

С.М. Жучков, А.А. Горбанев, Б.Н. Колосов

Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, Днепропетровск

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КАТАНКИ ШИРОКОГО МАРОЧНОГО СОРТАМЕНТА НА ПРОВОЛОЧНЫХ СТАНАХ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ



Разработаны основные положения технологического процесса производства катанки на высокоскоростных проволочных станах нового поколения. Предложены новые способы производства катанки из углеродистых и низколегированных, а также сложнелегированных (в частности, быстрорежущих) сталей со скоростью прокатки до 150 м/с.

К л ю ч е в ы е с л о в а: непрерывный проволочный стан, перспективная технологическая схема, 4-клетьевые блоки, линии водяного охлаждения, участок выравнивания температуры, температурный режим прокатки, сложнелегированные стали, высокоскоростная прокатка.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время в мире построено множество проволочных станов со стандартным набором оборудования хвостовой части на одну нитку — 10-клетьевой блок 150 и линия двухстадийного охлаждения катанки, состоящая из 5–9 секций водяного охлаждения, трайбаппарата, виткообразователя и роликового транспортера с крышками для регулируемого охлаждения катанки вентиляторным воздухом. Только в Украине построено два 2-ниточных стана в Макеевке и Кривом Роге производительностью соответственно 1,2 и 1,0 млн. катанки $\varnothing 5,5\div 12$ мм в год из углеродистых и низколегированных сталей. Кроме того, реконструированы проволочные линии ранее возведенных станов на мини заводах в Молдавии, Белоруссии и России. Реконструированы проволочные станы в Череповце и Белорецке, производящие также катанку из углеродистых и легированных марок стали. Эти станы и насытили мировой рынок металло-

продукции катанкой $\varnothing 5,5\div 9,0$ мм и сортовым прокатом $\varnothing 10\div 12$ мм в мотках массой $1,5\div 2,0$ т достаточно высокого качества по сравнению с продукцией станом, оснащенных 10-клетьевыми блоками чистовых клетей первых поколений и линиями воздушного охлаждения типа Standard Stelmor для ускоренного охлаждения катанки [1].

Суммарный объем производства проката на проволочных станах в мире на сегодня составляет около 50 млн. тонн в год, т.е. около 20 % от общего выпуска готового проката. Рабочие скорости прокатки катанки $\varnothing 5,5\div 7,0$ мм выросли до $100\div 120$ м/с, масса мотков достигла 2,5 т, точность катанки составляет $\pm 0,15\div \pm 0,2$ мм в зависимости от ее диаметра и стойкости чистового калибра.

На мировом рынке металлопродукции спрос на катанку из углеродистых сталей несколько меньше, чем могут произвести действующие проволочные станы. Поэтому для повышения конкурентоспособности и увеличения сбыта готовой продукции главными условиями становятся улучшение качества за счет равно-

мерности структуры и механических свойств, достижение высокой точности геометрических размеров сечения, расширение марочного и размерного сортамента продукции, производимой на одном стане.

Потребители металлопродукции стали предъявлять повышенные требования к равномерности микроструктуры и механических свойств катанки. Это привело к расширению размерного и марочного сортамента высокопроизводительных станов, работающих со скоростями прокатки до 100 м/с. При этом возникла необходимость производить катанку из углеродистых и сложнелегированных марок сталей и сплавов на одном и том же стане. Понадобилось регулировать температурный режим деформации для организации нормализующей, контролируемой и низкотемпературной прокатки, т.е. термомеханической обработки в технологическом потоке станов [2–4]. Настоящее время диктует необходимость реконструкции агрегатов большой единичной мощности, причем экономическая целесообразность требует увеличения рабочих скоростей прокатки до 150 м/с [5–7]. В связи с этим разработка основных положений технологии производства катанки на проволочных станах нового поколения приобретает особую актуальность.

Нашей целью является разработка основных положений процесса производства катанки на высокоскоростных проволочных станах нового поколения, технологическая схема которых позволяет управлять температурой раската при деформации в чистовых группах блочного типа с несколькими миниблоками и линиями дополнительного водяного охлаждения между ними. Эти разработки будут использованы при составлении режимов прокатки и охлаждения катанки $\varnothing 4,5 \div 22$ мм со скоростями прокатки до 150 м/с из углеродистых и легированных сталей, а также сложнелегированных сталей и сплавов, которые до настоящего времени на таких агрегатах не производились.

ПЕРСПЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ПРОКАТКИ КАТАНКИ

В Институте черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины (ИЧМ НАНУ) разработана схема расположения и состав оборудования проволочного стана 150 новой формации для прокатки катанки со скоростью $100 \div 150$ м/с. Стан предназначен для прокатки катанки расширенного размерного и марочного сортамента — катанки и проката круглого сечения $\varnothing 4,5 \div 22$ мм с точностью $\pm 0,05$ мм из углеродистых и высоколегированных (в том числе труднодеформируемых) марок сталей и сплавов. На стане могут быть реализованы режимы контролируемой, нормализующей прокатки и термомеханической обработки. Температура конца прокатки может регулироваться в пределах $750 \div 1050$ °С.

Стан включает черновую и две промежуточные группы клетей, чистовую линию в составе двух 4-клетевых миниблока и редуциционно-калибрующего блока. Перед чистовой группой между миниблоками и после второго миниблока установлены линии водяного охлаждения и выравнивания температуры по сечению раската, длины которых пропорциональны максимальной паспортной скорости прокатки на стане, что позволяет поддерживать постоянной температуру прокатки вдоль линии стана и регулировать температуру конца прокатки в пределах $750 \div 1050$ °С при максимальном градиенте температуры по сечению 60 °С. Это способствует улучшению структуры и механических свойств готовой продукции. Между черновой группой и печью с шагающими балками может быть установлена машина повышенного обжата для редуцирования круглых заготовок, полученных на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Сечение заготовок — квадрат 150×150 мм и круг $\varnothing 160$ мм.

