

Результаты расчета показывают, что данная методика позволяет прогнозировать степень деформации сдвига и может быть использована для проектирования калибровок валков и выбора рациональных режимов обжатий на блюминге [5].

**Список литературы:** 1. Колмогоров, В.Л. Пластичность и разрушение / В.Л. Колмогоров, А.А. Богатов, Б.А. Мигачев. – М.: Металлургия, 1977. – 366 с. 2. Колмогоров, В.Л. Напряжения. Деформация. Разрушение / В.Л. Колмогоров. – М.: Металлургия, 1970. – 230 с. 3. Воронцов, В.К. Об экспериментальном исследовании степени деформации сдвига по высоте раската / В.К. Воронцов, Р.Э. Гафаров, В.В. Лашин. – М: Изв. вуз. Черная металлургия, 1983, №6, с. 59 –62. 4. Новик, Ф.С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф.С. Новик, Я.Б. Арсов. – М.: Машиностроение, 1980. – 304 с. 5. Серета, Б.П. Розробка оптимальних режимів прокатки та після деформаційної обробки прутків зі спеціальної сталі діаметром більше 270 мм / Б.П. Серета, О.М. Тумко, І.В. Кругляк, А.К. Коваленко / зб. наук. праць «Металургія» №19. – Запоріжжя, 2009. – с. 109 – 114.

### УДК 669.012.3

**СТАСОВСКИЙ Ю.Н.**, докт. техн. наук, проф., НМетАУ, г. Днепропетровск  
**ЧУХЛЕБ В.Л.**, канд. техн. наук, доц., НМетАУ, г. Днепропетровск

## **РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОЦЕССАХ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ: СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ**

Рассмотрены проблемы ресурсосбережения в процессах обработки металлов давлением (ОМД) в Украине с современных позиций развития мирового человечества в условиях его стабильности. Показаны перспективные пути повышения энергоэффективности за счет реализации принципов индустриального симбиоза, рециркуляции, комплексности. Рассмотрена современная концепция энергетичности, малоотходности. Важное место занимают вопросы оптимизации процессов ОМД по энергетическим показателям.

Ключевые слова: ресурсосбережение, процессы обработки металлов давлением, энергоэффективность, оптимизация

Розглянуто проблеми ресурсозбереження в процесах обробки металів тиском (ОМТ) в Україні з сучасних позицій розвитку світового людства в умовах його стабільності. Показані перспективні шляхи підвищення енергоефективності за рахунок реалізації принципів індустріального симбіозу, рециркуляції, комплексності. Розглянуто сучасну концепцію енергетичності, малоєідходності. Важливе місце посідають питання оптимізації процесів ОМТ за енергетичними показниками.

Ключові слова: ресурсозбереження, процеси обробки металів тиском, енергоефективність, оптимізація

The resource savings problems are considered during the plastic deformation processes in Ukraine by modern positions of development of the world community on conditions of stability. Perspective ways of power efficiency increase are shown due to realisation of principles: industrial symbiosis, integrated approach. The important place is allocated to the questions of optimization of the plastic deformation processes on power parameters.

Key words: resource savings, the plastic deformation processes, power efficiency, optimization

**Введение.** Обработка металлов давлением (ОМД) является основным способом получения готовой металлопродукции и полуфабрикатов. Свыше 90% металла, который выплавляют, перерабатывается разными видами ОМД. Металлургия, в

