

ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

№ 4 (47) 2023

Журнал включен в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (Перечень ВАК), по специальностям: 2.6.2 Металлургия черных, цветных и редких металлов; 2.6.3 Литейное производство; 2.6.4 Обработка металлов давлением. Сведения о журнале содержатся в базе данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

Редакционный совет

Председатель ред. совета:

В.А. Бигеев – проф., д-р техн. наук,
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»

Члены ред. совета:

С.В. Денисов – д-р техн. наук, проф.,
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»

А.Н. Емелишин – д-р техн. наук, проф.,
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»

И.Е. Илларионов – д-р техн. наук, проф.,
ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И.Н. Ульянова»

А.А. Казаков – д-р техн. наук, проф.,
ФГАОУ ВО «СПбПУ»

В.М. Колокольцев – президент
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»,
д-р техн. наук, проф.

З. Конопка – д-р техн. наук, проф.,
Ченстоховский технологический
университет, Польша

О. Островский – д-р техн. наук, проф.,
UNSW, Австралия

А.М. Песин – д-р техн. наук, проф.,
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»

М. Дабала – д-р техн. наук, проф.,
Университет Падуи, Италия

П. Тандон – д-р техн. наук, профессор
и руководитель машиностроения, Индийский
институт информационных технологий, дизайна
и производства PDPM, Джабалпур, Индия

Р.П. Кардосо – д-р техн. наук, проф.,
Федеральный университет Санта-Катарины,
Бразилия

Е. В. Агеев – д-р техн. наук, проф.,
Юго-Западный государственный университет

В.Б. Деев – д-р техн. наук, проф.,
НИТУ МИСиС, Москва, Россия

А.А. Попов – д-р техн. наук, проф.,
ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина»

В.М. Салганик – д-р техн. наук, проф.,
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»

О.Ю. Шешуков – д-р техн. наук, проф.,
ГУ ИМетРАН, ФГАОУ ВО «УрФУ имени
первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Главный редактор:

А.С. Савинов – директор института
металлургии, машиностроения
и материалобработки, д-р техн. наук,
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»

Научный редактор:

Н.Ш. Тютерьяков – канд. техн. наук,
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»

Технический редактор:

Ю.А. Извеков – проф., канд. техн. наук,
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»

К.И. Рудь

Дизайнер:

Е.О. Харченко

© ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2023

Учредитель – Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова
(455000, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, д.38).
16+, в соответствии с Федеральным законом № 436-ФЗ от 29.12.10.

Свидетельство о регистрации ПИ №ФС 77-74213 от 02.11.2018 г. Выдано Федеральной службой по надзору в сфере
связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

Адрес редакции:

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, ауд. 315
Тел.: (3519) 29-84-64.
E-mail: TТаPEoMP@ magtu.ru; ttmp@ magtu.ru

Адрес типографии:

455000, Челябинская обл., г. Магнитогорск,
пр. Ленина, 38, ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»,
участок оперативной полиграфии

Адрес издателя:

455000, Челябинская обл., г. Магнитогорск,
пр. К. Маркса, 45/2,
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», издательский центр

Выход в свет 25.12.2023. Заказ 403. Тираж 500 экз.
Цена свободная.

THE THEORY AND PROCESS ENGINEERING OF METALLURGICAL PRODUCTION

No. 4 (47) 2023

The Journal is included in the List of Russian Peer-Reviewed Scientific Journals which are supposed to publish the major results of doctoral and PhD dissertations. Information about the journals can be found into databases of the Russian Science Citation Index (RSCI)

Editorial Board Members

Chairman:

V.A. Bigeev – D. Sc., Professor,
Nosov Magnitogorsk State Technical University

Honorary Board Members:

S.V. Denisov – D.Sc., Professor,
Nosov Magnitogorsk State Technical University

A.N. Emelyushin – D.Sc., Professor,
Nosov Magnitogorsk State Technical University

I.Y. Illarionov – D.Sc., Professor,
Chuvash State University

A.A. Kazakov – D.Sc., Associate Professor,
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

V.M. Kolokoltsev – D. Sc., Professor,
President of Nosov Magnitogorsk State Technical
University

Z. Konopka – D.Sc., Professor,
Czestochowa University of Technology, Poland

O. Ostrowski – D.Sc., Professor,
University of New South Wales, Australia

A.M. Pesin – D. Sc., Professor,
Nosov Magnitogorsk State Technical University

M. Dabala – D.Sc., Professor, University of Padova,
Italy

P. Tandon – D. Sc., Professor & Head of Mechanical
Engineering, PDPM Indian Institute of Information
Technology, Design and Manufacturing, Jabal-
pur, India

R.P. Cardoso – D. Sc., Professor,
Federal University of Santa Catarina, Brazil

E.V. Ageev – D.Sc., Professor, Southwest State University
V.B. Deev – D. Sc., Professor, MISiS, Moscow, Russia

A.A. Popov – D.Sc., Professor,
Institution of Higher Professional Education «Ural Federal
University named after the first President of Russia
B.N.Yeltsin»

V.M. Salganik – D. Sc., Professor,
Nosov Magnitogorsk State Technical University

O. Ju. Sheshukov – D.Sc., Professor,
alloys Federal State Autonomous Educational
Institution of Higher Professional Education
«Ural Federal University named after the first President
of Russia B.N.Yeltsin»

Editor-in-Chief:

A.S. Savinov – Director of Metallurgy Mechanical
Engineering and Materials Processing Institute D.Sc., Nosov
Magnitogorsk State Technical University

Scientific Editor:

N.S. Tyteriakov – Ph.D., Nosov Magnitogorsk State
Technical University

Technical Editor:

Y.A. Izvekov – Professor, Ph.D., Nosov Magnitogorsk
State Technical University

K.I. Rud

Designer:

E.O. Harchenko

© FSBEI of HE “Nosov Magnitogorsk State Technical University”, 2023

Founder – Nosov Magnitogorsk State Technical University
(38, pr. Lenina, Magnitogorsk 455000, Chelyabinsk Region)

16+ in accordance with Federal Law #436-FZ dated 29.12.10

Registration certificate PI # FS 77-74213 dated November 02, 2018 is issued by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology, and Mass Media

Editorship address:

315, 38, pr. Lenina, city of Magnitogorsk 455000, Russia
Tel.: +7 (3519) 29-84-64.

E-mail: TTaPEoMP@ magtu.ru; ttmp@ magtu.ru

Printing office:

38 Lenin prospekt, Magnitogorsk, Chelyabinsk region,
455000, Russia
Nosov Magnitogorsk State Technical University

Editorial office:

45/2 Karla Marksa prospekt, Magnitogorsk, Chelyabinsk region,
455000, Russia
Nosov Magnitogorsk State Technical University

Publication date 25.12.2023. Order 403. Circulation: 500.
Open price.

