



РАЗДЕЛ III ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ В МЕТАЛЛУРГИИ

УДК 621.7

Корниевский В. Н.
Сальников А. С.
Тумко А. Н.
Логозинский И. Н.
Шибeko П. А.

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОКАТА И ПОКОВОК ИЗ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ПАО «ДНЕПРОСПЕЦСТАЛЬ»

ПАО «Днепроспецсталь» является единственным в Украине производителем инструментальных и быстрорежущих сталей широкого марочного и профильного сортамента различного назначения. Большая часть объема производства таких сталей предназначена для поставки на экспорт, в т. ч. в страны Западной Европы и Америки. В связи с этим вопросы разработки высокоэффективной технологии производства инструментальных сталей и обеспечения уровня их качества, соответствующего требованиям стандартов высокоразвитых стран, были и остаются актуальными, требующими постоянного совершенства.

Во многих случаях иностранный марочный сортament приближен к сортаменту сталей, имеющихся в отечественных ГОСТах и ДСТУ. Однако требования к конечной металлопродукции имеют значительные отличия и являются в отдельных случаях специфическими и отсутствующими в нашей нормативной документации. Поэтому в ряде случаев для ранее хорошо отработанного в технологическом плане сортамента при получении новых запросов потенциальных покупателей требовались существенные технологические доработки [1–4].

В зависимости от требований, предъявляемых к металлу, инструментальные стали на заводе «Днепроспецсталь» выплавляются в открытых электропечах с последующей внепечной обработкой на установке «печь-ковш» фирмы «Даниэли» и вакууматоре фирмы «Маннесманн-Демаг», а также с рафинировкой в печах электрошлакового переплава. На заводе имеется возможность выплавки стали с использованием печей вакуумно-дугового переплава.

Технология выплавки инструментальных сталей предусматривает максимальное удаление газов, вредных примесей (серы и кислорода) и оптимизацию содержания раскислителей. Использование указанных элементов технологии обусловлено как требованиями к качеству металла, так и необходимостью обеспечения максимальной технологической пластичности при последующей деформации слитков.

Целью данной работы является улучшение качества и уменьшение себестоимости проката и поковок высоколегированных инструментальных сталей, производимых в условиях ПАО «Днепроспецсталь».

Большинство высоколегированных инструментальных сталей имеет пониженную технологическую пластичность, что существенно затрудняет проведение бездефектного деформационного передела (прокатки,ковки). Слитки отдельных марок сталей, например X12, X12МФ не подлежат деформации на высокопроизводительном обжимном прокатном стане. Их предварительный передел осуществляется малопроизводительным и затратным методом ковки. Кроме того, после ковки слитков этих марок стали в ряде случаев

встречаются дефекты, классифицируемые как разрывы по ликвационным участкам. В настоящее время проводятся исследования, направленные на решение этих проблем путем установления оптимальных суженных пределов отдельных химических элементов, а также разработки новых более эффективных режимов конечного раскисления и модифицирования металла в процессе его внепечной вакуумной обработки. Повышение пластичности инструментальных сталей позволит поднять технологию деформационного передела труднодеформируемых инструментальных сталей на более высокий уровень.

В кузнечно-прессовом производстве в последние годы наблюдается устойчивая тенденция к увеличению доли поковок крупного размера из инструментальных сталей: диаметром (стороной квадрата) до 600 мм; полосовых сечений размером 100–300 × 400–600 мм. Такие поковки могут производиться из слитков открытой дуговой выплавки по технологии, включающей осадку слитков, и из слитков электрошлакового переплава диаметром 800 мм, которые завод производил, переплавляя непрерывнолитые электроды [1]. После остановки машины полунепрерывной разливки стали на расходные электроды крупные слитки ЭШП стали производить из кованных электродов. Для повышения эффективности производства разработан и внедрён технологический процесс получения кованных расходных электродов переменного сечения для электрошлакового переплава в кристаллизатор диаметром 800 мм.

Инструментальные штамповые и быстрорежущие стали легированы вольфрамом, молибденом, ванадием, хромом, которые, соединяясь с углеродом, образуют эвтектические карбиды, практически не растворяющиеся в твердом растворе до температуры плавления. Наличие твердой непластичной карбидной фазы в аустенитной матрице при температуре горячей деформации и неравномерное распределение её по сечению слитка или заготовки обуславливает высокое сопротивление деформации и низкую технологическую пластичность.

