

**ПАНЧЕНКО А.И.**, Зам. Председателя Правления-технический директор  
ПАО "Днепрспецсталь", Запорожье

**ТУМКО А.Н.** канд. техн. наук, зам. нач. ЦЗЛ ПАО "Днепрспецсталь",  
Запорожье

**МИЛЬЧЕВ В.В.**, начальник кузнечно-прессовой лаборатории ЦЗЛ  
ПАО "Днепрспецсталь", Запорожье

**САЛЬНИКОВ А.С.**, канд. техн. наук, нач. ЦЗЛ ПАО "Днепрспецсталь",  
Запорожье

**ЛЕВИН Б.А.**, начальник технического отдела ПАО "Днепрспецсталь",  
Запорожье

### **РАЗВИТИЕ ПРОЦЕССОВ ПРОКАТКИ И КОВКИ ПОРОШКОВЫХ СТАЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ПАО «ДНЕПРОСПЕЦСТАЛЬ»**

На ПАО "Днепрспецсталь" освоено производство проката и поковок из порошковых быстрорежущих и штамповых сталей более 60 марок: 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 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. Благодаря высокой пластичности порошковых сталей 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 и уменьшили число проходов на гладкой части бочки валка с 12 до 6. За счет этого уменьшилась торцевая обрезь на 3-4 %.

На ПАТ "Дніпрспецсталь" освоено виробництво прокату і поковок із порошкових швидкорізальних і штампових сталей більш ніж 60 марок: освоена прокатка прутків діаметром до 95 мм, освоено виробництво круглих поковок діаметром до 410 мм, для окремих штампових сталей круглих поковок діаметром до 560 мм, квадратних зі стороною квадрата до 350 мм, прямокутних поковок з шириною поперечного перерізу до 600 мм зі строганою поверхнею; освоено виробництво шайб діаметром до 750 мм з обточеної поверхнею. Завдяки високій пластичності порошкових сталей і реконструкції блюмінга із збільшенням діаметру валків з 950 мм до 1050 мм і потужності двигунів з 2500 кВт до 3500 кВт збільшили поодинокі обтиснення при прокатці прессовок на обтискному стані і зменшили число проходів на гладкій частині бочки валка з 12 до 6. За рахунок цього зменшився торцевий обріз на 3-4%.

PJSC Dneprospetsstal has mastered rolling and forging of die and high-speed steel produced by powder metallurgy methods for more than 60 steel grades: rolling practice is developed for bars up to 95 mm in diameter, production of round forgings up to 410 mm in diameter is implemented, for some die steels the production of round forgings up to 560 mm in diameter, square forgings up to 350 mm in square side and planed rectangular forgings with cross section width up to 600 mm is implemented; also production procedure for planed disks up to 750 mm in diameter is mastered. Due to high ductility of powder steel and reconstruction of the blooming mill rolls with increasing diameter from 950 mm to 1050 mm and engine power of 2500 kW to 3500 kW the single draft of cogging of extruded billets has increased and number of passes through the flat roll body has decreased from 12 to 6. That has resulted in discard reduction by 3-4 %.

Уровень развития машиностроения, особенно специальных отраслей:  
авиационной, ракетно-космической, энергетической, - внедрение

обрабатывающих центров и автоматических многофункциональных металлообрабатывающих линий требуют повышения качества режущего, штампового инструмента и в первую очередь увеличения его износостойкости. Поэтому развитие производства новых наиболее прогрессивных инструментальных сталей, обеспечивающих максимально возможную стойкость инструментов разного назначения, представляет собой актуальную задачу.

Основными легирующими элементами быстрорежущих и штамповых сталей являются хром, вольфрам, молибден, ванадий. Кроме них, некоторые стали легируют кобальтом. В зависимости от назначения штамповые стали могут легировать кремнием, марганцем. Важным компонентом этих сталей является углерод, содержание которого изменяется от 0,4 % до 2,7 %.

Высокое содержание карбидообразующих элементов вольфрама, молибдена и ванадия в инструментальных сталях обуславливают наличие грубой карбидной ликвации, которая оказывает отрицательное влияние на технологические и эксплуатационные характеристики инструмента из этой стали. Уменьшение карбидной ликвации достигается комплексом мероприятий при металлургическом переделе.

Радикальным способом уменьшения карбидной неоднородности сталей ледобуритного класса является порошковая металлургия.

На рис. 1 приведены изображения микроструктуры быстрорежущей стали Р6М5Ф3 традиционного и порошкового исполнения.

