

С.М.Жучков, А.И.Лещенко, П.В.Токмаков

## РАЗВИТИЕ ПРОЦЕССОВ ПРОКАТКИ, ОСНОВАННЫХ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕЗЕРВА ВЯГИВАЮЩИХ СИЛ ТРЕНИЯ

Выполнен краткий обзор результатов исследований и разработок, направленных на создание и реализацию процессов прокатки, основанных на использовании резерва втягивающих сил трения. Приведены примеры использования этих процессов в производстве проката. Обозначены направления дальнейшего развития процессов прокатки с использованием резерва втягивающих сил трения.

**Введение.** Процесс прокатки основан на использовании сил трения, возникающих между деформируемым материалом и рабочим инструментом. При прокатке силы трения обеспечивают захват металла валками и поддерживают его пластическую деформацию в устойчивом режиме прокатки. В тоже время, при установившемся процессе прокатки в очаге деформации рабочей клетки образуется определенный резерв втягивающих сил трения, который идет на создание опережения, поглощающего избыток этих сил.

Использование этого резерва возможно двумя методами:

- а) использование резерва сил трения собственно в очагах деформации приводных рабочих клеток;
- б) использование резерва сил трения вне очага деформации приводной рабочей клетки посредством какого-либо (дополнительного) инструмента.

Использование резерва сил трения в очагах деформации рабочих клеток осуществляется при прокатке с обжатиями, выше допустимых по условию захвата металла валками, прочности валков, мощности электродвигателя; при прокатке с принудительной задачей заготовок; при прокатке с углами захвата, большими угла трения; при прокатке с высокими межклетьевыми натяжениями.

**Изложение основных материалов исследования.** Процесс прокатки с обжатиями, выше допустимых по условию захвата металла валками, основан на известном соотношении максимальных углов захвата: собственно в момент касания раскатом валков и при установившемся процессе прокатки –  $\alpha_{yct.MAX} = 2\alpha_{захв.MAX}$ . Так как угол захвата связан с обжати-

ем зависимостью  $\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}$ , из этого следует вывод о том, что после за-

полнения очага деформации металлом и наступления устойчивого процесса прокатки, существует возможность повышения обжатия  $\Delta h_{yct} = \alpha_{yct}^2 R$ . Увеличение обжатия приводит к уменьшению критического угла  $\gamma$  вследствие смещения в направлении плоскости входа точки

приложения равнодействующей сил нормального давления и трения в зоне отставания и, соответственно, к увеличению зоны отставания в очаге деформации. Увеличивая обжатие, можно достичь такого положения в очаге деформации, когда опережение и угол критического сечения будут равны нулю, а область отставания распространится на всю длину дуги захвата. При достижении предельных условий ( $\alpha_{\text{ycm}} = 2\beta_{\text{ycm}}$ ) начнется пробуксовка полосы по валкам и процесс прокатки прекратится [1].

Практическая реализация способа прокатки с обжатиями, выше допустимых по условию захвата, осуществлялась при прокатке конусных слитков на блюминге, при прокатке в дуо–реверсивных клетях, когда применялось предварительное обжатие концов прокатываемой полосы, облегчающее захват в следующем проходе [2].

Прокатка с принудительным захватом раската позволяет осуществлять процесс прокатки с углом захвата выше угла трения. В работе [1] показано, что существует возможность создания условий захвата, при которых  $\beta_3 < \alpha_3 \leq (1,5 \div 1,7)\beta_3$ . Практическая реализация такого процесса осуществляется принудительной подачей заготовок в валки прокатной клетки.

В работах [1,3] рассматривались вопросы прокатки при угле захвата больше угла трения, выведены формулы для определения величины за-талкивающей силы. Для практической реализации предложены способы прокатки [4,5], предусматривающие применение подпора для обеспечения принудительного захвата заготовки.

