

УДК 621.771: 669.14.018.25

Панченко А. И.
Тумко А. Н.
Мильчев В. В.
Сальников А. С.

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ ДЕФОРМАЦИОННОГО ПЕРЕДЕЛА ПОРОШКОВЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

Развитие производства новых наиболее прогрессивных инструментальных сталей, обеспечивающих максимально возможную стойкость инструментов разного назначения, представляет собой актуальную задачу.

Испытания технологических и эксплуатационных свойств инструмента из порошковых быстрорежущих сталей показали, что применение порошковых быстрорежущих сталей по сравнению с аналогичной сталью, разлитой в слитки, обеспечивает повышение стойкости инструмента в 1,5–3 раза [1].

Одним из крупнейших производителей проката и поковок из порошковых инструментальных сталей является ПАО «Днепроспецсталь», которое до 2000 года специализировалось в основном на выпуске металлопродукции из шести порошковых быстрорежущих сталей в профилях диаметром до 150 мм по ГОСТ 28393-89 [2].

Увеличение объемов потребления порошковых сталей и пуск новых мощностей по их производству в мире определил необходимость оперативного освоения производства новых порошковых быстрорежущих и штамповых сталей с высокими служебными характеристиками. Необходимо повышать конкурентоспособность порошковых сталей за счёт расширения профильного сортамента и уменьшения себестоимости деформационного передела, уменьшения потерь металла в кусковые отходы, окалину, абразивную пыль в процессах деформации, междеформационной и последеформационной обработок.

Благодаря равномерному распределению карбидов, стали, полученные методом порошковой металлургии, обладают высокой пластичностью в широком температурном интервале и могут подвергаться деформации как ковкой, так и прокаткой и волочением.

На рис. 1 приведены зависимости числа скручиваний до разрушения при испытании на кручение по стандартной методике от температуры порошковых сталей и для сравнения стали 10X13Г12БС2Н2Д2 (ДИ59), полученной традиционным способом и подвергаемой прокатке на обжимно-заготовочном стане 1050/950 в большом количестве. Результаты исследования пластичности и сопротивления деформации порошковых сталей [2, 3] явились обоснованием возможности прокатки всего марочного сортамента этих сталей как на обжимно-заготовочном стане 1050/950, так и на сортовых станах 550, 325 и 280 ПАО «Днепроспецсталь».

Однако потери дорогостоящего металла в процессах деформации и адьюстажной обработки заготовки и готовой продукции превышали 500 кг/т. При этом технологическая обрезь и другие потери металла могли быть значительно снижены.

Целью данной работы является расширение профильного и марочного сортамента порошковых сталей, выпускаемых ПАО «Днепроспецсталь», повышение эффективности их деформационного передела.

Основную часть продукции цеха порошковой металлургии составляют быстрорежущие стали, широко применяемые в машиностроении при обработке специальных сталей и сплавов. Динамика их объемов производства представлена на рис. 2, где отдельным столбцом показан объем производства быстрорежущих сталей, полученных методом порошковой металлургии. Около 30–50 % быстрорежущих сталей составляют кобальтсодержащие.

