

*д.т.н. Смирнов А.Н.
(ГВУЗ «ДонНТУ», г. Донецк, Украина),
Максаев Е.Н.
(ПАО «АМК», г. Алчевск Украина),
к.т.н. Куберский С.В., к.т.н. Эссельбах В.С.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ВЫТЯГИВАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ СЛЯБОВОЙ МНЛЗ

Запропоновано основні підходи до модернізації системи витягання безперервнолитого сляба двохструмкової МБЛЗ реалізація яких дозволить зменшити прослизання приводних роликів, знизити ймовірність виникнення коливань рівня металу в кристалізаторі, а також підвищити якість слябової заготовки та вихід придатної металопродукції.

Ключові слова: *безперервне розливання, сляб, витягаюча система, приводний ролик, тиск на безперервно литу заготовку, притиснення, прослизання, коливання рівня, якість.*

Предложены основные подходы к модернизации системы вытягивания непрерывнолитого сляба двухручьевого МНЛЗ реализация которых позволит уменьшить проскальзывание приводных роликов, снизить вероятность возникновения колебаний уровня металла в кристаллизаторе, а также повысит качество слябовой заготовки и выход годной металлопродукции.

Ключевые слова: *непрерывная разливка, сляб, вытягивающая система, приводной ролик, давление на непрерывнолитую заготовку, прижатие, проскальзывание, колебания уровня, качество.*

Среди многообразия проблем решаемых отечественными и зарубежными учеными-металлургами особое место занимают вопросы повышения качества и выхода годной конкурентоспособной металлопродукции.

Основным направлением развития металлургии Украины сегодня следует считать ввод новых мощностей и совершенствование технологии производства, позволяющих существенно повысить качество стальных заготовок и получаемого из них проката.

Одним из основных технологических решений способствующих снижению издержек отечественного производства и повышающих его эффективность является непрерывная разливка стали.

Способ непрерывного литья уже давно доказал свою высокую эффективность и практически полностью заменил технологию разливки стали в изложницы особенно при производстве сталей массового назначения как на крупных интегрированных предприятиях так и на новых металлургических мини-заводах.

Стабильность процесса непрерывной разливки стали в значительной степени зависит от надежности работы основных функциональных систем, в том числе вытягивающей роликовой системы МНЛЗ. Так, резкие колебания поверхности и всплески на мениске металла в кристаллизаторе, приводящие к сбоям в работе системы автоматического поддержания уровня и аварийным ситуациям (переливам металла, «подвисаниям корочки» и т.п.) могут быть в значительной степени связаны с недостаточным прижатием приводных роликов к поверхности сляба, жёсткостью и состоянием роликовой проводки технологической оси ручья и т.п.

Поэтому основной задачей проведенных исследований было определение оптимальных параметров работы вытягивающей системы МНЛЗ с целью повышения качества и увеличения выхода годных непрерывнолитых слябов.

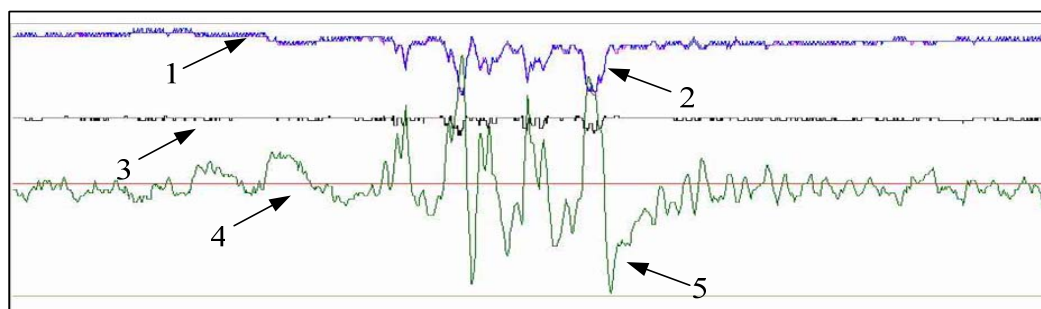
Исследования проводились в современном конвертерном цехе ПАО «Алчевский металлургический комбинат» (ПАО «АМК») где в ходе широкомасштабной реконструкции, произведенной в условиях действующего производства [1,2] были сооружены две современные слябовые МНЛЗ оснащенные новейшими системами автоматизации и механизмами в соответствии с проектными решениями специалистов фирмы «Siemens-VAI» [3,4].

