

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.771.25.04.001.5

А. А. ГОРБАНЕВ, канд. техн. наук,
Б. Н. КОЛОСОВ, канд. техн. наук,
С. М. ЖУЧКОВ, д-р техн. наук,
В. В. ЖИГУЛИН, Б. Ф. МАРЦИНИВ, канд. техн. наук
(Институт черной металлургии НАН Украины)*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ПРОВОЛОЧНОГО СТАНА 150*

Первый в отрасли проволочный стан 150 был построен в 1979 г. на Белорецком металлургическом комбинате, крупнейшем поставщике канатов, метизов и различной проволоки – кордовой, сварочной, инструментальной, пружинной, игольчатой из углеродистых сталей, а также легированных типа 70ХГФАШ, 60С2ХА, 51ХФА, 12Х13, Х18Н10Т, 20Г2Р, ШХ15 и других для изготовления деталей ответственного назначения.

Стан производил 450 тыс. т в год катанки диаметром 5,5 – 10 мм в мотках массой до двух тонн.

Оборудование было поставлено фирмой СКЕТ ГМБХ (Германия) по кооперации СЭВ в следующем составе: печь с шагающим подом, рассчитанная на нагрев заготовки сечением 200×200 мм, длиной 5,6 – 7,0 м, производительностью 60 т/ч (поставщик завод ДЗМО, г. Днепропетровск).

Все основное оборудование расположено на отметке +5 м.

Головная часть стана – непрерывные, работающие в одну нитку группы, в состав которых входили:

- обжимная группа «650» – шесть клетей и две термофрезерные машины для зачистки заготовок (поставщик фирма ЖДЯС);
- черновая группа «450» – пять клетей;
- первая промежуточная группа «375» – шесть клетей;
- проходная роликовая печь для подогрева раскатов и накопления их для организации дальше по стану прокатки в две нитки;
- вторая промежуточная группа «315» – шесть клетей, прокатка в две нитки.

* В работе принимали участие: Е. А. Евтеев, А. Т. Филиппов, В. М. Беленко, И. В. Бутырский, А. М. Юнаков, А. П. Киселев, В. А. Пирогов, Р. Шмидт, Е. А. Мамыкин, А. Н. Хисматулин, М. И. Косарев, Н. А. Клековкина, С. А. Терских, В. В. Покачалов, В. И. Зюзин, Б. Г. Подольский и др.

Головная часть стана: маятниковые, разрывные, кривошипно-рычажные, кривошипные ножницы для зачистки концов заготовок и аварийной порезки, а также петлеобразователь и две стрелки для оперативной организации загрузки обеих ниток.

Хвостовая часть стана – две одноплеточные линии, каждая из которых имела следующее оборудование:

- чистой десятиклетевой блок 215/170 (специальный, вытяжка 5,6), рассчитанный на прокатку катанки 5,5 и 6,5 мм со скоростью до 50 м/с с петлеобразователем перед ним и блоком ножниц;

- линия водяного охлаждения катанки водой давлением 12 бар;

- ножницы для удаления заднего конца раската;

- трайбаппарат и виткоукладчик;

- линия воздушного охлаждения катанки «стандартный Стелмор», оснащенная сетчатым транспортером длиной 70 м без утеплительного тоннеля, на котором витки катанки, перемещаясь с регулируемой скоростью 0,1 – 1,0 м/с, охлаждались снизу вентиляторным воздухом, подаваемым по тоннелям на обе нитки от 10 расположенных последовательно вентиляторов суммарной мощностью 850 тыс. м³/ч с нерегулируемой частотой вращения приводов.

Передовая на то время технология, освоенная впервые в отрасли в начале 80-х годов, позволила получать канатную и конструкционную катанку из углеродистых сталей по ТУ 14-15-113-82 с качеством на уровне повышенных требований потребителей внутреннего рынка и достичь снижения затрат при ее переработке.

Несмотря на то что установки «стандартный Стелмор» предназначены только для ускоренного охлаждения катанки воздухом со скоростью 5 – 10 °С/с и дают удовлетворительные результаты по микроструктуре и механическим свойствам для катанки из углеродистой стали, комбинат, идя навстречу потребителям, производил на стане 150 катанку из сталей специального назначения, легированных кремнием, марганцем, хромом, требующих замедленного охлаждения. При этом требования потребителей по микроструктуре и механическим свойствам выполнялись с некоторыми оговорками, так как применение утеплителей сетчатого транспортера кустарного изготовления позволяло только незначительно понизить скорость охлаждения витков. Прокатка катанки из сталей 51ХФА, 60С2, СВ08Г2С, ШХ15 проводилась с потерей производства в 1,5 – 2,0 раза, поскольку сетчатый транспортер разогревался и удлинение сетки приводило к отказам в работе.