Деформационный передел таких материалов приводит к образованию полосчатых структур, ориентированных в направлении деформации. Характерными примерами могут служить структурная полосчатость и карбидная неоднородность, которые являются одной из причин существенного снижения эксплуатационных и технологических свойств инструментальных сталей.

Эффективным способом уменьшения карбидной неоднородности является гомогенизирующая термическая обработка слитков перед деформацией и пластическая деформация. Чем больше степень деформации, тем меньше карбидная неоднородность и лучше качество стали. Значительное влияние на качество стали оказывает также способ деформирования.

Наличие разнообразного оборудования для обработки металла давлением в ПАО «Днепрспецсталь» предопределило большое число технологических схем деформационного передела слитков и заготовок инструментальных сталей. Наряду с традиционными схемами, включающими ковку слитков на первом этапе и прокатку на втором, на заводе успешно используется и нетрадиционная схема, включающая прокатку слитков с последующей ковкой катаных заготовок на сортовые профили.

Для деформации слитков на заводе используют прессы усилием 60 и 32 МН, радиально-ковочную машину РКМ-1000 и обжимно-заготовочный прокатный стан 1050/950.

Для горячей деформации кованных или катаных заготовок дополнительно к указанным агрегатам используют молот с массой падающих частей 3 т, радиально-ковочную машину РКМ 340 и сортовые прокатные станы 550, 325 и 280.

При этом схемы деформирования инструментальных сталей включают от 2 до 4 операцийковки и прокатки с промежуточными операциями замедленного последедеформационного охлаждения, отжига, абразивной зачистки поверхности деформированной заготовки и нагрева под последующую ковку или прокатку. Для обеспечения повышенных требований к структуре и механическим свойствам готовой продукции производят гомогенизирующие нагреты слитков перед деформацией, производят две операции осадки

слитков с промежуточной протяжкой и ряд других специальных деформационно-термических обработок. При этом гомогенизирующие нагревы в 3–4 раза длительнее обычных по действующей технологии. Разработанные и внедренные режимы гомогенизации слитков сталей 4X5МФ(1)С и 4X5МЗФ приведены в табл. 1.

Возможные сочетания различных способов обработки металла давлением образуют совокупность из десятков технологических схем, каждая из которых обеспечивает получение целого ряда профилей определенного качества.

При этом структура инструментальных сталей, а с ней и служебные свойства во многом определяются технологией обработки давлением: сочетанием способов деформирования, степенями единичных обжатий, скоростями, температурой и суммарной степенью деформации.

Таблица 1

Режимы гомогенизации слитков стали 4X5МФ(1)С и 4X5МЗФ

Номер ступени	Температура выдержки по ступеням, °С		Время выдержки по ступеням, ч	
	перед ковкой	перед прокаткой	перед ковкой	перед прокаткой
1	950	950	5	2
2	1050	1050	6–7	5
3	1150	1150	6–7	5
4	1250	1240	14–16	3–6
5	1200	1180	3–6	2–4

Выбор технологической схемы определяется главным образом требованием к качеству продукции. Вторым критерием выбора способа деформирования слитков и заготовок является экономическая целесообразность той или иной схемы.

Ковка обеспечивает индивидуальные условия деформирования каждого слитка и заготовки за счет оперативного изменения режимов деформации в зависимости от технологической пластичности стали. При ковке применяют промежуточные подогревы поковок до температур максимальной пластичности металла, промежуточную обдирку поковок для удаления образующихся поверхностных дефектов или вырубку дефектов в горячем состоянии.

Кроме того, ковка на прессах и молотах обеспечивает идеальную схему трехстороннего сжатия по всему сечению профиля. В результате этой обработки получаемая металлопродукция характеризуется высоким качеством поверхности и интенсивной проработкой осевой зоны прутка.

Однако при всех своих достоинствах ковка – малопроизводительный процесс с большими потерями металла в угар, окалину, кусковые отходы, абразивную пыль и стружку, что обуславливает высокую себестоимость поковок.

Поэтому с целью уменьшения затрат на производство металлопродукции в последнее время на заводе проведен ряд работ по замене операцииковки на прессах прокаткой на обжимно-заготовочном стане 1050/950 и замене операцииковки на молотах прокаткой на сортовом стане 550 [2–4].

Одной из наиболее эффективных работ в этом направлении явилось освоение прокатки прессовок быстрорежущих сталей на заготовку для прокатных станов [2–3].

Прокатка порошковых сталей на блюминге позволяет увеличить производительность процесса деформации прессовок, повысить точность профиля и улучшить структуру металла за счет уменьшения числа нагревов перед деформацией.