На использовании резерва сил трения собственно в очаге деформации приводных рабочих клетей основан и процесс прокатки с межклетьевыми натяжениями. Прокатка с межклетьевыми натяжениями возникает при изменении технологических параметров непрерывной прокатки, которые основываются на условии постоянства секундных объемов. При нарушении этого условия в прокатываемой полосе появляются продольные силы, которые изменяют геометрические, кинематические и силовые параметры непрерывной прокатки:

1. изменяется напряженное состояния металла в очаге деформации, вследствие чего изменяется соотношение между продольной и поперечной деформациями;
2. изменяются размеры прокатываемой полосы вследствие ее растяжения между клетями;
3. вследствие изменения соотношений между напряжениями в очаге деформации изменяется давление металла на валки, моменты прокатки и т.д.

При значительных величинах рассогласования скоростного режима возможно осуществление такого процесса горячей непрерывной прокатки, при котором часть деформации может быть произведена вне его очага – растяжением между клетями стана. Утяжка раската между клетями стана

возникнет тогда, когда растягивающие напряжения в полосе превысят предел текучести металла. Натяжение вызывает утяжку раската и в очаге деформации, причем заднее натяжение оказывает более существенное влияние на утяжку, чем переднее.

Исследованию процессов прокатки с натяжением на непрерывном стане посвящено много работ [6]. Изучалась прокатка простых и фасонных профилей, рассмотрено влияние натяжения на изменение силовых параметров, на изменение размеров прокатываемого профиля, исследованы контактные силы трения при прокатке с натяжением. Отмечено, что суммарная утяжка профиля в очаге деформации и вне его (между клетями стана) от влияния заднего натяжения настолько существенно изменяет размеры раската, что для получения качественного профиля по его длине, необходимо создавать условия прокатки на непрерывном стане без значительного натяжения.

Процессы прокатки с использованием резерва сил трения с использованием деформирующих средств, расположенных вне очага деформации приводной рабочей клетки, стали активно развиваться начиная с 50-х годов XX столетия.

Резерв сил трения при прокатке использовался для кантовки раската посредством применения геликоидальной арматуры (выводных проводок). При этом расход энергии (в зависимости от температуры и размеров сечения раската) увеличивался на 25–35 % [7]. Эта проблема была решена инженером Магнитогорского металлургического комбината С.В. Мерекиным, который предложил использовать неприводные кантующие валки (рис.1) [7]. Использование неприводных кантующих валков позволило снизить расход энергии на кантовку до минимума за счет замены трения скольжения раската по проводке трением качения подшипников в опорах кантующих валков.

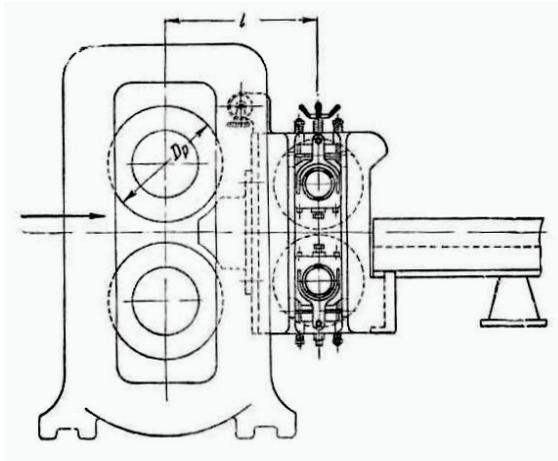


Рис.1. Кантующие валки системы С.В.Мерекина, смонтированные в раме, установленной на стане рабочей клетки

Для получения горячекатанных профилей с минимально возможными допусками, предпринимались попытки по применению специальных калибрующих волок,

устанавливаемых на выходной стороне чистовой клетки (рис.2) [7]. Пред-

полагалось, что проталкивание раската через калибрующую волоку обеспечит горячее калибрование профиля по длине полосы. Однако практическая реализация этого процесса не достигла ожидаемого эффекта: калибрующая волока выбивалась раскатом и фактически никакой деформации раската не осуществляла.