частности процессы ОМД, во всех странах считаются одними из главных потребителей энергии и ресурсов. Потребляется около 30% всей энергии, которая потребляется промышленностью, а по отношению к потреблению всем хозяйством доля металлургии в зависимости от ее структуры составляет 9-14%. Для технических целей ежегодно в ГМК Украины расходуется около 45 млн. тонн условного топлива (у. т.), в том числе около 10 млрд. м<sup>3</sup> природного газа. Эта энергия расходуется на: выплавку чугуна и цветных металлов, сталеплавильный передел, горячую и холодную обработку металлов давлением, термическую обработку. Отрасль в Украине экспортноориентирована. При экспорте 1 млн. тонн проката из страны за рубеж вывозится около 1,5 млн. тонн у. т., в том числе 330 млн. м<sup>3</sup> природного газа, который существенно сказывается как на конкурентоспособности продукции, так и на энергетическом балансе всего хозяйственного комплекса Украины. По данным Мирового банка энергоэффективность экономики Украины (производство ВВП на единицу потребленной энергии) ниже соответствующего показателя Польши - в 2,5 раза, Китая и США - в 3 раза, Японии - в 4,5 раз. Решение вопроса повышения энергоэффективности предприятий ГМК Украины в последнее время является особенно актуальным. Известно, что энергоемкость продукции (наравне с качеством) определяет её конкурентоспособность.

**Постановка проблемы.** Технологическое отставание металлургии в Украине от ведущих стран мира заключается в следующем:

- свыше 60 процентов продукции вырабатывается по старым технологиям и на оборудовании, которое требует модернизации или замены;
- значительными являются затраты на энергоресурсы, которые составляют свыше 40 процентов себестоимости металлургической продукции;
- большие затраты на потребленные энергоресурсы повышают себестоимость продукции ГМК и существенным образом снижают ее конкурентоспособность.

По энергоемкости на металлургических заводах производство проката на 2-м месте - почти 150кг у. т./т проката (1-е место: доменное производство - 600-700кг у. т./т чугуна; 3-е место: мартеновское производство - 120кг у. т./т стали). Доля природного газа в расходах топлива составляет при производстве проката до 45% (при производстве чугуна - до 18%; при мартеновском производстве стали до 78%). Удельный расход энергии в процессах металлургической плавки за последние годы при неизменной доле руды и металлолома сократились, а удельный расход электроэнергии на процессы горячей и холодной обработки металлов давлением увеличились.

Это связано с увеличением рабочих скоростей и повышением уровня механизации и автоматизации процессов, в том числе вспомогательных, причем потребление возросло в большей мере, чем увеличение производства металлургической продукции.

В черной металлургии прокатное, трубное и кузнечно-штамповочное производство завершает стадию переработки металла и является *основным потребителем* энергетических ресурсов: *газа* (природного, доменного) и *электроэнергии*.

**Анализ исследований.** Этим объясняется повышенное внимание к проблеме снижения энергозатрат в ГМК при рассмотрении планов развития отрасли, которые стали в особенности актуальными в последнее время из-за повышения стоимости природного газа.

Двумя программами в Украине регулируются вопросы ресурсосбережения:

1) «Комплексная государственная программа энергосбережения Украины» (1996г.). Потенциал энергосбережения ГМК Украины оценивается более чем в 1/3 тепловых энергоресурсов, которые расходуются, причем реальный уровень их экономии на период до 2011г. определяется в 20-25%;

2) «Государственная программа развития и реформирования ГМК Украины до 2011 года». Предполагается снижение удельных затрат топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) ориентировочно на 300кг у. т. на 1 тонну проката, что составляет около 20% от их потребления.

В развитых странах эту проблему решают комплексно. Наиболее эффективным принципом энергосбережения (получает широкое распространение в последние годы) есть *принцип индустриального симбиоза*- объединения вроде как несовместимых объектов, а именно: материальных и энергетических потоков в единый энерго-технологический поток. При этом симбиозе появляется возможность реализовать знаменитый *принцип рециркуляции*: если не добиваться полного использования исходного сырья или энергии, а обеспечивать наиболее экономически выгодные режимы переработки при экономически оптимальной конверсии (обычно 20-30%), выделяя после этого готовый продукт (вещество или энергию) и возвращая неиспользованные ресурсы на начало процесса.

Одним из наиболее эффективных принципов является *комплексность* при решении задач уменьшения энергопотребления промышленными установками. Под этим имеется в виду не только применение энергосберегающих технологий, не только применение оснащения для локальной утилизации энергетических выбросов, а, в первую очередь - решение комплексной задачи по созданию энергетической техники как единство технологии и оборудования.

