

**С.М. Жучков, Д.Г. Паламарь, Д.Н. Андрианов,  
А.И. Лещенко, О.М. Кириленко**

**ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РАСКАТА ВДОЛЬ  
ЛИНИИ СТАНА 320 РУП «БМЗ» ПРИ ПРОКАТКЕ АРМАТУРНЫХ  
ПРОФИЛЕЙ СПОСОБОМ ПРОКАТКИ – РАЗДЕЛЕНИЯ**

*ИЧМ НАН Украины, Украина  
РУП «БМЗ», Жлобин, Республика Беларусь,*

Рассмотрены особенности изменения температуры раската по длине стана при использовании новой технологической схемы производства арматурного проката малых сечений в условиях РУП «БМЗ».

Важнейшим технологическим параметром, во многом определяющим условия реализации процесса прокатки, является его температурный режим. Это, своего рода, составляющая технической характеристики стана. Температурный режим прокатки определяется конструктивными особенностями стана – схемой расположения основного технологического оборудования, техническими характеристиками его основных агрегатов: нагревательных печей, рабочих клетей; вспомогательного оборудования: ножниц, рольгангов, охлаждающих устройств и др. [1–3]

В то же время, температурный режим тесно взаимосвязан с деформационным и скоростным режимами прокатки на стане и, в свою очередь, определяет выбор схем прокатки и калибровки прокатных валков сортового стана [4].

Характер изменения величины абсолютных значений температуры металла по длине непрерывного сортового стана во многом определяет уровень энергозатрат на прокатку. Кроме того, требования к качеству готового проката могут быть выполнены только при условии поддержания температуры конца прокатки в заданных пределах [5, 6].

При прокатке сортовых профилей из сталей широкого марочного сортамента, в том числе, легированных марок стали и сплавов, имеющих различные структуру и соотношение продольной и поперечной деформации, а также различную склонность к образованию внутренних и поверхностных дефектов при прокатке, очень важно поддержание заданной температуры металла на протяжении всего процесса прокатки. В этой связи, особую роль играет характер изменения и абсолютные значения температуры металла по длине стана при производстве готового проката с жестко регламентированными показателями качества по уровню механических и технологических свойств, особенно при производстве проката из высоколегированных марок стали специального назначения, например, рессорно-пружинных [7, 8].

При нагреве заготовок под прокатку происходят два взаимосвязанных процесса: обезуглероживание металла и окалинообразование на поверхности заготовки. Оба этих процесса существенно зависят от температуры нагрева под прокатку, продолжительности нагрева, распределения температуры по зонам печи, состава печной атмосферы и других параметров. Обычно нагрев стремятся вести таким образом, чтобы окалинообразование и обезуглероживание были минимальными [8]. Поэтому при решении задачи управления температурным режимом прокатки и анализе эффективности существующего температурного режима прокатки, наряду с оценкой загрузки главных приводов линии стана, уменьшении потерь тепла при нагреве, учитывают эти факторы.

Управление температурным режимом прокатки на непрерывном сортовом стане, учитывающее специфику компоновки основного и вспомогательного технологического оборудования стана, технические характеристики его основных агрегатов, размерный и марочный сортамент прокатываемой продукции и другие факторы, позволяет уменьшить тепловые потери при прокатке без увеличения нагрузок на основное технологическое оборудование стана.

Компактное расположение рабочих клетей и высокие скорости прокатки обусловили специфический характер изменения температуры прокатываемой полосы по длине современных непрерывных среднесортных, мелкосортных и проволочных станов. Сперва в черновых группах рабочих клетей и части рабочих клетей промежуточных групп происходит существенное снижение температуры прокатываемого металла (от 1100–1200<sup>0</sup>С до 900–950<sup>0</sup>С), приводящее к соответствующему росту энергосиловых параметров деформации. Затем, когда на первый план выступает задача формирования профиля и структуры металла готового проката, температура прокатываемого раската начинает расти за счет деформационного разогрева и достигает 1000–1050<sup>0</sup>С.