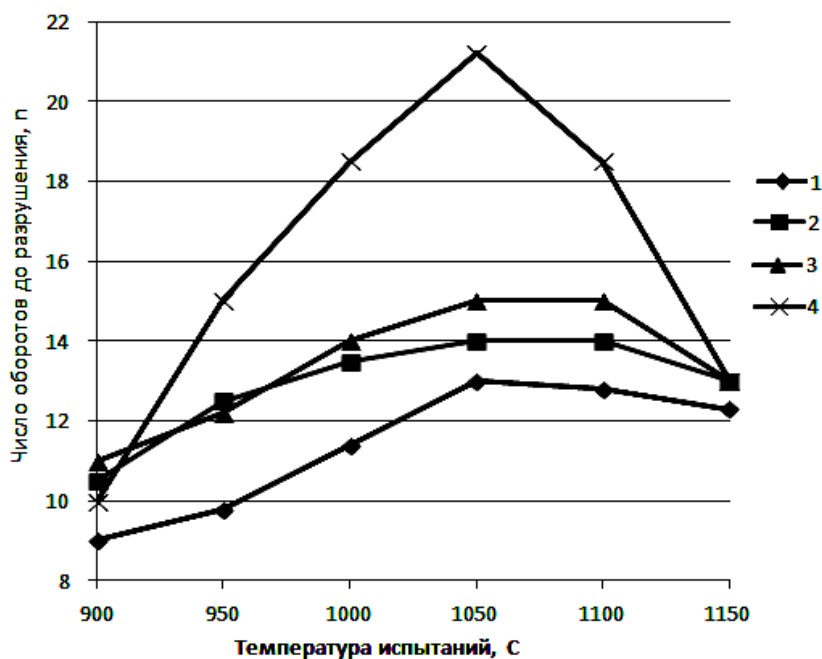


Рис. 1. Число скручиваний до разрушения порошковых сталей Р6М7Ф6К10-МП (1), Х8М2ФС-МП (2), 6Х5ГМ2ФС-МП (3) и аустенитной нержавеющей стали 10Х13Г12БС2Н2Д2 (ДИ59) (4) при испытании на горячее кручение со скоростью 60 об/мин

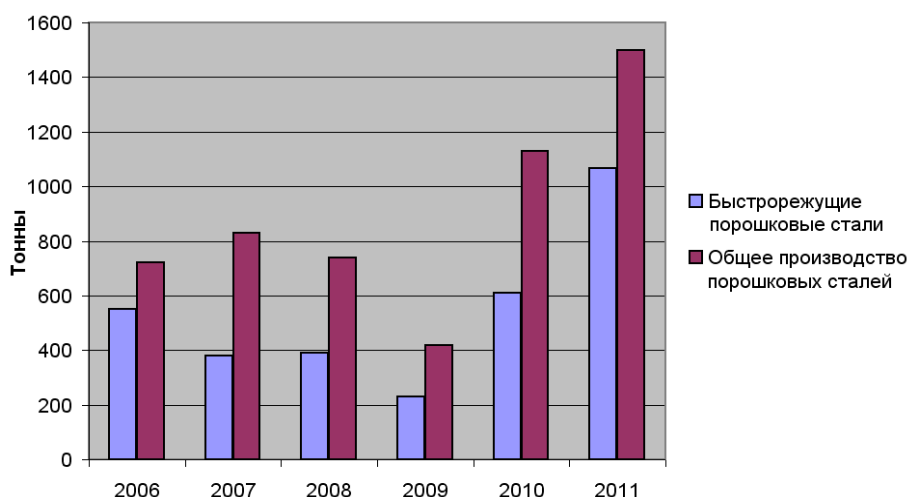


Рис. 2. Динамика производства порошковых сталей в условиях ПАО «Днепроспецсталь»

Технологическая схема производства порошковых сталей предусматривает выплавку стали в индукционной печи, распыление расплава азотом высокой чистоты, заполнение порошком металлических капсул, вакуумирование, заполнение капсул с порошком азотом, герметизацию, холодное гидростатическое и горячее газостатическое прессование, горячую деформацию, отжиг, адьюстажную обработку [2] (рис. 3).

По действующей технологии прессовки диаметром 450 мм и массой 1900 кг подвергают свободной ковке на прессах усилием 60 МН и 32 МН, ковке на радиально-ковочной машине РКМ-1000 и прокатке на обжимно-заготовочном стане 1050/950.

В настоящее время на ПАО «Днепроспецсталь» освоено производство более 60 порошковых марок сталей. Химические составы некоторых из них приведены в табл. 1.

В отдельных марках стали содержание вольфрама достигает 18 %, молибдена – 10 %, ванадия – 11 %, кобальта – 10 %. Все порошковые инструментальные стали содержат хром в количестве от 3,5 % до 20 % в зависимости от назначения и относительно высокое количество азота (до 0,08 %).