Концепция обеспечения *энергетической малоотходности* сводится к стремлению не бороться с отходами путем их переработки или даже рециркуляции, а вести процесс так, чтобы они получались в минимальном количестве.

Основным критерием *оптимизации* процессов ОМД по энергетическим показателям является снижение затрат энергии, в первую очередь, оптимизация температурного режима и оптимизация режима обжата. Энергию можно и нужно экономить в первую очередь во время нагрева сортовых и листовых слитков (блюмов, слябов). Снижение температуры выдачи при прокатке и температуры окончанияковки и штамповки обеспечивает более значительную экономию энергии, чем потери от повышения затрат электроэнергии при деформации более холодного металла. Важным аспектом является минимизация размеров исходной заготовки, максимально приближая её размеры к размерам готовой продукции. Поскольку только около 50% энергии, которую потребляет электродвигатель, может быть использован в качестве энергии деформации, а вторая половина расходуется на покрытие потерь, число проходов нужно сокращать к технологически приемлемому минимуму. К оптимизации режимов обжата относится выбор приемлемого обжата за проход и назначение кантовок между проходами.

**Неисследованное.** В настоящее время, несмотря на накопленный мировой опыт по производству металлопродукции методами ОМД, усилия разработчиков многих фирм и предприятий направлены на создание новых ресурсосберегающих и совершенствование существующих технологий и оборудования по критериям «ресурсосбережение» и «энергосбережение» для производства конкурентоспособной продукции.

Выявление наиболее перспективных и эффективных направлений экономии энергоносителей, оценка эффективности внедрения энергосберегающих технических и технологических мероприятий, определение имеющейся энергоемкости конечной продукции каждого предприятия, сравнение энергоемкости однотипной продукции (разных производителей - эти задачи всегда представляли большой интерес, но (приобрели особую актуальность после резкого подорожания одного из наиболее распространенных видов топлива - природного газа. В качестве единой методической основы может быть принята *сквозная энергоемкость*, которая базируется на основе существующей статистической отчетности.

***Цель.*** (Постановка задачи). На решение существующих в Украине проблем ресурсосбережения в процессах ОМД направлены исследования, результаты некоторых из них приведены в данной статье. Целью проводимых исследований являлось определение приоритетных направлений дальнейшего развития производств ОМД, выбор наиболее оптимального пути решения существующих проблем и повышения конкурентоспособности отечественных производств металлопродукции с применением процессов ОМД.

***Результаты исследований.*** В процессах ОМД (прокатном, трубном и кузнечно-штамповочном производствах) имеет место полезное потребление тепла и его потери по всей технологической цепочке. Расход энергии в нагревательных и термических печах состоит из *полезного тепла* и его потерь. При прокатке полупродукта из слитков имеют место затраты энергии, которые: на стадии *разливки* сортовых и листовых слитков зависят в первую очередь от способа выплавки стали; на стадии *подготовки и нагрева* исходного металла.

В настоящее время на металлургических предприятиях Украины в прокатном производстве эксплуатируются: 11 блюмингов и слябингов, 6 заготовочных станов, 1 трубозаготовочный стан, 3 рельсобалочных стана, 5 крупносортовых и 12 среднесортовых станов, 13 мелкосортовых и проволочных станов, 6 толстолистовых станов горячей прокатки, 2 непрерывных тонколистовых стана горячей прокатки, 2 цеха холодной прокатки (непрерывные, одноклетьевые станы, 20-ти валковый стан, станы для прокатки жести; оборудование для выпуска: оцинкованного листового проката, гнутых профилей, проката из нержавеющей марки стали).

В прокатном производстве технологический процесс производства продукции из слитков состоит из двух стадий: прокатка слитка в полупродукт (заготовку) и прокатка полупродукта в готовый прокат.

На данный момент в мировой практике большое распространение приобрело производство полупродукта (заготовки) методом непрерывной разливки стали на машинах непрерывной разливки заготовки (МНЛЗ), которое позволяет исключить из технологической схемы большие и мощные обжимные станы - блюминги, слябинги и заготовочные станы.