Схема расположения и состав основного технологического оборудования стана 150 показаны на рис. 1. Стан однопоточный, годовое производство — 600 тыс. т из заготовки длиной до 10,5 м, масса мотка до 2,2 т. Мак-

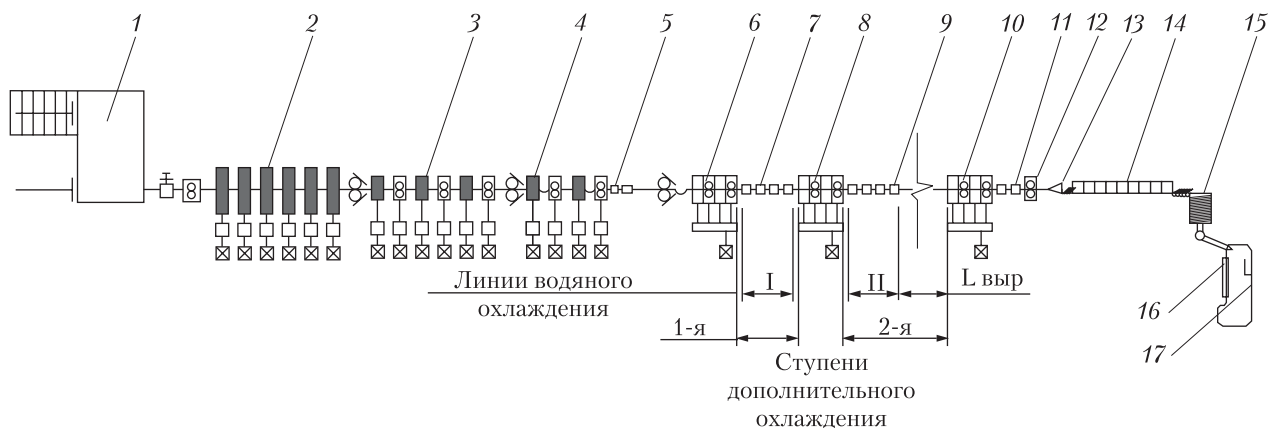


Рис. 1. Схема расположения основного технологического оборудования высокоскоростного проволочного стана 150 нового поколения для прокатки катанки широкого размерного и марочного сортамента: 1 — печь с шагающим подом; 2 — черновая группа клетей Н–600; 3 — первая промежуточная группа клетей Н–V 360; 4 — вторая промежуточная группа клетей Н–V 330; 5 — секция предварительного водяного охлаждения раската; 6 — первый миниблок 215–190; 7 — первая линия дополнительного водяного охлаждения раската; 8 — второй миниблок 170–150; 9 — вторая линия дополнительного водяного охлаждения раската; 10 — редуционно-калибрующий миниблок 205–230; 11 — линия окончательного водяного охлаждения катанки; 12 — трайбаппарат; 13 — виткообразователь; 14 — роликовый транспортер с крышками для воздушного охлаждения катанки; 15 — виткосборник; 16 — пресс и инспекторский стеллаж; 17 — крюковой конвейер

симальная паспортная скорость прокатки — 150 м/с.

По сравнению со станами, построенными в последние два года ведущей немецкой фирмой SMS Demag и установленными в Китае и Бразилии [6, 7], предлагаемый нами стан занимает меньшую площадь за счет применения двух миниблоков, сокращения длины свободного участка перед редуционно-калибрующим блоком и отсутствия петель. Стан также имеет меньшую массу установленного оборудования. При прокатке непрерывнолитых заготовок может быть использована машина повышенного обжатия, что упрощает обслуживание стана и экономически более выгодно по сравнению с увеличением мощности черновой непрерывной группы клетей.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОЦЕССА ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ПРОКАТКИ КАТАНКИ

Аналитические исследования, проведенные с помощью температурно-деформационной математической модели процесса, и экспериментальная проверка результатов, выполнен-

ная в условиях промышленного стана [4], а также опыт освоения технологии прокатки и охлаждения катанки в условиях действующих станом на Макеевском металлургическом комбинате и ПО "Ижсталь", прокатывающих катанку из углеродистых и низколегированных сталей, а также из сложнелегированных сталей и сплавов, позволили установить следующие основные положения высокоскоростной прокатки катанки широкого марочного сортамента на современных непрерывных станах:

1. Понижение температуры нагрева заготовок снижает температуру конца прокатки, однако первоначальная разность температур на входе в стан ΔT_0 вследствие большого количества клетей и больших обжатий уменьшается по длине стана за счет большего разогрева раската в процессе деформации менее нагретых заготовок и разность температур конца прокатки $\Delta T_{к.пр.}$ в несколько раз меньше. Экспериментальные исследования на стане 150 Белорецкого металлургического комбината, выполненные при прокатке канатных марок сталей ст. 50÷85 при различном теплосодер-

жании заготовок, соответствующем температурам начала прокатки 1 080 и 930 °С, показали, что первоначальная разность температур, равная 150 °С, на выходе катанки из стана снижается до 20 °С. Из расчетных и опытных данных следует, что уменьшение теплосодержания исходных заготовок большого сечения не может являться основным средством понижения температуры конца прокатки до 750 °С, необходимой для осуществления нормализующей прокатки и термомеханической обработки с прокатного нагрева.

2. Увеличение скорости прокатки уменьшает влияние энтальпии исходных заготовок на $\Delta T_{к.пр.}$. Температурный градиент по сечению раската в начале возрастает по ходу прокатки, затем уменьшается за счет увеличения теплового потока от контактных сил трения. Чем выше теплосодержание исходных заготовок, тем больше температурный градиент по сечению раската. Среднеинтегральная температура по сечению, температура центра раската и их изменение вдоль линии стана зависят от теплосодержания исходных заготовок. Чем ниже температура нагрева заготовок, тем раньше по ходу прокатки начинают возрастать $T_{ср}$ и $T_{ц}$; наибольшее увеличение температуры происходит в чистовом блоке.

3. Повышение сопротивления металла деформации увеличивает разогрев за счет тепла деформации. Так, при конечной скорости 150 м/с раскат из быстрорежущей стали Р18 разогревается до 1 300 °С, что может вызвать размягчение даже первичной эвтектики. Поэтому при прокатке сложнолегированных и труднодеформируемых сталей и сплавов требуются специальные средства для управления температурным режимом прокатки. Распределение температуры по сечению раската на входе в блок зависит от скорости прокатки и расстояния от последней секции охлаждения до блока. Чем больше скорость прокатки и меньше длина свободного участка перед блоком, тем больше температурный градиент по сечению на входе в блок. Предварительное ох-

лаждение раската перед чистовым блоком уменьшает температуру конца прокатки, однако первоначальная разность интегральных температур на входе в блок уменьшается. Это объясняется большим выделением тепла при деформации менее нагретого металла. Поэтому нижний предел температуры конца прокатки, равный 750 °С, невозможно обеспечить понижением температуры металла перед 10-клетьевым блоком. Рекомендуемая температура металла на входе в блок для углеродистых сталей составляет 750–800 °С, а для сложнолегированных сталей определяется структурой и пределом пластичности металла. Расстояние от секции охлаждения до блока должно обеспечить выравнивание температуры по сечению во избежание разрывов подстуженной поверхности раската.

