

**С.М. Жучков, А.П. Лохматов, П.В. Токмаков.**

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ НЕПРЕРЫВНОЙ ПРОКАТКИ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕПРИВОДНЫХ РАБОЧИХ КЛЕТЕЙ НА  
МЕЛКОСОРТНЫХ И ПРОВОЛОЧНЫХ СТАНАХ КРИВОРОЖСКОГО  
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА**

В работе принимали участие А.В. Кекух, М.А. Бабенко, В.А. Шур, С.Н. Вакуленко, А.И. Курочкин, Н.П. Белый, В.В. Лысенко, Ю.М. Хрустенко.

Рассмотрены перспективы использования неприводных рабочих клеток на непрерывных мелкосортных и проволочных станах Криворожского меткомбината. Показано, что с их использованием можно эффективно решать различные технологические задачи производства. Сформулированы задачи повышения эффективности использования неприводной клетки на однопиточном мелкосортно–проволочном стане 250/150–6.

На непрерывном мелкосортно–проволочном стане 250/150–6 освоен нетрадиционный процесс сортовой прокатки, основанный на более полном использовании резерва втягивающих сил трения в очагах деформации приводных клеток. Для реализации этого процесса используются неприводные рабочие клетки, устанавливаемые в межклетевых промежутках стана. Научные и технологические основы этого процесса разработаны в Институте черной металлургии (ИЧМ) им. З.И.Некрасова НАН Украины [1].

Какие же фундаментальные положения лежат в основе этого процесса? Среди всех видов пластической обработки металла давлением процесс продольной прокатки занимает особое место. Здесь силы трения между металлом рабочими валками прокатных клеток играют двоякую роль. С одной стороны, они обеспечивают осуществимость процесса (втягивание металла в очаг деформации валков) и без них процесс прокатки невозможен; с другой стороны, после заполнения металлом очага деформации, силы трения препятствуют выходу металла из него [2,3], за счет чего при установившемся процессе прокатки в очаге деформации образуется резерв втягивающих сил трения, наличие которого является естественным следствием условия свободного захвата полосы валками. На создание и поддержание этого резерва после захвата полосы валками (заполнения очага деформации металлом) в очаг деформации подается соответствующее количество энергии. Расходуется эта энергия на работу опережения, которая с технологической точки зрения не является полезной.

Величина резерва втягивающих сил контактного трения по оценкам разных авторов составляет 15–55% от работы, расходуемой на собственно деформацию, осуществляемую в очаге деформации приводных валков, что во многом определяет энергоемкость процесса прокатки.

Резерв втягивающих сил трения в очаге деформации давно привлекает внимание исследователей и практических работников. В прошлом неоднократно предпринимались попытки его использования для интенсификации процессов деформации. Например, при прокатке со сверхобжатиями [4] или с большими межклетевыми натяжениями [5]. Однако возникающие при этом технологические трудности, связанные с обеспечением устойчивости процесса или стабильности размеров по длине раската, ограничили практическое развитие таких процессов.

Частичное использование резерва втягивающих сил контактного трения осуществляется при кантовке раската в кантовочных проводках и продольном разделении его в неприводных делительных устройствах, устанавливаемых на выходе из очага деформации. Разработаны конкретные предложения по реализации концептуально нового технологического процесса непрерывной сортовой прокатки, предусматривающей использование резерва втягивающих сил контактного трения в очагах деформации приводных рабочих клеток с помощью неприводных рабочих клеток, устанавливаемых в межклетевых промежутках приводных рабочих клеток.

В соответствии с предложением приводным клетям непрерывного стана придаются функции деформирующего средства, транспортирующего средства и средства передачи мощности в очаг деформации неприводной клетки, которая выполняет исключительно функции деформирующего средства. Такой подход существенно уменьшает габариты рабочей (неприводной) клетки упрощает ее конструкцию. Неприводная клеть устанавливается в межклетевом промежутке непрерывного стана. Деформацию металла в ней осуществляют путем проталкивания раската приводной рабочей клетью, а после выхода заднего конца из проталкивающей приводной клетки задний конец раската извлекается из неприводной последующей приводной клетью (рис. 1).