К основным технологическим операциям при производстве листового и сортового проката относятся: подготовка металла к прокатке, нагрев металла, собственно прокатка, охлаждение и отделка проката.

Использование природного газа в ГМК Украины в общих затратах энергоресурсов составляет: доменное производство - 18%, мартеновское производство стали - 78%, прокатное производство - 45%, МНЛЗ - 0,5%, производство сортового проката - 15%, производство горячекатаного листа - 9,5%, производство холоднокатаного листа - 3,5%.

Трубная промышленность Украины объединяет производственную базу 14 специализированных предприятий. Большая часть из них (12 предприятий), преобразованы в акционерные общества различного типа и 2 государственные, а также отраслевой институт ГП «НИТИ». Производственная база этих предприятий состоит из 40 специализированных трубных цехов, в которых трудится около 48 тысяч трудящихся, обеспечивающих возможность изготовления около 10 тысяч типоразмеров труб общего и специального назначения способами горячего, холодного и теплового деформирования, а также электросварных и центробежнолитых труб.

В этих цехах расположены и эксплуатируются 13 агрегатов для производства горячедеформированных труб, в том числе: 4 - трубопрокатных агрегатов (ТПА) с пилигримовыми станами, 4 - ТПА с автоматическими станами, 1 - ТПА с трехвалковым станом, 2 - ТПА с непрерывными станами, 2 - трубопрессовые установки.

Некоторые предприятия располагают 8 цехами и специализированными участками для производства холоднодеформированных труб, которые оснащены десятками станов холодной прокатки труб валкового (ХПТ) и роликового (ХПТР) типов, а также волочильными станами и необходимым вспомогательным технологическим оборудованием.

Мощности по производству сварных труб представлены на семи специализированных предприятиях в количестве трубоэлектросварочных агрегатов (ТЭСА), которые позволяют производить сварные трубы малых, средних и больших диаметров (от 10 до 1420 мм).

К концу 1998г. объем производства труб в Украине сократился более чем в 5 раз (мощность около 7 млн.т). В настоящее время установочная мощность специализированных трубных заводов Украины составляет более 5,0 млн. тонн труб в год, фактически в последние годы производится труб в Украине около 1,5-2,0 млн. тонн труб в год. Некоторые мощности введены еще в 1935 году, основные мощности вводились в 60-е и 80-е годы прошлого столетия. Их износ составляет от 63 до 95%. Мощности загружены практически только на 33%.

В мировой трубной промышленности (МТП) наметились устойчивые тенденции, которые определяют стратегический вектор ее развития. Одной из них является то, что современная МТП изготавливает уже не трубы, а изделия, используемые потребителями с минимальной последующей обработкой. Определяющие тенденции эволюции структуры производства в современных условиях определяются двумя группами критериев: количественными (уровень и темпы роста производства) и качественные (расходные коэффициенты материалов и энергии, производительность труда).

В начале этого века в МТП происходят процессы коренной модернизации и реконструкции с учетом критерия «ресурсосбережение» и «энергосбережение». Анализ показал, что сейчас примерно 97% общего количества стальных горячекатаных труб производятся на трубопрокатных агрегатах (ТПА) четырех видов: около 40% на ТПА с автоматическим станом или станом тандем; более 22% - на ТПА с непрерывным оправочным станом; более 18% - ТПА с пилигримовым станом; более 10% - ТПА с трехвалковым станом.