4. Различные марки и классы легированных сталей и сплавов при прокатке имеют разную склонность к уширению, что при повышенном уширении может приводить к образованию закатов. На современных станах прокатка катанки расширенного марочного сортамента (углеродистые и высоколегированные) стали производится на одной калибровке валков в чистовых и предчистовых блоках клетей, имеющих общий привод. В этом случае повышенное уширение при прокатке компенсируется увеличением натяжения между клетями блоков. Увеличение растягивающих напряжений ухудшает схему напряженного состояния и снижает пластичность, особенно при деформации сплавов с пониженной пластичностью, что может привести к нарушению сплошности сплава. Поэтому на станах, имеющих в сортаменте и углеродистые, и сложнолегированные стали, необходимо иметь чистовые блоки с уточненными передаточными числами от электропривода к валкам клетей, дабы исключить появление больших растягивающих напряжений при прокатке различных марок сталей, а также обеспечить стабильность процесса прокатки за счет исключения появления усилий подпора. Чем ниже темпе-

ратура прокатки, тем ниже пластичность хромоникелевых сплавов. При температуре ниже 950 °С возрастают препятствия скольжению за счет ограничения или затормаживания внутри- и межзеренной деформации. Повышение температуры раската вследствие деформационного разогрева при прокатке в черновой и промежуточных группах стана устраняется за счет охлаждения его перед чистовой группой и применения вместо 10-клетевых блоков нескольких миниблоков. Миниблоки состоят из 3–4 клеток с линиями дополнительного водяного охлаждения раската, установленными между миниблоками, которые вместе с "сухими" проводками для выравнивания температуры по сечению раската образуют ступени дополнительного охлаждения.

Основные особенности производства катанки из углеродистых и низколегированных сталей

Основными особенностями производства катанки из углеродистых и низколегированных сталей на современных проволочных станах типа стана 150 МакМК [1] являются ограниченные возможности выравнивания температуры раската по сечению после охлаждения его поверхности. Это приводит к неравномерности температурного поля раската и получению неодинаковых структур по сечению катанки, что снижает ее технологичность при дальнейшей переработке. Обусловлено это тем, что при непрерывной прокатке в десяти клетях с небольшими межклетевыми промежутками разогрев прокатываемого металла приводит к большому градиенту температуры между центром сечения и поверхностью раската, достигающего 300 °С. Вместе с этим увеличивается неравномерность микроструктуры и неоднородность механических свойств готовой продукции. Кроме того, высокая температура конца прокатки после 10-клетьевого блока 1 000÷1 100 °С не позволяет понизить температуру прокатки в низкотемпературном 2-клетьевом блоке за счет охлаждения во второй ступени до среднетемпературной

750 °С, что, в свою очередь, не позволяет организовать контролируемую прокатку и термомеханическую обработку углеродистых и низколегированных марок сталей.

С увеличением скорости прокатки градиент температуры между поверхностью и центром катанки будет еще больше увеличиваться. Кроме того, как показали результаты исследований, для получения высококачественной катанки с равномерной структурой по сечению градиент температуры между поверхностью и центром катанки не должны превышать 50÷70 °С [5–7].

На основании результатов исследований, выполненных в ИЧМ НАНУ, разработаны основные положения технологии производства катанки на непрерывном проволочном стане, позволяющая организовать ее термомеханическую обработку в технологическом потоке стана за счет прокатки в диапазоне температур 750÷1 050 °С с градиентом температуры по сечению раската на выходе из стана равном 50÷70 °С. Это обеспечит повышение потребительских свойств готовой продукции.

Технический результат, достигаемый при использовании нового запатентованного технического решения, состоит в повышении показателей качества катанки вследствие обеспечения ее равномерной микроструктуры и механических свойств за счет увеличения дробности деформации и создания условий для выравнивания температуры по сечению раската. Решение поставленной задачи обеспечивается тем, что при производстве катанки на непрерывном проволочном стане, включающем нагрев заготовок в методической нагревательной печи до температуры 1 050÷1 150 °С, последующую прокатку с чередованием направления обжатия на 90° в черновой, промежуточных и чистовых группах клеток блочного типа, водяное охлаждение поверхности раската перед последующим воздушным охлаждением на роликовом транспортере катанки с температурой поверхности, равной 750÷1 050 °С, и градиентом температуры по ее сечению, равным

50÷70 °С, и последующее воздушное охлаждение катанки на роликовом транспортере в чистой группе клетей блочного типа осуществляют дополнительное ступенчатое водяное охлаждение поверхности раската, причем это охлаждение осуществляют с числом ступеней, равным не менее двух. При этом температуру поверхности раската после дополнительного ступенчатого водяного охлаждения на первой ступени в чистой группе клетей блочного типа поддерживают равной 670÷680 °С, а на второй ступени — равной 520÷530 °С. Длина линий дополнительного ступенчатого водяного охлаждения поверхности раската в проволочном стане новой формации на первой и второй ступени дифференцирована и пропорциональна максимальной скорости прокатки при давлении охлаждающей воды 10÷12 бар.

Известна технологическая схема производства катанки из углеродистых и легированных марок сталей Ø 5,5÷22 мм на стане, чистовая группа которого включает 8-клетьевый блок и 4-клетьевый редуционно-калибрующий блок, между которыми расположен петлеобразователь, создающий петлю длиной 130 м. Длина участка выравнивания температуры по сечению катанки после секций водяного охлаждения за 8-клетьевым блоком составляет 100 м. Рабочая скорость прокатки на стане — 120 м/с, расчетная — 140 м/с [6]. При прохождении петли раскат охлаждается до 750 °С и в редуционно-калибрующем блоке осуществляется термомеханическая обработка при градиенте температуры по сечению раската 50 °С. Это позволяет повысить технологичность переработки катанки из низколегированных марок стали [7]. Эта технологическая схема дает возможность организовать термомеханическую обработку катанки в потоке стана за счет прокатки в диапазоне температур 750÷1 050 °С с градиентом температуры по сечению 50÷70 °С. Однако осуществление такой технологии связано со сложной технологической операцией — петлеобразованием на скорости около 100 м/с, основным

недостатком которого являются разрушающие удары в проводки при прохождении заднего конца раската, а также с неоправданным увеличением длины участка для выравнивания температуры раската по сечению до 100 м. Это приводит к увеличению массы оборудования и размеров рабочей площадки хвостовой части стана.

