ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ПРОИЗВОДСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ

(Кузнечно-штамповочное, литейное и другие производства)

№ 5 май 2007

Председатель редакционного совета и Главный редактор
СЕМЁНОВ Е.И.

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

Зам. Главного редактора
КЛЕЙЗЕР П.Е.

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

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

Журнал зарегистрирован в Государственном Комитете Российской Федерации по печати.

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-12218 от 29.03.02

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

Литейное и сварочное производства

Беляков А.И., Маццарелли Д., Беляков А.А., Жуков А.А. Противопригарные покрытия для форм и стержней, применяемые при изготовлении отливок из чугуна . . . 3

Кульбовский И.К., Поддубный А.Н., Богданов Р.А., Булдин С.В. Влияние химического состава на свойства и структуру высокопрочного чугуна . . . 11

Чернышов Е.А. Литейные конструкционные легированные стали и их зарубежные аналоги . . . 13

Рязанцев В.И. Сварка литейных магниевых сплавов . . . 25

Кузнечно-штамповочное производство

Мурасов А.Ш., Титов Ю.А., Никитенко В.М., Титов А.Ю. Прогрессивные технологии штамповки деталей с отверстием в донной части с использованием вытяжки и отбортовки . . . 32

Кокорин В.Н. Прессование полидискретных кластерных тел с различным фазовым состоянием фаз в технологических процессах утилизации тонкодисперсных порошковых отходов черной металлургии . . . 35

Таловеров В.Н., Лукс Р.К. Совершенствование виброизолирующего устройства ковочного молота . . . 39

Прокатно-волочильное производство

Филимонов С.В., Лапшин В.И., Филимонов В.И., Филимонов А.В. Технология изготовления полузакрытых профилей в роликах методом интенсивного деформирования . . . 41

Материаловедение и новые материалы

Курганова Ю.А. Повышение механических свойств дискретно-армированных композиционных материалов с алюминиевой матрицей . . . 46

Руднева В.В. Композиционные покрытия с наноразмерным карбидом кремния: электроосаждение, свойства, применение . . . 48

Информация

Филина А.В. Получение коротких заготовок из пруткового материала в штампах с дифференцированным осевым и радиальным сжатием . . . 53

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

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

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

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

SCIENTIFIC TECHNICAL AND PRODUCTION JOURNAL

BLANKING PRODUCTIONS IN MECHANICAL ENGINEERING

(Forging and stamping, foundry and others productions)

№ 5 May 2007

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

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

Editorial Assistants
KLEYZER P.E.

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

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

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

An advertiser is responsible for the promotional materials

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

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

CONTENTS

Casting and Welding Productions

Belyakov A.I., Matstsarelli D., Belyakov A.A., Jukov A.A. Antiburning-on coatings for castings forms and cores, used in manufacturing iron castings 3
Kulbovsky I.K., Poddubny A.N., Bogdanov R.A., Buldin S.V. Influence of chemical compound on structure and properties of high-test iron 11
Chernyshov E.A. Cast construction alloyed steels and its foreign analogs 13
Ryazantsev V.I. Welding of cast magnium alloys 25

Forging and Stamping Productions

Murasov A.Sh., Titov Yu.A., Nikitenko V.M., Titov A.Yu. Advanced stretch pressing of bottom-holed parts based on concurrent drawing and folding 32
Kokorin V.N. Pressing of structurally heterogeneous bodies with different phase state in engineering process of ferrous metallurgy fine dispersed rejects recycling . . . 35
Taloverov V.N., Luks R.K. Forging hammer isolation pad improvement 39

Rolling and Drawing Productions

Filimonov S.V., Lapshin V.I., Filimonov V.I., Filimonov A.V. Manufacture technology of half-closed profiles in rolls by intensive deformation 41

Physical Metallurgy and New Materials

Kurganova Yu.A. Heightening of mechanical properties of discretely reinforced composite material by aluminum matrix 46
Rudneva Yu.A. Nanodimension silicon carbide composition coverings: plating, properties, application 48

Information

Filina A.V. Obtaining of short performs from a rod materials in stamps with differentiated axial and radial compression 53

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

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

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

А.И. Беляков, Джузеппе Маццарелли, А.А. Беляков *(ОАО "Металлитмаш", г. Коломна),*
А.А. Жуков *(РГАТА, г. Рыбинск)*

Противопригарные покрытия для форм и стержней, применяемые при изготовлении отливок из чугуна

Приведены сведения о составах формовочных красок, применяемых при производстве чугунных отливок. Даны рекомендации по их применению.

The article considers the compounds of the mold paints for iron castings manufacture. The recommendations on application of the paints are given.

Применение противопригарных покрытий преследует следующие цели: предотвращать проникновение металла в поры смеси; снижать адгезию к поверхности отливки; больше противостоять эрозии, чем поверхность формы.

Противопригарные покрытия, как правило, представляют собой суспензии – дисперсионные структуры, включающие огнеупорный наполнитель (основу), связующее, суспензирующее вещество, растворитель (воду или органическую жидкость) и вспомогательные компоненты, обеспечивающие получение систем с заданными технологическими свойствами (например, разжижители, смачиватели, антисептики) [1]. После нанесения таких покрытий процесс формирования защитного слоя заключается в переходе жидкообразной системы в твердое состояние.

В зависимости от характера отверждения покрытия можно разделить на три основные группы:

1) твердеющие при тепловой сушке или водные; в таких покрытиях растворителем является вода;

2) самовысыхающие, содержащие органический летучий растворитель и образующие пленки при его естественном испарении;

3) самотвердеющие водные системы, упрочнение которых происходит в естественных условиях в результате химических превращений.

Наполнители являются противопригарной основой покрытий. Наполнитель не должен вступать во взаимодействие со смесью и металлом, должен противостоять смачиванию поверхности формы.

Наполнители представляют собой порошкообразные полидисперсные материалы. От дисперсности наполнителей, их гранулометрического состава во многом зависят свойства покрытий.

В покрытиях следует использовать наполнители с частицами менее 100 мкм, с преобладающим размером – 20...50 мкм. При более тонком помоле увеличивается расход связующего и ухудшаются реологические свойства покрытий. Грубодисперсные наполнители уменьшают седиментационную устойчивость и проникающую способность суспензий.

В табл. 1 приведены физические свойства наиболее распространенных (промышленно выпускаемых) наполнителей.

Графит – одна из полиморфных модификаций углерода. При обычных температурах графит химически инертен, однако при нагревании выше 500 °С окисляется с образованием CO_2 и CO. Создавая восстановительную атмосферу, обладая плохой смачиваемостью чугуном и оксидами железа, графит является эффективным противопригарным материалом при изготовлении чугунных отливок.

В составах покрытий используют скрытокристаллический (аморфный) и кристаллический графиты.

Для приготовления покрытий следует использовать графиты с низким содержанием золы, в частности скрытокристаллический графит марок ГЛС-1, ГЛС-2 и кристаллический марок ГЛ-1, ГЛ-2.

Циркон – минерал класса силикатов $Zr[SiO_4]$. В составах покрытий применяют порошкообразный цирконовый концентрат, получаемый путем помола обогащенных цирконовых песков. Высокая теплопроводность циркона способствует ускорению охлаждения металла и кристаллизации отливок.

1. Физические свойства наполнителей

Наполнитель		Физико-химические свойства			
		Плотность, кг/м^3	Удельная поверхность, см^2/г	Температура плавления, °С	Коэффициент линейного расширения, 10^{-6} °С$^{-1}$
Графит скрытокристаллический (ГОСТ 5420–74)		2100...2250	5800...6100	–	–
Графит кристаллический (ГОСТ 5279–74)		2100...2300	2000...2500	–	–
Цирконовый концентрат	КЦП	4500...4700	4000...4500	2600	5,1
	КЦПТ		5500...6500		
Дистен-силлиманитовый концентрат (ТУ У14-10-017–98)		3200...3500	4500...5500	–	–
Пылевидный кварц		2700	3000...3500	1713	–
Тальк (ГОСТ 21234–75)		2700	2500...3500	1200	–

Дистен-силлиманит относится к природным алюмосиликатам с общей формулой $Al_2O_3 \cdot SiO_2$. В покрытиях используют дистен-силлиманитовый концентрат марки КДСП, получаемый при переработке циркона и рутила.

Пылевидный кварц получают при помоле кварцевого песка. При температуре 575 °С он претерпевает полиморфные превращения β-кварц → α-кварц, сопровождающиеся резким увеличением объема.

Тальк – магнезиальный силикат $3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$. Он характеризуется чешуйчатым (пластинчатым) строением частиц. В покрытиях следует использовать среднемолотый тальк.

В работе [2] отмечено, что на практике применяют комбинированные наполнители комплексного действия, включающие материалы разной природы. Например, при изготовлении чугунных отливок для борьбы с пригаром в тепловых узлах форм иногда необходимо использовать покрытия на основе огнеупорных оксидов, в частности цирконового концентрата или электрокорунда. Однако такие покрытия образуют на поверхности отливок шероховатый неметаллический слой, который не удаляется полностью даже при дробеметной очистке. Формирование такого слоя объясняется смачиваемостью частиц наполнителя жидким металлом. В этом случае в покрытия вводят 10...50 % от массы наполнителя скрытокристаллического графита, что обеспечивает уменьшение смачиваемости защитного слоя расплавом и создание в форме восстановительной атмосферы.

Кроме того, при производстве отливок из чугуна получил распространение наполнитель, состоящий из графита и пылевидного кварца. Покрытия на основе таких композиций обладают более высокой трещиноустойчивостью в сравнении с традиционными составами, включающими лишь графит. Это связано с повышением химического сродства защитного слоя с кварцевой основой формы (при введении пылевидного кварца) и уменьшением разницы значений термической деформации покрытия и подложки. Для средних и крупных отливок содержание пылевидного кварца не должно превышать 40 % от массы графита; большее его количество приводит к ухудшению качества отливок. Например, для массивных отливок эффективным является комбинированный наполнитель, включающий, % мас.: 60 скрытокристаллического графита, 10 кристаллического графита и 30 пылевидного кварца.

Связующие, суспензирующие вещества, растворители, поверхностно-активные вещества и антисептики. *Связующие* (пленкообразователи) – важнейшие компоненты покрытий, от правильного выбора которых во многом зависит способность создаваемого защитного слоя сохранять сплошность и прочность сцепления с подложкой.

Связующие должны растворяться в используемом растворителе и формировать пленки по заданному режиму отверждения.

Для предупреждения быстрого расслаивания суспензий и образования трудноразмешиваемых осадков вводят *суспензирующий компонент,* обеспечивающий кинетическую (седиментационную) и агрегативную устойчивость наполнителя. С этой целью используют набухающие материалы.

2. Свойства растворителей [2]

Растворитель	Плотность при 20 °С, кг/м^3	ПДК$_{р.з.}$, мг/м^3	Температура вспышки (в закрытом тигле), °С	Температура кипения, °С	Скорость испарения, мин	Состав, % мас.
Этиловый технический спирт (ГОСТ 17299–78, ГОСТ 18300–87)	790...800	1000	13	78...78,3	71	–
Изопропиловый спирт (ГОСТ 9805–84)	814...819	10	14	81...84	78	–
Ацетон (ГОСТ 2768–84)	730	200	–18	55...56	14	–
Бензин марки БР-1	730	300	–17	88...110	31	–
Бутилацетат (ГОСТ 8981–78)	875	200	22	110	120	–
Комбинированные растворители						
Растворитель 646 (ГОСТ 18188–72)	820...845	–	–	–	180	Бутилацетат-10; этилцеллозольв-8; ацетон -7; бутиловый спирт-15; этиловый спирт-10; толуол-50
Растворитель антипригарных красок АПК (ТУ 2-043-677–78)	750	–	–	55...140	–	Ацетон-22; бензин марки БР-1-12; этиловый спирт-66

Примечание. Скорость испарения определяли, фиксируя время испарения 1 см^3 растворителя, помещенного на часовое стекло диаметром 95 мм при 20 °С.

Выбор *растворителя* зависит от состава формовочной или стержневой смеси и условий применения покрытий. Растворители – это низкокипящие, летучие жидкости, используемые в составах самовысыхающих покрытий. Они должны отвечать химико-технологическим и экологическим требованиям: иметь хорошую растворяющую способность, оптимальную скорость испарения, минимальную токсичность и взрывоопасность.

Если один растворитель не удовлетворяет необходимым требованиям, используют комбинированные растворители.

В табл. 2 приведены некоторые свойства растворителей, применяемых в литейном производстве.

Составы покрытий

При подборе состава покрытия основными исходными данными являются вид сплава, масса отливок, особенности формовочных или стержневых смесей. Сплав обусловливает выбор огнеупорного наполнителя, а масса изготовляемой отливки – связующей системы. Чем крупнее отливка и толще ее стенки, тем большую термическую прочность должно иметь покрытие.

На песчано-смоляных стержнях и формах покрытия прежде всего должны обеспечивать повышение термической прочности и уменьшение термической деформации поверхности.

В случае использования неуплотняемых жидкостекольных смесей (ЖСС) необходимо, чтобы покрытия обладали хорошей проникающей способностью, сокращали пористость поверхностного слоя. Жидкостекольные смеси с отвердителями сложноэфирного типа при увлажнении разупрочняются, и это надо учитывать при выборе покрытия.

Для отливок из чугуна отечественная промышленность выпускает водные, самотвердеющие и самовысыхающие покрытия. В табл. 3 представлены марки и некоторые свойства водных покрытий, а в табл. 4 при-

3. Водные покрытия, поставляемые отечественной промышленностью [2]

Марка покрытия (ГОСТ или ТУ)	Наполнитель	Состояние поставляемого покрытия		Рекомендуемая плотность при разведении, кг/м^3	Технические требования к покрытиям, разведенным до рекомендуемой плотности		
		Форма поставки	Влажность, % не более		Вязкость (по ВЗ-3), с, не более	Седиментационная устойчивость, %, не менее	Прочность на истирание, кг/мм, не менее
ГП-1 (ГОСТ 10772–78)	Графит скрытокристаллический	Паста	35	1280...1300	25	98	2,0
ГП-2 (ГОСТ 10772–78)				1300...1350	20	95	1,0
ГКП-1 (ТУ 2-043-837–82)	Графит скрытокристаллический, кварц пылевидный			1300...1400	25	98	2,0
ГКГ-3 (ТУ 2-043-1144–88)		Гранулы	5	1350...1400	20	98	1,5
КсП-1 (ТУ 2-043-504–76)	Пылевидный кварц, графит скрытокристаллический	Паста	27	1380...1420	15	85	1,0
КсП-2 (ТУ 2-045-587–78)			28	1370...1400			0,5
ЦП-2 (ГОСТ 10772–78)	Цирконовый концентрат		16	1950...2000	16	92	1,5
ЦС-1М (ТУ 2-043-1183–87)		Порошкообразная композиция	3	1900...2100	25	97	2,0
ТП-1 (ГОСТ 10772–78)	Тальк	Паста	35	1350...1400	20		3,0
ТП-2 (ГОСТ 10772–78)				1400...1420		95	1,0
КсТ-1 (ТУ 2-043-504–76)			32	1380...1410	15		1,5

4. Рекомендации по применению водных покрытий (в соответствии с табл. 3)

Марка покрытия	Область применения
ГП-1; ГКП-1; ГКГ-3	Для форм и стержней мелких и крупных чугунных отливок
ГП-2; ТП-1	Для форм и стержней мелких и средних чугунных отливок
ТП-2; КсТ-1; КсП-1	Для форм и стержней мелких чугунных отливок
КсП-2	Для форм и стержней мелких и средних (тонкостенных) чугунных отливок
ЦП-2; ЦС-1М	Для форм и стержней крупных чугунных отливок

ведены рекомендации по их применению при изготовлении чугунных отливок, поставляемых централизованно.

Многие литейные цеха сами изготавливают водные покрытия с использованием различных исходных материалов. В табл. 5 и 6 приведены составы с органическими и неорганическими связующими материалами; рекомендации по назначению этих покрытий приведены в табл. 7.

Достоинством водных самотвердеющих покрытий является хорошая вентиляция окрашенных форм (стержней) при их выстаивании, высокая газопроницаемость и низкая газотворная способность покрытий. В табл. 8 приведены примеры составов самотвердеющих покрытий, содержащих неорганические связующие и формирующих термопрочные пленки.

Самовысыхающие покрытия поставляют в виде готовых к употреблению суспензий. Эти суспензии достаточно стабильны при хранении; в случае длительного выстаивания в них формируется мягкий, легко размешиваемый осадок.

В табл. 9 и 10 приведены составы таких покрытий, а в табл. 11 – рекомендации по их применению.

Самовысыхающие покрытия наносятся кистью или распылением. Отверждают провяливанием окрашенных форм и стержней. Длительность отверждения в значительной степени зависит от температуры окружающей среды.

5. Составы водных покрытий с органическими связующими [2], % мас.

Компонент	Номер состава						
	1	2	3	4	5	6	7
Скрытокристаллический графит	84,0	67,0	–	–	–	–	87,0
Кристаллический графит	8,0	–	–	–	–	–	8,5
Цирконовый концентрат	–	–	92,0	–	–	–	–
Дистен-силлиманитовый концентрат	–	–	–	91,0	–	–	–
Электрокорунд (ПЭЛ)	–	–	–	–	91,0	–	–
Хромит	–	–	–	–	–	–	–
Тальк	–	–	–	–	–	92,0	–
Пылевидный кварц	–	24,5	–	–	–	–	–
Шунгит	–	–	–	–	–	–	–
Бентонит	3,0	3,5	4,5	4,0	3,5	3,5	3,0
Крахмалит	1,5	1,5	1,0	1,5	1,0	1,5	–
Натрий-карбоксиметил-целлюлоза	–	–	–	–	–	–	1,5
Лигносульфонаты технические	3,5	3,5	2,5	3,5	4,5	3,0	–
Связующее ПТО	–	–	–	–	–	–	–
Дисперсная поливинил-ацетатная (ПВА)	–	–	–	–	–	–	–
Воду добавляют до следующей рекомендуемой плотности, кг/м^3	1250...1300	1300...1400	1900...2100	1600...1700	1800...2000	1350...1400	1250...1280

Компонент	Номер состава						
	8	9	10	11	12	13	14
Скрытокристаллический графит	–	80,0	–	–	44,0	80,0	–
Кристаллический графит	–	8,0	–	–	–	10,0	–
Цирконовый концентрат	95,0	–	–	–	–	–	–
Дистен-силлиманитовый концентрат	–	–	–	–	–	–	–
Электрокорунд (ПЭЛ)	–	–	–	–	–	–	–
Хромит	–	–	85,0	–	–	–	–
Тальк	–	–	–	–	–	–	92,0
Пылевидный кварц	–	–	–	–	–	–	–
Шунгит	–	–	–	89,0	44,0	–	–
Бентонит	3,0	–	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5
Крахмалит	–	–	–	–	–	–	–
Натрий-карбоксиметил-целлюлоза	2,0	–	–	–	–	–	–
Лигносульфонаты технические	–	4,0	11,5	8,0	9,0	1,0	–
Связующее ПТО	–	–	–	–	–	6,0	5,5
Дисперсная поливинил-ацетатная (ПВА)	–	8,0	–	–	–	–	–
Воду добавляют до следующей рекомендуемой плотности, кг/м^3	1820...1950	1200...1270	1650...1850	1450...1550	1350...1500	1300...1340	1320...1360

П р и м е ч а н и е. В составах 1...5 вместо крахмалита можно использовать декстрин.

6. Составы водных покрытий с неорганическими связующими [2], % мас.

Компонент	Номер состава			
	1	2	3	4
Скрытокристаллический графит	52,0...58,0	–	–	–
Кристаллический графит	8,0	–	–	–
Цирконовый концентрат	–	–	68,0	68,0
Электрокорунд (ПЭЛ)	–	90,0	–	–
Пылевидный кварц	25,0	–	–	–
Бентонит	2,0	–	–	–
Жидкое стекло	6,0...10,0	7,0	5,0	–
Водный раствор Na-КМЦ	–	–	27,0	12,0...17,0
Водный раствор триполифосфата натрия плотностью 1150 кг/м^3	–	–	–	15,0...20,0
Едкий натр (технический)	3,0	–	–	–
Мочевина	4,0	–	–	–
Декстрин	–	3,0	–	–
Воду добавляют до следующей рекомендуемой плотности, кг/м^3	1250...1300	1850...1950	–	–

Примечания: 1. Жидкое стекло используют с плотностью 1470...1500 кг/м^3 и силикатным модулем 2,7...3,0.
2. В состав 3 вводят раствор Na-КМЦ вязкостью (по ВЗ-4) 19...20 с, в состав 4 – 50...55 с.

7. Рекомендуемая область применения водных покрытий в чугунном литье

Номер состава покрытия	Мелкие, средние и крупные тонкостенные отливки	Средние и крупные толстостенные отливки
В соответствии с табл. 5		
1	++	+
2	++	+
3	–	+^{*1}
4	–	–
5	–	+^{*1}
6	+	–
7	++	+
8	–	+^{*1}
9	++	–
10	–	–
11	++	–
12	++	+
13	++	+
14	+	–
В соответствии с табл. 6		
1	+	++
2	–	+^{*1}
3	–	+^{*1}
4	–	+^{*1}

Обозначения: + возможно использование; ++ предпочтительное использование; +^{*1} в состав покрытия следует вводить скрытокристаллический графит (10...50 % от массы наполнителя).

8. Составы самотвердеющих покрытий [2], % мас.

Компонент	Номер состава		
	1	2	3
Скрытокристаллический графит	33,0	–	–
Цирконовый концентрат	–	64,0	45,0
Пылевидный кварц	45,0	–	–
Алюмохромофосфатное связующее (АХФС)	21,2...21,6	25,2...25,6	–

Компонент	Номер состава		
	1	2	3
Жидкое стекло (плотность 1190...1210 кг/м^3, силикатный модуль 2,6...3,0)	–	–	44,0
Сульфонол	0,4...0,8	0,4...0,8	–
Нейтрализованная ортофосфорная кислота (плотность 1200 кг/м^3, pH = 6,2...6,4)	–	–	11,0
Воду добавляют до следующей рекомендуемой плотности, кг/м^3	1460...1470	2500...2600	–
Живучесть, ч	> 12	> 12	8
Скорость отверждения при 20 °С, ч	2,0...2,5	1,5...2,0	0,5

9. Составы самовысыхающих покрытий с органическими связующими [2], % мас.

Компонент	Номер состава						
	1	2	3	4	5	6	7
Скрытокристаллический графит	35,0	–	31,6	35,0	–	44,0...48,0	–
Кристаллический графит	10,0	–	5,0	8,0	–	5,0	–
Цирконовый концентрат	–	–	–	–	58,0	–	63,0
Тальк	–	42,0	–	–	–	–	–
Поливинилбутираль	2,5	2,5	1,9	1,5	2,0	1,0	1,2
Древесный пек	–	–	5,5	–	–	–	–
Фенолоформальдегидная смола	–	–	–	3,0	2,5	–	–
Железоокисный пигмент	–	–	–	–	–	0,0...4,0	–
Смола ФФ-1СМ	–	–	–	–	–	5,0	5,5
Растворитель 646	–	–	11,0	–	–	–	–
Растворитель АПК или спирт	52,5	55,5	45,0	52,5	37,5	41,0	30,3
Плотность покрытия, кг/м^3	1100...1200	1080...1150	1140...1160	1100...1200	1750...1850	1100...1200	1750...1850

10. Составы самовысыхающих покрытий с кремнийорганическими связующими [2], % мас.

Компонент	Номер состава					
	1	2	3	4	5	6
Цирконовый концентрат	68...72	–	–	–	65...75	–
Электрокорунд	–	60...62	–	–	–	–

Компонент	Номер состава					
	1	2	3	4	5	6
Скрытокристаллический графит	–	–	25,6...27,2	–	–	25...28
Кристаллический графит	–	–	6,4...6,8	–	–	5...7
Тальк	–	–	–	30...32	–	–
Смола К-9 (или КМ-9К)	2,1...2,5	2,7...3,1	4,7...5,2	4,8...5,2	–	–
Поливинилбутираль	0,8...0,9	0,9...1,0	0,6...0,7	0,7...0,8	–	–
Лак ВКЛ	–	–	–	–	25...35	65...70
Растворитель	25...27	35...36	61...62	62...63	–	–
Плотность покрытия, кг/м^3	1850...1950	1600...1650	1150...1200	1100...1150	1850...1950	1150...1200

11. Рекомендуемая область применения самовысыхающих покрытий в чугунном литье [2]

Номер состава покрытия	Мелкие, средние и крупные тонкостенные отливки	Средние и крупные толстостенные отливки	Номер состава покрытия	Мелкие, средние и крупные тонкостенные отливки	Средние и крупные толстостенные отливки
В соответствии с табл. 9			В соответствии с табл. 10		
1	++	+	1	–	+^{*1}
2	+	–	2	–	+^{*1}
3	++	+	3	+	++
4	++	+	4	++	+
5	–	+^{*1}	5	–	+^{*1}
6	++	+	6	+	++
7	–	+			

Обозначения: + возможно использование; ++ предпочтительное использование; +^{*1} в состав покрытия следует вводить скрытокристаллический графит (10...50 % от массы наполнителя).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Кирюхина Т.Н., Кузьмин Н.Н.** Противопригарные наполнители для формовочных красок // Заготовительные производства в машиностроении. 2006. № 7. С. 10–12.

2. **Формовочные** материалы и технология литейной формы: Справ. / С.С. Жуковский, Г.А. Анисович, Н.И. Давыдов и др. // под ред. С.С. Жуковского. М.: Машиностроение, 1993. 432 с.

Алексей Иванович Беляков, канд. техн. наук;
Джузеппе Маццарелли, член совета директоров завода;
Алексей Алексеевич Беляков, инженер;
Анатолий Алексеевич Жуков, канд. техн. наук

И.К. Кульбовский, А.Н. Поддубный, Р.А. Богданов, С.В. Булдин
(Брянский государственный технический университет)

Влияние химического состава на свойства и структуру высокопрочного чугуна

Рассмотрены вопросы появления отдельных колоний пластинчатого (ПГ) и вермикулярного (ВГ) графита в структуре высокопрочного чугуна (ВЧ) и их влияние на механические свойства чугуна. Исследовано влияние содержания $Mg_{ост}$ в ВЧ на содержание в его структуре ПГ и ВГ. Показана направленность влияния суммарного содержания (C + Si) на количество перлита и феррита в деталях из ВЧ50.