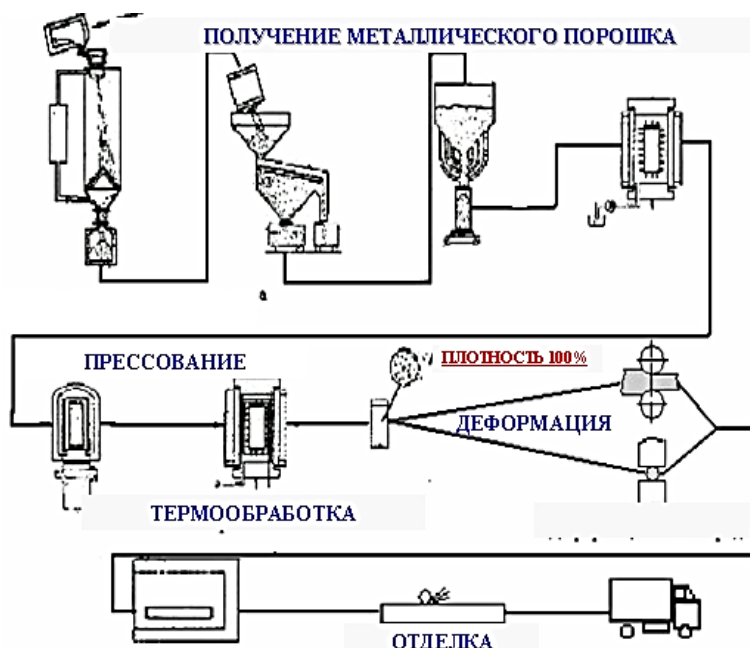


Рис. 3. Технологическая схема производства инструментальных сталей методом порошковой металлургии

Таблица 1

Химический состав некоторых порошковых марок сталей

Марка стали	Массовая доля элементов, %													
	C	Si	Mn	S не более	P не более	Cr	V	Mo	W	Co	Ni	Al	O	N
P6M5K5-МП	0,88 0,95	н.б. 0,45	н.б. 0,40	0,030	0,030	3,80 4,50	1,70 2,00	4,70 5,20	6,00 6,70	4,50 5,00	0,40	0,035	0,015	0,08
P12MФ5K5-МП	1,50 1,60	0,15 0,40	0,15 0,40	0,030	0,030	3,75 5,00	4,50 5,25	н.б. 1,00	11,75 13,00	4,75 5,25	0,40	0,035	0,015	0,08
P6M7Ф6K10-МП	2,25 2,40	н.б. 0,45	н.б. 0,40	0,030	0,030	3,70 4,50	6,00 6,70	6,50 7,30	6,00 6,80	9,80 11,00	0,40	0,035	0,015	0,08
P4M3Ф8-МП	2,35 2,55	н.б. 0,45	н.б. 0,40	0,030	0,030	4,00 4,40	7,60 8,20	2,90 3,30	4,00 4,40	н.б. 0,50	0,40	0,035	0,015	0,15
X17M2Ф3K2-МП	2,50 2,70	0,30 0,60	0,30 0,60	0,030	0,030	16,50 17,50	3,10 3,50	1,70 2,00	н.б. 0,30	1,70 2,40	0,40	0,035	0,020	0,15
X12MФ4-МП	2,10 2,30	0,15 0,30	0,25 0,40	0,020	0,030	12,50 13,50	3,70 4,00	0,80 1,10	н.б. 0,20	н.б. 0,50	0,40	0,035	0,020	0,15
150X8M2Ф4C-МП	1,45 1,55	0,80 1,10	0,30 0,50	0,030	0,030	7,50 8,50	3,80 4,20	1,40 1,60	н.б. 0,50	н.б. 0,50	0,40	0,060	0,020	0,15
6X5ГM2ФC-МП	0,58 0,65	0,90 1,10	0,90 1,10	0,030	0,030	4,80 5,20	0,45 0,60	2,10 2,30	н.б. 0,50	н.б. 0,30	0,40	0,035	0,020	0,15
6X4MФ-МП	0,58 0,65	0,20 0,50	0,70 0,90	0,030	0,030	4,30 4,70	0,15 0,30	0,40 0,60	н.б. 0,30	н.б. 0,30	0,40	0,035	0,020	0,15
9X5MФ3C-МП	0,83 0,88	0,85 1,10	0,20 0,40	0,025	0,030	5,00 5,50	2,50 2,90	1,25 1,45	н.б. 0,25	н.б. 0,50	0,50	0,035	0,020	0,15
X5MФ10C-МП	2,35 2,55	0,75 1,10	0,35 0,60	0,050 0,090	0,030	4,75 5,50	9,25 10,25	1,10 1,45	н.б. 0,50	н.б. 0,50	0,40	0,035	0,020	0,15

