

УДК 621.771.25.002.2

**С.М.Жучков, В.Г.Раздобреев, Д.Г.Паламарь, А.П.Лохматов,
А.И.Лещенко**

НЕТРАДИЦИОННЫЕ РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА СОРТОВОГО ПРОКАТА

Приведены перспективные ресурсо- и материалосберегающие технологические схемы производства сортового проката.

Введение. В прокатных цехах металлургических предприятий перерабатывается практически вся сталь, выплавляемая в сталеплавильных цехах, и только небольшое ее количество перерабатывается в литейных и кузнечных цехах. Технологический процесс получения готового проката является завершающей стадией металлургического производства.

Для производства на металлургических предприятиях используют прокатные станы различного типа и назначения. Процесс производства проката в настоящее время реализуется в двух основных технологических схемах [1]. Первая из этих схем состоит из двух стадий: получение полупродукта (заготовки) прокаткой слитков на обжимных станах и последующей прокатки полупродукта в готовый прокат на сортовых или листовых станах. Вторая схема предусматривает получение готового проката непосредственно из непрерывнолитого металла. Кроме этих технологических схем производства сортового проката можно организовывать предприятия по получению проката без применения катаной или непрерывнолитой заготовки [2]. В этом случае в качестве заготовки используют, во-первых, списанные детали машин, имеющие форму тел вращения с гладкой формой поперечного сечения (ролики рольгангов и правильных машин, валы, оси, плунжеры гидро- и пневмоцилиндров и т.п., в том числе ролики крупных подшипников качения), во-вторых, некондиционный горячекатаный прокат (при его наличии в районе организации производства), порезанной на передельные заготовки.

Постановка задачи. Основными задачами производства сортового проката является получение профилей требуемых размеров и формы, с заданным комплексом механических и эксплуатационных характеристик с максимально возможной производительностью и с наименьшими затратами материальных и энергетических ресурсов при высоком качестве продукции. Широкий спектр как по сортаменту, так и по назначению готового проката эффективно используется в различных отраслях народного хозяйства: в энергетике, строительстве, машиностроении, горнодобывающей, нефте- и газодобывающих, судостроении, железнодорожном транспорте и прочее. Однако не весь металл, отработавший свой эксплуатационный срок в виде металлоконструкций или металлоизделий, может быть использован для дальнейшей переработки. К примеру, применяемый в железобетонных конструкциях арматурный прокат не может быть ис-

пользован в виде лома и потому не подлежит возврату в металлофонд страны [3]. Такой вид проката как железнодорожные рельсы может быть использован для дальнейшей переработки не только в виде скрапа для сталеплавильных цехов, но и в качестве подката для переработки его в различные виды сортового проката. Кроме вопроса сохранения металлофонда существует еще и чисто экономический аспект этой проблемы. Для различных видов проката различного назначения в себестоимости одной тонны готовой металлопродукции затраты по сталеплавильному переделу (с учетом исходных материалов и расходов по переделу) составляют порядка 80–90%, а затраты по прокатному переделу соответственно 10–20%. Поэтому экономически целесообразно реализовывать прямую переработку железнодорожных рельсов в готовый прокат.

Известно, что интенсивность работы железнодорожного транспорта в странах СНГ и Балтии значительно выше, чем в США и странах Европы. На железных дорогах СНГ и стран Балтии, составляющих около 10% мировой железнодорожной сети, выполняется почти половина мирового грузооборота. Грузонапряженность на этих дорогах в 5 раз выше, чем на дорогах США, и в 8–12 раз превышает грузонапряженность на дорогах стран Европы [4]. Высокая грузонапряженность, большие нагрузки и масса поездов определяют тяжелые условия работы рельсов. Их работоспособность определяет частоту замены рельсов. Высокая значимость качества рельсов в обеспечении безопасности движения требует полного исключения внезапных отказов в виде аварийно опасных изломов рельсов под поездами. При этом отработавшие свой эксплуатационный ресурс железнодорожные рельсы в большом объеме списываются и направляются на переплавку. При этом они не используются в дальнейшей переработке без переплавки [5].

Изложение основных материалов исследования.

