области температур. Отсюда следует, что для правильной оценки термодинамического состояния металлического раствора к трем параметрам состояния (T – температура, p – давление, C – концентрация) должна быть добавлена в качестве четвертого параметра скрытая избыточная свободная энергия ΔF электронного "газа". Это означает, что при $T, p = \text{const}$ параметры равновесия металлического раствора связаны между собой зависимостью

$$C = f(\Delta F). \qquad (2)$$

Как замечено из практики, спадание температуры усиливает межатомные взаимодействия и, следовательно, повышает плотность энергии смешения ΔF. Наконец, при наиболее низких температурах перегрева, близких к равновесной температуре плавления $T_м$, энергия смешения сгущается до максимального уровня $\Delta F_{T_м}$. Поэтому закономерность (2) указывает на возможность образования и устойчивое существование в гомогенном металлическом растворе локальных межатомных структур таких, что между ними и металлическим раствором устанавливается концентрационная константа распределения $K_р = C_1/C_2$, где C_1 – концентрация компонента локальной структуры и C_2 – концентрация того же компонента в растворе.

При малой разности концентраций C_1 и C_2 насыщение локальных межатомных структур подчиняется законам идеальных газов:

$$\ln K_р = \frac{\Delta F}{RT}. \qquad (3)$$

Если исходить из зависимостей (2) и (3), то электронный "газ" принципиально восприимчив к тому, чтобы поддерживать в металлическом растворе ассоциированные группы атомов с ближним порядком. Значительное число экспериментальных фактов прямо и косвенно свидетельствуют о существовании ассоциированных локальных групп атомов в жидких металлах. Положение в области теории сплавов все более склоняется также в эту сторону, в особенности в области изучения практически важных систем Fe–C, Al–Si, Cr–C и т.п. Сюда же относят жидкие эвтектики.

Наблюдения за технологическими процессами металлургии и литейного производства прямо говорят нам, что процессы плавления и затвердевания металлов тесно взаимосвязаны. Более того, они в любой момент обратимы, но не являются зеркальным отображением друг друга. Очевидно то, что при затвердевании метастабильного металлического раствора его атомы встречают и должны преодолевать энергетический барьер. Соответствующим специфическим указателем энергетического барьера является первоначальное переохлаждение.

Естественно предположить, что причиной энергетического барьера может быть поведение электронов тех же внешних электронных оболочек атомов. Физика металлов положила начало модели свободных электронов, согласно которой валентные электроны двигаются в металле почти свободно. Зонные теории твердых тел дали объяснение периодического характера потенциального поля кристалла и позволили учитывать особенность его влияния на энергию электронов.

Квантовая теория коллективизированных электронов приводит к пониманию, что в металлическом расплаве ассоциированные ионы межатомных групп создают в пределах ближнего порядка периодическое потенциальное поле. Не исключено, что периодическое потенциальное поле ассоциированных ионов через восприимчивость электронов устанавливает соответствующий периодический характер поля электронного "газа". Из сопоставления скоростей обменного электронного взаимодействия и диффузионного переноса, различающихся на много порядков, последнее вполне допустимо для каждой самопроизвольно возникающей ассоциации ионов с ближним порядком. Электронный и диффузионный обмены являются процессами разных структурных уровней и их взаимное влияние друг на друга невелико.

Потенциальное периодическое поле способно накапливать избыточную свободную энергию. Постоян-

ное стремление ассоциированных ионов металлов понизить энергию основного состояния позволяет им приводить в соответствие между ближними соседями энергетические спектры валентных электронов, используя малую ширину запрещенных зон и наличие незаполненных энергетических полос. Следовательно, между периодическим полем ассоциированных ионов и периодическим полем электронного "газа" возможен обмен скрытой свободной энергией. Рассматривая такую возможность, можно говорить о повышении устойчивости межатомных конфигураций метастабильного расплава за счет понижения энергии основного состояния атомов в дозволенной полосе спадания температуры.

Имея возможность сгущать энергию смешения ниже температуры плавления, электронный "газ" способствует самоорганизации электронных оболочек атомов метастабильного расплава. Естественно, высказанное соображение дает право связать накопление скрытой свободной энергии ΔF электронным "газом" и понижение температуры фазового превращения.

Энтропия определяется, как известно из термодинамики, частной производной свободной энергии по температуре с обратным знаком

$$\Delta S = \frac{\partial \Delta F}{\partial T}. \qquad (4)$$

Энтропию ΔS будем относить к электронному "газу" взаимодействующих компонентов A и B фазы α, или к ассоциированным группам атомов с ближним порядком, которые взаимодействуют электронными оболочками без обмена энергией с окружающей средой. Поскольку свободная энергия ΔF метастабильной фазы α прирастает при спадании температуры, то энтропия ΔS является положительной величиной.

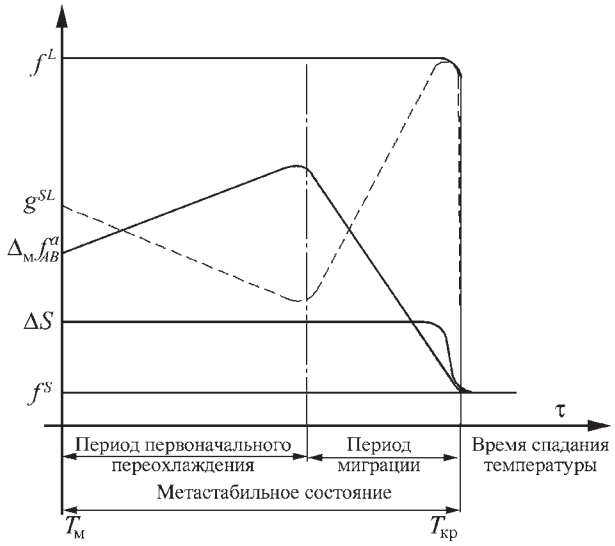
Исходя из соблюдения монотонного хода взаимодействия атомов (ионов) с электронным "газом" и требования устойчивости, которое налагается равенством (2), приращение на атом скрытой свободной энергии электронного "газа" фазы α удобно выразить в следующей форме:

$$\Delta_{\text{м}} f_{AB}^{\alpha} = (\Delta f_{AB}^{\alpha})_{T_{\text{м}}} - \Delta_{\text{м}} S_{AB}^{\alpha} \Delta T, \qquad (5)$$

где $(\Delta f_{AB}^{\alpha})_{T_{\text{м}}}$ – энергия смешения на атом фазы α при $T = T_{\text{м}}$; $\Delta_{\text{м}} S_{AB}^{\alpha}$ – энтропия на атом метастабильной фазы α; $\Delta T = T - T_{\text{м}}$ – переохлаждение.

Функция (5) отражает способность электронного "газа" накапливать (сгущать) скрытую свободную энергию в течение периода первоначального переохлаждения ΔT (рисунок).

Опуская в (1) индекс α-раствора, введем понятие свободной энергии на атом жидкой f^L и твердой f^S фаз при фазовом переходе. Разность $\Delta f^{SL} = f^L - f^S$ определяет изменение свободной энергии атома, которая при $T_{\text{кр}}$ из скрытой становится тепловой энергией



Сгущение термодинамических функций g^{SL}, $\Delta_{\text{м}} f_{AB}^{\alpha}$, ΔS

$$f^L - f^S = \Delta H / N, \qquad (6)$$

где ΔH – теплота плавления; N – число Авогадро. Избыточная энергия Δf^{SL} не зависит от температуры, являясь температурным инвариантом.

Как было показано, энергия смешения $\Delta_{\text{м}} f_{AB}^{\alpha}$ играет важную роль, обеспечивая стабильность переохлажденного расплава. Согласно (1) она переходит к электронному "газу" в счет понижения энергии основного состояния атомов. Если расплав находится в метастабильном состоянии, то энергия смешения $\Delta_{\text{м}} f_{AB}^{\alpha}$, по-видимому, должна рассматриваться как составная часть свободной избыточной энергии возбужденного атома. Из условия сохранения энергии следует

$$g^{SL} + \Delta_{\text{м}} f_{AB}^{\alpha} = \Delta H / N. \qquad (7)$$

Из равенства (7), которое отражено на рисунке, следует, что метастабильное состояние характеризуется растущим дефицитом энергии основного состояния атома, т.е. $g^{SL} < \Delta f^{SL}$. Кроме того, пока дефицит не погашен, атом метастабильного раствора не может изменить свое внутреннее энергетическое состояние, хотя находится в дозволенной полосе температурных значений ($T < T_{\text{м}}$).

Переохлаждение ΔT ведет не только к сгущению в расплаве энергии смешения. Оно одновременно возбуждает атомы (ионы) метастабильного расплава усиливающимся расхождением фактической избыточной энергией и требуемой для фазового перехода (см. рисунок).

Правильно будет считать, что возбужденный атом (ион) начинает наносить электронному "газу" ущерб в

свободе движения коллективизированных электронов, перекрывая полосное пространство энергетического спектра. По мере роста первоначального переохлаждения ΔT внутренние термодинамические силы возбужденного атома сначала приводят к разрушению двухэлектронных направленных связей с электронным "газом", а затем превращают в свободные электроны своей внешней электронной оболочки.

В момент наибольшего спадания температуры возбужденный атом ставит энергетический барьер обменному электронному взаимодействию и рост энергии смешения прекращается. Очевидно, энергия смешения остается реальной величиной, так как энергетический барьер ставит сам атом.

Вследствие трансформации валентных электронов в свободные уменьшается способность возбужденного атома взаимодействовать со своим окружением. Такие возбужденные атомы становятся "лишними" для межатомной ассоциации с ближним порядком, так как наделены конфигурацией внешних электронных оболочек, которая нарушает устойчивость обменного электронного ассоциативного межатомного взаимодействия.

Опять же, возбужденный атом, имея искаженные внешние орбитали, ждет возможности путем собственной миграции возвратить (пополнить) дефицит свободной энергии и образовать с новыми соседями межатомную конфигурацию, которая не сдерживает усиление обменного межатомного взаимодействия. Поэтому совпадают стремления электронного "газа" избавиться от избыточной энергии $\Delta_{\text{м}} f_{AB}^{\alpha}$ и возбужденного атома в пополнении своего дефицита. Энергообмен выгоден обеим сторонам, но его сдерживает кинетический фактор – миграция путем перегруппировки атомов.

Ставя энергетический барьер накоплению энергии $\Delta_{\text{м}} f_{AB}^{\alpha}$, возбужденный атом наносит электронному "газу" ущерб в свободе движения электронов. При перекрытии полосного пространства энергетического спектра электронного "газа" межатомной конфигурации с ближним порядком пассивной электронной оболочкой возбужденного атома возникает градиент энергии смешения $\partial\Delta_{\text{м}} f_{AB}^{\alpha} / \partial r$. Из размерности градиента энергии следует, что его можно считать некомпенсированной силой Φ_{SL}, приложенной к возбужденному атому,

$$\Phi_{SL} = \frac{\partial \Delta_{\text{м}} f_{AB}^{\alpha}}{\partial r}, \qquad (8)$$

где индекс SL указывает на фазовую перегруппировку.

