



*In the article there is given the analysis of the technology of melting and out-of-furnace processing with the purpose of receiving the high-quality metal production. There is shown, that the existing technology of the steel-making in conditions of RUP "Belorussianmetallurgical works" is directed on creation of scientific sorts of steel with the minimally possible presence of detrimental impurities: sulfur and phosphorus.*

## В ПОРЯДКЕ ОБСУЖДЕНИЯ

*В. И. ТИМОШПОЛЬСКИЙ, Белорусский национальный технический университет*

# ТЕХНОЛОГИЯ ВЫСШЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ВЫПЛАВКИ И РАФИНИРОВАНИЯ – ОСНОВА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОЙ ЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ НА БЕЛОРУССКОМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ЗАВОДЕ

### Введение

Республиканское унитарное предприятие «Белорусский металлургический завод» (РУП «БМЗ») сегодня является крупнейшим поставщиком наукоемкой металлопродукции высокого качества (катанки, строительной арматуры, металлокорда и др.). С целью сохранения завоеванных позиций на рынке черных металлов как в странах СНГ, так и в дальнем зарубежье, расширения сортамента продукции, повышения ее качества и увеличения экспортной доли на РУП «БМЗ» постоянно осуществляется модернизация оборудования и техническое перевооружение металлургических переделов.

Получение металлопродукции высокого качества, не уступающей по своим показателям лучшим мировым аналогам, стало возможным после пуска 2-й и 3-й очередей РУП «БМЗ». При строительстве и пуске 2-й очереди предусматривались реконструкция дуговой сталеплавильной печи ДСП-2 (установка эркерного выпуска), ввод установки ковш-печь, вакууматора RH, четырехручьевого МНЛЗ для разливки сортовых заготовок сечением 250x300 и 300x400 мм из углеродистых и легированных сталей, прокатного стана 850. Ввод 3-й очереди позволил увеличить объем производства до 1,1 млн. т литой заготовки, при этом было осуществлено строительство новой дуговой сталеплавильной печи с эркерным выпуском (ДСП-3), установки ковшевого вакуумирования стали (вакууматор VD), системы хранения и подачи металлизированных окатышей и вдвухахтной известково-обжигательной печи.

Если выполнить анализ существующих агрегатов внепечной обработки, функционирующих к настоящему моменту времени на ведущих металлургических предприятиях стран СНГ (порядка 30 предприятий с современным уровнем оборудова-

ния) и производящих высококачественную металлопродукцию [1], то становится очевидным, что РУП «Белорусский металлургический завод» не имеет себе равных по техническому оснащению и уровню применяемых технологий выплавки, внепечной обработки и разливки стали (сверхмощная ДСП – установка ковш-печь (LF) – вакууматор (RH, VD) – МНЛЗ с устройством ЭМП).

С момента пуска ЭСПЦ-2 техническими службами РУП «БМЗ», рядом научно-исследовательских институтов (ЦНИИЧермет, ДонНИИЧермет), ведущих вузов стран СНГ (Московский институт стали и сплавов, Белорусский национальный технический университет, Национальная металлургическая академия Украины, Донецкий национальный технический университет) проводятся исследования, направленные на усовершенствование технологии выплавки стали, причем по двум направлениям [2–13]:

первое – в рамках создания ресурсо- и энергосберегающих технологий, обеспечивающих экономии электрической и тепловой энергии, повышение стойкости футеровки в период ведения плавки, снижение расхода электродов и т. д.;

второе, являющееся исключительно важным для всей стратегии решаемых на РУП «БМЗ» задач, – улучшение качества металлопродукции с учетом различных вариантов шихтовки и режимов рафинирования в ходе внепечной обработки стали.

Такая необходимость в параллельном решении, на первый взгляд, невзаимосвязанных задач обусловлена прежде всего тем, что Белорусский металлургический завод один из первых в мировой металлургии освоил производство качественных высокоуглеродистых (кордовых) марок сталей, а также существенно (по сравнению с другими предприятиями аналогичного профиля) расширил сортамент и номенклатуру выпускаемой металлопродукции.