Традиционная технология охлаждения катанки по способу Стелмор, применяемая на современных проволочных станах, за 30 лет не претерпела существенных изменений. Появились линии «замедленный Стелмор» для охлаждения низкоуглеродистой катанки, имеющие большую протяженность, что потребовало увеличения капитальных и эксплуатационных затрат. Велись разработки линий небольшой длины, в которых для увели-

чения скорости охлаждения применяли инфразвук, однако эти установки можно использовать только для углеродистых сталей, требующих ускоренного охлаждения, т. е. на узкоспециализированных станах.

Анализ технологического оборудования, применяемого в других областях прокатного производства для охлаждения проката в защитной и восстановительной атмосфере, показал, что разработанные ВНИИМТ, Уралгипрометом и Стальпроектом установки охлаждения проката высокоскоростными газовыми струями успешно эксплуатируются при охлаждении труб в мотках на Первоуральском трубном заводе, полос на Верх-Исетском заводе и УЗПС, листа на ММК и других заводах. А это значит, что в случае разработки соответствующих конструкций для условий охлаждения витков катанки на роликовом транспортере появляется возможность осуществления ускоренного или замедленного охлаждения, необходимого для получения катанки различного назначения с заданными микроструктурой и свойствами.

Лабораторные исследования, проведенные на стендах ИЧМ, показали, что при использовании высокоскоростных газовых струй при соответствующих сопловой системе и конструкции блоков струйного охлаждения можно охлаждать катушку со скоростями от 1 до 50 °С/с, т. е. в более широких пределах, чем на существующих линиях Стелмор. Это открывает кроме всего прочего возможности получения катанки с новыми свойствами, например высокоуглеродистой катанки с высокими пределом прочности и пластическими свойствами для производства высокопрочной арматурной проволоки без промежуточного патентирования; катанки из низколегированной стали для холодной деформации, имеющей структуру ферритной матрицы с равномерно распределенными включениями мартенсита и низким отношением предела текучести к пределу прочности и т. д. Высокие скорости охлаждения воздухом позволяют снижать градиент падения температуры на линии водяного охлаждения и получать более равномерные свойства по сечению катанки и легкотравимую окалину, состоящую на 75 – 80% из FeO.

Учитывая технологические возможности охлаждения с применением высокоскоростных газовых потоков для широкого марочного сортамента стана, опыт ВНИИМТ в разработке вентиляторов, а также для экономии валютных средств при намеченной ранее реконструкции стана 150, комбинат принял решение установить на участке виткообразователь – виткосборник отечественное оборудование, разработанное с учетом особенностей технологии и расположения оборудования хвостовой части стана, приняв за аналог линию охлаждения стана 320/150 БМЗ [1]. Работы по реконструкции стана 150 были начаты комбинатом в 1992 г. совместно с ИЧМ, ВНИИМТ и Уралгипрометом, а также с генеральным проектировщиком – Челябингипрометом и поставщиком основного оборудования – фирмой СКЕТ ГМБХ (Германия).

Цель реконструкции – модернизация оборудования и совершенствова-

ние технологии, обеспечение производства 550 тыс. т в год катанки диаметром 5,5 – 10,0 мм и мелкосортного проката диаметром 10 – 16 мм высокого качества широкого марочного сортамента, который не освоен на высокоскоростных проволочных станах в СНГ и за рубежом. Стан остается двухниточным, рабочая скорость прокатки повышается до 70 м/с.

При реконструкции хвостовой части стана была предусмотрена установка нового технологического оборудования на участке от стрелки за второй промежуточной группой до шахты виткосборника включительно. Стан оснащается системой управления технологическим процессом через ЭВМ и персональные компьютеры.

Установка новых блоков фирмы СКЕТ (блок 6-го поколения) специального исполнения (суммарная вытяжка в 10 клетях – 5,6) позволяет решить две задачи:

- повысить работоспособность оборудования в условиях переработки сталей с различным сопротивлением деформации при высоких скоростях прокатки за счет конструктивных особенностей зубчатых передач и кинематической схемы привода;

- получить гарантированную точность размеров профиля готового проката в соответствии с требованиями ГОСТ 2590 – 88 для класса А (для катанки – $\pm 0,15$ мм при овальности до 0,15 мм) при условии съема около 400 т на один сошлифованный слой валковых шайб.

Оборудование новых линий воздушного охлаждения, разработанных с учетом особенностей сортамента и реальных площадей стана, позволяет выпускать продукцию, конкурентоспособную на мировом рынке, и избежать при этом затрат на приобретение импортного типового оборудования, которое заведомо не обеспечит требований потребителей на освоенную и новую продукцию в условиях современного рынка.

Отличительной особенностью новых линий являются камеры струйного охлаждения конструкции ВНИИМТ с блоками различного типа, в которых можно изменять интенсивность охлаждения от непрерывного ускоренного со скоростью до 50 °C/с до замедленного с изотермической выдержкой при температуре 550 – 650°C, что повышает их технологическую гибкость до уровня, не достигаемого даже на линиях «замедленный Стелмор» [2, 3].