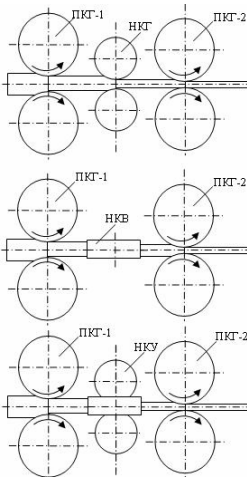


Рис. 1. Некоторые варианты схем расположения неприводных клеток (НК) горизонтального (а) и вертикального (б) двухвалкового и четырехвалкового исполнения в межклетевом промежутке двух смежных приводных рабочих клеток (ПК) непрерывного сортового стана

Таким образом, работа деформации в неприводных клетях осуществляется за счет использования резерва (избытка) втягивающих сил контактного трения в очагах деформации приводных рабочих клеток.

Результаты исследований, выполненных в ИЧМ, позволили сделать предположение, что за счет организации процесса непрерывной сортовой прокатки с использованием неприводных рабочих

клетей можно существенно повысить использование резерва втягивающих сил трения в очагах деформации приводных клеток. При этом можно либо интенсифицировать процесс прокатки и повысить вытяжную способность стана, либо получить экономию энергии, обеспечив при этом ряд преимуществ. Но и в том и в другом случае эффективность использования энергии, подводимой в очаг деформации, безусловно, повышается.

Предлагаемый технологический процесс непрерывной сортовой прокатки обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционным процессом.

Энергоэкономичность. Экономия затрат на реализацию процесса происходит за счет двух факторов:

- улучшение использования энергии, подаваемой приводными валками в очаг деформации в связи с отбором части ее резерва для осуществления дополнительной работы деформации в неприводных клетях;

- снижение потерь мощности на работу холостого хода и потерь в трансмиссии привода прокатных валков в связи с отсутствием его у неприводных клеток.

Технологическая гибкость прокатных станов. Легкие компактные неприводные клетки и другие средства деформации металла с неприводным рабочим инструментом того или иного исполнения, которые, в зависимости от поставленных технологических задач, устанавливаются в соответствующих межклетевых промежутках линии непрерывного сортового стана, позволяют решать практически любые вопросы производства проката широкого размерного и марочного сортамента, например, осуществлять контроль размеров раската при прокатке полосовых и угловых профилей, фланцевых профилей, гибочно–калибровочные функции при производстве проката различного назначения, кантовать раскат между клетями, выполнять его продольное разделение и т.д., а также совмещать эти функции.

Снижение капитальных затрат при строительстве и реконструкции станов. Масса неприводной рабочей клетки может составлять 5–25% массы приводной рабочей клетки, а с учетом отсутствия линии привода ее рабочих валков эта величина будет еще меньше.

Вместе с тем, вытяжная способность неприводной клетки с учетом факторов, ограничивающих процесс, достигает 50% вытяжной способности приводной рабочей клетки, т.е. в двухочаговой рабочей клетки при ее массе 1,05–1,25 массы обычной приводной клетки может быть достигнута вытяжка, в 1,5 раза превышающая вытяжную способность последней, а трехочаговый прокатный модуль при массе 2,05–2,25 одной приводной рабочей клетки обеспечивает вытяжку, достигаемую в 2,5 приводных рабочих клетях.

Использование неприводных рабочих клеток в разных вариантах конструктивного исполнения для решения различных задач производства позволяет снизить габариты и металлоемкость устанавливаемого оборудо-

дования на 12–14%, что обеспечивает соответствующее уменьшение капитальных затрат на строительство и реконструкцию прокатных станов.

Другим эффективным результатом использования неприводных рабочих клетей является возможность перевода реконструируемых прокатных станов на большее сечение исходной заготовки без увеличения их габаритов и увеличения количества приводных рабочих клетей, т. е. с возможностью размещения нового оборудования на существующих площадях прокатных цехов.