Безусловно, вложенные средства на модернизацию сталеплавильного производства себя оправдали в связи с тем, что если рассматривать существующие ГОСТ и стандарты на определенные виды металлопродукции, становится очевидным, что по своим показателям металлопродукция Белорусского металлургического завода в виде непрерывнолитых заготовок сечением 250x300 и 300x400 мм и полученных на их основе круглых профилей [14] не имеет аналогов не только в странах СНГ, но и в мире.

#### **Решение проблемы получения высококачественной непрерывнолитой заготовки**

Учитывая изложенное выше, очевидны перспективы для освоения производства новых марок сталей и расширения существующего сортамента на Белорусском металлургическом заводе, в первую очередь, таких наукоемких видов продукции, как металлокорд, сварочная проволока, сверхпрочная проволока для музыкальных инструментов [15], пружинная и бортовая проволока, что позволяет заводу находиться среди мировых лидеров в рамках данных металлургических технологий.

Согласно классификации Н.Т. Гудцова, из трех категорий примесей в стали вредными считаются сера и фосфор [16]. При этом более вредным является влияние серы (сульфидов железа и марганца), выделяющейся в процессе кристаллизации как в виде неметаллических включений различной морфологии, так и образующих сегрегации в приграничных участках. Кристаллизация сульфидов железа FeS происходит при температуре около 1000 °С, что может привести к формированию горячих трещин при разливке на МНЛЗ либо при дальнейшем нагреве непрерывнолитых заготовок в печи, а также к вероятности закатывания окалины на поверхности металла при последующей прокатке, т. е. наличие сульфидов железа FeS приводит к красноломкости сталей (в интервале температур прокатки 1100–950 °С), а при более высоких температурах прокатки (в интервале 1150–1200 °С) возможна горячеломкость стали. Если не удастся избежать высокого содержания серы [S], например на уровне 0,03%, то введение в сталь марганца в ходе легирования силикомарганцем и последующее зарождение тугоплавких сульфидов на основе марганца позволяет исключить образование легкоплавкой сульфидной эвтектики (например, сталь 08Г2С), т. е. в конкретном случае температура плавления сульфидов марганца при концентрации вокруг следов серы позволяет в итоге избежать красноломкости и горячеломкости как в ходе предпрокатной подготовки, так и в ходе обработки металлов давлением (температура плавления сульфидов марганца составляет 1600–1630 °С).

Само по себе содержание серы не влияет на прочностные характеристики (предел текучести и предел прочности), но существенно изменяет вязкость стали и ее анизотропию [16].

Анализ существующих данных по влиянию фосфора на свойства стали неоднозначны [17]. В большинстве работ фосфор рассматривается как вредный элемент, снижающий пластичность и вязкость литых и деформированных сталей. Вместе с тем, имеются работы, в которых фосфор рассматривается в качестве легирующего элемента. Так, в [16] отмечается, что в последнее время фосфор и серу иногда используют в качестве легирующих добавок для обеспечения ряда особых свойств сталей. Например, каждое повышение фосфора [P] на 0,01% увеличивает предел прочности стали на 5–7%, что в итоге при интенсивных режимах охлаждения и при механической обработке уменьшает распространение трещин.

Однако если рассматривать стали, производимые в условиях РУП «БМЗ» (относительно ГОСТ 380-94, 1050-88), то они не принадлежат к классу специальных сталей и процессы дефосфорации и десульфурации являются преобладающими в ходе получения жидкого полупродукта с последующей доводкой исходного жидкого расплава при получении сталей типа 08, 10, 15, 20 и др. При этом повышенное содержание серы [S] особенно при производстве сталей для глубокой переработки (кордовой, бортовой и др.) является исключительно вредным. И проведение реконструкции по модернизации сталеплавильного передела РУП «Белорусский металлургический завод» в течение последних 10 лет было направлено именно на сокращение содержания вредных примесей [S] и [P] при производстве металлопродукции в соответствии с сортаментом завода [13].