Questions of occurrence of separate colonies of lamellar (PG) and vermiculy (VG) graphite in structure of high-strength pig-iron (VCh) and their influence on mechanical properties of pig-iron are considered. Influence of Mg_{ost} content in VCh on the contents in his structure PG and VG is investigated. The orientation of influence of the total content (C + Si) on quantity of perlite and ferrite in details made of VCh50 is shown.

Чугун с шаровидным графитом (ЧШГ) является универсальным конструкционным материалом, обладающим комплексом ценных физико-химических свойств, которые в сочетании с его высокими прочностными характеристиками и особенно повышенной пластичностью делают его характерным материалом для изготовления литых изделий особо ответственного назначения. Это относится к деталям для судовых дизелей, изготовляемых на ЗАО УК "Брянский машиностроительный завод" (БМЗ) из высокопрочного чугуна (ВЧ) марок ВЧ40 и ВЧ50 по ГОСТ 7293–85. При этом по требованиям ТУ должны быть обеспечены: пластичность для ВЧ40 $\delta \geq 15$ %, для ВЧ50 $\delta \geq 7$ %; содержание перлита (П) в структуре чугуна ВЧ50 П > > 90 %, а в структуре чугуна ВЧ40 – П < 10 %; в структуре отливок недопустим цементит (Ц) и содержание вермикулярного графита (Г) свыше 10 %.

Сложность заключается в том, что на производстве не получают отливки из ВЧ40 и ВЧ50, которые соответствовали бы требованиям ТУ по механическим свойствам, особенно пластичности. Значительную трудность представляет также получение необходимой перлитной структуры в отливках из этих чугунов.

Для решения указанных задач авторы в сотрудничестве с работниками завода выполнили работы, по результатам которых разработан и освоен техпроцесс изготовления отливок из ЧШГ в соответствии с ГОСТ 7293–85 и требованиям ТУ завода.

Для выявления влияния формы графита на механические свойства и структуру ВЧ провели исследования микроструктур и свойств большого числа отливок из ВЧ40 и ВЧ50, изготовляемых на ЗАО УК "БМЗ".

Анализ данных показывает, что в 15 % плавок в структуре чугуна содержится вермикулярный графит (ВГ) > 15 %. При таком содержании ВГ механические свойства чугуна резко снижаются, особенно δ, величина которого становится менее 7 % (рис. 1).

Проведенные исследования показали, что содержание ВГ >15 % в структуре чугуна достигается при снижении содержания в нем $Mg_{ост}$ < 0,040 % мас. (рис. 2). Причинами пониженного содержания $Mg_{ост}$ в чугуне могут быть высокая температура жидкого металла при сливе его в ковш, способствующая усиленному испарению Mg из модификатора; низкая температура слива жидкого металла в ковш, не обеспечивающая полное усвоение модификатора; пониженный расход модификатора либо пониженное содержание в нем Mg из-за нарушения техпроцесса при приготовлении модификатора и модифицировании.

Следовательно, для обеспечения $Mg_{ост}$ > 0,040 %, обеспечивающего получение в структуре ВЧ содержание ВГ < 10 %, а шаровидного графита (ШГ) > 90 %, необходимо выбирать оптимальную температуру мо-

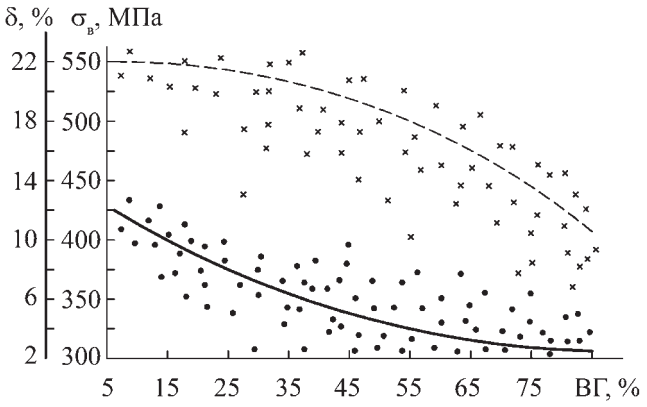


Рис. 1. Влияние содержания ВГ в структуре ВЧ на его механические свойства:
● – δ; × – $\sigma_в$

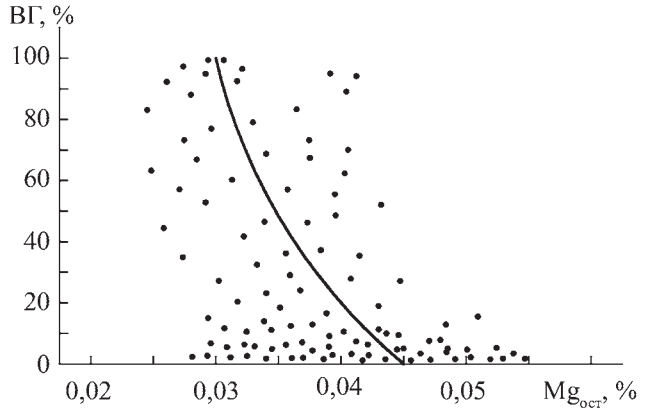


Рис. 2. Влияние содержания $Mg_{ост}$ в ВЧ на содержание в его структуре ВГ

дифицирования и оптимальный состав и расход модификатора.

Особенно сильно снижает механические свойства чугуна пластинчатый графит (ПГ). Анализ показал, что ПГ в структуре отливок из ВЧ появляется, как правило, при снижении содержания в нем $Mg_{ост}$ < 0,03 %, при этом резко снижаются его механические свойства: δ < < 1,5 %; $\sigma_в$ < 300 МПа. Но ПГ может появляться в структуре ВЧ в виде отдельных колоний и при $Mg_{ост}$ > > 0,04 %, что придает хрупкость отливкам. Это показали исследования структуры и свойств ВЧ плавок № 1 и 2 (таблица). Из таблицы видно, что механические свойства образцов плавки № 1 ниже требований ТУ для ВЧ50, при этом в их структуре при исследовании обнаружены отдельные колонии ВГ и ПГ.

Анализ структуры образца, залитого из ковша, показал, что в его изломе в верхней части имеется темная область, характерная для серого чугуна. Исследование структуры этой области показало, что в ней содержатся колонии ВГ, ПГ и аномального ШГ (разорванного, нитевидного), а также отдельные очень крупные включения ПГ в виде графитной спели.

Все это является причиной снижения механических свойств чугуна плавки № 1. При этом аналогичную картину наблюдали в изломе залитых из чугуна этой плавки деталей, которые хрупко разрушались. Для выяснения причин появления ПГ и графитной спели в структуре отливок из ВЧ провели исследование содержания C, Si и Al в плавке № 2.

Из таблицы видно, что перед сливом чугуна из печи в ковш он содержал большое количество C, пониженное количество Si и не содержал Al. После модифицирования содержание C в чугуне снизилось примерно на 0,6 %, содержание Si повысилось примерно на 2 % и появился Al.

Это дает основание полагать, что резкое повышение содержания Si в чугуне при его модифицировании модификатором МДС, состоящим из порошка ФС75 и порошка Mg, разработанного НПО "ЦНИИТМАШ", приводит к снижению растворимости C в жидком чугуне, что способствует выделению графитной спели и появлению колоний ПГ. Дополнительно этому способствует Al , содержащийся в ФС75. И хотя механические свойства образцов плавки № 2 соответствовали ТУ для ВЧ50, однако залитые из этой плавки детали хрупко разрушались и в их изломе также на-

Химический состав, микроструктура и механические свойства чугунов опытных плавок

№ плавки	Наименование образца	Содержание элементов, % мас.							Микроструктура, %					Механические свойства	
		C	Mn	Si	P	S	$Mg_{ост}$	Al	П	Ц	Графит			δ, %	$\sigma_в$, МПа
											ШГ	ВГ	ПГ		
1	Плавочный из ковша	3,38	0,27	3,47	0,064	0,008	0,055	Не измеряли	5	–	100	Отдельные колонии ВГ и ПГ		3,5	470
	Из ковша после модифицирования	3,46	0,30	3,38	0,068	0,012	0,066	0,07	15	–	100				
2	Плавочный из печи	3,90	0,34	1,45	0,079	0,013	–	–	–	–	–	Отдельные колонии ВГ и ПГ		11	561
	Плавочный из ковша	3,31	0,34	3,39	0,079	0,012	0,068	0,04	15	–	100				
	Из ковша после модифицирования	3,46	0,32	3,60	0,075	0,009	0,059	0,05	15	–	100				

блюдали темную зону, аналогичную на изломе образца, и на изломе деталей из чугуна плавки № 1.

Следовательно, для предотвращения появления в структуре отливок из ВЧ колоний ПГ, ВГ, аномального ШГ и графитной спели, снижающих его механические свойства, необходимо ограничивать содержание Si в чугуне перед модифицированием его модификатором МДС, который вносит его около 2 %, а используемый для его приготовления ФС75 не должен содержать Al или содержать минимальное его количество. Для этого необходимо выплавлять чугун, содержащий до модифицирования не более 1 % Si и до 1 % C.

Для улучшения усвоения Mg из модификатора МДС температуру слива чугуна из печи рекомендуется поддерживать на уровне 1450...1470 °С.

Расход модификатора МДС необходимо поддерживать оптимальным, зависящим от содержания S в чугуне перед сливом его из печи, и массы металла.

Содержание в чугуне $Mg_{ост}$ должно быть не менее 0,04 %; в изломе образца должны отсутствовать темные области.

Проведен анализ совместного влияния (C + Si) на микроструктуры отдельных характерных отливок из ВЧ50, изготовляемых на ЗАО УК "БМЗ".

На рис. 3 приведена зависимость количества перлита и феррита в отливках цилиндра, звена, толкателя из ВЧ50 от суммарного значения содержания в чугуне C и Si.

Из рис. 3 видно, что с увеличением содержания (C + Si) в чугуне количество П в его структуре уменьшается, а Ф увеличивается. В структуре образца требуемое ТУ для ВЧ50 П ≥ 10 % стабильно достигается при значении (C + Si) ≤ 6,2 %, а для ВЧ40 Ф ≥ 90 % – при (C + Si) ≥ 6,4 %.

Количество П и Ф в отливках определяется тепловыми условиями кристаллизации последних, зависящими от массы и толщины стенок отливок, что наглядно видно из рис. 3. Например, требуемое ТУ для ВЧ50 значение П ≥ 10 % в отливке звена с малой массой и малой толщиной стенок обеспечивается при (C + Si) ≤ 7 %; в отливке толкателя со средними значениями толщин стенок и массы – при (C + Si) ≤ 6,4 %, а в массивной отливке цилиндра – при (C + Si) ≤ 6 %.

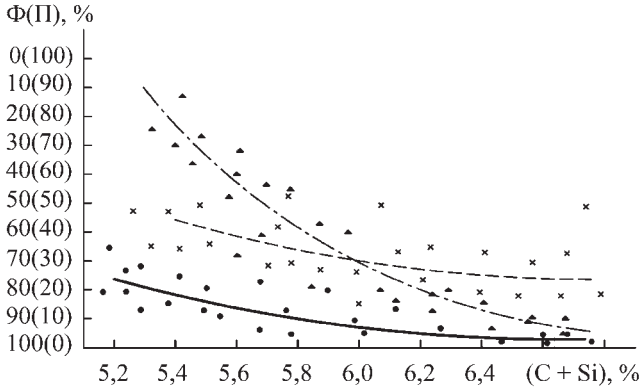


Рис. 3. Влияние содержания (C + Si) на количество П и Ф в отливках из чугуна ВЧ50:

●— – цилиндр (250 кг); × – – – – – звено (5 кг); ▲ -·-·-·- – толкатель (65 кг)

Таким образом, для обеспечения требуемой ТУ структуры металлической основы чугуна отливок из ВЧ их необходимо разделить на технологические группы, близкие по условиям кристаллизации, и для каждой группы установить оптимальное содержание (C + Si). Анализ показал также, что количество П в структуре чугуна повышается с увеличением содержания в нем Mn ≥ 0,4 %. Поэтому для получения чугуна ВЧ40 необходимо ограничивать содержание Mn ≤ ≤ 0,4 %.

Иван Кузьмич Кульбовский, д-р техн. наук;
Анатолий Никифорович Поддубный, д-р техн. наук;
Роман Александрович Богданов, инженер;
Сергей Васильевич Булдин, инженер

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

Литейные конструкционные легированные стали и их зарубежные аналоги

Приведены марки, химический состав и механические свойства после термообработки литейных конструкционных легированных сталей и их зарубежных аналогов.

The article brings the grades, chemical compound and mechanical properties after thermal treatment of cast construction alloyed steels and its foreign analogs.

Легирование литейных сталей осуществляется главным образом исходя из требований по механическим или специальным служебным свойствам. Литейные свойства низколегированных сталей практически совпадают с литейными свойствами углеродистых сталей при соответствующем содержании углерода. У средне- и высоколегированных сталей эти свойства, как правило, хуже, чем у углеродистых сталей.

Легированные конструкционные литейные стали содержат по 0,5...1,5 % основных легирующих элементов – Cr, Ni, Si, Mn, Cu. Концентрация углерода обычно не превышает 0,35...0,40 % (во избежание сильного снижения пластичности). Для улучшения технологических свойств, измельчения зерна и повышения ударной вязкости в стали вводят добавки Mo, V (0,05...0,3 %) и Ti (0,05...0,1 %). При легировании в этих пределах сталь, как правило, принадлежит к перлитному классу и в нормализованном состоянии имеет ферритно-перлитную структуру.

В табл. 1 приведены сведения по применению литейных конструкционных легированных сталей.

В настоящее время наблюдается тенденция к расширению областей применения литейных конструкционных легированных сталей, особенно низколегированных, так как при сравнительно небольших затратах на легирование стали можно повысить ее меха-

1. Применение литейных конструкционных легированных сталей

Марка стали	Назначение
20ГЛ, 35ГЛ	Для дисков, звездочек, зубчатых венцов, барабанов и других деталей, работающих под действием статических и динамических нагрузок и к которым предъявляют высокие требования по прочности и вязкости. Сталь 35ГЛ можно также применять для тяжело нагруженных деталей экскаваторов, крышек подшипников, цапф
20ГСЛ, 20ГСФЛ	Для корпусных деталей гидротурбин, лопастей гидротурбин с облицовкой листами из коррозионно-стойкой стали. Для деталей повышенной прочности и деталей, работающих при температуре до 450 °С
30ГСЛ	Для зубчатых колес, роликов, обойм, зубчатых венцов, рычагов, фланцев, шкивов, секторов, колонн, ходовых колес и других деталей
20Г1ФЛ, 20ФЛ	Для деталей вагонов, металлургического и горно-добывающего оборудования
30ХГСФЛ	Для деталей экскаваторов
45ФЛ, 40ХЛ	Для износостойких литых деталей
32Х06Л	Для кронштейнов, балансиров, катков и других ответственных деталей со стенкой толщиной до 50 мм и общей массой детали до 80 кг
20ХМФЛ	Для деталей арматуры, корпусных деталей, цилиндров, работающих при температуре до 540 °С
20ГНМФЛ	Для сварных конструкций больших сечений, бандажей цементных печей
35ХМЛ, 20ХМЛ	Для крестовин, втулок, зубчатых колес, печных деталей и других ответственных деталей, от которых требуются высокие прочность и вязкость, работающих под действием статических и динамических нагрузок. Сталь 20ХМЛ может работать при температуре до 500 °С
35ХГСЛ	Для зубчатых колес, звездочек, осей, муфт и других ответственных деталей, от которых требуется повышенная износостойкость
30ХНМЛ, 35НГМЛ, 20ДХЛ	Для ответственных нагруженных деталей, от которых требуются высокая прочность и достаточная вязкость, работающих под действием статических и динамических нагрузок. Сталь 30ХНМЛ может работать при температуре до 400 °С
08ГДНФЛ, 13ХНДФТЛ, 12ДН2ФЛ	Для различных деталей судостроения и сварных конструкций, ответственных нагруженных деталей, от которых требуются достаточные прочность и вязкость, работающих под действием статических и динамических нагрузок при температуре соответственно до 350, 500 и 400 °С
23ХГС2МФЛ	Для деталей ответственного назначения со стенкой толщиной до 30 мм, работающих в условиях циклических и ударных нагрузок и ударно-абразивного изнашивания
12Х7Г3СЛ, 25Х2ГНМФЛ	Для ответственных высоконагруженных деталей со стенкой толщиной соответственно до 100 и 50 мм, работающих в условиях статических и динамических нагрузок
27Х5ГСМЛ	Для высоконагруженных деталей ответственного назначения со стенкой толщиной до 50 мм, работающих в условиях ударных нагрузок и ударно-абразивного изнашивания
03Н12Х5М3ТЮЛ, 03Н12Х5М3ТЛ, 30Х3С3ГМЛ	Для высоконагруженных деталей ответственного назначения со стенкой толщиной соответственно до 200, 200 и 30 мм, к которым предъявляются требования высокой прочности и достаточной вязкости

нические свойства, а следовательно, уменьшить размеры сечения и массу литых деталей.

Маркировка отечественных литейных конструкционных легированных сталей:

первые цифры указывают среднюю или максимальную (при отсутствии нижнего предела) массовую долю углерода в сотых долях процента;

буквы за цифрами означают:

А – азот; Б – ниобий; В – вольфрам; Г – марганец; Д – медь; М – молибден; Н – никель; Р – бор; С – кремний; Т – титан; Ф – ванадий; Х – хром; Ю – алюминий; Ч – редкоземельные элементы; Л – литейная;

цифры, стоящие после букв, указывают примерную массовую долю легирующего элемента в процентах; при отсутствии числа содержание элемента не превышает 1 %.

Принятая в России система маркировки удобнее и нагляднее системы маркировки, принятой в США, Германии, Японии и других странах.

Обозначение зарубежных литейных конструкционных легированных сталей аналогично обозначению литейных конструкционных нелегированных сталей. В стандарте DIN 17182 (Германия) буква N после марки обозначает нормализацию, а буква V – улучшение.

В табл. 2 приведен химический состав литейных конструкционных легированных сталей России и их зарубежных аналогов, а в табл. 3 – сталей, не имеющих зарубежных аналогов [1].

Свойства отливок из легированных марок сталей и требования, предъявляемые к ним, определяются стандартами, ведомственными нормами и техническими условиями заказа.

Зарубежные стали общего назначения поставляются в состоянии после нормализации или нормализации с отпуском. Конкретные режимы не всегда оговариваются. При необходимости стали также подвергаются закалке с отпуском, без приведения в стандартах получаемых при этом свойств.

В табл. 4 указаны режимы термообработки и полученные после нее механические свойства сталей.

2. Химический состав, % мас., литейных конструкционных легированных сталей и их зарубежных аналогов

Страна, стандарт	Марка стали	C	Mn	Si	P	S	Cr	Прочие
					не более или в пределах			
Россия, ГОСТ 977–88	**20ГЛ**	0,15...0,25	1,20...1,60	0,20...0,40	0,04	0,04	–	–
США, ASTM:								
A 216M	Grade WCC	0,25	1,20	0,60	0,04	0,045	–	–
A 352M	LCC	0,25	1,20	0,60	0,04	0,045	–	–
Германия, DIN 17182	GS-l6Mn5	0,25	1,0...1,5	0,60	0,025	0,02	–	–
	GS-20Mn5	0,23	1,0...1,5	0,60	0,025	0,02	–	–
Япония, JIS G 5111	SCMn1	0,23...0,30	1,0...1,6	0,30...0,60	0,04	0,04	–	–
Франция, NF A 32-054	20M6-M	0,23	1,7	0,60	0,04	0,035	–	–
Россия, ГОСТ 977–88	**35ГЛ**	0,30...0,40	1,20...1,60	0,20...0,40	0,04	0,04	–	–
Япония, JIS G 5111	SCMn2	0,25...0,30	1,0...1,6	0,30...0,60	0,04	0,04	–	–
Франция, NF A 32-054	30M6-M	0,33	1,7	0,60	0,04	0,04	–	–
Россия, ГОСТ 977–88	**30ГСЛ**	0,25...0,35	1,10...1,40	0,60...0,80	0,04	0,04	–	–
Япония, JIS G 5111	SCSiMn2	0,25...0,35	0,90...1,20	0,50...0,80	0,04	0,04	–	–
Россия, ГОСТ 977–88	**20Г1ФЛ**	0,16...0,25	0,90...1,40	0,20...0,50	0,05	0,05	–	0,06...0,12 V; ≤ 0,05 Ti
США, ASTM A 487M	1	0,30	1,00	0,80	0,04	0,045	–	0,04...0,12 V
Франция, NF A 32-054	22MD5-M	0,25	1,40	0,60	0,04	0,035	–	0,04 V
Россия, ГОСТ 977–88	**20ФЛ**	0,14...0,25	0,70...1,20	0,20...0,52	0,05	0,05	–	0,06...0,12 V
США, ASTM A 732M	5N	0,30	0,70...1,00	0,20...0,80	0,04	0,045	–	0,05...0,15 V
Россия, ГОСТ 977–88	**30ХГСФЛ**	0,25...0,35	1,0...1,5	0,40...0,60	0,05	0,05	0,30...0,50	0,06...0,12 V
Япония, JIS G 5111	SCMnCr2	0,25...0,35	1,20...1,60	0,30...0,60	0,04	0,04	0,40...0,80	–
Франция, NF A 32-054	30MV6-M	0,33	1,7	0,60	0,04	0,035	0,50	0,08...0,12 V
Россия, ГОСТ 977–88	**20ХМЛ**	0,15...0,25	0,40...0,90	0,20...0,40	0,04	0,04	0,40...0,70	0,40...0,60 Mo

Страна, стандарт	Марка стали	C	Mn	Si	P	S	Cr	Прочие
					не более или в пределах			
США, ASTM A 356M	5	0,25	0,70	0,60	0,035	0,03	0,40...0,70	0,40...0,60 Mo
Германия, DIN 17245	GS-17Cr Mo5 5	0,15...0,20	0,50...0,80	0,30...0,60	0,02	0,015	1,00...1,50	0,45...0,55 Mo
Япония, J1S G 5151	SCPH21	0,20	0,50...0,80	0,60	0,04	0,04	1,00...1,50	0,45...0,55 Mo
Франция, NF A 32-051	18CD 2.05-M	0,14...0,22	1,00	0,60	0,03	0,03	0,40...0,65	0,45...0,70 Mo
Россия, ГОСТ 977–88	**20ХМФЛ**	0,18...0,25	0,60...0,90	0,20...0,40	0,025	0,025	0,90...1,20	0,20...0,30 V; 0,50...0,70 Mo
США, ASTM A 389M	C 23	0,20	0,30...0,80	0,60	0,04	0,045	1,00...1,50	0,15...0,25 V; 0,45...0,65 Mo
Германия, DIN 17245	GS-17Cr MoV5 11	0,15...0,20	0,50...0,80	0,30...0,60	0,02	0,015	1,20...1,50	0,20...0,30 V; 0,90...1,10 Mo
Япония, JIS G 5151	SCPH23	0,20	0,50...0,80	0,60	0,04	0,04	1,00...1,50	0,15...0,25 V; 0,90...1,20 Mo
Россия, ГОСТ 977–88	**35ХМЛ**	0,30...0,40	0,40...0,90	0,20...0,40	0,04	0,04	0,80...1,10	0,20...0,30 Mo
США, ASTM:								
A 487M	9	0,05...0,33	0,60...1,00	0,80	0,04	0,045	0,75...1,10	0,15...0,30 Mo
A 732M	7Q	0,25...0,35	0,40...0,70	0,20...0,80	0,04	0,045	0,80...1,10	0,15...0,25 Mo
Япония, JIS G 5151	SCCrM3	0,30...0,40	–	0,30...0,60	0,04	0,04	0,80...1,20	0,15...0,35 Mo
Франция, NF A 32-054	35CD4-M	0,30	1,00	0,60	0,04	0,035	0,80...1,20	0,15...0,35 Mo
Россия, ГОСТ 977–88	**35ХГСЛ**	0,30...0,40	1,00...1,30	0,60...0,80	0,04	0,04	0,60...0,90	–
Япония, JIS G 5111	SCMnCr3	0,25...0,35	1,20...1,60	0,30...0,60	0,04	0,04	0,40...0,80	–
Россия, ГОСТ 977–88	**30ХНМЛ**	0,25...0,35	0,40...0,90	0,20...0,40	0,04	0,04	1,3...1,6	1,3...1,6 Ni; 0,20...0,30 Mo
США, ASTM A 487M	10-A 10-B	0,30	0,60...1,00	0,80	0,04	0,04	0,55...0,90	1,14...2,00 Ni; 0,2...0,4 Mo
Франция, NF A 32-054	30NCD8-M	0,33	1,00	0,60	0,04	0,035	0,80...1,20	1,70...2,3 Ni; 0,3...0,6 Mo

3. Химический состав, % мас., литейных конструкционных легированных сталей, не имеющих зарубежных аналогов (ГОСТ 977–88)

Марка стали	C	Mn	Si	P	S	Cr	Прочие
				не более или в пределах			
20ГСЛ	0,16...0,22	1,00...1,30	0,60...0,80	0,03	0,03	–	–
40ХЛ	0,35...0,45	0,40...0,90	0,20...0,40	0,04	0,04	0,80...1,10	–
45ФЛ	0,42...0,50	0,40...0,90	0,20...0,52	0,03	0,03	–	0,05...0,10 V; 0,03 Ti
32Х06Л	0,25...0,35	0,40...0,90	0,20...0,40	0,05	0,05	0,50...0,80	–
20ГНМФЛ	0,14...0,22	0,70...1,20	0,20...0,40	0,03	0,03	0,3	0,07...1,00 Ni; 0,06...0,12 V; 0,15...0,25 Mo
35НГМЛ	0,32...0,42	0,80...1,20	0,20...0,40	0,04	0,04	–	0,80...1,20 Ni; 0,15... 0,25 Mo
20ДХЛ	0,15...0,25	0,50...0,80	0,20...0,40	0,04	0,04	0,80...1,10	1,40...1,60 Cu
08ГДНФЛ	0,10	0,60...1,00	0,15...0,40	0,035	0,035	–	1,15...1,55 Ni; 0,80...1,20 Cu; по расчету 0,10 V

