

В. Г. Герасименко, Л. С. Молчанов

**НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА МЕЛКОСОРТНЫХ
ЗАГОТОВОК ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДЛИННОМЕРНОГО ПРОКАТА**

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України

Аннотация. Целью работы является исследование технологических особенностей перевода металлургических предприятий на выпуск мелкосортной и проволочной металлопродукции из непрерывнолитой заготовки. Рассмотрены основные параметры технологии прокатки: сечение заготовки, выбор места расположения МНЛЗ, схемы передачи непрерывнолитых заготовок к мелкосортным и проволочным станам. Показано, что при использовании непрерывнолитой квадратной заготовки сечением 130x130 мм и 150x150 мм и прямое совмещение МНЛЗ с прокатным станом практически невозможно из-за разности скоростей непрерывной разливки и черновой группы стана. Выполненные расчёты показывают, что схема порезки заготовки и совмещение с промежуточной печью технологически осуществима, однако, дальнейший нагрев заготовки приводит к значительным потерям энергии. Установлено, что эффективным вариантом совмещения МНЛЗ с прокатным станом является использование комплекса оборудования с печью-термостатом для заготовки длиной 120 м. Данная технологическая схема позволяет сократить расход энергии на нагрев заготовки не менее, чем на 53%. Предлагаемая технология совмещения МНЛЗ с прокатным станом обеспечит экономии металла за счёт снижения толщины слоя окалины до 0,4-0,73 мм (в среднем 1,1% от массы заготовки), улучшит его качество за счёт уменьшения глубины обезуглероженного слоя с 1,1 мм до 0,3 мм. Технология предусматривает транспортировку жидкой стали в ковше из сталеплавильного цеха, разливку на МНЛЗ, размещенных в сортопрокатном цехе, выявление дефектов в потоке в горячем состоянии заготовки и подачу их с температурой 850⁰С в высокотемпературные печи для подогрева и на стан для прокатки.

Ключевые слова: МНЛЗ, прокатный стан, непрерывнолитая заготовка, совмещение

Ссылка для цитирования: Герасименко В.Г., Молчанов Л.С. Направления развития производства мелкосортных заготовок для получения длинномерного проката // «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». – 2018. – Вып.32. – С.259-274.

Doi:

V.G. Gerasimenko, L.S. Molchanov

**Directions of development of production of small- size billets for long products
Iron and Steel Institute named after Z.I. Nekrasov of the NAS of Ukraine**

Abstract. The aim of the work is to study the technological features of the transfer of metallurgical enterprises to the production of small-size and wire metal products from continuously cast billets. The main parameters of the rolling technology are considered: the size of the billet, the choice of the location of the continuous casting machine, the

transfer scheme of continuously cast billets to small- size and wire mills. It is shown that when using a continuously cast square billet with a size of 130x130 mm and 150x150 mm, direct combination of a continuous casting machine with a rolling mill is almost impossible due to the difference in the speed of continuous casting and the roughing group of the mill. The performed calculations show that the scheme of cutting the billets and combining with the intermediate furnace is technologically feasible, however, further heating of the billets leads to significant energy losses. It has been established that an effective option for combining the continuous casting machine with a rolling mill is to use a complex of equipment with a furnace-thermostat for a billets 120 m long. This flowchart reduces the energy consumption for heating the billets by at least 53%. The proposed technology of combining the continuous casting machine with a rolling mill will provide metal savings by reducing the thickness of the scale to 0.4-0.73 mm (an average of 1.1% of the mass of the billet), improve its quality by reducing the depth of the decarburized layer from 1.1 mm to 0.3 mm. The technology provides for the transportation of liquid steel in the ladle from the steel-smelting shop, casting on the continuous casting machine, identification of defects in the billets in a hot condition, supply of the billets with a temperature of 850⁰C to high-temperature furnaces for heating and subsequent rolling.

Key words: continuous casting machine, rolling mill, continuous casting, combination

For citation: Gerasimenko V.G., Molchanov L.S. Directions of development of production of small- size billets for long products // *«Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii»*. – 2018. – Выпуск 32. P.259-274. (In Russ.).

Doi:

В.Г. Герасіменко, Л.С. Молчанов

Напрямки розвитку виробництва дрібносортих заготовок для отримання довгомірного прокату