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

В последнее время также значительно расширен профильный сортамент металлопродукции порошковых сталей в сторону увеличения размеров поперечного сечения: освоена прокатка прутков диаметром до 95 мм, освоено производство круглых поковок диаметром до 410 мм, для отдельных штамповых сталей круглых поковок диаметром до 560 мм, квадратных поковок со стороной квадрата до 350 мм, прямоугольных поковок

с шириной поперечного сечения до 600 мм со строганой поверхностью; освоено производство шайб диаметром до 750 мм с обточенной поверхностью. В связи с высоким качеством порошковой стали по макро- и микроструктуре после горячего газостатического прессования для обеспечения необходимой структуры и свойств не требуется больших степеней деформации при ковке и прокатке [2, 4]. Эта особенность порошковой стали позволила в значительной степени расширить сортамент в сторону увеличения размеров поковок [4].

Для получения шайб большого диаметра требуется осадка прессовок, имеющих отношение высоты к диаметру 3,2, при рекомендованном значении не более 2,5. При осадке прессовок происходит их значительное искривление, устранение которого осуществляли путем обкатки боковой поверхности прессовок на подвижном столе прессы. Чередованием операций осадки и правки получали крупногабаритные поковки из быстрорежущих и штамповых сталей массой до 1600 кг.

С целью уменьшения расхода металла в кусковые отходы и в стружку в значительной степени усовершенствована технология прокатки порошковых сталей [3].

Благодаря высокой пластичности порошковых сталей (см. рис. 1) и реконструкции блюминга с увеличением диаметра валков с 950 мм до 1050 мм и мощности двигателей с 2500 кВт до 3500 кВт увеличили единичные обжатия при прокатке прессовок на обжимном стане, уменьшили число проходов на гладкой части бочки валка с 12 до 6. За счет этого уменьшилась торцевая технологическая обрезь на 3–4 %. Для повышения эффективности производства и улучшения качества порошковой стали время нагрева прессовок при температуре 1100 °С перед прокаткой на обжимном стане уменьшили с 6–8 ч до 2–3 ч.

Освоено также производство сортовых прутков на станах 325 и 550 из заготовки с неудаленной обечайкой, что позволило уменьшить расход металла в абразивную пыль и окалину на 10 %. Актуальной задачей при разработке технологии прокатки прессовок на сортовые прутки является сохранение равномерного распределения обечайки по поверхности прутков после деформации, так как неравномерное распределение обечайки на поверхности прутков приводит к необходимости увеличения припусков под обдирку. Различная толщина обечайки по периметру профиля заготовки (рис. 4) объясняется неравномерностью деформации при прокатке на гладкой бочке и в калибрах на блюминге и заготовочной клетки, а также различием реологических свойств порошковых инструментальных и быстрорежущих сталей и самой обечайки, которую изготавливают из углеродистой стали 08пс.