Первые попытки решения проблемы прямой переработки железнодорожных рельсов без переплавки в другой вид проката относятся к концу XIX века [6]. Тогда, в 1869 году в Кливлендской прокатной компании (США) возникла проблема, использования большого количества отрезанных концов железнодорожных рельсов из бессемеровской стали, которые не могли быть использованы в конверторном производстве, а электросталеплавильных печей на большинстве предприятий не было. Одним из предложенных способов использования рельсовых отходов состоял в продольном разделении их на три части (рис.1) с последующим подогревом полученных полос и прокаткой их в проволоку.

Головку рельса прокатывали на линейном стане трио 457 мм в заготовку сечением 28,6x28,6 мм, а подошву рельса – в заготовку сечением 35x22 мм. Полученные заготовки использовались для производства проволоки. Использование неразрезанных рельсовых отходов составляло проблему, требующую разрешения. Специалисты – прокатчики в то время, считали, что рельсы из бессемеровской стали, подобные по форме се-

чения тавровым профилям не могут быть перекатаны в заготовку без образования складок и закатов. Тем не менее, руководство Кливлендской прокатной компании решило осуществить перекатку неразрезанных рельсов в проволоку. Неуверенность работников предприятия в разрешении этой задачи, а также ряд допущенных ошибок затруднили достижение успеха.

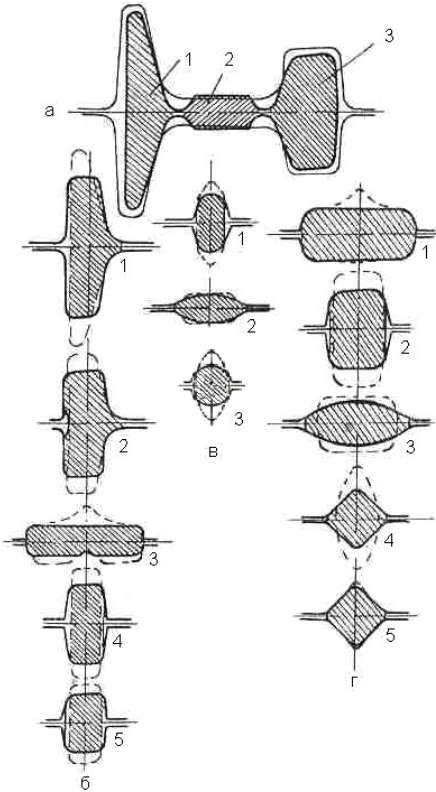


Рис. 1. Технологическая схема прямой переработки железнодорожных рельсов без переплава
 а – схема продольного разделения рельса на три части на стане (1 – подошва; 2 – шейка; 3 – головка);
 б – схема калибров валков перекатки подошвы рельса в заготовку 34,9x22,2 мм для проволочного стана;
 в – схема калибров валков для перекатки шейки рельса (с предварительным нагревом);
 г – схема калибров валков для перекатки головки рельса в заготовку 28,6 мм

На рис. 2. показана схема калибров валков для прокатки рельса в заготовку сечением 35x22 мм. В течение 12 лет (1869–1881 гг.) с применением этой технологической схемы перерабатывали рельсы в заготовку для производства с очень низкими затратами на прямую переработку за счет исключения сталеплавильного передела

(переплавки). Следует отметить, что из полученных заготовок производили пружинную проволоку высокого качества.

На рис.3 показана схема калибров валков для производства заготовок из рельсов, разработанная и примененная на заводе в г.Сиракузы (США). Особенностью этой технологической схемы является использование корасположенных калибров на первых стадиях деформации рельсов.

Основные элементы технологического процесса переработки железнодорожных рельсов, разработанные в конце XIX века в США, были запатентованы и успешно реализованы во Франции в конце 70-х годов XX столетия [7]. Этот технологический процесс предусматривает нагрев же-