Силы фазовых перегруппировок атомов определяются сверхбыстрыми процессами электронного взаимодействия и поэтому работа сил Φ_{SL} не зависит от температуры. Эти силы избавляют межатомные конфигурации от "лишних" атомов и накапливают последние по определенным геометрическим поверхностям потенциального поля энергии смешения. При миграции возбужденных атомов к местам сбора силы Φ_{SL} совершают работу

$$A = \int_{R_m}^{0} \Phi_{SL}\, dr, \qquad (9)$$

где R_m – дистанция миграции. В объеме межатомной конфигурации на расстоянии R_m от места сбора силы Φ_{SL} имеют максимальное значение, затем несколько уменьшаются и становятся минимальными в пограничной области сбора.

Естественно, что энергия смешения спадает от максимального значения до нуля в период миграции атома (см. рисунок) и вся избыточная энергия переходит к мигрирующему атому как энергия активации A:

$$A = \Delta_{\text{м}} f_{AB}^{\alpha}; \; A = \overline{\Phi}_{SL} R_m. \qquad (10)$$

В период миграции атомов к местам сбора избыток свободной энергии g^{SL} атома возрастает

$$g^{SL} = g^{SL} + A \qquad (11)$$

до своего максимального уровня – скрытой тепловой энергии фазового перехода Δf^{SL}.

Метастабильному расплаву, состав которого меняется путем атомных перегруппировок, можно приписать два вида скрытой свободной энергии g^{SL} и $\Delta_{\text{м}} f_{AB}^{\alpha}$. Вместе они дают сумму, которая равна Δf^{SL} и не меняет свое значение при спадании температуры. Поэтому из определения (4) вытекает, что энтропия ΔS метастабильного расплава остается постоянной величиной вплоть до момента кристаллизации, где дискретно изменяется (см. рисунок). Такое поведение энтропии показывает, что электронные оболочки возбужденных атомов обеспечивают им при миграции максимально возможную степень диффузионной подвижности.

Естественно, что в объеме жидкой фазы термодинамические силы $\overline{\Phi}_{SL}$ находят места скоплений, где возбужденные атомы получают возможность понизить степень своего возбуждения. Сказанное отражает тот факт, что миграция возбужденных атомов начинается в состоянии системы, далеком от равновесия. Кинетику начальной стадии миграции позволяет изучать неравенство

$$\ln C_1 - \ln C_2 \le \frac{A}{kT}, \qquad (12)$$

которое следует из закономерности (3), а энергия активации A атома дается равенством (10). В неравенстве (12) следует считать, что C_2 – концентрация атомов мигрирующего компонента в метастабильном раство-

ре и C_1 – концентрация тех же атомов в местах скоплений. Можно также допустить, что в местах скоплений сгущение энергии активации A достигает максимальной величины, и при $g^{SL} = f^{SL}$ концентрация мигрирующего компонента расплава способна соответствовать насыщенному раствору.

Из неравенства (12) прямо следует, что до наступления момента насыщения увеличение концентрации C_1 не является препятствием для миграции возбужденных атомов. Можно принять, что сгущение энергии активации A в местах скоплений увеличивает энергию g^{SL} атома до величины Δf^{SL}. Судя по восстановленному уровню энергии основного состояния g^{SL}, возбужденные атомы становятся восприимчивыми вновь к перекрытиям и обменным электронным взаимодействиям с новыми соседями. Поэтому уже на начальной стадии сегрегационного диффузионного переноса, когда в местах скоплений число возбужденных атомов невелико и возрастает в арифметической прогрессии, естественный уровень реального межатомного взаимодействия в межатомных группах с ближним порядком увеличивается в геометрической прогрессии. Другими словами, разумно считать, что развитие изменений в метастабильном металлическом расплаве при сегрегационных атомных перегруппировках направлено, по существу, на структурную перестройку.

Количественным критерием атомной перегруппировки способен быть эффективный путь – дистанция миграции R_m. Значение дистанции миграции отражает вполне определенно размер реальных физических объемов метастабильного расплава, состав которых меняется ассоциированно. В состоянии, когда метастабильный расплав теряет устойчивость и возникают квазиравновесные атомные перегруппировки, критерий R_m ограничивает размер физических объемов так, чтобы их границы проходили по местам скоплений мигрирующих атомов.

Разумеется, в описываемой ситуации действие всех некомпенсированных сил $\overline{\Phi}_{SL}$ каждого механизма перегруппировки ассоциированной конфигурации атомов будет ограничено пределами пространства таких локальных объемов. По-видимому, подобно другим физическим фрактальным процессам начальное переохлаждение ведет к возникновению множества квазизакрытых систем. Равновесное существование таких систем в метастабильном расплаве достигается тем, что их границами служат места скоплений мигрирующих атомов, где силы диффузионного переноса уравновешены.

Наконец, устойчивость малым изменениям состава метастабильного раствора придают устойчивые некомпенсированные силы $\overline{\Phi}_{SL}$, работа которых сохраняется как энергия активации A атомов. Устойчивость сил $\overline{\Phi}_{SL}$ обусловлена высокой скоростью обменного электронного взаимодействия.

Работа [3] дает формулу для расчета критерия R_m:

$$R_m \le \sqrt{\frac{\Delta H D \Delta T}{RT}} \mathrm{v}_{\text{охл}}^{-1/2}, \qquad (13)$$

где ΔH – теплота плавления; D – коэффициент диффузии; ΔT – первоначальное переохлаждение; R – универсальная газовая постоянная; T – температура; $\mathrm{v}_{\text{охл}}$ – скорость охлаждения расплава.

Погрешность значения критерия R_m зависит от точности оценки коэффициента диффузии D возбужденных атомов и доли теплоты ΔH, которая превращается в энергию смешения и движущие силы миграции. Коэффициент диффузии D возбужденных атомов выше на несколько порядков по сравнению с коэффициентом самодиффузии стабильного атома.

В естественной среде природные процессы развиваются при условии минимизации избыточной свободной энергии. Как можно видеть из сгущения термодинамических функций g^{SL} и $\Delta_{\text{м}} f_{AB}^{\alpha}$ на рисунке и из выражения (13), протекание процессов перегруппировки атомов при спадании температуры расплава не является исключением из этого правила.

В самом деле, если квазиравновесное состояние межатомных конфигураций метастабильного расплава позволяет сгущать свободную энергию g^{SL} возбужденного атома, максимизируя переохлаждение ΔT и возбуждение (т.е. коэффициент диффузии D), то процесс перегруппировки атомов получает возможность расширить границы занимаемого пространства и будет продолжать использовать эту возможность, пока параметр R_m не достигнет максимально возможного в данных условиях значения. Рассмотренная ситуация подтверждает еще раз правило, что движущие силы свободной энергии самопроизвольно создают минимальное количество фрактальных структур, максимальных по объему.

Все общее пространство метастабильного расплава превращается в микрогомогенную систему при спадании температуры. Внутренние границы общего пространства минимизируются, а скорость насыщения границ мигрирующими атомами максимизируется и доводится до уровня предельного насыщения. Образуется переходной слой, преодолевая который мигрирующие атомы становятся новой фазой, а сам переходной слой – фазовой границей.

Заключение

Важный момент, на который обращено внимание выше, состоит в том, что в металлах фазовый переход жидкость ↔ кристалл происходит при установившемся, ставшим устойчивым ассоциативном межатомном взаимодействии. Другими словами, предполагается, что процесс формирования структуры межатомного взаимодействия собственно самой системы, состоящей из атомов (ионов) и электронов, в каждый мо-

мент времени завершен при всех атомных перегруппировках. Поэтому энергия g основного состояния на атом равна минимуму, а энергия смешения Δf_{AB}^{α} – максимуму. Их сумма $f = g + \Delta f_{AB}^{\alpha}$ равна общей или полной свободной энергии системы на атом.

Для жидкого и твердого состояний системы имеем соответственно: $f^{L} = g^{L} + \Delta^{L} f_{AB}^{\alpha}$ и $f^{S} = g^{S} + \Delta^{S} f_{AB}^{\alpha}$. Можно также считать, что энергия смешения Δf_{AB}^{α} показывает дефицит энергии минимизированного основного состояния атома, поскольку $\Delta f_{AB}^{\alpha} = g - f < 0$. Металлы активнее взаимодействуют в жидком состоянии. Следовательно, по отношению к твердому уровень энергии смешения жидкого состояния выше: $\Delta^{L} f_{AB}^{\alpha} > \Delta^{S} f_{AB}^{\alpha}$.

Для изучения фазовых превращений особенно важно изменение полной свободной энергии f металлической системы на атом и ее компонентов g и Δf_{AB}^{α} от температуры. Для нашего заключения достаточно определить, что повышение температуры ведет к снижению энергии смешения Δf_{AB}^{α}, а спадание температуры, напротив, ее увеличивает. При нагреве твердого металла дальний порядок сокращается вплоть до температуры плавления.

Устойчивость межатомному взаимодействию придает достаточный дефицит свободной энергии на атом – энергия смешения $\Delta^{S} f_{AB}^{\alpha}$. Для оценки устойчивости важно, что дефицит свободной энергии $(-\Delta^{S} f_{AB}^{\alpha})$ на атом имеет минимум при температуре плавления. Необходимой реакцией на минимальный дефицит свободной энергии становится переход металлической системы в новое устойчивое состояние поатомно путем поглощения избыточной теплоты.

Свободная энергия на атом металлической системы будет равна $g^{L} = g^{S} + \Delta f$, где Δf – свободная энергия, эквивалентная теплоте плавления на атом. Свободная энергия g^{L} атома предполагает более высокий уровень электронного обменного взаимодействия. Поэтому в данном случае имевший место дефицит свободной энергии на атом переходит в избыток: $-(-\Delta^{L} f_{AB}^{\alpha}) - \Delta^{S} f_{AB}^{\alpha} = \Delta^{L} f_{AB}^{\alpha} - \Delta^{S} f_{AB}^{\alpha} > 0$. Такого рода избыток свободной энергии – движущий потенциал перегруппировки атомов – контролирует переход от гетерогенной с дальним порядком к гомогенной структуре с ближним порядком.

Главное принципиальное отличие затвердевания металлической системы от плавления в том, что не происходит минимизация дефицита свободной энергии на атом. Напротив, он возрастает при спадании температуры метастабильной металлической системы: $g^{L} - g^{S} = \Delta f - \Delta^{L} f_{AB}^{\alpha} - \Delta^{S} f_{AB}^{\alpha} > 0$. Дефицит $-(\Delta^{L} f_{AB}^{\alpha} - \Delta^{S} f_{AB}^{\alpha})$ уменьшает свободную энергию Δf фазового перехода. Это препятствует созданию движущего потенциала для перестройки электронной оболочки атома. Соответственно возникает необходимость погасить указанный дефицит. Проще всего определить, что растущий дефицит способен возбуждать сам атом настолько, что он уменьшает очень резко уровень обменного электронного взаимодействия до такого минимума, что становится способен нарушать устойчивость межатомных конфигураций. Чтобы система сохраняла устойчивость, "лишние" атомы вытесняются путем атомных перегруппировок. Совокупная работа движущих сил скрытой свободной энергии $(\Delta^{L} f_{AB}^{\alpha} - \Delta^{S} f_{AB}^{\alpha})$ возвращается атомам как энергия активации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Семёнов В.И.** Зарождение кристаллической фазы при затвердевании металлов // Заготовительные производства в машиностроении. 2007. № 9. С. 3–9.