Обе МНЛЗ оборудованы устройствами автоматического поддержания уровня металла в кристаллизаторах с электромагнитными датчиком слежения, гидравлическими приводами управления стопорными механизмами, а также системой раннего оповещения о прорыве «Mold Expert». Принцип действия этой системы основан на определении аварийных и предаварийных ситуаций по изменениям показаний температуры двух рядов термопар, вмонтированных в стенки кристаллизатора, расчётному тепловому потоку охлаждающей воды, стабильности положения уровня металла в кристаллизаторе и т.д.

В настоящее время на ПАО «АМК» в процессе разливки на МНЛЗ слябов толщиной 200 и 220 мм имеют место случаи прекращения вытягивания заготовки и проскальзывания приводных роликов по ее поверхности при снижении скорости разливки либо разгоне приводов после технологических или аварийных остановок. Наиболее часто проскальзы-

вания происходят при разливке слябов шириной от 1000 до 1200 мм из низкоуглеродистых сталей. При отработке технологии непрерывной разливки в период пуска новых МНЛЗ в эксплуатацию остановки вытягивания наблюдались в основном при разгоне приводов после перековшёвок, технологических остановок, а также при выводе хвостовой части сляба из зоны вторичного охлаждения, что неоднократно приводило к «замораживанию» сляба в ручье. По мере износа роликового оборудования сегментов (более 80 % регламентного пробега) описанное явление приобрело постоянный характер. В настоящее время проскальзывание наблюдается на протяжении целых серий плавов даже при постоянной скорости разливки. Это приводит к значительным потерям производства, обусловленным увеличением количества обрезки немерных слябов и времени простоев при удалении «замороженных» слябов из сегментов МНЛЗ в результате «заклинивания» заготовки в машине или прорывов. Основной причиной прорывов в этом случае является неравномерное формирование корочки сляба вследствие колебаний уровня.

Особое внимание в данной работе было уделено кратковременным проскальзываниям приводных роликов, вызывающих динамические рывки вдоль технологической линии заготовки и влияющих на колебания жидкой стали в кристаллизаторе (амплитуда до 80 мм) (рисунок 1).



1 2 3 4 5 6 7 8 время, мин

1,2 – Уставка и текущее положения стопора проковша

3 – Скорость разливки

4,5 – Уставка и текущий уровень металла в кристаллизаторе

Рисунок 1 – Характер колебаний некоторых параметров разливки по причине проскальзывания вытягивающих приводных роликов

Процесс разливки в этом случае становится крайне нестабильным, а аварийные автоматические остановки ручья в результате срабатывания системы «Mold Expert» приводят к значительному росту обрезки. Кроме того, приводные ролики, проскальзывающие из-за слабого прижатия к непрерывнолитому слябу подвергаются дополнительному износу. Определяющим фактором проскальзывания являются резкие колебания скорости и усилий в системе приводов МНЛЗ (рисунок 2).