Практически с 20-х годов прошлого века по настоящее время по мере изменения ГОСТ, например, относительно рядовых марок сталей (Ст0–Ст5) как для спокойных, так и кипящих слитков, функционировали ГОСТ, в которых основными характеристиками для данных марок сталей были содержание углерода [C] и вредных примесей: серы [S] и фосфора [P]. По мере совершенствования технологии переплава, а также с учетом получения кокса с пониженным содержанием серы эта величина практически за 100 лет (!) не изменилась и находится на уровне 0,06–0,05 % для различных марок сталей (Ст0–Ст5) по содержанию серы, 0,07–0,04% по содержанию фосфора. Между тем для изготовления высококачественных марок сталей и получения на основе исходной заготовки катанки и проволоки в истории существуют примеры получения так называемых сверхчистых марок сталей или сталей повышенного качества. В технической литературе, в первую очередь в отечественной, которая по существу являлась основополагающей в области теории

и технологии процессов получения высококачественных сталей и чугунов и использовалась во всех развитых странах мира (Германия, США, Англия, Бельгия, Франция, Италия и др.) приводятся данные крупнейшего русского ученого, специалиста в области качественной металлопродукции проф. А.Н. Минкевича. Так, в его монографии, изданной в 1932 г. [18], в частности, при анализе содержания вредных примесей в сталях для последующего изготовления проволоки для пружин доказывалось, что содержание фосфора находится на уровне 0,02%, серы – 0,012–0,013%. По мнению автора, данный вид продукции отличается «выдающимися однородностью, чистотой и высокими механическими качествами». Такие характеристики сталей на тот момент времени были получены за счет технологии производства стали на основе чугуна из практически чистого шведского древесно-угольного продукта. Следует заметить, что подобных показателей содержания серы и фосфора нами не было обнаружено ни в технической литературе, ни в стандартах того времени, ни в действующих на сегодняшний день ГОСТ.

В настоящее время техническими службами предприятий металлургического профиля и машиностроительных предприятий с металлургической переработкой в качестве основных документов по наименованию конкретных видов металлоизделий и принадлежности их к конкретной группе сталей могут быть использованы справочники [19–21].

Руководствуясь справочной литературой [19–21], в которой приводятся все действующие для Республики Беларусь и Российской Федерации ГОСТ практически на все основные виды стальной продукции, мы замечаем, что за последние 20 лет эти ГОСТ не претерпели никаких изменений. В связи с этим представленные группы марок сталей, в том числе рядовые марки сталей (выплавляемые в мартеновской печи или кислородно-конвертерным способом), подвергающиеся процессам внепечной обработки [1], рассматриваются в рамках действующих в Российской Федерации и Республике Беларусь ГОСТ как сталь обыкновенного качества, качественная, высококачественная и особо высококачественная в зависимости от конкретного содержания серы и фосфора. И никоим образом, сама технология производства не может предопределять принадлежность конкретной марки стали к той или иной (соответствующей ГОСТ!) марке. При этом не имеет никакого значения, используется ли технология высшего технического уровня [3, 13] либо обычная технология производства стали мартеновским либо кислородно-конвертерным способом [22]. Не играет роли и способ разлива: в крупные слитки (сифонным способом для спокойных и полуспокойных или сверху для кипящих марок стали) либо способом непрерывной разлива.

В настоящее время для снижения содержания фосфора в основном используют непосредственно сталеплавильный агрегат, хотя этот процесс сопряжен с увеличением количества шлака, т. е. специальным режимом подачи извести и, как следствие, со снижением производительности сталеплавильной печи из-за повторных процедур скачивания шлака. О проведении процесса дефосфорации в ковше имеются лишь отдельные сведения, не позволяющие дать, по мнению авторов работы [1], достаточно объективную оценку целесообразности их использования в промышленности. Более ответственной процедурой является процесс десульфурации (снижения содержания сульфидов). Получение низких содержаний серы в условиях сталеплавильных агрегатов крайне затруднено. Поэтому экономически целесообразно прибегать к внепечной обработке стали, которая в настоящее время является основным технологическим приемом снижения серы в стали. Вместе с тем, сокращение в процентном отношении данных видов вредных примесей в химическом составе сталей приводит к сдерживанию объемов производства и перерасходу материалов, влияющих на снижение содержания серы (S) и фосфора (P). Например, по данным работы [1], снижение содержания серы на каждые 0,001% приводит к увеличению на 0,02% расхода извести.