Трубы, выпускаемые в Украине, существенно уступают зарубежным аналогам по коррозионностойкости. Сейчас от уровня оснащенности предприятия современными средствами неразрушающего контроля труб во многом зависит, как потребитель будет оценивать его как возможного поставщика. В конечном итоге внедрение

системы позволяет обеспечить увеличение выпуска качественной продукции и снижение ее себестоимости. Независимо от способа производства горячедеформированных труб, технологическая схема включает следующие общие элементы: нагрев металла, получение полой заготовки (гильзы) и черновой трубы (раскатка гильзы), окончательное формирование стенки и диаметра трубы (редуцирование или калибрование). При этом перед каждой технологической операцией при необходимости проводят подогрев трубы. Расходы по переделу на всех ТПА составляют 15-40% от себестоимости продукции, а 60-85% приходится на стоимость металла, расходный коэффициент металла (р.к.м.) наибольший на ТПА с пилигримовым (обрезь, пилигримовая головка) и трехвалковым станами (значительная концевая обрезь и необходимость обточки трубы). Кроме того, ТПА с пилигримовым и трехвалковым станами при наименьшей доле вспомогательного времени в такте прокатки имеют продолжительные неустановившиеся стадии процесса раскатки. Расчеты показывают, что снижение р.к.м. позволяет значительно повысить эффективность производства, причем при одинаковом снижении р.к.м. эффективность повышается в наибольшей степени при снижении отходов металла на отделочных операциях. Следовательно, необходимо тщательно подготавливать заготовку с повышением р.к.м. при условии соответствующего снижения р.к.м. на последующих операциях; необходимо расширять «узкие места» на раскатке путем совершенствования процессов раскатки гильзы в трубу.

Украинским производителям горячекатаных труб трудно удерживать свои позиции на мировом рынке. Практически все владельцы активов украинских предприятий–производителей горячекатаных труб задекларировали свои намерения о проведении коренной реконструкции и модернизации действующих предприятий, но все эти мероприятия сильно растянуты во времени и практически не предусматривают привлечение разработок отечественных ученых и машиностроителей. Схема остается прежней: привлечение заемных иностранных финансовых ресурсов, ориентация на зарубежных специалистов и закупка импортного оборудования.

На данном этапе развития производства труб сортаментной группы, относящейся к техническим возможностям ТПА с пилигримовыми станами можно отметить две тенденции, а точнее предложенные две альтернативные концепции. Первая, заключается в современных подходах к модернизации действующих ТПА с пилигримовыми станами, предусматривающей разработку современных конструкций подающих аппаратов, которая исключает существующие недостатки. Вторая концепция предусматривает ликвидацию ТПА с пилигримовыми станами и заменой их на современные непрерывные станы. Концерн SMS (ФРГ) и фирма «Danieli» (Италия) каждый в отдельности предложили новую конструкцию непрерывного стана для горячей прокатки труб широкого сортамента (соответственно PQM и FQM), который «перекрывает» сортамент ТПА с пилигримовым станом. По многим представленным этими фирмами технико-экономическим показателям новый стан превосходит существующие пилигримовые станы.

Результаты исследований показали, что каждая технология эффективна в определенных границах сортамента труб, которые значительно уже технически возможных границ.

В кузнечно-штамповочном производстве совершенствование процессовковки идет за счет снижения металлоемкости процесса (снижения припусков и

допусков), более экономного раскроя слитков, применения более рациональных приемов ковки, частичной и комплексной механизации и автоматизации.

В настоящее время имеется положительный опыт разработки систем управления технологическим процессом свободнойковки, который включает автоматизацию комплекса «пресс-манипулятор», обеспечивающую увеличение производительности до 50%; разработку автоматизированных систем управления участком прессы свободнойковки, что является вполне реальной задачей и обеспечит, по ориентировочным данным, увеличение производительности на 200-250%.

В отличие отковки штамповка имеет меньшую трудоемкость и себестоимость изготовления деталей, которые обусловлены тем, что штамповка относится к серийному производству.

Расход металла существенно зависит от особенностей технологии производства поковок и группы их сложности. Наибольшая экономия металла достигается по группе поковок, штампуемых осадкой в торец (8-15%). Экономия металла по группе поковок с длинной осью составляет 6-10%. Наименьшая экономия металла (до 2 %) получается при штамповке поковок сложной конфигурации с небольшой высотой.