Інститут чорної металургії ім.З.І.Некрасова НАН України

Анотація. Метою роботи є дослідження технологічних особливостей переведення металургійних підприємств на випуск дрібносортової і дрютяної металопродукції з безперервнолітої заготовки. Розглянуто основні параметри технології прокатки: перетин заготовки, вибір місця розташування МБЛЗ, схеми передачі безперервнолітих заготовок до прокатних станів. Показано, що при використанні безперервнолітої квадратної заготовки перерізом 130x130 мм і 150x150 мм пряме сполучення МБЛЗ з прокатним станом практично неможливо через різницю швидкостей безперервного розливання і чорнової групи стану. Виконані розрахунки показують, що схема різання заготовки та суміщення з проміжною піччю технологічно здійсненна, однак, подальше нагрівання заготовки призводить до значних втрат енергії. Встановлено, що ефективним варіантом поєднання МНЛЗ з прокатним станом є використання комплексу обладнання з піччю-термостатом для заготовки довжиною 120 м. Дана технологічна схема дозволяє скоротити витрату енергії на нагрів заготовки не менше, ніж на 53%. Пропонована технологія суміщення МНЛЗ з прокатним станом забезпечить економію металу за рахунок зниження товщини шару окалини до 0,4-0,73 мм (в середньому 1,1% від маси заготовки), поліпшить його якість за рахунок зменшення глибини знеуглецьеного шару з 1,1 мм до 0,3 мм. Технологія

*«Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – 2018. - Вып.32
«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2018. – Collection 32
«Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2018. – Выпуск 32*

передбачає транспортування рідкої сталі в ковші з сталеплавильного цеху, розливання на МНЛЗ, виявлення дефектів заготовки в гарячому стані, подачу заготовки з температурою 850⁰С у високотемпературні печі для підігріву та подальшого її прокатування.

Ключові слова: МНЛЗ, прокатний стан, безперервнолита заготовка, суміщення

Посилання для цитування: Герасименко В.Г., Молчанов Л.С. Направлення розвитку виробництва мелкосортних заготовок для отримання довгомерного проката // *«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії»*. – 2018. – Вип.32. – С.259-274.

Doi:

Состояние вопроса. Предприятия черной металлургии Украины относятся к крупнейшим поставщикам сортовой заготовки и длинномерного проката на мировой рынок. Исторически сложилось, что черная металлургия Украины выпускает, примерно, 60 % сортовой продукции от общего количества выпускаемого проката и, где около половины выпускаемой сортовой продукции производится на мелкосортных и среднесортных станах.

Переход на рыночные отношения, выход цен на энергоносители на мировой уровень, повышение требований к экологической загрязненности производства, а также в условиях жесткой конкуренции, перед отечественными производителями встала проблема скорейшего повышения качества длинномерного проката, т.е. определения условий совершенствования технологических процессов производства сортовой заготовки и тенденций развития требований к её качеству.

В настоящее время на некоторых металлургических предприятиях Украины проводится техническое перевооружение сталеплавильного производства с переводом с разливки в слитки на непрерывную разливку и параллельным внедрением агрегатов внепечной обработки стали.

За последние десятилетия наибольший прогресс при производстве сортовой заготовки получила технология по методу непрерывной разливки. Согласно данным швейцарской фирмы “Concast”, на начало 2010 года в мире насчитывалось более 4000 ручьев сортовых МНЛЗ, что обеспечило разливку свыше 360-380 млн. т непрерывнолитой сортовой заготовки в год [1].

Развитию и тотальному использованию метода непрерывной разливки сортовой заготовки способствовали следующие достижения:

- повышение производительности МНЛЗ за счёт увеличения количества ручьёв (до 6-8) и скорости вытяжки заготовки;
- кардинальное улучшение качества непрерывнолитой заготовки за счёт внедрения различных видов внепечной обработки (агрегатов «ковш-печь», установок доводки стали, вакууматоров), а также благодаря автоматизации процесса разливки и оптимизации эксплуатационных показателей расходуемых и огнеупорных материалов;
- освоение технологии непрерывной разливки сортовой заготовки с использованием защиты стали от вторичного окисления и электромагнитного перемешивания металла в кристаллизаторе для получения бездефектных непрерывнолитых заготовок;

– создание и конструктивное оформление концепции универсальных высокоэффективных модулей, объединяющих высокопроизводительный плавильный агрегат (мощную дуговую сталеплавильную печь или конвертер), агрегат для комплексной доводки стали в ковше («ковш-печь»), высокопроизводительную многоручьевую МНЛЗ и мелко или среднесортного прокатного стана.

Целью работы является исследование технологических особенностей перевода металлургических предприятий на выпуск мелкосортной и проволочной металлопродукции из непрерывнолитой заготовки.

Постановка задачи. Переход на непрерывную разливку требует решения следующих задач:

- выбор оптимального сечения непрерывнолитой заготовки;
- обоснование типа и количества МНЛЗ;
- выбор места расположения отделения непрерывной разливки стали;
- согласование работы сталеплавильных агрегатов отделения непрерывной разливки и прокатных станов;
- обоснование технологий внепечной обработки стали и оборудования с учетом марочного сортамента предприятия;
- уточнения специализации выпуска металлопродукции прокатными станами;
- обоснование схемы передачи сортовой заготовки к нагревательным печам прокатного стана (привязки МНЛЗ к прокатному стану);
- определение необходимой степени реконструкции прокатных станов и решение вопроса дальнейшей эксплуатации блюмингов.