С уменьшением суммарного времени нахождения металла при высокой температуре уменьшается размер карбидов и аустенитных зерен и, следовательно, улучшаются эксплуатационные свойства стали.

Установлено значительное влияние калибровки и режимов деформации на распределение обечайки по периметру профиля проката [3]. 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 периметру профиля. 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 всплошную до полного удаления обечайки, за исключением сталей Р6М7Ф6К10-МП, Р12МФ5К5-МП, Х18МФ6-МП, абразивная зачистка которых весьма нетехнологична, вызывает образование шлифовочных трещин.

Рост потребности машиностроения индустриально развитых стран на прутки из инструментальных высоколегированных сталей ледебуритного класса потребовал освоения технологии прокатки на стане 550 сталей типа Х12, Х12МФ(1.2080, 1.2379 по DIN17350), порошковых быстрорежущих сталей всего марочного сортамента ПАО «Днепроспецсталь», а также быстрорежущих сталей открытой дуговой выплавки Р6М5, Р18, Р9 взамен ковки.

Технологию нагрева заготовок и их прокатки разрабатывали на основе результатов исследования пластичности и сопротивления деформации при кручении и ударной вязкости при температуре 800–1200 °С [4].

На настоящий момент произведены тысячи тонн проката диаметром 44–95 мм из сталей Х12, Х12МФ на экспорт. При этом расходный коэффициент при прокатке заготовки сечением 125 × 125 мм на готовый профиль для стали Х12 составляет 1,080, для стали Х12МФ – 1,090. При ковке этот показатель для обеих сталей превышает 1,120.

Полученная на стане 550 продукция из инструментальных сталей ледебуритного класса отвечает требованиям DIN17350. По качеству микроструктуры (карбидная неоднородность, размер аустенитного зерна) она не уступает кованой, а в некоторых случаях и превосходит её.

Это связано с тем, что карбидную фазу способна разрушить упрочненная матрица, для получения которой необходимо уменьшить паузы между единичными обжатами и свести к минимуму статическое разупрочнение аустенита. Такие условия в большей степени обеспечиваются прокаткой, т.к. она производится за короткий промежуток времени и в определенных проходах обеспечивается максимальное упрочнение аустенита, последующая деформация которого приводят к разрушению карбидов, их перемещению вдоль линии прокатки и уменьшению карбидной неоднородности.

Мелкосортной прокат и подкат для калибровки и специальной отделки поверхности в условиях ПАО «Днепроспецсталь» производят на линейных мелкосортных станах 325 и 280. Эти станы оснащены измерительной аппаратурой для управления температурными параметрами прокатки и скоростью последеформационного охлаждения. Для уменьшения карбидной сетки в прокате заэвтектидных сталей на станах 325 и 280 имеется возможность ускоренно охлаждать раскат после окончания деформации. На стане 280 работают две установки ускоренного охлаждения, одна из которых предназначена для прутков диаметром от 14 до 22 мм, другая – для бунтового проката диаметром от 8 до 13 мм. На стане 325 установка ускоренного охлаждения рассчитана на весь профильный сортмент. С помощью ультразвуковых расходомеров устанавливают необходимый расход воды для обеспечения требуемой скорости последеформационного охлаждения и заданной структуры проката.

Технологическая схема передела мелкосортного проката включает отпуск или структурный отжиг в камерных печах термического цеха, а также термообработку

в газовых или электрических печах калибровочного цеха. При этом отжиг металла можно производить как в окислительной среде, так и в защитной атмосфере азота или N_x - газа.

Для разработки режимов термической обработки, обеспечивающих получение требуемых показателей качества, с использованием dilatометра DL-7000 японского производства проводятся dilatометрические исследования фазовых превращений в процессе нагрева и охлаждения стали.

Обычно для разработки и корректировки режимов термической обработки определяют критические точки A_{c1} и A_{c3} при нагреве металла и A_{r3} и A_{r1} при охлаждении. Результаты исследования образцов ряда инструментальных сталей приведены в табл. 2.

Передел подката инструментальных сталей включает холодное или теплое волочение после химической обработки поверхности или специальную отделку прутков обточкой, шлифовкой, полировкой.

Холодное волочение прутков производят на цепных волочильных станах типа 2KM-15 и 2KM-30, которые по своим техническим характеристикам способны калибровать подкат диаметром от 12 до 50 мм. Волочение бунтовой стали диаметром от 2 до 13 мм осуществляют на барабанных станах 1/750, 1/650 и 1/550.