Белорусский металлургический завод, если руководствоваться схемой, приведенной на рисунке, оснащен современными агрегатами для производства высококачественной стали [23]. В работе [1] отмечается, что бурное развитие теории и практики внепечной обработки стали в течение последних двух десятилетий позволило обеспечить наряду с увеличением производительности повышение качества стали и существенно расширить технологические возможности снижения ее загрязненности неметаллическими включениями и газами. Таким образом, очевидно, что концепция реализации в условиях РУП «БМЗ» технологических процессов выплавки стали в сверхмощных ДСП, рафинирования в современных агрегатах и разлива стали в крупные сечения с использованием ЭМП соответствует технологии и агрегатам высшего технического уровня [3]. Следует также отметить, что вся стратегия модернизации сталеплавильного производства направлена прежде всего на изготовление высококачественной высокоуглеродистой катанки и проволоки для металлокорда, что в общем объеме реализации продукции занимает порядка 35%.

Представляет также интерес обсуждение вопроса, целесообразно ли рафинирование рядовых марок сталей применительно к сегодняшним условиям производства катанки и арматурных профилей. Руководствуясь справочниками [19–21], в соответствии с ГОСТ 380-94 определяем содержание вредных примесей и химический состав,



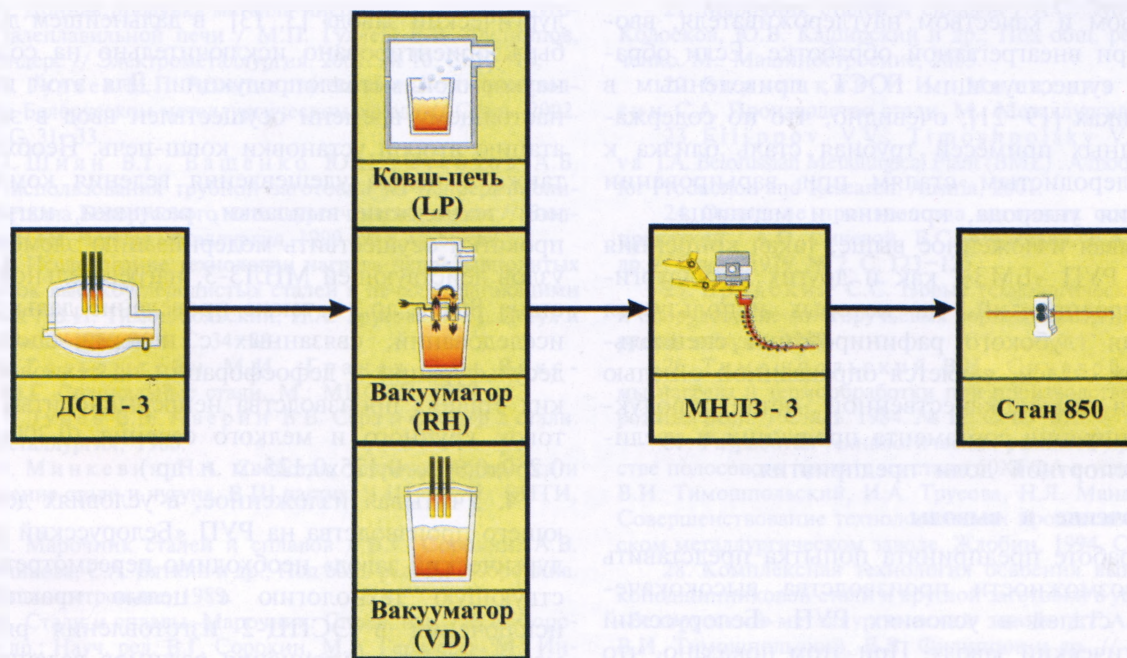


Схема сталеплавильного производства РУП "БМЗ"

например для стали Ст3, т. е. стали конструкционной углеродистой обыкновенного качества.