СОДЕРЖАНИЕ

МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ.....	4
Сайтгараев А.А., Кожухов А.А., Семин А.Е. ВЛИЯНИЕ ОКИСЛЕННОСТИ СИСТЕМЫ МЕТАЛЛ-ШЛАК НА ГЛУБОКОЕ ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЕ РАСПЛАВА ПРИ ВАКУУМНОЙ ОБРАБОТКЕ	4
Ломовцев А.А., Столяров А.М., Потапов И.М., Юдин Д.В. НАУГЛЕРОЖИВАНИЕ МЕТАЛЛА ПРИ КОВШЕВОЙ ОБРАБОТКЕ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ.....	8
Андросенко М.В., Кенарь Е.В., Куликов С.С., Крайний И.В., Харлов Д.А., Налимова М.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДВЕСНОГО РОЛИКОВОГО БЛОКА ЗОНЫ ВТОРИЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ СОРТОВОЙ МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВКИ.....	12
ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО	17
Фирстов А.П., Шевченко О.И., Мартыненко С.В. ОПЫТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПО ОПРОБОВАНИЮ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ ПО ЛИКВИДАЦИИ ИЛИ СУЩЕСТВЕННОГО СНИЖЕНИЯ «ПЕРЕДУВА»	17
ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ.....	21
Могильных А.Е., Бирюкова О.Д., Песин А.М., Пустовойтов Д.О. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТВЁРДОСТИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПРИ АСИММЕТРИЧНОЙ ПРОКАТКЕ	21
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	26
Головкин П.А. О ПРИМЕСИ ВИСМУТА В ПРУТКАХ ИЗ СТАЛИ 10864.....	26
Коляда Л.Г., Тарасюк Е.В., Пономарев А.П., Шувалова М.М. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ВОСКОВЫХ ЭМУЛЬСИЙ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ НА СТАЛЬНУЮ УПАКОВОЧНУЮ ЛЕНТУ	31

CONTENTS

METALLURGY OF BLACK, COLOR AND RARE METALS	4
Saitgaraev A.A., Kozhukhov A.A., Semin A.E. EFFECT OF OXIDATION OF THE METAL-SLUG SYSTEM ON DEEP DECARBURIZATION OF THE MELT DURING VACUUM TREATMENT	4
Lomovtsev A.A., Stolyarov A.M., Potapov I.M., Yudin D.V. METAL CARBONIFYING IN THE COURSE OF HIGH CARBON STEEL LADLE TREATMENT.....	8
Androsenko M.V., Kenar E.V., Kulikov S.S., Krayniy I.V., Kharlov D.A., Nalimova M.N. ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF FOOT ROLLER UNIT OF THE SECONDARY COOLING ZONE OF BILLET CONTINUOUS CASTING MACHINE	12
FOUNDRY	17
Firstov A.P., Shevchenko O.I., Martynenko S.V. PILOT TESTS FOR TESTING THE SEPARATION COATING TO ELIMINATE OR SIGNIFICANTLY REDUCE THE "OVERDRIVE"	17
PROCESSING OF METALS BY PRESSURE.....	21
Mogilnykh A.E., Biryukova O.D., Pesin A.M., Pustovoitov D.O. THE RESEARCH OF THE POSSIBILITY OF THE HARDNESS REGULATING IN ALUMINUM ALLOYS DURING ASYMMETRICAL ROLLING.....	21
MATERIAL SCIENCE	26
Golovkin P.A. ON BISMUTH IMPURITY IN COLD-FORMED STEEL BARS WITH THE SET COERCIVITY VALUE "10864".....	26
Kolyada L.G., Tarasyuk E.V., Ponomarev A.P., Shuvalova M.M. THE RESEARCH OF OPERATIONAL PROPERTIES OF WAX EMULSIONS USED FOR STEEL PACKING TAPE COATING.....	31

МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

УДК 669.14.018.583.004.15

Саитгараев А.А., Кожухов А.А., Семин А.Е.

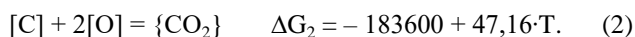
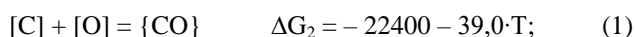
ВЛИЯНИЕ ОКИСЛЕННОСТИ СИСТЕМЫ МЕТАЛЛ-ШЛАК НА ГЛУБОКОЕ ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЕ РАСПЛАВА ПРИ ВАКУУМНОЙ ОБРАБОТКЕ

Аннотация. Рассмотрены вопросы достаточности исходного кислорода в системе металл-шлак при проведении глубокого обезуглероживания металла. Приведены балансовые расчеты, подкрепленные экспериментальными данными, подтверждающие требуемый уровень содержания кислорода в металле, содержания оксидов железа в шлаке на этапе обезуглероживания для обеспечения углерода в расплаве менее 0,003%.

Ключевые слова: глубокое обезуглероживание, вакуумная обработка, баланс кислорода

В настоящее время при производстве особонизкоуглеродистой и в большей степени ультранизкоуглеродистой стали перед учеными-металлургами возникают вопросы определения лимитирующих факторов процесса обезуглероживания расплава. Так, на рубеже 80-х годов прошлого столетия к содержанию углерода в готовой стали предъявляли требования не более 0,01%, позднее не более 0,005%. В настоящий момент требование к содержанию углерода составляет не более 0,003%, что обусловлено необходимостью обеспечения высоких качественных характеристик. Исходя из тенденции развития промышленности и импортозамещения в течение предстоящих 10 лет, потребуется уровень содержания углерода, не превышающее значения 0,001% [1].

Процесс глубокого обезуглероживания обрабатываемого расплава, как правило, описывается двумя основными уравнениями, учитывающими окисление углерода как до оксида, так и диоксида:



Реакция, описывающая окисление углерода до диоксида, при углероде более 0,02–0,01% считается второстепенным. Однако, как следует из многих литературных данных, при углероде менее вышеуказанных значений окисление углерода идет с образованием двух оксидов. Воспользуемся методикой расчета, приведенной в работе [2], для анализа процесса обезуглероживания с учетом образования оксида и диоксида углерода.

Этап обезуглероживания сопровождается образованием газового пузыря, который содержит оксид и диоксид углерода. Рассмотрим варианты окисления углерода: при атмосферном давлении $p_{атм.} = 1$ атм константы равновесий будут соответствовать:

$$K_1 = \frac{p_{CO}}{[C] \cdot [O]}, \quad (3)$$

$$K_2 = \frac{p_{CO_2}}{[C] \cdot [O]^2}; \quad (4)$$

$$p_{CO} + p_{CO_2} = K_1 [C] \cdot [O] + K_2 [C] \cdot [O]^2 = p_{атм.} \quad (5)$$

Для температуры 1873 К коэффициент K_1 будет равен 460,49 ($\ln K = -\Delta G/RT$), для K_2 будет равен 455,32. Поэтому при любой температуре $p_{CO}/([C] \cdot [O]) = \text{const}$, $[C] \cdot [O] = p_{CO}/K_1 = p_{CO}/460,49 = 0,0024 \cdot p_{CO} = 0,0022$ (для $p_{атм.} = 1$ атм). Это будет означать, что количество оставшегося углерода в металле будет зависеть лишь от уровня кислорода. Причем чем выше будет уровень кислорода, тем меньше будет остаток углерода.