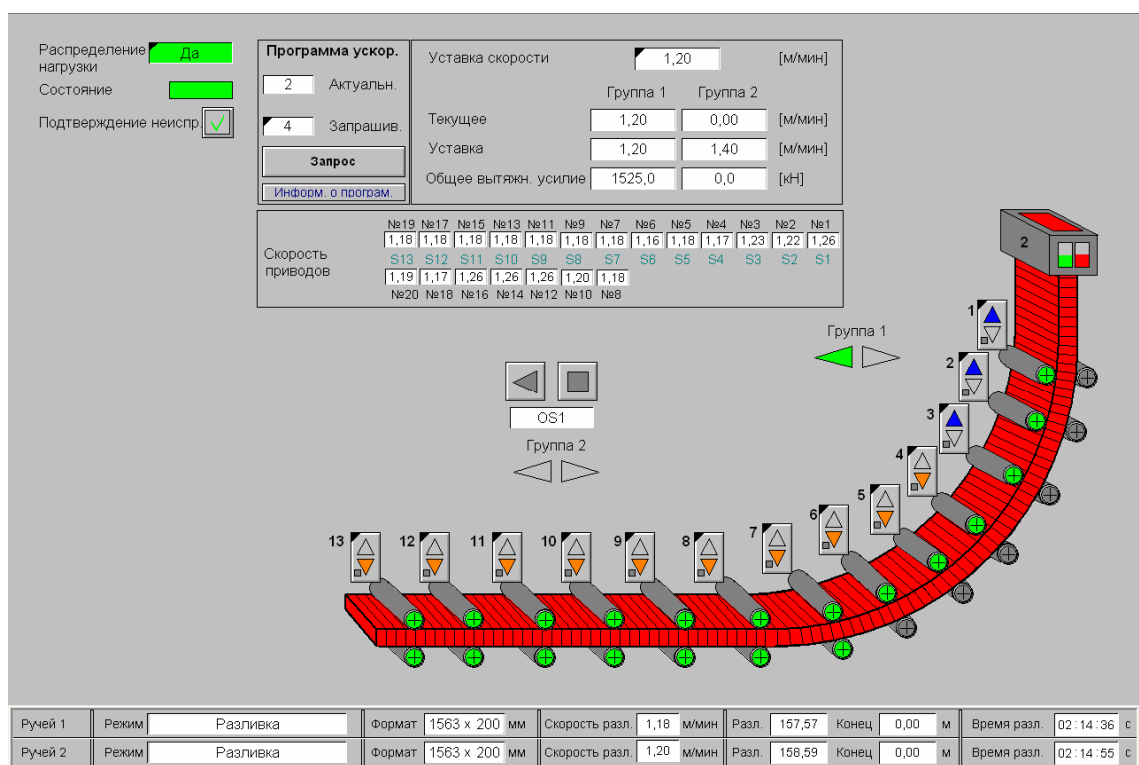


Рисунок 2 – Основные параметры разливки и скорости вращения приводных роликов вытягивающей системы МНЛЗ

В ходе исследований было установлено, что при обеспечении в 13 сегменте давления приводного ролика на горячий сляб на уровне 200 бар (максимально допустимое давление) заметно снижаются колебания уровня металла в кристаллизаторе. Между тем такой прием является крайней мерой и не соответствует номинальным технологическим параметрам. На практике давление 200 бар предусмотрено для перемещения затравки по ручью в начале разливки. Кроме того, такое давление приводит к неравномерному перераспределению усилий вытягивания сляба в системе приводов вдоль ручья.

Гидравлическая схема управления верхними приводными роликами слябовой МНЛЗ (рисунок 3) обеспечивает распределение давления в цилиндрах прижимных роликов по двум линиям (для затравки – РЕ с давлением 200 бар и давлением на вытягиваемый сляб – РН, которое рассчитывается в зависимости от параметров разливки) равное для всех сегментов.

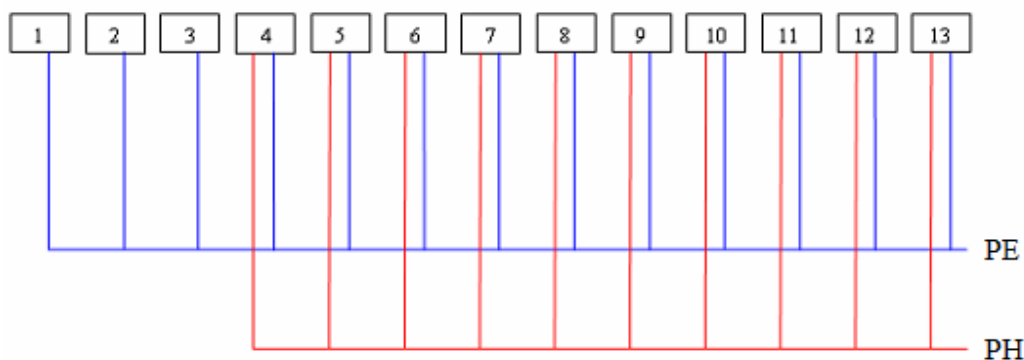


Рисунок 3 – Схема распределения гидравлических линий давления к сегментам при заведении затравки РЕ и на горячий сляб РН

Первые три сегмента давление на горячий сляб оказывают только пассивно.