Наличие конвективного термостата в камере струйного охлаждения (КСО) (5 блоков каждой линии оснащены специальными циркуляционными вентиляторами) в сочетании с блоками интенсивного и ускоренного охлаждения позволяет организовать процесс воздушного патентирования большинства видов продукции марочного сортамента стана. При этом охлаждение воздухом с высокими скоростями вначале обеспечивает требуемое переохлаждение аустенита и сохраняет мелкодисперсную структуру, а изотермическая выдержка обеспечивает отсутствие подкалки, а также:

- для низкоуглеродистой катанки, идущей на волочение, – низкий предел прочности и высокую пластичность;

- для двухфазных сталей типа СВ08Г2С – равномерную феррито-мартенситную структуру и отношение предела текучести к пределу прочности, равное 0,5 – 0,6, что повышает технологичность при переработке;

- высокие скорости охлаждения до начала структурных превращений при производстве катанки из стали ШХ15 сохраняют мелкодисперсную структуру и подавляют карбидную сетку, а изотермическая выдержка обеспечивает полный распад аустенита в сорбитообразный перлит и исключает возможность образования бейнита и мартенсита;

- изотермическая выдержка при заданных температурах эффективна также при производстве катанки из сталей с высокой устойчивостью аустенита, например 51ХФА, 70ХГФАШ и др.;

- при производстве катанки из углеродистых сталей (канатные и конструкционные) получение структуры сорбитообразного перлита. Кроме этого, возможность быстро проходить интервал температур 600 → 200°С при окончательном охлаждении способствует получению слоя окалина на поверхности, состоящего из вюстита, который легко удаляется при подготовке катанки к волочению.

Наличие более интенсивного охлаждения в начале линии (блоки 1 – 3) открывает возможность производства продукции со свойствами, не достижимыми на действующих линиях:

- для катанки диаметром 5,5 – 8,0 мм из сталей 75 – 85 получать предел прочности до 1300 Н/мм², что позволяет производить высокопрочную арматурную проволоку по ГОСТ 7348 – 81, пружинную проволоку и другую продукцию, минуя патентирование;

- для катанки из коррозионно-стойких сталей аустенитного класса типа Х18Н10Т повысить пластические свойства и уменьшить предел прочности за счет последеформационной выдержки (охлаждение с высокой температуры начиная с блока № 3) и закалки (ускоренное охлаждение всеми остальными блоками линии).

Схема расположения оборудования линий двухстадийного охлаждения катанки после реконструкции стана 150 показана на рис. 1.

Оборудование линий воздушного охлаждения проката учитывает необходимость повышения равномерности микроструктуры и механических свойств по длине мотка. Для этого сопловые доски блоков № 1 – 3 КСО обеспечивают дифференцированную подачу воздуха по ширине транспортера (больше к местам скопления витков), а система управления приводом роликового транспортера имеет возможность регулировки скорости рельгангов по секциям, что обеспечивает растягивание спирали витков и смешение «горячих точек» в местах перекрещивания последних.

Технологическое задание на реконструкцию хвостовой части стана 150 БМК с использованием камер струйного охлаждения выдано ИЧМ 15.06.1992 г. Производительность стана после реконструкции – 550 тыс. т в год; размерный сортамент – катанка диаметром 5,5 – 9,0 мм и мелко-сортный прокат диаметром 10 – 16 мм; скорость прокатки – до 75 м/с; точность готового профиля – в соответствии с классом А и Б (ГОСТ 2590 – 88).