Разработанная в ИЧМ НАН Украины технологическая схема производства катанки на непрерывном проволочном стане не имеет недостатков указанного выше технического решения и позволяет решить поставленную задачу — обеспечить возможность организации термомеханической обработки катанки в технологическом потоке стана за счет прокатки в диапазоне температур 750÷1 050 °С с градиентом температуры по сечению катанки на выходе из стана, равном 50÷70 °С. Это повышает потребительские свойства готовой продукции за счет повышения дробности деформации и создания условий для выравнивания температуры раската на участке в 48 м при скорости прокатки 150 м/с без организации петель большой длины, от которых в свое время отказались при переходе на прокатку в чистовых клетях блочного типа.

Рассмотрим последовательность операций и задействованное основное технологическое оборудование при реализации нового способа производства катанки (см. рис. 1).

С загрузочной решетки заготовки загружают в методическую нагревательную печь, в которой нагревают до температуры 1 050÷1 150 °С в зависимости от марки стали. Прокатку последовательно осуществляют в черновой группе клетей (6 клетей дуо с диаметром валков 670÷560 мм и длиной бочки 700 мм), первой промежуточной группе (6 клетей блочного типа с диаметром валковых шайб 420÷360 мм), второй промежуточной группе (4 клетки блочного типа с диаметром валковых шайб 330÷280 мм) с чередованием обжатия на 90°. После прокатки в черновой и промежуточных группах стана получают раскат Ø 17÷30 мм с температу-

рой порядка 1 000÷1 050 °С. Предварительное охлаждение раската перед чистовой группой стана осуществляют на участке 5 длиной 36 м в двух секциях длиной по 2 м водой под давлением 10÷12 бар.

После охлаждения и выравнивания температуры по сечению в чистовую группу задают раскат Ø 17÷30 мм со среднемассовой температурой 880÷900 °С для всего марочного сортамента. Последующую прокатку осуществляют в чистовой группе стана, состоящей из трех миниблоков с диаметром валковых шайб 215÷190, 170÷150 и 230÷205 мм соответственно.

После прокатки в первом миниблоке раскат Ø 12÷28 мм (для всего размерного сортамента стана) поступает на первую ступень дополнительного водяного охлаждения длиной 12 м, на которой охлаждается до температуры 670÷680 °С для всего сортамента. Количество секций на первой ступени пропорционально максимальной скорости прокатки и равно четырем. Если секций будет меньше, то не будет достигнута необходимая температура 675±5 °С, т.е. не будет достигнуто требуемое переохлаждение, необходимое для фазовых превращений в металле, большее же количество секций приведет к необоснованному удлинению технологической линии стана. Длина охлаждающей секции также зависит от максимальной скорости прокатки и составляет 1 м. Экспериментально доказано, что секции длиной до 1 м более технологичны и эффективны. Давление охлаждающей воды в 10÷12 бар является стандартным для станов последних поколений, на которых производится высококачественная продукция.

Раскат Ø 12÷28 мм, полученный после прокатки в первом миниблоке с температурой поверхности 670÷680 °С, прокатывают во втором миниблоке чистовой группы стана. После прокатки в нем получают раскат Ø 7÷25 мм (для всего размерного сортамента стана). Этот раскат поступает на вторую ступень водяного охлаждения и выравнивания температуры по сечению, расположенную за вторым

миниблоком. Количество секций на второй ступени пропорционально максимальной скорости прокатки и равно трем. Длина секции — 1 м, давление охлаждающей воды — 10÷12 бар. Длина участка для выравнивания температуры по сечению раската от последней секции охлаждения до входа в редуционно-калибрующий блок клетей чистовой группы $L_{\text{выр}}$ также пропорциональна максимальной скорости прокатки на стане. Длина этого участка составляет 48 м. Эта величина минимальна для получения заданного градиента температуры по сечению раската в 50÷70 °С при скорости прокатки 150 м/с. Увеличение длины участка не приведет к значительному снижению градиента температуры, а только необоснованно увеличит длину технологической линии стана. Температура поверхности раската после дополнительного водяного охлаждения на второй ступени поддерживается равной 520÷530 °С, что обеспечивает полное прохождение фазовых превращений в углеродистых и низколегированных сталях. Снижение температуры ниже уровня 525±5 °С приведет к образованию бейнитной структуры, что снизит технологичность катанки при переработке. Повышение температуры поверхности выше уровня 525±5 °С не обеспечит заданный градиент температуры на входе раската в редуционно-калибрующий блок.

Раскат Ø 7÷25 мм, полученный после прокатки во втором миниблоке со среднемассовой температурой порядка 750 °С, прокатывают в редуционно-калибрующем блоке РКБ.

После прокатки в РКБ получают готовый прокат Ø 4,5÷22 мм, который поступает на участок водяного охлаждения, длиной 6 м, на котором в случае необходимости производят более глубокое охлаждение, например арматурного проката периодического профиля.

Катанка и сортовой прокат после прокатки в чистовой группе стана посредством трайбаппарата передается к виткообразователю, с помощью которого витки в виде плоской спирали укладываются на роликовый транспор-