Расчёт давления приводных роликов на непрерывнолитую заготовку (с 4 по 13 сегмент) разделом «СС Explorer» программы 1 уровня осуществляется по эмпирической формуле (1), которая получена на основании расчёта ферростатического давления и толщины твердой корки слитка при средних параметрах разливки для 4 сегмента. В этом месте толщина корочки заготовки имеет наименьшее значение в сравнении со всеми прижимными роликами, входящими в состав 5-13 сегментов.

$$\text{Set Point} = (P_{\max} - P_{\min}) \times (W - W_{\max}) + P_{\max}, \quad (1)$$

где P_{\max} – максимальное давление (65 бар);

P_{\min} – минимальное давление (20 бар);

W – сечение кристаллизатора (используемое при разливке);

W_{\max} – максимальное сечение кристаллизатора (1,8 м).

На основании рекомендаций специалистов «Siemens-VAI» возможно изменение давления в режиме «ручного выбора оператора» в первом уровне управления процессом на 10-20 % в соответствии с кривой, изображённой на рисунке 4, но на короткий промежуток времени (перековка, технологическая остановка или пониженная скорость разливки).

Рабочий диапазон относительно расчёта алгоритма (1) соответствует прямой – 80%.

При резких изменениях скорости ручья на участке вытягивания заготовки следует рассматривать два основных негативных фактора, отрицательно влияющих на дальнейшую стабильность процесса разливки.

Первый связан с той частью заготовки, которая пребывает как в твёрдом, так и в жидком состоянии. На начальном этапе снижения скорости вследствие динамичности жидкой фазы повышается величина межроликового выпучивания, создавая дополнительное сопротивление вытягиванию приводов. Второй фактор связан с повышенной усадкой уже закристаллизовавшейся части сляба, что способствует снижению контактной поверхности заготовки и нижних приводных роликов. При продолжении разливки на пониженной скорости, формирующаяся более толстая корочка сляба, на всём участке кристаллизации требует большего усилия приводов для загиба и разгиба заготовки.

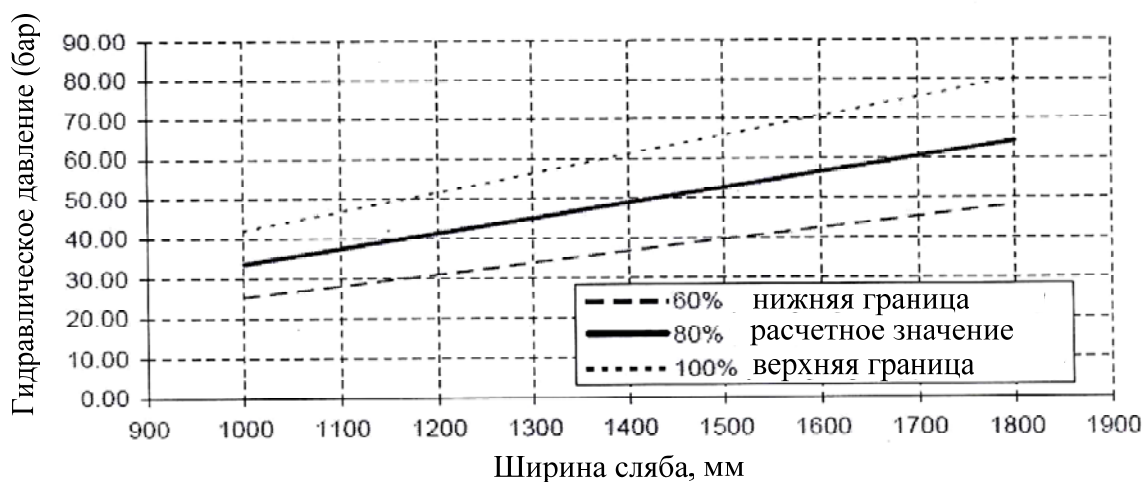


Рисунок 4 – График изменения давления на горячий сляб в соответствии с формулой (1) и возможные пределы его изменения в ручном режиме