Марка стали	C	Mn	Si	P	S	Cr	Прочие
				не более или в пределах			
23ХГС2МФЛ	0,18...0,24	0,50...0,80	1,80...2,00	0,025	0,025	0,60...0,90	0,10...0,15 V; 0,25...0,30 Mo
12Х7Г3СЛ	0,10...0,15	3,00...3,50	0,80...1,20	0,02	0,02	7,00...7,50	–
12ДН2ФЛ	0,08...0,16	0,40...0,90	0,20...0,50	0,03	0,03	0,30	1,80...2,20 Ni; 1,20...1,50 Cu; 0,08...0,15 V
13ХНДФТЛ	0,16	0,40...0,90	0,20...0,40	0,03	0,03	0,15...0,40	1,0...1,50 Ni; 0,65...0,90 Cu; 0,06...0,12 V; 0,04...0,10 Ti
12ДХН1МФЛ	0,10...0,18	0,30...0,55	0,20...0,40	0,03	0,03	1,20...1,70	1,40...1,80 Ni; 0,40...0,65 Cu; 0,08...0,15 V; 0,2...0,3 Mo
25Х2ГНМФЛ	0,22...0,30	0,70...1,10	0,30...0,70	0,025	0,025	1,40...2,00	0,30...0,90 Ni; 0,04...0,20 V; 0,2...0,5 Mo
27Х5ГСМЛ	0,24...0,28	0,90...1,20	0,90...1,20	0,02	0,02	5,00...5,50	0,55...0,60 Mo
30Х3С3ГМЛ	0,29...0,33	0,70...1,20	2,80...3,20	0,02	0,02	2,80...3,20	0,50...0,60 Mo
03Н12Х5М3ТЛ	0,01...0,04	0,20	0,20	0,015	0,015	4,50...5,00	12,0...12,5 Ni; 0,07...0,9 Ti; 2,5...3,0 Mo
03Н12Х5М3ТЮЛ	0,01...0,04	0,20	0,20	0,015	0,015	4,50...5,00	12,0...12,5 Ni; 0,7...0,9 Ti; 2,5...3,0 Mo; 0,25...0,45 Al

4. Механические свойства литейных конструкционных легированных сталей общего назначения после термообработки

Марка стали	Категория прочности	Режим термообработки	Толщина стенки пробы, мм	Твердость, HB	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	Ударная вязкость KCU, кДж/м^2
					МПа		%		
20ГЛ	К25	Нормализация 880...900 °С, отпуск 600...650 °С	100	–	540	275	18	25	491
	КТ30	Закалка 870...890 °С, отпуск 620...650 °С	100	–	530	334	14	25	383
Grade WCC	–	Отжиг. Нормализация	–	–	485...655	–	–	–	–
		Нормализация, отпуск				–	–	–	
		Закалка, отпуск				275	22	35	
LCC	–	Нормализация, отпуск 595 °С	–	–	485...655	–	–	–	–
		Закалка, отпуск 595 °С				275	22	35	

Марка стали	Категория прочности	Режим термообработки	Толщина стенки пробы, мм	Твердость, НВ	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	Ударная вязкость KCU, кДж/м^2
					МПа		%		
GS-16Mn5	N	Нормализация 910...960 °С	<40	–	430...600	260	25	–	–
			40...100			230	25		
GS-20Mn5	N	То же	<40	–	500...650	300	22	–	–
			40...100	–	500...650	260	22	–	–
			100...160	–	–	260	–	–	–
			>160	–	–	240	–	–	–
	V	Нормализация 900...960 °С, закалка 890...940 °С (масло или вода), отпуск 610...660 °С	<40	–	500...650	360	24	–	–
			40...100	–	500...650	300	24	–	–
			100...160	–	–	260	–	–	–
			>160	–	–	240	–	–	–
SCMn1	A	Нормализация 850...950 °С, отпуск 550...650 °С	–	143	540	275	17	35	–
	B	Закалка 830...950 °С, отпуск 550...650 °С	–	170	590	390	17	35	–
20М6-М	–	Нормализация 950...1000 °С	28	150	510	310	16	30	–
		Нормализация 950...1000 °С, отпуск 600...650 °С	28	140	480	300	18	35	–
		Закалка 950...1000 °С, отпуск 600...650 °С	28	160	550	400	18	35	–
35ГЛ	К30	Нормализация 880...900 °С, отпуск 600...650 °С	≤ 100	–	540	294	12	20	294
	КТ35	Закалка 850...860 °С, отпуск 600...650 °С	≤ 100	–	589	343	14	30	491
SCMn2	A	Нормализация 850...950 °С, отпуск 550...650 °С	–	163	590	345	16	35	–
	B	Закалка 830...950 °С, отпуск 550...650 °С	–	183	640	440	16	35	–

Марка стали	Категория прочности	Режим термообработки	Толщина стенки пробы, мм	Твердость, НВ	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	Ударная вязкость KCU, кДж/м^2
					МПа		%		
30М6-М	–	Нормализация 910...980 °С, отпуск 570...600 °С	28	160	580	350	16	30	–
		Закалка 910...980 °С, отпуск 600...650 °С	28	180	620	420	14	30	–
30ГСЛ	К35	Нормализация 870...890 °С, отпуск 570...600 °С	100	–	589	343	14	25	294
	КТ40	Закалка 930...950 °С, отпуск 570...650 °С	–	–	638	392	14	30	491
SCSiMn2	А	Нормализация 850...950 °С, отпуск 550...650 °С	–	163	590	295	13	35	–
	В	Закалка 850...950 °С, отпуск 550...650 °С	–	183	640	440	17	35	–
20Г1ФЛ	К30	Нормализация 930...970 °С, отпуск 600...650 °С	100	–	510	314	17	25	491
1	А	Нормализация 870 °С, отпуск 595 °С	–	–	585	380	22	40	–
22М5-М	–	Нормализация 950...980 °С, отпуск 650...700 °С	–	145	500	350	18	35	–
		Закалка 950...980 °С, отпуск 600...700 °С	–	170	600	450	16	35	–
20ФЛ	К30	Нормализация 920...960 °С, отпуск 600...650 °С	100	–	491	294	18	35	491
5N	–	Нормализация, отпуск	–	–	586	379	22	–	–
30ХГСФЛ	К40	Нормализация 900...930 °С, отпуск 600...650 °С	100	–	589	392	15	25	343
	КТ60	Закалка 900...920 °С, отпуск 630...670 °С	–	–	687	491	12	20	294

Марка стали	Категория прочности	Режим термообработки	Толщина стенки пробы, мм	Твердость, НВ	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	Ударная вязкость KCU, кДж/м^2
					МПа		%		
SCMnCr2	A	Нормализация 850...950 °С, отпуск 550...650 °С	–	170	590	370	13	30	–
	B	Закалка 850...950 °С, отпуск 550...650 °С	–	183	640	440	17	35	–
30MV6-M	–	Нормализация 930...980 °С, отпуск 640...660 °С	28	185	620	450	14	26	–
		Закалка 930...980 °С, отпуск 640...660 °С	28	195	650	500	12	24	–
20ХМЛ	К25	Нормализация 880...890 °С, отпуск 600...650 °С	≤ 100	–	441	245	18	30	294
5	–	Нормализация, отпуск 595 °С	–	–	485	275	22	35	–
GS-17CrMo5 5	–	Закалка 920...960 °С, отпуск 680...730 °С	–	–	490...540	315	20	–	–
18CD2.05-M	–	Нормализация 900...960 °С, отпуск 630...700 °С	28	155...200	500...650	300	18	–	–
20ХМФЛ	К25	Нормализация 970...1000 °С или 960...980 °С, отпуск 710...740 °С	–	–	491	275	16	35	294
C 23	–	Нормализация 1010...1065 °С, отпуск 675...730 °С	–	–	483	276	18	35	–
GS-17CrMoV5 11	–	Закалка 930...960 °С, отпуск 700...740 °С	–	–	590...780	440	15	–	–
SCPH23	–	Отжиг Нормализация Нормализация, отпуск Закалка, отпуск	–	–	550	345	13	35	–
35ХМЛ	К40	Нормализация 860...880 °С, отпуск 600...650 °С	100	–	589	399	12	20	294

Марка стали	Категория прочности	Режим термообработки	Толщина стенки пробы, мм	Твердость, НВ	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	Ударная вязкость KCU, кДж/м^2
					МПа		%		
35ХМЛ	КТ55	Закалка 860...870 °С, отпуск 600...650 °С	–	–	687	540	12	25	392
9	В	Закалка 870 °С, отпуск 595 °С	–	–	725	585	16	35	–
	D	Закалка 870 °С, отпуск 620 °С	–	–	690	515	17	35	–
7Q	–	Закалка, отпуск	–	–	1030	793	7	–	–
SCCrM3	A	Нормализация 850...950 °С, отпуск 550...650 °С	–	201	640	440	9	25	–
	B	Закалка 850...890 °С, отпуск 550...650 °С	–	217	740	540	9	25	–
35CD4-M	–	Нормализация 880...940 °С, отпуск 600...650 °С	28	240	750	520	12	20	–
		Закалка 880...940 ° С, отпуск 600...650 °С	28	250	800	650	10	18	–
35ХГСЛ	К35	Нормализация 870...890 °С, отпуск 570...600 °С	100	–	589	343	14	25	294
	КТ60	Закалка 870...890 °С, отпуск 630...670 °С	–	–	785	589	10	20	392
SCMnCr3	A	Нормализация 850...950 °С, отпуск 550...650 °С	–	183	640	390	9	25	–
	B	Закалка 850...950 °С, отпуск 550...650 °С	–	207	690	490	13	30	–
40ХЛ	КТ50	Закалка 850...860 °С, отпуск 600...650 °С	100	–	638	491	12	25	392
30ХНМЛ	К55	Нормализация 860...880 °С, отпуск 600...650 °С	100	–	687	540	12	20	294
	КТ65	Закалка 860...870 °С, отпуск 600...650 °С	100	–	785	638	10	20	392

Марка стали	Категория прочности	Режим термообработки	Толщина стенки пробы, мм	Твердость, НВ	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	Ударная вязкость KCU, кДж/м^2
					МПа		%		
10	A	Нормализация 845 °С, отпуск 595 °С	–	–	690	485	18	35	–
	B	Закалка 845 °С, отпуск 595 °С	–	–	860	690	15	35	–
30NCD8-M	–	Нормализация 820...880 °С, отпуск 600...650 °С	28	230	720	500	15	30	–
		Закалка 820...880 °С, отпуск 600...650 °С	28	260	850	650	12	25	–
12ДН2ФЛ	К55	Нормализация 910...930 °С, отпуск 530...560 °С	100	–	638	540	12	20	294
	КТ65	Нормализация 940...950 °С, закалка 890...910 °С, отпуск 560...600 °С	100	–	785	638	12	25	392
13ХНДФТЛ	К40	Нормализация 950...970 °С или 900...920 °С, отпуск 530...560 °С	100	–	491	392	18	30	491
12ДХН1МФЛ	К65	Нормализация 940...950 °С, 940...960 °С или 890...910 °С, отпуск 520...630 °С	100	–	785	638	12	20	294
	КТ75	Закалка 890...910 °С, отпуск 520...630 °С	100	–	981	735	10	20	294
20ГСЛ	К30	Нормализация 870...890 °, отпуск 570...600 °С	100	124...151	540	294	18	30	294
20ГСФЛ	К35	Литое состояние	50	–	693	470	11,8	16,5	–
		Отжиг 1000 °С, 10 ч, нормализация 970 °С, 9 ч или 810 °С, 12 ч, отпуск 620 °С, 24 ч	–	–	575	376	27	62,5	–
	К40	Отжиг 1000 °С, 10 ч, нормализация 970 °С, отпуск 620 °С, 24 ч	50	–	603	422	26	69	–

Марка стали	Категория прочности	Режим термообработки	Толщина стенки пробы, мм	Твердость, НВ	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	Ударная вязкость KCU, кДж/м^2
					МПа		%		
45ФЛ	К40	Нормализация 880...920 °С, отпуск 600...650 °С	100	–	589	392	12	20	294
	КТ50	Закалка 880...920 °С, отпуск 600...650 °С	100	–	687	491	12	20	294
32Х06Л	КТ45	Закалка 890...910 °С, отпуск 620...660 °С	100	–	638	441	10	20	491
20ГНМФЛ	К50	Нормализация 910...930 °С, отпуск 600...650 °С	–	202	589	491	15	33	491
	КТ55	Закалка 910...930 °С, отпуск 640...660 °С	–	217	687	540	12	25	392
35НГМЛ	КТ60	Закалка 860...880 °С, отпуск 600...650 °С	100	–	736	589	12	25	392
20ДХЛ	К40	Нормализация 880...890 °С, отпуск 560...600 °С	100	–	491	392	12	30	294
	КТ55	Закалка 880...890 °С, отпуск 560...600 °С	100	–	638	540	12	30	392
08ГДНФЛ	К35	Нормализация 920...950 °С или 920...950 °, отпуск 590...650 °С	–	–	441	343	18	30	491
23ХГС2МФЛ	КТ110	Нормализация 1000...1040 °С, отпуск 720...740 °С; закалка 1000...1020 °С, отпуск 180...220 °С	100	–	1275	1079	6	24	392
12Х7Г3СЛ	КТ110	Нормализация 940...960 °С, отпуск 650...720 °С; закалка 880...900 °С, отпуск 200...250 °С	100	–	1324	1079	9	40	589

Марка стали	Категория прочности	Режим термообработки	Толщина стенки пробы, мм	Твердость, НВ	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	Ударная вязкость KCU, кДж/м^2
					МПа		%		
25Х2ГНМФЛ	КТ50	Нормализация 900...950 °С, отпуск 650...700 °С; закалка 880...920 °С, отпуск 630...700 °С	100	–	638	491	12	30	589
	КТ110	Нормализация 900...950 °С, отпуск 660...680 °С; закалка 900...950 °С, отпуск 260...300 °С	100	–	1275	1079	5	25	392
27Х5ГСМЛ	КТ120	Нормализация 970...990 °, отпуск 700...720 °С; закалка 980...1000 °С, отпуск 200...220 °С	100	–	1472	1177	5	20	392
30Х3С3ГМЛ	КТ150	Нормализация 970...990 °С, отпуск 700...720 °С; закалка 980...1000 °С, отпуск 200...220 °С	100	–	1766	1472	4	15	196
03Н12Х5М3ТЛ	КТ130	Гомогенизация 1180...1200 °С, закалка 1000 °С, старение 500 °С	100	–	1324	1275	8	45	491
03Н12Х5М3ТЮЛ	КТ145	Гомогенизация 1180...1200 °С, закалка 1000 °С, старение 500 °С	100	–	1472	1422	8	35	294

Отливки из конструкционных легированных сталей подвергают термической обработке – нормализации с последующим отпуском или закалке с последующим отпуском.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Дегтярев А.Ф.** Литейные конструкционные легированные стали. Зарубежные аналоги // Справочник. Инженерный журнал. 1999. № 11. С. 9–10.

Евгений Александрович Чернышов, д-р техн. наук

В.И. Рязанцев *(НИАТ, Москва)*

Сварка литейных магниевых сплавов

Рассмотрено влияние химического состава литейных магниевых сплавов, присадочных материалов и способов сварки на характеристики свариваемости. Приведены механические свойства сварных соединений. Даны рекомендации по выбору присадочных проволок, температуре подогрева и технологии сварки для магниевых сплавов МЛ5пч, ВМЛ9, МЛ22 и МЛ19.

The article considers the influence of chemical compound of cast magnium alloys, filler materials and welding methods on weldability. The mechanical properties of welded joints are brought. The recommendations on filler wires, heating temperatures and welding technologies choice for the alloys МЛ5пч, ВМЛ9, МЛ22 and МЛ19 are done.

В последние годы во многих областях промышленности в России и за рубежом широко применяют разнообразные отливки из магниевых сплавов. В этой связи большое значение имеют исследования по сварке литейных магниевых сплавов для создания литосварных конструкций, а также для исправления различных дефектов литья.

Многолетний опыт показал, что отбор отливок к заварке наиболее рационально осуществляют службы технического контроля согласно требованиям ОСТ 1.90248 (для магниевых сплавов) и техническим условиям на поставку деталей из данного сплава и ОСТ 1.41154 [1, 2].

Исправлять дефекты с помощью сварки рекомендуется на всех отливках и во всех местах отливок, доступных для контроля, кроме отливок и мест, оговоренных конструктором в схемах, прилагаемых к ТУ или чертежам.

С помощью сварки в отливках можно устранять поверхностные и сквозные незаливы, газовые раковины, неметаллические включения, неслитины, рыхлоты, спаи, трещины, засоры, а также механические повреждения и дефекты, выявленные при механической обработке. В отличие от деформируемых магниевых сплавов отливки могут иметь повышенное содержание внутренних дефектов (микро- и макрорыхлоты, пористость, оксидные пленки и др.), а также повышенное содержание газов. В процессе сварки указанные дефекты могут быть причиной нарушения стабильности горения дуги и формирования наплавленного металла с появлением внутренних дефектов в виде газовой пористости, оксидных пленок и т.д. Сравнительно благоприятные характеристики по качеству сварных соединений можно получить при сварке отливок, полученных с использованием новых технологических процессов [3].

Качество сварных соединений в решающей степени определяется исходной микропористостью в отливках. Снижение плотности отливок сильно увеличивает порообразование в сварных соединениях. Для литосварных конструкций I и II категорий рекомендуется применять отливки, имеющие плотность по первому баллу, что позволяет при сварке получать бездефектные сварные соединения [4].

Выбор способа сварки отливок из магниевых сплавов зависит от:

– химического состава основного металла, определяющего структуру и свойства оксидных пленок на поверхности;

– толщины и геометрии стыка дефектного участка на отливках;

– требований к герметичности сварных соединений на отливках.

Для всех магниевых сплавов вследствие специфики структуры оксидных пленок рекомендуется применение только процесса сварки на переменном токе в среде аргона или смеси аргона и гелия. Многолетний опыт показал, что при сварке дефектных участков на отливках толщиной 2,0...5,0 мм с шириной разделки под сварку 3...10 мм рекомендуется применение процесса пульсирующей сварки и сварки вращающейся дугой с осевой подачей присадочной проволоки соответственно.

При сварке отливок толщиной 2...10 мм, к которым предъявляют высокие требования по герметичности (испытания гелиевым течеискателем), рекомендуется применять процесс дуговой сварки на переменном токе с наложением на дугу кратковременных импульсов тока от приставок типа ИМИ-2 (импульсная сварка).

Для подварки дефектов прямолинейных (сварка на проход) и на отливках толщиной 3...15 мм и при необходимости перемещения по осям X, Y и Z рекомендуется применение процесса сварки трением вращающимся стержнем [5].

При сварке трением вращающимся стержнем соединение образуется за счет механического перемешивания ограниченного объема свариваемых деталей. Нагрев в зоне соединения не достигает температуры плавления алюминиевых сплавов. Поэтому в шве полностью отсутствует литая зона. Этим способом можно сваривать (соединять) любые магниевые сплавы, в

том числе и те, которые ранее считались не свариваемыми при сварке плавлением.

Все литейные магниевые сплавы по структуре оксидных пленок на поверхности, жидкотекучести, горячеломкости, склонности к образованию микрорыхлот, а также специфическим особенностям их свариваемости целесообразно разделить на три группы:

1. Сплавы системы Mg–Al–Zn марок МЛ4, МЛ4пч, МЛ5, МЛ5пч, МЛ6, ВМЛ9.

2. Сплавы системы Mg–Zn–Zr марок МЛ8, МЛ12, МЛ15, МЛ22 (ВМЛ5).

3. Сплавы систем Mg–Nd–Zr и Mg–Nd–Y–Zr марок МЛ9 (ВМЛ2), МЛ10, МЛ19 (ВМЛ7).

Химический состав литейных магниевых сплавов приведен в табл. 1.

Механические свойства литейных сплавов приведены в табл. 2, а технологические свойства сплавов – в табл. 3.

В статье исследовали показатели свариваемости и механические свойства сварных соединений из магниевых литейных сплавов МЛ5пч, ВМЛ9, МЛ22 и МЛ19.

При исследовании применяли образцы двух типов (рисунок):

1. Плита размером 200×200×15 мм, в центре которой выполнена кольцевая разделка диаметром 70 мм.

2. Плита размером 200×200×15 мм с прямолинейной разделкой по центру площадью в плане 1; 4; 10 и 20 см^2.

Использование указанных образцов позволило имитировать условия сварки отливок с дефектами, существующими на производстве. За коэффициент трещинообразования $K_{тр}$ приняли процентное отношение длины трещины к длине всего шва. Длину трещины оценивали визуально и по рентгенограммам. В качестве присадочного материала использовали прессованные проволоки диаметром 2; 3 и 5 мм. Во всех случаях применяли ручную аргонодуговую сварку. Источники питания сварочной дуги ИСВУ-315 и ИСВУ-400.

Содержание основных легирующих элементов в присадочных проволоках приведено в табл. 4. Сварку разделок проводили без предварительного подогрева и после общего подогрева плит в печи при температуре 350...370 °С в течение 1 ч. Сваривали образцы в литом состоянии (Л), в состоянии после закалки (Т4) и после закалки плюс старение (Т6). Непосредственно перед сваркой место разделки зачищали вращающейся металлической щеткой. Присадочные проволоки травили в растворе: 400 г/л NaOH + 150 г/л $NaNO_2$ при 80 °С в течение 5 мин. Непосредственно перед сваркой поверхность присадочных проволок зачищали шабером. Из сваренных встык плит вырезали поперек шва образцы для определения $\sigma_в$, $\sigma_{0,2}$, δ, KCU и KCV. Для испытаний на растяжение использовали образцы с круглой рабочей частью диаметром 10 мм, для испытаний на ударный изгиб – образцы размером 55×10×10 мм.

1. Химический состав (% мас., остальное Mg) литейных магниевых сплавов

Марка сплава	Al	Mn	Zn	Zr	Cd	Y	Примеси, не более							
							Si	Fe	Ni	Cu	Zr	Al	Прочие	Сумма
МЛ4	5,0...7,0	0,15...0,5	2,0...3,5	–	–	–	0,25	0,06	0,01	0,1	0,002	–	0,1	0,5
МЛ4пч	5,0...7,0	0,15...0,5	2,0...3,5	–	–	–	0,08	0,007	0,002	0,04	0,002	–	–	0,13
МЛ5	7,5...9,0	0,15...0,5	0,2...0,8	–	–	–	0,25	0,06	0,01	0,1	0,002	–	0,1	0,5
МЛ5пч	7,5...9,0	0,15...0,5	0,2...0,8	–	–	–	0,08	0,007	0,001	0,04	0,002	–	–	0,13
МЛ6	9,0...10,2	0,1...0,5	0,6...1,2	–	–	–	0,25	0,06	0,01	0,1	0,002	–	0,1	0,5
ВМЛ9	8,2	0,6	1,85	–	–	–	0,25	0,06	0,01	0,1	0,002	–	0,1	0,5
МЛ8	–	–	5,5...6,6	0,7...1,1	0,2...0,8	–	0,03	0,01	0,005	0,03	–	0,02	0,12	0,2
МЛ12	–	–	4,5...5,0	0,6...1,1	–	–	0,03	0,01	0,005	0,03	–	0,02	0,12	0,2
МЛ15	–	–	4,0...5,0	0,7...1,1	–	0,6...1,2 La	0,03	0,01	0,005	0,03	–	0,02	0,12	0,2
МЛ22	–	–	8,0...9,0	0,7...1,0	2,6...3,2	–	0,03	0,01	0,005	0,03	0,1	0,02	–	0,12
МЛ9	–	–	–	0,4...1,0	1,9...2,6 Nd	–	0,03	0,01	0,005	0,03	–	0,02	0,01	0,35
МЛ10	–	–	0,1...0,7	0,4...1,0	2,2...2,8 Nd	–	0,03	0,01	0,005	0,03	–	0,02	0,1	0,2
МЛ19	–	–	0,1...0,6	0,4...1,0	1,6...2,3 Nd	1,4...2,2	0,03	0,01	0,01	0,03	–	0,03	0,14	0,25

2. Типичные механические свойства литейных магниевых сплавов

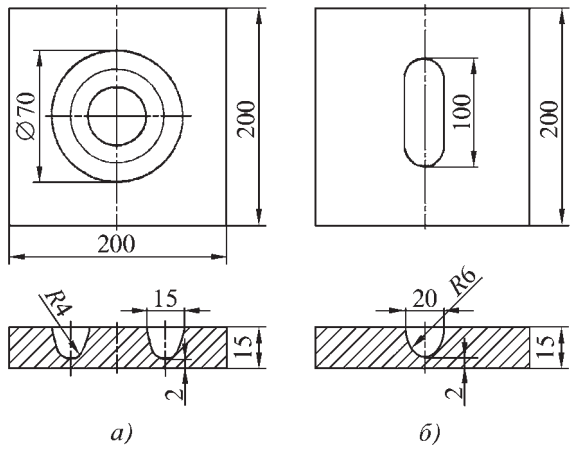
Марка сплава	Состояние	Предел прочности $\sigma_в$, МПа	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение δ, %	Ударная вязкость KCU, Дж/см^2
МЛ4	Т6	225	100	2	2
МЛ4пч	Т6	225	100	2	2
МЛ5	Т6	235	110	2	3
МЛ5пч	Т6	235	110	2	5
МЛ6	–	225	140	1	–
ВМЛ9	Т4	231	120	7,5	9
	Т6	245	145	2,1	3,8
МЛ8	Т4	265	170	4	3
МЛ12	Т4	230	130	5	4
МЛ15	Т4	210	130	3	2
МЛ22	Т6	305	215	5	4
МЛ9	Т6	245	112	6	6,5
МЛ10	Т6	225	137	5	–
МЛ19	Т6	353	277	5,5	4

3. Технологические свойства литейных магниевых сплавов

Марка сплава	Линейная усадка, %	Жидкотекучесть (длина прутка), мм	Горячеломкость (ширина кольца), мм	Склонность к образованию микрорыхлот	Температурный интервал кристаллизации, °С
МЛ4	1,2...1,4	245	37,5	Повышенная	610...400
МЛ4пч	1,2...1,4	245	37,5	Повышенная	610...400
МЛ5	1,0...1,2	290...300	30,0	Средняя	600...430
МЛ5пч	1,0...1,2	290...300	30,0	Средняя	600...430
МЛ6	1,1...1,2	330	27,5	Средняя	600...420
МЛ8	1,3...1,4	290	30,0...32,5	Средняя	636...525
МЛ12	1,3...1,4	290	30,0...32,5	Средняя	644...550
МЛ15	1,2...1,5	320	27,5...30,0	Малая	630...539
МЛ22	1,2...1,4	290...300	22,5...25,0	Средняя	–
МЛ9	1,2...1,4	250	25	Средняя	650...558
МЛ10	1,2...1,5	250	15...20	Средняя	640...550
МЛ19	1,2...1,5	250	27,5	Средняя	650...558

Результаты испытаний по свариваемости образцов из сплавов МЛ5пч, ВМЛ9, МЛ19 и МЛ22 приведены в табл. 5. Испытания по сварке кольцевой и прямолинейной разделки показали, что чем меньше содержание Al и Zn в присадочной проволоке, тем больше длина трещины. Трещины возникали в основном по линии сплавления или на некотором расстоянии от нее в основном металле.