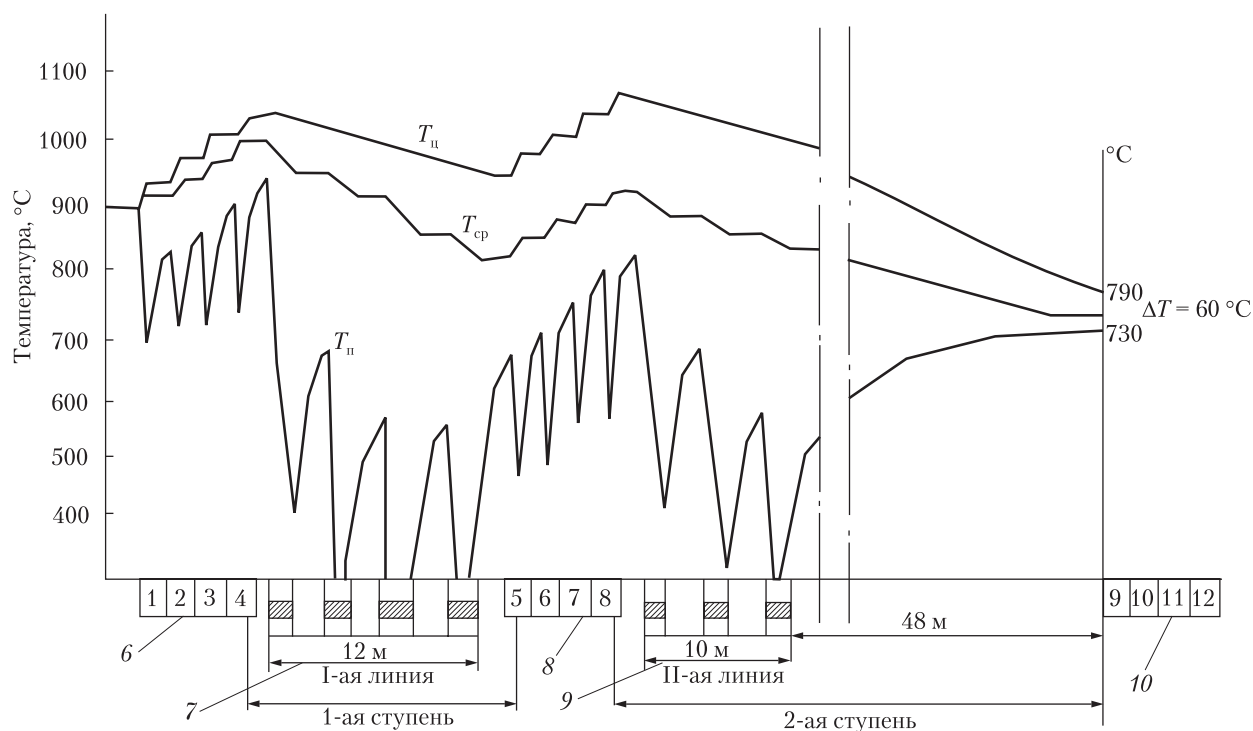


Рис. 2. Расчетный график изменение температурного поля раската по длине хвостовой части стана при прокатке катанки $\varnothing 6,5$ мм со скоростью 150 м/с из стали У8 при температуре раската на входе в первый миниблок 900 °С. $T_{ц}$ — температура центра раската, $T_{п}$ — температура поверхности раската, $T_{ср}$ — среднemasовая температура (описание значений 6–10 см. рис. 1)

тер с крышками, где в процессе перемещения подвергаются регулируемому воздушному охлаждению. Охлажденные витки поступают в виткосборник, где из них формируются мотки готовой продукции, которые затем с помощью крюкового конвейера передаются на инспекторский стеллаж для подпрессовки, увязки, контроля, маркировки и последующей транспортировки на склад готовой продукции.

На рис. 2 представлено расчетное изменение температурного поля раската по длине хвостовой части стана при прокатке катанки $\varnothing 6,5$ мм из стали У8 при температуре раската на входе в первый миниблок 900 °С со скоростью прокатки 150 м/с на выходе из стана.

После прокатки в первом миниблоке среднemasовая температура $T_{ср}$ раската за счет тепла деформационного разогрева повышается до порядка 980 °С. При этом температура поверхности катанки $T_{п}$ составляет около 920 °С, а

температура центра сечения раската $T_{ц}$ увеличивается до 1 030 °С. После прохождения первой ступени охлаждения и выравнивания температуры по сечению катанки, расположенной за этим миниблоком, температура раската понижается. Так, температура поверхности катанки $T_{п}$ снизилась до 675 °С, температура центра сечения раската $T_{ц}$ — до 960 °С, а среднemasовая температура $T_{ср}$ раската понизилась до 820 °С.

После прокатки во втором миниблоке среднemasовая температура $T_{ср}$ раската за счет тепла деформационного разогрева составила 900 °С. При этом температура поверхности катанки $T_{п}$ составила 800 °С, а температура центра сечения раската $T_{ц}$ — 1 050 °С. Разница между $T_{п}$ и $T_{ц}$ составила около 250 °С. После прохождения второй ступени охлаждения и выравнивания температуры по сечению катанки, расположенной за вторым минибло-

ком, температуры $T_{п}$, $T_{ц}$ и $T_{ср}$ составили соответственно 730, 790 и 750 °С. При этом разница между $T_{п}$ и $T_{ц}$ составила 60 °С. Таким образом, величина градиента температуры раската по сечению перед прокаткой в редуционно-калибрующем блоке составляет 60 °С за счет выравнивания температур на последней ступени дополнительного охлаждения.

Возможность управления температурой конца прокатки в пределах 750±1 050 °С позволяет организовать на стане термомеханическую обработку катанки. Так, прокатка катанки для канатов и металлокорда из стали 85, 90 при температуре 790÷820 °С обеспечивает повышение пластических свойств и их равномерность по длине раската. При этом исключается невыполнение требований стандартов по величине относительного сужения, характерное для других станов. Исследования показали, что в микроструктуре катанки из углеродистых и низколегированных сталей отсутствует структура бейнита, что повышает технологичность катанки при переработке.

В результате использования нового технического решения обеспечивается повышение показателей качества катанки — равномерности микроструктуры и механических свойств. Кроме того, за счет реализации новой технологии прокатки и охлаждения, увеличивающей дробность деформации и создание условий для выравнивания температуры по сечению катанки, обеспечивается получение катанки высокой точности с отклонениями размеров по диаметру не более 0,05 мм и овальности 60 % суммарного поля допусков.

Основные особенности производства катанки из сложнолегированных сталей

Производство катанки из сложнолегированных сталей имеет ряд специфических особенностей, усложняющих технологический процесс. Многие стали имеют низкую температуру начала деформации, узкий интервал температур деформации, малую пластичность, высокую чувствительность к напряже-

ниям. Многие сложнолегированные стали имеют повышенное сопротивление деформации, обусловленное химическим составом и структурой. Повышенным сопротивлением деформации обладают многофазные стали, которые при температуре деформации имеют в структуре избыточные составляющие в виде карбидов, силицидов, интерметаллических соединений и других фаз. Сопротивление деформации возрастает с увеличением легированности аустенита.