Исследованиями было установлено, что повышение давления гидравлических приводных роликов на горячий сляб на 5-10 бар в большинстве случаев положительно влияет на поведение металла в кристаллизаторе, но усложняет автоматизацию процесса, особенно при горячем изменении сечения, т.к. алгоритм предусматривает связь с формулой (1) только в автоматическом режиме управления. Кроме того было отмечено, что данные условия в некоторых случаях не достаточно эффективны, по сравнению с тем как стабилизируется процесс с давлением 200 бар приводным роликом 13 сегмента, а увеличение давления на горячий сляб всех сегментов выше рекомендуемого предела становится опасным в районе 4-го.

Обобщая рассмотренные данные, можно предложить два основных этапа модернизации схемы работы гидравлики приводных роликов на базе существующей системы автоматизации.

Первый этап заключается в усовершенствовании автоматического алгоритма управления давлением линии РН в программе 1 уровня, используя рекомендации графика 4 и расчёты термальных графиков горячего ручья программы 2 уровня (рисунок 5), которые позволяют определить глу-

бину проникновения жидкой фазы в ручье, учитывая перемещение вдоль ручья разнотемпературных участков вплоть до окончания ЗВО.

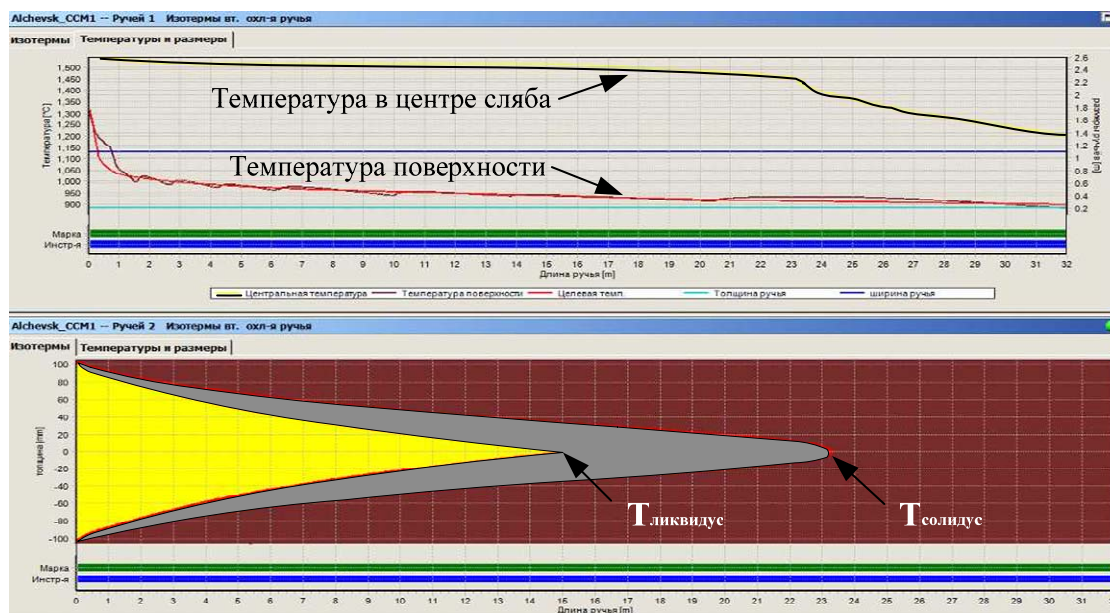


Рисунок 5 – Изотермы по сечению сляба вдоль зоны первичного и вторичного охлаждения из расчёта программы 2 уровня