С учетом основных направлений развития прокатного производства и задач технического перевооружения металлургических предприятий нами были разработаны схемные решения реконструкции непрерывных мелкосортных станов, предусматривающие использование традиционных подходов к реконструкции станов и альтернативных подходов, предусматривающих использование новых технических и технологических решений, основанных на более полном использовании резерва втягивающих сил трения в очагах деформации приводных рабочих клетей: технологических процессов сортовой прокатки с использованием неприводного рабочего инструмента [6].

В качестве базового объекта реконструкции принят типовой непрерывный мелкосортный стан 250, аналогами которого являются станы 250–4 и 250–5 Криворожского меткомбината, 250–1 и 250–2 Западно-Сибирского меткомбината, 250 Челябинского меткомбината и др.

Рассмотрена эффективность реконструктивных мероприятий при переводе стана 250–4 на исходную заготовку сечением 150x150 мм при скорости односточной прокатки в чистовых клетях 18 м/с по четырем вариантам.

Показано, что для решения задач реконструкции наиболее эффективен вариант с использованием новых технических и технологических решений, основанных на более полном использовании резерва втягивающих сил трения в очагах деформации приводных рабочих клетей. Наиболее эффективен вариант, основанный на традиционных подходах – установке дополнительных приводных рабочих клетей.

Поскольку высокая эффективность использования новых технологических и технических решений при реконструкции непрерывных мелкосортных станов показана пока только методом моделирования, то особый интерес представляют результаты опытно-промышленной проверки новой технологии на мелкосортно-проволочном стане 250/150–6. Здесь кроме проверки работоспособности и эффективности собственно процесса прокатки с использованием неприводных рабочих клетей, проверялись и методы расчета его параметров в условиях конкретного непрерывного мелкосортного стана.

Первоначально стояла задача оценить уровень снижения энергозатрат на прокатку при использовании неприводной клетки без существенного изменения технологии прокатки, однако в процессе обсуждения было

принято решение попробовать с помощью нового процесса повысить вытяжную способность стана. При положительном результате это даст возможность освоить новые виды продукции на сортовой линии стана 250–150–6.

Неприводную клеть с вертикальным расположением рабочих валков предложили установить в черновой группе на участке между шестой вертикальной и седьмой горизонтальной клетями (рис.2).

Проектирование и изготовление экспериментального образца неприводной клетки осуществляло ОАО ПКП «Век–плюс», имеющее большой опыт в создании нестандартного металлургического оборудования.

В процессе выполнения работ по подготовке к освоению были выполнены многовариантные расчеты технологических параметров прокатки при использовании неприводной клетки, рассмотрены различные варианты компоновки участка клеток №6 и №7 черновой группы стана при установке на этом участке неприводной клетки, определяющие собственно её конструктивное исполнение (таблица).

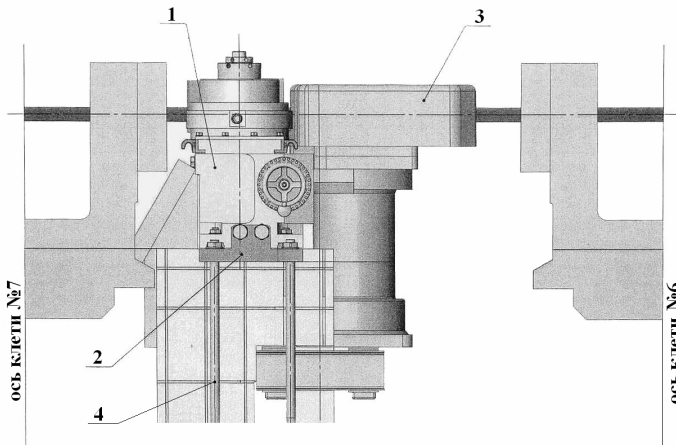


Рис.2. Схема установки неприводной рабочей клетки в межклетевом промежутке между клетями №6 и №7. 1– неприводная клеть; 2– плитовина; 3– модернизированный передаточный жёлоб; 4– фундамент неприводной рабочей клетки.

Здесь было важно скомпоновать систему «приводная – неприводная – приводная клетки» таким образом, чтобы, с одной стороны, обеспечить оптимальные условия реализации процесса с учетом границ его осуществимости [7], а, с другой стороны, обеспечить возможность быстрого перехода на существующую схему прокатки – без неприводной клетки.