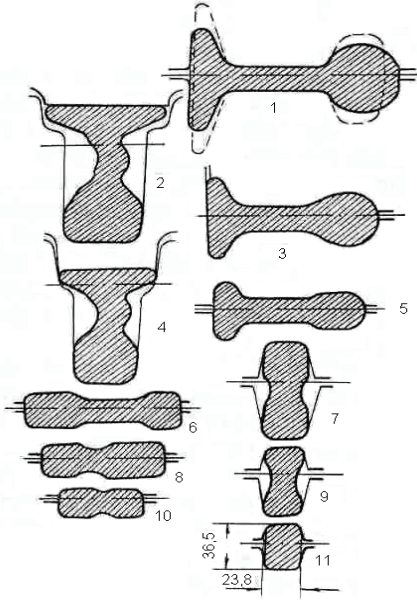


Рис. 2. Схема калибров валков для перекалки железнодорожных рельсов в заготовку без предварительной разрезки

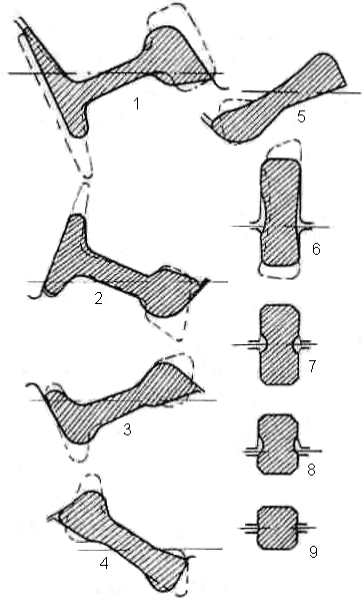


Рис.3. Схема калибров валков для перекалки рельсов в заготовку с применением косорасположенных калибров

лезнодорожных рельсов в методической печи до температуры прокатки. Затем рельс в первом проходе в специальном калибре рабочей клетки разрезается на три части: головку, шейку и подошву. Каждая из этих частей прокатывается на отдельном стане без промежуточного подогрева (рис.4). В результате из железнодорожных рельсов получают круглые, квадратные, угловые и другие профили (рис.5). Одним из видов продукции этого предприятия являются сварные трубы. Для получения этого вида продукции из подошвы рельса получали полосу, которую сворачивали в трубу в трех клетях непрерывной группы и затем сваривали.

При производстве сортовых профилей из отработанных рельсов, могут возникнуть проблемы качества, связанные с образованием плен и закатов на прокате в местах острых углов сечения элементов, получаемых при продольном разделении рельса.

Однако указанную проблему можно решить, используя способы кислородной и плазменной резки металлов [8,9].

Представленные технологические схемы прямой переработки отработавших свой ресурс рельсов без переплавки укрупненно включает следующие операции:

- 1 – подготовка рельсов (правка, поперечная резка на требуемые длины, удаление поверхностных дефектов);
- 2 – продольное разделение железнодорожных рельсов одним из способов на три части: головку, шейку и подошву;
- 3 – нагрев полученных заготовок по видам профиля;
- 4 – прокатка каждой части рельса по специальным схемам калибровок;
- 5 – охлаждение и резка на мерные длины готового проката.

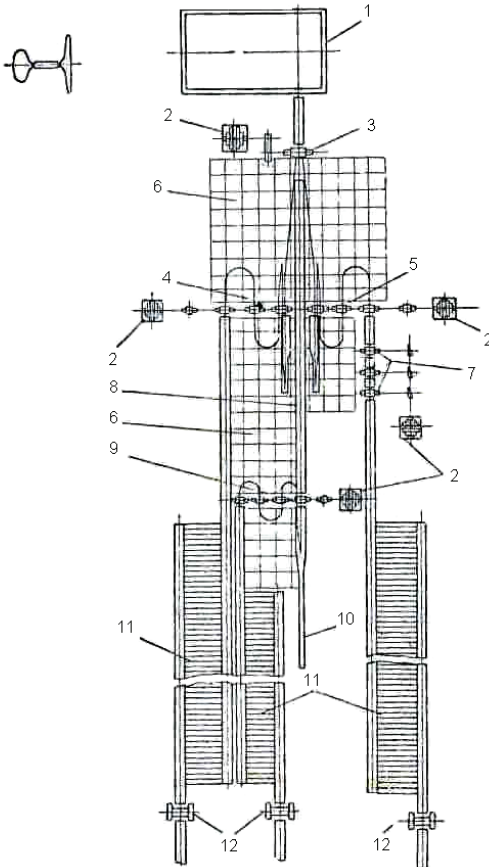


Рис.4. Схема производственного участка по переработке рельсов с предварительным продольным разделением.