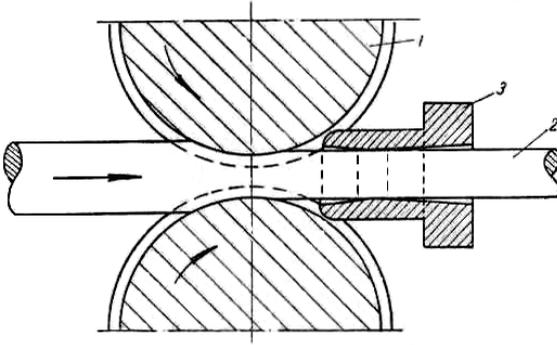


Рис.2. Схема установки калибрующей волоки со стороны выхода полосы для чистой клетки. 1 – прокатные валки; 2 – полоса; 3 – волока

На использовании резерва втягивающих сил трения в очагах деформации приводных рабочих клеток основаны предложения Н.В. Литовченко и Л.В. Андреюка [7] по созданию стана, оснащенного неприводными клетями. В этом стане усиленные приводные горизонтальные клетки чередуются с неприводными вертикальными клетями (рис.3).

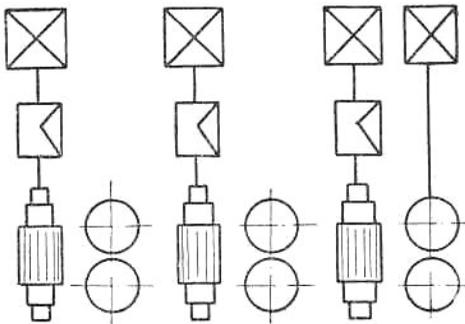


Рис.3. Схема непрерывно-заготовочного стана с неприводными клетями

Последняя по ходу прокатки вертикальная клетя также выполнена приводной. В стане с горизонтальными клетями, приводные клетки оборудовались неприводными кантовальными валками. Детальная разработка проекта осложнялась отсутствием

исходных данных для определения максимально допустимых обжатий в неприводных валках в зависимости от режимов обжатий в приводных клетях и других параметров прокатки. Для осуществления прокатки в неприводных валках также необходимо знать величину дополнительного усилия и крутящего момента, возникающего в приводной клетке. Л.В. Андреюком были проведены исследования процесса прокатки в приводной клетке с горизонтальным расположением валков и установленной на ее выходной стороне неприводной клетки с вертикальными валками [8].

На основании полученных данных были подготовлены предложения по сокращению количества приводных клеток на непрерывно-

заготовочном стане 900/700. При этом обеспечивалось уменьшение длины стана в 2,5 раза, отказ от кантователя и промежуточного рольганга. Однако эти идеи не были востребованы производством и не получили дальнейшего научного и практического развития.

К использованию резерва втягивающих сил трения в процессе непрерывной прокатки вернулись в 70–80-е годы XX столетия. В то время учеными Днепропетровского металлургического института (ДМетИ) и Института черной металлургии (ИЧМ, г. Днепропетровск) были разработаны и реализованы в производстве процессы прокатки с применением кассет с неприводными валками [9] и неприводных универсальных клетей [10]. Аналогичные исследования проводились и за рубежом [11,12]. Эти процессы относились к производству фасонных профилей (швеллеры, двутавровые балки), однако предусматривалось применение клетей с неприводными валками и при производстве сортовых профилей простых сечений [13].

Значительное развитие теория и практика использования резерва втягивающих сил трения при прокатке получила в работах Института черной металлургии (ИЧМ) НАН Украины [14]. Специалистами ИЧМ разработаны теоретические основы этого процесса и проведены глубокие аналитические и экспериментальные исследования процесса прокатки с применением неприводных рабочих клетей. В рамках этих исследований установлены факторы, определяющие условия реализации этого процесса, границы его осуществимости и пр.; сформулирована технологическая концепция проектирования комплекса приводная–неприводная клеть. С использованием основных теоретических положений процесса прокатки с применением неприводных рабочих клетей, разработана и реализована в условиях мелкосортно–проволочного стана 250/150–6 предприятия «Арселор Миттал Кривой Рог» технология прокатки с применением опытно–промышленного образца неприводной рабочей клетки вертикального исполнения (рис. 4) [15]. Результаты прокатки с использованием опытно–промышленного образца неприводной рабочей клетки, установленного в черновой группе стана, подтвердили эффективность новой технологии. Сформирована концепция конструктивного исполнения неприводных рабочих клетей для условий черновой группы этого стана.