2. **Семёнов В.И.** Ключевые факторы адаптации дендритной структуры отливок к однонаправленному теплоотводу // Заготовительные производства в машиностроении. 2007. № 10. С. 7–14.

3. **Семёнов В.И.** Измельчение кристаллизационной структуры сплавов путем управления межатомным взаимодействием // Заготовительные производства в машиностроении. 2008. № 11. С. 10–15.

Вячеслав Иванович Семёнов, канд. техн. наук

УДК 621.78:669.017

А.В. Святкин, В.С. Муратов *(Самарский государственный технический университет)*

Исследование влияния отжига на остаточные напряжения и твердость прутков из латуни ЛМцА58-2-1

Статья посвящена выбору оптимальной температуры отжига двухфазной сложнолегированной латуни ЛМцА58-2-1. Проведены исследования по выявлению зависимостей твердости и уровня остаточных напряжений от температуры отжига. Построены графики указанных зависимостей и подобраны наилучшие режимы отжига.

This article is about annealing optimum temperature research of dual-phase alloy brass LMtsA58-2-1. We are investigating of hardness and residual strains dependence from temperature. We are picking up necessary regimes and dependence diagrams built.

Ключевые слова: латунь; отжиг; твердость; остаточные напряжения.

Key words: brass; annealing; hardness; residual strains.

Освоение сложнолегированных латуней в России потребовало проведения большого объема комплексных исследовательских работ.

Латунь ЛМцА58-2-1, разработанная институтом "Гипроцветметобработка" (г. Москва) на основе немецкого аналога CuZn40Al2, в общем соответствовала заданным требованиям по химическому составу и механическим свойствам. Однако требования к технологичности материала, выявленные в процессе производства готовых деталей из прутков, потребовали дополнительных исследований. Известно, что периодически проблемы с обрабатываемостью возникали и на металлургических комбинатах.

Ранее была рассмотрена математическая модель, обеспечивающая стабильность химического состава и требуемое содержание фаз в латунях [1]. Однако окончательные свойства прутка (в данном случае целесообразно говорить не о свойствах материала, а о свойствах полуфабрикатов, поставляемых от металлургического завода к заводу-потребителю) формируются на завершающем этапе производственного процесса. Для латуни ЛМцА58-2-1 это волочение и отжиг. Лимитирующими параметрами материала в данном случае являются – остаточные напряжения и твердость, которые формируются в процессе волочения и последующего отжига.

Температура и длительность отжига должны обеспечивать снятие остаточных напряжений и сохранение механических и технологических свойств. Отжиг для уменьшения остаточных напряжений проводят в температурном интервале ниже температуры начала рекристаллизации, чтобы заметно не снижались механические свойства, полученные в результате наклепа.

Основным фактором, приводящим к возникновению остаточных напряжений в изделиях и полуфабрикатах, является неоднородность пластической деформации отдельных участков сечения. Кроме того, известно, что при отжиге двухфазных $\alpha+\beta$-латуней происходит сопутствующий процесс – фазовая перекристаллизация ($\alpha \leftrightarrow \beta$).

Прутки из сплава ЛМцА, изготовляются в промышленных условиях по следующей технологии: прессование при температуре (700±20) °С на размер 14,5 мм; охлаждение под вентилятором; отжиг при (580±20) °С, 1,5 ч; волочение на размер 13,5 мм; отжиг при 260 °С, 1,5 ч; правка. Однако при таких режимах отжига уменьшаются напряжения в β-фазе, а в α-фазе напряжения остаются существенно большими по сравнению с недеформированным состоянием.

В период освоения сплава производители изменяли температуру отжига от 250 до 300 °С, но и это не обеспечило полного снятия остаточных напряжений. Прогнозируемое для полного снятия остаточных напряжений повышение температуры до 400 °С делает вероятным падение твердости на 15...20 НВ, что усложняет задачу, поскольку в технических условиях на поставку заложено требование по твердости (170±20) НВ, т.е. падение твердости может быть сопоставимо с заданной шириной интервала.

Для выбора оптимального режима термической обработки, обеспечивающей допустимый уровень остаточных напряжений и необходимую твердость, проведен ряд экспериментов.

В ОАО "АВТОВАЗ" была поставлена партия прутков после низкотемпературного отжига при 300 °С, 1,5 ч. От партии прутков отбирали образцы и замеряли уровень остаточных напряжений. Для этого проводили распил прутка на длину, равную десяти диаметрам, напряжения рассчитывали в зависимости от ширины раскрытия распила по формуле [2, 3]:

$$\sigma = \frac{0{,}288 dhE}{l^2(1-\mu^2)}, \qquad (1)$$

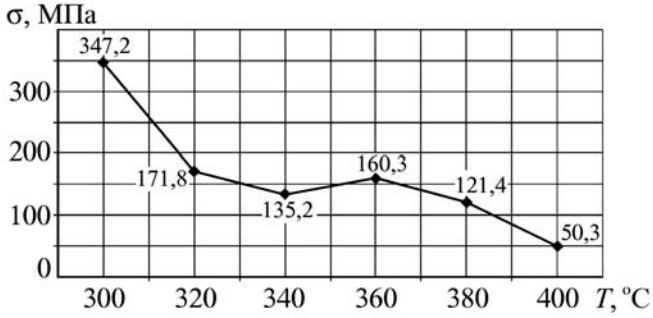


Рис. 1. Зависимость уровня остаточных напряжений от температуры отжига

где d – диаметр прутка; h – раскрытие прутка на торце за вычетом ширины фрезы; E – модуль упругости; l – длина распила; μ – коэффициент Пуассона.

Далее осуществляли отжиг по различным режимам и снова замеряли уровень остаточных напряжений по указанной методике. Результаты приведены на рис. 1.

Параллельно на данных образцах замеряли твердость по сечению прутка по ГОСТ 2999 в состоянии поставки и после различных режимов термообработки. Результаты представлены на рис. 2 и 3.

Из рис. 2 и 3 следует, что отжиг при 300 °С не обеспечивает должного снятия напряжений, твердость неоднородна по сечению, сказывается влияние наклепа после волочения. Повышение температуры отжига приводит к выравниванию твердости по сечению.

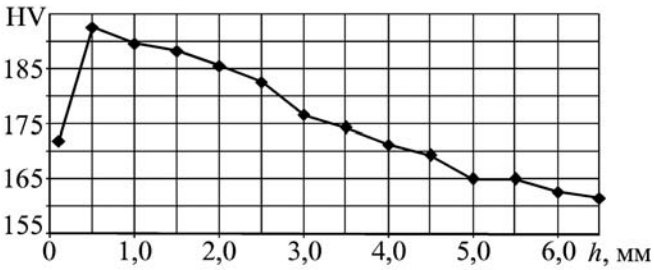


Рис. 2. Распределение твердости по поперечному сечению прутка в состоянии поставки

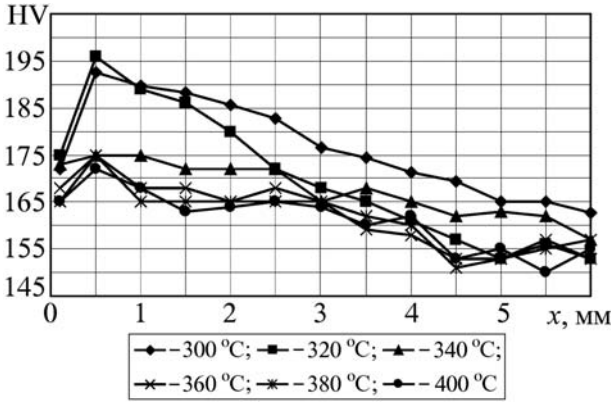


Рис. 3. Твердость по сечению прутка после отжига при различных температурах

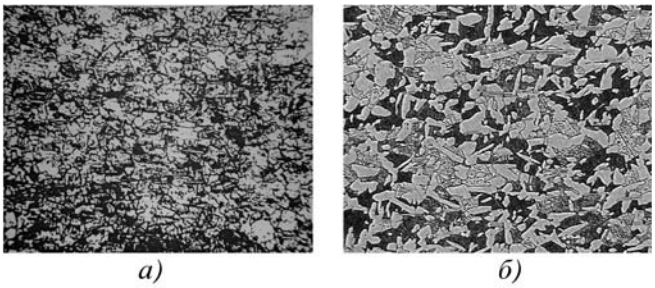


Рис. 4. Микроструктура латуни ЛМцА58-2-1 до (*а*) и после (*б*) отжига (продольный разрез; ×200)

На рис. 4 приведена микроструктура латуни до и после отжига. На рис. 4, *а* изображена микроструктура прутка после прессования, она характерна для частично закаленного состояния. Основу составляют β-зерна, по краям которых отмечается выпадение прослоек α-фазы в количестве не более 1...2 %. На всей поверхности продольного шлифа расположены равномерно распределенные силициды иглообразной формы (длиной 30...50 мкм). Известно, что такая структура не обеспечивает пластичности металла.

На рис. 4, *б* показана микроструктура после низкотемпературного отжига по режиму: 400 °С, 90 мин. Количество и морфология β-фазы меняется: ее становится меньше, зерно измельчается; α-фаза располагается по границам зерен и в виде отдельных включений, имеющих игольчатую форму.

На основании приведенных исследований можно сделать вывод, что для достаточного снятия остаточных напряжений необходим следующий режим отжига прутка латуни ЛМцА58-2-1: температура нагрева – 400 °С; время выдержки – 90 мин.

Исследование влияния режимов термообработки на твердость прутка показало, что увеличение температуры отжига до 400 °С приводит к существенному снижению остаточных напряжений, обеспечивая выравнивание свойств по сечению прутка. При этом из метастабильной β-фазы происходит выделение α-фазы. Отжиг при 300 °С не обеспечивает необходимый уровень остаточных напряжений, не выравниваются механические свойства по сечению прутка. Выполненные исследования позволили подобрать оптимальную температуру отжига 400 °С для прутков ∅13 мм из латуни ЛМцА58-2-1.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Муратов В.С., Святкин А.В.** Совершенствование технологии изготовления прутков из латуни типа ЛМцА // Заготовительные производства. 2007. № 2. С. 36–39.

2. **Остаточные** напряжения / под ред С.С. Макаревича. Мн.: УП "Технопринт", 2003. 352 с.

3. **Копыл М.Д., Тропотов А.В., Котляров И.В.** Латунные сплавы для колец синхронизаторов совершенствуются // Автомобильная промышленность. 1999. № 10. С. 26–29.