1 – методическая печь; 2 – двигатели; 3 – разделочная клеть дуо 405 мм; 4 – линейный стан 405 мм для перекатки головок рельсов; 5 – линейный стан 405 мм для перекатки подошвы рельсов; 6 – плитовой настил для петли; 7 – линия производства сварочных труб; 8 – транспортер для шейки рельсов; 9 – стан 203 мм для перекатки шейки рельсов; 10 – желоб; 11 – холодильники; ножницы.

При необходимости можно проводить термическую обработку готового проката в технологическом потоке прокатки с прокатного или с отдельного нагрева.

Для продольного разделения рельсов на части можно использо-

вать промышленные портальные машины кислородной резки типа «Днепр–2,5К2» или пламенной резки типа ППЛ–2,5 [8, 9]. Однако в этом случае требуются большие затраты труда на сборку и закрепление пакета рельсов перед их резкой.

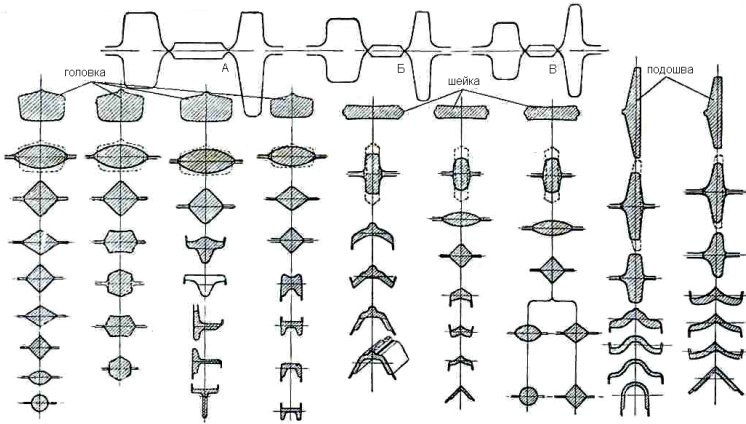


Рис. 5. Схемы получения сортовых профилей из разрезанных рельсов: а – большого сечения; б – среднего сечения; в – малого сечения

Оригинальный способ разделения рельсов был разработан учеными Уральского государственного технического университета (УГТУ) [10]. Здесь используется специализированный агрегат, оборудованный двумя кислородными резаками (или плазмотронами), закрепленными стационарно в местах сопряжения шейки с головкой и подошвой (рис. 6). При продольном разделении подготовленный рельс перемещается в продольном направлении при помощи задающих и тянущих роликов. Для нагрева полученных таким образом частей рельсов не требуется специального оборудования, и его можно проводить в обычных методических печах с шагающим подом или в проходных печах.

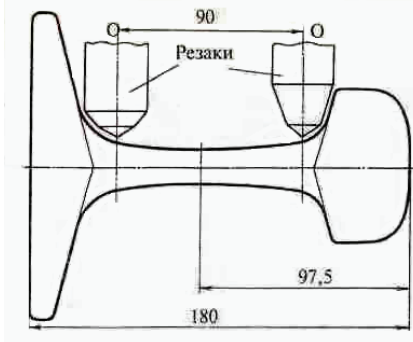


Рис. 6. Схема разделения рельсов типа Р65 на отдельные заготовки способом термической резки (0 – 0 – оси реза).

Прокатка каждой части рельса включает две стадии: получение промежуточного подката квадратного, круглого или полосового сечения и последующую прокатку этого подката до готового профиля, соответствующего стандартам. На первой стадии необходимо

использовать специальную форму калибров валков (рис. 7).

Головку рельса вначале прокатывают с небольшим обжатием в щичном калибре (рис. 7,а). Профиль дна нижнего ручья этого калибра соответствует контуру головки рельса, что обеспечивает надежное центрирование заготовки. Затем с использованием систем известных калиб-

ров, например шестиугольник – квадрат или овал – круг за 2 – 3 прохода получают квадрат со стороной 30 – 36 мм или круг диаметром 45 – 50 мм.