Однако предельная растворимость кислорода в металле не превышает 0,23%, следовательно, согласно выражению (1) минимальное содержание углерода (равновесное с кислородом в металле) не должно быть ниже 0,01%. Более низкие содержания углерода можно получить в условиях вакуумного обезуглероживания, при этом также необходимо учитывать и то, что процесс протекает с образованием двух оксидов.

Исходя из вышеизложенного, оценим влияние исходной окисленности системы на процесс глубокого обезуглероживания металла при вакуумировании. Для анализа процесса воспользуемся данными по технологическому режиму обезуглероживания, включая изменение окисленности шлака, температуры металла, режима подачи газообразного кислорода и другие описанные в литературных источниках.

В процессе вакуумной обработки многие авторы [3–8] ссылаются на достаточность системы металл-шлак кислородом, в том числе за счет внешнего источника в виде дополнительной подачи O_2 .

Согласно данным работ А.М. Самарина, В.И. Явойского, содержание кислорода в металле должно превышать равновесное с углеродом в расплаве более чем в три раза. В этом случае в конце вакуумной обработки может быть достигнуто весьма низкое содержание углерода на уровне 0,005–0,003%. В работе [4, 9] это соотношение уже включает суммарный кисло-

род, растворенный в металле и легковосстановимый из шлака:

$$n = \Sigma O:1,33\Sigma C. \quad (6)$$

Величина соотношения n для обезуглероживания (до 0,004–0,002%) должна составлять около 3, дальнейшее повышение кислорода не целесообразно. Воспользуемся рекомендациями вышеотмеченных ученых для анализа процесса глубокого обезуглероживания в условиях настоящей работы.

В литературном источнике [10] установлено, что для оптимального протекания реакций (1), (2) и достижения содержания углерода менее 0,002% содержание углерода перед вакуумированием должно быть менее 0,025%, окисленность 400–700 ppm с подачей газообразного кислорода в объеме не менее 30 м³.

Как известно, использование газообразного кислорода во время вакуумной обработки также приводит к повышению температуры расплава. Возникает вопрос о достаточности кислорода в системе металл-шлак, если расплав имеет высокие значения по температуре и отсутствует возможность подачи газообразного кислорода.

В связи с этим является актуальным проведение исследований и оценки изменения массовой доли растворенного кислорода на всем этапе обезуглероживания без использования газообразного кислорода и разработка альтернативных путей повышения его содержания в случае необходимости.

Следует также учесть, что часть углерода окисляется до диоксида углерода, а для этого требуется удвоенное количество кислорода. С учетом доли углерода, окисляющегося до диоксида, потребность в кислороде может возрасти не более чем на 5–10%.

С использованием стехиометрического уравнения (1) рассчитаем количество кислорода, необходимого для полного окисления углерода в сталеразливочном ковше объемом 100 т и при начальном его содержании $[C]_{\text{исх}}=0,03\%$ (30,0 кг), которое составляет 40 кг.

Далее проведем расчет баланса кислорода в системе металл-шлак перед этапом обезуглероживания.

Примем следующие допущения: количество металла в сталеразливочном ковше составляет 100 000 кг, количество шлака – 2% ($Q = 2000$ кг), примем содержание кислорода в металле перед обработкой на АЦВ в среднем на уровне 600 ppm, то есть количество кислорода в исходном металле равно 0,06%, или 60 кг.

При среднем содержании FeO в шлаке перед вакуумной обработкой 30,0%, количество кислорода составит 133 кг.

Источниками поступления кислорода в расплав являются:

- кислород в исходном металле = 60 кг (0,06%);
- кислород в шлаке ($Q = 2000$ кг) = 133 кг (0,13%);
- в случае подачи газообразного кислорода, подаваемого в вакуумную камеру, например при среднем расходе 50 м³, количество кислорода составит 71 кг.

Результаты расчетов показали, что суммарное количество кислорода в металле и шлаке превышает требуемое значение более чем в 6 раз (264 кг) и в 5 раз (193 кг) для случаев с подачей газообразного кислорода и без соответственно.

Таким образом, можно предположить, что количество кислорода без использования дополнительной подачи достаточно для полного протекания реакций (1), (2) и получения низких значений содержания углерода.

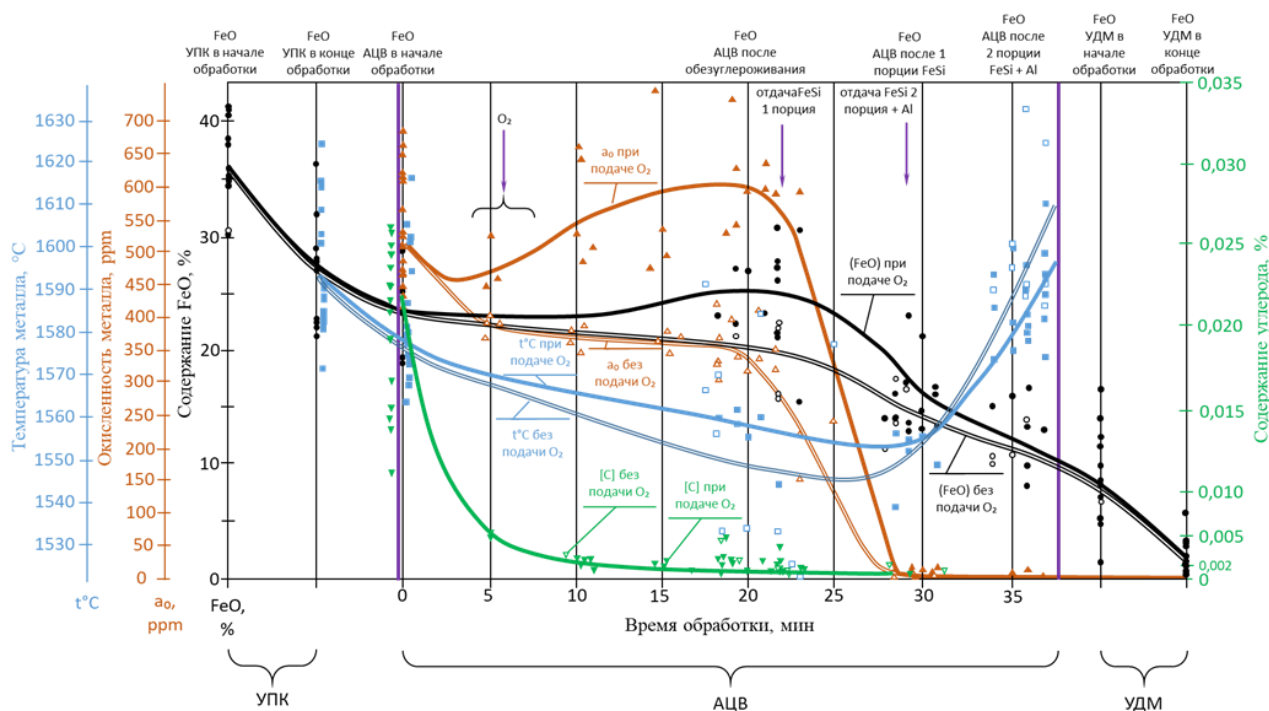
В работе [11] представлены результаты замеров по содержанию углерода, FeO в шлаке, окисленности и температуры расплава по ходу технологического процесса обезуглероживания по режимам с подачей и без подачи кислорода. Результаты работы представлены на рисунке.