В качестве иллюстрации, на рис. 1 представлены результаты экспериментальных исследований температурного режима прокатки круглого профиля диаметром 10 мм в прутках на непрерывном мелкосортно-проволочном стане 320/150 «БМЗ», выполненных совместно со специалистами ИЧМ НАН Украины в середине 80–х годов прошлого столетия [9]. В качестве исходной использовалась заготовка квадратного сечения размерами 125x125 мм. Температура металла на входе в стан составляла 1125<sup>0</sup>С, скорость прокатки в чистовой клети стана составляла 18 м/с. Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что распределение температуры прокатываемого металла по клетям описывается кривой с образованием минимума в районе 4–й – 8–й клетей черновой группы стана. Минимальная температура раската (985<sup>0</sup>С) зафиксирована в промежутке между 6–й и 7–й клетями черновой группы стана. Такое резкое падение температуры объясняется охлаждением валков, а заодно и прокатываемого металла в черновой группе стана и низкой скоростью

входа заготовки в первую клетку стана при прокатке этого профиля (менее 0,1м/с). В клетях №13, №14 промежуточной группы стана начинается сказываться температурный эффект деформации металла, что приводит к повышению температуры раската до 1025<sup>0</sup>С. При этом температура конца прокатки (на выходе из стана) составляла примерно 1060<sup>0</sup>С. В этом случае изменение температуры по длине стана – от первой к последней его клетям составило около 65<sup>0</sup>С, а максимальный разброс температуры прокатки вдоль линии стана составил около 140<sup>0</sup>С.



Рис.1. Изменение температуры раската по длине стана 320/150 при прокатке круглого профиля диаметром 10мм в прутках (данные 1986г.)

Такое значительное изменение температуры вдоль линии стана приводит к росту энергосиловых параметров деформации и соответствующему увеличению нагрузок на основное технологическое оборудование стана – рабочие клетки конца черновой – начала промежуточной группы. Высокая температура конца прокатки, в свою очередь, затрудняет решение задачи формирования структуры и свойств металла, особенно при производстве термически упрочнённого проката.

Для проката с нерегламентированными служебными характеристиками высокие температуры конца прокатки, кроме бросовых энергозатрат на нагрев и последующее охлаждение металла, приводят к высоким потерям металла в окалину (2.5 – 5.0%) [10].

В этой связи разработка и реализация технологических схем производства сортового проката, основанных на использовании нетрадиционных процессов прокатки, обеспечивающих температурно-деформационный режим, предупреждающий снижение температуры прокатываемого металла в области вытяжных калибров и не допускающий разогрева его в области чистовых проходов и, в то же время, обеспечивающий необходимый температурный режим для получения регламентированных свойств готового проката без соответствующего роста энергосиловых параметров деформации, является весьма актуальной задачей, имеющей научное и прикладное значение.

Одной из технологических возможностей улучшения характера изменения температуры прокатки по длине стана при реализации энергосберегающих технологий с пониженной температурой нагрева под прокатку, является применение нетрадиционных процессов собственно прокатки.

В настоящее время в условиях стана 320 РУП «БМЗ» прокатку арматурного профиля №10 осуществляют с использованием нетрадиционного процесса многоручьевой прокатки–разделения (МПР), осуществляемой с помощью неприводных деформационно–делительных устройств с разделением раската на четыре нитки в потоке стана. Температура заготовки сечением 125x125 мм на входе в стан, согласно принятым на заводе технологическим режимам прокатки, составляет 1050<sup>0</sup>С. При этом скорость раската на входе в первую клетку стана составляет более 0,4 м/с, а на выходе из последней клетки стана – 15 м/с. Характер изменения температуры раската по длине стана 320 в этом случае, представлен на рис.2. Эти результаты получены методом математического моделирования с использованием теплофизической математической модели процесса непрерывной прокатки, область применимости которой за счет адаптации ее к условиям стана 320, распространяется на процесс прокатки на этом стане. Эта математическая модель, предназначенная для определения параметров процесса непрерывной сортовой прокатки, основана на аналитических зависимостях, подтвержденных результатами многочисленных экспериментальных исследований, в том числе, зависимостях, характеризующих влияние многоступенчатого режима деформирования на параметры процесса, описывающих с достаточной для практических целей точностью процессы упрочнения и динамического разупрочнения металла при прокатке, а также статического разупрочнения металла в паузах межклетевых промежутков рабочих клеток линии непрерывного прокатного стана с учетом природы металла, его температуры, длительности паузы, истории предшествовавшего паузе деформирования.