Алексей Владимирович Святкин, инженер;
Владимир Сергеевич Муратов, д-р техн. наук

УДК 621.924.093.048

В.А. Соколов, А.Е. Проволоцкий, О.С. Кузьменок
(Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск)

Опыт внедрения гидроабразивной обработки в производство

Рассмотрены технологические возможности струйной обработки деталей машин, заготовок и готовых изделий из листовых материалов. Приведен пример создания универсальной установки для струйной обработки.

Technological possibilities of jet machining of details machines, procurement and finished products from sheet materials are considered. The example of creation of universal setting for jet machining from separate elements in Dnepropetrovsk is shown.

Ключевые слова: струйная обработка; технология; оборудование.

Key words: jet machining; technology; equipment.

В настоящее время в различных отраслях производства существует большая потребность в изготовлении заготовок и готовых изделий из всевозможных материалов. В машиностроении – это элементы корпусов кораблей, ракет и самолетов, монтажные панели для крепления приборов, всевозможные прокладки, уплотнители и многое другое. В строительстве необходимы полы из камня, гранита, мрамора, логотипы из напольных покрытий, мебель из стекла, зеркала произвольной формы, столешницы и подоконники, ступени и т.д. В рекламном бизнесе требуется изготовление вывесок, табличек, указателей из пластиков, металла и других материалов.

Изготовление заготовок и деталей сложной формы из листовых металлических и неметаллических материалов представляет определенные трудности. Известные способы высокотемпературной резки с расплавлением металла, такие как газовая, плазменная, лазерная имеют свои области применения и ограниченные возможности. Газовая и плазменная резка металлических материалов отличается большой шириной реза, значительной шероховатостью поверхности реза, низкой производительностью при ручной резке и высокой стоимостью специального оборудования в случае применения программного управления при автоматической резке. Лазерная резка требует сложного и дорогого оборудования, а также высококвалифицированных кадров.

Упомянутые способы раскроя заготовок и деталей не решают всех проблем в технике. В связи с этим представляет большой интерес сравнительно новый низкотемпературный технологический процесс – струйная гидро- и гидроабразивная резка материалов.

Гидроабразивная обработка поверхностей деталей машин и металлических конструкций опробована давно. Первые опыты резки водой без абразива были сделаны еще в середине минувшего столетия и уже много лет струю чистой воды используют для раскроя материалов, таких как резина, губка, поролон, кожа. Исследованы параметры этого процесса, разработано оборудование, очерчены возможности способа, однако разделительная резка твердых и сверхтвердых металлических и неметаллических листовых материалов долгое время не была решена.

Некоторое время назад был разработан низкотемпературный способ резки водой с применением абразива в основном для листовых металлических, неметаллических твердых и композиционных материалов. Способ имеет свои преимущества, области применения, однако недостаточно изучены его возможности, теория процесса и для широкого внедрения в производство требует дополнительных исследований и рекламы [1].

Гидроабразивная резка материалов имеет ряд серьезных преимуществ, одно из которых – универсальность. При смене обрабатываемого материала оборудование не требует сложной технологической переналадки или смены инструмента. Переналадка заключается во вводе в систему ЧПУ новых технологических параметров и программы обработки. Не менее важным преимуществом способа является отсутствие нагрева в зоне реза и, следовательно, термических напряжений и деформаций. Это преимущество можно оценить при изготовлении изделий из металла.

Кромка материала, сформированная гидроабразивной струей, легко поддается механической обра-

ботке, а во многих случаях обработка не требуется. Использование гидроабразивной резки позволяет экономить обрабатываемый материал, оставляя минимальные припуски при раскрое. За счет малой ширины реза и оптимизации размещения готовых изделий на листовой заготовке способ позволяет экономить сырье для производства.

При изготовлении машиностроительных деталей способ позволяет совмещать в себе такие операции металлообработки, как фрезерование, сверление, нарезку зубьев, тем самым значительно ускорять технологический процесс. Способ хорошо зарекомендовал себя при изготовлении единичных изделий, а также малых партий деталей. Способ гидроабразивной резки является экологически чистым. В процессе резки не выделяются вредные вещества и газы. Вода, использованная в процессе резки, проходит процесс очистки и может быть применена повторно.

На промышленных предприятиях в Украине эта технология в производстве по-прежнему является экзотикой. Отсутствие достаточного и доступного парка гидроабразивного оборудования способствует вакууму информации и знаний в этой области [2]. Проблемой является также подготовка специалистов. В рабочих программах технологических дисциплин отсутствует раздел по струйной обработке материалов. Весьма мало встречается тем для дипломного проектирования и диссертаций по этим проблемам.

За рубежом производством и внедрением дорогих промышленных гидрорезных установок занимаются многие известные фирмы, такие как Durkopp (Германия), Belkan Ingineering, Logic Inc. (США) и др. [3].

На предприятии "Новые технологии обработки" в г. Днепропетровске в дополнение к существующему арсеналу установок создано новое недорогое оборудование из отечественных и импортных комплектующих для гидроабразивной резки разнообразных материалов, которое состоит из следующих основных элементов:

насос высокого давления; стол для резки материалов с режущей головкой и системой ЧПУ; система дозирования и подачи абразива; система очистки отработанной воды; система охлаждения масла для насоса высокого давления; электрооборудование; рабочее место программиста.

Установка позволяет с высокой точностью производить резку материалов в широком диапазоне твердости. Струя воды, усиленная абразивными частицами и перемещаемая по рабочему столу системой числового программного управления, является идеальным точечным инструментом, позволяющим производить резку материала по самым сложным траекториям. Физическая суть механизма гидроабразивной резки заключается в уносе частиц разрезаемого материала потоком воды и абразивных частиц. Определив

Рис. 1. Станция высокого давления

оптимальное сочетание таких параметров, как давление воды, расход абразива, скорость резания, можно добиться хороших результатов при обработке различных материалов. Для резки мягких материалов, таких как резина, поролон, пенопласт, винил и т.д., использование абразива не обязательно, так как силы воды вполне достаточно для качественной резки.

Одним из основных компонентов комплекса оборудования является станция высокого давления (рис. 1). Существующие в настоящее время станции высокого давления отличаются своей мощностью (от 20 до 80 кВт) и числом установленных в них насосов. Наиболее оптимальными являются станции, укомплектованные двумя насосами.

Эта схема комплектации позволяет производить техническое обслуживание и ремонт одного из насосов, не останавливая работу всего комплекса. В станциях высокого давления используются гидравлические одноступенчатые насосы, позволяющие создавать давление воды от 200 до 460 МПа. Рабочей жидкостью служат гидравлические масла фирмы SHELL. Для предохранения комплекса от резких перепадов давления воды станция высокого давления оснащена ресивером.

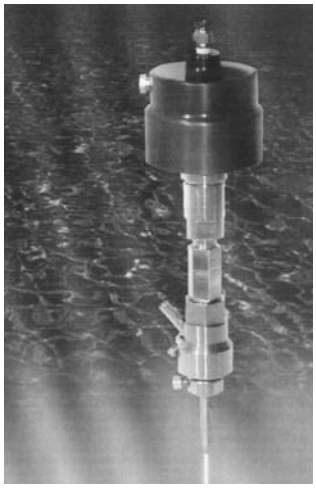


Рис. 2. Режущая головка

По системе трубопроводов высокого давления вода попадает в режущую головку (рис. 2), установленную на рабочем столе (рис. 3).

Основной задачей режущей головки является создание водно-абразивной смеси требуемой концентрации и создание режущей струи заданной плотности. С помощью

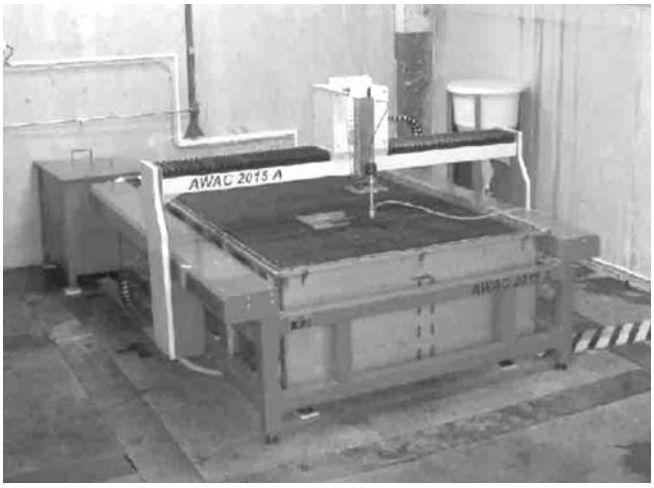


Рис. 3. Рабочий стол

технологических команд, поступающих от системы ЧПУ (рис. 4) на клапан режущей головки, производится включение и выключение подачи воды в зону резания. Режущая головка размещается на подвижных органах станка, оснащенных шаговыми двигателями, обеспечивающими точность позиционирования до 0,1 мм. Процесс резки производится в двух координатах (X, Y).

Перемещение режущей головки в вертикальном направлении производится вручную и обеспечивает заданную высоту головки над разрезаемым материалом. Разрезаемая заготовка размещается на металлической решетке, обеспечивающей постоянную высоту головки над разрезаемым материалом. Под металлической решеткой размещается ванна, заполненная водой, предназначенная для гашения струи воды и улавливания абразива.

Размеры столов могут быть различными и изготавливаются под конкретные изделия.

Система ЧПУ обеспечивает функционирование комплекса по гидроабразивной резке материалов, дает возможность графического контроля позиционирования режущей головки, а также задает технологические параметры обработки: скорость резания, расход абразива, технологические задержки и т. д.

Рис. 4. Система ЧПУ

Важное значение в работе комплекса имеет система дозирования и подачи абразива. Для обеспечения стабильного процесса резания абразив должен подаваться в зону резания с заданной дозировкой и непрерывно. Эта задача выполняется за счет высокоточного дозатора, обеспечивающего подачу абразива в пределах 0,01...0,5 кг/мин.

Система очистки воды предназначена для удаления механических примесей из воды и поддержания постоянного давления воды на входе в насос высокого давления. Система оснащена двумя фильтрующими линиями, работающими независимо и позволяющими удалять механические примеси размером до 0,5 мкм. Очистка воды производится порциями и подается в ресивер системы очистки воды по мере расходования.

Большой интерес представляет система очистки отработанной воды. Основной частью системы является пневматический насос производительностью 30 л/мин, позволяющий удалять из улавливающей ванны использованный абразив. Циркулирующая через систему очистки вода отделяется от механических примесей и подается через возвратный насос обратно в улавливающую ванну. Возвратный насос поддерживает уровень воды в улавливающей ванне на заданном уровне.

Расчет управляющей программы для комплекса гидроабразивной резки производится в системе AUTOCAD. После разработки и контроля управляющая программа передается по сетевому кабелю в систему ЧПУ.