Шейка рельса имеет отношение сторон примерно 1:5, поэтому необходимо использовать 3 – 4 ребровых калибра (рис. 7,б), обеспечивающих устойчивое положение раската при обжатии в вертикальном положении. Далее металл прокатывают на гладкой бочке для получения полосовых профилей или в овальном калибре для дальнейшей прокатки круглых профилей.

Для вертикального обжатия подошвы рельса (рис.7,в), имеющей большое отношение сторон и несимметричную форму, необходимо применять специальные ребровые калибры, у которых контур боковых граней соответствует профилю криволинейной стороны подошвы. При этом в результате обжатия закругленной части подошвы повышается поперечная устойчивость раската. Из полученного в таких калибрах раската, используя систему калибров «ромб – квадрат» можно получить подкат квадратного сечения со стороной 32 – 36 мм или фасонную заготовку для дальнейшей прокатки угловых профилей.

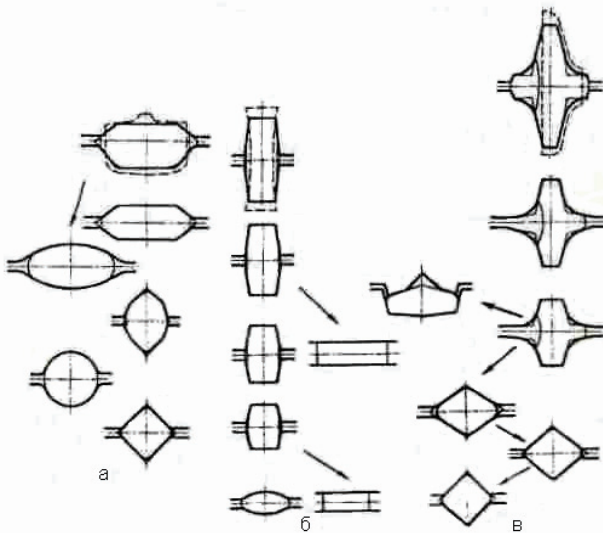


Рис. 7. Схемы калибровок валков для прокатки головки (а), шейки (б) и подошвы (в) рельса

Полученный прокат указанных сечений используется на второй стадии процесса с применением известных калибровок для производства: круглого проката $\varnothing 12 - 24$ мм (ГОСТ

2591–88); квадратного проката со стороной 12 – 24 мм (ГОСТ 2591–88); арматурного проката №№10 – 18 (А–IV(A600) по ГОСТ 5781–82); полосового проката толщиной 4 – 25 мм и шириной 20 – 80 мм (ГОСТ 103–76 и 4405–76); углового равнополочного проката №№2 – 5 с толщиной полки 3 – 5 мм (ГОСТ 8509–86); проволоки $\varnothing 3 - 8$ мм (ГОСТ 7348–81); круглой заготовки для изготовления мелющих шаров (ГОСТ 7524–89) и другие профили сортамента мелкосортного и проволочного станов.

Железнодорожные рельсы тяжелых типов (P50, P65 и P75 длиной 25 м) изготавливают из спокойной высокоуглеродистой стали с повышенным содержанием марганца в соответствии с ГОСТ 24182–80. Данные о марках сталей, применяемых при изготовлении железнодорожных рельсов, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав (в % по массе) марок сталей используемых при производстве железнодорожных рельсов

Марка стали	C	Mn	Si	As	P, не более	S, не более
M76	0,71–0,82	0,75–1,05	0,25–0,45	0,15	0,035	0,045
M74	0,69–0,80	0,75–1,05	0,25–0,45	0,15	0,035	0,045

Такое содержание углерода характерно для марки рельсовой стали, выплавляемой в США и Канаде. Рельсовую сталь выплавляют в мартеновских печах, кислородных конверторах, электропечах и томасовских конверторах. Термическую обработку железнодорожных рельсов проводят в соответствии с ГОСТ 18267–82 путем объемной закалки на НТМК, КМК, поверхностной закалки с нагрева токами высокой частоты на «Азовстали» и поверхностной закалки с объемного нагрева на ДМК.