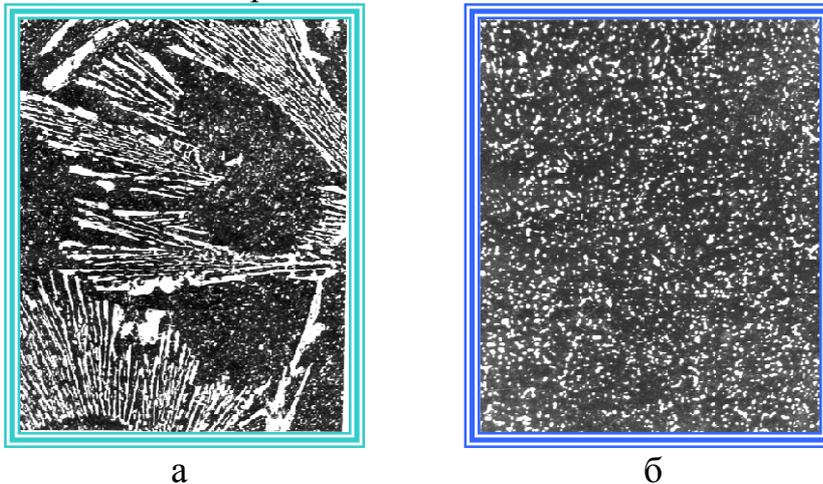


Рис. 1. Микроструктура быстрорежущей стали Р6М5Ф3 традиционного (а) и порошкового исполнения (б) (x 500).

Как видно из приведенных снимков, наличие в быстрорежущей стали высокого содержанием карбидообразующих элементов и углерода приводит к грубым ликвационным явлениям в литом металле, что крайне не благоприятно для стойкости инструмента. Дисперсность микроструктуры порошковых частиц обусловлена высокими скоростями охлаждения капель жидкого металла в интервале температур кристаллизации ( $1 \times 10^5 - 3 \times 10^3$  °C/c). Микроструктура частиц порошка не имеет дефектов, присущих структуре слитка. В деформированном порошковом металле величина карбидов не более 2 мкм, карбидная неоднородность не более 1 балла для всех профилей по ГОСТ 19265 и ГОСТ 5950. Очевидное отличие структур (см. рис. 1) обуславливает ряд значительных преимуществ порошковых

быстрорежущих и штамповых сталей. Испытания технологических и эксплуатационных свойств инструмента из порошковых быстрорежущих сталей показали, что применение порошковой быстрорежущей стали по сравнению с аналогичной сталью, разлитой в слитки, обеспечивает повышение стойкости в 1,5-3 раза при чистовой и получистовой обработке как конструкционных, так и специальных сталей и сплавов[1].

Благодаря равномерному распределению карбидов по объему заготовки, полученной методом порошковой металлургии, порошковые стали обладают высокой пластичностью в широком температурном интервале и могут подвергаться деформации как ковкой, так и прокаткой и волочением. На рис. 2 приведены зависимости числа скручиваний до разрушения при испытании на кручение по стандартной методике (скорость вращения 60 об/мин) от температуры порошковых сталей и для сравнения стали 10X13Г12БС2Н2Д2 (ДИ 59), 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.

