

In article the research of the kinematic parameters and the stress-strain state of cylindrical tube workpieces by irregular distribution on the cone are considered. We derived a recurrence relation which determines the position of the marginal part of tube workpieces on the conical surface of the punch at unsteady deformation process.

Keywords: irregular distribution, condition of plasticity, the stress-strain state, the position of the flange on the conical surface.

УДК 669.1.013.5:621.671

Д. В. СТАЛИНСКИЙ, докт. техн. наук, проф., ген. директор, ГП «УкрНТЦ «Энергосталь», Харьков

А. С. РУДЮК, канд. техн. наук, зам. ген.директора, ГП «УкрНТЦ «Энергосталь», Харьков

В. С. МЕДВЕДЕВ, докт. техн. наук, гл. науч. сотр., ГП «УкрНТЦ «Энергосталь», Харьков

РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССОВ И ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ НОВЫХ И РЕКОНСТРУКЦИИ ДЕЙСТВУЮЩИХ ПРОКАТНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Рассмотрены вопросы ресурсо- и энергосбережения при создании металлургического микрозавода по производству малотоннажных профилей с объемом производства до 200 тыс. т в год. Определены наиболее перспективные технологии, включающие выплавку и разливку стали, прокатку малотоннажных профилей из непрерывно-литых заготовок, совмещение МНЛЗ и прокатного стана с обеспечением горячего посада заготовок в нагревательные устройства, гибкие безынерционные способы индукционного нагрева металла. Представлены концепции литейно-прокатного модуля для производства горячекатаного листа по тонкослябовой технологии, микрозаводов небольшой мощности для производства из металлолома сортового проката широкого сортамента, производства длинномерных железнодорожных рельсов термоупрочненных с прокатного нагрева.

Ключевые слова: ресурсо- и энергосбережение, микрозавод, выплавка и разливка стали, нагрев заготовок, прокатка.

Введение. Развитие горно-металлургического комплекса Украины, России и других стран СНГ неразрывно связано с деятельностью ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» (г. Харьков), созданного на базе научно-исследовательского и проектного института «Энергосталь», конструкторско-технологического института «Металлургмаш», а также научно-исследовательского института «УкрНИИМет» и проектного института «Гипросталь» в 2001 г.

Сегодня ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» является одной из ведущих научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций СНГ в области металлургических технологий, проектирования предприятий, производственных объектов и оборудования для горно-металлургического комплекса, охраны окружающей природной среды, энергосбережения, переработки вторичных энергетических и сырьевых ресурсов.

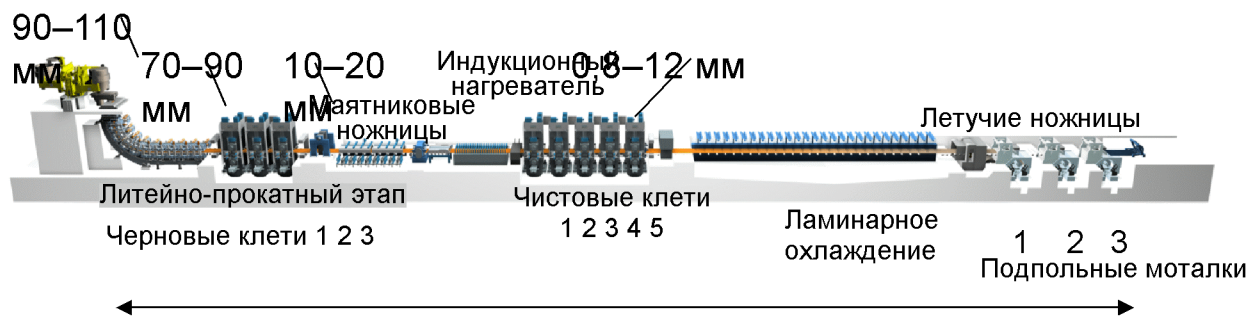
Центр на протяжении многих лет выполняет функции головной организации в области производства сортового проката, в т.ч. профилей общего назначения, специальных фасонных профилей, транспортного металла, гнутых профилей и пр. В настоящее время ведется активная работа по созданию новых и реконструкции действующих прокатных производств – в проекты закладываются прогрессивные ресурсо- и энергосберегающие технологические решения, которые обеспечивают высокий уровень технологии, качество и конкурентоспособность готовой продукции [1–6].