Прогрессивным технологическим процессом получения горячих штамповок является штамповка шестерен с зубьями. Зубчатые колеса полученные таким способом, имеют благоприятное расположение волокон, могут передавать большие усилия и выдерживать более высокие статические нагрузки на зубья по сравнению с шестернями, изготовленные из того же материала резанием. Кроме указанных преимуществ, этот метод изготовления шестерен обеспечивает экономию металла до 30-60%.

Технологический процесс малоотходной штамповки с противодавлением или компенсаторами заключается в получении поковок без облоя в закрытых штампах с компенсацией избытка металла, который неизбежен при существующих способах резки заготовок, в специальные полости штампа. При малоотходной штамповке экономится до 10-20% металла и повышается производительность. Этот метод применяется для изготовления цилиндрических и конических шестерен.

Дальнейшее совершенствование технологии штамповки на прессах обеспечивает дополнительную экономию металла. Благодаря применению прессов снижается трудоемкость штамповки поковок и обеспечивается рост производительности труда. Производительность труда при штамповке на прессах увеличивается в среднем на 20-30% по сравнению с молотовой штамповкой. Себестоимость штамповки на прессах всегда ниже себестоимости штамповки на молотах. В среднем себестоимость снижается на 5-7%.

Определение области эффективного применения различных видов кузнечно-штамповочного оборудования и технологических процессов способствует правильному использованию прогрессивной техники и обеспечит достижение наиболее высоких экономических показателей при производстве поковок и деталей машин.

Отсутствие четких рекомендаций, характеризующих условия эффективного использования современной техники кузнечно-штамповочного производства, приводит к неправильному использованию высокопроизводительного и дорогостоящего кузнечного и нагревательного оборудования. От метода производства зависит точность изготовления поковки, т.е. степень приближения формы и размера поковки к форме и раз-

меру готовой детали, а следовательно, вес поковки и детали, трудоемкость ее производства и себестоимость.

В качестве наглядного положительного примера для владельцев металлургических предприятий Украины можно привести процесс перехода на новую модель развития экономики Японии на примере черной металлургии, где важнейшие направления технического обновления были связаны с ресурсосбережением и нацелены прежде всего на повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов. В Японии на долю черной металлургии приходится до 15% энергопотребления всего хозяйства (в США, например, всего 4,5%). За счет различных технологических и организационных мероприятий в Японии удалось за 1970 - 1990гг. сократить удельные энергозатраты на 1 т стали более чем на треть.

***Ресурсосбережение включало широкий спектр комплексных мероприятий - от отдельных технических усовершенствований (например, вдувание пылеугольной пыли в доменную печь или использование вторичного тепла отходящих газов) до крупных структурно-инвестиционных маневров отраслевого масштаба (внедрение непрерывного литья, электродуговой плавки или внепечной обработки стали).***

В прокатном переделе широко практикуется применение различных вариантов использования тепла непрерывнолитых заготовок. При использовании «горячего посада» удельный расход энергии снижается на 30%, а при использовании прямой прокатки (без подогрева) - почти на 80%. Так к началу 90-х годов на заводах полного цикла удельный вес прямой прокатки в производстве горячего проката составил около 15%, а прокатки с «горячего посада» - более 60%. Благодаря широкому внедрению непрерывного литья заготовок (около 98% в настоящее время) расход стали на 1 т проката в Японии составляет 1030 - 1040кг, что примерно на 25% меньше, чем в США и странах Западной Европы.

Наиболее рациональной схемой интегрированного предприятия на сегодня является комплексное использование металлургических агрегатов по технологической цепочке („доменная печь — кислородный конвертор" или „электropечь ~ внепечная обработка стали - непрерывная разливка - прокатный стан или иной агрегат ОМД "). Эта технологическая схема характеризуется наименьшим уровнем энергозатрат - около 1 т у. т. / т стали. Сегодня этот показатель в Украине находится в среднем на уровне 1,7 - 2,0 т у. т. / т стали.