Техническая характеристика разработанного оборудования

Занимаемая площадь участка, м^2	100
Потребляемая мощность, кВт/ч	50
Рабочее давление, МПа	От 100 до 460
Расход воды, л/мин	До 5
Расход абразива, кг/мин	До 0,5
Точность позиционирования, мм	0,1
Скорости перемещения по осям, мм/мин	От 5 до 18000
Размер рабочего стола, мм	1500×2000
Мощность насоса высокого давления, кВт	38
Используемый абразив	Гранатовый песок
Ширина реза, мм	От 0,8 до 1,5

Обрабатываются различные виды материалов: твердые сплавы, труднообрабатываемые механической обработкой; природный и искусственный камень; керамическая плитка; стекло и зеркала; всевозможные виды пластиков; резина; кожа; винил; полиэтилен; поролон.

В зависимости от толщины заготовки выбираются параметры резания. К ним относятся: давление воды; скорость резания; расход абразива; диаметр рубино-

вого сопла и формирующей трубки. Как правило, при работе со сталью выбирается максимальное давление. Скорость резания определяет качество среза. Идеальным вариантом считается разрез, составляющий 90° к верхней и нижней поверхности заготовки. При большой скорости резания происходит сужение разреза к низу. Для установок средней мощности на толщинах стали более 6 мм существенное влияние имеет такой параметр обработки, как задержка в узловых точках траектории. Данный параметр задается системой ЧПУ и определяет временную задержку в точках излома траектории движения инструмента. Задержка позволяет струе выбрать остатки материала в нижней части заготовки и тем самым получить полное соответствие линии разреза на верхней и нижней стороне детали. Качество обработки разреза соответствует качеству грубого фрезерования.

При резке материала водой без абразива, например поролона, ширина реза составляет 0,2 мм. Для получения качественного среза материала по всей толщине достаточно давления 150 МПа. При более высоком давлении нижняя часть разрезаемого материала имеет некачественную поверхность в связи с деформированием материала. Кроме того, происходит отражение режущей струи от несущей решетки стола и нижняя часть материала может быть повреждена. Поэтому резка таких материалов производится на подложке, например плотном картоне.

На подобном оборудовании гидроабразивной резкой можно изготовлять:

- изделия из листового металла (сталь конструкционная и коррозионно-стойкая, алюминий, медь и т.д.) толщиной 0,5...30 мм, габаритными размерами до 2000×1500 мм;
- режущие пластинки из твердых сплавов и минералокерамических сверхтвердых материалов;
- мозаичные полы из мрамора и гранита;
- раскрой стекла (кроме калёного) толщиной до 30 мм с вырезкой отверстий произвольной формы;
- интарсии из напольных покрытий (винил, натуральный линолеум, керамическая плитка, ковролин);
- изделия из различных видов полистирола и пластика рекламного назначения – логотипы, буквы;
- прокладки и плоские уплотнители из любых материалов для двигателей:
- изделия из мягких материалов – поролона, резины, кожи.

В настоящее время разработкой технологии струйной обработки и созданием оборудования в Украине занимаются Национальный технический университет Украины "КПИ", Кременчугский институт экономики и новых технологий, Кременчугский государственный политехнический институт, Государственная академия легкой промышленности Украины, Черкасское предприятие "Родень", Киевские предприятия "ІНДРІС" и "ГЕММА", Днепропетровское предприятие "Новые технологии обработки" и другие.

В перспективе при решении многих задач по разработке оборудования, технологии и подготовке специалистов струйная обработка займет значительное место в ряду многочисленных способов обработки материалов, в первую очередь в листообработке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Саленко О.Ф., Пєтко І.В., Третьяков О.В.** Гідро- та гідроабразивна обробка: теорія, технологія та обладнання: Навчальний посібник. К.: ІЗМН, 1999. 488 с.

2. **Терещенко Ю.П.** Технология разделительной резки водой // Бизнес-мост. 2004. № 8. С. 24.

3. **Саленко А.Ф., Поздняков П.Б., Антоненко А.В.** Гидрорезное оборудование: вчера, сегодня, завтра // Оборудование и инструмент для профессионалов. Металлообработка. 2006. № 6. С. 6.

Владимир Александрович Соколов, ст. науч. сотрудник;
Александр Евдокимович Проволоцкий, д-р техн. наук;
Олег Сергеевич Кузьменок, канд. техн. наук

УДК 658.589

Г.А. Расторгуев *(Российский университет дружбы народов, Москва)*

Технологическая подготовка заготовительного производства

Изложены формы организации заготовительных производств в машиностроении. Приведены основные задачи технологической подготовки. Рассмотрены последовательность и содержание технологической подготовки заготовительного производства к выпуску новой продукции.

Forms to organizations of preparing manufactures in mechanical engineering are stated. Primary tasks of technological preparation are broughted. Sequence and contents of technological preparation of preparing manufacture to issue of the new product are considered.

Ключевые слова: заготовительное производство; технологическая подготовка; технологичность конструкции детали; раскройная карта; коэффициент использования материала; поковка; штамповка.

Key words: preparing manufacture; technological preparation; ease of manufacturing to designs of the detail; cutting out card; utilization ratio of the material; forging; stamping.

Рациональную организацию и функционирование любого машиностроительного производства определяют технологической подготовкой, которая состоит обычно из четырех этапов. На первом *предварительном этапе* проводят маркетинг рынка предполагаемой к выпуску продукции. При положительных результатах составляют бизнес-план, определяют источники финансирования последующих этапов технической подготовки. На втором *конструкторском этапе* разрабатывают рабочую документацию осваиваемой новой продукции. При необходимости проводят соответствующие согласования с внешними организациями. Конструкторскую документацию разрабатывают, как правило, предприятия-изготовители самостоятельно или с привлечением головных (ведущих) научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций. На *этапе технологической* подготовки производства решают вопросы обеспечения технологической готовности предприятия к выпуску новой продукции. На последнем *организационном этапе* производят формирование и совершенствование организационной структуры предприятия применительно к выпуску новой продукции, перспективное и оперативное планирование.

Наиболее ответственным и сложным из этих этапов является технологическая подготовка производства, трудоемкость которой составляет 30...40 % от общей трудоемкости технической подготовки в условиях мелкосерийного производства, 40...50 % – при серийном и 50...60 % – при массовом производстве.

Технологическая подготовка производства в машиностроении (ТПП) в обобщенном понятии представляет собой комплекс конструкторско-технологических и производственно-технологических процессов и мероприятий, обеспечивающих технологическую готовность предприятия к выпуску новых изделий заданного уровня качества в установленные сроки, определенного объема выпуска при минимальных материальных и трудовых затратах.

Технологическая подготовка заготовительного производства является составной частью общей технологической подготовки и направлена на обеспечение условий для качественного и эффективного изготовления заготовок.

Трудоемкость и сроки технологической подготовки заготовительного производства определяются тем, что около 80 % [1] продукции в машиностроении выпускают в условиях индивидуального и мелкосерийного производства. Это значит, что для каждой заготовки необходимы своя технология, технологическая документация и технологическая оснастка.

Заготовительные технологические процессы являются исходными в производственном цикле изготовления машин и механизмов. Полученные припуски и точность заготовок в значительной степени определяют дальнейшую технологию изготовления деталей. Себестоимость получения заготовок существенно влияет на технико-экономические показатели большинства разрабатываемых технологических процессов. Следует иметь в виду, что технология изготовления заготовок во многом зависит от типа производства, так как количество изготовляемых машин и периодичность их повторения предопределяют затраты на производство, а следовательно, и уровень его технического оснащения.

Трудоемкости заготовительного этапа производства и этапа механической обработки деталей взаимозависимы, т.е. уменьшение ее на первом этапе может привести к увеличению трудоемкости на втором. Установлено [1], что доля трудоемкости изготовления заготовок составляет около 30 % от общей трудоемкости изготовления продукции.

Организация заготовительного производства. Заготовительное производство, как правило, является многономенклатурным. Это накладывает определенные особенности на его организационную структуру. Различают [1] две организационные формы: индивидуальный выпуск машинокомплектов и обезличенное

(подетальное) производство заготовок на склад с последующей их комплектацией. Возможны некоторые промежуточные варианты.

При машинокомплектной форме организации заготовительного производства изготавливают только те заготовки, которые необходимы для выпуска очередной машины. При этом возникает возможность неполного использования исходного сортамента (например, листа). Образуются отходы, которые необходимо складировать для последующего использования. Увеличивается объем организационно-технических мероприятий (хранение, маркировка и последующая выдача). Возрастает трудоемкость изготовления из-за малых партий и частой переналадки оборудования. В то же время уменьшается межоперационное хранение заготовок, разгружаются площади склада заготовок, они поступают сразу на механическую обработку.

Подетальной форме запуска заготовок в производство предшествует большой объем планово-технических работ (расчет числа заготовок каждого наименования на планируемый период, расчет необходимого расхода материала до конца планируемого периода по сортаменту и маркам, определение необходимых трудовых и технических ресурсов и т.п.).

Эта форма организации заготовительного производства имеет существенные преимущества: увеличивается размер партии одноименных заготовок, появляется возможность при большой партии использовать высокопроизводительные технологии и оборудование, повышается коэффициент использования металла. Но при этом возникает дефицит складских площадей для размещения заготовок на весь планируемый период. Приходится часть заготовок хранить в пачках, штабелях, специальной таре, что затрудняет их последующий поиск и выдачу. В результате затраты на межоперационную доставку возрастают. Организация производства заготовок для крупногабаритных деталей по подетальной форме не рекомендуется вследствие низкой эффективности.

В условиях рыночной экономики выбор той или иной формы организации производства зависит от поставленной цели и производственных ограничений.

Основными задачами технологической подготовки заготовительного производства являются:

– разработка рациональных технологических процессов изготовления заготовок;

– проектирование и изготовление необходимой (согласно технологическому процессу) технологической оснастки и инструмента;

– изготовление первой партии заготовок изделия.

В общем случае комплекс взаимосвязанных работ по технологической подготовке заготовительного производства состоит из трех этапов.

1. Отработка конструкции деталей на технологичность. Данный этап предусматривает тщательное изучение конструкторской документации для определения возможности разработки оптимальной технологии изготовления заготовок. Сопоставляют технологические возможности заготовительного производства с конструкцией деталей, выявляют конструктивные решения, ограничивающие применение рациональных методов изготовления. Проводят конструкторско-технологическое согласование, определяющее возможность изготовления заготовок в заданных производственных условиях.

Технологичность конструкции одной и той же детали будет разной для различных типов производства. Деталь, достаточно технологичная в массовом производстве, может быть малотехнологичной в серийном и совершенно нетехнологичной – в единичном производстве, и наоборот. Например, изготовление кузова легкового автомобиля в вытяжных штампах является высокотехнологичным процессом массового производства и низкотехнологичным – в серийном. В единичном производстве изготовление штампованного кузова практически невозможно: необходимо изменить его конструкцию. С развитием технологии машиностроения требования к технологичности конструкции изменяются, поэтому само представление о технологичности со временем также претерпевает изменения.

