

УДК 621.73

Панченко А. И.  
Тумко А. Н.  
Фомин Е. С.  
Логозинский И. Н.  
Сальников А. С.  
Левин Б. А.

## РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДСТВА КРУПНЫХ ПОКОВОК ИЗ СПЕЦИАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ПАО «ДНЕПРОСПЕЦСТАЛЬ»

Изготовление крупногабаритных поковок из специальных сталей и сплавов, полученных вакуумно-дуговым переплавом (ВДП), электрошлаковым переплавом (ЭШП), методом порошковой металлургии вызывает ряд технологических затруднений связанных с малым поперечным сечением слитков и пресовок и необходимостью осадки слитков и пресовок с соотношением высоты к диаметру более 2,5.

ПАО «Днепроспецсталь», располагая гидравлическими прессами усилием 60 и 32 МН, освоил производство крупногабаритных поковок диаметром до 420 мм из ледебуритных сталей типа Х12, Х12МФ, Х12В вначале из слитков массой 3,6 т [1], а затем поковок диаметром до 600 мм из слитков большей массы, в том числе и из слитков ЭШП.

Одним их важнейших показателей качества поковок этих сталей является карбидная неоднородность, которая определяется условиями кристаллизации слитка и технологическими параметрами термической обработки и пластической деформации. Уменьшение карбидной неоднородности достигается уменьшением размера слитка, оптимизацией химического состава стали, гомогенизирующим нагревом слитков перед горячей деформацией, увеличением степени деформации. Однако уменьшение размера слитка приводит к снижению степени деформации для получения заданного профилеразмера. И наоборот, чтобы повышать степень деформации необходимо увеличить размер слитка, если не использовать традиционные приемы, разработанные дляковки на прессах: осадка слитков, увеличение коэффициента подачи при протяжке, использование специального инструмента, изменение направления деформации при ковке в поперечных бойках [2–3].

Первый опыт [1] производства поковок диаметрами 320–420 мм из стали Х12МФ, включающий осадку слитков с последующей протяжкой, обеспечил карбидную неоднородность в центре профиля от 8 до 9 баллов по ГОСТ 5950-73, на половине радиуса и периферии профиля – 7 и 6 баллов соответственно. Увеличение массы слитка до 7,4 т позволило увеличить уков при протяжке в 1,5 раза и, исключив из деформационной схемы операцию осадки, обеспечить незначительное уменьшение карбидной неоднородности крупных поковок стали Х12МФ.

Радикальным способом устранения карбидной неоднородности в сталях ледебуритного класса является порошковая металлургия, которая включает получение порошка и его компактирование [3–4]. При этом каждую частицу порошка можно рассматривать как маленький слиток. После прессования такого порошка получают изделие (пресовку), однородное по химическому составу и структуре (рис. 1) [4–5].

Целью данной работы является расширение размерного сортамента поковок из специальных высоколегированных сталей.

Мелкодисперсность структурных составляющих порошковых сталей, обеспечиваемая при малых степенях деформации, позволяет их использовать для изготовления крупногабаритных тяжело нагруженных деталей с высоким уровнем механических свойств, получение которых традиционными способами не представляется возможным. Так, например, изготовлена опытная партия поковок диаметром 150–360 мм из стали 85Х5С3В2Ф2НМ-МП для изготовления прессов высокого давления. Эту сталь рекомендуется использовать для

изготовления как рабочих цилиндров высокого давления, так и штампового инструмента. К ней предъявляют высокие требования по прочности: при растяжении предел прочности должен быть не менее  $2700 \text{ Н/мм}^2$ , при изгибе ( $\sigma_{изг}$ ) не менее  $3500 \text{ Н/мм}^2$ .