Установлено значительное влияние калибровки и режимов деформации на распределение обечайки по периметру профиля проката. При удалении части обечайки на прессовке (перед прокаткой) неравномерность распределения обечайки по периметру профиля проката сохраняется. При удалении половины толщины обечайки с поверхности прессовки толщина обечайки на углах катаной заготовки составляет 0,4–0,6 мм, на гранях 1,0–1,5 мм. Из-за неравномерности деформации в квадратных, ромбических, овальных и круглых калибрах увеличение суммарной степени деформации при прокатке увеличивает неравномерность распределения обечайки по поверхности раската. Прокатка заготовок с неудаленной обечайкой на стане 280 с общим коэффициентом вытяжки от 30 до 200, требует увеличения съема металла при обточке на 100 кг/т по сравнению с прокаткой на станах 325 и 550 с коэффициентами вытяжки от 2,5 до 25. Поэтому прутки диаметрами 8–22 мм производят на стане 280 из заготовки, зачищенной сплошную до полного удаления обечайки, за исключением сталей Р6М7Ф6К10-МП, Р12МФ5К5-МП, Х18МФ6-МП, абразивная зачистка которых весьма нетехнологична, вызывает образование шлифовочных трещин.

После горячей деформации прокат и поковки порошковых быстрорежущих и штамповых сталей подвергают адьюстажной обработке, включающей структурный отжиг, правку, обточку до полного удаления обечайки, выборочную абразивную зачистку оставшихся на поверхности дефектов, правку обточенных прутков при необходимости. При этом возникает ряд технологических проблем, связанных с высокой твердостью обрабатываемого материала.

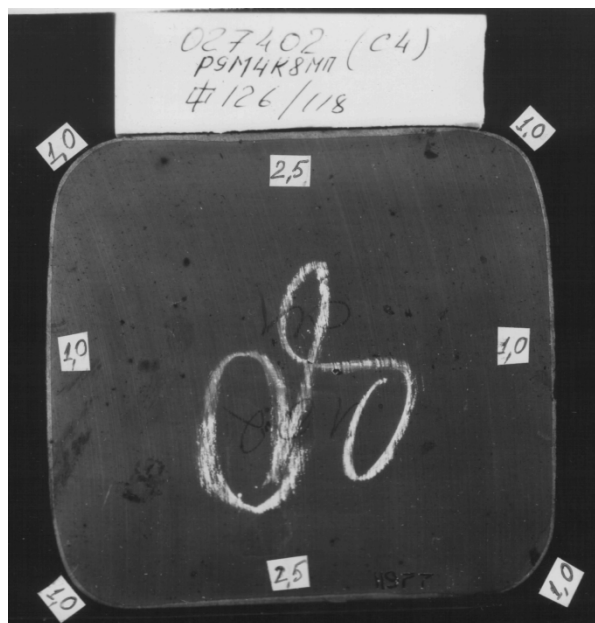


Рис. 4. Распределение обечайки на поверхности катаной заготовки кв. 126 мм стали P9M4K8-MП

Значения твёрдости порошковых сталей, достигаемые после отжига в условиях ПАО «Днепроспецсталь», приведены в табл. 2.

Таблица 2

Минимальная твёрдость порошковых сталей после отжига

№	Марка стали	Твёрдость, НВ
1	P6M7Ф6K10-MП, X17M2Ф3K2-MП	320
2	X18MФ6-MП	310
3	P12MФ5K5-MП, P6M5Ф3K8-MП	270

Высокая твёрдость порошковых быстрорежущих и штамповых сталей, обусловленная мелкодисперсным строением зернистого перлита с большим количеством избыточных карбидов (до 28 % объема) и малым межкарбидным расстоянием, вызывает ряд проблем при правке и обточке прутков: при правке прутки ломаются на несколько частей, а при бесцентровой обточке быстрорежущих кобальтсодержащих сталей на поверхности металла образуются поверхностные трещины.

Для решения данных проблем проведены исследования изменения механических свойств нетехнологичных марок стали в интервале температур от 350 до 650 °С (рис. 5). Установлены оптимальные температуры нагрева, которые позволяют проводить правку без разрушения прутков. Для повышения технологичности сталей при правке внедрили подогрев прутков до температуры 600 °С и правку в диапазоне температур 450–550 °С, что позволило значительно уменьшить отбраковку металла.