На использовании резерва сил трения в очагах деформации приводных клетей также основан и процесс прокатки–разделения с применением неприводных делительных устройств. Сущность этого процесса состоит в формировании многониточного раската из одной заготовки с последующим его продольным разделением в потоке стана на 2,3,4 или 5 частей с помощью неприводных деформационно–делительных устройств и последующим окончательным формированием готовых профилей [16].

На рис.5 представлена конструкция неприводного делительного устройства, разработанного ИЧМ НАН Украины, использующегося при реализации процесса двухниточной прокатки–разделения на непрерывном

мелкосортно–проволочном стане 320/150 Белорусского металлургического завода, а на рис.6 – неприводное делительное устройство для реализации процесса 4–х ниточной прокатки–разделения.

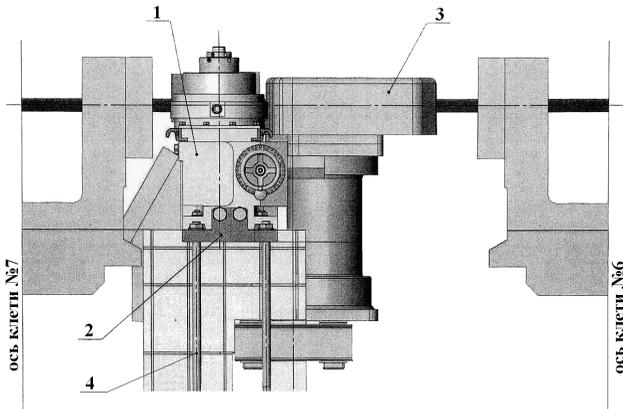


Рис.4. Схема установки НК в межклетевом промежутке вертикальной клетки №6 и горизонтальной №7 черновой группы стана 250/150–6.

1 – неприводная клеть 410; 2 – плитовина; 3 – укороченный передаточный стол; 4 – фундамент с фундаментными болтами

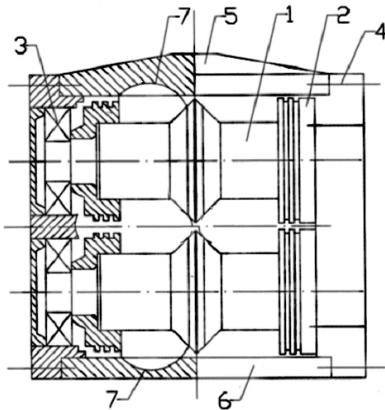


Рис.5. Конструкция делительного устройства ИЧМ НАН Украины.

1 – делительные ролики; 2 – торцевые шайбы; 3 – подшипники; 4 – фиксаторы; 5 – крышка корпуса; 6 – основание корпуса; 7 – направляющие углубления.

**Результаты исследования.** В работе [16] рассмотрены особенности процесса сортовой прокатки–разделения, приведены научные и технологические основы осуществления процесса прокатки–разделения с использованием делительных устройств, тенденции развития технологии и оборудования для реализации этого процесса прокатки. На примере станов 320/150 Белорусского металлургического завода и 250 Енакиевского металлургического завода показаны особенности освоения процесса прокатки–разделения с использованием неприводных делительных устройств.

В настоящее время специалистами прокатного отдела ИЧМ разработана концепция нового деформирующего средства – трехчагового прокатного модуля, в состав которого входят две приводные и одна неприводная клеть, объединенные по схеме «приводная – неприводная – приводная» клетки и имеющими общий привод. Исследованы закономерности влияния технологических и конструктивных параметров модуля на деформацию металла в клетях трехчагового модуля, силовые и кинематические параметры, продольные усилия между клетями модуля; установлены рациональные с точки зрения осуществимости процесса, расхода энергии и точности проката, параметры технологического процесса производства сортового проката с использованием трехчагового модуля.