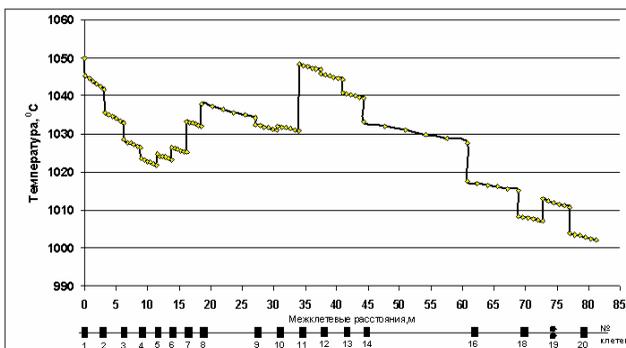


Рис.2. Изменение температуры раската по длине стана 320 при прокатке арматурного профиля №10 с использованием процесса МПР на четыре нитки

Из рис.2 видно, что в первых клетях черновой группы стана происходит снижение температуры раската. На входе в пятую клеть стана температура раската составляет около  $1020^{\circ}\text{C}$ . Впоследствии, в остальных клетях черновой группы, начиная с пятой клетки, происходит повышение температуры раската за счет деформационного разогрева в очагах деформации рабочих клетей. Вследствие этого, на выходе из восьмой клетки (последняя клеть черновой группы стана) температура раската составляет около  $1040^{\circ}\text{C}$ . Температура раската на входе в клеть №9 (первая клеть промежуточной группы) и на выходе из клетки №14 (последней клетки промежуточной группы) примерно одинакова – порядка  $1035^{\circ}\text{C}$ . В чистой группе температура раската постепенно снижается и на выходе из стана составляет около  $1000^{\circ}\text{C}$ . В этом случае изменение температуры по длине стана – от первой к последней его клетям и максимальный разброс её значений по длине стана не превышает  $50^{\circ}\text{C}$ .

Основными факторами, обеспечившими благоприятное распределение температуры раската вдоль линии стана, явились изменение температурно–деформационного и скоростного режимов прокатки при реализации процесса МПР – нетрадиционного эффективного процесса сортовой прокатки.

При его использовании уменьшается падение температуры прокатываемого металла в области вытяжных калибров клетей черновой и промежуточной групп стана за счет увеличения скорости входа заготовки в стан, а также снижается влияние деформационного разогрева металла в области чистовых проходов за счет снижения скорости прокатки на выходе из стана при увеличении секундного объема металла в процессе непрерывной прокатки. То есть при увеличении производительности стана. При этом обеспечен необходимый температурный режим для получения регламентированных свойств готового проката без увеличения нагрузок на рабочие клетки стана.

Кроме того, за счет использования процесса МПР обеспечена и реализована возможность понижения температуры нагрева металла под прокатку. Известно, что затраты энергии на нагрев металла в печи существенно превышают ее затраты на прокатку [6]. По различным оценкам, затраты энергии на нагрев составляют 70–80% суммарной энергии, затраченной на получение готового проката из холодных заготовок. Это соотношение зависит от температуры нагрева заготовок, сечения заготовок, диаметра проката, скорости прокатки. Поэтому понижение температуры нагрева позволяет снизить общий расход энергии на получение одной тонны готовой продукции. Экономия в денежном выражении зависит от соотношения цен на топливо для нагревательных печей и электроэнергии. Снижение температуры нагрева металла под прокатку, в свою очередь, способствовало увеличению срока службы и производительности нагревательной печи при одновременном снижении эксплуатационных затрат,

уменьшению обезуглероживания заготовок и готового проката, уменьшению окалинообразования и потерь тепла раскатом в линии стана.