Марочный сортамент рельсов заменяют близкими по химическому составу и механическим свойствам сталями для армирования железобетонных конструкций, инструментальными, конструкционными и рессорно-пружинными. Сравнительные данные механических свойств указанных сталей показано в табл.2 (числитель и знаменатель – значения для рельсовых и заменяющих их сталей; Н.р. – не регламентировано).

Таблица 2. Механические свойства рельсовых и заменяющих их сталей

Марка стали	Номер ГОСТа	σ_B , Н/мм ²	δ , %	НВ
Нетермообработанные				
<u>M76, K76, Э76</u>	<u>24182–80</u>	<u>≥900</u>	<u>≥5,0</u>	<u>≤311</u>
80С	5781–82	≥883	≥6,0	–
<u>M74</u>	<u>24182–80</u>	<u>≥900</u>	<u>≥5,0</u>	<u>≤311</u>
У7, У8, У7А, У8А	1435–75	Н.р.	Н.р.	≤187
Термообработанные				
<u>M74, M76</u>	<u>18267–82</u>	<u>≥1180</u>	<u>≥6,0</u>	<u>340–388</u>
60Г, 65Г, 70Г	14979–79	980–1030	≥8,0	≤285
<u>M74, M76</u>	<u>18267–82</u>	<u>≥1180</u>	<u>≥6,0</u>	<u>340–388</u>
55, 60	1050–88	650–680	12,0–13,0	≤255
<u>M74, M76</u>	<u>18267–82</u>	<u>≥1180</u>	<u>≥6,0</u>	<u>340–388</u>
для мелющих шаров	7624–89	Н.р.	Н.р.	352–401

При необходимости готовый прокат может быть подвергнут термической обработке путем сфероидизирующего отжига на зернистый перлит. Такой отжиг можно проводить в камерных или колпаковых муфельных печах [11].

Промышленное опробование такой технологии сотрудники УГТУ совместно с работниками Салдинского металлургического завода провели на мелкосортном стане 280 на партии отработавших свой ресурс железнодорожных рельсов. Предварительно рельсы на отдельные заготовки разделяли на порталной машине кислородной резки «Днепр–2,5К2» на Нижнетагильском заводе металлоконструкций. При этом в местах реза образовывался грат высотой 0,7–1,5 мм. Головки рельсов нагревали в методической печи стана 280 до температуры 1180 °С, а затем прокатывали в обжимной клети стана на квадрат со стороной 36 мм. При исследовании поверхности полученных полос каких-либо дефектов, в том числе и связанных с разделением рельса на отдельные части, не обнаружили, а грат выгорел в процессе нагрева заготовок в методической печи.

Страны бывшего СССР, в том числе Российская Федерация, Украина, Республика Беларусь и др. обладают разветвленной сетью железных дорог, использующие рельсы тяжелых типов (Р75, Р65 длиной до 25 м). В ГОСТе 5781–82 [12] при производстве предварительно напряженного арматурного проката №№10–18 класса прочности А–IV (А600) используют марку стали 80С с содержанием углерода в пределах 0,74–0,82%; марганца 0,5–0,9%; кремния 0,6–1,1%; титана 0,015%; хрома, никеля и меди до 0,3% каждого. Напрягаемый горячекатаный арматурный прокат класса прочности А–IV (А600) марки стали 80С принадлежит к группе высокопрочных материалов. С начала разработки и освоения (с начала 60–ых годов XX века) и до сегодняшнего дня арматурный прокат диаметром 10–18 мм из высокоуглеродистой стали марки 80С зарекомендовал стабильными механическими характеристиками и высокими упругими свойствами (предел упругости расчетный $\sigma_{\text{упр}}$; условный предел упругости $\sigma_{0,01}$ – $\sigma_{0,1}$; начальный модуль упругости $E_{\text{нач}}$; параметр упругости – отношение $\sigma_{\text{упр}}/\sigma_T$) и релаксационной стойкостью, чем низколегированные свариваемые стали марок 20ХГ2Ц и 20ХГ2Т того же класса прочности по ГОСТ 5781–82. По данным НИИЖБ [3] высокопрочный арматурный прокат №№10–18 класса прочности А–IV (А600) составлял 95% объема выпуска всех арматурных профилей бывшего СССР в конце 80–х начале 90–х годов XX века. Арматурный прокат из стали марки 80С, благодаря комплексу микрولةгированию высокоуглеродистой стали в узких пределах титаном и кремнием обладает стабильной структурой мелкозернистого перлита, обеспечивающей готовой продукции высокую однородность механических свойств. Если эту марку стали дополнительно микрولةгируют ванадием, цирконием отдельно либо совместно, то это, в итоге, приводит к дополнительному повышению прочностных свойств арматурного проката. Это объясняется, с одной стороны, тем, что указанные эле-