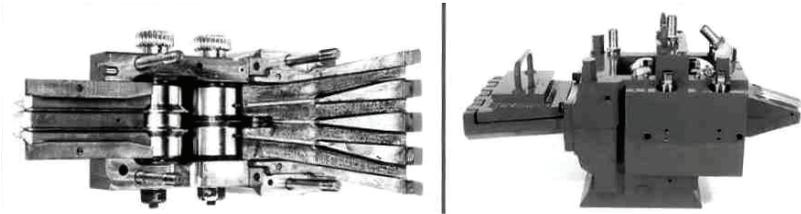


Рис.6. Общий вид и вид со снятой верхней крышкой неприводного делительного устройства для деления раската на 4 нитки

### **Выводы.**

Выполнен краткий обзор результатов исследований и разработок, направленных на создание и реализацию процессов прокатки, основанных на использовании резерва стягивающих сил трения. Показана эффективность использования этих процессов в обжимно–заготовочном производстве, производстве сортового и фасонного проката. Показано, что процессы прокатки, основанные на использовании резерва стягивающих сил трения, могут применяться для решения различных технологических задач, возникающих при производстве проката: повышения производительности станов, снижения энергопотребления при прокатке, увеличения выхода годного, сокращения эксплуатационных расходов и прочее.

Дальнейшее развитие процессов прокатки с использованием резерва стягивающих сил трения необходимо осуществлять с целью расширения области их применения, например при многониточной прокатке на действующих и реконструируемых станах, что потребует проведения теоретических и аналитических исследований, развивающих научные и технологические основы этих процессов.

1. *Чекмарев А.П., Нефедов А.А., Николаев В.А.* Теория продольной прокатки. – Харьков, 1965. – 212 с.
2. *Tetsu-to-Hagane.* – 1984. – V.16. – №2. – P.102–108

3. *Грудев А.П.* Захватывающая способность прокатных валков // М.: «СП Интернет инжиниринг», 1998. – 283 с.
4. *Патент* 2078581 (Великобритания) Continuous hot rolling / Morgan Construction Company. – 13.01.82. – № 4846.
5. *Патент* 4394822 (США). High reduction method and apparatus for continuously hot rolling products / K. F. Simons. – 26.07.83. – Т.1032 – № 4.
6. *Непрерывная* прокатка: коллективная монография под ред. Данченко В.Н. – Днепропетровск: РИА «Днепро-ВАЛ», 2002. – С. 365–367
7. *Литовченко Н.В.* Применение высоких обжатий на блумингах. – М.:Металлургиздат, 1956. – 72 с.
8. *Андреюк Л.В.* Непрерывный стан с неприводными вертикальными валками // Сб. «Теория и практика металлургии». – Вып.9. – Челябинск: Южно-уральское книжное издательство, 1967. – С. 117–126
9. *Лиханский В.С., Гринавцев В.Н.* Технология производства фасонных профилей с применением кассет. – М.: Металлургия, 1986. – 232 с.
10. *Теряев В.А., Жучков С.М., Лохматов А.П.* Неприводная универсальная клеть для прокатки балочных профилей // Черная металлургия. – Бюл. Ин-та «Черметинформация». – 1990. – №4. – С.53–55.
11. *Патент* 3516109 (ФРГ). Расположение осаживающих клеток на балочных станах с универсальными клетями / Мудербах В. СМС Шлеман-Зимаг. – 06.11.86.
12. *Патент* 62–64403 (Япония). Линия непрерывной прокатки / Кусаба Т., Хаяси Т., «Сумитомо киндзуюко коге к.к.». – 23.03.87.
13. *Патент* 59–20627 (Япония). Способ прокатки заготовок, прутков и катанки / Кусаба Т., Хаяси Т., «Сумитомо киндзуюко коге к.к.». – 29.08.85.
14. *Непрерывная* прокатка сортовой стали с использованием неприводных рабочих клеток. / А.П.Лохматов, С.М.Жучков, Л.В.Кулаков и др. – Киев.: Наукова думка, 1998. – 239с.
15. *Особенности* конструкции и результаты испытаний экспериментального образца неприводной рабочей клетки мелкосортно-проволочного стана 250/150–6 / С.М.Жучков, А.П.Лохматов, Л.В.Кулаков и др. // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. – Вып. 12. – 2006. – С.204–212
16. *Процесс* прокатки-разделения с использованием неприводных делительных устройств / С.М.Жучков, А.П.Лохматов, Н.В.Андрианов и др. // М.: «Издательство «Пан пресс». – 2007. – 360 с.

*Статья рекомендована к печати д.т.н., проф. В.В.Парусовым*