***Выводы.*** Проведен комплексный многофакторный анализ существующего состояния производств ОМД в Украине, выявлены острые проблемы и предложены научно обоснованные концептуальные подходы, базирующиеся на мировом опыте, по ресурсосбережению в процессах ОМД, применительно к реальным условиям ГМК Украины. Для решения этих задач необходимо иметь стратегию развития каждого предприятия и отрасли в целом, неразрывно связанную с основными направлениями энерго- и ресурсосбережения.

***Перспектива.*** Разработчики ведущих зарубежных фирм идут по пути дальнейшего повышения качества и снижения затратной части при производстве металлопродукции в процессах ОМД за счет разработки и внедрения ресурсосберегающих технологий и оборудования.



Снижение *энергоёмкости* производства металлопродукции должно выполняться на основе разработки и внедрения энергосберегающих технологических процессов.

Такая оценка полностью корреспондируется с опытом энергосбережения передовых металлургических предприятий стран ЕС, где за счет использования вторичных энергоресурсов сокращается почти половина общей потребности в энергоресурсах. Основная часть экономии энергоресурсов при модернизации производства может быть достигнута за счет вывода из эксплуатации обжимных цехов и устаревших агрегатов ОМД.

К основным современным энергосберегающим технологиям в сортопрокатном производстве следует отнести: прокатка сортового проката из непрерывнолитой заготовки (НЛЗ), объединение непрерывной разливки с прокаткой, оптимизация сечения и массы исходной заготовки, температурных и деформационно-скоростных режимов прокатки, низкотемпературная прокатка, контролируемая прокатка, термическая обработка проката с использованием тепла прокатного нагрева, создание мини-производств для переработки отходов.

Основные мероприятия по повышению уровня утилизации вторичных энергоресурсов (ВЭР): реконструкция нагревательных печей прокатных станов в энерготехнологические агрегаты, которые объединяют процесс нагрева металла с глубокой утилизацией тепла продуктов сгорания; утилизация тепла дымовых газов нагревательных колодцев для изготовления электроэнергии; утилизация тепла заготовок и рулонов; уменьшение расхода воды на охлаждение теплонагруженного оборудования и проката.

Общий ожидаемый эффект от использования ВЭР на металлургических предприятиях Украины составляет около 120-150кг у. т./т проката, который разрешит на 10% уменьшить расход топлива. Использование ВЭР может обеспечить до 50% потребности предприятий в электроэнергии.

**Список литературы:** 1. Проектирование современных производств обработки металлов давлением/ Ю. Н. Стасовский, Ю.С. Кривченко, Г.С. Бабенко; под ред. д.т.н. Ю. Н. Стасовского. - Днепропетровск: МОНОЛИТ, 2009.- 746 с.: ил. 2. Стасовский Ю.Н. Энергосбережение при горячей прокатке труб / Металл бюллетень Украина, 2008, № 4 (118), С. 78-85. 3. Стасовский Ю.Н. Мировая трубная промышленность. XXI век / Экономика Украины, 2008.- №5; №6.- С. 51-58. 4. Оптимизация расхода энергии в процессах деформации // Хензель А., Шпиттель Т., Шпиттель М. и др. / Под ред. Т. Шпиттеля и А. Хензеля: пер. с нем., М.: Металлургия, 1985.- 184 с. 5. Литвиненко В.Г., Ботштейн В.А., Андреева Т.А. и др. Влияние технологических параметров производства на энергоёмкость проката / Экология.-Донецк.- 2006.- №5.- С. 15-23. 6. Буторина И.В., Харлашин П.С, Сущенко А.В. Пути снижения энергоёмкости металлургических процессов на предприятиях Украины // Сталь. - 2003.-№ 7.- С. 97-100. 7. Методика нормирования сквозных заводских удельных расходов топливно-энергетических ресурсов для предприятий горно-металлургического комплекса // Методика /Министерство промышленной политики - Киев, 1998. - 20 с. 8. Грецкая Г.Н., Андреева Т.А., Литвиненко В.Г. Сквозная энергоёмкость продукции: методы расчета и анализа // Металлург. - 2002. — № И, — С. 32-35. 9. В.С. Бялковская, Г.А. Брянский Технические и экономические основы кузнечного производства. М., Машиностроение, 1972, 272 с. 10. А.П. Атрошенко, В.И. Федоров Металлосберегающие технологии кузнечно-штамповочного производства. – Л., Машиностроение, 1990. – 280 с. 11. А.П. Петров, П.А. Масловский, С.В. Ершов, А.А. Жуков Прогрессивные технологические процессыковки и объемной штамповки.– М., Высшая школа, 1989. – 104 с. 12. Система управления качеством проектирования технологических процессовковки. – М., Машиностроение, 1984. – 184 с. 13. Энергетические аспекты и современное потребление энергоносителей в черной металлургии / К. Хен-