Наименьшая длина трещин или их полное отсутствие наблюдали при использовании присадочных про-



Образцы для определения склонности металла к образованию трещин с кольцевой (*а*) и прямолинейной разделкой (*б*)

волок с содержанием Al и Zn большим, чем в основном материале. При сварке кольцевой разделки на образцах в состоянии Л присадочной проволокой основного состава $K_{тр}$ ~85 %. Для присадочных проволок 891, 647, 663 с повышенным содержанием основных легирующих элементов $K_{тр}$ соответственно уменьшился до 54, 42 и 40 %. При сварке прямолинейной разделки площадью 20 см^2 присадочными проволоками МА2-1, 647, 891, 663 после подогрева $K_{тр}$ соответственно равен 85, 50, 20 и 0 %.

Из этих данных следует, что содержание Al и Zn в присадках более 9,5 и 2 % соответственно не приводит уже к заметному снижению $K_{тр}$. Поэтому состав основных легирующих элементов в присадочных проволоках, по-видимому, целесообразно ограничить 8,8...9,5 % Al и 1,7...2,1 % Zn. Содержание остальных легирующих элементов должно соответствовать их содержанию в основном металле.

Применение присадочных проволок системы легирования, отличной от основного материала (Mg–Zn – редкоземельные металлы вместо Mg–Al–Zn), приводит к высоким значениям $K_{тр}$. При использовании присадочных проволок СП3 и Св. 1 на образцах с коль-

4. Марки и химический состав (% мас., остальное Mg) серийных и опытных присадочных проволок из магниевых сплавов

Марка присадочной проволоки	Al	Zn	Mn	Прочие элементы
МА1	≤0,1	≤0,3	1,3...2,5	–
МА8	≤0,1	≤0,3	1,3...2,2	–
МА2-1	3,8...5,0	0,8...1,5	0,3...0,7	–
МА2-1пч	3,8...5,0	0,8...1,5	0,2...0,6	–
МА12	–	–	–	0,35...0,45 Zr; 2,5...3,5 Nd
МА15	≤0,05	2,5...3,5	≤0,1	0,45...0,9 Zr; 1,2...2,0 Cd; 0,7...1,1 La
МА20	–	1,0...1,5	–	0,05...0,12 Zr; 0,12...0,25 Ce
МЛ5	7,7...9,0	0,2...0,8	0,15...0,5	–
МЛ5пч	7,7...9,0	0,2...0,8	0,15...0,5	–
МЛ22	–	8,0...9,0	–	0,7...1,0 Zr; 2,6...3,2 Cd
МЛ19	–	0,1...0,6	–	0,4...1,0 Zr; 1,6...2,3 Nd; 1,4...2,2 Y
ВМЛ9	8,0...9,0	1,6...2,5	0,4...0,8	–
МЛ15	–	4,0...5,0	–	0,7...1,1 Zr; 0,6...1,2 La
891	9,0...11,0	1,8...2,2	0,3...0,6	0,1...0,2 Zr
Св. 1	–	1,0...1,5	–	0,5...0,7 Zr; 2,8...3,7 Ce
СП3	–	8...9	–	0,6...0,8 Zr; 1,0...1,4 Nd; 0,8...1,2 Cd
Св. 2	6,0...7,0	1,0...1,5	0,3...0,6	–
647	5...6	2,0...3,0	0,3...0,5	–
663	10...12	1,8...2,2	0,3...0,6	–

5. Склонность к образованию горячих трещин при сварке литейных магниевых сплавов

Марка сплава	Термообработка перед сваркой	Температура подогрева перед сваркой, °С	Марка присадочной проволоки	Коэффициент трещинообразования, %	
				Кольцевая разделка	Прямолинейная разделка
ВМЛ9	–	–	891	75	35
	–	350	647	90	85
	–	350	893	70	35
	–	350	ВМЛ19	62	20
	–	350	663	40	0
	–	350	891	42	0
	–	350	894	100	90
	–	350	МЛ19	100	90
	Т4	–	891	45	15
	Т4	350	891	30	0
	Т4	350	ВМЛ9	35	0
	Т6	–	891	50	25
МЛ5пч	–	380	МЛ5	60	15
	–	380	891	35	0
МЛ19	–	–	МЛ19	0	0
	–	350	МЛ19	0	0
МЛ22	–	–	МЛ22	25	30
	–	–	СП3	30	45
	–	380	МЛ22	0	0
	–	380	СП3	0	0
	Т6	–	МЛ22	20	25
	Т6	180	МЛ22	10	35
	Т6	380	МЛ22	0	0

цевой разделкой $K_{тр}$ достигает почти 100 %. Основной причиной такого повышения является то, что температура солидуса присадочных проволок значительно выше, чем основного металла. Это приводит к неблагоприятному перераспределению напряжений. Основная доля напряжений в этом случае воспринимается околошовной зоной, что является нежелательным.

Подогрев отливок перед сваркой позволяет снизить $K_{тр}$. Чем больше площадь разделки, тем сильнее влияние предварительного подогрева. При сварке прямолинейной разделки площадью 20 см^2 на образцах в состоянии Л присадочной проволокой 891 подогрев снижает $K_{тр}$ от 20 до 5 %. Сварка отливок в состоянии Т4 позволяет снизить $K_{тр}$ при кольцевой и прямолинейной разделке. При сварке кольцевой разделки присадочной проволокой 891 на образцах в состоянии Л и Т4 $K_{тр}$ соответственно равен 54 и 35 %. Аналогичную зависимость наблюдали и для случая прямолинейной разделки. Сварка разделок на образцах в состоянии Т6 приводила к значениям $K_{тр}$, практически соответствующим состоянию Л.

Уменьшение $K_{тр}$ при использовании присадочных проволок с составом, отличным от основного металла (в сторону увеличения содержания Al и Zn), по-видимому, связано с различием в температурах кристаллизации и темпе плавления. Пониженная температура кристаллизации этих присадочных проволок и меньший темп плавления по сравнению с основным металлом приводят к благоприятному перераспределению напряжений. Влияние режима термообработки перед сваркой на $K_{тр}$ связано со структурной неоднородностью отливок.

Анализ микроструктуры сплава в литом состоянии показал, что по границам зерен наблюдаются крупные выделения псевдоэвтектики $Mg_{17}Al_{12}$. Кроме того, по

границам и внутри зерен твердого раствора располагаются интерметаллидные соединения. Неоднородность по химическому составу связана, главным образом, с неравновесными условиями затвердевания отливок.

При термообработке отливок по режиму Т4 создаются условия для прохождения выравнивающей диффузии, под действием которой растворяются выделения фазы $Mg_{17}Al_{12}$. Однородность сплава по химическому составу приводит к заметному повышению его пластичности. Все это способствует снижению значений $K_{тр}$ при сварке разделок на образцах в состоянии Т4.

При сварке отливок из сплава МЛ19 с кольцевой и прямолинейной разделкой $K_{тр} = 0$ даже без предварительного подогрева (см. табл. 5). Хорошая свариваемость сплава МЛ19 объясняется узким интервалом его кристаллизации (в 2–4 раза меньшим, чем у сплавов МЛ5 и ВМЛ9) и высокими механическими свойствами при температуре до 350 °С (в 2,5 раза выше, чем у сплавов МЛ5 и ВМЛ9).

При сварке отливок из сплава МЛ22 с кольцевой и прямолинейной разделкой присадочной проволокой из основного металла $K_{тр}$ относительно высокий, а именно 25 и 30 % (см. табл. 5). Применение присадочной проволоки СП3 не улучшает свариваемость сплава МЛ22 по сравнению с присадочной проволокой из основного металла ($K_{тр} \geq 30$ %).

Подогрев перед сваркой до 350...360 °С позволил снизить $K_{тр}$ от 30...45 до 0 % (с присадочными проволоками МЛ22 и СП3). Подогрев отливок до температуры 150...180 °С перед сваркой также позволяет заметно снизить $K_{тр}$ по сравнению со сваркой без предварительного подогрева от 30...45 до 0...10 %.

Таким образом, предложено выбирать присадочные проволоки для сварки литейных магниевых сплавов в соответствии с данными табл. 6.

Результаты механических испытаний (табл. 7) свидетельствуют о том, что прочностные свойства сварных соединений находятся на уровне 0,85...0,9 от прочностных свойств основного металла. Ударная вязкость сварных соединений в состоянии Т4 и Т6 соответственно в 2 и 4 раза меньше, чем для основного металла. Наиболее высокие показатели предела прочности $\sigma_в$ и особенно предела текучести $\sigma_{0,2}$ отмечаются на образцах из сплава МЛ19.

Коррозионную стойкость мест сварки проверяли на плитах, сваренных встык. После испытания в "тропической" камере в течение 3 месяцев общая коррозионная стойкость сварных соединений соответствовала основному металлу.

По результатам сварки разделок на плоских образцах трудно дать какие-либо общие рекомендации о допустимых размерах этих разделок на отливках. Размеры дефектов, подлежащих сварке, по-видимому, целесообразно устанавливать конкретно для отливок каждого наименования. При этом необходимо учитывать размеры, жесткость и категорию ответственности отливки, режим ее термообработки и возможность подогрева перед сваркой.

6. Выбор марок присадочных проволок для сварки литейных магниевых сплавов

Система легирования	Марка сплава	Рекомендуемая марка присадочной проволоки
Mg–Al–Zn	МЛ4	МЛ4, МЛ4пч, Св. 2, МЛ5пч
	МЛ4пч	МЛ4пч, МЛ5пч, Св. 2
	МЛ5	МЛ5, 891, Св. 2
	МЛ5пч	МЛ5, 891, Св. 2
	МЛ6	МЛ6, МЛ5пч, Св. 2
	ВМЛ9	ВМЛ9, 891, Св. 1, Св. 2
Mg–Zn–Zr	МЛ8	МЛ8, МЛ22, Св. 1, Св. 2
	МЛ12	МЛ12, МЛ22, Св. 1, Св. 2
	МЛ15	МЛ15, МЛ22, Св. 1, Св. 2
	МЛ22	МЛ22, Св. 1, Св. 2
Mg–Nd–Zr Mg–Nd–Y–Zr	МЛ9	МЛ9, МЛ19
	МЛ10	МЛ10, МЛ19
	МЛ19	МЛ19

Таким образом, проведенные исследования показали, что отливки из сплавов ВМЛ9 и МЛ5пч можно удовлетворительно сваривать с помощью аргонодуговой сварки. Для этого могут быть рекомендованы присадочные проволоки с содержанием 8,8...9,5 % Al; 1,7...2,1 % Zn. При сварке дефектов отливок с площадью разделки 10...20 см^2 и более целесообразно применять предварительный подогрев при температуре 350...370 °С в течение 1 ч. Склонность к трещинообразованию при сварке разделок на отливках при режиме термообработки Т4 заметно ниже, чем при режимах Л и Т6, а прочностные свойства сварных соединений находятся на уровне 0,85...0,9 от прочностных свойств основного металла. Коррозионная стойкость мест сварки такая же, как и у основного металла.

Отливки из сплава МЛ19 хорошо свариваются с присадочной проволокой из основного металла. При сварке этого сплава не требуется предварительный подогрев. Отливки из сплава МЛ22 удовлетворительно свариваются с присадочной проволокой из основного металла. При сварке этого сплава обязательно

7. Механические свойства сварных соединений

Марка сплава	Марка присадочной проволоки	Состояние образца		Прочностные свойства			Ударная вязкость, Дж/см^2		
		до сварки	после сварки	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ, %	по шву		по зоне термического влияния
							KCU	KCV	KCV
ВМЛ9	891	Л	Т4	195 / 179...204	99 / 92...108	6,1 / 3...7,1	4,1 / 2,5...4,7	2,0 / 1,9...2,2	3,1 / 2...3,6
		Л	Т6	202 / 185...219	132 / 121...147	1,8 / 1,3...2,1	0,85 / 0,7...0,8	0,7 / 0,6...0,74	0,85 / 0,8...0,9
		Т4	–	188 / 171...197	98 / 95...101	5,4 / 2,5...7,2	2,35 / 2,0...4,1	2,1 / 1,8...2,4	–
		Т6	–	181 / 174...189	107 / 91...114	3,9 / 2,1...5,6	2,1 / 1,8...3,0	1,9 / 1,8...2,0	–
		Л	Л	184 / 170...195	101 / 96...105	7,9 / 3...8,5	4,0 / 2,8...5,1	2,2 / 1,8...2,4	–
МЛ22	МЛ22	Л	Л	220 / 210...238	128 / 120...135	5,3 / 4,0...6,5	4,2 / 3,0...5,5	–	–
	СП3	Л	Л	235 / 225...245	153 / 150...160	4,7 / 4,0...7,1	3,8 / 3,0...5,5	–	–
	МЛ22	Т6	–	260 / 250...275	126 / 110...140	11,3 / 9,0...14,0	6,5 / 5,2...8,1	–	–
	СП3	Т6	–	275 / 270...295	145 / 128...155	9,4 / 7,0...12,0	5,6 / 4,8...7,1	–	–
МЛ5пч	891	Л	Л	206 / 195...216	105 / 90...115	4,9 / 3,1...5,4	3,5 / 3,0...4,2	–	–
	МЛ5	Л	Л	208 / 195...215	97 / 90...110	3,1 / 2,8...4,2	3,4 / 3,1...4,1	–	–
	МЛ5	Т4	–	196 / 185...205	98 / 95...112	3,5 / 2,0...4,8	2,8 / 2,5...3,4	–	–
МЛ19	МЛ19	Л	Л	224 / 215...230	184 / 175...194	3,4 / 2,1...4,1	–	–	–
		Т4	–	215 / 207...219	179 / 170...190	3,2 / 2,0...4,0	–	–	–
		Т6	–	222 / 218...232	171 / 165...184	3,1 / 2,9...4,2	–	–	–

Примечание. В числителе приведено среднее значение, в знаменателе – минимальное и максимальное значения.

требуется предварительный подогрев (предпочтительно до 350...360 °С).

ЛИТЕРАТУРА

1. **ОСТ 1.90248–77.** Отливки фасонные из магниевых сплавов. Общие технические требования.

2. **ОСТ 1.41154–86.** Отливки из сплавов на основе алюминия, магния, меди, свинца, цинка, титана, железа и никеля. Допуски на размеры и припуски на механическую обработку, величины литейных уклонов.

3. **Сироткин О.С., Глотов Е.Б., Кайнов В.М., Мацнев В.Н.** Разработка высокоэффективных технологических процессов литья из высокопрочных алюминиевых сплавов для получения интегральных литых конструкций гарантированного качества // Авиационная промышленность. 2000. № 3. С. 17–28.

4. **Рязанцев В.И.** Источники и механизм порообразования при сварке литейных алюминиевых сплавов // Сварочное производство. 1994. № 7. С. 15–17.

5. **Рязанцев В.И., Мацнев В.Н., Глотов Е.Б.** Сварка трением как способ исправления дефектов литья в производстве литосварных конструкций // Авиационная промышленность. 2003. № 4. С. 50–53.

Владимир Иванович Рязанцев, канд. техн. наук

А.Ш. Мурасов, Ю.А. Титов, В.М. Никитенко, А.Ю. Титов
(Ульяновский государственный технический университет)

Прогрессивные технологии штамповки деталей с отверстием в донной части с использованием вытяжки и отбортовки

Рассмотрены результаты экспериментальных исследований, а также способы штамповки деталей цилиндрической и коробчатой форм с отверстием в донной части, направленные на повышение коэффициента использования металла. Разработаны и внедрены металлосберегающие технологические процессы с использованием вытяжки и отбортовки при сохранении качественных показателей штампуемых деталей.

The paper considers some experimental results and stretch pressing methods of obtaining of cylindrical and box-shaped bottom-holed parts. The material saving methods based on concurrent drawing and folding enabling to get the high quality parts have been developed.

Успехи в области листовой штамповки по внедрению прогрессивных технологий в крупносерийном и массовом производствах определяются эффективным решением проблем металлосбережения.

Коэффициент использования металла (КИМ) в технологических процессах листовой штамповки при изготовлении деталей сложной формы, имеющих отверстия в донной части, как правило, низкий. Например, при штамповке сепараторов конических подшипников КИМ составляет 0,20...0,25, при производстве ободков фар – 0,25...0,35, а при изготовлении подобных деталей автомобилей – 0,40...0,50.

В настоящее время большинство деталей с отверстием в донной части изготовляют вытяжкой из плоской заготовки с последующей пробивкой отверстия. Анализ действующих технологических процессов показал, что имеются резервы повышения КИМ, а следовательно, снижения себестоимости штампованных деталей.

На кафедре "Материаловедение и обработка металлов давлением" Ульяновского государственного технического университета были исследованы и разработаны технические решения в области листовой штамповки, которые включают в себя:

– разработку рациональных способов раскроя ленты (полосы) на заготовки [1];

– создание новых способов штамповки осесимметричных деталей с отверстием в донной части [2, 3];

– разработку металлосберегающих технологий штамповки деталей коробчатой формы с отверстием в донной части и др.

В основу создания металлосберегающих технологий штамповки осесимметричных деталей с отверстием в донной части легли результаты экспериментальных исследований процессов вытяжки, совмещенной с отбортовкой [4].

Для экспериментального исследования влияния основных факторов процесса вытяжки, совмещенной с отбортовкой, использовали кольцевые заготовки из стали 08кп толщинами S_0 = 0,6 и 1,2 мм, диаметром D_0 = 65 мм и с отверстиями d_0 = 12,5 и 17,5 мм. Силу прижима Q варьировали на трех уровнях: 5, 10 и 15 кН. Во всех случаях диаметр вытяжки $D_{вып}$ был неизменным и составлял 40 мм, радиусы пуансона $r_п$ и матрицы $r_м$ – 5 мм. Заготовки (по три образца на каждый опыт) подвергали поэтапной вытяжке на глубину H = = 2; 4; 6; 8; 10 и 12 мм. После каждого очередного деформирования заготовки измеряли выходные параметры: $D_ф$ – диаметр фланца; $S_к$ – толщина заготовки на кромке отверстия; $d_к$ – конечный диаметр отверстия; определяли их средние значения, вычисляли относительные степени деформации фланца $\varepsilon_D = (D_0 - D_ф)/D_0$ и отверстия $\varepsilon_d = (d_к - d_0)/d_0$.

По результатам измерений был построен график (рис. 1), иллюстрирующий влияние основных факторов процесса на выходные параметры. Их анализ свидетельствует, что в условиях эксперимента формообразование боковой поверхности образцов идет одновременно за счет периферийной и внутренней частей заготовки лишь в тех случаях, когда напряжения во фланцевой части σ_ρ^d и напряжения в донной части σ_ρ^D примерно равны, в остальных случаях в зависимо-

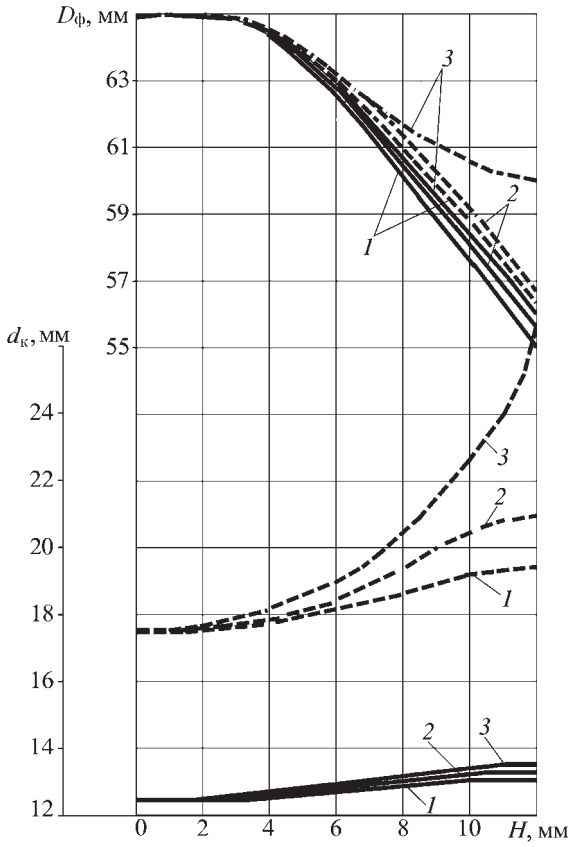


Рис. 1. Изменение диаметра фланца $D_ф$ и конечного диаметра отверстия $d_к$ в зависимости от глубины вытяжки H для заготовки толщиной S_0 = 1,2 мм:
сплошные линии – d_0 = 12,5 мм; штриховые линии – d_0 = = 17,5 мм; *1, 2, 3* – соответственно Q = 5; 10; 15 кН

сти от сочетания параметров процесса доминирует либо вытяжка, либо отбортовка.

Для оценки эффективности вытяжки-отбортовки провели расчет диаметров исходных заготовок для получения образцов с размерами, соответствующими экспериментальным, обычной вытяжкой с последующей пробивкой отверстия. Сравнение диаметров заготовок обоих процессов показало, что при относительно небольших диаметрах отверстия ($d_0 \leq 12{,}5$ мм) размеры исходной заготовки незначительно отличаются от соответствующих размеров при обычной вытяжке. Увеличение диаметра отверстия до 17,5 мм и силы прижима от 5 до 15 кН позволяет значительно уменьшить размеры исходной заготовки. При толщине S_0 = = 1,2 мм и Q = 5 и 15 кН для обычной вытяжки требуются заготовки диаметром 66,7 и 69,8 мм соответственно; при S_0 = 0,6 мм – заготовки диаметром 70,1 и 72,1 мм.

Таким образом, использование данного процесса вместо вытяжки с последующей пробивкой отверстия дает возможность увеличить КИМ при S_0 = 1,2 мм на 5...13,3 % , а при S_0 = 0,6 мм – на 14...18 %. Учитывая, что на некоторых образцах с d_0 = 17,5 мм и S_0 = 0,6 мм при Q = 5...15 кН и H более 8 мм возникают трещины и

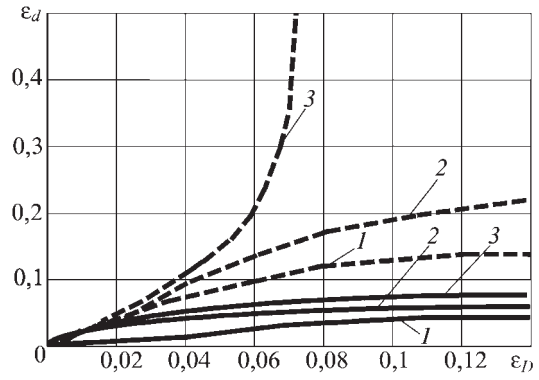


Рис. 2. Относительные степени деформации отверстия ε_d и диаметра фланца ε_D при вытяжке, совмещенной с отбортовкой для заготовки толщиной S_0 = 1,2 мм:
сплошные линии – d_0 = 12,5 мм; штриховые линии – d_0 = = 17,5 мм; *1, 2, 3* – соответственно Q = 5; 10; 15 кН

разрывы кромки у отверстия, необходимо ограничить осуществление процесса допустимой степенью деформации.

Для оценки возможностей данного процесса и практического применения результатов экспериментов провели расчет относительных степеней деформаций отверстия ε_d и фланца ε_D, построили графики их функциональной зависимости $\varepsilon_d = f(\varepsilon_D)$ от различных факторов (рис. 2). Получили, что наиболее целесообразно осуществление вытяжки, совмещенной с отбортовкой, при ε_d, не превышающих 0,25...0,30.

Использование разработанного и внедренного способа изготовления полых изделий с отверстием в донной части [2] обеспечивает увеличение КИМ более чем на 15 % благодаря применению двойной отбортовки. На рис. 3 приведены переходы штамповки подобных деталей с использованием данного способа.

Данный способ штамповки использован при разработке технологии изготовления маслоотражателя переднего тормоза автомобиля. На рис. 4 представлен эскиз детали.

На рис. 5 представлен эскиз конструкции ободка фары коробчатой формы, изготовляемой штамповкой из ленточного материала толщиной 0,8 мм с использованием многопозиционного пресса.

Ранее применяемая технология штамповки детали состояла из следующих операций: вырубка заготовки; вытяжка на глубину 12,5 мм; калибровка детали; пробивка двух технологических отверстий диаметром 12,0 мм; обрезка припуска по фланцу; пробивка центрального отверстия.