Положение точки $T_{\text{солидус}}$ вдоль ручья, зависящее от скорости, температуры и характера охлаждения стали может служить определяющим параметром выбора величины давления на непрерывнолитой сляб. Максимальная толщина корочки (t_{max}) в актуальном 4 сегменте может быть определена положением точки $T_{\text{солидус}}$ на глубину $S_{\text{min}} \leq 11$ м (положение 4 сегмента и выше) и соответствовать верхнему пределу давления на горячий сляб. Предположительно полная кристаллизация слитка (например, при перековшовке) будет иметь место непосредственно под кристаллизатором, т.е. в начале ЗВО (глубина 0 м) и в этом случае давление приводного ролика в 4-м сегменте будет соответствовать 100% в соответствии с графиком, представленным на рисунке 4. В то время как t_{min} в том же 4 сегменте определяется положением $T_{\text{солидус}}$ при $S_{\text{max}} = 32$ м и давление роликов на сляб должно соответствовать нижнему пределу значений (80% относительно графика на рисунке 4).

Таким образом, диапазон изменения давления составляет $100-80=20\%$ на участке проникновения $T_{\text{солидус}} - \Delta S = 32$ м. Для шага 1 м плавного изменения давления это будет соответствовать величине $20/32=0,625\%$ на 1 м металлургической длины. Тогда используя формулу (1) можно рассчитать необходимые параметры вытягивающей системы по всей длине технологической оси. Так для сляба шириной 1800 мм в области его полного затвердевания (100% твердой фазы) возможно увеличение давления роликов на сляб до 20% в сравнении с номиналом,

а соответствующие значения P_{\min} и P_{\max} составят 24 и 78 бар. Давление роликов на участки сляба имеющие жидкую фазу должно быть меньше и в соответствии с расчетами составит для середины металлургической длины МНЛЗ (16 м) – $P_{\min} = 22$ бар, $P_{\max} = 75$ бар, а в конце (32 м) – $P_{\min} = 20$ бар, $P_{\max} = 65$ бар. Аналогичные расчеты можно осуществить для любой ширины сляба.

Второй этап может быть реализован в соответствии с опытом работы МНЛЗ других металлургических предприятий. В качестве аналога наиболее привлекательной является конструкция МНЛЗ ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» разработанная фирмой «SMS DEMAG» позволяющая получать слябы толщиной 190, 250 и 300 мм и шириной 1400-2700 мм. МНЛЗ оснащена современными системами автоматики и механизмами, позволяющими получать слябы из трубной стали классов прочности от X80 до X120 для толстолистого стана 5000 [5]. Гидравлическая схема этой машины даёт возможность производить регулирование давления нажимных роликов в каждом сегменте в зависимости от ширины заготовки и ферростатического давления у приводного ролика. Оптимальное давление приводных роликов каждого сегмента на сляб определяется в зависимости от текущих условий разливки и контролируется АСУТП.

Поскольку модернизация на базе имеющейся гидравлической схемы по распределению давления на цилиндр приводного ролика каждого сегмента требует крупных дополнительных вложений, то предлагается разделить 10 приводных сегментов для горячего ручья на две группы давления, внедрив в схему одну дополнительную линию. Таким образом, линия 1 группы РН давления, рассчитываемого по формуле (1) должна быть связана с сегментами 4-9, новая линия РН-1 с давлением превышающим РН за счёт дополнительного эмпирического коэффициента должна обеспечивать давлением приводные ролики в сегментах 10-13 (рисунок 6).

Кроме того, можно предложить конструктивное дополнение в горизонтальных сегментах АСТС.