Как видно из рисунка, окисленность системы с подачей выше, чем без подачи газообразного кислорода, но при этом влияние на скорость обезуглероживания и конечное содержание углерода в расплаве отсутствует. Это позволяет сделать вывод, что кислорода в системе находится в достаточном количестве и его увеличение относительно содержания углерода более чем в 3 раза не приводит к существенному снижению последнего, подача газообразного кислорода для поддержания окисленности металла не требуется. Необходимость его подачи может быть связана только с поддержанием температуры расплава.

Дополнительно установлено, что содержание FeO в шлаке по ходу процесса снижается. Это свидетельствует о том, что в обезуглероживании участвует легковосстановимый кислород шлака.

Л.М. Новик [4] в одной из своих работ утверждает, что при порционном, циркуляционном и струйном способах обезуглероживание осуществляется при недостатке кислорода, так как в вакуумной камере отсутствует окислительный шлак, и дополнительное введение кислорода затруднено. При этом утверждается, что глубокое обезуглероживание может достигаться, когда концентрация кислорода в системе превышает в 2–3 раза стехиометрическую концентрацию углерода (1).

Однако с этим можно согласиться лишь частично. Во-первых, на данный момент вышеназванные установки уже снабжены оборудованием, позволяющим подавать в камеру газообразный кислород, а комментарии, приведенные в [4], относятся к более раннему периоду. Отмечено главное, что при порционном и циркуляционном вакуумировании в течение всей обработки концентрация кислорода превышает вышеназванные значения. Это обеспечивается как за счет высокой окисленности металла перед вакуумированием, так и значительной долей высокоокисленного шлака. Шлак в ковше также позволяет дополнительно поддерживать окисленность металла.



Изменение содержания углерода, FeO в шлаке, окисленности и температуры расплава при обработке на установках «Печь-ковш» (УПК) – агрегате циркуляционного вакуумирования (АЦВ) – установке доводки металла (УДМ) по режимам с подачей кислорода и без [11]

В работе [11] проведена проверка изменения соотношения $[O]:[C] = 3:1$ во время декарбонизации, где показано, что фактическое соотношение доли кислорода к углероду к пятой минуте выполняется и составляет более 3, что является достаточным для осуществления процесса обезуглероживания. Это подтверждает, что необходимость подачи газообразного кислорода в период вакуумного обезуглероживания отсутствует. Окисленность расплава является достаточной для проведения глубокого обезуглероживания за счет растворенного кислорода и кислорода шлака.

Таким образом, можно утверждать, что для получения сверхнизких значений массовой доли C (менее 0,003%) в период обезуглероживания достаточно использовать режим без подачи газообразного кислорода с использованием потенциала металла и шлака.

Выводы

1. Проведено теоретическое исследование и оценка изменения массовой доли растворенного кислорода во время вакуумирования стали, в частности без подачи газообразного кислорода.

2. Результаты теоретического анализа и данные прямых экспериментов позволяют заключить, что окисленность системы может быть достаточной для проведения глубокого обезуглероживания за счет растворенного кислорода и кислорода шлака, необходимость в дополнительном кислороде отсутствует. Целесообразно осуществлять подачу газообразного кис-

лорода только для химического подогрева расплава в случае необходимости.

Список источников

1. Анализ и совершенствование технологии производства особонизкоуглеродистой электротехнической изотропной стали в условиях конвертерного производства / А.А. Сайтгараев, К.Ф. Колетвинов, С.С. Дегтев и др. // Сборник трудов XVI Международного конгресса сталеплавыльщиков и производителей металлов, Екатеринбург, Новоуральск, 25-27 мая 2021 г. 417 с.
2. Физико-химические расчеты электросталеплавыльных процессов / В.А. Григорян, А.Я. Стомахин, А.Г. Понамаренко и др. М.: Metallurg, 1989. 288 с.
3. Metallurgiya stali / В.И. Явойский, С.Л. Левин, В.И. Баптизмандский и др. М.: Metallurgiya, 1973. 816 с.
4. Новик Л.М. Внепечная вакуумная металлургия стали. М.: Наука, 1986. С. 109–115.
5. Синельников В.А., Иванов Б.С. Выплавка низкоуглеродистой электротехнической стали. М.: Metallurgiya, 1991. 144 с.
6. Электросталеплавыльные процессы / Д.Я. Поволоцкий, В.Е. Рошин, М.А. Рысс, А.И. Строганов, М.А. Ярцев. М.: Metallurgiya, 1984. 568 с.
7. Metallurgiya stali / В.И. Явойский, Ю.В. Кряковский и др. М.: Metallurgiya, 1983. 584 с.

8. Бигеев А.М., Бигеев В.А. *Металлургия стали. Теория и технология плавки стали*. Магнитогорск: МГТУ, 2000. 544 с.
9. Лукутин А.И., Кацов Е.З., Губарев Д.Е. Термодинамический анализ условий глубокого обезуглероживания и раскисления углеродом расплава на основе железа при ковшевом вакуумировании // Сборник трудов Академии Наук СССР Института металлургии им. А.А. Байкова. М.: Наука, 1978. 238 с.
10. Анализ и совершенствование технологии производства электротехнической изотропной стали с низким содержанием углерода в условиях конвертерного производства. Сообщение № 2 / А.А. Сaitгараев, В.А. Лавров, С.С. Дегтев, Е.Н. Тюленев, В.Н. Караваев, А.Е. Семин, А.А. Кожухов, К.Л. Косырев, О.А. Комолова, В.С. Юсупов // *Сталь*. 2022. № 12. С. 15–25.
11. Влияние окисленности металла и шлака на глубокое обезуглероживание расплава при циркуляционном вакуумировании / А.А. Сaitгараев, С.С. Дегтев, В.А. Лавров и др. // Сборник трудов XVII Международного конгресса сталеплавильщиков и производителей металла ISCON-2023 «От руды до стали», Магнитогорск, 2023. 428 с.

Сведения об авторах

Сaitгараев Альберт Ахметгареевич – ПАО «НЛМК», Липецк, Россия.

Кожухов Алексей Александрович – доктор технических наук, доцент, Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС», Старый Оскол, Россия.

Семин Александр Евгеньевич – доктор технических наук, профессор, кафедра металлургии стали, новых производственных технологий и защиты металлов, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Москва, Россия.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

EFFECT OF OXIDATION OF THE METAL-SLUG SYSTEM ON DEEP DECARBURIZATION OF THE MELT DURING VACUUM TREATMENT

Saitgaraev Albert A. – PJSC NLMK, Lipetsk, Russia

Kozhukhov Alexey A. – University of science and technological "MISIS", Stary Oskol, Russia

Semin Alexander E. – Professor of University of science and technological "MISIS" Moscow, Russia

Abstract. The issues of the sufficiency of the initial oxygen in the metal-slag system during deep decarburization of metal are considered. Balance calculations are presented, supported by experimental data confirming the required level of oxygen content in the metal, the content of iron oxides in the slag at the decarburization stage to ensure carbon in the melt is less than 0.003%.