К наиболее эффективным технологическим решениям, реализуемым в проектах Центра, относятся:

- создание прокатных станов как части единого литейно-прокатного комплекса, что позволяет осуществить рациональную стыковку МНЛЗ и прокатного стана, реализовать прямую прокатку или горячий посад заготовок и уменьшить на 20–50 % затраты на топливно-энергетические ресурсы;
- установка высокопроизводительных нагревательных печей с шагающим подом, что снижает угар металла (до 1 %) и расход топлива, уменьшает неравномерности нагрева заготовок, повышает качество готового проката;
- применение индукционных нагревательных устройств, что обеспечивает высокоскоростной нагрев металла практически без угара (экономия металла до 2 %) и отсутствие затрат электроэнергии на холостом ходу. Индукционный нагрев металла особенно эффективен на малотоннажных станах широкого сортамента, где имеют место частые простои при перевах, переходах с профиля на профиль и настройках;
- малогабаритные обжимные блоки с близко расположенными горизонтальными и вертикальными клетями, что позволяет уменьшить массу и стоимость оборудования, а также площадь, занимаемую станом;
- одностаночная прокатка с повышением скорости прокатки на сортовых станах до 40 м/с, на проволочных – до 100–120 м/с, что обеспечивает повышение качества проката и снижение эксплуатационных затрат;
- прокатка на непрерывных станах – без кантовки раскатов между клетями – за счет чередования в группах клетей с вертикальными и горизонтальными валками, что способствует повышению качества проката, упрощению конструкции и снижению затрат на эксплуатацию привалковой арматуры;
- использование процесса многоручьевого прокатки-разделения (слитинг-процесс до 4-х ниток) при производстве арматуры, что обеспечивает расширение сортамента, снижение расхода металла, валков, электроэнергии и др.;
- бесконечная прокатка с использованием сварки заготовок, что увеличивает выход годного на 0,5 % и снижает нагрузки на оборудование;
- низкотемпературная прокатка, позволяющая снизить расход энергии до 10 %, улучшить механические свойства проката, повысить выход годного;
- контролируемая прокатка по регламентированному температурно-скоростному режиму для обеспечения заданных свойств готового проката;
- использование бесстанинных и консольных клетей, что снижает капитальные затраты, существенно сокращает время перевах и снижает эксплуатационные расходы;
- осуществление правки и резки проката в режиме «старт-стоп», что сокращает массу и стоимость оборудования, расход электроэнергии.

Отмеченные технологические решения в зависимости от конкретных условий используются при создании новых и реконструкции действующих прокатных производств, как, например, проекты листовых и мелкосортно-проволочных станов для ОАО «Красносулинский меткомбинат» (г. Красный Сулин, Россия), ОАО «Волгоцеммаш» (г. Тольятти, Россия), Сталепрокатный завод в г. Белая Церковь (Украина), АО «ДЭМЗ» (г. Донецк, Украина) и др.

Технологическая схема литейно-прокатного комплекса ОАО «Красносулинский меткомбинат», созданного в сотрудничестве с компанией Siemens-VAI, – первого на территории СНГ комплекса по производству горячекатаного листа по тонкослябовой технологии, приведена на рис. 1.



Толщина кристаллизатора мм	Толщина сляба мм	~2 млн. т/год Скорость* м/мин
90	70	6,5
100	80	5,7
110	90	5,1

Рис. 1 – Технологическая схема установки ARVEDI ESP

На комплексе используется технология ESP фирмы Arvedi, позволяющая производить горячекатаный лист толщиной от 0,8 мм, по своим свойствам приближающийся к холоднокатаному. Возможность ликвидации дополнительного передела резко повышает технико-экономические показатели комплекса и существенно увеличивает эффективность комплексного использования ресурсо- и энергосберегающих технологий.

Основные результаты данного комплексного подхода:

- полная интеграция процессов разливки и прокатки позволяет значительно снизить расход энергии более чем на 50 % даже в сравнении с горячим посадом;
- повышение выхода годного за счет сокращения угара и отсутствия обрези в линии чистовых клетей;
- снижение расхода энергии и огнеупоров на промежуточный подогрев слябов за счет использования индукционного подогрева;
- уменьшение расхода валков за счет реализации прямой прокатки;
- экономия энергии, расходуемой при холодной прокатке, отжиге и дрессировке листа, сокращение расходов кислоты и других расходных материалов;
- резкое снижение вредных выбросов в окружающую среду на одну тонну готовой продукции.