Основной целью привязки МНЛЗ к прокатному стану является экономия энергии, при этом для дальнейшего процесса используется тепло непрерывнолитых заготовок. Можно получить и другие преимущества: сокращение складского хозяйства, снижение энергозатрат нагревательной печи и уменьшение потерь за счёт окалины.

Известны различные способы привязки, позволяющие экономить энергию «горячий посад» или прямая прокатка. И если согласование работы систем «Слябовая МНЛЗ – прокатный стан или крупносортная МНЛЗ (блюм) – прокатный стан» решается без особых затруднений, то согласование работы системы «сортовая МНЛЗ – мелкосортный прокатный стан» имеет свои особенности. При этом возникают определённые трудности при выборе рациональной схемы перевода сталеплавильного производства на непрерывную разливку, что также может вызвать необходимость реконструкции прокатного производства предприятия производящего длинномерный прокат, мелкосортную или проволочную металлопродукцию.

Поэтому в дальнейшем будут детально проанализированы важнейшие задачи перевода сталеплавильного производства на производство мелкосортных заготовок для производства длинномерного проката, мелкосортную или проволочную металлопродукцию, схемы передачи сортовой заготовки к нагревательным печам прокатного стана (привязки МНЛЗ к прокатному стану, а также выбор рациональных технологий внепечной обработки стали в зависимости

от марочного сортамента стали, которую необходимо разливать на МНЛЗ в мелкосортную заготовку).

С учётом назначения сортовые заготовки можно условно разделить на две группы. В группу I входят заготовки из углеродистой, легированной и высоколегированной стали, которые используют для производства сортового проката с контролем макроструктуры. Его применяют преимущественно в машиностроении и автомобилестроении. К группе II относятся заготовки из углеродистой и низколегированной стали, которые прокатывают без контроля макроструктуры; металлопродукция в виде периодического профиля, уголков, двутавров, проволоки и др. предназначена для строительной индустрии [2].

Таблица 1. Основные особенности конструкции МНЛЗ и технологии отливки сортовых заготовок группы I и II различного назначения

Конструкция МНЛЗ, наименование операции	I	II
1	2	3
Тип МНЛЗ	Криволинейные с прямым кристаллизатором; радиус криволинейной части ≥ 40 толщин слитка	Преимущественно криволинейные или радиальные; радиус 40 толщин слитка
Тип кристаллизатора	Гильзовые; с параболической конусностью и упрочняющим покрытием рабочей полости; длина 800-1000 мм	Гильзовые; конусные с упрочняющим покрытием рабочей полости; длина 800-1000 мм
Нулевая поддерживающая роликовая секция	По два ряда роликов, жёстко соединённых с кристаллизатором	По два ряда роликов, жёстко соединённых с кристаллизатором
Расположение первого отгибающего ролика	Более 0,6 м под кристаллизатором	Нет. Более 0,6 м под кристаллизатором
Тип датчика контроля уровня металла в кристаллизаторе	Индукционный, радиоактивный	Оптический, радиоактивный
Механизм вытягивания слитков	Индивидуальный на каждый ручей	Индивидуальный на каждый ручей
Механизм возвратно-поступательного движения кристаллизатора	Должен обеспечить амплитуду 3-7 мм, частоту 150-300 1/мин	Должен обеспечить амплитуду 3-7 мм, частоту 150-300 1/мин
Зона вторичного охлаждения и её протяженность	Форсуночная водяная или водо-воздушная на длине 3,5 – 5,0 м	Водяное форсуночное на длине 3,0 – 4,0 м

Промежуточный ковш	Стопорный или шиберный с уровнем расплава 800-1000 мм; рабочий слой футеровки на основе MgO или Al ₂ O ₃	Стопорный или шиберный с уровнем расплава 800-1000 мм; рабочий слой футеровки на основе MgO или Al ₂ O ₃
Устройство для защиты струи металла	Механизмы для установки огнеупорных труб и стаканов	Разливка открытой струей. Стакан- дозатор.
Расстояние от нижнего торца стакана (дозатора) в промежуточном ковше до кристаллизатора, мм	200	300
Резка слитков на заготовки	Автоматическая, газовая, механическими ножницами	Механическими ножницами, на машинах импульсной резки (МИР); газовая
1	2	3
Подготовка металла к разливке	Ограничение содержания до 0,02% Al и 0,015% S. Перевод включений в соединения алюминия с кальцием. Перегрев над ликвидусом в промежуточном ковше 20-30 ⁰ С. Усреднение состава металла и его температуры в сталеразливочном ковше	Ограничение содержания до 0,005% Al и 0,015% S; обеспечение Mn/Si > 3,0; перегрев над ликвидусом в промежуточном ковше 30-40 ⁰ С. Усреднение состава металла и его температуры в сталеразливочном ковше
Количество плавков в серии	До 10 - 15	До 24
Скорость разливки стали, м/мин, при отливке заготовок квадратного сечения 150 и 100 мм	2,5 – 5,0	2,5 – 5,0
Защита поверхности металла в промежуточном ковше	Шлаком ТИС	Шлаком ТИС
Защита металла в кристаллизаторе	Шлаком (0,5 кг/т) ШОС	Продуктами неполного сгорания рапсового масла, ШОС (0,2 кг/т)
Защита струи «сталеразливочный промежуточный ковш»	Огнеупорной трубой	Огнеупорной трубой для стали некоторых марок
Дозирование металла из промежуточного ковша в кристаллизаторы	Стопорной парой, шиберным затвором	Дозатором диам. 14-15 мм