Между тем, руководствуясь этими же источниками, очевидно, что повышение качества рядовых марок сталей, т. е. переход ее к сталям с более высокими механическими свойствами, возможно реализовать за счет снижения содержания серы и фосфора. И для этой цели, безусловно, нельзя ограничиться производством полупродукта в ДСП, а необходимо этот полупродукт при соответствующей температуре перегрева расплава дорабатывать в установке ковш-печь.

Анализ химического состава рядовых марок сталей (например, сталь Ст3), полученных в условиях действующего оборудования и технологии РУП «БМЗ», показывает, что сталь Ст3 соответствии с ГОСТ 380-94 (см. таблицу) по химическому составу и содержанию вредных примесей (серы и фосфора), а это является главным фактором, фактически относится к ГОСТ 1050-88, т. е. является трубной сталью (сталь 10,15). Такое содержание серы поддерживается автоматически самой технологией ведения плавки, потому что используется технология для производства заготовки и катанки для металлокорда, где исключительно высокие требования по содержанию

серы и фосфора. Таким образом, очевидно, что в данных условиях (ДСП-3 – внепечная обработка – МНЛЗ-3) невозможно достигнуть уровня рядовых марок сталей даже при соблюдении наиболее простых технологических приемов, т. е. существующий на РУП «БМЗ» и особенно в ЭСПЦ-2 (см. рисунок) уровень металлургических технологий и агрегатов предполагает производство высококачественной металлопродукции (катанки, металлокорда, трубной стали и др.). Следует отметить, что до 1998–1999 гг. трубную, а также осевую (для последующего изготовления вагонных и локомотивных осей) сталь фактически производили в мартеновских печах при отсутствии процессов внеагрегатной обработки [24]. В последующем технология производства осевой, а также рельсовой стали была реализована в конвертере (без внеагрегатной обработки) [25]. Но при этом качество производимой металлопродукции позволяет, например Днепровскому металлургическому комбинату им. Дзержинского, находиться на уровне европейских лидеров по объемам производства трубной заготовки (1,0–1,3 млн. т в год трубных заготовок диаметром от 80 до 290 мм) и изделий, к которым предъявляются более высокие требования, чем к трубам [26].

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	As
0,14-0,22	0,40-0,65	0,12-0,30	0,04	0,05	0,30	0,30	0,30	0,08

Вместе с тем следует отметить, что качество трубной заготовки, производимой в условиях существующих технологий на РУП «БМЗ» (ДСП-3 – внепечная обработка (ковш-печь – вакууматор RH) – МНЛЗ-3 – стан 850), не имеет

аналогов в мировой практике. Это прежде всего связано с тем обстоятельством, что трубная заготовка по своему химическому составу фактически подпадает под металлокорд, кроме содержания углерода [C], что по сути дела определяется

количеством и качеством науглероживателя, вводимого при внеагрегатной обработке. Если обратиться к существующим ГОСТ, приведенным в справочниках [19–21], очевидно, что по содержанию вредных примесей трубная сталь близка к высокоуглеродистым сталям при варьировании содержания углерода, кремния и марганца.

Учитывая изложенное выше, такая концепция развития РУП «БМЗ», как и других металлургических предприятий, на которых используется технология глубокого рафинирования специальных марок сталей, является оправданной с целью получения высококачественной металлопродукции, расширения сортамента продукции и увеличения экспортной доли предприятия.

#### Заключение и выводы

1. В работе предпринята попытка представить анализ возможности производства высококачественных сталей в условиях РУП «Белорусский металлургический завод». При этом показано, что при любом способе производства (мартеновский, двухванные сталеплавильные печи, кислородно-конвертерный способ и др.) стали, подвергающиеся внеагрегатной обработке, классифицируются в соответствии с существующими ГОСТ как сталь обыкновенного качества, качественная, высококачественная в зависимости от содержания вредных примесей (серы и фосфора). Учитывая достижения последнего периода времени (1999–2003 гг.) по модернизации сталеплавильного передела РУП «БМЗ», нами показано, что в условиях технологии выплавки в ДСП-3, впоследствии внепечной обработки и разливки стали на МНЛЗ с использованием устройств ЭМП в крупные сечения 0,250x0,300 и 0,300x0,400 м при соблюдении наиболее простых приемов ведения технологии невозможно достигнуть уровня рядовых марок сталей.