Как видно, формообразование детали осуществляли только вытягиванием металла из-под прижима. Донную часть детали, которая в дальнейшем не используется, затем удаляют в основном из-за того, что в удаленной части предусмотрены два технологических отверстия диаметром 12 мм – для фиксации переходов штамповки при выполнении технологических операций, что является серьезным недостатком технологии изготовления деталей.

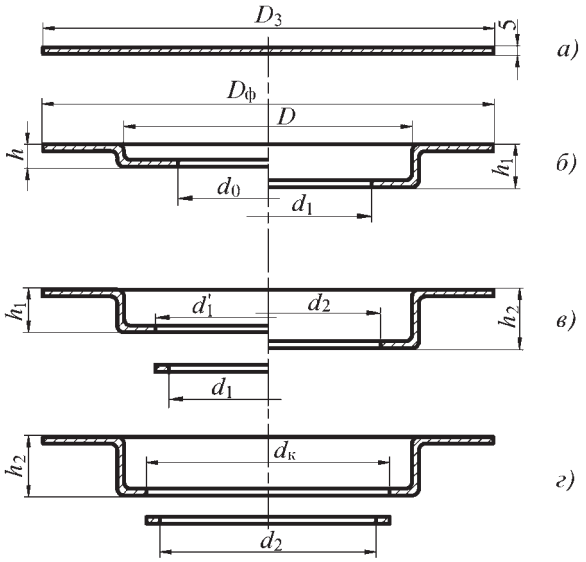


Рис. 3. Переходы штамповки цилиндрической детали с отверстием в донной части вытяжкой с последующей двойной отбортовкой:
а – заготовка; *б* – вытяжка полуфабриката на глубину h; пробивка отверстия d_0; первая отбортовка на h_1 и d_1; *в* – пробивка центрального отверстия d_1'; вторая отбортовка на глубину h_2; *г* – пробивка центрального отверстия $d_к$

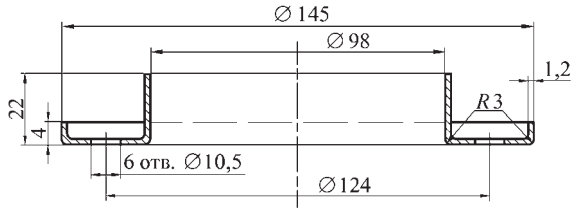


Рис. 4. Эскиз маслоотражателя переднего тормоза

По результатам экспериментальных исследований разработана и внедрена металлосберегающая технология штамповки ободка фары с использованием вытяжки и отбортовки при сохранении технологических отверстий.

На рис. 6 представлены переходы штамповки детали, связанные с пробивкой фигурного отверстия, отбортовки и пробивки технологических отверстий.

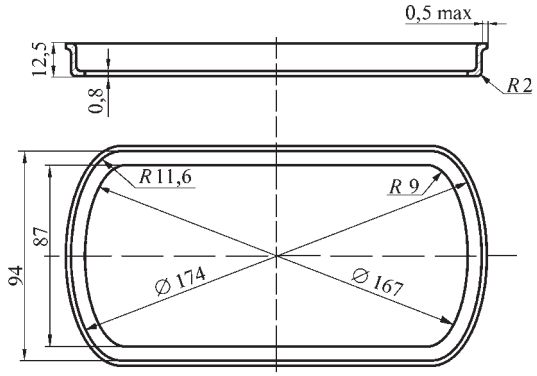


Рис. 5. Эскиз конструкции ободка фары коробчатой формы

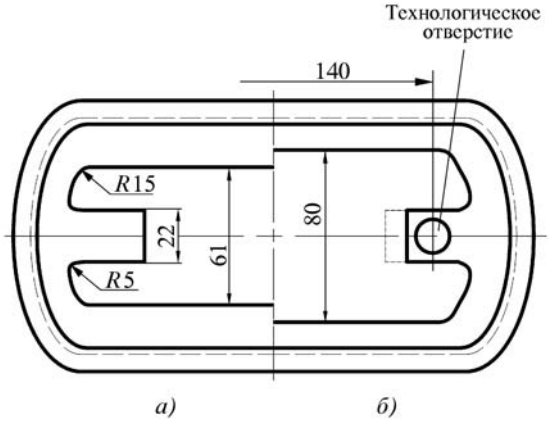


Рис. 6. Эскизы переходов штамповки ободка коробчатой формы согласно новой технологии:
а – после пробивки фигурного отверстия шириной 61 мм с лепестками шириной 22 мм; *б* – после отбортовки и пробивки технологических отверстий

Новая технология предусматривает выполнение следующих операций: вырубка заготовки; вытяжка на глубину 6,0 мм; пробивка фигурного отверстия и отбортовка; калибровка детали; пробивка технологических отверстий диаметром 12 мм; обрезка припуска по фланцу; пробивка центрального отверстия.

Внедрение новой технологии штамповки ободка фары обеспечило повышение коэффициента использования металла на 16,1 %.

Выводы

1. Применение патентов [2] и [3] при изготовлении деталей типа "ободок фары" коробчатой формы снижает норму расхода металла более чем на 15 % по сравнению с действующими технологиями.

2. Разработана и внедрена технология штамповки осесимметричных деталей (маслоотражателя) с отверстиями в донной части, позволяющая увеличить КИМ на 15 % при сохранении качественных показателей.

3. При усовершенствовании технологических процессов штамповки деталей с отверстием в донной части для повышения КИМ благодаря внедрению новых способов штамповки может быть использована технологическая оснастка действующих технологий (до 80 %).

ЛИТЕРАТУРА

1. **А.с. 634816 СССР, МКИ^3 B 21 D 28/00.** Способ раскроя полосы.

2. **Пат. 1388145 Россия, МКИ^3 B 22 D/00.** Способ изготовления полых изделий с отверстием в донной части.

3. **Пат. 1811511 Россия, МКИ^3 B 22 D/00.** Способ изготовления полых изделий.

4. **Титов Ю.А.** Разработка металлосберегающих процессов штамповки деталей типа тел вращения вытяжкой-отбортовкой: дис. ... канд. техн. наук. Н.-Новгород, 2000. 179 с.

Амир Шакирзянович Мурасов, канд. техн. наук;
Юрий Алексеевич Титов, канд. техн. наук;
Валентина Михайловна Никитенко, ст. преподаватель;
Антон Юрьевич Титов, инженер

В.Н. Кокорин *(Ульяновский государственный технический университет)*

Прессование полидискретных кластерных тел с различным состоянием фаз в технологических процессах утилизации тонкодисперсных порошковых отходов черной металлургии

Рассмотрены проблемные вопросы прессования двухкомпонентных смесей, одна из фаз которых является жидкой. Установлены основные закономерности формирования структурно-неоднородного тела при прессовании тонкодисперсных отходов черной металлургии.

The article considers some problem issues in pressing of two-part mixes with one liquid phase. Main laws of structurally heterogeneous body during pressing of ferrous metallurgy fine dispersed rejects have been established.

Один из основных механизмов зарождения дефектов в композиционных пористых материалах, получаемых методами порошковой металлургии, – это декогезия, т.е. образование несплошностей на границе матрицы и включения. Однако модели, учитывающие эффект разноуплотняемости вследствие декогезии, до сих пор не разработаны.

В данной статье композит рассматривали как трехфазное тело матричного типа, имеющее структурные кластеры различных типов. Материал матрицы (первая фаза) – изотропный, упругий и несжимаемый (поликристаллический или аморфный) – матричный кластер. Вторая фаза представляет собой распределенные по объему поры, характеризуемые их объемной долей θ – поровый кластер, а третья фаза – распределенные по объему прессовки жидкие включения.

В соответствии с методологией структурно-феноменологического подхода рассмотрим модель среды, представляющей собой конгломерат статически однородных плотноупакованных частиц изометрической формы, на границах которых локализуются несплошности. Укладка частиц при прессовании образует регулярные структуры – поры, заполненные жидкой (связующее) и газовой фазами.

Процессы, протекающие во внутрипоровом пространстве, отличаются существенным детерминизмом и в значительной степени определяются взаимодействием (сдвиговые деформации) между частицами самой жесткой матрицы проницаемой структуры и межфазным взаимодействием между наполнителями пор и жестким каркасом. При этом реализуется адсорбция – поглощение поверхностью пористого материала на открытых поверхностях тела и адсорбция – поглощение объемом пористого каркаса тела.

В результате эти процессы во всесторонней совокупности структурных и физических явлений характеризуются четко выраженной нелинейностью во временной и пространственной областях. При этом уплотнение деформируемого тела реализуется по дискретной и гомогенной моделям (в соответствии со стадийностью процесса уплотнения).

Гомогенная модель является достаточно наглядным и удобным способом континуального представления трехфазной среды: несжимаемая матрица – газовая фаза (поры) – жидкостная фаза (а также как вариант: матрица – газовая фаза (поры) – газожидкостная смесь). Смесь жидкости и газа можно рассматривать как некую однородную среду со средней температурой T, скоростью транспортирования U, плотностью ρ и давлением p. Давление в жидкой фазе p_1 либо равно давлению в газовой фазе p_2, либо отличается на значение лапласовского давления $\Delta p = 2\sigma/R$, обусловленного поверхностным натяжением на границе газ – жидкость (R – радиус поры; σ – коэффициент поверхностного натяжения). Очевидно, температуры и скорости транспортирования (движения) фаз равны.

Жидкофазное связующее, содержащееся в шихте, с одной стороны, уменьшает внешнее трение, а с другой – препятствует плотной упаковке дискретных порошковых частиц из-за их несжимаемости. При этом создаются условия ювенильного контакта при переукладке в процессе прессования. Вторым фактором, снижающим эффективность уплотнения порошковых материалов, являются зажатые в порах (в условиях замкнутого пространства) прессования газы, оказывающие значительное противодействие силе прессования.

В общем случае уплотнение сыпучей среды сопровождается двумя процессами: межчастичным смещением (структурной деформацией) и деформацией самих частиц с образованием и расширением зон контактов. Структурная деформация преобладает на начальной стадии уплотнения и может быть достаточно протяженной.

Количественные зависимости между давлением уплотнения и плотностью среды в рамках дискретно-контактной теории устанавливаются на основе моделирования этого процесса с использованием представительного элемента самой среды и условия пластич-

ности Губера–Мизеса. В работах [1, 2] обоснована концепция стадийности процесса уплотнения порошков в замкнутых объемах, описаны стадии процесса уплотнения с точки зрения контактного взаимодействия и консолидации уплотняемой среды.

Многостадийность и сложность процессов консолидации (прессования) двухкомпонентных шихт являются причинами слабой разработанности представлений о механизме прессования, описывающем процесс уплотнения. Установлено, что введение в шихту жидких неметаллических компонентов жидких связующих сред (ЖСС) оказывает сложное влияние на характер уплотнения [1].

Предложены две модели уплотнения и стадийности прессования: брикета в целом и приконтактной зоны. При малом давлении (≤400 МПа) присутствие второго (жидкого) компонента способствует интенсивному снижению пористости материала брикета, при давлении свыше 400 МПа повышается его пористость. Это можно объяснить следующим: при низких давлениях прессования уплотнение происходит в основном из-за скольжения частиц относительно друг друга, а введение жидкого компонента облегчает этот процесс, способствует лучшей укладке частиц; при повышенных давлениях уплотнение происходит главным образом за счет деформации приконтактных областей при гидростатистическом сжатии жидкой фазы; при этом снижается интенсивность уменьшения порового пространства при росте давления прессования – наличие жидкой фазы способствует повышению пористости (по сравнению с однокомпонентной шихтой).

Первая стадия уплотнения (структурная) характеризуется значительным преобладанием автономной деформации, нарушающей контакты насыпки. После снятия нагрузки формовка превращается в несвязанное сыпучее тело. При необходимости ограничения первой стадии уплотнения следует вводить в формуемую шихту ЖСС. При использовании двухкомпонентной шихты, содержащей жидкую фазу, "арки" заполняются твердыми частицами и жидкой фазой, причем преимущественное перемещение наблюдается прежде всего у жидкой фазы.

Вторая стадия уплотнения характеризуется пластической деформацией частиц твердой среды приконтактных областей. Препятствием для образования контактов являются пленки ЖСС, при этом жидкая фаза частично или полностью выдавливается в поры.

На первой стадии наблюдается переукладка дискретных частиц матрицы и транспортирование в поры газа и жидкости. На второй стадии материал прессовки – беспористая структура – деформируется как и компактный, однако при этом действует гидростатическое давление в жидкости.

При использовании смеси с наличием жидкой фазы третья стадия прессования отсутствует, что отличает процесс прессования шихты, имеющей в своем составе жидкий компонент, от прессования однофазных структур. Этот механизм коренным образом отличается от классических теорий прессования порошковых тел (заполнения пор фракцией твердой фазы не наблюдается, создается гидростатическое давление).

Таким образом, изучение влияния второго компонента на уплотняемость двухкомпонентных смесей позволяет выявить область перехода от одной стадии прессования к другой.

В отличие от однофазных порошковых структур статическое прессование полифазных дискретных тел заканчивается второй стадией (завершающей), которая характеризуется изменением механизма уплотнения. Это обусловлено неизбежным полным фиксированием контактов замкнутых локальных систем: матрица – газ – жидкость. Вторая стадия прессования характеризуется интенсивным смещением объемов полифазной структуры, которую можно рассматривать как двухфазную: неуплотняемая часть (металлическая матрица и жидкость) и уплотняемая (газы).

Отсутствие теоретических и экспериментальных данных о механизме прессования плотноупакованного матричного кластера (в моделируемой области формируется единая структура, включающая в себя все кластеры – поровый и дисперсный), о влиянии жидкой, газовой, жидкостно-газовой фаз в шихте на формирование свойств прессуемых изделий существенно ограничивает возможности прессования.

Фазовое состояние пористой структуры зависит от допустимого набора фазовых состояний исходного вещества, однако для анализа теоретических моделей выделим состояние двух основных элементов пористой среды прессовки: *образующая фаза* – структура, формирующая матрицу пористой среды и образующая ее основную структуру, как правило, имеет твердое поликристаллическое или аморфное состояние; *заполняющая фаза* – структура, находящаяся в поровом пространстве и образующая (вместе с матрицей) единую гетерогенную систему; в момент транспортирования в поровое пространство имеет жидкое или газообразное состояние.

На начальной и завершающей стадиях прессования наблюдаются характерные различия выделенных структур: их непрерывность, связность, регулярность, анизотропия, фазовое состояние (рис. 1). Использование физических и расчетных моделей предполагает учет особенностей структур на выделенных этапах прессования.

Результаты экспериментальных исследований использованы при разработке промышленной технологии утилизации (промышленного рециклинга) шламовых отходов производств черной металлургии.

Предложена технология промышленного рециклинга техногенных отходов (прессование плотноупакованных брикетов), образуемых при производстве горячекатаного листопроката, обеспечивающая утилизацию железосодержащих отходов (прокатная окалина), снижение потребности в технической оборот-

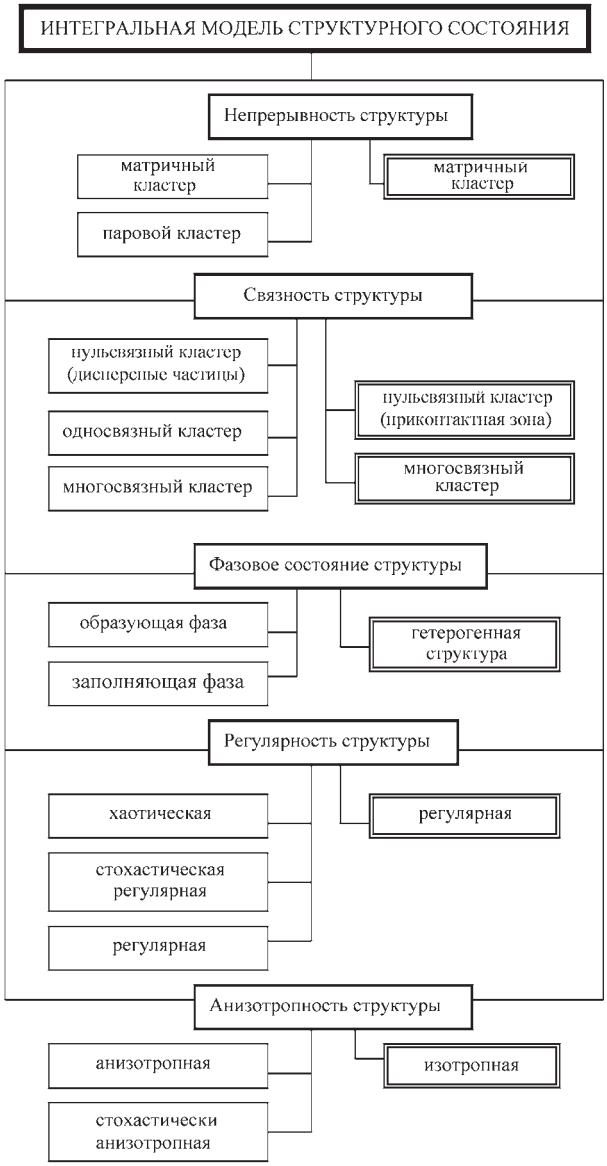


Рис. 1. Характеристика формируемой структуры:
▭ – 1-я стадия; ▭ – 2-я стадия

ной воде, повышение экологической безопасности региона.

В металлопрокатном производстве ОАО "Новолипецкий металлургический комбинат" при получении горячекатаного листа следует отметить следующие на сегодняшний день остростоящие проблемы:

1. Значительные потери металла (его исключение из металлооборота комбината) в виде железосодержащей прокатной окалины – до 250 тыс. т в год.

2. Потери оборотной технической воды, находящейся в связанном и свободном состоянии в составе окалиносодержащих шламов, – до 50 тыс. м^3 в год.

3. Существенные затраты на содержание площадей комбината, отводимых под хранение твердых промотходов, а также их захоронение в котлованах.

Помимо прямых экономических убытков предприятию, связанных с повышенным расходом металла и воды, это наносит существенный ущерб окружающей среде.

Предложен перевод существующей технологии утилизации прокатной окалины на ресурсосберегающую технологию благодаря проведению следующих мероприятий:

1) непрерывная глубокая очистка от прокатной окалины оборотной технической воды, используемой при прокатке в установке "Вита–С" на основе кассетного магнитного сепаратора и флотатора;

2) непрерывное удаление маслосодержащих пленок с поверхности воды маслосъемными барабанами;

3) переработка извлеченной прокатной окалины для ее последующего брикетирования и возврата в конвертерное производство.

Сущность необходимых для этого мероприятий пояснена на рис. 2 и 3 и в описании к ним.

Реализация перечисленных мероприятий обеспечит:

1. Значительное уменьшение объемов потребления металлосырья (кусковой металлолом) для производства стали.

2. Снижение потерь оборотной технической воды до 50 тыс. м^3 в год и уменьшение общего потребления оборотной технической воды в производстве горячекатаного листопроката.

3. Уменьшение общих землеотводимых площадей для хранения твердых техногенных отходов.

4. Оздоровление экологической обстановки региона.

5. Возврат в металлооборот комбината до 100 тыс. т в год металла в виде железосодержащего сырья.

Рис. 2. Блок-схема промышленного рециклинга железосодержащих отходов на основе прокатной окалины

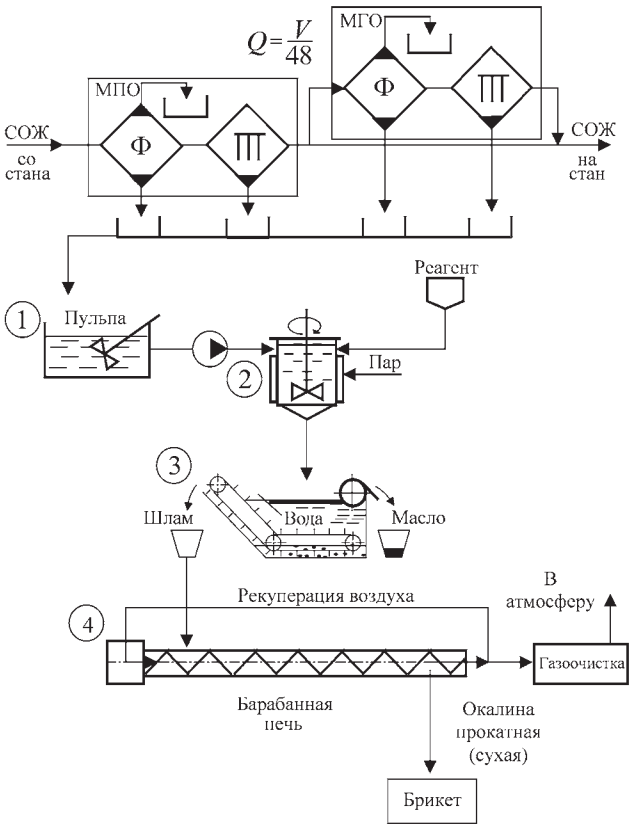


Рис. 3. Схема промышленного рециклинга водомаслоокалиносодержащих отходов в горячекатаном производстве

6. Ожидаемый экономический эффект от внедрения технологии промышленного рециклинга водомаслоокалиносодержащих техногенных отходов (шламов) – 20,1 млн руб. в год.

7. Срок окупаемости – до 0,5 года.

Система очистки воды от водомаслоокалиносодержащих отходов (ВМО), приведенная на рис. 2, заключается в следующем. Вода, загрязненная на стане горячей прокатки ВМО и посторонними маслами, поступает в бак модуля полнопоточной очистки (МПО), основными элементами которой являются кассетный магнитный сепаратор и флотатор. В МПО происходит флотация посторонних масел и среднедисперсных (10...40 мкм) частиц ВМО, а также магнитная сепарация ВМО размерами более 5 мкм. Удаление масляных пленок и окалиносодержащей пены, образующейся в результате флотации, осуществляется вращающимся барабаном.

Для предотвращения накопления ВМО в воде осуществляется ее очистка в модуле глубокой очистки (МГО), основными элементами которой являются кассетный магнитный сепаратор тонкой очистки и флотатор производительностью 2 % от общего объема системы. Данный модуль отбирает часть объема воды, очищенной в МПО, и осуществляет ее глубокую очистку по внутреннему циклу, что обеспечивает поддержание концентрации ВМО и посторонних масел в воде на требуемом уровне.

Удаленные флотацией посторонние масла могут быть отправлены на установки по регенерации отработанных масел.

Сбор удаленных ВМО с модулей полнопоточной и глубокой очистки воды осуществляется конвейером, который отправляет ее на линии по утилизации техногенных ВМО.

В состав линии по утилизации техногенных ВМО входит четыре основных модуля (см. рис. 2 и 3), где осуществляются следующие технологические операции:

1. Подготовка пульпы – заключается в интенсивном перемешивании ВМО для образования гомогенной основы. Пульпа насосом из смесителя перекачивается в реактор.

2. Реагентная обработка пульпы – проводится для разложения устойчивой механической пульпообразной смеси. Используется химический реагент – ДОР-21. Обработка осуществляется в подогретом состоянии при интенсивном перемешивании.

3. Первичная десорбция – твердая механическая смесь из реактора поступает во флотационную установку, где в условиях интенсивного воздушного эжектирования, осуществляется отделение свободной фракции масла (использован маслосъемный барабан).

Влаго- (вода) содержащая окалина драгой и транспортной конвейерной системой передается на позицию удаления связанных остаточных фракций воды и масла.

4. Термическая десорбция – проводится по испарительной технологии в барабанной вращающейся сушильной установке, при этом для повышения эффективности сушки прокатная окалина находится в состоянии, моделирующем эффект псевдокипения. Установка содержит систему газоочистки; работает по эффекту рекуперации. Конденсаторные элементы установки осуществляют выделение из газообразных продуктов сушки воды (направляется в систему оборотного технического водоснабжения) и масла (на утилизацию).

Получаемая обезвоженная (0 % воды) и обезмаслянная прокатная окалина (0...1 % масла) поступает на технологический комплекс получения плотноупакованных брикетов с последующим их использованием в конвертерном производстве при плавке стали.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Кокорин В.Н.** К стадийности прессования двухкомпонентных смесей с различным агрегатным состоянием / В.Н. Кокорин, М.В. Кокорин // Вестник УлГТУ. 2002. № 1. С. 38–41.

2. **Радомысельский И.Д.** Некоторые особенности уплотнения порошков на разных стадиях прессования / И.Д. Радомысельский, Н.И. Щербань // Порошковая металлургия. 1980. № 11. С. 12–19.

Валерий Николаевич Кокорин, канд. техн. наук

В.Н. Таловеров, Р.К. Лукс *(Ульяновский государственный технический университет)*

Совершенствование виброизолирующего устройства ковочного молота

Рассмотрена новая конструкция виброизолирующего устройства для ковочных молотов. Положительный эффект достигается поддержанием практически постоянного давления в среде, разделяющей стойки молота и фундамент, и взаимной компенсацией динамических составляющих сил в фундаменте.

The article considers the new construction of vibration isolation pad for forging hammers. The pad supports constant pressure of the liquid medium that separates hammer's bays and foundation bed and realizes the cancellation of dynamic forces in the foundation bed.

Несмотря на применение виброизолирующих устройств, от работающих молотов на грунт передается значительная вибрация. Уменьшение ударных нагрузок на грунт, создаваемых работающими молотами, является актуальной проблемой [1].

В статье предложен один из возможных способов существенно уменьшить вибрацию от ковочного молота.

Опорные устройства работающего молота воспринимают как статические, так и динамические нагрузки. На рис. 1 F_1 – сила давления молота в состоянии покоя, F_2 – сила давления при ускоренном движении падающих частей; F_3 – сила давления во время колебательного процесса шабота.

При ускоренном движении падающих частей станина приобретает импульс, практически равный импульсу, полученному падающими частями:

$$p_1 = \sqrt{2mE},$$

где m – масса падающих частей; E – энергия удара.