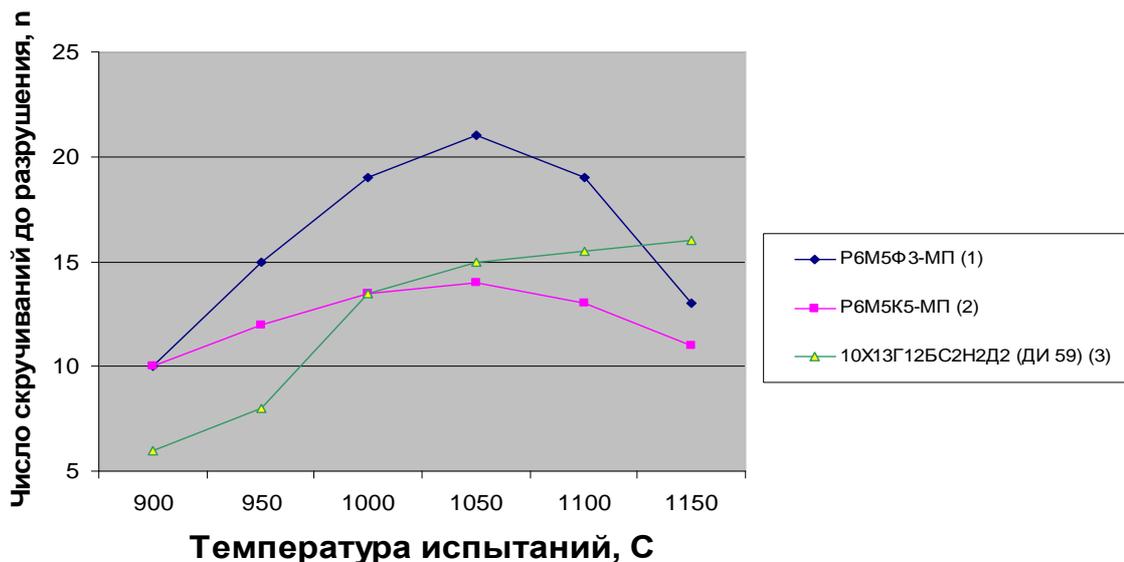


Рис. 2. Число скручиваний до разрушения порошковых сталей P6M5Ф3-МП (1), P6M5K5-МП (2) и аустенитной нержавеющей стали 10X13Г12БС2Н2Д2 (ДИ 59) (3) при испытании на горячее кручение со скоростью 60 об/мин.

Основную часть продукции составляют быстрорежущие стали, широко применяемые в машиностроении при обработке специальных сталей и сплавов. Динамика объемов производства порошковых сталей представлена на рис. 3. Отдельным столбцом показан объем производства быстрорежущих сталей, полученных методом порошковой металлургии. Около 30-50 % быстрорежущих сталей составляют кобальтсодержащие.

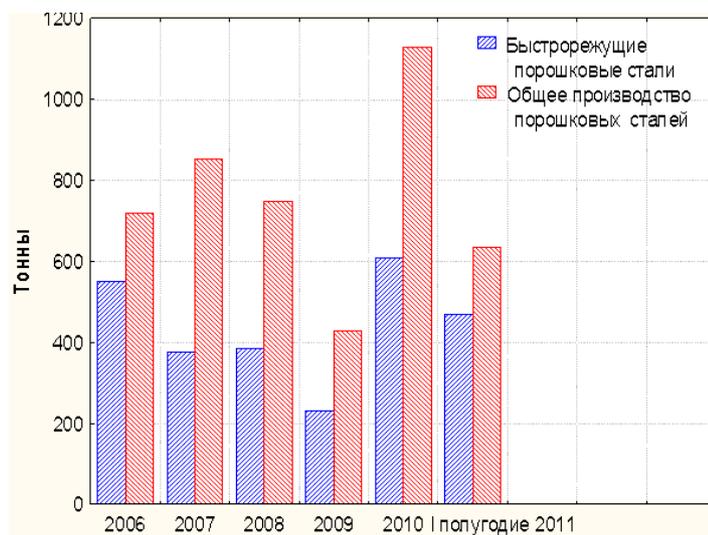


Рис. 3. Динамика производства порошковых сталей на ПАО “Днепроспецсталь”

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, деформацию, отжиг, адьюстажную обработку (см. рис. 4) [2].



Рис. 4. Технологическая схема производства инструментальных сталей методом порошковой металлургии

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.

До 2000 года ПАО “Днепроспецсталь” специализировалось в основном на выпуске металлопродукции из шести порошковых быстрорежущих сталей в профилях размерами до 150 мм по ГОСТ 28393-89 .

Увеличение объемов потребления порошковых сталей и пуск новых мощностей по производству порошковых сталей в мире определил

необходимость оперативного освоения производства новых порошковых быстрорежущих и штамповых сталей с высокими служебными характеристиками.

В настоящее время на ПАО "Днепроспецсталь" освоено производство более 60 порошковых марок сталей. Химические составы некоторых из них приведены в таблице.

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%).

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 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]. Эта особенность порошковой стали и позволила в значительной степени расширить сортамент в сторону увеличения размеров поковок.

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. 2) и реконструкции блюминга с увеличением диаметра валков с 950 мм до 1050 мм и мощности двигателей с 2500 кВт до 3550 кВт увеличили единичные обжаты при прокатке прессовок на обжимном стане и уменьшили число проходов на гладкой части бочки валка с 12 до 6. За счет этого уменьшилась торцевая 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 на поверхности прутков после деформации, так как неравномерное распределение обечайки на поверхности прутков приводит к необходимости увеличения припусков под обдирку. Различная толщина обечайки по периметру заготовки (рис.5) 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.