2. Существующая в настоящее время технология сталеплавильного производства РУП «БМЗ» сбалансирована таким образом, что вся концепция развития завода в последние 10 лет была направлена на создание сверхчистых марок сталей, в том числе наукоемких с минимально возможным наличием вредных примесей: серы [S] и фосфора [P], что подтверждает возможность изготовления высококачественной литой заготовки и впоследствии катаного квадрата из кордовых и легированных марок сталей, а также позволяет сегодня Белорусскому металлургическому заводу с минимальными затратами достигать уровня производства ранее невыполнимых заказов, например, производства рессорных и подшипниковых марок сталей (50ХГФА [27], ШХ15, ШХ15СГ [28], в перспективе ШХ4) в соответствии с ГОСТ 14959-79 и 801-78.

3. Применение технологии высшего технического уровня в условиях РУП «Белорусский метал-

лургический завод» [3, 13] в дальнейшем должно быть ориентировано исключительно на создание наукоемкой металлопродукции. Для этой цели к настоящему времени осуществлен ввод в эксплуатацию второй установки ковш-печь. Необходимо также с целью удешевления ведения комплексной технологии выплавки, разливки, нагрева и прокатки осуществить модернизацию элементов и узлов действующей МНЛЗ-3, нагревательной печи стана 850 и др., а также проведение дальнейших исследований, связанных с новыми способами десульфурации и дефосфорации на технологических стадиях производства непрерывнолитых заготовок крупного и мелкого сечения (0,300x0,400, 0,250x0,300, 0,125x0,125 м и др.).

4. Учитывая изложенное, в условиях действующего производства на РУП «Белорусский металлургический завод» необходимо пересмотреть действующую технологию с целью практически исключения в ЭСПЦ-2 изготовления рядовых марок сталей и уточнения режимов ведения технологического процесса при производстве наряду с кордовыми марками сталей таких сталей, как ШХ15, ШХ15СГ, ШХ4, трубной заготовки (стали 10, 15) и др.

#### Литература

1. Теория и практика непрерывного литья заготовок / А.Н. Смирнов, А.Я. Глазков, В.Л. Пилюшенко и др. Донецк: ДонГТУ, 2000.
2. Тимошпольский В.И., Анисович Г.А., Маточкин В.А., Трусова И.А. Ученые – металлургической промышленности // Наука – народному хозяйству. Мн.: Аналитический центр НАН Беларуси. 2002. С. 571–582.
3. Тимошпольский В.И. Теплотехнологические основы металлургических процессов и агрегатов высшего технического уровня. Мн.: Навука і тэхніка, 1995.
4. Закономерности обезуглероживания стали в мощной 100-тонной дуговой печи / С.Н. Падерин, Ю.В. Феоктистов, В.И. Тимошпольский и др. // Сталь. 1992. № 11. С. 35–44.
5. Энерготехнологические режимы плавания окатышей в 100-тонной дуговой печи / А.Г. Афанасиади, В.И. Тимошпольский, Ю.В. Феоктистов и др. // Изв. вузов и энерг. объединений стран СНГ. Энергетика. 1993. № 1–2. С. 105–112.
6. Моделирование термодинамических и физико-химических процессов плавания окатышей в дуговой печи / В.И. Тимошпольский, И.А. Трусова, П.С. Падерин и др. // Изв. вузов и энерг. объединений стран СНГ. Энергетика. 1993. № 3–4. С. 105–107.
7. Особенности технологии выплавки стали в 100-тонных электропечах на Белорусском металлургическом заводе / В.И. Тимошпольский, Ю.В. Феоктистов, И.А. Трусова и др. // Сталь. 1994. № 7. С. 31–33.
8. Афанасиади А.Г. Разработка физико-химической модели прогнозирования углерода в жидкой ванне переменной массы дуговой сталеплавильной печи // Литье и металлургия. 2003. № 1. С. 41–45.
9. Совершенствование режима раскисления и внепечной обработки кордовой стали на основе информации об окисленности металла / В.В. Эндерс, М.П. Гуляев, Д.С. Якушук и др. // Литье и металлургия. 2002. №4. С.143-147.
10. Афанасиади А.Г., Эндерс В.В., Гуляев М.П. Исследование и разработка технологии выплавки качественной кордовой стали на шихте из металлического лома // Литье и металлургия. 1998. № 2. С. 38–41.
11. Эндерс В.В. Азот в сталеплавильных процессах // Литье и металлургия. 2002. № 1. С. 95–100.