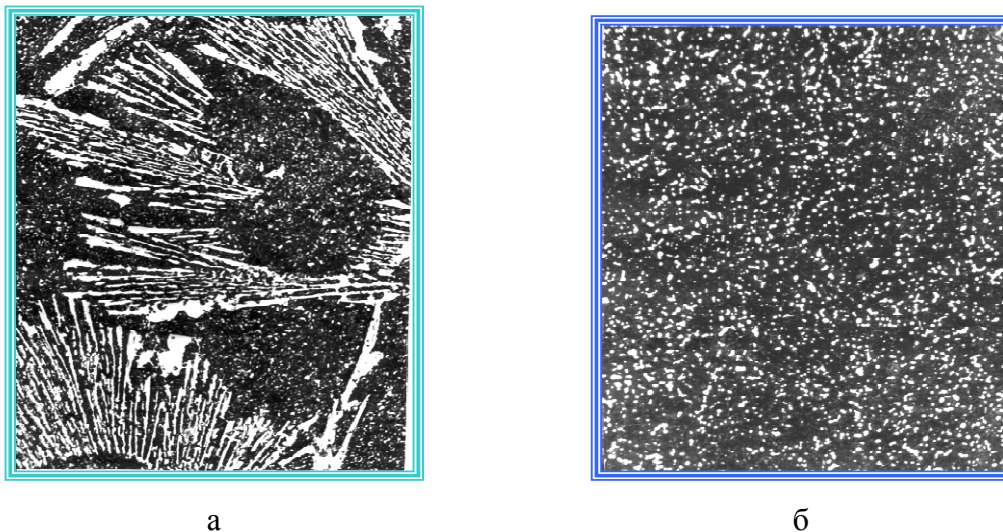


Рис. 1. Микроструктура быстрорежущей стали Р6М5Ф3 традиционного (а) и порошкового исполнения (б) ( $\times 500$ )

Для обеспечения заданного уровня свойств использовали как вакуумно-дуговой переплав, так и метод порошковой металлургии. При этом поковки, полученные из стали ВДП, не имели требуемых механических свойств и структуры. Карбидная неоднородность в поковках диаметром 330 мм (при укове 4,7) соответствовала баллу 7 ГОСТ5950-73; с увеличением укова до 20 она уменьшилась до балла 5, в то время как в порошковой стали она отсутствовала и при укове 3,0. Разница в структуре металла, полученного вакуумно-дуговым переплавом и метод порошковой металлургии, нашла своё отражение и в уровне прочностных характеристик (рис. 2).

Сталь порошковая по сравнению с электросталью ВДП обладает большей изотропностью свойств, однако анизотропия свойств характерна и для порошковой стали (см. рис. 2). При этом порошковая сталь имеет более равномерные свойства по сечению крупных поковок в отличие от сталей, полученных методом ВДП. Увеличение степени деформации (уменьшение площади поперечного сечения поковок) повышает уровень механических свойств стали ВДП и понижает свойства порошковой стали. Уменьшение предела прочности при изгибе порошковой стали с увеличением укова с 3 до 15 связано с многократным нагревом и подогревом металла в процессе производства поковок. С увеличением числа циклов нагрева и деформации происходит некоторая коалесценция и рост частиц карбидной фазы, из-за чего ухудшаются механические свойства материала.

В связи с высоким качеством порошковой стали по макро- и микроструктуре после горячего газостатического прессования для обеспечения необходимой структуры и свойств не требуется большой степени деформации при ковке.

Эта особенность порошковых сталей позволила в значительной степени расширить профильный сортамент ПАО «Днепроспецсталь» в сторону увеличения размеров поковок порошковых сталей: освоено производство круглых поковок диаметром до 560 мм, квадратных поковок со стороной квадрата 350 мм, прямоугольных поковок с шириной поперечного сечения 600 мм со строганной поверхностью, освоено производство шайб диаметром до 750 мм с обточенной поверхностью [4].

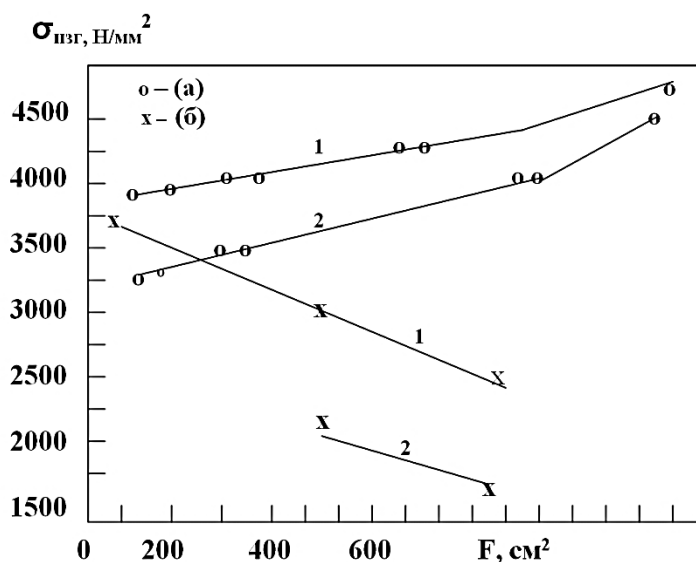


Рис. 2. Зависимость предела прочности при изгибе ( $\sigma_{изг}$ ) сталей 85X5C3B2Φ2HM-МП (а) и 85X5C3B2Φ2HM-ВД (б) в продольном (1) и поперечном (2) направлениях от площади поперечного сечения поковки ( $F$ )