Верхний предел температуры деформации определяется температурой пережога, которая на 100÷200 °С ниже температуры плавления, при этом $T_{пл}$ тем ниже, чем больше степень легирования стали. Для многих сложнолегированных сталей устанавливают и нижний предел температуры деформации. Во всех случаях, когда стали обладают высокой температурой рекристаллизации, температура конца прокатки устанавливается несколько выше этой температуры. Прокатка при температурах ниже температуры начала рекристаллизации связана с упрочнением стали.

Некоторые сплавы имеют пониженную пластичность, их деформация часто сопровождается нарушением сплошности. Эти сплавы относят к труднодеформируемым.

Особое значение имеет поддержание температуры конца прокатки в заданных пределах. Это необходимо для предотвращения образования выпадения нежелательных избыточных фаз или образования очень крупного зерна, неисправимого при последующей термообработке. В этих случаях $T_{к.пр.}$ должна быть по возможности более низкой. Для этого на высокоскоростных станах следует применять специальные устройства для охлаждения раската в процессе прокатки, особенно перед последними проходами.

Высокая чувствительность к напряжениям, склонность к возникновению трещин при охлаждении являются особенностью многих легированных сталей. Для получения качественной продукции с заданными структурой и

свойствами в зависимости от химсостава стали и назначения готовой продукции после прокатки с требуемыми $T_{пр}$ и $T_{к.пр.}$ катанку подвергают охлаждению по специальным режимам. Применяют замедленное и ускоренное охлаждение катанки, закалку, изотермическую обработку и т.д. В потоке некоторых станов, построенных в последние годы, используют специальное оборудование для термообработки (ванны для закалки витков катанки после виткоукладчика, печи для отжига и даже оборудование для патентирования катанки в растворе солей, например процесс DLP, разработанный в Японии).

Быстрорежущие стали (P9, P18, P6M5 и др.) обладают высокими прочностью и твердостью при температурах $550\div 600\text{ }^\circ\text{C}$, что обеспечивается совместным влиянием сильнокарбидообразующих элементов (вольфрама, ванадия, молибдена и хрома) при достаточном содержании углерода. Это инструментальные стали, которые относятся к ледобуритному классу, в основном заэвтектоидные. Первичные карбиды, образующиеся при кристаллизации металла (FeW_2C ; WC ; W_2C), количество которых может достигать 27 %, расположены по границам зерен, не переходят в твердый раствор при нагреве до очень высоких температур. Они разрушаются и расщепляются по объему только при горячей деформации. Наряду с первичными карбидами, выделяющимися при кристаллизации литой стали, образуются более мелкие вторичные карбиды, которые переходят в твердый раствор при нагреве. Чем мельче карбиды и равномернее их распределение в металлической основе, тем выше качество режущего инструмента, так как при распределении их по границам зерен повышается хрупкость.

Пластичность быстрорежущей стали зависит от суммарной вытяжки в процессе деформации и температуры прокатки, достигая максимума при температуре $1\ 200\text{ }^\circ\text{C}$. На современных проволочных станах применяют большие сечения заготовок и большие вытяжки, поэтому пластичность быстрорежущей стали достаточно вы-

сока. Однако она меньше, чем пластичность углеродистых сталей, так как раздробленные ледобуритные колонии ведут себя как посторонние включения, уменьшая пластичность. Теплопроводность быстрорежущей стали примерно в 3 раза меньше, чем низкоуглеродистой, поэтому нагрев заготовок производится медленно во избежание трещинообразования. Температура нагрева должна быть не более $1\ 200\div 1\ 250\text{ }^\circ\text{C}$ во избежание образования новой ледобуритной эвтектики из ранее раздробленных карбидов.

При $T_{к.пр.} < 950\text{ }^\circ\text{C}$ в металле возникают большие внутренние напряжения вследствие высокого сопротивления деформации и наклепа, что приводит к образованию трещин и рванин. При $T_{к.пр.} > 1\ 100\text{ }^\circ\text{C}$ происходит рост зерен, что может привести к образованию излома. Поэтому температура прокатки быстрорежущей стали должна быть в интервале $950\div 1\ 100\text{ }^\circ\text{C}$.

Быстрорежущие стали обладают большой чувствительностью к термическим напряжениям и закалке на воздухе, поэтому применяют медленное охлаждение витков катанки под крышками. Наиболее эффективно применение в потоке станов изотермического отжига, однако это требует установки специального оборудования в потоке станов.

С учетом указанных особенностей деформации сложнолегированных сталей предложена технологическая схема производства катанки из сложнолегированной быстрорежущей стали на непрерывном высокоскоростном проволочном стане, которая включает нагрев заготовок в методической нагревательной печи до температуры $1\ 000\div 1\ 100\text{ }^\circ\text{C}$, последующую прокатку с чередованием направления обжатия на 90° в черновой, промежуточных и чистовых группах клетей блочного типа, водяное охлаждение поверхности раската перед и после чистовой группы клетей блочного типа и последующее воздушное охлаждение витков катанки в процессе транспортирования на роликовом транспортере с крышками. При этом водяное

охлаждение поверхности раската перед и после чистой группы клетей блочного типа, а также дополнительное двухступенчатое водяное охлаждение поверхности раската в чистой группе клетей блочного типа ведут до температур, равных $1\,000 \pm 1\,100$ °С, а воздушное охлаждение витков катанки на роликовом транспортере осуществляют при закрытых крышках и скорости транспортирования не более 0,2 м/с.

Представим последовательность операций и задействованное технологическое оборудование (см. рис. 1) при реализации новой технологической схемы производства катанки из быстрорежущей стали.

Заготовки, нагретые в печи с шагающим подом до температуры $1\,000 \pm 1\,100$ °С, прокатывают последовательно в черновой, первой промежуточной и второй промежуточной группах клетей блочного типа с небольшим натяжением между клетями и чередованием направления обжатия на 90 °С. При температуре заготовки

на входе в стан 1 100 °С и конечной скорости прокатки 150 м/с происходит деформационный разогрев металла во всех непрерывных группах клетей стана, некоторое охлаждение раската между группами и к выходу из последней клетки второй промежуточной группы расчетное температурное поле по сечению раската выглядит следующим образом (рис. 3): температура поверхности раската — 1 080 °С, температура центра раската достигает 1 240 °С, при этом среднемассовая температура равна 1 185 °С. После выхода из последней клетки второй промежуточной группы раскат Ø 17 мм проходит предварительное охлаждение и выравнивание температуры по сечению в секции водяного охлаждения длиной 36 м и с температурой равной $1\,000 \pm 1\,100$ °С и задается в первый миниблок. Среднемассовая температура раската при этом составляет около 1 050 °С (см. рис. 3).