На рис. 2 и 3 приведены общий вид и схема литейно-прокатного комплекса ОАО «Волгоцеммаш».

В проект этого комплекса заложены эффективные технические решения: горячий посад заготовок, нагревательная печь с шагающим подом, гидросбив окалины, консольные и кассетные клетки, термическая обработка проката с прокатного нагрева, совмещенная правка и резка проката в режиме «старт-стоп» и др.

Помимо решений, реализуемых при строительстве и реконструкции, разрабатывается технология производства различных видов прокатной продукции, в т.ч. фасонных профилей отраслевого назначения любой сложности – периодических, гнутых профилей проката, рельсов и др.

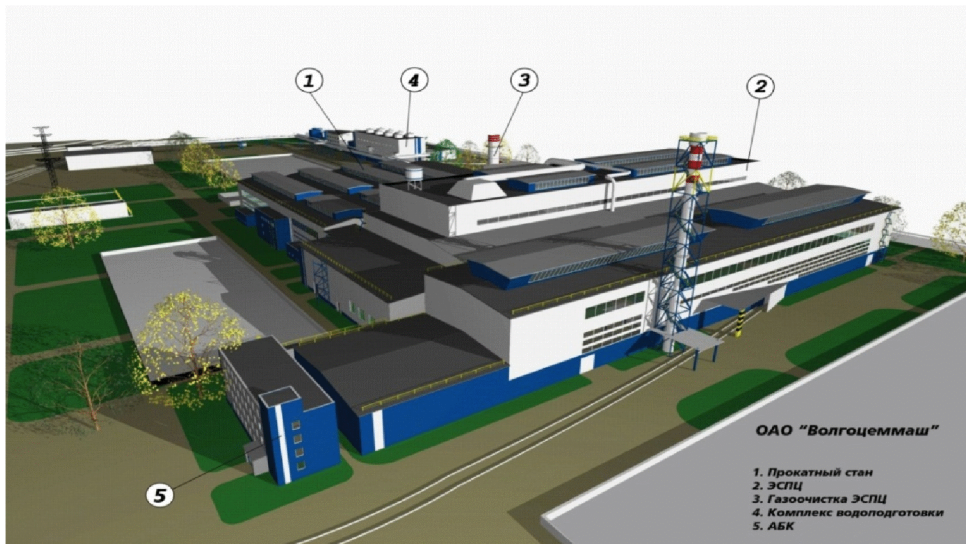


Рис. 2 – Общий вид литейно-прокатного комплекса ОАО «Волгоцеммаш»

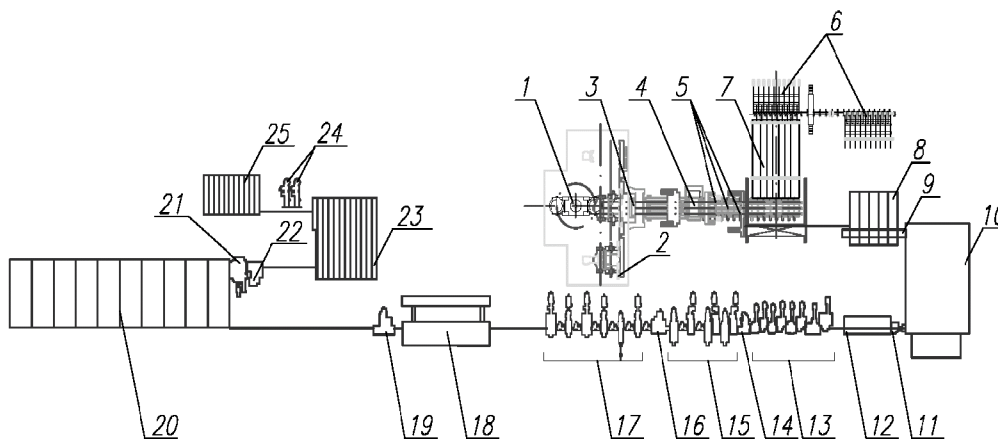


Рис. 3 – Схема размещения оборудования литейно-прокатного комплекса ОАО «Волгоцеммаш»:

1 – поворотный стан МНЛЗ; 2 – тележка промковша; 3 – тянущеправильный модуль; 4 – машина газовой резки; 5 – ручьи 1, 2, 3; 6 – накопительный стол; 7 – холодильник; 8 – загрузочное устройство с подъемником; 9 – роллганг загрузочный на входе в печь; 10 – нагревательная печь с шагающим подом (80 т/час); 11 – установка гидросбива окалины; 12 – стол аварийной уборки; 13 – черновой стан в составе 8 двухвалковых консольных клетей ESS(1–8); 14 – ножницы обрезные кривошипные CV1; 15 – промежуточный стан в составе 6 клетей кассетного типа SHS(9–14); 16 – ножницы обрезные вращательные CV2; 17 – чистовой стан в составе 6 клетей кассетного типа SHS (15–20); 18 – линия термоупрочнения QTB; 19 – ножницы делительной резки CV3 комбинированные; 20 – холодильник; 21 – правильная машина многониточная; 22 – ножницы холодной резки на конечные длины; 23 – передаточное устройство; 24 – обвязка пакетов проволокой; 25 – накопительный шлеппер со взвешивающей платформой

В ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» на протяжении ряда лет ведутся работы по созданию эффективных металлургических микрозаводов небольшой мощности для производства сортового проката широкого сортамента из металлолома. В основе разработки таких микрозаводов – новые подходы, которые базируются на интеграции смежных переделов в единые модули, что обеспечивает их высокую рентабельность. Характерная особенность микрозаводов – новые технологические процессы и агрегаты, адаптированные для малых производств, и высокая степень их функциональной совместимости в едином технологическом

цикле. С использованием этих подходов разработаны типовые литейно-прокатные комплексы с объемом производства от 15 до 200 тыс. т в год.

В настоящее время в Центре ведется проектирование микрозаводов для ООО «Цимлянский литейно-прокатный завод», ООО «Нижегородский металлургический комбинат», ООО «Втормет» и др.

Проектами предусматривается расположение основного оборудования в двух пролетах – сталеплавильном и прокатном. Выплавка стали производится в дуговых электропечах переменного тока емкостью от 10 до 30 т (в зависимости от производительности завода), доводка стали до требуемого химического состава – в агрегатах «печь-ковш». Разливка стали осуществляется на одно- или двухручьевых машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) радиального типа (сечение непрерывно-литых заготовок – 100x100, 125x125 мм, длина – до 2500 мм, температура заготовок на выходе из МНЛЗ – 700–800 °С).

По оценкам экономистов, 80 % энергии в прокатном производстве затрачивается на обычный нагрев металла до 1150 °С, 17 % – на прокатку и только 3 % – на вспомогательные операции, поэтому вопросам стыковки МНЛЗ и прокатного стана с обеспечением горячего посада заготовок в нагревательные устройства при проектировании микрозаводов уделяется особое внимание.

Между МНЛЗ и прокатным станом устанавливается буфер-накопитель для компенсации возможных отклонений в технологических циклах разливки и прокатки, в качестве нагревательных устройств используются газовые методические печи либо индукционные устройства.

В условиях микрозаводов гибкие безынерционные способы индукционного нагрева металла являются более предпочтительными, чем газовые. Экономия энергии при индукционном нагреве – около 40 %.

На рис. 4 представлена схема расположения оборудования микрозавода производительностью 200 тыс. т проката в год.

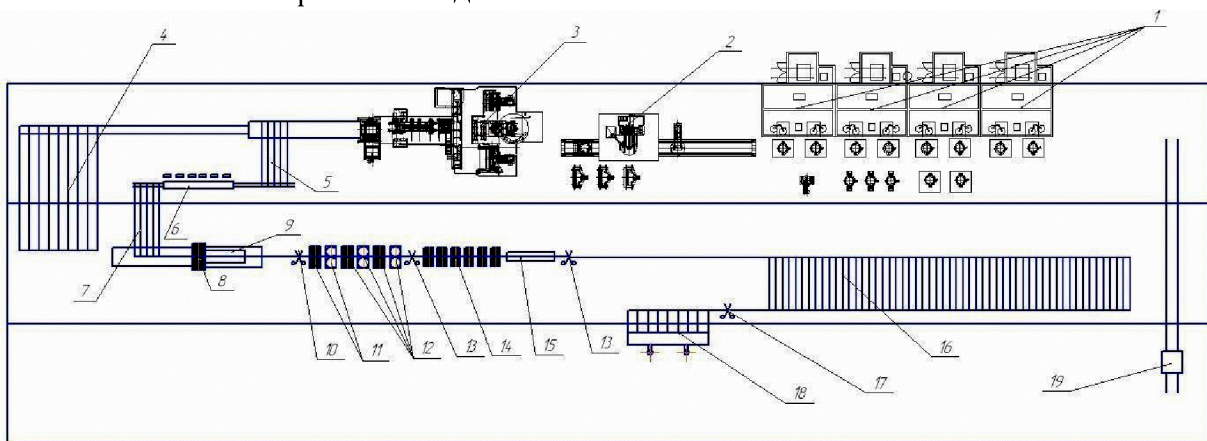


Рис. 4 – Схема расположения оборудования микрозавода производительностью 200 тыс. т проката в год:

1 – индукционный плавильный комплекс 10 т; 2 – установка «ковш-печь» 20 т; 3 – МНЛЗ; 4 – холодильник МНЛЗ; 5 – шлеппер от рольганга МНЛЗ; 6 – индукционная нагревательная установка; 7 – шлеппер; 8 – клеть трио 550; 9 – подъемно-качающий стол; 10 – стационарные ножницы; 11 – клетки 450; 12 – клетки 350; 13 – летучие ножницы; 14 – горизонтальные клетки 250; 15 – установка термического упрочнения; 16 – холодильник; 17 – ножницы холодной резки; 18 – участок формирования и обвязки пакета; 19 – передаточная тележка

Для подогрева непрерывно-литых заготовок применена индукционная установка, а технологическим буфером между МНЛЗ и станом является шлеппер горячего посада.

С целью определения экономически целесообразной технологии производства малотоннажных профилей на микрозаводах были рассмотрены варианты использования непрерывной, последовательной и реверсивной прокатки на непрерывных, линейных, последовательных и шахматных станах с клетями дуо, трио, агрегатов высоких обжатий и пр.

Анализ этих вариантов показал, что в наибольшей степени удовлетворяет требованиям, предъявляемым к малотоннажному производству, прокатка фасонных профилей на полунепрерывном стане, включающем отдельно стоящую обжимную клетку и чистовую непрерывную группу клетей.

В качестве обжимной клетки рекомендуется использовать реверсивную клетку дуо с программным перемещением перпендикулярно линии прокатки или обыкновенную клетку трио – реверсивная клетка дуо более предпочтительна, поскольку позволяет осуществлять прокатку на одной линии и в одном горизонте, что уменьшает массу вспомогательного оборудования и стана в целом. Однако клетка дуо (по сравнению с клетью трио) требует более сложного и дорогостоящего привода, отличается повышенным расходом энергии и валков, а также необходимостью использования достаточно сложной автоматики.

Клетка трио, даже с учетом необходимости подъемно-качающегося стола, является наименее сложным видом оборудования, имеет простой нереверсивный и нерегулируемый привод; при небольшой длине заготовки отличается высокой производительностью. Работа клетки трио обеспечивается простейшими средствами механизации и автоматизации, характеризуется максимальным использованием бочки валков и минимальным расходом энергии и валков на единицу выпускаемой продукции.

Установка непрерывной группы клетей на чистовой линии малотоннажного стана в сравнении с другими техническими решениями имеет ряд преимуществ:

- непрерывная прокатка позволяет обеспечить необходимый температурно-скоростной режим и достигнуть максимальной производительности при минимальных габаритах и массе стана;

- применение вертикальных клетей повышает качество проката, устраняет необходимость кантовок, упрощает настройку стана и, соответственно, снижает расходный коэффициент. Имеющиеся в настоящее время надежные способы регулирования натяжения раскатов в межклетевых промежутках непрерывных групп клетей позволяют получать стабильные размеры профиля по всей его длине.

В чистовой линии стана располагаются (в зависимости от его производительности) 6, 8 или 10-клетевые непрерывные группы клетей, применение которых в чистовой линии стана возможно практически во всех случаях.

Другим важным направлением деятельности Центра является рельсовая тематика. Разработана новая ресурсо- и энергосберегающая концепция производства длинномерных железнодорожных рельсов термоупрочненных с прокатного нагрева, которой предусмотрено следующее:

- нагрев заготовок с минимальными градиентом температур по сечению и обезуглероженным слоем;

- прокатка с регламентированным деформационным и температурно-скоростным режимом на стане с универсальными клетями;

- закалка рельсов водовоздушной смесью с использованием тепла прокатного нагрева;

- охлаждение на холодильнике, обеспечивающее самоотпуск рельсов и минимальную их кривизну; правка рельсов с минимальным уровнем остаточных деформаций и внутренних напряжений; холодная калибровка профиля;

- полный неразрушающий контроль поверхностных и внутренних дефектов, твердости, глубины закаленного и обезуглероженного слоя в потоке стана;
- порезка рельсов на мерные длины, обработка торцов и сверление отверстий с предельными отклонениями в соответствии с требованиями международных стандартов.