Keywords: deep decarburization, vacuum treatment, oxygen balance.

Ссылка на статью:

Сaitгараев А.А., Кожухов А.А., Семин А.Е. Влияние окисленности системы металл-шлак на глубокое обезуглероживание расплава при вакуумной обработке // Теория и технология металлургического производства. 2023. №4(47). С. 4-7.
Saitgaraev A.A., Kozhukhov A.A., Semin A.E. Effect of oxidation of the metal-slug system on deep decarburization of the melt during vacuum treatment. *Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2023, vol. 47, no. 4, pp. 4-7.

УДК 669.18

Ломовцев А.А., Столяров А.М., Потапов И.М., Юдин Д.В.

НАУГЛЕРОЖИВАНИЕ МЕТАЛЛА ПРИ КОВШЕВОЙ ОБРАБОТКЕ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Аннотация. В работе проанализирована технология науглероживания металла при производстве высокоуглеродистой стали марки 80. Науглероживание металла производится в два этапа. На первом этапе - в процессе выпуска полупродукта из двухванного сталеплавильного агрегата (ДСА) в сталеразливочный ковш введением около 85% от общего количества карбюризатора УСМ-99 (углеродсодержащего материала или искусственного графита фракцией 3-10 мм) с содержанием 99% углерода. На втором этапе производится корректировка содержания углерода в стали при ковшевой обработке на агрегате «ковш-печь» (АКП) путем присадки УСМ-99 и порошковой проволоки с 99,05% углерода. В работе проанализирован массив производственных данных из 26 плавов стали марки 80. Статистическая обработка цифровых данных позволила установить температурный режим производства стали. Приведены данные об изменении содержания углерода и серы в процессе производства, окисленности металла на АКП. Проведен анализ влияния различных факторов на усвоение углерода для каждого этапа науглероживания металла. Установлено, что повышение температуры выпускаемого металла негативно влияет на усвоение углерода: при температуре не более 1630°C усвоение равнялось 77,6%, а при большей – 72,2%. Поэтому рекомендуется выпускать металл из ДСА с температурой не выше 1630°C. При ковшевой обработке металла на АКП получена зависимость усвоения углерода от температуры металла по приходу на АКП. Для получения более высокого усвоения углерода (от 78 до 89%) рекомендуется иметь температуру металла по приходу на АКП в интервале 1540 – 1560°C.

Ключевые слова: сталь высокоуглеродистая, ковш, агрегат «ковш-печь», карбюризатор, усвоение углерода

В электросталеплавильном цехе (ЭСЦ) ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» производится сталь широкого марочного сортамента, включая высокоуглеродистую сталь марки 80 [1]. Химический состав такой стали (% по массе) для производства катанки и проката круглого сечения с целью изготовления проволоки ответственного назначения по ТУ 14-101-582-2009 следующий:

C	Si	Mn	S	P
0,77-0,85	0,20-0,37	0,40-0,70	≤ 0,005	≤ 0,025
Cr	Ni	Cu	N	Al
≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,008	≤ 0,005

При производстве стали марки 80 достаточно сложной задачей является осуществление эффективного науглероживания металла с высоким усвоением вводимого углерода [2–5].

Полупродукт выплавляется в двухванном сталеплавильном агрегате (ДСА) 180×180 т, так как в стали вышеназванной марки должна быть низкая концентрация хрома, никеля и меди – не более 0,10%. Науглероживание металла производится в два этапа. На первом этапе – в процессе выпуска полупродукта из ДСА в сталеразливочный ковш введением около 85% от общего количества карбюризатора УСМ-99 (углеродсодержащего материала или искусственного графита фракцией 3-10 мм) с содержанием 99% углерода. На втором этапе производится корректировка содержания углерода в стали при ковшевой обработке на агрегате «ковш-печь» (АКП) путем присадки УСМ-99 и порошковой проволоки с 99,05% углерода [6, 7].

В работе проанализирован массив производственных данных из 26 плавов стали марки 80. Статистическая обработка цифровых данных позволила установить температурный режим производства стали (рис. 1).

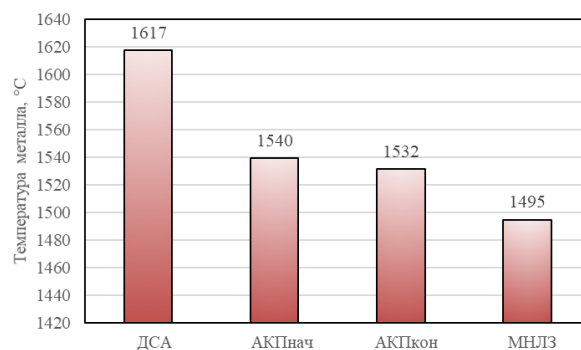


Рис. 1. Средние значения температуры металла на разных этапах производства: перед выпуском из ДСА, в начале и конце обработки на АКП, при разливке на МНЛЗ

На первом этапе науглероживания происходит значительное (в среднем на 77°C) падение температуры металла из-за присадки в ковш основной массы карбюризатора, а также ферросилиция марки ФС65 и силикомарганца марки СМн18. При обработке на АКП (второй этап науглероживания) снижение температуры металла незначительное – в среднем на 8°C. На участке АКП – МНЛЗ металл остывает в среднем на 37°C. При этом средняя температура ликвидус металла составляет 1465°C.

На рис. 2 представлено изменение среднего содержания углерода в процессе производства.

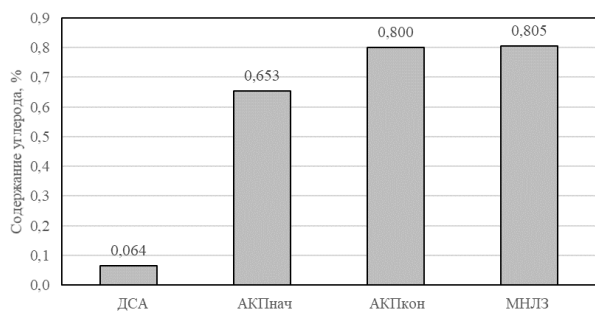


Рис. 2. Среднее содержание углерода в металле перед выпуском из ДСА, в начале и конце обработки на АКП, при разливке на МНЛЗ

При первом науглероживании среднее содержание углерода увеличивается в 10,2 раза, а при втором – в 1,23 раза. Резкое увеличение содержания углерода в сочетании с ростом концентрации кремния и марганца вызывает падение среднего содержания растворенного в металле кислорода на АКП в 10,7 раз (рис. 3).

Получение глубоко раскисленного металла в сочетании с наведением «белого» шлака (среднее содержание монооксидов железа и марганца равно 0,92 и 0,16 % соответственно) способствует эффективной десульфурации металла. На рис. 4 показано изменение содержания серы в металле.