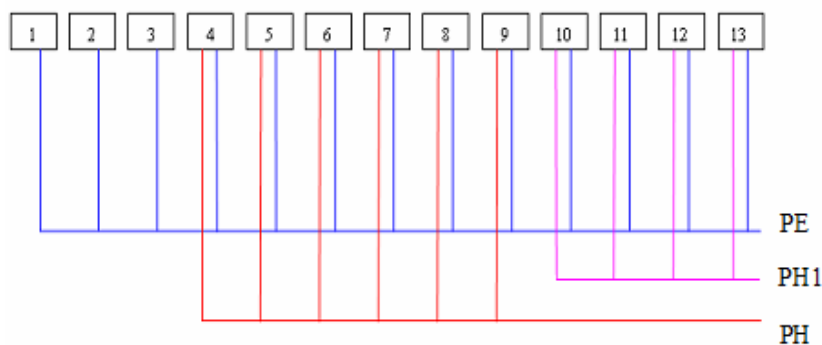


Рисунок 6 – Схема распределения двух групп линий давления горячего ручья РН и РН1 к сегментам

При недостаточной площади контакта приводного ролика с поверхностью слябовой заготовки происходит постоянная неравномерная радиальная выработка, которая будет присуща в большей степени приводным роликам горизонтальных сегментов по внешнему радиусу. Замеры горизонтальных отклонений оси внешней дуги подтвердили, что приводные ролики горизонтальных сегментов имеют значительную выработку и находятся ниже оси на 1-1,5 мм. При этом общее тянущее усилие ручья уменьшается, концентрируя нагрузку на одном или двух приводах. Учитывая конструктивную особенность горизонтального сегмента, обеспечить пассивное давление на поверхность горячего ручья снизу можно только с помощью настройки положения ролика, что потребует значительного времени простоя МНЛЗ.

Достаточно эффективным может быть также внесение некоторых дополнений в конструкцию узла настройки положения нижнего приводного ролика, а именно установка под бандажами упругой эластичной прокладки, которая сможет обеспечивать правильное положение ролика даже при небольшой выработке (рисунок 6). Естественно, что настройка приводного ролика, учитывая упругость материала должна осуществляться в плюсовом допуске. В качестве материала, возможно, использовать полиуретан СКУ-ПФЛ-100 или другие композиции, имеющие необходимые свойства.

Таким образом, в результате проведенных исследований предложены основные подходы к модернизации системы вытягивания непрерывнолитого сляба двухручьевого МНЛЗ ПАО «Алчевский металлургический комбинат», реализация которых позволит уменьшить проскальзывание приводных роликов, снизить вероятность возникновения колебаний уровня металла в кристаллизаторе, а также повысить качество слябовой заготовки и выход годной металлопродукции.

Дальнейшие исследования предполагается сосредоточить на внедрении предложенных мероприятий в условиях конвертерного цеха ПАО «Алчевский металлургический комбинат», с целью уточнения предложенных параметров и усовершенствования технологии получения качественного непрерывнолитого сляба.

Библиографический список

1. Дорофеев В.Л. *Коренная реконструкция ОАО «Алчевский металлургический комбинат» в условиях действующего производства* / Дорофеев В.Л., Завгородний М.С., Тихонюк Л.С., Шевченко Т.Г., Писмарев К.Е. и др. // *Металлург.* - 2008. – №12. – С.11-15.

2. *Alchevsk Steel Works/Ukraine – The faster way to a modernized plant* / Shevchenko T., Mosolov V., Pismarev K. e.a. // *Proceeding 10th Con-*

tinuos Casting Conference: CCC 08. 26-27 May 2008. – Linz. – Siemens-VAI: 2009. – P.1-9.

3. Next Generation Level 2 Systems for Continuous Casting / C.Federspiel, W.Oberaigner, J.Bogner e.a. // Proceedings 5th European Continuous Casting Conference. Nice, June 20-22, 2005. – Nice: ATS, 2005. – P.130-137.

4. Новаторские решения и практические результаты технологии непрерывного литья слябов / Х.-П. Нарцт, С. Келлерер, К. Штахельберг и др. // Черные металлы. – 2003. – №11. – С.34-38.

5. Тахаугдинов Р.С. Развитие непрерывной разливки стали в ОАО ММК / Р.С. Тахаугдинов, Бодиев Ю.А., Горосткин С.В., Юречко Д.В., Корнеев М.В. // Сталь. – 2008. – №7. – С. 24-27.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Петрушовым С.Н.