дрикс, Х.М. Айхингер, М. Йокш, Г.П, Домельс // Чёрные металлы.- 1998.- июль-август.- С. 108-118. 14. Задачи по энергосбережению в ГМК Украины и пути их решения / Сталинский Д.В., Ботштейн В.А., Каневский А.М. и др./ Материалы научно-практического семинара Энергосберегающие технологии. Перспективы их внедрения на предприятиях металлургической отрасли», Донецк, 2006. - 56 с. 15. Задорский В.М. Системный поход к решению вопросов экологизации и энергосбережения. / Материалы научно-практического семинара «Энергосберегающие технологии. Перспективы их внедрения на предприятиях металлургической отрасли», Донецк, 2006. - 56 с.

**УДК 621.771.25:51.001.57:539.2.001.18**

**ЖУЧКОВ С. М.**, докт. техн. наук, проф., ИЧМ НАНУ, г. Днепропетровск  
**РАЗДОБРЕЕВ В.Г.**, канд. техн. наук, ИЧМ НАНУ, г. Днепропетровск  
**ПАЛАМАРЬ Д.Г.**, ИЧМ НАНУ, г. Днепропетровск  
**ИВАНОВ А.П.**, ИЧМ НАНУ, г. Днепропетровск  
**ВОРОБЕЙ С.А.**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., ИЧМ НАНУ, г. Днепропетровск

## **КОМПЛЕКСНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА СОРТОВОЙ ПРОКАТКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОТОВОГО ПРОКАТА**

Рассмотрены процессы непрерывной сортовой прокатки и последующего термоупрочнения арматурного проката, произведенного способом многоручьевого прокатки-разделения на пять ниток. Предложена комплексная математическая модель для расчета энергосиловых параметров прокатки и прогнозирования микроструктуры и механических свойств.

Ключевые слова: непрерывная сортовая прокатка, арматурный прокат, микроструктура, механические свойства, математическая модель.

Розглянуто процеси безперервної сортової прокатки та наступного термозміцнення арматурного прокату, виробленого способом багаторівчавкової прокатки-розділення на п'ять ниток. Запропонована комплексна математична модель для розрахунку енергосилових параметрів та прогнозування микроструктури й механічних властивостей.

Ключові слова: безперервна сортова прокатка, арматурний прокат, микроструктура, механічні властивості, математична модель.

The processes continuous rolling and subsequent heat treatment reinforcing bars made by a way multislitt of dividing rolling on five of roll are considered. The complex mathematical model for account the force, moment and capacity of parameters rolling both forecasting of microstructure and mechanical properties.

Key words: continuous rolling, reinforcing bar, microstructure, mechanical properties, mathematical model.

В условиях мирового кризиса и жесткой конкуренции для металлургической отрасли весьма актуальными остаются вопросы повышения требований по качеству металлопродукции, получение необходимого структурного состояния и свойств, обеспечивающих высокую технологичность при ее переработке в различных отраслях народного хозяйства страны.

Непрерывные мелкосортные и проволочные станы являются наиболее современными высокопроизводительными агрегатами, технологический процесс на которых характеризуется строгой поточностью и согласованностью, что в принципе позволяет осуществлять его в узких интервалах изменения параметров. Внедрение в