Данные подходы были использованы при разработке технических предложений на реконструкцию рельсобалочных цехов ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ» и ОАО «ЕВРАЗ НТМК» с организацией производства рельсов длиной до 120 м и закаленных водовоздушной смесью с прокатного нагрева.

Многолетний опыт работы и высокая квалификация сотрудников позволяют ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» решать наиболее сложные задачи в области разработки технологии и проектирования при создании новых и реконструкции действующих прокатных производств.

Список литературы: 1. *Сталинский Д.В., Ботштейн В.А.* Отраслевая программа энергосбережения как наиболее эффективная форма организации работ по снижению энергозатрат на предприятиях ГМК Украины // *Металлургическая и горнорудная промышленность*, – 2006. – № 4. – С. 1–3. 2. *Большаков В.И., Тубольцев Л.Г.* Проблемы научно-технического развития черной металлургии // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2001. – № 2. – С. 3–8. 3. *Сталинский Д.В.* Резервы энергосбережения на предприятиях горно-металлургического комплекса. Основные задачи и перспективы их реализации / *Д.В. Сталинский, В.А. Ботштейн, В.В. Лесовой* // *Экология и промышленность*. – 2006. – № 1. – С. 4–7. 4. *Большаков В.И., Тубольцев Л.Г.* Перспективы энергосбережения в черной металлургии Украины // *Металлургическая и горнорудная промышленность*, – 2007. – № 3. – С. 1–5. 5. *Медведев В.С.* Энергосберегающие технологии производства сортовых профилей на литейно-прокатных комплексах металлургических мини-заводов // *Экология и промышленность*. – 2008. – № 3. – С. 64–69. 6. *Медведев В.С.* Сортопрокатные станы / *В.С. Медведев, Ю.Б. Крюков, В.В. Осипенко* // *Перспективы развития горно-металлургического комплекса : материалы междунар. науч.-практ. конф.* – Краматорск: НКМЗ, – 2004. – 213 с.

Надійшла до редколегії 15.10.2012

УДК 669.1.013.5:621.671

Ресурсосбережение и энергоэффективность процессов и оборудования при создании новых и реконструкции действующих прокатных производств / Сталинский Д. В., Рудюк А. С., Медведев В. С. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ», – 2012. – №47(953).. – С. 192–198. – Бібліогр.: 6 назв.

Розглянуто питання ресурсо- та енергозбереження при створенні металургійного мікрозаводу з виробництва малотоннажних профілів з обсягом виробництва до 200 тис. т на рік. Визначено найбільш перспективні технології, що містять виплавку і розлив сталі, прокатку малотоннажних профілів з безперервно-литих заготовок, поєднання МБЛЗ і прокатного стану із забезпеченням гарячого посаду заготовок у нагрівальні пристрої, гнучкі безінерційні засоби індукційного нагріву металу. Надано концепції ливарно-прокатного модуля для виробництва гарячекатаного листа за тонкослябовою технологією, мікрозаводів невеликої потужності для виробництва з металобрухту сортового прокату широкого сортаменту, виробництва довгомірних залізничних рейок термостійких з прокатного нагріву.

Ключові слова: ресурсо- та енергозбереження, мікрозавод, виплавка і розлив сталі, нагрів заготовок, прокатка.

The problems of resource and energy saving during setting-up of steel micro-plants for production of small-tonnage shapes with capacity up to 200 thous. t/year are considered. The most advanced technologies, which include steel melting and casting, rolling of small-tonnage shapes from continuous cast billets, combining of continuous casting machine and rolling mill with ensuring of hot charging of billets into heaters, flexible inertialess methods of inductive metal heating are determined. The concepts of foundry-rolling complex for production of hot-rolled sheet according to the thin slab technology, micro-plants of small capacity for production of rolled shapes wide range from scrap metal, long rails thermostrengthened by rolling heating are given. Im.: 4 DBMS is drawn is developed.

Keywords: resources and energy saving, micro-plants, steel melting and casting, billet heating, rolling.