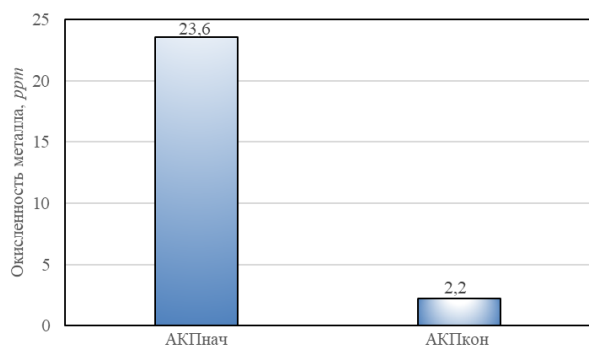


Рис. 3. Информация об изменении окисленности металла в процессе ковшевой обработки на АКП

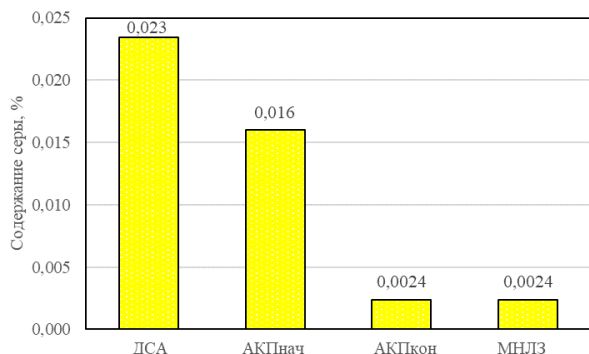


Рис. 4. Изменение содержания серы в металле

Общая степень десульфурации металла имеет высокое значение – 89,6%. Из рис. 4 видно, что наибольший вклад в удаление серы вносит ковшевая обработка металла на АКП – содержание серы снижается в 6,7 раза.

В работе рассчитаны значения усвоения углерода на каждом этапе науглероживания металла (рис. 5). Усвоение углерода на АКП выше в среднем на 1,7%, чем в процессе выпуска из ДСА. Это объясняется использованием на АКП углеродсодержащей порошковой проволоки.

Проведен анализ влияния различных факторов на усвоение углерода для каждого этапа науглероживания металла. Установлено, что повышение температуры выпускаемого металла негативно влияет на усвоение углерода (рис. 6): при температуре не более 1630°C (22 плавки) усвоение равнялось 77,6%, а при большей величине (4 плавки) – 72,2%. Поэтому рекомендуется выпускать металл из ДСА с температурой не выше 1630°C.

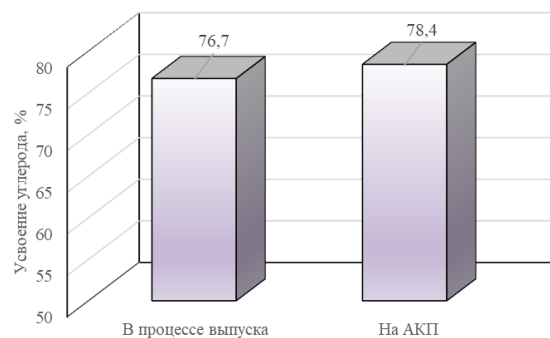


Рис. 5. Усвоение углерода при науглероживании металла в процессе выпуска из ДСА и на АКП

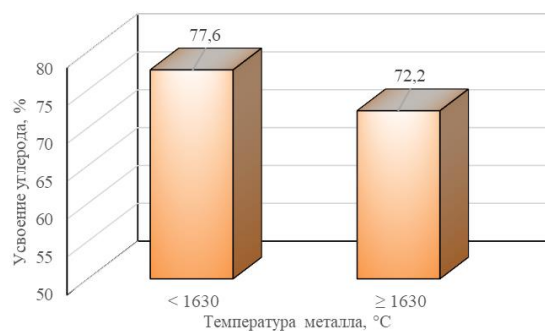


Рис. 6. Усвоение углерода на первом этапе науглероживания при разной температуре металла перед выпуском из ДСА

При ковшевой обработке металла на АКП получена зависимость, представленная на рис. 7.

Для получения более высокого усвоения углерода (от 78 до 89%) необходимо иметь температуру металла по приходу на АКП в интервале 1540–1560°C.

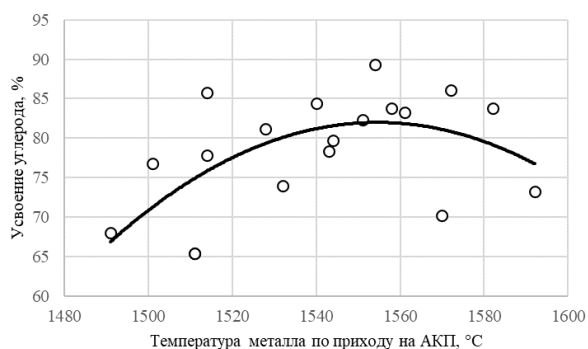


Рис. 7. Зависимость усвоения углерода на втором этапе науглероживания от температуры металла по приходу на АКП

Заключение

В работе проанализирована технология науглероживания металла при производстве высокоуглеродистой стали марки 80. Науглероживание металла производится в два этапа. На первом этапе – в процессе выпуска полупродукта из ДСА в сталеразливочный ковш введением около 85% от общего количества карбюризатора УСМ-99 (углеродсодержащего материала или искусственного графита фракцией 3-10 мм) с содержанием 99% углерода. На втором этапе производится корректировка содержания углерода в стали при ковшевой обработке на агрегате «ковш-печь» (АКП) путем присадки УСМ-99 и порошковой проволоки с 99,05% углерода. В работе проанализирован массив производственных данных из 26 плавки стали марки 80. Статистическая обработка цифровых данных позволила установить температурный режим производства стали. Приведены данные об изменении содержания углерода и серы в процессе производства, окисленности металла на АКП. Проведен анализ влияния различных факторов на усвоение углерода на каждом этапе науглероживания металла. Установлено, что повышение температуры выпускаемого металла негативно влияет на усвоение углерода: при температуре не более 1630°C (22 плавки) усвоение

Сведения об авторах

Ломовцев Антон Александрович – магистр кафедры металлургии и химических технологий института металлургии, машиностроения и материаловедения, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия.

Столяров Александр Михайлович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры металлургии и химических технологий института металлургии, машиностроения и материаловедения, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: sam52.52@mail.ru

Потапов Иван Михайлович – бакалавр, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия.

Юдин Данил Владиславович – бакалавр, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия.

равнялось 77,6%, а при большей (4 плавки) – 72,2%. Поэтому рекомендуется выпускать металл из ДСА с температурой не выше 1630°C. При ковшевой обработке металла на АКП получена зависимость усвоения углерода от температуры металла по приходу на АКП. Для получения более высокого усвоения углерода (от 78 до 89%) рекомендуется иметь температуру металла по приходу на АКП в интервале 1540–1560°C.