менты образуют с углеродом и азотом мельчайшие карбиды, нитриды и карбонитриды [13]. Таким образом, химический состав стали, применяемый при производстве железнодорожных рельсов подобен химическому составу стали марки 80С, применяемой при производстве горячекатаного арматурного проката класса прочности А-IV (А600) по ГОСТ 5781–82. Дополнительным аргументом целесообразности организации прокатного производства арматурного проката из железнодорожных рельсов без переплава является исключение из технологии принудительного водяного охлаждения, используемого при производстве термомеханически упрочненного проката из углеродистых и низколегированных марок сталей.

В соответствии с американским стандартом ASTM A617–79 производят стержни для армирования бетона как гладкие, так и периодического профиля. Материал прутков – углеродистая сталь из отслуживших свой срок осевых стальных заготовок локомотивных тендеров и автостроения. Такой арматурный прокат изготавливают номинальным диаметром от 9,52 до 35,81 мм в горячекатаном состоянии двух классов прочности: 40 ($\sigma_B=480$ Н/мм²; $\sigma_T=275$ Н/мм²) и 60 ($\sigma_B=620$ Н/мм²; $\sigma_T=415$ Н/мм²).

Результаты исследования. Учитывая сказанное, Институт черной металлургии НАН Украины считает организацию производства арматурного проката из отработавшего свой эксплуатационный ресурс железнодорожных рельсов весьма перспективным ресурсосберегающим направлением в производстве проката. Причем реализация этого направления может быть осуществлена различными путями, выбор которого во многом зависит от объемов отработанных рельсов. Один из этих путей предусматривает создание отдельного производства по переработке рельсов, а другой – использование существующих мощностей по производству проката. Особенно актуально решение этой проблемы в Украине, в рамках комплексной программы обновления подвижного железнодорожного транспорта («Обновление подвижного состава железнодорожного транспорта Украины на 2006–2010 года»). При небольших объемах партий разнообразных профилей проката широкого размерного сортаментно целесообразно создание специализированных производств на базе машиностроительных заводов «Укрзалізниця».

В Республике Беларусь возможна реализация обеих технологических схем – как создание специализированного производства под эгидой РУП БМЗ, так и использование производственных мощностей РУП БМЗ, в частности, стана 320 для переработки частей рельсов. Для этого необходимо оборудовать участок по подготовке (разрезке) списанных с Белорусской Железной Дороги (БЖД) рельсов под исходную под прокатку заготовку (полуфабрикат). Железнодорожные рельсы разрезают на три части: головку, шейку и подошву. Сформированные по массе разрезанные полуфабрикаты передают на участок нагревательной печи. В нагревательной печи заготовки нагревают до температур согласно действующей технологии производства арматурного (головка, шейка) и полосового (подошва)

проката и выдают на стан 320 для прокатки горячекатаных профилей. При этом необходимо учесть, что размеры полуфабрикатов имеют отличные от стандартных размеров непрерывнолитых заготовок, используемых при производстве сортовых профилей. А это, в свою очередь, приводит к уменьшению количества проходов в линии стана при производстве проката из разрезанных железнодорожных рельсов.

При этом необходимо будет решить следующие задачи:

- разработать технологическую схему из разрезанных железнодорожных рельсов, в том числе универсальную систему калибров валков черновой группы стана, обеспечивающую черновое формирование подката из элементов железнодорожных рельсов;

- определить сортамент проката, который можно получать из отработанных рельсов;

- разработать технологию производства горячекатаного арматурного и полосового проката из разрезанных железнодорожных рельсов;

- провести исследования влияния химического состава железнодорожных рельсов;

- провести исследования влияния технологических параметров прокатки при производстве горячекатаного проката на формирование механических свойств готовых изделий;

- опробовать и освоить материало- и энергосберегающую технологию производства арматурного проката класса А-IV (А600) из отработавших свой эксплуатационный срок железнодорожных рельсов БЖД в условиях мелкосортного стана 320 РУП «БМЗ».