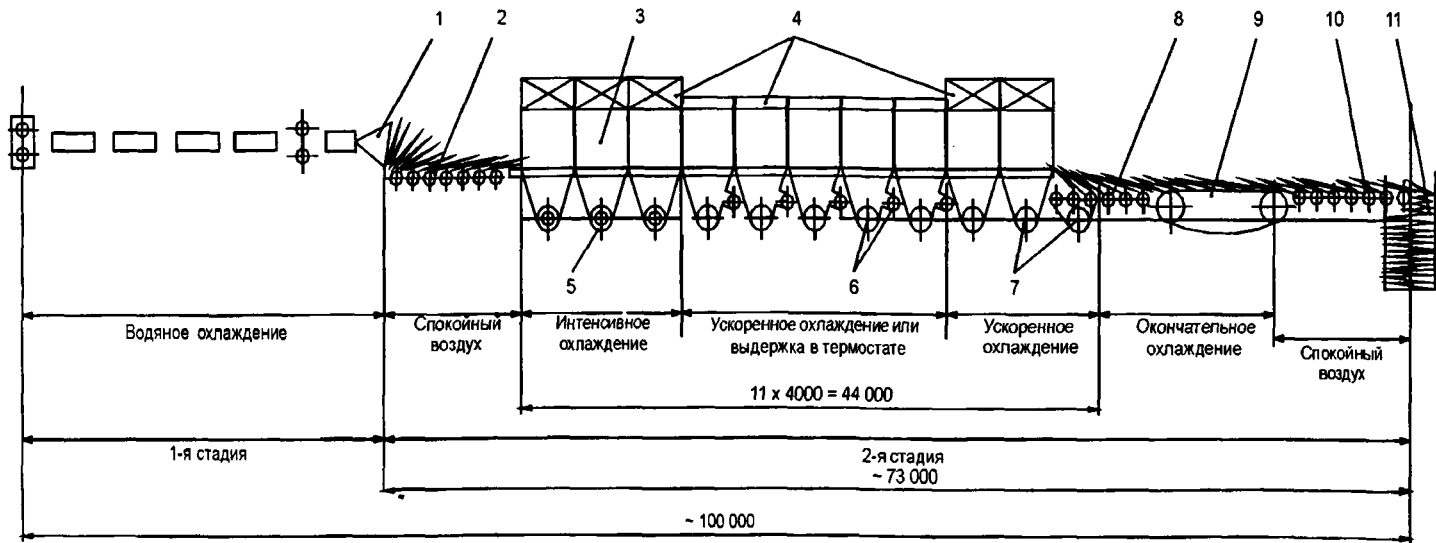


Рис. 1. Линия двухстадийного охлаждения проката стана 150 БМК после реконструкции:

1 – виткоукладчик; 2 – приемный стол; 3 – камера струйного охлаждения (КСО), состоящая из 11 блоков с роликовым транспортером; 4 – крышки блоков КСО; 5 – вентиляторы интенсивного дутья; 6 – вентиляторы комбинированного дутья; 7 – вентиляторы ускоренного охлаждения; 8 – передающая секция рольганга; 9 – сетчатый транспортер; 10 – рольганг подачи витков в шахту; 11 – шахта виткосборника

При проектировании должен быть учтен весь накопленный мировой опыт, в том числе и отечественный (теперь опыт СНГ), с тем, чтобы новая технология охлаждения катанки и оборудования для ее реализации, обладая элементами новизны и обеспечивая требования потребителей по уровню свойств готовой продукции, сама могла стать предметом продажи на мировом рынке.

Реконструкция стана 150 готовилась и протекала перманентно, что объясняется перипетиями финансовых отношений в СНГ в 1992 – 1998 гг. Строительно-монтажные работы, оборудование для которых было готово заранее, начались только в августе 1999 г. и выполнялись ступенчато, так как (помимо отсутствия достаточного финансирования) необходимо было сохранить загрузку сталепроволочно-канатного производства, принимая во внимание, что стан 150 является производственно образующим агрегатом комбината.

Температурно-скоростные параметры прокатки и охлаждения катанки из сталей основного марочного сортамента стана 150 (табл. 3.1 ТИ-173-464-97 с изм. № 1 – 4) разработаны на основании опыта промышленных исследований технологии производства катанки на станах 150 БМК и Макеевского металлургического комбината, лабораторных экспериментов ИЧМ по изучению влияния скорости охлаждения высокоскоростными газовыми струями на свойства катанки, а также экспертного учета взаимосвязи следующих объективных факторов:

- марка стали, диаметр, скорость прокатки и назначение продукции;
- требуемая интенсивность охлаждения до начала превращений для подавления нежелательных явлений (роста зерна, карбидной сетки, игольчатого феррита, мартенсита и др.), а также минимальное количество и требуемые свойства оксидов на поверхности проката в каждом конкретном случае;
- фактическая температура начала превращения для данной марки стали при определенной интенсивности охлаждения, продолжительность распада аустенита и пр., т. е. требуемые температура и продолжительность изотермической выдержки;
- технологические паузы, темп прокатки для минимизации сбоев работы шахт виткосборника и рольгангов линии охлаждения;
- пожелания потребителя по механическим свойствам и микроструктуре с учетом технологичности катанки при переработке (в рамках требований НД).

При многообразии вариантов комбинаций величин частоты приводов вентиляторов интенсивного охлаждения (блоки № 1 – 3), обуславливающих температуру входа витков в зону термостата, основными рабочими приняты частоты 15 – 25 Гц, которые соответствуют 20 – 60 м/с истечения воздуха из сопел. Это в свою очередь обеспечивает требуемую микроструктуру и механические свойства основных сталей сортамента, что подтверждено экспериментально при продувке на стенде ИЧМ воздушными

струями со скоростями от 0 до 100 м/с. При этом требуемая плотность укладки витков, т. е. скорость транспортирования витков при определенной скорости прокатки и необходимой температуре витков в зоне блоков № 3 – 4, находилась также экспериментально для каждого диаметра канатки в реальных условиях на стане 150.

Освоение линии охлаждения продолжалось с декабря 1999 г. по сентябрь 2000 г., при этом левая нитка стана работала по старой технологии (без вентиляторов), а правая – по новой.