2. Разработка технологической документации. В состав технологической документации, обеспечивающей качественное изготовление заготовок, входят: маршрутные карты технологических процессов, операционные карты, нормировочные карты, чертежи заготовок (при необходимости), раскройные карты (для листовых заготовок), управляющие программы для станков с ЧПУ.

Многообразие способов и средств изготовления заготовок приводит к тому, что в настоящее время одинаковые или близкие по форме, размерам и требуемой точности детали нередко производят по совершенно разным технологическим процессам, которые существенно отличаются по трудоемкости и себестоимости.

Для разработки технологической документации подбирают уже освоенные производством технологические процессы, а также изучают перспективные. Рассматривают возможность получения на данном производстве требуемой заготовки (отливки, поковки, штамповки) или же необходимость заказа ее на другом предприятии.

Следующим шагом проектирования технологического процесса является разработка маршрутных и операционных заготовительных процессов. Маршрутный технологический процесс оформляют в виде маршрутной карты, в которой указывают участки-изготовители и последовательность технологических операций, тип оборудования, применяемую технологическую оснастку, нормы времени. Операционный технологический процесс детализирует маршрутную технологию изготовления до технологических переходов, его оформляют в виде операционной технологической карты. С целью сокращения трудоемкости

разработки технологических процессов следует максимально применять типовые заготовительные процессы.

Для ответственных деталей сложной конфигурации разрабатывают чертежи заготовок (отливок, штамповок, поковок), составляют сводную ведомость заготовок для нового изделия.

Для листовых заготовок составляют раскройные карты. Раскройная карта – это чертеж, на котором показано расположение раскраиваемых заготовок на листе или ленте определенных размеров. Перед составлением раскройной карты нужно выбрать вид раскроя, который, в свою очередь, зависит от конфигурации деталей, материала, из которого их изготовляют, и от типа применяемого оборудования.

К раскройным картам предъявляют следующие требования:

наибольший коэффициент использования материала; компоновка карт для определенного вида оборудования (лазерных комплексов, гильотинных ножниц и др.); комплектность разных деталей (на одно, два, три изделия и запасные части к ним) при групповом раскрое; указание количества и размеров отходов.

На основании раскройных карт при групповом раскрое изготавливают шаблоны группового раскроя.

Основными процессами формообразования кузнечных заготовок являются: штамповка на молотах, прессах, горизонтально-ковочных машинах, прессование-выдавливание, вальцовка, раскатка кольцевых заготовок, редуцирование и др.

Каждому виду оборудования присущи свои технологические возможности, преимущества и определенные ограничения по использованию. При выборе технологического оборудования и организации рабочих мест необходимо учитывать особенности деформирования металла и конфигурацию детали. Выбор и применение кузнечно-прессового оборудования зависит также от типа производства. В серийном производстве наиболее экономично применение штамповочных молотов, а в мелкосерийном – ковочных. В крупносерийном и массовом производствах эффективно использование кривошипных прессов, горизонтально-ковочных машин, раскатных машин.

Поковки несложной формы небольших размеров штампуют на молотах простого действия; мелких, но сложной формы – на фрикционных прессах. Сложные поковки средних размеров требуют применения штамповочных молотов двойного действия. Наиболее крупные поковки штампуют на гидравлических прессах.

Выбор типоразмера оборудования производят по номинальной силе по каталогам оборудования. Преимущество отдают уже имеющемуся на действующем производстве.

Для автоматической резки листовых заготовок используют машины лазерного раскроя листа, автоматы, работающие по управляющим программам, индивидуальным копирам (металлическим, фотокопирам), по наборным копирщикам и без копиров. В последнее время появились станки термического раскроя заготовок, позволяющие вырезать заготовки с высоким качеством практически из любых материалов и любой конфигурации [1].

При вырезке заготовок возникают коробления, которые устраняют на листоправильных вальцах, фрикционных и гидравлических прессах.

3. Проектирование и изготовление средств технологического оснащения. Этот этап технологической подготовки производства во многих случаях является наиболее трудоемким, особенно в массовом и крупносерийном производствах, где затраты времени на него достигают 60...70 % от всего времени ТПП нового изделия. Качественные особенности конструкции выдвигают дополнительные требования к точности заготовки. Технические требования, изложенные в чертеже детали, могут быть таковы, что достичь их без специальных видов технологической оснастки невозможно.

На этом этапе технологической подготовки производят проектирование и изготовление технологической (штамповой) оснастки. Под технологической оснасткой в заготовительном производстве понимают специальные приспособления (подкладные кольца, штампы, копиры и т.п.), без которых невозможно обеспечить качественное изготовление заготовки.

Производство штампов обладает специфическими особенностями, определяемыми назначением штампа – рабочего инструмента, служащего для придания заготовке формы и размеров в горячем и холодном состояниях. Эти особенности заключаются в том, что повышенные требования к точности поковок и штамповок, к стойкости штампов привели к необходимости использования высоколегированных сталей и твердых сплавов. Обработка таких материалов традиционными методами затруднительна. Эти материалы требуют специальной обработки, особых режимов резания, термической обработки и доводки. К специфическим особенностям технологии изготовления штампов относятся также сложность геометрических форм формообразующих деталей, отсутствие взаимозаменяемости, высокая точность сборки, контроля и испытания.

Перечень и количество необходимой технологической оснастки зависят от трех факторов: качественных особенностей конструкции детали; типа производства; программы (объема) выпуска детали.

Так как количество технологической оснастки может быть значительным и изготовление ее в полном объеме в заданные сроки подготовки производства затруднено, всю номенклатуру технологической оснастки разбивают на несколько очередей по срокам ее изготовления.

К нулевой очереди относят те виды оснастки, без которой невозможно или крайне затруднительно изготовление опытного образца изделия. К первой – виды оснастки, необходимые при освоении производст-

Организационно-технические характеристики различных типов заготовительного производства

Характеристика	Тип заготовительного производства		
	Единичное и мелкосерийное	Серийное	Массовое
Форма организации изготовления заготовок	Машинокомплектная	Машинокомплектная и подетальная (для крупных деталей)	Подетальная
Вид технологической документации	Рабочий чертеж заготовки	Маршрутно-операционная карта	Операционная карта
Построение операций	Последовательное	Дифференцированное	Параллельное
Технологическое оборудование	Универсальное (дисковые отрезные станки, молоты штамповочные, молоты ковочные)	Универсальное и специализированное (ленточно-пильные полуавтоматические станки, формовочные машины, центробежные машины, кривошипные горячештамповочные прессы, гидравлические прессы)	Специальные (ленточно-пильные автоматические станки, автоматические линии распила, горизонтально-ковочные машины)
Технологическая оснастка	Универсальная (самоцентрирующие тиски, деревянные модели, подкладные кольца и штампы)	Специализированная (металлические модели, литейные формы, одноручьевые штампы, штампы для холодной штамповки)	Специальное (автоматические загрузочные устройства, многоручьевые штампы)
Квалификация рабочих	Высокая	Средняя	Средняя

ва первой промышленной серии, ко второй – необходимые для полного развертывания производства (главным образом дублеры).

Снижение трудоемкости и длительности проектирования и изготовления технологической оснастки достигают за счет унификации отдельных узлов, использования типовых универсальных блоков многократного применения.

После изготовления технологической оснастки проводят ее испытание путем изготовления пробной заготовки и составления акта. При положительных результатах изготовленную штамповую оснастку сдают в центральный инструментальный склад, который осуществляет приемку всей оснастки, организует хранение, учет запаса и движения оснастки и выдачу ее цеховым инструментально-раздаточным кладовым.

Объем и степень детализации технологической подготовки заготовительного производства определяют программой выпуска. Обобщенные организационно-технические характеристики различных типов заготовительных производств приведены в таблице.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Гырдымов Г.П., Зильбербург Л.И., Савченко И.Д., Шалыгин В.Н.** Автоматизация технологической подготовки заготовительного производства. Л.: Машиностроение, 1990. 350 с.

Геннадий Ахмадуллович Расторгуев,
д-р техн. наук

Читайте в следующем номере:

- **Фигуровский Д.К., Сокунов Б.А.** Влияние комплексного воздействия модифицирования и электромагнитного перемешивания в процессе кристаллизации на структуру и механические свойства сплава на основе системы Cu–Ni–Zn
- **Петраков О.В., Макаренко К.В.** Особенности внутриформенного модифицирования при литье маслотных заготовок
- **Усикова Н.Ю.** Технология двухслойной наплавки замков бурильных труб

Отливки из чугуна и стали. Термины и определения дефектов по ГОСТ 19200–80

ГОСТ 19200–73 устанавливает применяемые в науке, технике и производстве термины и определения основных понятий дефектов отливок из чугуна и стали (таблица). Стандарт соответствует рекомендации СЭВ по стандартизации РС 46-63.

Термины, установленные стандартом, обязательны для применения в документации всех видов, научно-технической, учебной и справочной литературе.

Для каждого понятия установлен один стандартизованный термин. Применение терминов – синонимов стандартизованного термина запрещается. Недопустимые к применению термины-синонимы приведены в качестве справочных и обозначены "Ндп".

В стандарте в качестве справочных приведены иностранные эквиваленты стандартизованных терминов на немецком (D), английском (E) и французском (F) языках.

Термины и определения основных понятий дефектов отливок из чугуна и стали

Термин	Определение
НЕСООТВЕТСТВИЕ ПО ГЕОМЕТРИИ	
1. **Недолив** Ндп. *Стек* D. Unvollständiger Guss E. Short run, misrun F. Manque	Дефект в виде неполного образования отливки вследствие незаполнения полости литейной формы металлом при заливке
2. **Неслитина** Ндп. *Неспай* D. Kaltschweisse E. Cold lap F. Reprise	Дефект в виде произвольной формы отверстия или сквозной щели в стенке отливки, образовавшихся вследствие неслияния потоков металла пониженной жидкотекучести при заливке
3. **Обжим** Ндп. *Выдав формы* *Отдав формы* D. Stauchen, Stauchgrat an Teilungen E. Incorrect shape F. Corroyage	Дефект в виде нарушенной конфигурации отливки, возникающей вследствие деформации формы из-за механических воздействий до или во время заливки
4. **Подутость** Ндп. *Раздутие* *Распор* D. Verstampfung E. Ram-off F. Fausse variation	Дефект в виде местного утолщения отливки вследствие распирания неравномерно или недостаточно уплотненной песчаной формы заливаемым металлом
5. **Перекос** Ндп. *Сдвиг* D. Gussversatz, Versetzung E. Mismatch, cross-joint F. Variation	Дефект в виде смещения одной части отливки относительно осей или поверхностей другой части по разъему формы, модели или опок вследствие их неточной установки и фиксации по формовке и сборке
6. **Стержневой перекос** Ндп. *Стержневой сдвиг* D. Versetzung, Versetzung Kern E. Mismatch in core F. Dejettement de noyau	Дефект в виде смещения отверстия, полости или части отливки, выполняемых с помощью стержня, вследствие его перекоса
7. **Разностенность** Ндп. *Смещение стержня*	Дефект в виде увеличения или уменьшения толщины стенок отливки вследствие смещения, деформации или всплывания стержня
8. **Стержневой залив** Ндп. *Непроставленный стержень*	Дефект в виде залитых металлом отверстия или полости в отливке из-за непроставленного в литейной форме стержня или его обрушения
9. **Коробление** Ндп. *Прогиб* D. Verformung, Verzug E. Distortion, warping F. Déformation	Дефект в виде искажения конфигурации отливки под влиянием напряжений, возникающих при охлаждении, а также в результате неправильной модели
10. **Незалив** Ндп. *Нечеткость контура* D. Unformgrat, Fehler beim Putzen E. Short run, misrun F. Moulage manqué	Дефект в виде несоответствия конфигурации отливки чертежу вследствие износа модели или недостаточной отделки формы
11. **Зарез** Ндп. *Заруб* D. Erstechung E. Mechanical damage F. Défaut mécanique	Дефект в виде искажения контура отливки при отрезке литников, обрубке и зачистке
12. **Вылом** Ндп. *Выбоина* *Скол* D. Mechanische Beschädigung E. Mechanical damage, injury F. Faute d′ébarbage	Дефект в виде нарушения конфигурации и размера отливки при выбивке, обрубке, отбивке литников и прибылей, очистке и транспортировании
13. **Прорыв металла** Ндп. *Прорыв формы* D. Metalldurchbruch, Metalldurchschmelzen E. Metal run out F. Fuite du métal	Дефект в виде неполного образования или неправильной формы отливки, возникающей при заливке вследствие недостаточной прочности формы