Точность поддержания уровня металла в кристаллизаторе и способ его реализации	$\pm 3-5$ мм; изменением расхода металла и скорости вытягивания слитка	± 15 мм; изменением скорости вытягивания слитка
Точность центрирования струи относительно оси кристаллизатора, мм	± 5	± 10
Температура поверхности слитка перед входом в правильно-тянущую клетку, °С	850-900	850-900

За рубежом уже в течение ряда лет рассматриваются вопросы увязки в единый комплекс сталеплавильное производство, внепечную обработку стали, непрерывную разливку заготовок на МНЛЗ и прокатный стан.

Если вопросы состыковки сталеплавильного производства с МНЛЗ в общем решены на достаточно высоком технологическом уровне, то вопросы состыковки в комплексе «МНЛЗ – прокатный стан» ещё находятся в стадии проработки. Особенно много вопросов возникает в реализации комплекса «МНЛЗ-сортопрокатный стан» [3-9].

Решение поставленной задачи. В современную сортовую МНЛЗ обязательно должны быть заложены следующие конструктивные и технологические решения [10-11]:

- производительность одного ручья – до 250 тыс.т стали в год;
- скорость разливки – до 6 м / мин;
- разливка осуществляется преимущественно закрытой струёй (в случае необходимости открытой);
- кристаллизатор удлиненный параболический или другой геометрической формы, способствующей эффективному формированию качественной твёрдой корочки;
- количество точек разгиба заготовки – 2 и более;
- предпочтительное количество ручьёв – 4-6 (в случае необходимости 7-8);
- количество зон в зоне вторичного охлаждения (ЗВО) 3 или 4 (последняя вода-воздух);
- электромагнитное перемешивание в кристаллизаторе;
- автоматический контроль уровня металла в кристаллизаторе;
- механизм качания кристаллизатора – гидравлический.

Главным направлением развития технологии разливки и конструкции сортовых МНЛЗ (наряду с улучшением качества заготовки) является существенное повышение их производительности [10-11]. Задача эта сложная и многокомпонентная. Один из путей её решения – увеличение количества плавок, разливаемых без остановки машины. Наличие

больших резервов в данном направлении подтверждается известными рекордными показателями: мини завод «Нукор Стил Плимут» (США) – 349 плавок, завод «Сикарца Тручас» (Мексика) – 319 плавок [7, 8].

Традиционно машины непрерывной разливки размещались в сталеплавильных цехах, расположенных на больших расстояниях от прокатных. Это делало практически невозможным применение прямой прокатки и «горячего всада». Зарубежный опыт освоения процессов прямой прокатки и «горячего всада» непрерывнолитых заготовок свидетельствует о целесообразности строительства МНЛЗ в непосредственной близости от прокатного стана, даже за счёт их удаления от сталеплавильных агрегатов на расстояние до 600 метров.

Имеющиеся в настоящее время схемы стыковки МНЛЗ с сортопрокатным станом показывает, что ещё не найдены технологические решения, позволяющие полностью использовать тепло, имеющееся в заготовках на выходе с МНЛЗ. Реализация предлагаемых технических решений позволяет использовать не более 25 % энергии, имеющейся в выходящей из МНЛЗ сортовой заготовки.

Совмещение непрерывного литья с обработкой давлением (прокатки) представляет собой достаточно сложную инженерную проблему. Основными препятствиями в состыковке (совмещении) технологических процессов литья и прокатки являются:

- несоответствие производительностей машин непрерывного литья заготовок и прокатного стана;
- несоответствие (примерно на порядок) максимальной скорости литья заготовок и требуемой скорости начала прокатки;
- проблема сохранения тепла медленно движущейся заготовки.

На большинстве металлургических предприятий Украины до сих пор работают старые мелкосортные и проволочные станы, где одним из слабых мест является малое сечение исходной заготовки (от 80×80 мм до 105×105 мм). При состыковке МНЛЗ с мелкосортным станом возможно применение заготовок сечением 130×130 мм. Как показал опыт мини-заводов, качество заготовок, позволяющее получать прокат сечением до круга 40 мм [3-8].