Таблица - Химический состав некоторых порошковых марок сталей

Марка стали	Массовая доля элементов, %													
	C	Si	Mn	S	P	Cr	V	Mo	W	Co	Ni	Al	O	N
				не более										
<b>Р6М5Ф3К8-МП</b>	1,25	0,50	0,20	0,030	0,030	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				
<b>Р12МФ5К5-МП</b>	1,50	0,15	0,15	0,030	0,030	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				
<b>Р6М7Ф6К10-МП</b>	2,25	н.б.	н.б.	0,030	0,030	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	11,00				
<b>Р4М3Ф8-МП</b>	2,35	н.б.	н.б.	0,030	0,030	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				
<b>Х17М2Ф3К2-МП</b>	2,50	0,30	0,30	0,030	0,030	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				
<b>12Х12В2МФ2-МП</b>	1,15	0,20	0,20	0,030	0,030	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				
<b>150Х8М2Ф4С-МП</b>	1,45	0,80	0,30	0,030	0,030	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				
<b>6Х5ГМ2ФС-МП</b>	0,58	0,90	0,90	0,030	0,030	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				
<b>6Х4МФ-МП</b>	0,58	0,20	0,70	0,030	0,030	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				
<b>9Х5МФ3С-МП</b>	0,83	0,85	0,20	0,025	0,030	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				
<b>Х5МФ10С-МП</b>	2,35	0,75	0,35	0,050	0,030	4,75	9,25	1,10	н.б.	н.б.	0,40	0,035	0,020	0,15
	2,55	1,10	0,60	0,090		5,50	10,25	1,45	0,50	0,50				

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

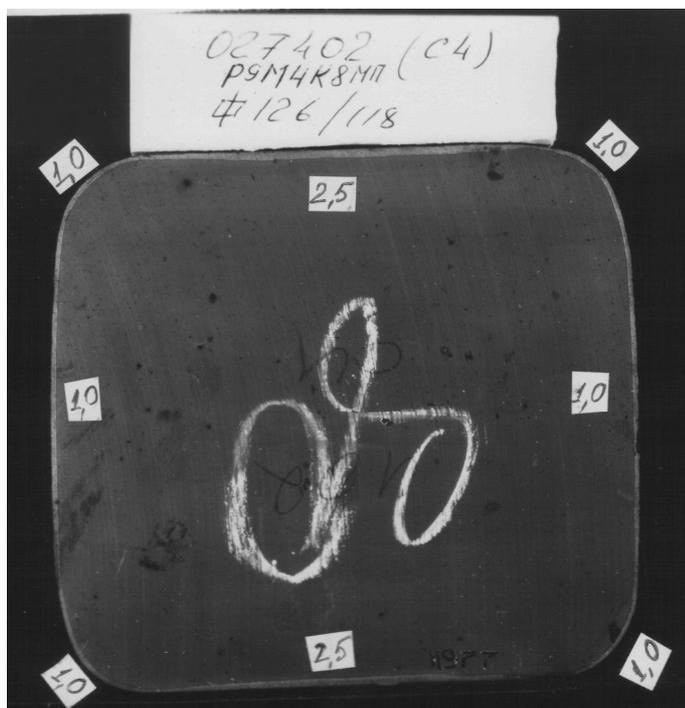


Рис. 5. Распределение обечайки на поверхности катаной заготовки кв.126 мм стали Р9М4К8-МП.

Установлено значительное влияние калибровки и режимов деформации на распределение обечайки по периметру профиля проката. 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 дополнительного 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 всплошную до полного удаления обечайки, за исключением сталей, абразивная зачистка которых весьма нетехнологична, Р6М7Ф6К10-МП, Р12МФ5К5-МП, Х18МФ6-МП.

По себестоимости и качеству порошковые стали производства ПАО "Днепроспецсталь" конкурентоспособны и экспортируются как в Европу, так и в Азию, и в Северную Америку.

**Список литературы:** 1. Гиммельфарб А.И. Организация промышленного производства быстрорежущей стали методом порошковой металлургии / Гиммельфарб А.И. Акименко В.Б., Гипш Я.Л., Строковский М.А., Любовный Л.Х. – Сталь, 1981. - №1- С. 79-83. 2. Кийко Г.В. Производство порошковых сталей на заводе "Днепроспецсталь" / Кийко Г.В., Ревякин С.В., Тумко А.Н., Яценко А.С. – Сталь, 1992.- № 9 - С. 86-89. 3. Тумко А.Н. Прокатка слитков и прессовок ледебуритных сталей на обжимно-заготовочном стане / Тумко А.Н., Козлов О.Е., Ревякин С.В. Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. - 2003.- № 8(1244) -С. 33-34.