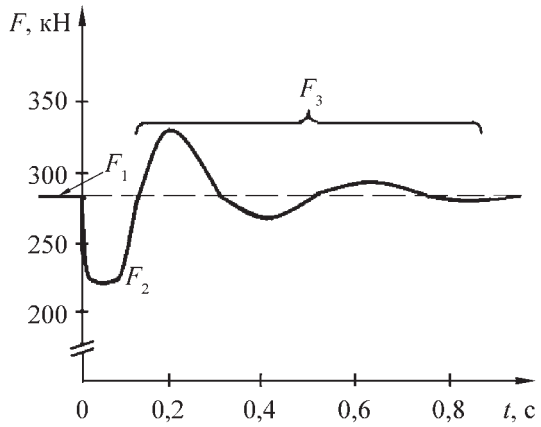


Рис. 1. Зависимость от времени силы давления ковочного молота М1340, установленного на опорные устройства с пружинно-рессорной виброизоляцией шабота и частотой собственных колебаний 2,5 Гц

Затем в результате удара шабот получает импульс

$$p_2 = \frac{(1+\varepsilon)mm_1 \mathrm{v}}{m+m_1},$$

где ε – коэффициент восстановления удара; m_1 – масса шабота; v – скорость бабы молота перед ударом.

Направление импульса шабота противоположно направлению импульса, полученного станиной. При использовании пружинно-рессорной виброизоляции шабота существенно увеличивается время, в течение которого полученный шаботом импульс передается грунту, что и ведет к уменьшению амплитуды динамической составляющей силы воздействия. Кроме того, пружинно-рессорная виброизоляция позволяет погасить колебания к моменту следующего удара [1].

На производстве наиболее часто виброизоляцию шабота ковочного молота осуществляют с помощью прокладок из дуба или бука. При такой виброизоляции существенно уменьшается период колебаний и, как следствие, возрастает амплитуда динамической составляющей силы воздействия молота на грунт.

На рис. 1 видно, что шабот и станина получают отмеченные импульсы в разные моменты времени. Существенно понизить вибрацию от работающего молота можно с помощью механизма, который способен превращать энергию, полученную станиной, в энергию встречного движения шабота, поддерживая при этом практически постоянное давление в среде, разделяющей молот и грунт. Роль такой среды может выполнять сжатый воздух или жидкость. Виброизолирующее устройство для штамповочного молота, в котором реализуются отмеченные выше процессы, описано в работах [2 и 3].

Так как опорные устройства шабота и станины ковочного молота не связаны между собой, конструктивно виброизолирующее устройство этого молота должно отличаться от устройства штамповочного молота. На рис. 2 изображена часть ковочного молота и его виброизолирующее устройство. Изображенная часть ковочного молота состоит из стоек *1* и *2* станины, шабота *3*, падающих частей *4*.

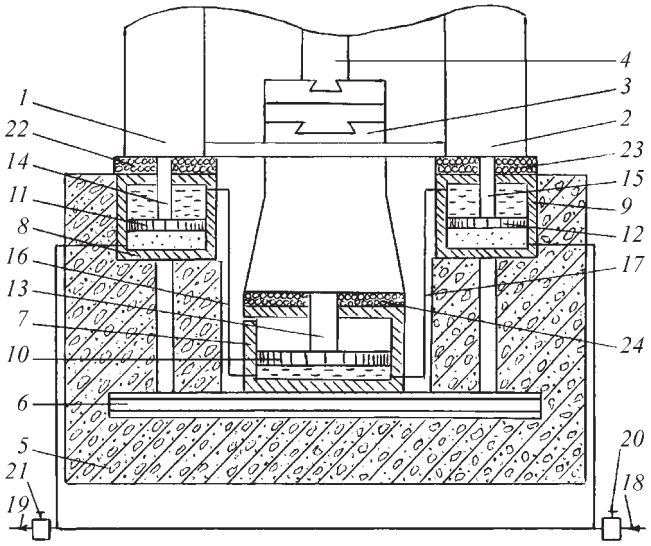


Рис. 2. Схема виброизолирующего устройства для ковочного молота

Виброизолирующее устройство ковочного молота устанавливают на фундаменте *5*. В фундамент введена металлическая рама *6*. На металлической раме *6* крепятся цилиндр *7*, расположенный под шаботом *3*, и цилиндры *8* и *9*, расположенные под стойками *1* и *2* станины. Поршни *10*, *11* и *12* этих цилиндров жестко связаны штоками *13*, *14* и *15* с шаботом *3* и со стойками *1* и *2*. Суммарное эффективное сечение верхних полостей цилиндров *8* и *9* должно быть равно сечению цилиндра *7*.

Верхние полости цилиндров *8*, *9* и нижняя полость цилиндра *7* заполнены жидкостью и соединены между собой каналами *16* и *17*. У неработающего молота давление этой жидкости должно быть таким, чтобы сила давления на поршень *10* компенсировала вес шабота. Нижние полости цилиндров *8* и *9* заполнены воздухом и соединены с пневмомагистралью *18* и атмосферой *19* впускным *20* и выпускным *21* регулируемыми клапанами. Стойки *1*, *2* и цилиндры *8*, *9*, шабот *3* и цилиндр *7* разделены между собой упругими опорными пластинами *22*, *23* и *24*.

Устройство работает следующим образом. С помощью регулируемых клапанов *20* и *21* в нижних полостях цилиндров *8* и *9* создают такое давление воздуха *P*, при котором суммарная сила давления на станину уравновешивает вес молота:

$$P = \frac{(m_1 + m_2)g + P_а S}{S},$$

где m_2 – масса станины с падающими частями; $P_а$ – атмосферное давление; S – суммарное сечение нижних полостей цилиндров *8* и *9*.

При движении падающих частей *4* вниз сила реакции ΔF, действующая на станину, направлена вверх:

$$\Delta F = E/H,$$

где H – высота падения бабы.

Поршни *11* и *12*, перемещаясь вверх, повышают давление в жидкости на величину

$$\Delta P = \frac{\Delta F}{S_1}\sqrt{\frac{m_1}{m_1 + m_3}},$$

где S_1 – поперечное сечение цилиндра *7*; m_3 – масса станины.

При изменении давления жидкости как на цилиндр *7*, так и на цилиндры *8* и *9*, действуют дополнительные силы. Действие этих сил на фундамент в любой момент времени работы молота взаимно скомпенсировано металлической рамой *6*. Станина и шабот *3* под действием силы реакции, действующей на станину, приходят в движение. Полученный ими импульс к моменту удара будет близок по модулю к импульсу, полученному падающими частями *4* перед ударом.

После удара шабот *3* и станина за счет энергии, полученной шаботом *3* при ударе, изменят направление движения и за время движения падающих частей *4* вверх должны вернуться в исходное положение. Чтобы выполнялось последнее условие, подбирают необходимые значения давлений срабатывания у регулируемых клапанов *20* и *21*. Уменьшение давлений срабатывания отмеченных клапанов ведет к уменьшению времени возврата шабота и станины в исходное для последующего удара положение.

При работе рассматриваемого устройства вибрация от фундамента на землю будет незначительной по следующим причинам. Во-первых, в нижних полостях цилиндров *8* и *9* давление газа во время работы молота остается практически постоянным. Изменение давления в этих цилиндрах зависит от минимальной разности давлений срабатывания клапанов *20* и *21*. Например, при разности давлений срабатывания 0,05 атм. и поперечном суммарном сечении цилиндров *8* и *9* $S = 0{,}5$ м^2 появляется динамическая составляющая силы давления 2,5 кН. Во-вторых, при работе молота изменение давления жидкости не приводит к изменению сил воздействия цилиндров *8* и *9* и цилиндра *7* на фундамент, так как они взаимно компенсируют друг друга.

В целях экономии энергии, потребляемой виброизолирующим устройством, целесообразно использовать механизм, представленный в работе [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Кошелев В.П.** Демпфирование виброизолированных молотов // Кузнечно-штамповочное производство. 1997. № 4. С. 25–29.

2. **Пат.** 2109592 РФ, МКИ B 21 J 7/02. Штамповочный молот со встречным ударом.

3. **Таловеров В.Н., Лукс Р.К., Чефранов А.С.** Совершенствование виброизолирующих устройств штамповочных молотов // КШП-ОМД. 2002. № 3. С. 27–30.

Владимир Николаевич Таловеров, канд. техн. наук;
Рудольф Кузьмич Лукс, канд. техн. наук

С.В. Филимонов, В.И. Лапшин, В.И. Филимонов, А.В. Филимонов
(Ульяновский государственный технический университет)

Технология изготовления полузакрытых профилей в роликах методом интенсивного деформирования

На примере профиля обрамления бронированных дверей проведен анализ и выработаны рекомендации по разработке технологии производства полузакрытых профилей.

The reinforced doors decorative frame having been considered as an example, on the basis of an appropriate analysis there are worked out some recommendations relating to fabrication method of semi-closed profiles.

Развитие производства гнутых профилей в последние годы имеет тенденцию к стремительному росту в связи с разработкой новых материалов с покрытием и широким применением гнутых профилей в жилищном, дорожном и транспортном строительстве, машиностроении. Потребности отечественного рынка склоняются в сторону специальных, эксклюзивных профилей, в то время как профили типовой номенклатуры, составляющие пока до 70 % сортамента, постепенно вытесняются с рынка профильной продукции.

Специальные гнутые профили изготавливают на профилировочных станках традиционным многопереходным профилированием ленты, методом интенсивного деформирования (МИД) и в редких случаях – методом стесненного изгиба. Метод интенсивного деформирования базируется на регулируемой знакопеременной продольной деформации подгибаемых элементов профиля во избежание потери их устойчивости, реализуется в закрытых роликовых калибрах и требует в 1,5...2 раза меньше переходов, чем традиционное профилирование. Сокращение числа переходов является существенным преимуществом для условий мелкосерийного или разового выпуска партии профилей. Вместе с тем разработка технологии производства специальных, в частности, полузакрытых профилей с элементами двойной толщины представляет собой далеко не тривиальную задачу.

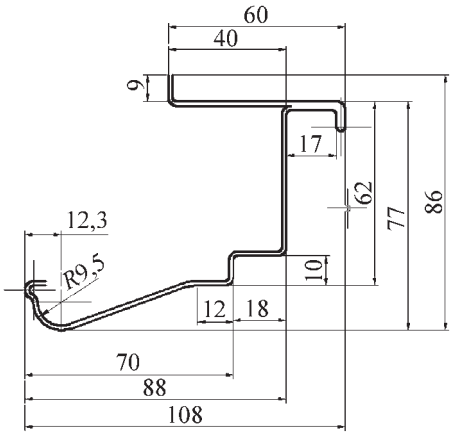


Рис. 1. Конфигурация полузакрытого профиля дверного обрамления

Цель статьи: рассмотрение особенностей разработки технологии производства полузакрытых профилей на примере дверного профиля с элементами двойной толщины, изготавливаемого по полузакрытой схеме.

Профиль, используемый в качестве обрамления бронированных дверей, имеет сечение, показанное на рис. 1.

Разработка технологии предполагает решение следующих задач: предварительное определение числа переходов; выбор базового элемента профиля (или оси профилирования) и расположение окончательного сечения профиля в роликах последней пары; определение схемы формовки; разработка схемы формообразования; расчет протяженности зоны плавного перехода; определение мер предотвращения потери устойчивости элементов профиля; уточнение числа переходов и выбор профилировочного оборудования; определение видов замыкания калибров; проектирование и изготовление технологического оснащения; отработка технологии и определение режимов формообразования профиля.

Число переходов. Для полузакрытых профилей произвольного типоразмера модели числа переходов отсутствуют. Однако конфигурацию данного профиля можно привести к эквивалентной С-образной конфигурации для предварительного определения числа переходов [1]. В данном случае профиль следует развернуть открытой частью вверх и вытянуть элемент двой-

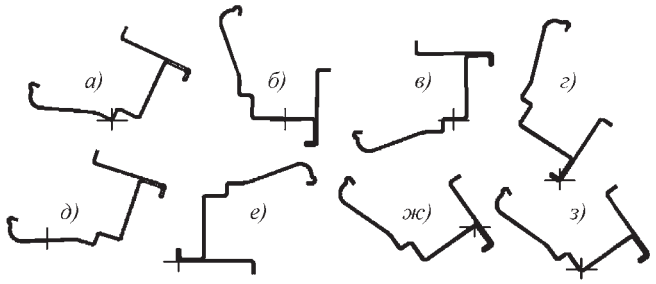


Рис. 2. Расположение сечений профиля в роликовом калибре

ной толщины по направлению элемента, несущего отбортовку. Указанный элемент должен располагаться вертикально для обеспечения возможности расчета числа переходов по схеме С-образного профиля типовой номенклатуры. Модель расчета числа переходов для профилей типовой номенклатуры приведена в работе [1]. Для рассматриваемого профиля расчет дает восемь переходов.

Выбор оси профилирования и расположение окончательного сечения профиля в роликах. На рис. 2 приведены восемь видов расположения окончательного сечения профиля в роликах с соответствующим выбором положения оси профилирования (отмечено перекрестьем). В отличие от традиционного профилирования, где ось профилирования располагают обычно по центру тяжести сечения профиля, при МИД ось профилирования имеет привязку к точке, подверженной наименьшему перемещению. Рассмотрим последовательно представленные виды расположения сечения в роликах по отношению к их осям симметрии.

Расположение сечения на рис. 2, *а* дает возможность формовки элементов на первых переходах по открытой схеме. Однако на последних переходах левая часть профиля практически не подвержена деформированию, в то время как правая часть (с отсчетом от положения оси профилирования) подвержена значительной формовке. Более того, подгибаемая полка несет элементы жесткости, увеличивающие продольную деформацию правой части сечения. В дополнение к этому замыкание калибров пришлось бы осуществлять на различных уровнях, что обычно приводит к различию линейных скоростей соответствующих зон формующих роликов. Указанные обстоятельства не позволяют принять данный выбор.

Расположение сечения на рис. 2, *б* предполагает предварительную свертку правой части заготовки в элемент двойной толщины с последующей отгибкой вниз, когда неизбежно встречное движение верхнего ролика при контакте в межклетьевом пространстве, что весьма нежелательно ввиду возможности задиров и раскрытия элемента двойной толщины. К тому же формовка прилегающей к горизонтально расположенному элементу зоны сгиба может оказаться нестабильной.

Левая сторона профиля представляет собой участок значительной высоты, так что потребуется большая глубина "врезания" профиля, если также учесть противоположное расположение элемента двойной толщины. Вдобавок, замыкание калибров пришлось бы осуществлять также на различных уровнях, что доставляет различные линейные скорости правой и левой частям сечения профиля. Такое расположение профиля в роликах является неблагоприятным.

Расположение сечения на рис. 2, *в* требует, во-первых, замыкания роликов на различных уровнях; во-вторых, правая часть профиля (точнее, заготовки), обладающая высокой жесткостью, подлежит подгибке на значительный угол в условиях существенного высвобождения недоступных участков формовки, в то время как левая практически не меняет своего положения и к тому же отгибается вниз. Результатом может быть большая скрутка профиля, которая при воздействии на него со стороны правильного устройства может привести к раскрытию элемента двойной толщины и искажению конфигурации. Такое расположение профиля в роликах следует отнести к разряду малоудачных.

Расположение профиля на рис. 2, *г* хотя и в большей степени, чем рассмотренные случаи, допускает двусторонний доступ роликов к заготовке, все же неприемлемо в связи с тремя недостатками: во-первых, требуется большая глубина "врезания"; во-вторых, несбалансированность продольных деформаций левой (весьма протяженной) и правой (сравнительно короткой) частей заготовки по развертке сечения чревата последующей скруткой профиля; в-третьих, разные уровни замыкания калибров вызывают дополнительные поводки профиля.

Расположение профиля на рис. 2, *д* фактически предоставляет возможность лишь односторонней подгибки полки с предварительно сформованным на первых переходах элементом жесткости. В этом случае замыкание калибров происходит на значительно дистанцированных уровнях, а процесс формообразования сопровождается проблемами обеспечения формы и размера готового профиля, поскольку формовка на последних переходах происходит в условиях значительного "высвобождения", т.е. наличия зон без свободного двустороннего доступа инструмента. При этом требуется большее число технологических переходов, чем определено предварительно. Данное расположение профиля в роликах не может считаться оптимальным.

Аналогичными недостатками обладает и схема, приведенная на рис. 2, *е*, усугубленная еще и тем, что глубина "врезания" в верхний ролик больше, чем на рис. 2, *д*, и для большинства переходов формовка осуществляется почти по закрытой схеме.

Наиболее благоприятными с точки зрения формообразования являются расположения сечения профиля в роликах, приведенные на рис. 2, *ж* и *з*. Причем расположение сечения профиля в роликах на рис. 2, *з* предпочтительнее, поскольку в этом случае подгибка практически всех элементов происходит вверх или с

сохранением знака приращения суммарного угла подгибки. Это позволяет избежать негативного встречного движения формующих элементов верхнего ролика в межклетьевом пространстве при подгибке элементов, хотя и существует различие в уровнях замыкания роликов. Однако этот недостаток можно устранить надлежащим выбором режимов формообразования (настройки станка).

Сделаем замечание относительно числа переходов для различного расположения профиля в роликах. Рассмотренные схемы на рис. 2, *а–ж*, в принципе, могут быть реализованы при ряде дополнительных условий, основное из которых – увеличенное число переходов. Представляется реалистичной реализация процесса формовки данного профиля и по другим схемам за 12–18 переходов, однако для некоторых случаев (рис. 2, *б–е*) требуется также увеличение диаметров формующих роликов.

В данном рассмотрении не акцентируется вопрос потери устойчивости периферийных элементов из двух соображений: во-первых, подгибаемые полки являются элементами жесткости; во-вторых, сравнительно большая толщина заготовки при заданных размерах полок позволяет не уделять пристального внимания данному вопросу.

Схема формовки. В методе интенсивного деформирования принята схема параллельной формовки элементов профиля в отличие от традиционного профилирования, где весьма часто применяют последовательную схему формовки, приводящую к завышенному числу переходов [1].

Разработка схемы формообразования. На рис. 3 приведена разработанная схема формообразования, на рис. 4 – графики горизонтальных и вертикальных перемещений периферийных элементов жесткости. При этом лишь на четвертом и пятом переходах глубина "врезания" профиля несколько превышает глубину врезания профиля на последнем переходе.

Следует также отметить то преимущество выбранного расположения профиля в последней паре роликов, что к окончанию формообразования концевые элементы находятся на одном и том же уровне. В этом смысле схема формообразования несколько напоминает схему формообразования неравнополочного уголка, что позволяет выстроить схему формообразования оптимальным образом, без значительной подгибки полки, несущей элемент двойной толщины. В данной схеме ось профилирования делит заготовку примерно пополам, а монотонная подгибка по углу крайних полок с элементами жесткости доставляет им примерно равные продольные деформации в каждом из переходов, которые несколько уменьшаются за осевой плоскостью роликов вследствие эффекта "жесткого конца", регулируемого соотношением диаметров роликов соседних переходов [1].

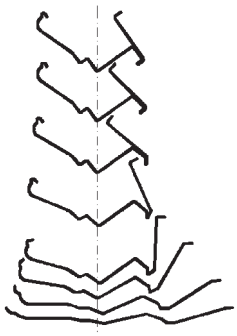


Рис. 3. Схема формообразования профиля

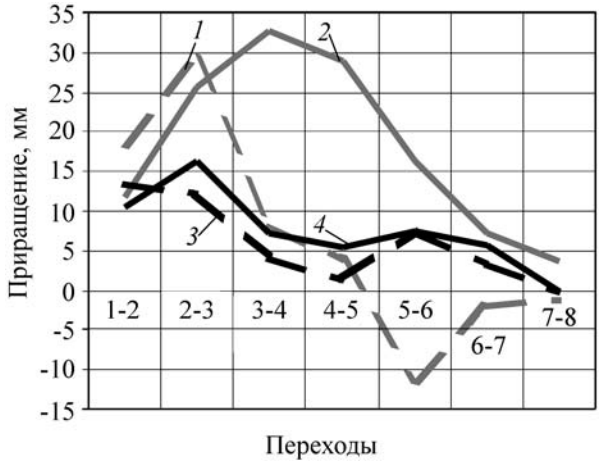


Рис. 4. Перемещения периферийных элементов жесткости: *1* и *2* – соответственно вертикальные и горизонтальные перемещения правого периферийного элемента жесткости; *3* и *4* – соответственно вертикальные и горизонтальные перемещения левого периферийного элемента жесткости

Приближенность разработанной схемы к схеме открытой формовки с монотонным характером подгибки по углу практически всех элементов хорошо видна из рис. 5, представляющего так называемую "розеточную схему" (или "flower diagram" в американской терминологии).

Расчет протяженности зоны плавного перехода. Расчет протяженности зоны плавного перехода выполняется для периферийных подгибаемых элементов в соответствии с моделью зоны плавного перехода работы [1]. Полученный результат для каждого из переходов сравнивается с межклетьевым расстоянием предполагаемого к использованию профилировочного оборудования. Протяженность зоны плавного перехода не должна превышать величину межклетьевого расстояния станка во избежание переформовки элементов профиля.

Меры предотвращения потери устойчивости элементов профиля. В общем случае для оценки потери устойчивости можно использовать модель, в которой потеря устойчивости прогнозируется индикаторной функцией [1]. Однако данный критерий разработан для профилей типовой номенклатуры и одного вида

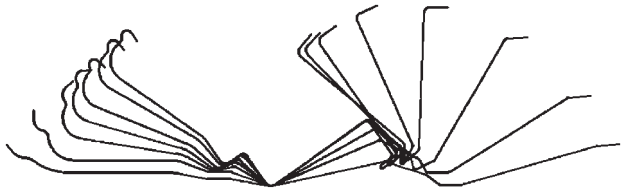


Рис. 5. Схема формообразования в "розеточной форме"

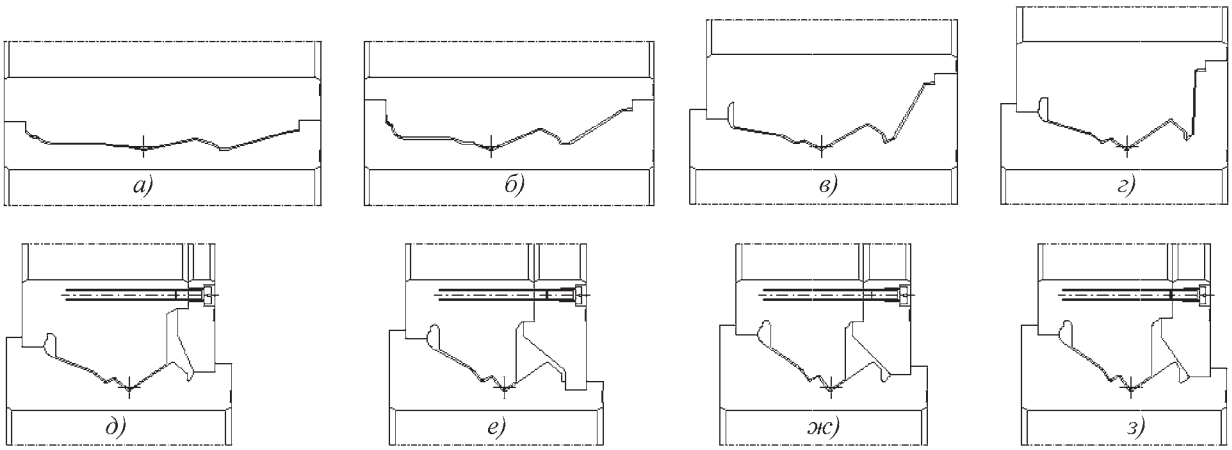


Рис. 6. Схемы замыкания роликовых калибров и зоны "высвобождения":
позиции *а–з* соответствуют позициям *а–з* на рис. 2

потери устойчивости – кромковой волнистости. Тем не менее, профиль полузакрытого типа может быть редуцирован к типовому, а подгибаемые полки можно привести с помощью метода локальных жесткостей к плоской эквивалентной полке, для определения устойчивости которой можно воспользоваться критерием кромковой волнистости – индикаторной функцией. Вообще же, специальных и всеобъемлющих критериев потери устойчивости элементов при профилировании пока не существует.

Уточнение числа переходов и выбор профилировочного оборудования. Иногда разработка схемы формообразования вызывает необходимость в увеличении или сокращении первоначально определенного числа переходов. Это может возникать как из-за погрешностей модели и процедуры приведения сечения профиля к типовой конфигурации, так и вследствие издержек на уровне определения положения сечения профиля в роликах, разработки схемы формообразования и предварительного определения режимов формообразования. В этой связи перед выбором профилировочного оборудования уточняют число переходов, а при разработке схемы формообразования под наличное оборудование с ограниченными возможностями предусматривают ряд дополнительных мер. Такие случаи достаточно хорошо описаны в работе [1].

Применительно к разработанной схеме рассмотрим выбор одного из типов станков конструкции ООО "НПО "ИДМ" [2]. Данное предприятие производит профилировочные восьмиклетьевые станки "среднего типа" с зубчатым и карданным приводами клетей. Оба станка обладают достаточной мощностью, приемлемой длиной валов, подходящим межосевым и межклетьевым расстояниями, однако выбор следует сделать в пользу станка с карданным приводом клетей. Дело в том, что замыкание роликовых калибров (рис. 6) для ряда переходов выполнено на разных уровнях для левой и правой частей роликов. Это приводит к различию скоростного режима различных формующих элементов инструмента. Относительного выравнивания линейных скоростей рабочих участков нижнего и верхнего роликов можно добиться отключением привода некоторых валов. Очевидно, возможность отключения отдельных валов существует только у станка с карданным приводом, чем и определяется его выбор.

Определение вида замыкания калибров. Данный вопрос достаточно подробно изложен в работе [3] и выходит далеко за рамки производства профилей полузакрытого типа. Укажем лишь, что для рассматриваемого профиля применяют замыкание по горизонтальным и вертикальным линиям разъема с двусторонним "врезанием" и геометрическим замыканием валов (см. рис. 6).

Проектирование и изготовление технологического оснащения. Изготовление оснастки обычно сводится к стандартным операциям механической и термической обработки. Для комплекта оснастки для производства рассматриваемого профиля характерно то, что верхние ролики последних четырех переходов выполнены сборными в целях обеспечения возможности использования стандартного режущего инструмента (см. рис. 6). Изготовленный инструмент показан на рис. 7.