Однако при использовании тяжелых заготовок требуется увеличение конечной скорости прокатки. Если не увеличивать конечную скорость, то начальная скорость будет слишком низкой, что приведёт к быстрому износу валков на линии черновых клетей, а также неблагоприятному температурному распределению в прокатываемом материале во время прокатки. Обычные скорости прокатки на старых станах, составляющие от 50 до 60 м/с, можно увеличить вдвое, так как современные чистовые блоки работают на скорости 100-120 м/с. Это приведёт к уменьшению вдвое количества клетей при сохранении почасовой производительности

стана. Классический четырёхклетевой проволочный стан старого образца превращается, таким образом, в двухклетевой [3-5]. Производственный процесс между МНЛЗ и сортовым прокатным станом представлен на рис.1.

Исследованиями технологии производства сортового проката из непрерывнолитой заготовки квадрат 130 и 150 мм установлено, что прямое совмещение МНЛЗ с прокатным станом практически невозможно из-за разности скоростей непрерывной разливки и черновой группы стана. В случае порезки заготовок будет наблюдаться низкая производительность стана из-за большого цикла. Проведенные расчёты подтверждают непригодность данного варианта для промышленного внедрения.

Совмещение с промежуточной печью для непрерывнолитой заготовки квадрат 130 и 150 мм нашло широкое применение за рубежом. Выполненные расчёты показывают, что эта схема технологически осуществима, однако, приводит к значительным потерям энергии, так как необходимо практически полное остывание заготовки и её дальнейший нагрев. Даже применение промежуточного термостата со встречным потоком остывающих и нагреваемых заготовок доводит использование энергии не более, чем на 25%.

Наиболее эффективный вариант состыковки МНЛЗ с прокатным станом при применении непрерывнолитой заготовки квадрат 130 и 150 мм из углеродистых и низколегированных марок стали, в котором применяется комплекс оборудования, в основе которого лежит печь-термостат для заготовки длиной 120 м. Данный способ состыковки позволяет сократить расход энергии на нагрев заготовки не менее, чем на 53%.



Рисунок 1 – Производственный процесс между УНРС и прокатным станом

Предлагаемая технология состыковки МНЛЗ с прокатным станом обеспечит экономию металла за счёт снижения толщины слоя окалины до 0,4- 0,73 мм (в среднем 1,1% от массы заготовки), улучшит его качество за счёт уменьшения глубины обезуглероженного слоя с 1,1 мм до 0,3 мм.

Следует иметь в виду, что нагрев металла под прокатку, особенно с «холодного всада», сопровождается высокотемпературным окислением стали и её поверхностным обезуглероживанием. Для определения потерь металла за счёт окалинообразования необходимо знать толщину её слоя, которая зависит от температуры и продолжительности окисления, химсостава металла, газовой среды и других факторов.

Высокотемпературное окисление стали сопровождается обезуглероживанием поверхностного слоя. Это приводит к значительному ухудшению механических свойств: снижению твёрдости, предела усталости, закаливаемости, увеличивает склонность к закалочным трещинам, к расслоению, короблению при обработке давлением. Глубина обезуглероженного слоя зависит от условий окисления (температуры, продолжительности нагрева и т.д.).

Очевидно, выгодно использование подогретой до температуры прокатки непрерывнолитой заготовки (совмещение с промежуточной печью или промежуточным термостатом). Из-за сокращения времени нагрева резко уменьшается окалинообразование и, что не менее важно, снижается величина обезуглероженного слоя.

Основной результат привязок МНЛЗ к прокатному стану – экономия теплоэнергии, так как для дальнейшего процесса используется тепло литой заготовки. Кроме того, имеются и другие преимущества – экономия металла за счёт уменьшения угара в печах, сокращение складского хозяйства сталеплавильного и прокатного цехов, уменьшение вредных выбросов в окружающую среду, уменьшение капитальных затрат на строительство нагревательных печей.

Предлагаемая технология предусматривает транспортировку жидкой стали в ковше из сталеплавильного цеха, разливку на МНЛЗ, размещенных в сортопрокатном цехе, выявление дефектов в потоке в горячем состоянии и подачу горячих заготовок с температурой 850⁰С в высокотемпературные печи для подогрева и на стан для прокатки.

Эффективность новой технологии рассчитана по сравнению с традиционной на: размещение МНЛЗ в сталеплавильном цехе, охлаждение литых заготовок после разливки, доставка их к прокатному цеху в холодном состоянии, холодный посад в нагревательную печь и нагрев до необходимой температуры прокатки.

При нагреве горячего посада существенно снижается расход тепла на нагрев металла, в то время как потери тепла (мощность холостого хода) и коэффициент использования тепла, которые в значительной мере зависят от факторов, связанных с конструкцией печи изменяются мало.