12. Донная продувка металла инертными газами в дуговой сталеплавильной печи / М.П. Гуляев, В.В. Филиппов, В.В. Эндерс // *Электротехнология*. 2001. № 10. С. 10–15.
13. Гуляев М.П. Развитие сталеплавильного производства на Белорусском металлургическом заводе // *Сталь*. 2002. № 10. С. 31–33.
14. Шиян В.Г., Вашенко Ю.И., Стеблов А.Б. Опыт использования трубной заготовки из непрерывнолитого металла Белорусского металлургического завода // *Бюллетень НТИ. Черная металлургия*. 1990. № 8. С. 66–67.
15. Исследование технологии нагрева непрерывнолитых заготовок высокоуглеродистых сталей в печах с шагающими балками / В.И. Тимошпольский, И.А. Трусова, П.П. Петух и др. // *Сталь*. 1995. № 4. С. 34–38.
16. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. *Специальные стали*. М.: МИСИС, 1999.
17. Лунев В.В., Аверин В.В. Сера и фосфор в сталях. М.: Металлургия, 1988.
18. Минкевич Н.А. Свойства, тепловая обработка и назначение стали и чугуна. В 3 частях. Ч. III. М.; Л.: ОНТИ, 1932.
19. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин и др.; Под общ. ред. В.Г. Сорокина. М.: Машиностроение, 1989.
20. Стали и сплавы. Марочник: Справ. изд. / В.Г. Сорокин и др.; Науч. ред. В.Г. Сорокин, М.А. Гервасьев. М.: Интермет инжиниринг, 2001.
21. Марочник сталей и сплавов / А.С. Зубченко, М.М. Колосков, Ю.В. Каширский и др.; Под общ. ред. А.С. Зубченко. М.: Машиностроение, 2003.
22. Борнацкий И.И., Михневич В.Ф., Яргин С.А. *Производство стали*. М.: Металлургия, 1991.
23. Filippov V.V., Timoshpolsky V.I., Trusova I.A. *Belorussian Metallurgical Plant (BMZ). A modern Enterprise for Production and Research*. Austria, 2001.
24. Освоение производства вагонных осей винтовой прокаткой / А.П. Сичевой, В.С. Анюкевич, Е.А. Мильман и др. // *Сталь*. 1979. № 2. С. 123–125.
25. Бродский С.С. *Новые технологические процессы и оборудование многоручьевых сортовых МНЛЗ*. Мн.: Белорусская наука, 1998.
26. Тимошпольский В.И., Сичевой А.П. Режимы нагрева и термообработки при производстве железнодорожных осей // *Сталь*. 1984. № 12. С. 65–67.
27. Разработка технологических режимов при производстве полосового проката из стали 50ХГФА в условиях БМЗ / В.И. Тимошпольский, И.А. Трусова, Н.Л. Мандель и др. // *Совершенствование технологических процессов на Белорусском металлургическом заводе*. Жлобин, 1994. С. 98–101.
28. Комплексная технология освоения выпуска шарикоподшипниковой стали и круглой заготовки в условиях РУП «Белорусский металлургический завод» / Г.А. Анисович, В.И. Тимошпольский, В.В. Филиппов и др. // *Литье и металлургия*. 2003. № 1. С. 16–22.