В течение трех месяцев была освоена технология прокатки и охлаждения канатки из углеродистых сталей. При поставке этой продукции по ТУ 14-15-113-82 (канатные и конструкционные стали), ГОСТ 30136-95 (рядовые), ТУ 14-173-94-93 (SAE1008) обеспечивалось выполнение показателей прочности с вероятностью 1,0, а показатели пластичности превышали требуемые на 3 – 8 % (абс.) В микроструктуре канатки присутствует сорбитообразный перлит 1-го балла по ГОСТ 8233-56 до 100 %. Имеется возможность получать более мягкую канатку при меньшем количестве перлита 1-го балла, т. е. технологические особенности новой линии обеспечивают получение требуемых свойств углеродистой канатки в рамках процесса термообработки от нормализации до ускоренного охлаждения с разной интенсивностью.

Анализ слаточных испытаний всего марочного сортамента за этот период показал, что применение изотермической выдержки при охлаждении низкоуглеродистой канатки снижает ее прочностные и повышает пластические свойства. Охлаждение с изотермической выдержкой следует применять также для канатки, требующей замедленного охлаждения, – СВ08Г2С, сталей для холодной высадки типа 20Г2Р, спецсталей для производства пружин – 70ХГФА1Д 60С2ХАШ, 51ХФА, 9ХС, 60Г – 70Г и др. по ГОСТ 14959-79, а также для шарикоподшипниковой канатки из сталей ШХ10 – ШХ15 – ГОСТ 801-78.

Снижение прочности и повышение пластических свойств канатки при охлаждении с изотермической выдержкой в термостате объясняются следующим. После охлаждения вентиляторным воздухом низкоуглеродистой канатки выделенный феррит перенасыщен углеродом, который существует в виде промежуточного твердого раствора на дислокациях или образует тонкие выделения в ферритных зернах. В процессе волочения происходят растворение метастабильных соединений и осаждение углерода, что приводит к повышению обрывности, поэтому при охлаждении низкоуглеродистой канатки необходимо выделить углерод в стабильную фазу – цементит в виде пластин при формировании перлитных участков. Перемещение углерода является диффузионным процессом, который ускоряется при изотермической выдержке с температурой около 500°C. Ферритные зерна в большей степени освобождаются от избыточного углерода, чем при обычном замедленном охлаждении, что снижает их прочность и по-

вышает пластичность. Этому также способствует более крупнозернистая структура феррита на поверхности катанки, полученной после изотермической выдержки.

Что касается охлаждения сталей специального назначения, легированных кремнием, хромом, марганцем и имеющих повышенную устойчивость аустенита, при их охлаждении применение изотермической выдержки в термостате не вызывает сомнения, особенно для катанки диаметром 5,5 – 7,0 мм.

В процессе освоения стана 150 после реконструкции неоднократно возникал вопрос о преимуществах новой технологии и степени приближения ее к «серийному» процессу патентирования, традиционно используемому на комбинате при переработке катанки.

Оборудование новых линий двухстадийного охлаждения в потоке стана 150 позволяет реализовать процесс термообработки катанки, принципиально воспроизводящий основные моменты процесса патентирования в расплавах свинца или селитры. Так, необходимую температуру аустенизации обеспечивает линия водяного охлаждения, попутно фиксируя образование окалины на поверхности проката. Быстрое охлаждение витков катанки до температур 425 – 550°C обеспечивает участок интенсивного охлаждения, на котором за счет применения спецвентиляторов со скоростью воздушных струй до 75 м/с на выходе из сопел достигается требуемое переохлаждение аустенита. Изотермическую выдержку при нужной температуре обеспечивают блоки конвективного термостатирования при замедленном охлаждении. При ускоренном охлаждении изотермическое превращение в зоне блоков № 4, 5 обеспечивается за счет регулировки положения дросселей на вентиляторах, т. е. дифференцированной подачи воздуха с учетом плавного снижения температуры движущихся витков катанки.

Различные процессы воздушного патентирования в потоке проволочного стана и патентирования в расплавах на патентировочных агрегатах состоит в том, что традиционный процесс происходит «в нитку», а новый – продуванием воздуха через пакет витков различной плотности, что может приводить к большей разности механических свойств по длине мотка.

Периодические замеры, проводимые в процессе освоения технологии, показали, что механические свойства по длине мотка для различных марок стали и диаметров катанки различны. С вероятностью 0,95 разность величин предела прочности не превышала:

- на катанке диаметром 5,5 мм из стали БСт1сп – 50 Н/мм²;
- на катанке диаметром 6,5 мм из стали 75 – 50 Н/мм²;
- на катанке диаметром 8.0 мм из стали 70ХФАШ – 50 Н/мм².

Итак, новая технология позволила улучшить такие показатели качества, как равномерность структуры по сечению катанки, механические свойства по длине мотка, пластичность высокоуглеродистой катанки и катанки из сталей специального назначения, а также получить новый вид продукции – катанку, идущую на волочение в метизных цехах, минуя патентирование.

Ниже приводятся результаты промышленных исследований по освоению производства проволоки диаметром 3,0 мм по ГОСТ 7348–81 из катанки диаметром 6,5 мм (сталь М75), минуя патентирование, которые, по нашему мнению, являются главным результатом настоящей работы.