Образование окалины при нагреве является источником потерь годного металла. На образование окалины влияет температура нагрева, продолжительность пребывания металла при высоких температурах, скорость нагрева. По базовой технологии (холодный посад) толщина слоя окалины составляет 0,6 мм или 1,9% от массы заготовки.

Предлагаемая технология горячего посада заготовок обеспечивает снижение толщины слоя окалины до 0,3-0,4 мм или в среднем до 1,1% от массы заготовки.

Наряду со снижением окисления металла уменьшение продолжительности пребывания металла в печи обеспечит уменьшение глубины обезуглероженного слоя, который по базовой технологии составляет 1,1 мм, а по новой 0,3 мм.

Увеличение сечения заготовки возможно потребует установки дополнительных клетей на линиях черновых и промежуточных клетей, что не повлияет на начальную скорость прокатки и почасовую производительность стана. Для мелкосортных и проволочных станов сечение исходной заготовки можно увеличить ориентировочно до 150×150 мм. Выбор оптимального сечения требует анализа размерного и марочного сортамента металлопродукции комбината с учётом необходимых коэффициентов вытяжки (не менее 6-10) [3, 4].

Значительно повысить качество сортовой заготовки можно при перекате непрерывнолитых блюмов [6, 11]. Однако, эта технология сопряжена с определенными дополнительными затратами энергии и снижением выхода годного. Например, выход годного проката при переходе с блюма крупного сечения на сортовую заготовку может быть увеличен в среднем на 3-4%. Сравнительная схема технологической цепочки получения длинномерной металлопродукции непрерывнолитых блюмов и сортовой заготовки показан на рис.2.


Технологические этапы	
Блюм	Сортовая заготовка
Относительно простая доводка стали в ковше	
Непрерывная разливка на блюмовой МНЛЗ	
Контроль качества поверхности	
Удаление поверхностных дефектов (обдиранье, зачистка и т.д.)	
Нагрев перед прокаткой	
Прокатка до сечения сортовой заготовки	
Охлаждение заготовки	
Контроль качества поверхности	
Удаление поверхностных дефектов (зачистка и т.д.)	
Нагрев перед прокаткой	
Прокатка до готовой продукции	
Остаточный контроль качества продукции	
Маркировка, упаковка, отгрузка	
	Прокатка до готовой продукции
	Остаточный контроль качества продукции
	Маркировка, упаковка, отгрузка

Рисунок 2 – Сравнительная схема технологической цепочки получения длинномерной металлопродукции непрерывнолитых блюмов и сортовой заготовки

Информация о возможностях производства сортовой непрерывнолитой заготовки в Украине и странах ближнего и дальнего зарубежья, которые являются основными конкурентами на мировом рынке сортовой заготовки, приведена в табл.2.

Таким образом, благодаря последним достижениям в области непрерывной разливки, созданы все необходимые предпосылки для производства сортовой заготовки в сталеплавильных цехах с высокой единичной мощностью основных агрегатов. Это достигается путём использования многоручьевых МНЛЗ с высокой скоростью разливки заготовки в совокупности с применением агрегатов внепечной обработки стали типа «ковш-печь», вакууматоров, агрегатов доводки стали и др.

Таблица 2. Основные показатели производства длинномерной непрерывнолитой заготовки

Наименование завода, страна	Тип плавильного агрегата	Вид внепечной обработки	Количество МЛНЗ, ручьев	Размеры поперечного сечения заготовки, мм
1	2	3	4	5
Мини металлургический завод «ИСТИЛ», (Донецк, Украина)	EAF 120	LF, VD	1x6	100-150 120-180
Днепропетровский металлургический комбинат, (Днепропетровск, Украина)	BOF 230	Ar, (LF)	2x6	335x400 280x320 160x160
Енакиевский металлургический завод, (Енакиев, Украина)	BOF 160	LF	1x6	100-150
Белорусский металлургический завод, (Жлобин, Белоруссия)	EAF 100	LF, VD, RH	2x6 1x4	100-140 250x300 300x400
Молдавский металлургический завод, (Рыбница, Молдавия)	EAF 100	LF	1x6	125
Оскольский электрометаллургический комбинат, (Старый Оскол, Россия)	EAF 150	LF, DH	4x4	300x360