Всего на заводе освоено более 60 марок порошковых сталей. Химический состав некоторых из них приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав некоторых порошковых марок сталей

Марка стали	C	Si	Mn	Cr	V	Mo	W	Co	Ni	Al	O	N
									не более			
P6M5Φ3K8-МП	1,25	0,50	0,20	3,90	2,90	4,75	5,90	8,00	0,40	0,035	0,015	0,08
	1,35	0,70	0,40	4,50	3,30	5,25	6,70	8,75				
P12MΦ5K5-МП	1,50	0,15	0,15	3,75	4,50	н.б.	11,75	4,75	0,40	0,035	0,015	0,08
	1,60	0,40	0,40	5,00	5,25	1,00	13,00	5,25				
P6M7Φ6K10-МП	2,25	н.б.	н.б.	3,70	6,00	6,50	6,00	9,80	0,40	0,035	0,015	0,08
	2,40	0,45	0,40	4,50	6,70	7,30	6,80	11,0				
P4M3Φ8-МП	2,35	н.б.	н.б.	4,00	7,60	2,90	4,00	н.б.	0,40	0,035	0,015	0,15
	2,55	0,45	0,40	4,40	8,20	3,30	4,40	0,50				
X17M2Φ3K2-МП	2,50	0,30	0,30	16,50	3,10	1,70	н.б.	1,70	0,40	0,035	0,020	0,15
	2,70	0,60	0,60	17,50	3,50	2,00	0,30	2,40				
12X12B2MΦ2-МП	1,15	0,20	0,20	11,00	1,45	1,25	2,25	н.б.	0,40	0,035	0,020	0,15
	1,25	0,40	0,40	12,00	1,60	1,40	2,40	0,50				
150X8M2Φ4C-МП	1,45	0,80	0,30	7,50	3,80	1,40	н.б.	н.б.	0,40	0,060	0,020	0,15
	1,55	1,10	0,50	8,50	4,20	1,60	0,50	0,50				
6X5ГM2ΦC-МП	0,58	0,90	0,90	4,80	0,45	2,10	н.б.	н.б.	0,40	0,035	0,020	0,15
	0,65	1,10	1,10	5,20	0,60	2,30	0,50	0,30				
6X4MΦ-МП	0,58	0,20	0,70	4,30	0,15	0,40	н.б.	н.б.	0,40	0,035	0,020	0,15
	0,65	0,50	0,90	4,70	0,30	0,60	0,30	0,30				
9X5MΦ3C-МП	0,83	0,85	0,20	5,00	2,50	1,25	н.б.	н.б.	0,50	0,035	0,020	0,15
	0,88	1,10	0,40	5,50	2,90	1,45	0,25	0,50				
X5MΦ10C-МП	2,35	0,75	0,35	4,75	9,25	1,10	н.б.	н.б.	0,40	0,035	0,020	0,15
	2,55	1,10	0,60	5,50	10,25	1,45	0,50	0,50				

Примечание: массовая доля титана – не более 0,03 %, меди – не более 0,30 %.

Кроме сталей ледебуритного класса, широким спросом пользуются крупногабаритные поковки из легированных конструкционных сталей перлитного класса и коррозионностойких сталей аустенитного класса. Актуальной проблемой для энергетического машиностроения и других отраслей является изготовление крупных деталей из различных специальных сталей и сплавов. В частности для ремонта систем охлаждения атомных электростанций требовалось изготовление большого количества поволоков-шайб из сталей 10X2М-ВД и 10X18Н9-ВД с заданным уровнем механических свойств в готовом изделии (в состоянии поставки). Расчетная масса шайб составляет от 4,4 т до 5,1 т. Для производства поволоков шайб использовали слиток ВДП максимального диаметра 630 мм, массой 5,7–6,0 т.

Для получения шайб заданных размеров (табл. 2) требуется осадка слитка ВДП, имеющего отношение высоты к диаметру 4,0–4,3. Рекомендованное максимальное значение соотношения высоты к диаметру слитка под осадку 2,5–2,8. Превышение рекомендованного значения приводит к неустойчивости технологического процесса и возможности получения в процессе осадки изгиба слитка, что впоследствии приводит к образованию поверхностных дефектов в виде «зажимов».