Основные требования, предъявляемые к катанке из стали 75 под высокопрочную арматуру, – повышенные прочностные и пластические свойства, отсутствие подкалки (предел прочности более 1150 Н/мм²).

Механические свойства высокоуглеродистой катанки определяются в основном условиями охлаждения на 2-й стадии. Увеличением интенсивности охлаждения витков воздухом в начале транспортера фиксируется мелкодисперсная структура аустенита, при этом в связи с меньшими скоростями охлаждения по сравнению с водяным охлаждением исключается подкалка поверхности (отпущенный мартенсит). При последующем перлитном превращении в условиях ускоренного охлаждения в зоне вентиляторов № 4 – 8 получается высокодисперсная структура сорбитообразного перлита с высокими значениями σ_b , σ_T и высокой пластичностью, на уровне 38 – 40% относительного сужения.

Ниже приводятся данные масштабной проверки новой технологии при производстве высокопрочной арматурной проволоки, проведенной в августе 2000 г. на серийной плавке стали 75, прокатанной на стане 150 в катанку диаметром 6,5 мм по технологии, основные положения которой описаны выше, и переработанной в цехе № 16 в проволоку диаметром 3,0 мм по ГОСТ 7348–81. Плавка 702752 (г. Новотроицк), 31 моток, содержание основных элементов: С – 0,77%; Мп – 0,71; Si – 0,35%, прокатана в катанку диаметром 6,5 мм, скорость прокатки – 50 м/с, охлаждение водой до 980°C, воздушное охлаждение – ускоренное при скорости рольганга на приемном столе 0,3 м/с, температура витков на выходе на сетчатый транспортер – 30 – 50°C. Количество окалины на поверхности – 5 кг/т. Фазовый состав: FeO – 73%; Fe₂O₃ – 0; Fe₃O₄ – 27%.

В табл. 1 приводятся результаты экспресс-испытаний, которые показывают, что с вероятностью 0,95 разность величин предела прочности по длине мотка не превышает 100 Н/мм².

Таблица 1

Результаты испытаний механических свойств катанки диаметром 6,5 мм по длине мотка (сталь М75), плавка 702752 (12 мотков в состоянии поставки)

Место отбора образцов от мотка	Средние величины и квадратичные отклонения			
	σ_b , Н/мм ²		ψ , %	
	\bar{X}	S_{n-1}	\bar{X}	S_{n-1}
Начало	1195	22	36	1,5
Середина	1174	18	37	2,3
Конец	1187	25	36	2,7

Аналогичные результаты получены и при анализе данных по равномерности свойств по периметру витков на транспортере, где максимальная разность предела прочности не превышает 88 Н/мм^2 (табл. 2).

Таблица 2

Результаты испытаний механических свойств катанки диаметром 6,5 мм (сталь М75), по ширине пакета витков на роликовом транспортере (плавка 702752)

Место отбора проб по ширине пакета витков на транспортере		Средние величины и квадратичные отклонения			
		$\sigma, \text{ Н/мм}^2$		$\psi, \%$	
		\bar{X}	S_{n-1}	\bar{X}	S_{n-1}
Моток № 1, $n = 10$	Край	1170	14	41	1,4
	Середина	1170	6,7	41	0,7
Моток № 2, $n = 10$	Край	1200	23	39	0
	Середина	1190	6,7	39	1,2
Моток № 3, $n = 10$	Край	1173	16	42	1,0
	Середина	1157	20	41	2,0
По трем моткам, $n = 30$	Край	1180	22	40	1,5
	Середина	1171	17	40	1,7

Микроструктура катанки плавки 702752 при оценке методом оптической металлографии: сорбит с редкими участками или обрывками сетки феррита характеризуется высокой дисперсностью и однородностью, т. е. катанка сорбитизированная.

На образцах сорбитизированной катанки диаметром 6,5 мм из стали 75 был проведен количественный анализ микроструктуры пластинчатого перлита методом стереометрической металлографии по методике БМК (рис. 2).

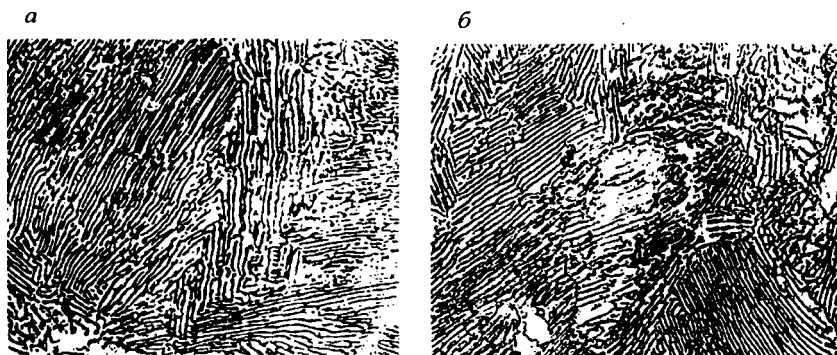


Рис. 2. Микроструктура катанки диаметром 6,5 мм из стали 75 (ПЭМ, угольные реплики, $\times 6000$), плавка 702752:

а – сорбитизированная в КСО (воздушное патентирование); б – сферидная, патентированная в селитре

При анализе микроструктур получены следующие данные: дисперсность перлита может быть разложена на ряд кривых в интервале 0,08 – 0,20 мкм, при этом 95% не выходит за верхний предел 0,15 мкм. Преобладают кривые в интервале 0,077 – 0,10 мкм. Структура – сорбит с небольшой долей феррита (4,3%) – подобная индексу 11 при свинцовом патентировании, когда межпластиночные расстояния находятся в пределах 0,10 – 0,08 мкм.