В результате опытно–промышленной проверки новой технологии в реальных условиях показано, что, в случае разгрузки рабочей клетки №6, в

неприводную рабочую клеть из неё может быть перенесено до 55% деформации осуществляемой ею в базовом режиме настройки, т.е. при настройке в соответствии с таблицей калибровки стана и работе без неприводной клетки.

Таблица. Краткая характеристика неприводной рабочей клетки

№ пп	Наименование показателя	Величина
1	Усилие прокатки, кН, не более	300
2	Скорость прокатки, м/с, не более	10
3	Температура прокатываемого материала, °С	900...1100
4	Сечение прокатываемого металла, НхВ,мм	60х75
5	Количество калибров по длине бандажа, шт	2
6	Длина бочки бандажа, мм	250
7	Наружный диаметр бандажа по буртам, мм	350–410
8	Диапазон регулировки раствора между бандажами, мм	40
9	Расход смазки, кг/ комплект	5
10	Давление воды для охлаждения бандажей, МПа	2,5±0,3

Мощность прокатки в клетке №6 при таком уровне загрузки неприводной клетки снижается на 45%, а в клетке №7 возрастает на 17% против базовой.

Суммарный коэффициент вытяжки в комплексе клеток «№6–неприводная–№7» увеличивается против суммарного коэффициента вытяжки в клетках №6–№7 при их работе в базовом режиме без использования неприводной клетки в 1,06 раза при снижении суммарной мощности прокатки, подаваемой в очаги деформации клеток №6 и №7 на 11%.

В случае использования неприводной клетки в качестве дополнительного деформирующего устройства она может осуществлять деформацию на уровне до 32% от суммарной деформации в комплексе «клеть №6–неприводная клеть».

Мощность прокатки при этом в клетке №6 возрастает на 8%, а в клетке №7 – на 5%. Суммарный коэффициент вытяжки в комплексе клеток «№6–неприводная–№7» увеличивается против базового (без использования неприводной клетки) более чем 1,24 раза при увеличении суммарной мощности, подаваемой в очаги деформации клеток №6 и №7 всего на 6,3%.

Для выбора режима загрузки неприводной рабочей клетки в пределах осуществимости процесса прокатки разработаны номограммы, позво-

ляющие определять абсолютную величину обжатия в ней с учётом ожидаемых изменений мощности прокатки в клетях №6 и №7, суммарного коэффициента вытяжки в комплексе клетей «№6–неприводная–№7», а также показателей использования резерва сил трения в очаге деформации клетки №6 и запаса продольной устойчивости раската перед неприводной клетью.

Результаты опытных прокаток с использованием экспериментального образца неприводной рабочей клетки подтвердили эффективность ее использования в черновой группе стана 250/150–6. При этом подтверждена адекватность математической модели, использованной для расчета параметров процесса прокатки с применением неприводных рабочих клетей, разработанной ИЧМ и адаптированной для условий стана 250/150–6, и сформирована концепция общего конструктивного решения неприводных рабочих клетей для условий черновой группы стана.

Вместе с тем, в процессе опытно–промышленной эксплуатации экспериментального образца неприводной рабочей клетки выявлена необходимость усовершенствования конструктивных решений ряда ее узлов.

Исходя из изложенного, следует считать целесообразным продолжить комплекс исследований по отработке параметров технологии непрерывной прокатки в черновой группе мелкосортно–проволочного стана 250/150–6 при использовании неприводных рабочих клетей усовершенствованной конструкции с тем, чтобы довести их до уровня готовности к промышленному внедрению ко времени развертывания работ по реконструкции мелкосортных станов комбината в связи с переходом на непрерывно литую заготовку с заведомо большим поперечным сечением.

Учитывая большие потенциальные возможности этого процесса для повышения эффективности сортовой прокатки, следует ожидать повышения интереса к нему в других прокатных цехах комбината для решения ряда других технических задач, актуальных для прокатного производства комбината уже сегодня. Например, с помощью неприводных рабочих клетей, используя их в качестве калибрующих на завершающих стадиях процесса прокатки, можно решить задачу повышения точности проката. За счет использования эффекта дробности деформации можно разгрузить отдельные перегруженные рабочие клетки, не изменяя деформационные режимы в остальных рабочих клетях, т.е. без замены парка валков, что обычно требуется при простом перераспределении деформаций по линии стана.