Череповецкий металлургический комбинат «Северсталь», (Череповец, Россия)	EAF 130	LF, VD/VOD	1x6	100-150
Волжский трубный завод, (Волжский, Россия)	EAF 150	LF, VD/VOD	3x4	240-360
Huta Ostrowiec (Польша)	EAF 150	VD	2x4	220-300 280x320
Huta Ostrowiec Spolka, Ostrowiec (Польша)	EAF 145	LF	1x6	100-160
Huta Zawiercie, (Zawiercie Польша)	EAF 140	LF	1x6	140
Huta Chenstochowa, Chenstochowa, (Польша)	EAF 100	LF	1x3	250-280
Elstal Labedi, Glivici (Польша)	EAF 60	LF	1x3	125-160 140x160-200
Huta Katowice, Katowice (Польша)	BOF 330	LF, VD	1x6	280x300 280x400
Huta Katowice, Katowice (Польша)	BOF	LF, VD	1x6	100-200 190x220
Huta Warszawa Steel, Warszawa (Польша)	EAF 80	LF, VOD	1x5	140-200x240 200
Huta Warszawa Steel, Warszawa (Польша)	EAF 80	LF, VOD	1x3	200x320 200-320
Trinecke Zelezarny, Trinec (Чехия)	BOF 180	VD, IR-UT	1x5	250x320 300x350 410
Trinecke Zelezarny, Trinec (Чехия)	BOF 180	VD, IR-UT	1x5	108-200 160x220
Nova Hut, Ostrava (Чехия)	OHF	LF	1x6	130x180 210
Zeeleziarne Podbresova (Словакия)	EAF 60	LF	1x4	160x225
Combinatul Siderurgic, Galati (Румыния)	BOF 180		3x4	260x350
Galarasi Iron Steel Works, Galarasi (Румыния)	EAF 100	LF	2x4	230x260

Galarasi Iron Steel Works, Galarasi (Румыния)	BOF 160	LF	2x6	260x350
DIMAG RT Diosgyoer, Miscole (Венгрия)	EAF 80	LF, VOD	1x5 1x3	120x225 240x350
Steel Works of North Greece, Saloniki (Греция)	EAF 80	LF	1x4	100-130 130x300
Helliniki Halyvourgia, Athens (Греция)	EAF 80	Ar	1x4	100-140
Металлургический комбинат, (Перник, Болгария)	EAF 100	LF	1x4	200-250
Металлургический завод «Сарканайс металургс» (Лиепая, Латвия)	OHF	Ar	2x8	120-160

Как видим, в странах-соседях производится практически весь спектр сортовой заготовки с преимущественным использованием агрегатов типа «ковш-печь», что позволяет говорить о высоком качестве металлопродукции. Особое внимание обращают на себя объёмы и характер проведенной за последнее десятилетие реструктуризация металлургического комплекса Польши. Вне всякого сомнения, Польша вышла на лидирующие позиции в регионе по производству длинномерной заготовки и проката.

Выводы

Рассмотрены технологические особенности выбора схем перевода металлургических предприятий, ориентированных на выпуск мелкосортной и проволочной продукции на непрерывную разливку для производства длинномерной продукции.

Установлено, что эффективным вариантом совмещения МНЛЗ с прокатным станом является использование комплекса оборудования с печью-термостатом для заготовки длиной 120 м. Данная технологическая схема позволяет сократить расход энергии на нагрев заготовки не менее, чем на 53%. Предлагаемая технология совмещения МНЛЗ с прокатным станом обеспечит экономию металла за счёт снижения толщины слоя окалины до 0,4-0,73 мм (в среднем 1,1% от массы заготовки), улучшит его качество за счёт уменьшения глубины обезуглероженного слоя с 1,1 мм до 0,3 мм.

Бібліографічний список

1. *Смирнов А.Н.* Непрерывная разливка сортовой заготовки: Монография. – Донецк: Цифровая типография, 2012. – 417 с.
2. *Производство* непрерывнолитых сортовых заготовок различного назначения / Кан Ю.Е., Лейтес А.В. // *Сталь*. – 1993. – №1. – С. 24-29.
3. *Технологические* особенности выбора рациональных схем перевода металлургических комбинатов, ориентированных на выпуск мелкосортной металлопродукции на непрерывную разливку стали / Герасименко В.Г., Бойченко Б.М., Перерва В.Я., Чайка Д.В. // *Теория и практика металлургии*. – 2011. – №5-6. – С. 44-47.
4. *Совмещение* непрерывной разливки с обработкой давлением при производстве мелкосортного проката / Герасименко В.Г., Синегин Е.В., Молчанов Д.А., Мусунов Д.А. // *Литьё 2014*. Материалы X Международной научно-практической конференции. Запорожье, 27-29 мая 2014 – Запорожье 2014 – с.305-307.
5. *Предпосылки* создания литейно-прокатных модулей и перспективы их развития в Украине / Герасименко В.Г., Синегин Е.В., Молчанов Д.А., Мусунов Д.А. // *Литьё 2014*. Материалы X Международной научно-практической конференции. Запорожье, 27-29 мая 2014 – Запорожье 2017 – С. 309-312.
6. *Безперервне* розливання сталі / О.М. Смірнов, С.В.Куберський, С.В.Штепан. – Алчевськ: ДонДТУ, 2011 – 518 с.
7. *Хаук А.* Модернизация действующих проволочных прокатных НМРТ, 1994. – С. 122-128.
8. *Горячий* посад слябов и прямая прокатка / Визингер Х., Хишманнер Ф. // *Чёрные металлы* – 1984. – №22. – С. 38-43.
9. *Свейновский У.* Привязка УНРС к мелкосортным и проволочным станам // МРТ. – 1993. – С.56-62.
10. *Теория* и практика непрерывного литья заготовок / Смирнов А.Н., Глазков А.Я., Пилишенко В.Л. и др. – Донецк: ДонГТУ, ООО«Лебедь», 2000. – 371 с.
11. *Процессы* непрерывной разливки: Монография / Смирнов А.Н., Пилишенко В.Л., Минаев А.А. и др. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – 536 с.
12. *Технология* производства стали в современных конвертерных цехах / С.В. Колпаков, Р.В. Старов, В.В. Смоктий и др. Под общей редакцией С.В. Колпакова – М.: Машиностроение, 1991 – 461 с.
13. *Проектирование* и оборудование электросталеплавильных и ферросплавных цехов / Гладких В.А., Гасик М.И., Овчарук А.Н., Пройдак Ю.С.. – Днепропетровск: Системные технологии, 2004. – 736 с.