Отработка технологии и определение режимов формообразования. В результате отработки технологии установлено, что наилучшие результаты профилирования достигаются при отключенных верхних валах последних четырех переходов и холостой четвертой клети, что связано с условиями замыкания роликовых калибров. Геометрические характеристики сечения были выдержаны в пределах заданных допусков, продольная кривизна и скрутка отсутствовали.

Технология реализована на базе автоматизированной линии "среднего типа" производства ООО "Спецтехнология", включающей рулонницу, профилировочный станок, летучую пилу и систему управления.

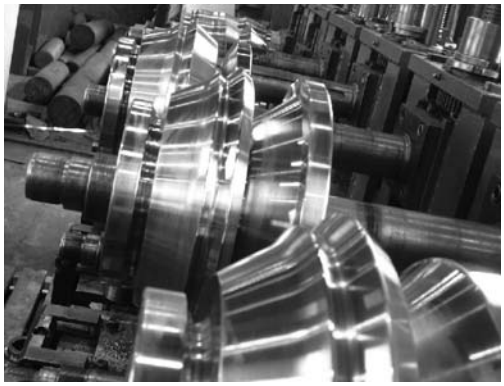


Рис. 7. Формующие ролики

Технология и оборудование внедрены на площадях Заказчика и успешно эксплуатируются.

К сожалению, ряд вопросов выпал из рассмотрения по причине их малого значения для данного профиля, например, вопрос расчета ширины заготовки и боковой утяжки, вопрос учета пружинения и др.

Хотя в данной публикации вопросы разработки технологии производства полузакрытых профилей рассмотрены преимущественно на качественном уровне, ряд весьма полезных выводов и рекомендаций позволит технологам избежать серьезных ошибок в разработке технологии профилирования, чреватых существенными финансовыми потерями.

Выводы

1. При разработке технологии производства полузакрытых профилей предварительный расчет числа переходов следует проводить после приведения конфигурации профиля к сечению профиля типовой номенклатуры на основе модели расчета числа переходов, разработанной авторами.

2. Расположение окончательного сечения профиля в роликах следует выбирать так, чтобы обеспечить двусторонний доступ инструмента к заготовке на возможно большем числе переходов. При этом концевые участки профиля должны быть примерно на одном и том же уровне.

3. Вертикальная плоскость, содержащая ось профилирования, должна делить заготовку примерно на равные части.

4. Следует отдавать предпочтение параллельной схеме формовки.

5. Схема формообразования должна гарантировать равенство продольных деформаций подгибаемых полок и обеспечивать двусторонний доступ инструмента к заготовке на возможно большем числе переходов, а также точность формовки элементов профиля.

6. Проверку пригодности схемы формообразования следует проверять расчетом протяженности зоны плавного перехода в целях предупреждения переформовки профиля.

7. Для предотвращения потери устойчивости элементов профиля следует осуществлять корректировку схемы формообразования в части пересмотра углов подгибки на основе соответствующих расчетов и использовать натяг профиля, межклетьевые проводки и т.д.

8. Выбор вида замыкания калибров следует проводить на основе разработанного авторами классификатора замыканий роликового калибра, предпочитая геометрическое замыкание силовому.

9. В необходимых случаях рекомендуется использовать сборную оснастку.

10. Режимы формообразования (настройка калибров, правильного устройства, схемы привода клетей) следует выбирать с учетом схем формообразования и получаемого качества профиля при отработке.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Филимонов С.В., Филимонов В.И.** Метод, расчеты и технология интенсивного деформирования гнутых профилей типовой номенклатуры. Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2004. 246 с.

2. **Пат.** РФ на полезную модель № 50886. МПК B21D 5/06. Профилегибочный стан / В.А. Литвинов, А.В. Филимонов, Д.П. Зарубин, С.В. Филимонов, В.И. Лапшин. Опубл. 27.01.2006. Бюл. № 03.

3. **Филимонов В.И., Филимонов С.В.** Условия замыкания калибров при интенсивном формообразовании открытых профилей в роликах // Производство проката. 2004. № 11. С. 23–28.

Сергей Вячеславович Филимонов, канд. техн. наук;
Владимир Иванович Лапшин, инженер;
Вячеслав Иванович Филимонов, д-р техн. наук;
Андрей Вячеславович Филимонов, инженер

Редакционный совет журнала поздравляет кафедру «Материаловедение и обработка металлов давлением» Ульяновского государственного технического университета с 50-летием!

Желаем замечательному коллективу здоровья, счастья, дальнейшего развития достигнутых успехов в научной деятельности!

Ю.А. Курганова *(Ульяновский государственный технический университет)*

Повышение механических свойств дискретно-армированных композиционных материалов с алюминиевой матрицей

Рассмотрены методы управления свойствами композиционных материалов на основе матриц из алюминиевых сплавов, дисперсно-упрочненных частицами керамики SiC для достижения оптимального комплекса свойств, предполагаемых для триботехнических условий эксплуатации.

The article considers some methods of the properties control of composite materials with aluminum matrix discretely reinforced by SiC ceramic particles to fit the tribotechnical service conditions.

Композиционные материалы (КМ) с металлическими матрицами отличаются повышенной жаропрочностью и длительной прочностью, хорошими магнитными, электрическими и демпфирующими свойствами. Высокая термическая стабильность матрицы при добавлении твердых частиц керамики определяет перспективность использования КМ на основе алюминия в триботехнических целях [1, 2]. Такие сплавы считаются перспективными заменителями традиционных антифрикционных сплавов в связи с экономией дорогостоящих элементов, снижением массы и относительной дешевизной и технологичностью [3].

Существует много технологий изготовления металломатричных композиционных материалов, упрочненных наполнителем. На выбор варианта технологии получения влияют назначение и формирование структуры, а также условия эксплуатации получаемого изделия. При изготовлении КМ необходимо обеспечивать следующие определенные условия: равномерное распределение армирующего наполнителя, заданный уровень прочности связи по границе раздела матрица–наполнитель, простоту и экономичность процесса.

Большинство тенденций в развитии материалов и технологий на современном этапе связано с литьем, причем отмечается, что у алюминиевых сплавов более высокий потенциал технологичности при данном способе изготовления по сравнению с другими материалами. Литейные технологии наиболее перспективны из-за простоты технологического процесса, минимальных припусков на механическую обработку, малого времени подготовки производства новых изделий, качества и срока службы изделия [3].

Одной из приоритетных технологий считается изготовление композита на алюминиевой основе методами компрессионного литья с использованием специально изготовленных преформ (pressure infiltration of preform) [4]. Отрицательным моментом является дороговизна процесса. Широко рекламируется метод формирования алюминиевых деталей – semi – solid processing. Основная особенность технологии в том, что металл нагревается выше температуры солидус и ниже температуры ликвидус. Заготовка находится в полутвердом состоянии (50 % жидкости и 50 % твердого сплава), при котором практически нет ограничений по штампуемости и давление прессования низкое, а следовательно, заготовка легко формуется. В некоторых статьях такое состояние называют ice-crè-me [5].

Одним из наиболее перспективных является метод жидкой штамповки. Жидкую штамповку для изготовления образцов КМ с малой объемной долей наполнителя, а именно таким является выбранный для исследования материал, осуществляют следующим образом: композиционный расплав нагревают в индукционной печи, удаляют оксидную пленку с поверхности, перемешивают и переливают в нижнюю часть штампа гидростатического пресса, прессуют и выдерживают до полного затвердевания заготовки. Метод обеспечивает получение высоких механических свойств и улучшенную микроструктуру по сравнению с КМ, полученными другими методами литья.

В настоящее время в современную металлургию алюминиевых сплавов внедряется прогрессивный насыпной метод легирования таблетками или порошковыми композиционными брикетами (ПКБ). Такой способ легирования может быть успешно использован в литейных цехах заводов как насыпной метод добав-

ления легирующих элементов в концентрированном виде с высокоточной регулировкой химического состава расплава при производстве высококачественных алюминиевых сплавов. Разработки отечественных аналогов порошков и технологий производства из них порошковых композиционных брикетов являются недостаточно развитыми, несмотря на то, что приоритет принадлежит в основном отечественным исследователям [7–9].

Использование порошковых таблеток позволяет осуществить быстрое и равномерное растворение, повысить усвояемость (более 95 % мас.) второго компонента в расплаве [10].

При получении таблетированных брикетов из композиционного материала с повышенной концентрацией армирующего компонента открывается реальная возможность изготовления деталей из композиционных материалов на основе алюминиевых сплавов на любом промышленном предприятии, располагающем литейными технологиями для традиционных алюминиевых сплавов с определенной вероятностью получения высоких механических свойств.

В статье приведено сравнение матричного не упрочненного частицами керамики материала с упрочненным материалом, полученным методом полужидкой штамповки и при насыщении армирующим компонентом по принципу всыпания таблетированных брикетов из композиционной смеси.

В качестве матричного выбрали сплав АМг3 (<0,01 % Cu; 3 % Mg; <0,05 % Si; <0,05 % Fe; Al – основа). Карбид кремния SiC служит оптимальным материалом для армирования алюминиевых сплавов вследствие того, что его плотность лишь незначительно выше плотности матрицы, он обладает высоким модулем упругости и достаточной прочностью [11]. Кроме того, частицы SiC являются совместимыми со всеми сплавами на алюминиевой основе, т.е. при взаимодействии компонентов граница раздела обладает требуемыми свойствами: достаточной прочностью для обеспечения восприятия нагрузки и отсутствием деградации одного компонента за счет другого. Содержание наполнителя, основываясь на теоретических рекомендациях и лабораторных исследованиях [12 – 14], а также из соображений практического интереса в качестве антифрикционного материала, приняли равным 5 % по объемной доле.

Технологический процесс изготовления таблетированных брикетов из алюмокерамики характеризуется отдельными специфическими особенностями, которые необходимо учитывать при их изготовлении.

Процесс приготовления смеси начинается с классификации порошков по размерам частиц. Порошки армирующей фазы просеивают на ситах для отсечения фракции меньше 40 мкм. Частицы керамики SiC промывают проточной холодной водой, высушивают при температуре 200 °С и прокаливают при 600 °С в течение 4 ч.

Предел прочности и микротвердость исследованных материалов, полученных различными методами

Материал	Метод изготовления	$\sigma_в$, МПа	HV, МПа
АМг3	Полужидкая штамповка	150	720
АМг3 + 5 % SiC	Полужидкая штамповка	90	960
АМг3 + 5 % SiC	Всыпание таблетированных брикетов	145	1020

Смешивали основные компоненты в чугунной ступке. Следующим этапом является добавление технологической присадки – пластификатора в виде диоксида цинка и тщательного перемешивания для достижения однородности распределения компонентов.

Подготовленную смесь засыпают в специальное приспособление, далее производится формирование брикета.

Таблетированные брикеты добавляют в расплав матричного сплава при температуре на 50 °С выше линии ликвидус и тщательно перемешиваются.

Предел прочности и микротвердость, измеренные ультразвуковым портативным прибором МЕТ-1У, приведены в таблице.

Снижение предела прочности в результате армирования 5 % наполнителя вызвано влиянием гетерофазности структуры. Используя метод порошковых композиционных брикетов для получения композиционного материала заданного состава, технологически можно добиться предела прочности, сравнимого с матричным.

Повышенное значение микротвердости объясняется влиянием армирующей фазы. В случае сравнения методов изготовления композиционного материала повышенная микротвердость может являться результатом влияния увеличения однородности распределения частиц керамики и изменением механизма взаимодействия по границе раздела наполнитель–матрица.

Доступный метод получения композиционного материала на производстве позволит использовать указанную группу материалов в значительных масштабах. Применение дисперсно-упрочненных материалов на основе алюминиевых сплавов как альтернативного материала в антифрикционных условиях при замене бронз позволяет обеспечить оптимальный комплекс эксплуатационных свойств при уменьшении массы. В случае альтернативной замены бронзы на композит указанной группы достигается уменьшение массы в 3 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Чернышова Т.А., Кобелева Л.И., Шебо П., Панфилов А.В.** Взаимодействие металлических расплавов с армирующими наполнителями. М.: Наука, 1993. 272 с.

2. **Крейдер К.** Композиционные материалы с металлической матрицей. Т. 4. М.: Машиностроение, 1978. 503 с.

3. **Семёнов Б.И.** Освоение композитов – путь к новому уровню качества материалов // Литейное производство. 2000. № 8. С. 6–11.

4. **Семёнов Б.Н.** Приоритетные технологии материалов идеологии конструирования и производства изделий в 21 веке // Технология металлов. № 7. 2001. С. 5–8.

5. **Крштал М.М.** О некоторых тенденциях в развитии автомобильных материалов (Всемирный конгресс 2002 года Международного сообщества автомобильных инженеров) // Технология металлов. 2003. № 9. С. 46–48.

6. **Поляков А.А.** Природа износа, безызносность и триботехнические свойства материалов // Вестник машиностроения. 1993. № 9. С. 17–23.

7. **А. с. 1210469 СССР, МКИ^6 С 22 с 1/06.** Способ получения алюминиевых сплавов / В.А. Золотухин, Г.И. Катышев, М.П. Боргояков и др. № 3670041/02; заявл. 7.12.83; опубл. 9.06.95, Бюл. № 16.

8. **А. с. 1663039 СССР, МКИ^5 С 22 с 1/02.** Способ получения алюминиевых сплавов / О.М. Шаповалова, И.И. Геращенко, В.М. Нагорный и др. № 4398109/02; заявл. 23.03.88; опубл. 15.07.91. Бюл. № 26.

9. **Цзя Цзюн, Ли Пей-Цзе, Чень Юй-Юн.** Способы повышения усвоения легирующих элементов алюминиевыми сплавами // Литейное производство. 1990. № 11. С. 30–31.

10. **Уваров В.В., Дроздов И.А., Боднарчук Д.А.** Об использовании легирующих таблеток при выплавке алюминиевых сплавов: сб. науч. тр. всероссийского совещания материаловедов России. Ульяновск: типография УлГТУ, 2006. С. 81–85.

11. **Лагасе Х., Ллойд Д.Дж.** Микроструктурный анализ КМ Al-SiC // Canadian Metallurgical Quarlirly. 1989. № 28. P. 145–152.

12. **Курганова Ю.А., Чернышова Т.А., Аграев А.А.** Литейные триботехнические композиционные материалы на базе алюминиевых сплавов // Литейщик России. 2003. № 1. С. 15–16.

13. **Курганова Ю.А., Чернышова Т.А., Кобелева Л.И.** Дискретно армированный КМ как альтернатива антифрикционным материалам // Технология металлов. 2005. № 10. С. 30–34.

14. **Курганова Ю.А., Чернышова Т.А., Кобелева Л.И.** Применение дискретно-армированного композиционного материала в узлах трения // Заготовительные производства в машиностроении. 2006. № 4. С. 45–47.

Юлия Анатольевна Курганова, канд. техн. наук

УДК 669.046

В.В. Руднева *(Сибирский государственный индустриальный университет)*

Композиционные покрытия с наноразмерным карбидом кремния: электроосаждение, свойства, применение

Представлены результаты исследования электроосаждения, физико-механических свойств и областей применения композиционных электрохимических покрытий с микро- и нанопорошками карбида кремния.

Results of investigation of plating, physicomechanical properties and application domains of silicon carbide micro- and nanopowder composition electrochemical coverings are represented.

В технологии композиционных электрохимических покрытий (КЭП) кристаллизация металла (никеля, хрома, железа, меди и др.) осуществляется из электролитов – суспензий, содержащих в качестве добавки так называемую упрочняющую фазу (наполнитель или модификатор), представляющую собой, как правило, вещество в порошкообразном состоянии, частицы которого включаются в формирующуюся на поверхности изделия металлическую матрицу. Благодаря включению частиц в покрытие его эксплуатационные свойства повышаются, что позволяет с помощью КЭП успешно решать многие практические задачи по поверхностному упрочнению конструкционных деталей и инструментальной оснастки и восстановлению их быстроизнашивающихся частей.

Для улучшения характеристик КЭП необходимо повышать уровень дисперсности упрочняющей фазы и в пределе использовать ее с такими частицами, размер которых существенно меньше размера зерна матрицы. Это позволяет, во-первых, улучшить качество электрохимических осадков за счет снижения пористости и микрошероховатости; во-вторых, способствует формированию матрицы с равновесной субзеренной структурой, равномерным содержанием частиц; в-третьих, позволяет повысить уровень физико-механических свойств покрытий в результате реализации

эффекта дисперсионного твердения и снижения внутренних напряжений; в-четвертых, расширяет технологические возможности процесса получения КЭП из-за незначительной седиментации наноразмерных частиц (НЧ) в электролитах-суспензиях и повышенной адсорбции ионов и других добавок. Эти обстоятельства предопределяют постоянное стремление специалистов, работающих в области технологии КЭП, к использованию в качестве второй фазы материалов высокой дисперсности, в том числе и наноматериалов [1–4].

Целью настоящей работы является установление особенностей электроосаждения и комплекса свойств композиционных покрытий на основе никеля и хрома, содержащих в качестве нанокомпонента карбид кремния.

Характеристика используемых наноматериалов

При выборе упрочняющей фазы в большинстве случаев предпочтение отдают алмазу и кубическому нитриду бора, тугоплавким, твердым, износо- и окалиностойким оксидам, карбидам, боридам, нитридам, силицидам и их композициям. В настоящей работе в качестве упрочняющей фазы использовали карбид кремния SiC в виде микропорошка (МП) с размером частиц менее 5 мкм и наноразмерного порошка (НП), полученного плазменным синтезом. Характеристики нанопорошка SiC приведены в табл. 1.

1. Основные характеристики нанопорошка карбида кремния

Характеристика	Значение
Химический состав основной фазы	$SiC_{0,95}N_{0,05}$
Содержание основной фазы, %	95,2*
Содержание примеси свободного (несвязанного в карбид) углерода, %	0,7
Удельная поверхность, $м^2/кг$	38000
Средний размер частиц, нм	62
Форма частиц	Ограненные
Распределение частиц по размерам, %:	
10...30 нм	6
30...70 нм	75
70...90 нм	19
Коррозионная стойкость в растворах электролитов	Устойчив в электролитах любой кислотности
Термоокислительная устойчивость на воздухе, °С	До 640

*После обогащения.

Методика исследования

Особенности электроосаждения КЭП исследовали на электролитах никелирования и хромирования, содержащих НП карбида кремния и его микропорошок (МП), следующих составов:

– электролит никелирования для получения КЭП Ni–SiC, $кг/м^3$: сернокислый никель (семиводный) 245, хлористый никель (шестиводный) 30, х-аминоуксусная кислота 20;

– электролит хромирования для получения КЭП Cr–SiC, $кг/м^3$: хромовый ангидрид 250, серная кислота 3, хром трехвалентный 8.

Для приготовления электролита-суспензии к навеске порошка добавляли небольшое количество чистого электролита, перемешивали до полного смачивания порошка, переносили в электролизер и разбавляли до требуемой концентрации. Корректировку pH проводили с помощью растворов NaOH или H_2SO_4. Осаждение покрытий проводили в стеклянных термостатированных электролизерах емкостью 0,001 $м^3$ при перемешивании суспензии магнитной мешалкой. Скорость движения электролита составляла 0,25...0,75 м/с. В качестве катодов использовали стальные образцы (Ст3), обезжиренные перед нанесением покрытий мелом и декапированные в 10 %-ном растворе HCl.

Содержание упрочняющей фазы в покрытии определяли химическим методом (ГОСТ 5744–94).

Микротвердость покрытий на основе никеля измеряли на образцах толщиной 40 мкм на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 0,5 Н. Внутренние напряжения определяли оптическим методом с помощью гибкого катода. Защитную способность покрытий оценивали по величине токов коррозии между покрытием и основой в нейтральном электролите. Коррозионные токи определяли методом Розенфельда.

Микротвердость покрытий на основе хрома измеряли на образцах толщиной 15 мкм на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 2 Н. Коррозионную стойкость покрытий определяли методом погружения в 3 %-ный раствор хлористого натрия с последующим определением числа коррозионных поражений на 5 $см^2$ поверхности через 100 ч испытаний.

Износостойкость полученных покрытий определяли на машине трения СМЦ-2 в условиях трения скольжения со смазкой на нагрузке 98 Н при скорости скольжения 1,15 м/с на стальных образцах по схеме: вращающийся диск (контртело) – неподвижный диск с толщиной покрытия 40 мкм для никеля и 15 мкм для хрома. В качестве контртела использовали диск диаметром 180 мм, толщиной 0,5 мм, закаленный до твердости 50...55 HRC.

Особенности электроосаждения КЭП с нанопорошками (НП)

Анализ полученных данных показывает, что введение НП в электролиты приводит к изменению таких технологических параметров электроосаждения, как

концентрация упрочняющей фазы в электролите и допустимая катодная плотность тока.

Возрастание допустимой катодной плотности тока обусловлено, по-видимому, стабилизацией значений pH в прикатодном слое при введении в электролит второй фазы. Для исследуемых электролитов никелирования и хромирования установлен следующий характер изменения катодной плотности тока в зависимости от дисперсности наполнителя:

без наполнителя (1,0 кА/м^2) → МП SiC (1,5...2,0) → НП SiC (3,0...4,0);

без наполнителя (5 кА/м^2) → МП SiC (5,5...6,0) → НП SiC (8...10).

Благодаря этому электролиты с нанокомпонентом более производительны, что делает их перспективными для получения композиционных покрытий больших толщин, необходимых для эксплуатации в условиях повышенного износа и восстановления изношенных поверхностей.

В присутствии нанопорошка насыщение покрытия частицами ультрамалых размеров происходит при меньшем их массовом содержании в покрытии и концентрации в электролите и не сопровождается снижением микротвердости (табл. 2). Подобное явление обусловлено резким возрастанием числа ультрамалых частиц в единице объема и достижением в связи с этим дисперсионного твердения металлической матрицы. Наблюдаемое некоторое снижение содержания упрочняющей фазы в покрытии с ростом концентрации порошков в электролите обусловлено развитием при высоких концентрациях процессов нетермической коалесценции и коагуляции ультрамалых частиц.

2. Зависимость содержания упрочняющей фазы *a* и микротвердости HV КЭП* от концентрации НП и МП в электролите

Концентрация НП, МП в электролите, кг/м^3	*a*, % мас. / HV, ГПа			
	Ni–НП SiC	Ni–МП SiC	Cr–НП SiC	Cr–МП SiC
1,0	0,45/6,2	0,52/5,0	0,20/9,0	0,47/8,4
3,0	0,5/6,4	0,6/5,3	0,41/9,3	0,72/8,6
10,0	0,7/7,8	0,8/5,7	0,59/9,7	0,89/8,9
20,0	0,9/8,4	1,3/6,2	0,82/10,1	1,1/9,0
30,0	1,1/9,0	1,75/6,4	–	–
40,0	1,15/8,8	2,2/6,5	–	–

Условия электроосаждения: КЭП Ni–НП, МП SiC: катодная плотность тока 2,5 кА/м^2; pH 2,2; T = 50 °С. КЭП Cr–НП, МП SiC: катодная плотность тока 8,0 кА/м^2; pH 2,0; T = 50 °С.

Результаты исследований свидетельствуют о технологической целесообразности применения нанопорошков с удельной поверхностью до 40000 м^2/кг. Использование более дисперсных наноматериалов усложняет технологию приготовления и эксплуатации электролита-суспензии. Это обстоятельство отмечается также в работах других исследователей. Например, авторы работы [3], использовавшие при композиционном хромировании алмазные нанопорошки с удельной поверхностью 400 000...500 000 м^2/кг (средний размер частиц 4...5 нм), отмечают, что при реализации обычных приемов приготовления электролита-суспензии нанопорошки вводятся в электролит с большим трудом (длительность перемешивания может составить 50...80 ч), в связи с чем ими разработана специальная длительная многооперационная технология.

Авторы работы [4], использовавшие для композиционного хромирования нанопорошок оксида алюминия с удельной поверхностью 100 000...150 000 м^2/кг (средний размер частиц 15...18 нм), также отмечают возникающие при приготовлении электролита-суспензии трудности, в связи с чем рекомендуют вводить нанопорошок в электролит в виде концентрированной суспензии, обработанной ультразвуком частотой 22 кГц.

Отмеченные особенности подтверждают значительное развитие в объеме электролита процессов коагуляции наночастиц, приводящих к их укрупнению, и усиливающихся при применении нанопорошков с удельной поверхностью 50 000...500 000 м^2/кг. Развитие процессов коагуляции обусловлено такими причинами, как неустойчивость наносистем, обладающих избыточной поверхностной энергией, и неудовлетворительная смачиваемость нанопорошков, связанная с состоянием поверхности их частиц и наличием или отсутствием на них поверхностного заряда. В результате возникает технологическая необходимость реализации процессов электроосаждения покрытий из электролитов-суспензий с повышенной концентрацией в них нанопорошков (табл. 3).

Можно видеть, что хром-карбидные покрытия имеют сопоставимые с хром-алмазными износостойкость, микротвердость, коррозионную стойкость, достигаемые при более низких концентрациях нанопорошка в электролите и существенном снижении стоимости 1 м^3 электролита-суспензии.

3. Сравнительные характеристики покрытий на основе хрома с нанопорошками карбида кремния и алмаза [3]

Условия электроосаждения и достигаемые результаты		Технологический вариант					
		1	2	3	4	5	6
Состав электролита, кг/м^3	Хромовый ангидрид	250	250	250	250	250	260
	Кислота серная	3	3	3	3	3	0,34
	Хром трехвалентный	8	8	8	8	8	–
	Калий кремнефтористый	–	–	–	–	–	19
	Барий сернокислый	–	–	–	–	–	7
	НП карбида кремния	4	6	7	8	10	–
	НП алмаза	–	–	–	–	–	20
Режим осаждения	Температура, °С	55	55	55	55	55	58
	Плотность тока, А/дм^2	55	55	55	55	55	55
Результаты	Износостойкость*	0,96	1,0	1,05	1,07	1,08	1
	Микротвердость, ГПа	8,9	9,0	9,1	9,15	9,15	9
	Коррозионная стойкость*	0,96	1,05	1,07	1,10	1,10	1
	Стоимость 1 м^3 электролитной суспензии*	0,013	0,016	0,018	0,020	0,023	1

*Износостойкость, коррозионная стойкость, стоимость 1 м^3 электролитной суспензии приведены по отношению к варианту 6, для которого значения этих показателей приняты за 1.