Так на проволочном стане 150–1 предлагается за счет использования неприводных рабочих клетей существенно снизить усилия и моменты прокатки в рабочих клетях черновой группы, увеличить их вытяжную способность и снизить потребление энергии на деформацию металла за счет снижения сопротивления металла деформации и уменьшения его уширения.

Для решения этой задачи намечается:

- провести аналитические и экспериментальные исследования по выбору места установки неприводных деформирующих устройств в линии проволочного стана 150–1, включающие разработку технологических схем прокатки с их использованием;
- выполнить расчеты энергосиловых параметров прокатки в этом случае и разработать предложения по корректировке действующей калибровки валков при необходимости;
- разработать и изготовить экспериментальный образец неприводной рабочей клетки;
- провести исследования параметров технологии прокатки с установкой экспериментального образца в линии проволочного стана 150–1 комбината;
- разработать предложения по совершенствованию технологии прокатки на проволочном стане 150–1, обеспечивающие снижение энергозатрат на прокатку при использовании неприводных рабочих клеток, уменьшении нагрузок в силовых цепях приводных клеток и улучшение качества проката;
- разработать исходные данные для проектирования опытно-промышленного образца неприводных рабочих клеток проволочного стана 150–1.

Подводя итог сказанному, отметим, что области использования резерва втягивающих сил трения при непрерывной сортовой прокатке на комбинате не ограничиваются рассмотренными предложениями и могут быть расширены при решении различных других задач производства. Например, таких как освоение бескалиберной прокатки, обеспечивающей упрощение настройки и эксплуатации стана, повышение его технологической гибкости при производстве проката малотоннажными партиями и др.

Разработанная в ИЧМ НАНУ математическая модель непрерывной сортовой прокатки позволяет осуществить выбор эффективного, по характеру поставленной задачи, варианта использования неприводных деформирующих устройств на любом непрерывном сортовом и проволочном стане комбината.

#### **Выводы:**

Рассмотрены перспективы использования неприводных рабочих клеток на непрерывных мелкосортных и проволочных станах Криворожского меткомбината. Показано, что с их использованием можно эффективно решать различные технологические задачи производства. Сформулированы задачи повышения эффективности использования неприводной клетки на однопиточном мелкосортно-проволочном стане 250/150–6 и развития опыта применения неприводных клеток на двухпиточном проволочном стане 150–1 комбината.



1. *Непрерывная* прокатка сортовой стали с использованием неприводных рабочих клетей / А.П.Лохматов, С.М.Жучков, Л.В.Кулаков и др./ – К.: «Наукова думка», 1998. – 242с.
2. *Целиков А.И., Гришков А.И.* Теория прокатки. – М.: Металлургия. – 1970. – 360 с.
3. *Грудев А.П.* Теория прокатки. – М.: Металлургия. – 1998. – 240 с.
4. *Литовченко Н.В.* Материалы научно–технического совещания прокатчиков и калибровщиков металлургических заводов Украины. – Днепропетровск. – 1957. – с.92–103.
5. *Чекмарев А.П., Топоровский М.П.* Взаимосвязь клетей и промежутков между ними при прокатке на непрерывном мелкосортном стане // Науч. тр., ИЧМ. – М.: Металлургия. – 1967. – 22. – С.5–64.
6. *Эффективность* процесса непрерывной сортовой прокатки с использованием неприводных деформирующих устройств./ С.М.Жучков, Л.В.Кулаков, А.П.Лохматов и др.// *Металл и литье Украины.*–2004г.–№ 8 – 10. С.50–52.
7. *Условия* осуществимости процесса непрерывной прокатки сортовой стали с использованием неприводных рабочих клетей / С.М.Жучков, А.П.Лохматов, Л.В.Кулаков и др. // *Известия ВУЗов. Черная металлургия.* – 1998. – № 10. – С.28–31.

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