Ковку крупногабаритных шайб из стали 10X2М-ВД на гидравлическом прессе ПАО «НКМЗ» усилием 60 МН опробовали по нескольким схемам.

Таблица 2

## Геометрические размеры произведенных шайб

Марка стали	Номинальные размеры, мм	Фактические размеры, мм	Количество отгруженных шайб, шт
10X2М-ВД	$\varnothing 1020 \ h = 620^{+20}$	$\varnothing 1020^{+60}_{-30} \ h = 620^{+30}_{-10}$	101
	$\varnothing 1020 \ h = 580^{+20}$	$\varnothing 1020^{+60}_{-30} \ h = 580^{+20}_{-10}$	24
	$\varnothing 1000 \ h = 560^{+20}$	$\varnothing 1000^{+60}_{-30} \ h = 560^{+30}$	19
10X18Н9-ВД	$\varnothing 1020 \ h = 545^{+20}$	$\varnothing 1000^{+60}_{-20} \ h = 545^{+25}$	15

Примечание: в торцевую поверхность шайб должен вписываться круг указанного диаметра.

Вначале опробовали опытную схемуковки № 1, включающую на первом выносе удаление головной обреза и металла, необходимого для изготовления аттестационных проб. Для повышения устойчивости слитка при осадке из донной части слитка произвели заков цапфы из обреза и излишков годного металла. Осадку заготовок с соотношением высоты к диаметру 3,2 до диаметра 800 мм производили дробными обжатиями как бойком, так и осадочными плитами. При этом линейная деформация слитка по высоте составила 50 %. В результате получили искривление слитка, для устранения которого производили биллетировку в вырезных бойках на диаметр 720 мм до полного устранения искривления и зажимов. Затем производили осадку осадочной плитой до высоты 620 мм. Суммарная степень деформации по высоте за последний вынос составила 57 %.

В результате передела требуемые геометрические размеры шайб не получили: диаметр вписанной окружности составил 950 мм вместо 1020 мм, а коэффициент бочкообразности составил 1,32.

На основании полученных данных разработали опытную схемуковки № 2, включающую на первом выносе удаление головной обреза и металла необходимого для изготовления проб и ковку цапфы с донной обреза. Излишек годного металла не удаляли перед осадкой. Соотношение высоты к диаметру составило 3,5. В процессе осадки слитков до 760–780 мм в нижней осадочной плите наблюдали значительное искривление заготовок. При этом линейная деформация слитка по высоте составила 42 %. Устранение искривления производили обкаткой боковой поверхности на подвижном столе прессы. Обкатку проводили с коэффициентом подачи  $L/D = 0,3 \div 0,4$  и обжатиями бойком прессы по 50 мм. После правки производили удаление цапфы и осадку до требуемой высоты. Коэффициент бочкообразности составил 1,29. Деформация по высоте за последний вынос составила 60 %.

Для обеспечения устойчивости в рамках этой схемы опробовали осадку слитков с цапфой на конечный размер в осадочной плите с последующим удалением цапфы на лентопильных станках в холодном состоянии. Однако при этом столкнулись с рядом трудностей. После обкатки соосность цапфы и заготовки нарушалась, что усложнило повторную установку заготовки в осадочную плиту. Повысить устойчивость слитков при осадке не удалось и при этом необходима дополнительная операция – удаление цапфы на лентопильных станках.

Учитывая, что по опробованным схемам искривления слитков в процессе осадки избежать не удалось, для получения возможности правки заготовок слитки осаживали после удаления технологической обрезки с головной и донной части слитка. Эта схема позволила своевременно устранять искривления слитка, возникающие при осадке и тем самым повысить производительность процессаковки. Устранение бочкообразности поковок-шайб с 1,3 до 1,05 проводили обкаткой боковой поверхности на подвижном столе прессы. После чего проводили окончательную осадку поковок-шайб с плитой для выравнивания торцевой поверхности.

Уменьшение бочкообразности поковок-шайб позволяет повысить коэффициент использования металла и получать поковки требуемой геометрической точности (рис. 3).

Дляковки поковок-шайб из стали 10X18Н9-ВД выбрали схемуковки, оказавшуюся наиболее технологичной при опробовании производства крупногабаритных шайб стали 10X2М-ВД. Поскольку сталь 10X18Н9-ВД обладает более высоким сопротивлением деформации, чем 10X2М-ВД, при осадке наблюдали более высокую интенсивность деформации под бойком. Для равномерности деформации первую осадку производили с переворотом слитка на 180°. В процессе осадки слитков из-за большого соотношения высоты к диаметру наблюдали искривления и неравномерность деформации по высоте, которые своевременно устраняли. В результате использования ранее разработанной схемыковки на поковках-шайбах стали 10X18Н9-ВД также удалось получить минимальную бочкообразность 1,05 (рис. 4).