Катанка плавки 702752 после воздушного патентирования на стане 150 подвергалась переработке в арматурную проволоку диаметром 3,0 мм по ГОСТ 7348 – 81 (в цехе 16) по действующей технологии, исключая операцию патентирования.

Сорбитизированная катанка со стана 150 быстро травилась: 3 – 5 мин вместо 30 – 40 мин для катанки серийного производства.

Протяжка катанки 6,5 → 3,0 мм осуществлялась в 6 приемов и проходила без замечаний.

В табл. 3 приведены сравнительные данные о свойствах готовой проволоки (после отпуска). Для сравнения взята случайная проволока текущего производства. Видно, что по уровню свойств проволока из сорбитизированной на стане 150 катанки близка к проволоке, полученной из патентированной на печах цеха 16. Однако у проволоки, полученной путем воздушного патентирования, заметна большая нестабильность параметра удлинения δ_{100} . По показателю δ_{100} проволока имеет более низкое среднеарифметическое значение (3,7%), более высокое среднеквадратичное отклонение (1,0 %), а вероятность удовлетворения нормы составляет 36%. У проволоки из патентированной катанки эти значения соответственно равны 4,0%, 0,5 и 50,8%. Причину этого различия следует искать прежде всего в структурной неоднородности по сечению катанки вследствие замены среды охлаждения. Известно, что параметр удлинения во многом контролируется также неоднородностью свойств материала по сечению.

Вопрос качества готовой продукции после реконструкции хвостовой части стана 150 имеет несколько аспектов, обусловленных многообразием взглядов при сопоставлении следующих объективных факторов: физического и морального износа оборудования стана, объемов и стоимости работ, а также необходимости внесения изменений в существующую технологию переработки катанки, связанных с изменением уровня ее качества, появлением больших диаметров в сортаменте стана и нового вида продукции – катанки, идущей в переработку, минуя патентирование. Так, явное повышение пластичности углеродистой катанки по ГОСТ 30136 – 95 и ТУ 14-15-113–82 осталось незамеченным в связи с тем, что и до реконструкции потребитель привык к довольно высокому качеству катанки, особенно канатной и конструкционной, являющейся основной частью продукции стана. Примерно такое же положение и при производстве катанки диаметром 6,5 – 10,0 мм из сталей специального назначения, которые в процессе переработки проходят предварительный отжиг или сдаются по-

Таблица 3

Свойства арматурной проволоки диаметром 3,0 мм из заготовки диаметром 6,5 мм (плавка 702752) после различной структурной подготовки

Статистические характеристики	Воздушное патентирование на стане 150				Патентирование в расплаве солей в цехе № 16			
	Усилие разрыву $P, Н$	Усилие текучести, $P_{02}, Н$	$\delta_{100}, \%$	Число гибов ($d = 30 \text{ мм}$)	Усилие разрыву $P, Н$	Усилие текучести $P_{02}, Н$	$\delta_{100}, \%$	Число гибов ($d = 30 \text{ мм}$)
Норма по ГОСТ 7348 (не менее)	12600	10600	4	8	12600	10600	4	8
Объем выборки	50	51	49	48	90	50	48	50
Минимальное значение	12900	10893	1	8	12000	10958	3	7
Максимальное значение	14500	12900	6	32	14000	12681	6	37
Среднее арифметическое	13400	12092,3	3,7	18,8	12752,8	11661	4,0	21,7
Среднеквадратичное отклонение	324	386,5	1,0	5,3	91,3	588,6	0,5	6,8
Коэффициент вариации	0,02	0,03	0,27	0,28	0,05	0,05	0,12	0,31
Вероятность удовлетворения нормам	99,6	99,99	36	98,2	60,3	96,4	50,8	97,8
Верхняя доверительная граница	14198,8	12973,5	5,9	30,9	14101	13002,9	5,2	37,2
Нижняя доверительная граница	12721,2	11211,1	1,4	6,6	11404,5	10319	2,9	6,3

требителю по результатам испытаний на термообработанных образцах, например катанка для изготовления пружин по ГОСТ 14959 – 79.

Необходимость замены оборудования у службы эксплуатации не вызвала сомнения, так как оно выработало свой ресурс, кроме того, модернизация стана повышает его работоспособность и расширяет сортамент.