Список литературы

1. Бигеев В.А., Столяров А.М., Валиахметов А.Х. Металлургические технологии в высокопроизводительном электросталеплавильном цехе: учебное пособие. Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2020. 320 с.
2. Бигеев А.М., Бигеев В.А. Металлургия стали. Теория и технология плавки стали: учебник для вузов. 3-е изд., перераб и доп. Магнитогорск: МГТУ, 2000. 544 с.
3. Поволоцкий Д.Я. Основы технологии производства стали: учебное пособие для вузов. Челябинск: ЮУрГУ, 2004. 191 с.
4. Еланский Г.Н., Линчевский Б.В., Кальменев А.А. Основы производства и обработки металлов: учебник. М.: МГВМИ, 2005. 416 с.
5. Рошин В.Е., Рошин А.В. Электрометаллургия и металлургия стали: учебник. 4-е изд., перераб. и доп. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. 572 с.
6. Современные процессы ковшевой десульфурации чугуна / С.Н. Ушаков, В.А. Бигеев, А.М. Столяров, М.В. Потапова // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2019. Т.17. №2. С. 17–23.
7. О возможности корректировки места приложения мягкого обжатия слябовой непрерывнолитой заготовки из трубной стали / Е.А. Бунеева, В.В. Мошкун, А.М. Столяров, М.В. Потапова // Теория и технология металлургического производства. 2020. № 1 (32). С. 4-10.

METAL CARBONIFYING IN THE COURSE OF HIGH CARBON STEEL LADLE TREATMENT

Lomovtsev Anton A. – master degree student of Metallurgy and Chemical Technology Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: mcm@magtu.ru

Stolyarov Alexander M. – Professor of Metallurgy and Chemical Technology Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: sam52.52@mail.ru

Potapov Ivan M. – bachelor degree student of Metallurgy and Chemical Technology Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: potapivan14@gmail.com

Yudin Danil V. – bachelor degree student of Business Informatics Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: ydv2002@mail.ru

Abstract. In the work the technology of metal carburization during production of high-carbon steel (80 grade) was analyzed. Metal carburization is carried out in two stages. At the first stage - in the process of tapping the semi-product from a double-bath steelmaking unit (DSU) into ladle by introducing about 85% of the total amount of USM-99 carburizer (carbon-containing material or artificial graphite with a fraction of 3-10 mm) containing 99% carbon. At the second stage, the carbon content in steel is adjusted during ladle processing on a ladle-furnace unit (LAF) using the USM-99 additive and flux-cored wire with 99.05% carbon. The work analyzed an array of production data from 26 heats of grade 80 steel. Statistical processing of digital data made it possible to establish the temperature regime of steel production. Data are presented on changes in carbon and sulfur content during the production process, and metal oxidation at the automatic transmission. An analysis of the influence of various factors on carbon assimilation was carried out for each stage of metal carburization. It was established that an increase in the temperature of the produced metal negatively affects the assimilation of carbon: at a temperature of no more than 1630°C, the assimilation was 77.6%, and at a higher temperature - 72.2%. Therefore, it is recommended to produce metal from DSA at a temperature no higher than 1630°C. When ladle processing of metal on the automatic transmission machine, the dependence of carbon assimilation on the temperature of the metal upon arrival at the automatic transmission machine was obtained. To obtain higher carbon assimilation (from 78 to 89%), it is recommended to have the temperature of the metal upon arrival at the automatic transmission in the range of 1540–1560°C.

Key words: steel, high-carbon, ladle, ladle-furnace unit, carburizer, carbon assimilation.

Ссылка на статью:

Науглероживание металла при ковшевой обработке высокоуглеродистой стали / А.А. Ломовцев, А.М. Столяров, И.М. Потапов, Д.В. Юдин // Теория и технология металлургического производства. 2023. №4(47). С. 8-11.
Lomovtsev A.A., Stolyarov A.M., Potapov I.M., Yudin D.V. Metal carbonifying in the course of high carbon steel ladle treatment. *Teoria i tehnologija metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2023, vol. 47, no. 4, pp. 8–11.

ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF FOOT ROLLER UNIT OF THE SECONDARY COOLING ZONE OF BILLET CONTINUOUS CASTING MACHINE

Abstract. *The secondary cooling zone of the continuous casting machine is designed to solidify and support the casted slab. During solidification combined stresses cause buckling of ingot skin. Determining the design parameters of the continuous casting machine to achieve high quality and productivity is still of current interest. Thus, upgrading of the continuous casting machine equipment in order to produce the billets of high quality is a priority. The purpose of the study is to analyse and develop the foot roller unit of the continuous caster secondary cooling zone*

Key words: *continuous casting machine, secondary cooling zone, billet, foot block, stress-strain state*

Introduction

The process line operation is limited by the service life of roller guides. When rollers come in contact with hot metal they are exposed to cyclic thermal stresses and mechanical loads from the ferrostatic pressure of liquid steel. It, in turn, leads to wear, cracking, and sometimes to breakage of the rollers [1], therefore, when choosing an inter-repair period, it is necessary to pay special attention to increasing of the roller resistance to wear [2] and fatigue strength, which significantly depend on the correct choice of material.

The cooling mode is to provide the minimum duration of slab complete solidification and the absence of surface and internal defects, while the water consumption during the casting of killed steel is from 0.4 to 1.0 m³/t at a withdrawal speed of 1.0-1.4 m/min.

Ferrostatic pressure of liquid metal can cause buckling along the slab edges. To prevent this frames with the foot rollers located on all four sides of the slab are installed in the secondary cooling zone.

The hardness of the slab grows, as the distance from the mould and the thickness of the solidifying skin increases that is why the diameter of the rollers in downstream sections becomes bigger.

Analyzing the data of the macrostructure control of the continuously cast billet manufactured by the CCM using the records on the distribution of intrashop rejects supplied by quality control department of MSP for a period of one year, it can be concluded that the main defect in the shape of the billet is the wrong geometrical parameters of the billet section [3].

During the production, process breakouts happen in the area between the mould and foot roller unit of the secondary cooling zone after the billet leaves the mould. Failure to comply with casting modes as well as design deficiencies of secondary cooling zone units with regards to the distance between the mould and the first line of cooling zone rollers, the first line and the second line rollers, the second line rollers of the secondary cooling zone and the first roller of the bending area are the main rea-

sons for the breakouts. The big distances cause buckling of the billet between the rollers. The resulting defect (buckling) is an obstacle for the billet drawing and it leads to the formation of cracks through which the molten metal leaks out, and the manufactured slab is treated as reject.

The existing foot rollers of the mould manufactured by VAI FUCHS have been analysed to determine the effect of the design of the roller unit located under the mould on the geometric parameters of the billet. The hanger consists of a base, which is attached to the bottom plate of the mould. The support brackets of the angle section are fixed to the base, equipped with two rows of holes into which the roller assemblies with axes and plain bearings are installed. The brackets are installed with respect to the foot roller base, taking into account the basic radius of the continuous caster. Nozzles of the billet cooling system are attached to the base. The water is supplied between the rollers.