Проведение такой работы предоставит возможность получать качественный горячекатаный металлопрокат без применения принудительного охлаждения водой из отработавших свой эксплуатационный ресурс железнодорожных рельсов БЖД. Экономическая эффективность работы будет складываться исключением из производственного цикла некоторого количества проходов при прокатке этих профилей (электроэнергии, необходимой на процесс прокатки и рабочего инструмента прокатного оборудования) и установки для термического упрочнения проката (вода, подаваемая на установку термоупрочнения и электроэнергия, необходимая для подачи воды на эту установку), а также использованием железнодорожно-го скрапа в качестве исходного материала.

В то же время необходимо отметить, что использование существующих высокоскоростных непрерывных прокатных станов для прямой переработки отработавших рельсов может привести к снижению производительности агрегата. Поэтому в данном случае целесообразно использовать прокатные станы, работающие с неполной загрузкой от проектной мощности. Наиболее эффективное решение этой проблемы является создание специализированных производств по переработке рельсов.

Выводы.

1. Рассмотрены нетрадиционные ресурсосберегающие технологические схемы производства сортового проката и катанки из отработавших свой эксплуатационный ресурс железнодорожных рельсов.

2. Показана возможность организации материало- и энергосберегающей технологии производства прямой переработки железнодорожных рельсов (без переплавки) в арматурный прокат класса А–IV (А600) в условиях мелкосортного стана. Для этой цели можно создавать специализированные производства по переработке рельсов (как на базе металлургических предприятий, так и в условиях машиностроительных и ремонтных предприятий железнодорожного транспорта) и использовать прокатные станы, работающие с неполной загрузкой от проектной мощности.

1. *Илюкович Б.М., Нечаев Н.Е., Меркурьев С.Е.* Прокатка и калибровка. // Справочник в 6–ти томах. Т.1. Основы теории калибровки. Днепропетровск: РИА «Днепр-ВАЛ», 2002. – 506с.
2. *Жучков С.М., Паламарь Д.Г.* Нетрадиционные подходы к развитию сортопрокатного производства // *Литье и металлургия.* – 2006. – №2. – С.53–55.
3. *Высокопрочная арматурная сталь / А.А. Кугушин, И.Г. Узлов, В.В. Калмыков и др.* // М.: Металлургия, 1986.– 272с.
4. *Итоги науки и техники.* Сер. Железнодорожный транспорт. – М.: ВИНТИ, 1990. – 368с.
5. *Шур Е.А.* Повреждения рельсов. – М.: Транспорт, 1971. – 112с.
6. *Бейнон.* Росс. Калибровка и расположение прокатных станов. – М.: Металлургияиздат, 1960. –203с.
7. *Пат. 2356458,* Франция, 1978.
8. *Бровман М.Я., Васин В.С.* Современные машины термической резки металлов в СССР и за рубежом: // *Обзор. информ.* (Сварочное производство. Сер. 10). – М.: ЦНИИТЭИтяжмаш, 1987. – Вып. 1. – 41с.
9. *Эсбиян Э.М.* Пламенно–дуговая аппаратура. – К.: Техника, 1971. – 265с.
10. *Технология переработки железнодорожных рельсов на сортовой прокат / В.К.Смирнов, В.А. Шилов, А.М. Михайленко и др.* // *Сталь.* – 1995. –№2. – С.46–48.
11. *Узлов И.Г., Савенков В.Я., Поляков С.Н.* Термическая обработка проката. – К.: Техника, 1981. – 358с.
12. *Арматурный прокат для железобетонных конструкций.* Справочное пособие. / Под ред. Худика Ю.Т. и Кекуха А.В. – Кривой Рог: «Мира», 2003. –115с.
13. *Голиков И.Н., Гольдштейн М.И., Мурзин И.И.* Ванадий в стали. – М.: Металлургия, 1968. –288с.

*Статья рекомендована к печати
канд.техн.наук Л.Г.Тубольцевым*