Таким образом, реализация новой технологической схемы производства арматурного проката малых сечений, основанной на использовании нетрадиционного процесса МПР с продольным разделением раската в потоке стана на четыре нитки, позволила существенно повысить эффективность его производства за счет реализации энергосберегающего температурно–деформационного и скоростного режимов прокатки. Равномерный характер изменения температуры раската по длине стана при использовании новой технологической схемы производства арматурного проката малых сечений позволил экономнее и рациональнее использовать энергетические и материальные ресурсы при производстве готовой продукции, существенно увеличить объемы ее производства за счет высокой часовой производительности стана.

### **Выводы.**

1. Рассмотрены особенности изменения температуры раската по длине стана при использовании новой технологической схемы производства арматурного проката малых сечений в условиях РУП «БМЗ».

2. Отмечен специфический характер изменения температуры прокатываемой полосы по длине современных непрерывных среднесортных, мелкосортных и проволочных станов, обусловленный компактностью расположения рабочих клетей и высокими скоростями прокатки.

3. Показано, что при реализации новой технологической схемы производства арматурного проката малых сечений, основанной на использовании нетрадиционного процесса МПР на четыре нитки обеспечивается благоприятное распределение температуры раската вдоль линии стана, за счет изменения температурно–деформационного и скоростного режимов прокатки. Это позволило экономнее и рациональнее использовать энергетические и материальные ресурсы при производстве готовой продукции, существенно увеличить объемы ее производства за счет высокой часовой производительности стана.

1. *Прогнозирование* температурного режима прокатки на непрерывном сортовом стане / С.М.Жучков, А.П.Лохматов, Л.В.Кулаков и др. // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сборник научных трудов. ИЧМ НАН Украины. Выпуск 3.* – К.: «Наукова думка», 1999. – С.234–241.
2. *Жучков С.М., Ноговицын А.В., Макаров К.Г.* Проблемы управления температурно–деформационным режимом прокатки на непрерывных сортовых станах // *Труды Третьего Конгресса прокатчиков. Липецк 19–22.10.1999г.* – М.: АО«Черметинформация». – 2000.– С.267–270.
3. *Жучков С.М., Лохматов А.П., Кулаков Л.В.* Способы управления температурно–деформационным режимом прокатки на непрерывном сортовом стане // «Сталь». – 2000. – №3. – С.43–46.
4. *Исследование* влияния технологических факторов на температурный режим прокатки на непрерывном мелкосортном стане. / С.М.Жучков, К.Г.Макаров,

- Л.В.Кулаков и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность.*– 2001.– №4.– С.37–41
5. *Производство высокоуглеродистой катанки на металлургических агрегатах высшего технического уровня* / В.И. Тимошпольский, Н.В. Андрианов, С.М.Жучков и др. – Мн.: Бел.наука, 2004. – 238 с.
  6. *Теоретические и технологические основы высокоскоростной прокатки катанки* / А.А. Горбанев, С.М. Жучков, В.В. Филиппов и др. – Мн.: Выш. шк., 2003. – 287с.
  7. *Жучков С.М.* Особенности технологии прокатки пружинно–рессорных сталей на непрерывном сортовом стане // *Металлург.* – 2000. – №4. – С.40–41.
  8. *Жучков С.М.* Управление температурно–деформационным режимом прокатки рессорно–пружинных сталей на непрерывном сортовом стане // *Производство проката.* – 2001.– №4– С.9–11.
  9. *Калибровка валков и особенности технологии прокатки сортовых профилей на стане 320/150 Белорусского металлургического завода* / С.М.Жучков, Л.В.Кулаков, Э.В.Сивак и др. // *Бюллетень института «Черметинформация».* – 1989. – №8. – С.58–61.
  10. *Исследование толщины структуры и состава окалины на прокате в зависимости от сортамента и термической обработки стали.*/ В.А.Вихлевщук, Л.А.Шевченко, Ю.М.Омель и др. // *Металл и литье Украины.*– 1997.– №11–12.– с.44–46.

*Статья рекомендована к печати к.т.н. И.Ю.Приходько*