С целью повышения пластичности труднодеформируемых инструментальных сталей ледебуритного класса перед деформацией подкат, разматываясь из бунта, поступает в индуктор, где нагревается до температуры 500–800 °С и в теплом состоянии деформируются в волоке барабанного стана. Для индукционного высокочастотного нагрева подката диаметром 2–14 мм используются установки ЛЗ-107, ВЧГ-3.160 и УИН-250-10/120-20.

Таблица 2

Критические точки инструментальных сталей

№ п/п	Марка стали	Номер плавки	Критические точки, °С			
			A_{c1}	A_{c3}	A_{r3}	A_{r1}
1	95X5ГМ	32853	770	795	710	670
2	95X5ГМФ	10282	780	815	720	675
3	P10M2Ф5K8-МП	026049	805	825	750	710
4	P12MФ5K5-МП	026369	820	845	760	720
5	P10M3Ф4K8-МП	026211	825	850	780	755
6	P0M2Ф10C-МП	026191	825	855	765	730
7	P6M5Ф4-МП	027184	810	855	740	690
8	XB4Ф	165476	745	795	720	680

Калиброванную бунтовую сталь после отжига правят и раскраивают на мерные длины с помощью правильно-отрезных станков. Специальную отделку поверхности прутков инструментальных сталей производят на обдирочных станках фирмы «Кизерлинг» или шлифовальных станках ВШ-622 и ВШ-620Н.

Улучшение качества обточенной и шлифованной поверхности – важное условие конкурентоспособности продукции завода на мировом рынке, которое достигается за счёт разработки и внедрения новых технологических приёмов: усовершенствования инструмента, режимов резания, модернизации существующего и установки нового оборудования для отделки металлопродукции.

Отделка металла на адьюстажах механизирована и производится на агрегатных линиях и высокопроизводительных станках.

Металлопродукция из инструментальных сталей может поставляться с выборочной, сплошной зачисткой поверхности абразивным инструментом или в обточенном состоянии. В зависимости от требований потребителя с учётом профильного сортамента методом абразивной зачистки достигается шероховатость обработанной поверхности

Rz < 80–120 мкм, методом резцовой обточкой – Rz < 40–80 мкм. Горячекатаные и кованные прутки квадратного сечения, полосы толщиной или стороной квадрата 100 мм и более поставляются со сплошной зачисткой или строгаными, или фрезерованными по согласованию с потребителем с обеспечением шероховатости поверхности Rz < 100 мкм.

При этом на заводе разработана и внедрена технология подготовки к абразивной обработке трещиностойких инструментальных, в том числе ледебуритных сталей. Подобран специальный абразивный инструмент, позволяющий производить спецотделку, обдирку и чистовую шлифовку выше перечисленных сталей, включая кобальтовые быстрорежущие.

Обточку прутков диаметром 150–600 мм производят на токарных станках в центрах, диаметром 45–350 мм – на бесцентрово-токарных станках с обеспечением шероховатости поверхности Rz ≈ 40–80 мкм.

С целью расширения сортамента стали со специальной отделкой поверхности и удовлетворения растущих требований к прокату по точности геометрических размеров, кривизне прутков и шероховатости поверхности в условиях завода введен в эксплуатацию новый современный цех адьюстажной обработки металла, в котором установлены две автоматические линии фирмы «Ландграф» для обработки проката длиной от 3 до 7 м. Первая линия предназначена для обработки прутков диаметром от 21 до 75 мм на чистовые диаметры от 20 до 70 мм с точностью, соответствующей качеству h9, шероховатостью поверхности Ra ≤ 1,4 мкм и кривизной не более 0,4 мм на метр длины. Она включает правильную косовалковую машину ОВВ 400 × 5, изготовленную Старокраматорским машиностроительным заводом, обдирочный станок 75КС, фаскосъёмный станок, правильно-полировальную машину RMB2-80. Эта линия снабжена приборами контроля качества прутков: имеется лазерная установка для измерения геометрических размеров профиля, вихретоковый дефектоскоп для оценки качества поверхности и прибор для сортировки прутков по маркам стали.

Вторая линия предназначена для обработки прутков диаметром от 51,5 до 212 мм на чистовые размеры от 50 до 200 мм с точностью по качеству h9 и шероховатостью поверхности Ra ≤ 1,4 мкм до круга 130 мм и Ra ≤ 5,0 мкм для диаметров 130–200 мм.