Рис. 3. Поковка-шайба стали 10X2М-ВД Ø1020 мм высотой 620 мм



Рис. 4. Поковка-шайба стали 10X18Н9-ВД Ø1020 мм высотой 560 мм

Для обеспечения заданного уровня механических свойств в условиях ПАО «Днепро-спецсталь» произведена закалка шайб из стали 10X18Н9-ВД в закалочной водяной ванне после специального нагрева до 1050 °С. Для шайб 10X2М-ВД провели отжиг (760 °С). Механические свойства определяли на термически обработанных образцах, вырезанных из перекованных проб (кв. 100 мм). Они с запасом удовлетворяли требования потребителя. В результате термической обработки получены механические свойства, с запасом удовлетворяющие требования потребителя (табл. 3).

Заказчик поковки произвёл контроль механических свойств с отбором пробы от тела каждой поковки-шайбы и подтвердил высокий уровень механических свойств.

Таблица 3

## Механические свойства

Марка стали	Температура испытаний, °С	Предел текучести, Н/мм <sup>2</sup>	Предел прочности, Н/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %
10X2M-ВД	20	496	593	31	78
	450	405	530	24	75
Нормы по Протоколу поставки шайб 10X2M-ВД	20	275	390	18	50
	450	145	345	15	45
10X18Н9-ВД	20	277	670	61	76
	530	130	400	51	76
Нормы по протоколу поставки шайб 10X18Н9-ВД	20	195	400	45	55
	530	100	295	30	50

## ВЫВОДЫ

В условиях ПАО «Днепропецсталь» разработаны и внедрены технологические процессы производства крупных поковок из специальных сталей как открытой дуговой выплавки, так и полученных методами ЭШП, ВДП и порошковой металлургии, включающие осадку слитков и пресовок с отношением высоты к диаметру до 4,3.

Для обеспечения высокого качества структуры по карбидной неоднородности в крупных поковках из сталей ледебуритного класса целесообразно использовать для их получения способ порошковой металлургии, гарантирующий необходимое качество металлопродукции при укове менее 3,0.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Производство крупногабаритных поковок из высокохромистых ледебуритных сталей / А. Н. Тумко, С. С. Казаков, С. В. Ревякин, В. Г. Лесничий // *Сталь*. – 1996. – № 5. – С. 56–58.
2. Дзугутов М. Я. Пластическая деформация высоколегированных сталей и сплавов / М. Я. Дзугутов. – М.: Металлургия, 1977. – 479 с.
3. Найзабеков А. Б. Условия развития сдвиговых деформаций при ковке / А. Б. Найзабеков. – Алматы: Гылым, 1997. – 185 с.
4. Кийко Г. В. Производство порошковых сталей на заводе «Днепропецсталь» / Г. В. Кийко, С. В. Ревякин, А. Н. Тумко, А. С. Яценко // *Сталь*. – 1992. – № 5. – С. 86–89.
5. Панченко А. И. Развитие процессов прокатки иковки порошковых сталей в условиях ПАО «Днепропецсталь» / А. И. Панченко, А. Н. Тумко, В. В. Мильчев, А. С. Сальников, Б. А. Левин // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ» Тематический выпуск «Новые решения в современных технологиях»*. – Харьков, 2011. – № 47. – С. 56–62.

Панченко А. И. – зам. пред. правл. – техн. директор ПАО «Днепропецсталь»;  
Тумко А. Н. – канд. техн. наук, зам. нач. ЦЗЛ ПАО «Днепропецсталь»;  
Фомин Е. С. – аспирант, вед. инж. ПАО «Днепропецсталь»;  
Логозинский И. Н. – зам. техн. директора ПАО «Днепропецсталь»;  
Сальников А. С. – канд. техн. наук, нач. ЦЗЛ ПАО «Днепропецсталь»;  
Левин Б. А. – нач. техн. отд. ПАО «Днепропецсталь».

ПАО «Днепропецсталь» – Публичное акционерное общество «Электрометаллургический завод «Днепропецсталь» им. А. Н. Кузьмина», г. Запорожье.

E-mail: czlzn1@dss.com.ua

Статья поступила в редакцию 02.03.2012 г.