После прокатки в первом миниблоке раскат Ø 12 мм поступает в первую ступень дополни-

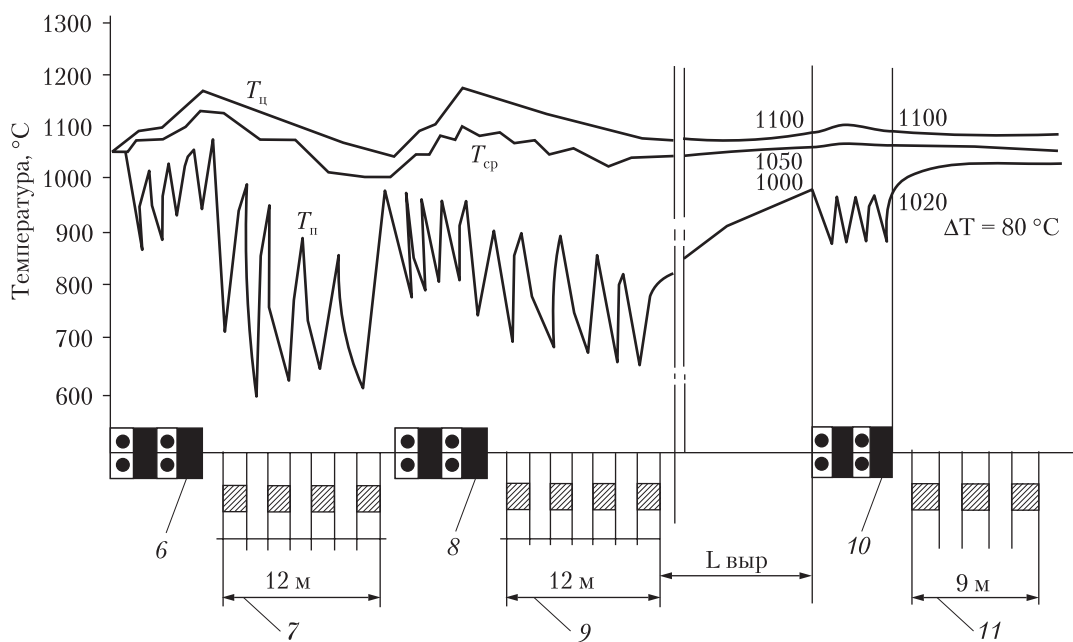


Рис. 3. Расчетный график изменения температурного поля раската по длине хвостовой части стана 150 нового поколения при прокатке катанки Ø 6,5 мм из стали P18 со скоростью 150 м/с. $T_{ц}$ — температура центра раската, $T_{п}$ — температура поверхности раската, $T_{ср}$ — среднемассовая температура (описание обозначений 6–11 см. рис. 1)

тельного водяного охлаждения длиной 12 м, на которой охлаждается до температуры 1 000 °С. Температура поверхности металла в процессе охлаждения между клетями и в линии охлаждения не опускается ниже 600 °С — нижнего порога пластичности для стали ледебуритного класса. Затем раскат Ø 12 мм с температурой около 1 000 °С, прокатывают во втором миниблоке чистовой группы стана. После прокатки в нем получают раскат Ø 8 мм. Этот раскат поступает на вторую ступень охлаждения длиной 12 м. В процессе прокатки во втором миниблоке температура поверхности раската колеблется в интервале 950÷660 °С, т. е. раскат прокатывается в зоне пластичности — 950 °С, а охлаждается между клетями до температур выше нижнего предела пластичности. Длина участка для выравнивания температуры по сечению раската от последней клетки второго миниблока до входа в редуционно-калибрующий блок составляет 46 м и является достаточной для выравнивания температуры поверхности до уровня 1 000 °С при температуре центра 1 100 °С. Градиент температуры по сечению раската в 100 °С объясняется тем, что теплопроводность стали ледебуритного класса в 3 раза меньше, чем углеродистой.

Раскат Ø 8 мм, полученный после прокатки во втором миниблоке, со среднемассовой температурой порядка 1 050 °С прокатывают в редуционно-калибрующем блоке в катанку Ø 4,5÷÷6,5 мм. При этом в первых двух клетях температура несколько повышается, а во вторых, калибрующих, снижается, что обеспечивает уменьшение градиента температуры по сечению до 60÷80 °С.

После прокатки и калибрования в РКБ раскат через участок водяного охлаждения, который в данном случае является "сухой" проводкой, передается при помощи трайбаппарата к виткообразователю, с помощью которого витки в виде плоской спирали укладываются на роликовый транспортер с крышками, где в процессе перемещения под закрытыми крышками подвергаются замедленному охлажде-

нию. При этом скорость роликового транспортера должна быть не более 0,2 м/с. Если скорость транспортера будет больше 0,2 м/с — нарушится процесс поддержания температуры под крышками относительно постоянной. В связи с тем, что длина роликового транспортера соизмерима с длиной проходной печи для отжига мотков катанки на стане 250 ПО "Ижсталь", а температура витков катанки, поступающей под крышки, составляет около 1 000 °С, при отключенных вентиляторах и закрытых крышках процесс воздушного охлаждения адекватен высокотемпературному отжигу.

Уменьшение скорости транспортирования до 0,1 м/с не ухудшит процесс термообработки катанки в потоке стана, однако при скорости прокатки 150 м/с это приведет к перегрузке рольгангов из-за того, что одновременно на транспортере может оказаться 5÷6 мотков катанки и, как следствие, к ухудшению условий работы подшипников роликов, и без того работающих в условиях повышенных температур.

После выхода плоской спирали из-под последней крышки, витки собираются в мотки в шахте виткосборника, которые затем с помощью крюкового конвейера передаются на инспекторский стеллаж для подпрессовки, увязки, контроля, маркировки и последующей транспортировки на склад готовой продукции.

Возможность управления температурой прокатки вдоль линии стана за счет дополнительного ступенчатого водяного охлаждения раската, снимающего деформационный разогрев металла, позволяет организовать производство катанки из быстрорежущей стали на высокоскоростном проволочном стане, оснащенном чистовой группой клетей блочного типа (три 4-клетевых миниблоков с линиями дополнительного водяного охлаждения раската между ними), а также оборудованием для регулируемого воздушного охлаждения катанки, обеспечивающим, в частности, режим замедленного охлаждения, снимающий термические напряжения и предотвращающий закалку катанки на воздухе.