Эта линия включает обдирочный станок 200KI и правильно-полировальную машину RMB2-130. Как и первая, она снабжена приборами для автоматического лазерного измерения геометрических размеров профиля, для вихретокового определения поверхностных дефектов и для сортировки прутков по маркам стали.

Технология фирмы «Landgraf» полностью обеспечивает требования, предъявляемые к стали с точностью обработки по качеству h9. В новом цехе имеем возможность осуществлять порезку и упаковку готовой продукции, что позволяет улучшать её товарный вид и защищать металл от внешних воздействий во время хранения и транспортировки.

Большое внимание потребители инструментальных сталей уделяют качеству торцов сортового проката и поковок.

Одним из перспективных направлений повышения эффективности резки металла в холодном состоянии, особенно трещиностойких инструментальных сталей, явилось внедрение ленточно-пильной резки, которая отличается от абразивной и анодно-механической резки чистым, точным резом. Данный метод порезки позволяет снизить величину шероховатости торца, приблизить её к шероховатости обточенной или шлифованной поверхности, не изменяя поверхностной твёрдости и структуры металла в зоне резания.

Для успешного продвижения товара на рынок недостаточно соблюдения требований по точности размеров и качеству металла. Заказчики хотят получать продукцию презентабельного вида, и это считается одним из параметров оценки качества. Если раньше достаточно было устранить только поверхностные дефекты, то теперь требования и запросы потребителей к внешнему виду металлопродукции существенно изменились.

Для обеспечения доставки продукции в соответствии с требованиями контрактов и технических протоколов производится консервация металла, обеспечивающая защиту его от коррозии в различных климатических условиях. Для этого применяются масляные консерванты с упаковкой и без неё.

Как известно, один и тот же товар можно преподнести по-разному. И упаковка здесь играет далеко не последнюю роль. Освоены новые виды мягких упаковочных средств, армированных прочными материалами, исключающими разрушения первоначальной упаковки при транспортировке и хранении в различных климатических условиях (многослойные упаковочные материалы типа Lamiflex, Propaflex и Nolkoflex).

Маркировка готовой продукции тоже претерпела значительные изменения, возникшие проблемы решены путём применения новых этикеток, которые сейчас используются для обозначения металла марки «Днепрспецсталь», имеют современный вид. Их можно укрепить даже на необработанной поверхности торцов металлопродукции, что позволяет быстро и легко отыскать необходимую партию товара на складе. Сейчас вся металлопродукция снабжена маркировкой, отвечающей мировым стандартам.

ВЫВОДЫ

В условиях ПАО «Днепрспецсталь» проведен ряд работ по улучшению качества и уменьшению себестоимости проката и поковок из высоколегированных инструментальных сталей.

ПАО «Днепрспецсталь» имеет широкие возможности по выплавке, деформационному переделу и адьюстажной обработке инструментальных сталей как в части обеспечения требуемых размеров профиля, чистоты поверхности, так и в обеспечении необходимой структуры и свойств металлопродукции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Разработка и исследование технологии выплавки слитка ЭШП диаметром 800 мм без поверхностных дефектов / С. В. Давидченко, И. Н. Логозинский, И. М. Билоник, А. С. Сальников, М. И. Гасик, А. Ю. Кузьменко // Современная электрометаллургия. – 2010. – № 2. – С. 3–7.*
2. *Тумко А. Н. Прокатка слитков и прессовок ледебуритных сталей на обжимно-заготовочном стане / А. Н. Тумко, О. А. Козлов, С. В. Ревякин // Чёрная металлургия. – 2003. – № 8 (1244). – С. 33–34.*
3. *Развитие технологических основ деформационного передела порошковых инструментальных сталей / А. И. Панченко, А. Н. Тумко, В. В. Мильчев, А. С. Сальников // Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2012. – № 4(33). – С. 202–208.*
4. *Определение технологической пластичности слитков стали X12 и X12МФ с использованием пластометра / А. Н. Тумко, С. В. Ревякин, О. Е. Козлов, Я. И. Спектор // Сталь. – 2002. – № 9. – С. 84–86.*

Корниевский В. Н. – и. о. пред. правл. ПАО «Днепрспецсталь»;

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

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

Логозинский И. Н. – зам. техн. дир. (по технологии) ПАО «Днепрспецсталь»;

Шибeko П. А. – гл. сталеплавильщик ПАО «Днепрспецсталь».

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

E-mail: spp@dss.com.ua; czln@dss.com.ua; GLAVIN@dss.com.ua; stalN@dss.com.ua