Для исключения трещин при обточке быстрорежущих кобальтсодержащих сталей изменили режимы резания и геометрию инструмента. Бесцентровая обточка на станках КЖ9340 (9330) с низкими продольными подачами и скоростями резания заменена обточкой на бесцентровотокарном станке 200KI фирмы Landgraf (Италия), более жесткая система СПИД (станок-приспособление-инструмент-деталь) которого позволила производить обработку прутков с более высокими скоростями и подачами без образования поверхностных трещин, обеспечивая шероховатость поверхности $Ra \leq 6,3$ мкм.

По себестоимости и качеству (табл. 3) порошковые стали производства ПАО «Днепроспецсталь» конкурентоспособны и экспортируются как в Европу, так и в Азию, и в Северную Америку.

Таблица 3

Некоторые показатели качества порошковых сталей производства ПАО «Днепроспецсталь»

Группа сталей	Показатели качества						
	Кислородная ликвация, балл по ГОСТ 28393-89	Микропоры, балл по ГОСТ 28393-89	Инородные порошковые частицы, количество включений на площади шлифа	Серная ликвация, балл по ГОСТ 28393-89	Неметаллические включения по DIN 50602 (метод К)	Карбидная неоднородность	Величина аустенитного зерна по методу Снейдер-Граффа, количество пересечений
Быстро-режущие	1	1	не более 1	1	K0 = 1,5	эталон 1 ряда А по SEP 1615	13–15
Штамповые	1	1	не более 1	1	K0 = 1,9	эталон 11 по шкале AL011 DE-10.91-300 Ке фирмы «Бёлер»;	13–15