Термин	Определение
14. **Уход металла** Ндп. *Подъем формы* *Стек* D. Zurückweichen des Metalls E. Metal leakage F. Perte du métal	Дефект в виде пустоты в теле отливки, ограниченной тонкой коркой затвердевшего металла, образовавшейся вследствие вытекания металла из формы при слабом ее креплении
ДЕФЕКТЫ ПОВЕРХНОСТИ	
15. **Пригар** Ндп. *Металлизация* D. Angebrannter Sand E. Burn on F. Grippure	Дефект в виде трудно отделяемого специфического слоя на поверхности отливки, образовавшегося вследствие физического и химического взаимодействия формовочного материала с металлом и его оксидами
16. **Спай** Ндп. *Неспай* D. Kaltschweisse E. Cold lap, cold shut F. Reprise	Дефект в виде углубления с закругленными краями на поверхности отливки, образованного неполностью слившимися потоками металла с недостаточной температурой или прерванного при заливке
17. **Ужимина** Ндп. *Рвотина* D. Festsitezende Sandschülpe E. Expansion scab F. Gale franche	Дефект в виде углубления с пологими краями, заполненного формовочным материалом и прикрытого слоем металла, образовавшегося вследствие отслоения формовочной смеси при заливке
18. **Нарост** Ндп. *Размыв* *Подрыв* D. Auswuchs, Treibstelle E. Knob, scab F. Bosse	Дефект в виде выступа произвольной формы, образовавшегося из загрязненного формовочными материалами металла вследствие местного разрушения литейной формы
19. **Залив** Ндп. *Облой* *Грат* D. Grat, Gussgrat E. Flash, cross-joint F. Barbe, bavure de joint	Дефект в виде металлического прилива или выступа, возникающего вследствие проникновения жидкого металла в зазоры по разъемам формы, стержней или по стержневым знакам
20. **Засор** Ндп. *Намыв* D. Verunreinigung, Verschmutzung E. Surface contamination F. Remblayage, obstruction	Дефект в виде формовочного материала, внедрившегося в поверхностные слои отливки, захваченного потоками жидкого металла
21. **Плена** Ндп. *Заплеск* *Заворот* D. Oxydflecken E. Oxide spots F. Repliure, dépôt d′oxyde	Дефект в виде самостоятельного металлического или оксидного слоя на поверхности отливки, образовавшегося при недостаточно спокойной заливке

Термин	Определение
22. **Просечка** Ндп. *Заусенец* *Рубцы* D. Stechen E. Veining, mapping F. Bavure	Дефект в виде невысоких прожилок на поверхности отливки, возникших вследствие затекания металла в трещины на поверхности формы или стержня
23. **Окисление** Ндп. *Пережог* *Рубашка* D. Zunderschicht E. Oxidation F. Oxidation, écaillage	Дефект в виде окисленного слоя металла с поверхности отливки, получившийся после отжига отливок из белого чугуна на ковкий чугун
24. **Поверхностное повреждение** Ндп. *Забоина* D. Baschädigung der Oberfläche E. Surface damage F. Trace de frappe, deterioration	Дефект в виде искажения поверхности, возникшего при выбивке отливки из формы, очистке и транспортировании
25. **Складчатость** Ндп. *Наплыв* *Заворот* D. Faltenbildung, Runzein E. Foldness, waviness F. Plissement	Дефект в виде незначительных гладких возвышений и углублений на поверхности отливки, возникающих вследствие пониженной жидкотекучести металла
26. **Грубая поверхность** Ндп. *Неровность поверхности* D. Rauhigkait der Oberfläche E. Rough surface F. Rugosité de la surface	Дефект в виде шероховатости поверхности с параметрами, превышающими допустимые значения
27. **Газовая шероховатость** Ндп. *Пузырчатость* D. Gasrauhigkeit E. Gas roughness F. Rugosité gaseux	Дефект в виде сферообразных углублений на поверхности отливки, возникающих вследствие роста газовых раковин на поверхности раздела металл—форма
НЕСПЛОШНОСТИ В ТЕЛЕ ОТЛИВКИ	
28. **Горячая трещина** Ндп. *Усадочная трещина* D. Warmbruch, Warmriss E. Shrinkage crack, hot tear F. Cassure à chaud	Дефект в виде разрыва или надрыва тела отливки усадочного происхождения, возникшего в интервале температур затвердевания. П р и м е ч а н и е. Горячая трещина располагается по границам кристаллов, имеет неровную окисленную поверхность, на которой иногда видны дендриты

Термин	Определение
29. **Холодная трещина** Ндп. *Бой* D. Kaltbruch, Kaltriss E. Cold crack F. Cassure à froid	Дефект в виде разрыва тела затвердевшей отливки вследствие внутренних напряжений или механического воздействия. Примечание. Холодная трещина обычно имеет чистую светлую или с цветами побежалости зернистую поверхность
30. **Межкристаллическая трещина** D. Mikroriss, Korngrenzenriss E. Intercrystalline crack F. Fissure intercristallique	Дефект в виде разрыва тела отливки при охлаждении отливки в форме на границах первичных зерен аустенита в температурном интервале распада. Примечание. Межкристаллическая трещина в изломе термически обработанной пробы (отливки) имеет вид сглаженных поверхностей с зеркальным блеском на общем сером фоне волокнистой составляющей излома и образуется под воздействием водорода, растворенного в стали
31. **Газовая раковина** Ндп. *Пузырь* D. Blasen E. Blowholes F. Soufflure	Дефект в виде плоскости, образованной выделившимися из металла или внедрившимися в металл газами
32. **Ситовидная раковина** Ндп. *Ситовидная пористость* D. Sieblunker, Siebblase F. Cavité	Дефект в виде удлиненных тонких раковин, ориентированных нормально к поверхности отливки, вызванных повышенным содержанием водорода в кристаллизующемся слое
33. **Усадочная раковина** Ндп. *Подсадина* D. Schwindungshohl raum E. Draw, contraction cavity F. Effet Léonard	Дефект в виде открытой или закрытой полости с грубой шероховатой иногда окисленной поверхностью, образовавшейся вследствие усадки при затвердевании металла
34. **Песчаная раковина** D. Sandeinschluss E. Sand holes, drop F. Inclusion de sable	Дефект в виде полости, полностью или частично заполненной формовочным материалом
35. **Шлаковая раковина** Ндп. *Шлак* D. Schlackenblasen E. Slag blowholes, slag inclusion F. Soufflures de scorie	Дефект в виде полости, полностью или частично заполненной шлаком

Термин	Определение
36. **Залитый шлак** Ндп. *Шлак* D. Ausgefüttertez Schlacke E. Poured slag F. Laitier	Дефект в виде частичного заполнения литейной формы шлаком
37. **Графитовая пористость** Ндп. *Течь* D. Graphitporosität E. Graphite porosity F. Porosité de graphite	Дефект отливок из серого чугуна в виде сосредоточенных или паукообразных выделений графита, вызывающих неплотности металла при испытании гидравлическим или газовым давлением
38. **Усадочная пористость** Ндп. *Течь* D. Schwindungsporosität E. Shrinkage porosity F. Porosité de retrait	Дефект в виде мелких пор, образовавшихся вследствие усадки металла во время его затвердевания при недостаточном питании отливки
39. **Газовая пористость** Ндп. *Ситовидная пористость* *Течь* D. Gasporositat E. Gas porosity F. Porosité de gas	Дефект в виде мелких пор, образовавшихся в отливке в результате выделения газов из металла при его затвердевании
40. **Рыхлота** Ндп. *Подкорковая пористость* D. Mikrolunker E. Microporosity, shrinkage porosity, grain boundary cracks F. Microretassure	Дефект в виде скопления мелких усадочных раковин. Примечание. Рыхлота обнаруживается при механической обработке отливки или методами дефектоскопии
41. **Непровар жеребеек (холодильников)** D. Trennung zwischen Kernstutzen (Gusstückmetall) E. Unfused chaplets (cooles) F. Incuit de support de noyau (refroidisseur)	Дефект в виде несплошности соединения металла отливки с поверхностью жеребеек (холодильников) вследствие их загрязнения, несоответствия масс, пониженной температуры заливаемого металла
42. **Вскип** Ндп. *Кип*	Дефект в виде скопления раковин и наростов, образовавшихся вследствие парообразования в местах переувлажнения литейной формы или проникновения газов из стержней в полость литейной формы

Термин	Определение
43. **Утяжина** Ндп. *Утяжка* *Подсадина* D. Aussenlunker, Einfallstelle E. Shrinkage depression F. Poquette retassure de surface	Дефект в виде углубления с закругленными краями на поверхности отливки, образовавшегося вследствие усадки металла при затвердевании
ВКЛЮЧЕНИЯ	
44. **Металлическое включение** D. Metallischer Einsclüss Fremden Ursprungs E. Exogenous metallic inclusion F. Inclusion métallique d′origine étrangère	Дефект в виде инородного металлического включения, имеющего поверхность раздела с отливкой
45. **Неметаллическое включение** Ндп. *Черные пятна* D. Nichtmetallischer Einschlüss E. Exogenous non-metallic inclusion F. Inclusion non-métallique	Дефект в виде неметаллической частицы, попавшей в металл механическим путем или образовавшейся вследствие химического взаимодействия компонентов при расплавлении и заливке металла
46. **Королек** Ндп. *Выпот*	Дефект в виде шарика металла, отдельно застывшего и несплавившегося с отливкой, образовавшегося брызгами при неправильной заливке