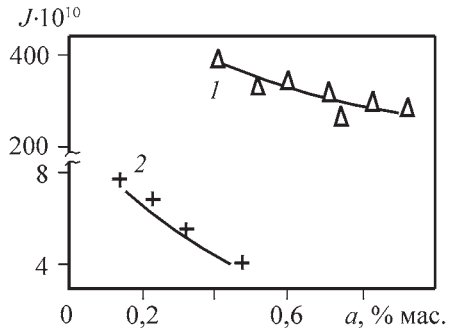
Физико-механические свойства КЭП с нанопорошками

Естественно предположить, что физико-механические свойства КЭП во многом зависят от сформировавшейся в процессе электроосаждения структуры металлической матрицы. Авторы работы [5], исследовавшие влияние технологических параметров электроосаждения на состав, структуру и свойства КЭП на основе никеля и хрома в зависимости от природы и размеров частиц наполнителя, отмечают, что включение в никелевую и хромовую матрицы наночастиц способствует повышению триботехнических и антикоррозионных свойств КЭП за счет увеличения количества частиц в покрытии и высокой степени равномерности распределения частиц по толщине покрытия. Отмечается также, что в никелевом покрытии формируется однородная мелкозернистая структура, в которой зерна осадка ориентированы нормально к подложке и характеризуются отношением диаметра (0,5...0,8 мкм) к длине 0,25...0,50. Включение наночастиц в хромовые осадки приводит к измельчению зерна в 10...15 раз и уменьшению трещиноватости.

Микротвердость композиционных материалов с нанокомпонентом на основе никеля и хрома в 1,40...1,90 раза выше, чем у чистых металлов, и в 1,10...1,20 выше по сравнению с композиционными материалами с микропорошком (см. табл. 2), причем во всех случаях микротвердость повышается с увеличением содержания частиц в композиционном материале. Повышение твердости связано с высокой эффективностью наночастиц как барьеров распространения дислокаций.

Включение наночастиц в никелевые и хромовые матрицы снижает интенсивность их изнашивания в зависимости от содержания наноразмерного порошка соответственно в 1,5...2,0 и 2,0...2,5 раза (рисунок). Значительное повышение износостойкости материала Cr–НП SiC связано с устранением в структуре слоя возбудителей местной концентрации напряжений – микротрещин, присутствующих в значительных количествах в чистых хромовых слоях.

Существенное отличие защитной способности композиционных материалов с частицами разной дисперсности связано с различным их напряженным состоянием, а также с предотвращением вследствие геттер-эффекта водородного растрескивания металла



Зависимость износостойкости КЭП от содержания в них НП SiC:
1 – Ni–НП SiC; $J_{Ni} = 6 \cdot 10^{-8}$; *2* – Cr–НП SiC; $J_{Cr} = 10 \cdot 10^{-10}$

4. Зависимость внутренних напряжений от толщины слоя композиционного материала

Толщина слоя, мкм	Внутренние напряжения, МПа		
	Ni	Ni–НП SiC	Ni–МП SiC
5	3,22	2,65	3,61
10	2,65	2,21	3,35
20	2,25	1,61	3,23
30	1,92	1,23	3,09
40	1,08	0,64	2,57

5. Зависимость коррозионных токов от толщины слоя композиционного материала

Толщина слоя, мкм	Токи коррозии, мкА/см^2		
	Ni	Ni–НП SiC	Ni–МП SiC
5	0,092	0,015	0,135
10	0,062	0,012	0,090
20	0,038	0,010	0,075
30	0,020	0,008	0,070
40	0,013	0,005	0,070

на границе раздела частица–матрица в композиционном материале Ni–НП. Внутренние напряжения минимальны в композиционных материалах с наноразмерным наполнителем, в 1,5...2,0 раза выше в чистых металлах и максимальны в композиционных материалах с микропорошком (табл. 4).

Также закономерно в этих материалах изменяется величина коррозионных токов (табл. 5) между слоем композиционного материала и стальной основой: при толщине слоя 40 мкм токи коррозии для материала Ni–НП в 12,8...14,0 и 2,6...4,8 раза ниже, чем соответственно у материалов Ni–МП и чистого никеля, что свидетельствует об образовании практически беспористых композиционных материалов, обеспечивающих высокие защитные свойства.

Определение коррозионной стойкости КЭП Cr–НП SiC в жидких средах показывает, что КЭП превосходят обычные покрытия на основе хрома в 1,3...1,5 раза (частотный показатель коррозии 0,3 %) и могут быть отнесены к группе стойких.

Применение КЭП с нанопорошками

Правильный выбор металла основы и режима электроосаждения позволяет получать КЭП двух основных типов: 1 – дисперсно-упрочненные с повышенной твердостью, износостойкостью, жаропрочностью; 2 – коррозионно-стойкие.

Покрытия первой группы используют для упрочнения деталей, работающих на износ в условиях трения скольжения. Например, термообработанные КЭП Ni–НП рекомендуются для упрочнения изнашивающихся деталей, работающих при средних окружных скоростях (1,5...2,5 м/с) и удельных нагрузках 5...6 МПа (валов, втулок, опор скольжения, шпинделей станков и т.д.).

Для защиты деталей, работающих на истирание в агрессивных средах (например, пресс-форм для литья изделий из термопластов, вызывающих коррозию металла, а также нефте- и газопромыслового оборудования) могут быть рекомендованы КЭП на основе хрома с НП. Такие КЭП имеют более высокую по сравнению с никелевыми твердость и износостойкость, пониженный уровень наводороженности и хорошие защитные качества. КЭП Cr –НП SiC отличаются также повышенной стойкостью к высокотемпературной ползучести и окислению.

Покрытия второй группы, применяемые для защитно-декоративной отделки машин и приборов, обычно представлены КЭП на никелевой основе с НП SiC.

Выводы

Установлено, что наноразмерный карбид кремния обеспечивает при использовании его в технологии КЭП достижение таких эффектов, как параметрический, проявляющийся в повышении в 2...3 раза верхнего предела допустимой катодной плотности тока; концентрационный, заключающийся в смещении интервала насыщения металлической матрицы в область более низких концентраций (содержание нанопорошка в матрице снижается в 1,5...2 раза, концентрация ее в электролите – в 8...12 раз); структурный, выражающийся в формировании практически беспористых покрытий, уменьшении внутренних напряжений, трещиноватости (для хрома).

Закономерным следствием особенностей структуры КЭП с нанопорошками является улучшение их физико-механических свойств, проявляющееся в повышении твердости, сопротивлении износу и коррозии в жидких и газовых средах.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Сайфуллин Р.С.** Физикохимия неорганических полимерных и композиционных материалов. М.: Химия, 1996. 240 с.

2. **Кобаяси Н.** Введение в нанотехнологию / Пер. с япон. М.: БИНОМ, 2005. 134 с.

3. **Пат.** 2156838 РФ. Способ получения композиционных металлоалмазных покрытий / Е.В. Никитин, Л.А. Поляков, Н.А. Калугин.

4. **Пат.** 2004126 РФ. Способ получения композиционных электрохимических покрытий на основе хрома / В.В. Сафонов, Э.К. Добринский, С.И. Малашин и др.

5. **Ягодкина Л.М., Халдеев Г.В., Андрюшечкин В.И.** Структура и физико-механические свойства композиционного покрытия хром–нитрид–титан // Плазмохимические процессы в технологии нитридов. М.: Изд. АН СССР, 1984. С. 77–82.

Виктория Владимировна Руднева, канд. хим. наук

УДК 621.961: 621.979.1.073: 669-42

А.В. Филина *(Орловский государственный технический университет)*

Получение коротких заготовок из пруткового материала в штампах с дифференцированным осевым и радиальным сжатием

В статье рассмотрены технологические возможности получения точных коротких заготовок из пруткового материала длиной меньше диаметра в штампе с дифференцированным осевым и радиальным сжатием.

The paper considers the technological opportunities of obtaining accurate short preforms from rod material in length less than diameter in a stamp with the differentiated axial and radial compression.

Изготовление из прутков точных заготовок длиной меньше диаметра является одной из проблем, решение которых находят в таких технологиях, в которых использовались бы положительные стороны простых процессов отрезки сдвигом.

Отрезные штампы широко используют в металлообрабатывающем производстве для резки пруткового материала на заготовки. В конструкции штампов легко создать различные схемы отрезки, повышающие качество заготовок, предусмотреть точное регулирование технологических параметров, обеспечить дозирование объема отрезаемых заготовок.

Для повышения точности размеров заготовок и качества поверхности среза применяют специальные отрезные штампы, устанавливаемые на кривошипных прессах. Повышенное в 3...5 раз число ходов прессов по сравнению с ножницами сопровождается увеличением скорости резки, что приводит к уменьшению глубины пластического внедрения и увеличению зоны скола. Профиль среза становится ровней, чем при резке прутков на ножницах, а сила резки увеличивается. Однако на ножницах нормальная резка происходит при относительной длине заготовки $l/d \geq 0{,}7...0{,}8$, а в штампах $l/d \geq 0{,}5...0{,}6$.

Решая одну из основных задач технологии обработки металлов давлением (ОМД) о максимальном приближении формы, размеров и качества поверхности штампованной заготовки к аналогичным параметрам готового изделия, неизбежно напрашивается вывод о необходимости использования объемной штамповки в холодном состоянии в закрытых штампах: безотходной и малоотходной штамповки. Эти методы значительно повышают коэффициент использования металла и точность поковок. Все более широкое развитие получают различные способы закрытой безотходной штамповки в штампах с компенсаторами и противодавлением.

Известны конструкции штампов [1, 2] с активным поперечным зажимом прутка, в которых отрезаемая часть прутка полностью замкнута в полости ножа и нагружается осевым подпором, вследствие чего в образовавшемся очаге деформации металл находится в благоприятном для пластического течения напряженном состоянии всестороннего сжатия. Резка прутка при его продольном (осевом) сжатии отличается от всех остальных способов резки, поскольку обеспечивает пластический сдвиг одной части прутка относительно остальной его части без образования опережающих трещин и зоны скола и позволяет получать относительно короткие заготовки ($l/d < 1$).

Общим недостатком всех известных конструкций штампов для закрытой отрезки коротких заготовок являются большие удельные силы трения по поверхности контакта торцов прутка и отрезаемой заготовки с ножами, а также необоснованные потери энергии в каждом цикле отрезки и трудоемкость переналадки штампа вследствие применения постоянно действующей пружины для радиального зажима прутка: конструктивные особенности его таковы, что после завершения процесса отрезки верхняя плита пресса должна совершить дополнительный ход вниз для смещения подвижного ножа на уровень окна, а также для выталкивания заготовки, при этом пружина радиального зажима продолжает сжиматься.

Таким образом, сила радиального зажима является неуправляемой. Более целесообразной схемой штампа была бы такая, в которой эта сила могла задаваться пропорционально действующей силе осевого сжатия.

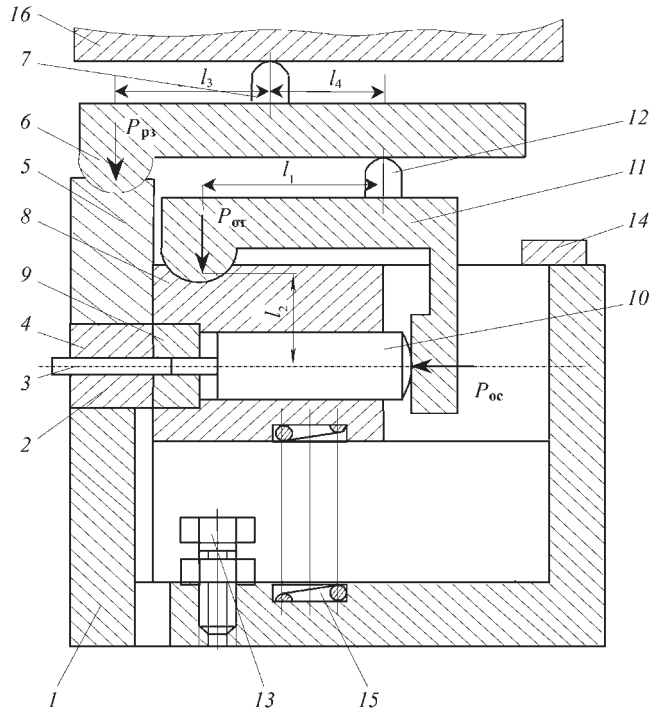


Рис. 1. Схема штампа для резки пруткового материала: *1* – корпус; *2* – неподвижный нож; *3* – пруток; *4* – прижимная планка; *5* – плита; *6* – балка; *7* – промежуточный хвостовик балки; *8* – ползун; *9* – втулочный нож; *10* – толкатель осевого подпора; *11* – коромысло; *12* – промежуточный хвостовик коромысла; *13* – упор; *14* – ограничитель; *15* – пружина; *16* – верхняя плита пресса

В целях ликвидации указанных недостатков предложена модернизированная конструкция штампа (рис. 1), который снабжен промежуточной плитой, установленной на прижимной планке, а связь имеющегося хвостовика с верхней подвижной плитой выполнена в виде балки, установленной между коромыслом и верхней плитой, и дополнительного хвостовика, смонтированного на балке с возможностью перемещения вдоль нее и взаимодействия с верхней плитой, при этом один из концов балки выполнен с возможностью образования шарнирной связи с промежуточной плитой, а дополнительный хвостовик размещен в зоне между имеющимся хвостовиком и шарнирной связью балки с промежуточной плитой.

Основу конструкции штампа для резки пруткового материала на заготовки составляют штамповая плита, на которой смонтирован корпус с направляющими планками, подвижный ползун, в котором закреплены втулочный нож и установленный внутри ползуна толкатель осевого подпора, система радиального зажима с неподвижным ножом и подвижным прижимом, система передачи сил к подвижным частям штампа, состоящая из Г-образного коромысла и балки с регулируемыми по длине хвостовиками.

Штамп работает следующим образом. Пруток *3* через неподвижный нож *2*, закрепленный в корпусе *1*, и прижимную планку *4* подают во втулочный нож *9*, закрепленный в ползуне *8*, на необходимую величину и начинают опускать верхнюю плиту пресса *16*. Дойдя до промежуточного хвостовика балки *7*, верхняя плита пресса при помощи балки *6* воздействует на плиту *5* с прижимом *4*, создавая силу радиального зажима, и через промежуточный хвостовик коромысла *12* при помощи Г-образного коромысла *11* создает усилие отрезки и осевого подпора, передаваемые соответственно на ползун *8* и толкатель *10*.

Силы в штампе распределяются следующим образом:

$$P_{ос} = P_{от}\frac{l_1}{l_2}, \qquad (1)$$

где $P_{ос}$ – сила осевого подпора; $P_{от}$ – технологическая сила отрезки; l_1 – плечо силы отрезки; l_2 – плечо силы осевого подпора;

$$P_{рз} = P_{от}\left(1+\frac{l_1}{l_2}\right)\frac{l_4}{l_3}, \qquad (2)$$

где $P_{рз}$ – сила радиального зажима; l_3 – плечо силы радиального зажима; l_4 – плечо силы на промежуточном хвостовике.

Из анализа выражений (1) и (2) следует, что, учитывая неизменность в данной конструкции величины плеча l_2, настройка штампа производится путем установки необходимого отношения силы осевого подпора к технологической силе отрезки выбором плеча l_2 и последующей установкой соотношения плеч l_3 и l_4 в соответствии с формулой (2) для создания необходимой силы радиального зажима, обеспечивающей удержание прутка в осевом направлении от выталкивания из подвижного ножа при отрезке.

После отделения заготовки силы радиального зажима и осевого подпора полностью исчезают, так как исчезает сила $P_{отр}$, и сопротивление движению ползуна оказывает лишь сила пружины *15*, величина которой незначительна по сравнению с $P_{отр}$.

Далее ползун *8* продолжает опускаться и доходит до регулируемого упора *13*, а плита пресса продолжает движение; балка и Г-образное коромысло поворачиваются в шарнирных опорах, выталкивая отрезанную заготовку из втулочного ножа толкателем *10*, после чего заготовка удаляется на провал. При ходе плиты пресса вверх пружина *15* возвращает ползун в исходное положение, определяемое ограничителем *14*, и процесс повторяется.

Таким образом, настройка данного типа штампа по сравнению с известными конструкциями [2] существенно облегчена.

Общий вид оснастки, предназначенной для резки пруткового материала с дифференцированным осевым и радиальным сжатием представлен на рис. 2. Основные сборочные единицы, входящие в конструкцию отрезного штампа, представлены на рис. 3.

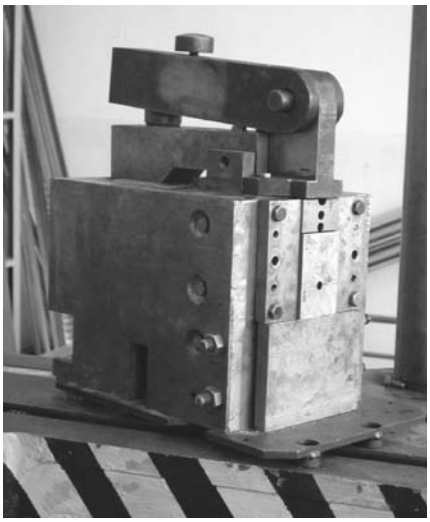


Рис. 2. Экспериментальная оснастка для отрезки точных коротких заготовок

При отрезке заготовок высокого качества для каждого размера сечения прутка был изготовлен свой комплект ножей, которые по форме и размерам рабочей полости максимально приближены к профилю разрезаемого проката. По форме рабочей полости выбирали втулочные ножи, изготовленные из инструментальной стали 6ХВ2С диаметром 8 мм (рис. 4).

Для решения задачи, направленной на повышение качества отрезаемой заготовки и снижение технологической силы операции, были изготовлены подвижные в вертикальном направлении прижимы с ручьями, которые соответствуют половине поперечного сечения удерживаемой заготовки (рис. 5).

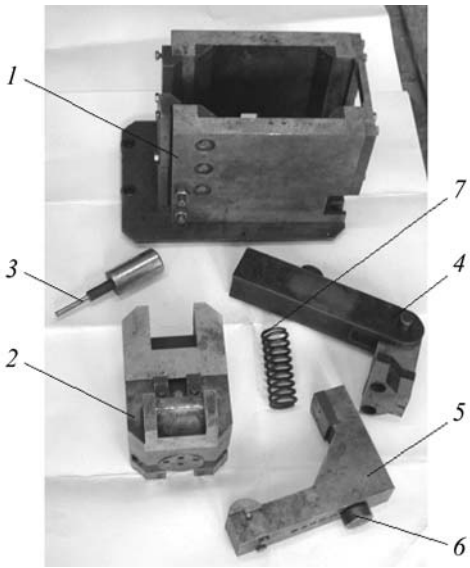


Рис. 3. Элементы отрезного штампа:
1 – корпус; *2* – ползун; *3* – толкатель осевого подпора; *4* – балка; *5* – Г-образное коромысло; *6* – промежуточный хвостовик коромысла; *7* – пружина

Конструкция экспериментальной оснастки предусматривает замену закрытого (втулочного) ножа на открытый (полувтулочный), а также возможность замены калибра ручья.

Рис. 4. Втулочный нож

Для обеспечения данной схемы резки применяют втулочные ножи и осевую подсадку заготовки до устранения зазоров между прутком и отверстием втулок в их сопряженном состоянии. Сила сжатия полувтулок должна быть достаточной для преодоления разжимающего их давления при подсадке заготовки. Таким образом, до начала резки металл находится в объемном напряженном состоянии сжатия, исключающем нормальное трещинообразование при деформации сдвига. Заготовки, отрезанные по этому способу, имеют плоскую и достаточно гладкую поверхность без какой-либо косины. Кроме этого, при сдвиговом процессе можно отрезать наиболее короткие заготовки.

Отличительной особенностью предложенной конструкции штампа является наличие активного поперечного зажима прутка и осевого подпора для создания оптимальных условий резки.

Поперечный зажим активной силой фиксирует пруток при отрезке и позволяет избежать изгиба отрезаемой части, надежно удерживая пруток от поворота относительно ножей и изгиба, тем самым улучшая схему напряженного состояния металла в зоне реза и уменьшая пластические деформации отрезаемой части.

Осевое сжатие, создающее в очаге деформации благоприятное для пластического сдвига напряженное состояние, удельная сила которого при отрезке коротких заготовок составляет $p = (2...5)\sigma_т$ [1], накладывают в целях повышения геометрической точности заготовки. Величина силы осевого сжатия зависит от механических характеристик разделяемого материала и от относительной длины отрезаемой заготовки. При этом чем короче отрезаемая заготовка, тем больше требующаяся сила осевого сжатия, и во избежание выталкивания (обратного смещения прутка в осевом направлении) необходимо увеличивать силу радиального зажима и, как следствие, длину неподвижного ножа и прижимной планки.

Рис. 5. Подвижный прижим

Для решения задачи, направленной на повышение качества отрезаемой заготовки и снижение технологической силы операции, был изготовлен подвиж-

ный в вертикальном направлении прижим с соосными ручьями, которые соответствуют половине поперечного сечения удерживаемой заготовки (см. рис. 5). Ручьи прижимов выполнены с упорными поперечными серповидными выступами треугольного сечения, расположенными в осевом направлении от режущей кромки и друг от друга на расстоянии, равном шагу подачи прутка.

При подаче прутка в устройство радиального зажима (см. рис. 1) до режущей кромки неподвижного ножа серповидные выступы под действием силы радиального зажима внедряются в заготовку, образуя насечки. Затем силу радиального зажима снимают, отводят подвижный верхний прижим и заготовку протягивают в подвижный втулочный нож на шаг подачи h, при этом насечка от последних серповидных выступов совмещается с режущей кромкой. При последующем приложении силы радиального зажима первая по ходу прутка пара серповидных выступов внедряется в заготовку, а последующие серповидные выступы входят в насечки, полученные на предыдущем шаге.

Далее через толкатель осевого подпора *3* на отрезаемую часть заготовки передают осевую силу $P_{ос}$, создавая в зоне реза напряженное состояние всестороннего сжатия, при этом насечки, находящиеся на уровне режущих кромок под действием силы $P_{рз}$, превращаются в зажимы. Таким образом, за счет насечек уменьшается площадь поперечного сечения заготовки в зоне реза, а зажимы служат дополнительными концентраторами напряжений при резке, что способствует снижению силы реза и, соответственно, зависящих от нее сил осевого подпора (следовательно, уменьшается возможность налипания заготовки на инструмент) и радиального зажима заготовки и, соответственно, суммарной силы совершения операции. Схема поперечного сечения заготовки в зоне реза представлена на рис. 6.

Кроме того, внедренные в заготовку упорные серповидные выступы исключают возможность выталкивания прутка толкателем осевого подпора из устройства радиального зажима, что обеспечивает высокую точность размеров отрезаемой заготовки.

Экспериментальная конструкция отрезного штампа позволяет отрезать заготовки из менее пластичных материалов, чем медь М2, таких как сталь 08кп и сталь 20кп (рис. 7).

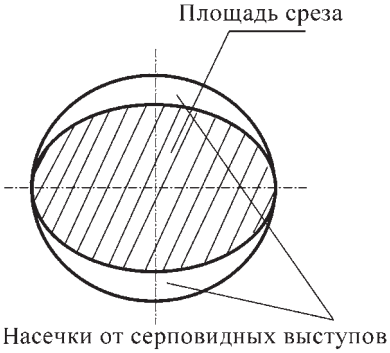


Рис. 6. Поперечное сечение заготовки в зоне реза после отрезки

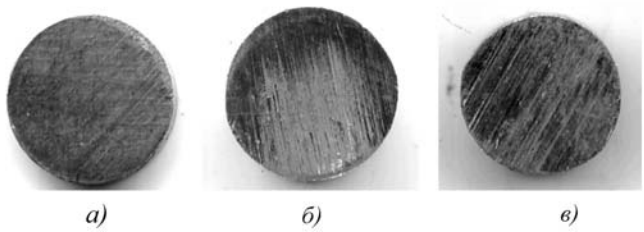


Рис. 7. Заготовки, отрезанные в штампе с дифференцированным осевым и радиальным сжатием из различных материалов: *а* – медь М2; *б* – сталь 08кп; *в* – сталь 20кп

Таким образом, представленная выше конструкция отрезного штампа позволяет получать относительно короткие заготовки (длина которых не превышает 0,8 диаметра прутка) с высокой точностью размеров из материалов с различными механическими характеристиками пластическим сдвигом отделяемой части прутка в условиях всестороннего сжатия без образования опережающих трещин и зон скола.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Соловцов С.С.** Безотходная разрезка сортового проката в штампах. М.: Машиностроение, 1985. 161 с.

2. **А.с.** № 1486276, кл. B23 D23/00. Штамп для резки пруткового материала / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Ю.П. Лукьянчиков и др. (СССР). Опубл. 15.06.89. Бюл. № 22.

Анна Владимировна Филина, канд. техн. наук

Ордена Трудового Красного Знамени ОАО "Издательство **"Машиностроение"**,
107076, Москва, Стромынский пер., 4/1, стр. 3
Учредитель ООО "Издательство Машиностроение – 1".
E-mail: zpm@mashin.ru
Телефоны редакции журнала: (495) 268-47-19, 268-36-54, 268-69-19. **http://www.mashin.ru**
Дизайнер *Погорелова Т.Н.* Технический редактор *Жиркина С.А.* Корректоры *Сажина Л.И., Сонюшкина Л.Е.*
Сдано в набор 01.03.07 г. Подписано в печать 11.04.07 г. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 7,35 (в т.ч. вкл. 0,49). Уч.-изд. л. 8,97 (в т.ч. вкл. 0,75). Заказ 524. Свободная цена.
Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ОАО "Издательство "Машиностроение".
Отпечатано в Подольской типографии – филиале ОАО "ЧПК". 142110, Подольск, ул. Кирова, д. 15.