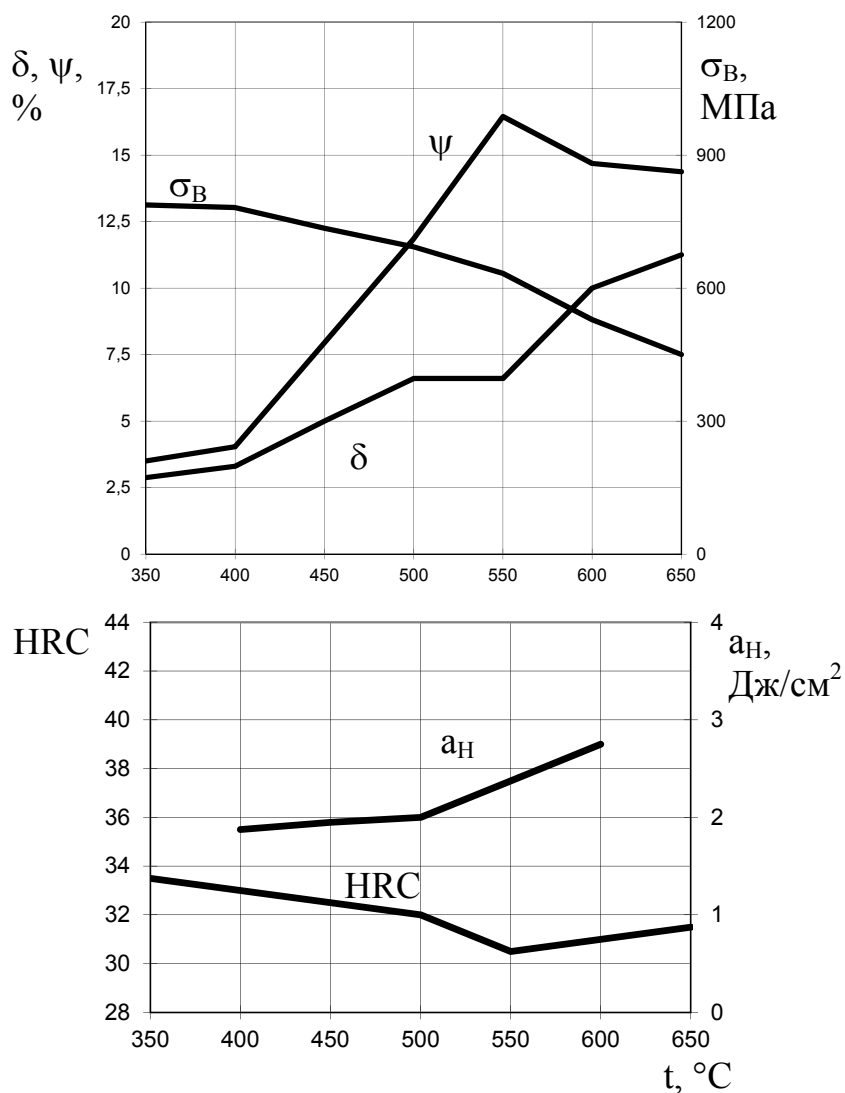


Рис. 5. Механические свойства порошковой быстрорежущей стали P6M7Ф6K10-MП (ASP2060) в интервале температур 350–650 °C

ВЫВОДЫ

В условиях ПАО «Днепроспецсталь» освоено производство проката диаметром до 95 мм и поковок диаметром до 560 мм, полосовых поковок шириной профиля до 600 мм из порошковых быстрорежущих и штамповых сталей более 60 марок. Исследованиями реологических свойств и процессов прокатки прессовок на блюминге и заготовок на сортовых станах установлено:

1) увеличением обжатия прессовок при прокатке прессовок на гладкой части бочки валка в два раза повышается выход годного на 3–4 % за счёт уменьшения торцевой технологической обрезки;

2) прокатка заготовок порошковых сталей с неудалённой обечайкой на сортовых станах 550 и 325 с коэффициентом вытяжки от 2,5 до 25 позволяет уменьшить расход металла в абразивную пыль и окалину на 10 %;

3) прокатка заготовок с неудалённой обечайкой на стане 280 в системе калибров «квадрат-овал» с коэффициентом вытяжки от 30 до 200 требует дополнительного съёма металла при обточке на 100 кг/т по сравнению с прокаткой на станах 325 и 550 с коэффициентами вытяжки от 2,5 до 25;

4) оптимальной температурой прутков сталей Р6М7Ф6К10-МП, Р12МФ5К5-МП и Х18МФ6-МП для правки на косовалковых и консольных машинах является 450–500 °С.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Организация промышленного производства быстрорежущей стали методом порошковой металлургии / А. И. Гиммельфарб, В. Б. Акименко, Я. Л. Гипи, М. А. Строковский, Л. Х. Любовный // *Сталь.* – 1981. – № 1. – С. 79–83.

2. Производство порошковых сталей на заводе «Днепроспецсталь» / Г. В. Кийко, С. В. Ревякин, А. Н. Тумко, А. С. Яценко // *Сталь.* – 1992. – № 9. – С. 86–89.

3. Тумко А. Н. Прокатка слитков и прессовок ледебуритных сталей на обжимно-заготовочном стане / А. Н. Тумко, О. Е. Козлов, С. В. Ревякин // *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации.* – 2003. – № 8(1244). – С. 33–34.

4. Развитие производства крупных поковок из специальных сталей в условиях ПАО «Днепроспецсталь» / А. И. Панченко, А. Н. Тумко, Е. С. Фомин, И. Н. Логозинский, А. С. Сальников, Б. А. Левин // *Обработка материалов давлением : темат. сб. науч. тр.* – Краматорск : ДГМА, 2012. – № 2(31). – С. 79–84.

Панченко А. И. – зам. пред. правл. – техн. дир. ПАО «Днепроспецсталь»;

Тумко А. Н. – канд. техн. наук, зам. нач. ЦЗЛ ПАО «Днепроспецсталь»;

Мильчев В. В. – нач. кузнечно-прессовой лаб. ЦЗЛ ПАО «Днепроспецсталь»;

Сальников А. С. – канд. техн. наук, нач. ЦЗЛ ПАО «Днепроспецсталь».

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

E-mail: Czlzn1@dss.com.ua

Статья поступила в редакцию 16.10.2012 г.