Reference

1. Smirnov A.N. Nepreryvnaya razlivka sortovoy zagotovki: Monografiya. – Donetsk: Tsifrovaya tipografiya, 2012. – 417 s.
2. Proizvodstvo nepreryvnolitykh sortovykh zagotovok razlichnogo naznacheniya / Kan YU.Ye., Leytes A.V. // *Stal'*. – 1993. – №1. – S. 24-29.

«Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – 2018. - Вып.32
 «Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2018. – Collection 32
 «Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2018. – Vypusk 32

3. Tekhnologicheskiye osobennosti vybora ratsional'nykh skhem perevoda metallurgicheskikh kombinatov, oriyentirovannykh na vypusk melkosortnoy metalloproduksii na nepreryvnyuyu razlivku stali / Gerasimenko V.G., Boychenko B.M., Pererva V.YA., Chayka D.V. // Teoriya i praktika metallurgii. – 2011. – №5-6. – S. 44-47.
4. Sovmeshcheniye nepreryvnoy razlivki s obrabotkoy davleniyem pri proizvodstve melkosortnogo prokata / Gerasimenko V.G., Sinegin Ye.V., Molchanov D.A., Musunov D.A. // Lit'yo 2014. Materialy KH Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Zaporozh'ye, 27-29 maya 2014 – Zaporozh'ye 2014 – s.305-307.
5. Predposylki sozdaniya liteyno-prokatnykh moduley i perspektivy ikh razvitiya v Ukraine / Gerasimenko V.G., Sinegin Ye.V., Molchanov D.A., Musunov D.A. // Lit'yo 2014. Materialy KH Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Zaporozh'ye, 27-29 maya 2014 – Zaporozh'ye 2017 – S. 309-312.
6. Bezperervne rozlyvannya stali / O.M. Smirnov, S.V.Kubers'kyu, S.V.Shtepan. – Alchevs'k: DonDTU, 2011 – 518 s.
7. Khauk A. Modernizatsiya deystvuyushchikh provolochnykh prokatnykh NMRT, 1994. – S. 122-128.
8. Goryachiy posad slyabov i pryamaya prokatka / Vizinger KH., Khishmanner F. // Chornyye metally – 1984. – №22. – S. 38-43.
9. Sveynovskiy U. Privyazka UNRS k melkosortnym i provolochnym stanam // MRT. – 1993. – S.56-62.
10. Teoriya i praktika nepreryvnogo lit'ya zagotovok / Smirnov A.N., Glazkov A.YA., Pilishenko V.L. i dr. – Donetsk: DonGTU, OOO«Lebed'», 2000. – 371 s.
11. Protsessy nepreryvnoy razlivki: Monografiya / Smirnov A.N., Pilishenko V.L., Minayev A.A. i dr. – Donetsk: DonNTU, 2002. – 536 s.
12. Tekhnologiya proizvodstva stali v sovremennykh konverternykh tsekhakh / S.V. Kolpakov, R.V. Starov, V.V. Smoktiy i dr. Pod obshchey redaktsiyey S.V. Kolpakova – M.: Mashinostroyeniye, 1991 – 461 s.
13. Proyektirovaniye i oborudovaniye elektrostaleplavil'nykh i ferrosplavnykh tsekhov / Gladkikh V.A., Gasik M.I., Ovcharuk A.N., Proydak YU.S.. – Dnepropetrovsk: Sistemnyye tekhnologii, 2004. – 736 s.

*Статья поступила в редакцию сборника 29.10.2018 года,
прошла внутреннее и внешнее рецензирование (Протокол заседания
редакционной коллегии сборника №1 от 26 декабря 2018 года)
Рецензенты: д.т.н., проф. Б.М.Бойченко; д.т.н. И.Ю.Приходько*