В результате использования нового технического процесса обеспечивается получение готовой продукции из быстрорежущей стали с равномерной структурой и механическими свойствами на агрегате с производительностью на порядок выше, чем на специализированном стане 250 ПО "Ижсталь" и без дополнительного отжига вне линии стана.

Кроме того, новое техническое решение можно использовать для составления режимов прокатки и охлаждения катанки из сложнолегированных сталей и сплавов, обладающих повышенным сопротивлением деформации, таких, как X18H9T, X20H80, X15H60, X23Ю5 и др. Необходимо обратить внимание, что температурный режим термообработки катанки из этих сталей и сплавов в потоке высокоскоростного проволочного стана будет отличаться от нового только на стадии воздушного охлаждения: медленному охлаждению подвергаются хромоалюминиевые сплавы, остальные — ускоренному.

ВЫВОДЫ

1. На основании накопленного опыта исследования, освоения, пуска и эксплуатации проволочных станов СНГ различных поколений, а также изучение тенденций развития технологии и оборудования этих станов за рубежом нами разработана перспективная технологическая схема высокоскоростной прокатки катанки на примере проволочного стана новой формации для прокатки катанки и сортового проката расширенного размерного и марочного сортамента.

2. Разработаны основные положения технологического процесса производства катанки на высокоскоростных проволочных станах нового поколения, перспективная технологическая схема которых позволяет управлять температурой раската при деформации в чистовых группах с несколькими миниблоками, линиями дополнительного водяного охлаждения и участком выравнивания температуры по сечению раската.

3. Предложены новые способы производства катанки из углеродистых и низколегированных, а также сложнолегированных (в частности, быстрорежущей) сталей на стане с новой перспективной схемой расположения основного оборудования хвостовой части проволочного стана новой формации. Эта схема включает три 4-клетевых миниблока, две линии водяного охлаждения по 4 секции и участки выравнивания температуры по сечению раската. Применение этой схемы позволяет за счет регулировки температуры раската с градиентом по сечению 50÷70 °С организовать высокотемпературную прокатку, контролируруемую прокатку и термомеханическую обработку катанки Ø 4,5÷22 мм из сталей широкого марочного сортамента, в т. ч. и сложнолегированных (в частности, быстрорежущей), которая на высокоскоростных станах до настоящего времени не производилась. Кроме того, на основании реализации выполненных исследований можно назначить режимы прокатки и охлаждения для целого ряда труднодеформируемых сталей и сплавов, таких, как X18H9T, X20H80, X15H60, X23Ю5 и др., которые также, как и P18, прокатываются в узком интервале температур и требуют только различных режимов воздушного охлаждения — ускоренного или замедленного (хромоалюминиевые сплавы).

Предложенные технологические схемы производства катанки и оборудования для их реализации обеспечивают высокую производительность и качество готовой продукции на уровне требований современного рынка в части равномерности структуры и механических свойств, а также точности размеров готового профиля с минимальным диаметром 4,5 мм при овальности 60 % суммарного поля допусков ±0,05 мм.

Предложенные перспективные технологические схемы высокоскоростной прокатки катанки расширенного сортамента могут использоваться при проектировании новых и реконструкции действующих проволочных станов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Жучков С.М., Горбанев А.А.* Современные проволочные станы. Тенденции развития технологии и оборудования // ОАО "Черметинформация": бюллетень "Черная металлургия", 2006. — № 7. — С. 30–42.
2. *Дмитриев В.Д.* Производство калиброванного металла и проволоки / Итоги науки и техники. Прокатное и волочильное производство, т. 16. — М., 1990. — С. 62–104.
3. *Повышение* эффективности производства метизов и калиброванного металла / В.И. Ориничев, А.М. Павлов, М.П. Яранцев и др. // Черная металлургия. — № 8. — 1985. — С. 39–52.
4. *Патент* Республики Беларусь № 3382. Высокоскоростная многоблочная линия по производству проката и катанки / Н.В. Андрианом, В.С. Пищикин, В.А. Маточкин и др. — Государственный реестр полезных моделей РБ, 2006.12.01.
5. *Риит Б.* Ориентированный на перспективу сортовой стан для прокатки специальных качественных и легированных сталей / Металлургический завод и технология. — МРТ. — 2004. — С. 60–76.
6. *Лимпер Х.-Г.* Новые технологии производства катанки / VI конгресс прокатчиков 17–20.10.2005. — ОПАО "Новолипецкий металлургический комбинат", Липецк. — С. 1–21.
7. *Жучков С.М., Горбанев А.А.* Современные проволочные станы. Тенденции развития технологии и оборудования. — ОАО "Черметинформация": бюллетень "Черная металлургия", 2006. — № 9. — С. 46–53.

С.М. Жучков, А.О. Горбаньов, Б.М. Колосов

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ
ВИРОБНИЦТВА КАТАНКИ ШИРОКОГО
МАРОЧНОГО СОРТАМЕНТУ НА ДРОТОВИХ
СТАНАХ НОВОГО ПОКОЛІННЯ

Розроблені основні положення технологічного процесу виробництва катанки на високошвидкісних дротових станах нового покоління. Запропоновано нові способи виробництва катанки з вуглецевих, низьколегованих та складнолегованих (зокрема швидкорізальних) сталей зі швидкістю прокатки до 150 м/с.

Ключові слова: безперервний дротовий стан, перспективна технологічна схема, 4-клітьові блоки, лінії водяного охолодження, ділянка вирівнювання температури, температурний режим прокатки, сортамент, складнолеговані сталі, якість, високошвидкісна прокатка.

S.M. Zhuchkov, A.A. Gorbanev, B.N. Kolosov

SUBSTANTIVE PROVISIONS OF WIDE BRANDED
ROLLED WIRE PRODUCTION TECHNOLOGY
ON WIRE MILLS OF NEW GENERATION

The substantive provisions of rolled wire production technological process on the high-speed wire rolling mills of new generation are developed. The new methods of rolled wire production from carbon, low-alloy and complex-alloy steels (in particular high-speed cutting) steels at rolling speed up to 150 m/s are proposed.

Key words: Continuous wire rolling mill, perspective flow sheet, four-cage blocks, lines of water cooling, temperature smoothing area, rolling temperature mode, assortment, complex alloy steels, quality, high speed rolling.

Надійшла до редакції 12.11.07.