Дискуссия о качестве катанки после реконструкции приобретет значимость, если учитывать реальное повышение качества катанки и расширение сортамента в комплексе с отдачей комбинату от устранения патентирования в метизном переделе при производстве ряда видов продукции. При этом решаются не только вопросы экономики, но и остро стоящие проблемы охраны окружающей среды.

Уровень качества катанки, производимой на стане 150 по старой технологии, анализировался ранее. Статистическая обработка данных сдаточных испытаний 495 плавок катанки диаметром 6,5 и 8,0 мм из стали марок 50, 65, 70, 75, 80 и 85 по ТУ 14-15-113–82 проведена в январе – декабре 1998 г. При этом фактические данные сопоставлялись с расчетными по уравнениям регрессии (прогноз), разработанным в статье [4].

Из проведенного анализа видно, что для катанки из стали марок 60, 65, 70 и 75 показатели временного сопротивления, относительного удлинения и сужения с вероятностью 99 % соответствовали требованиям НД как при расчетах по прогнозу, так и при испытаниях на разрыв. Для катанки из сталей 80 и 85 вероятность соответствия предела прочности и относительного удлинения составляла до 95%, а относительного сужения – до 77 и 56% соответственно, что подтверждает необходимость управления свойствами катанки, охлаждаемой по способу «стандартный Стелмор» (старая технология), как это и указывалось в той же работе [4].

В качестве иллюстрации факта повышения пластичности катанки по новой технологии приводим результаты аналогичных исследований за период с 1 мая по 31 июня 2000 г. Выборка сделана по результатам сдаточных испытаний 216 плавок катанки диаметром 6,5 и 8,0 мм по ТУ 14-15-113–82, проведенных по новой технологии (изм. № 3). Показатели механических свойств, в том числе и относительного сужения, для сталей 80 и 85 стабильно высокие, при соответствии НД не ниже 97%.

Аналогичная картина и по другим маркам стали, прокатанным по ГОСТ 30136 – 95, ТУ 14-1-1881–76 (корд), ГОСТ 14959 – 79, СТП 173.05-01 – 99, ГОСТ 535 – 88, ГОСТ 1050 – 88 и др.

Новая технология прокатки и охлаждения обеспечивает широкие возможности регулировки процесса, при этом вероятность соответствия показателей качества требованиям НД обеспечивается с вероятностью 95 – 99%.

При анализе качества катанки после реконструкции следует особо отметить, что как для углеродистых сталей, так и для сталей специального назначения новая технология охлаждения обеспечивает возможность получения микроструктуры сорбитообразного перлита, равномерной по по-

перечному сечению, что не всегда оговаривается НД, но, безусловно, повышает технологичность катанки при волочении, даже при наличии промежуточной термообработки в метизных цехах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Производство углеродистой катанки / В. В. Филиппов, А. Б. Стеблов, С. А. Исаков // Литье и металлургия. – 2000. – № 1. – С. 65 – 75.
2. Новая технология двухстадийного охлаждения проката на стане 150 после реконструкции / А. А. Горбанев, Е. А. Евтеев, Б. Н. Колосов и др. // Сталь. – 1997. – № 10. – С. 56 – 59.
3. Зюзин В. И. Освоение технологии воздушного патентирования катанки на стане 150 // Сталь. – 2001. – № 6. – С. 84 – 87.
4. Управление свойствами катанки на современном проволочном стане / В. С. Емченко, Е. А. Евтеев, А. А. Горбанев и др. // Черметинформация. – 1993. – № 11. – С. 24 – 27.

УДК 621.762

Ю. Л. БОБАРИКИН, канд. техн. наук,
Н. В. СЕЛИВОНЧИК, С. В. ШИШКОВ,
А. М. УРБАНОВИЧ (ГГТУ им. П. О. Сухого)

КРИТЕРИЙ ПОЛУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОГО СОЕДИНЕНИЯ СЛОЕВ ПРОКАТЫВАЕМОГО БИМЕТАЛЛА

Процесс плакирования прокаткой стальной основы другими металлами позволяет получать композиционный многослойный материал, используемый при изготовлении подшипников скольжения, изделий с защитными покрытиями и т. п. Способ заключается в совместной прокатке стальной полосы и плакирующего порошкового покрытия, наносимого на поверхность основы, и в последующей термообработке для спекания порошкового слоя и его окончательного закрепления на поверхности полосы. Этот метод нанесения на металлическую основу покрытия плакированием или совместной пластической деформацией основы и порошкового плакирующего материала достаточно перспективен вследствие высокой производительности и малой энергоемкости. Основная проблема заключается в получении качественного соединения слоев, так как именно оно во многом обеспечивает эксплуатационные характеристики композиционного материала. Для качественного соединения необходимо выполнение следующего условия на стадии совместной прокатки:

$$t_{\text{д}} \geq t_{\text{а}} \geq t_{\text{п}}, \quad (1)$$

где $t_{\text{д}}$ – время совместной пластической деформации или перемещения контактных точек через зону деформации в процессе прокатки, с; $t_{\text{а}}$ –