Термин	Определение
НЕСООТВЕТСТВИЕ ПО СТРУКТУРЕ	
47. **Отбел** Ндп. *Твердые места* D. Harte Stellen E. Chill hard spots F. Points durs	Дефект в виде твердых, трудно поддающихся механической обработке мест в различных частях отливки из серого чугуна, вызванных скоплением структурно-свободного цементита
48. **Половинчатость** Ндп. *Отсер* *Первичный графит* D. Halbheit Meliertes Roheisen E. Mottleness F. Fonte truitée	Дефект в виде проявления структуры серого чугуна в отливках из белого чугуна
49. **Ликвация** D. Seigerung, Entmischung E. Segregation F. Liquation, ségrégation	Дефект в виде местных скоплений химических элементов или соединений в теле отливки, возникших в результате избирательной кристаллизации при затвердевании
50. **Флокен** Ндп. *Белые пятна* D. Flocken E. Flakes F. Flocon	Дефект в виде разрыва тела отливки под влиянием растворенного в стали водорода и внутренних напряжений, проходящего полностью или частично через объемы первичных зерен аустенита. П р и м е ч а н и е. Флокен в изломе термически обработанной пробы (отливки) имеет вид сглаженных поверхностей без металлического блеска (матового цвета) на общем сером фоне волокнистой составляющей

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБЪЕМНЫХ ГИДРОПРИВОДОВ

(Библиотека конструктора)

М.Е. Гойдо

2009. – 304 с. ISBN: 978-5-94275-427-3

Цена 440 р. с НДС

Приведены классификация объемных гидроприводов; правила выполнения их схем; математическое описание процессов, происходящих при работе гидроприводов; типовые схемные решения, используемые при проектировании объемных гидроприводов; выбор параметров и исследование характеристики работы объемных гидроприводов различного назначения и исполнения при разных условиях нагружения; применение САПР при проектировании гидроприводов.

Для инженеров-конструкторов, изготовителей, а также обслуживающего персонала гидрооборудования, может быть полезна преподавателям и студентам вузов.

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку в отдел продаж, маркетинга и рекламы:
по почте: 107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98 и на сайте WWW.MASHIN.RU

Промышленные выставки в июне–сентябре 2009 г.

Дата проведения	Название выставки	Место проведения	Тематические разделы*
ИЮНЬ			
2–4 июня	**Металлургия. Машиностроение. Металлообработка. Сварка – 2009** 6-я Межрегиональная выставка	**Магнитогорск,** Легкоатлетический манеж	Черная металлургия. Цветная металлургия. Литейное производство. Продукция металлургического комплекса. Сварочное производство. Гидравлическое и пневмооборудование. Новые технологии обработки металла. Комплектующие изделия и материалы
3–5 июня	**РОСМОЛД – 2009** Международная специализированная выставка "ФОРМЫ. ПРЕСС-ФОРМЫ. ШТАМПЫ"	**Москва,** МВЦ "Крокус Экспо"	Изделия, изготовляемые в формообразующей оснастке. Формы, пресс-формы, штампы. Программные продукты (CAD/CAM/CAE-системы) для проектирования, производства изделий и формообразующей оснастки. Методы и средства эффективных компьютерных технологий. Материалы для изготовления форм, пресс-форм, штампов
10–12 июня	**Листовой Металл Украина – 2009** 4-я специализированная техническая выставка с международным участием	**Киев,** ВЦ "КиевЭкспо Плаза"	Листовой прокат. Оборудование для обработки листового металла. Обработка листового металла. Полимерная окраска. Гальваническое покрытие. Сварка, технологии соединения и крепления
	Проволока & Метизы Украина – 2009 5-я специализированная техническая выставка с международным участием		Оборудование для производства проволоки. Технологический инструмент. Оборудование для производства изделий из проволоки, крепежа. Изделия из проволоки. Крепеж. Вспомогательные материалы и технологии
	Трубы & фитинги Украина–2009 Специализированная техническая выставка с международным участием		Сырье и материалы для производства труб. Производство труб. Оборудование для производства и обработки труб. Технологии обработки, вспомогательное оборудование и инструменты для обработки

Дата проведения	Название выставки	Место проведения	Тематические разделы*
10–12 июня	**Цветные металлы Украина – 2009** Специализированная техническая выставка с международным участием	**Киев,** ВЦ "КиевЭкспо Плаза"	Сырье, полуфабрикаты, заготовки из меди, алюминия, бронзы и сплавов на основе никеля, цинка, титана. Оборудование и технологии для производства и обработки продукции из цветных металлов: штамповка, волочение, резка, гибка, правка, механическая обработка. Продукция из цветных металлов и сплавов
23–26 июня	**Сварка – 2009** 13-я Международная выставка	**Нижний Новгород,** ВК ВЗАО "Нижегородская ярмарка"	Оборудование и оснастка для контактной сварки. Оборудование для специализированных способов сварки. Машины и оборудование для дуговой сварки и резки, источники питания, приспособления и инструменты. Оборудование для плазменной обработки металлов. Оборудование, приспособления и инструменты для сварки в среде защитного газа. Оборудование для подготовки поверхности
	Машиностроение. Станки. Инструменты – 2009 8-я Международная выставка		**Машиностроение:** металлоиндустрия, автоматизация и механизация производственных процессов робототехника, техоснастка, гидравлическое и пневмооборудование, порошковая металлургия, финишная обработка, подшипники. **Станки. Инструменты:** станки для обработки металла, камня, дерева, синтетических материалов, токарные и фрезерные, шлифовальные, станки с ЧПУ комплекты инструментов и оснастка для различных отраслей промышленности и быта. **Дефектоскопия:** радиографический контроль, инфракрасный и термический контроль, визуальный и оптический контроль, ультразвуковой контроль, контроль методом акустической эмиссии, течеискание

Дата проведения	Название выставки	Место проведения	Тематические разделы*
СЕНТЯБРЬ			
8–10 сентября	**Дефектоскопия – 2009** 10-я Международная специализированная выставка. Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности	**Санкт-Петербург,** Михайловский манеж	Акустическая эмиссия. Радиоволновый контроль. Вибрационный контроль. Течеискание. Визуальный/оптический контроль. Ультразвуковой контроль. Динамический контроль. Электромагнитный контроль. Инфракрасный/термический контроль. Контроль трубопроводов. Капиллярная дефектоскопия
23–25 сентября	**Термообработка – 2009** 3-я Международная специализированная выставка	**Москва,** ЦВК "Экспоцентр"	Современные технологии и оборудование термомеханической, термохимической, размерной и поверхностной обработки различных материалов. Энергосберегающие технологии термических производств. Нагревательное печное оборудование. Закалочное оборудование и охлаждающие среды. Контроль качества термообработки. Инфракрасный и СВЧ нагрев. Плазменное формообразование и напыление. Лазерная поверхностная обработка
29 сентября – 1 октября	**Наноиндустрия – 2009** Международная специализированная выставка	**Москва,** ЦВК "Экспоцентр"	Нанометрология. Наноэлектроника (микроэлектроника). Оборудование для наноиндустрии. Технологии локальной модификации поверхности на наноуровне
	Датчики и измерения – 2009 Международная специализированная выставка		Датчики в системах сбора, измерений и испытаний, локального контроля, мониторинга в измерительных приборах, энергосбережения, водоснабжения и водоподготовки, неразрущающего контроля. Измерения: расхода газа, пара; расхода жидкости; температуры; геометрических величин; физико-химических свойств вещества, газовый анализ; уровня; давления

* Подробную информацию об основных тематических разделах выставок см. на сайте www.exponet.ru.

Отчет о проведении в Нижегородском государственном техническом университете им. Р.Е. Алексеева Межрегиональной научно-практической конференции "Заготовительные производства и материаловедение", посвященной 100-летию профессора А.А. Рыжикова

На базе Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева (НГТУ) 19–21 марта 2009 г. прошла Межрегиональная научно-практическая конференция (МНПК) "Заготовительные производства и материаловедение", приуроченная к 100-летию профессора А.А. Рыжикова, которое отмечается в августе 2009 г.

Организаторами МНПК выступили Приволжское отделение Академии инженерных наук России; Нижегородское региональное отделение Российской Ассоциации Литейщиков; Нижегородский региональный центр Лазерной Ассоциации России; Головной Аттестационный Центр Волго-Вятского региона Национального агентства РФ по контролю сварки. Информационную поддержку оказали издательский дом "Руда и металлы", журнал "Заготовительные производства в машиностроении", газета "Поиск-НН", телекомпания "Волга", телестанция "Сети НН".

В качестве спонсоров выступили ОАО "ГАЗ", ОАО "Нормаль", ОАО "РУСПОЛИМЕТ", НПП "Солитус", ОАО "Нижегородский научно-исследовательский институт машиностроительных материалов "Прометей" (ОАО "ННИИММ "Прометей"), Ассоциация выпускников НГТУ.

В работе МНПК приняли участие представители 38 предприятий и организаций из 15 городов РФ и республики Беларусь.

Во время МНПК были проведены презентации издательского дома "Руда и металлы" (г. Москва), ОАО "ННИИММ "Прометей" (г. Н.Новгород), фирмы FOSECO (Великобритания).

В рамках МНПК работали секции: литейно-металлургические производства; термическая и химико-термическая обработка материалов; наноматериалы, композиты и лазерные технологии обработки материалов; теплофизика, экология и менеджмент производственных процессов; сварочное производство.

В ходе МНПК сделано более 60 докладов и сообщений. По материалам конференции подготовлен и издан сборник. Часть сообщений будет опубликована в журналах "Заготовительные производства в машиностроении", "Черные металлы", "Цветные металлы" и "Технология металлов".

Во время МНПК была выставлена экспозиция презентационных материалов организаций-участников.

В рамках МНПК прошло выездное заседание научно-методического совета по материаловедению и ТКМ при Минобрнауки РФ, на котором было принято решение об учреждении Ассоциации материаловедов и технологов России.

В программе МНПК проводился круглый стол по вопросам подготовки, переподготовки и повышения квалификации персонала для предприятий и организаций.

Олег Сергеевич Кошелев, д-р техн. наук;
Игорь Олегович Леушин, д-р техн. наук

ООО "Издательство **Машиностроение**", 107076, Москва, Стромынский пер., 4
Учредитель ООО "Издательство Машиностроение". **E-mail: zpm@mashin.ru**
Телефоны редакции журнала: (499) 268-47-19, 268-36-54, 268-69-19. **http://www.mashin.ru**
Дизайнер *Подживотов К.Ю.* Технический редактор *Жиркина С.А.* Корректоры *Сажина Л.И., Сонюшкина Л.Е.*
Сдано в набор 04.03.09 г. Подписано в печать 23.04.09 г. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 6,86. Уч.-изд. л. 8,32. Заказ 301. Свободная цена.
Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ООО "Издательство Машиностроение".
Отпечатано в ООО "Подольская Периодика". 142110, Московская обл., г. Подольск, ул. Кирова, д. 15.