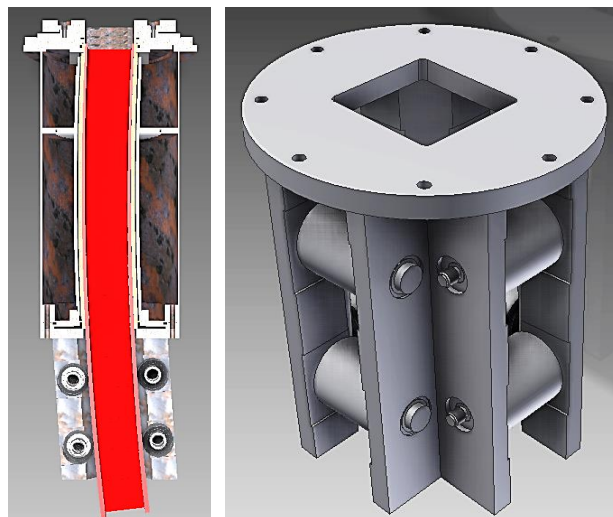


Fig. 1. The foot roller unit with two lines of rollers

To reduce the bearing pressures between the rollers and the billet leading to the deformation of the billet surface and geometry, it is proposed to change the design of the roller hanger of the mould secondary cooling zone.

Three lines of rollers are to be installed instead of two ones taking into account the basic dimensions of the base and brackets, thus the distance between the rollers

will become smaller but the geometric parameters of the metal structure will remain unchanged.

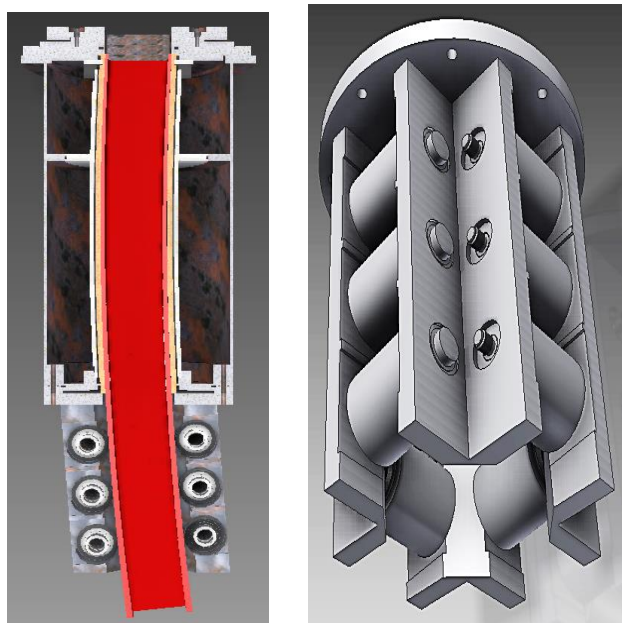


Fig. 2. The foot roller unit with three lines of rollers

Analysis of the stress-strain state of the rollers of the existing and proposed design of the mould hanger unit of the billet caster is performed in the Ansys Workbench.

Figure 3 shows the final results of the calculation of the stress-strain state of a 3D model of a mould, equipped with a hanger unit with two lines of supporting rollers; it shows the maximum values of the calculated parameters (deformations in the billet - $2.5277 \cdot 10^{-6}$ m, equivalent stress (von Mises) – $8.5062 \cdot 10^6$ Pa).

The same measures have been taken as in case with the hanger unit with two lines of supporting rollers. The size of the rollers and the dimensions of the hanger unit remained the same, the pitch of the roller belts has been changed. A computer model has been developed in Autodesk Inventor solid-state modelling, an analysis of the computer model of the hanger roller unit has been performed in the Ansys Workbench, as a result of which an image of the stress-strain state of the object has been obtained.

Figure 4 shows the final results of the calculation of the stress-strain state of a 3D model of a mould, equipped with a hanger unit with two lines of supporting rollers; it shows the maximum values of the calculated parameters (deformations in the billet - $1.792 \cdot 10^{-6}$ m, equivalent stress (von Mises) – $5.2872 \cdot 10^6$ Pa).

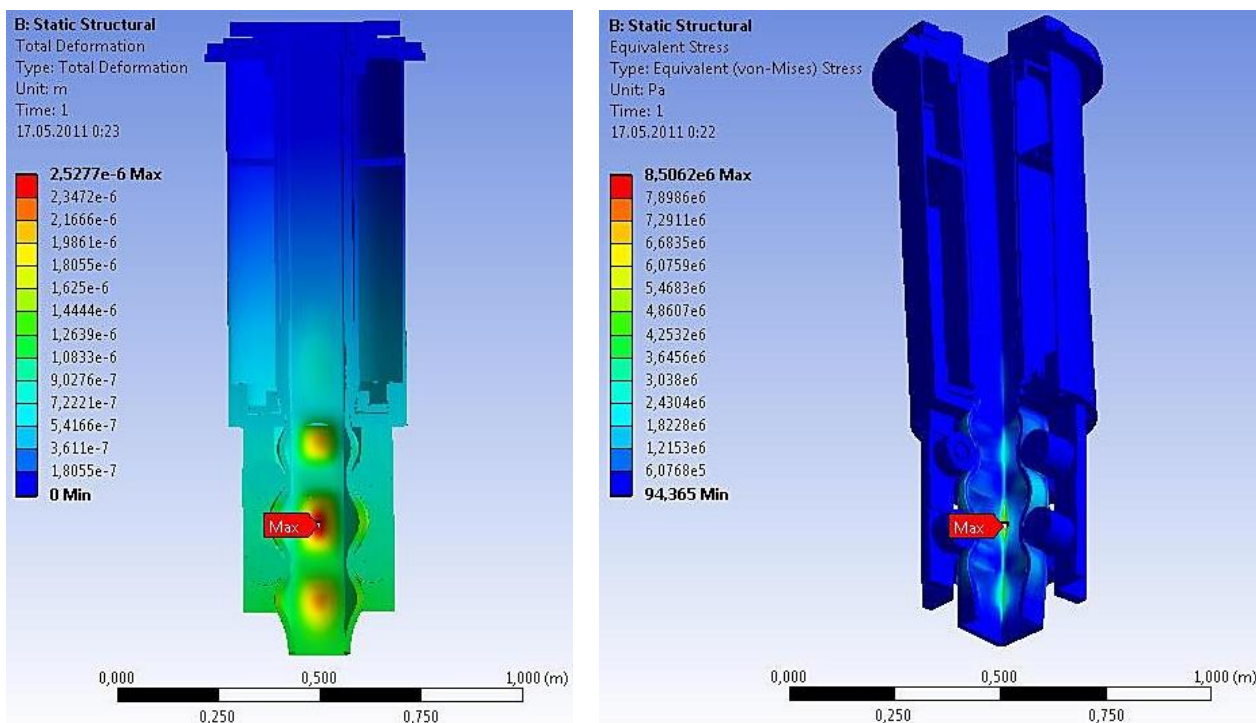


Fig. 3. The calculation results of the stress-strain state of a 3D mould model with a hanger unit with two lines of supporting rollers

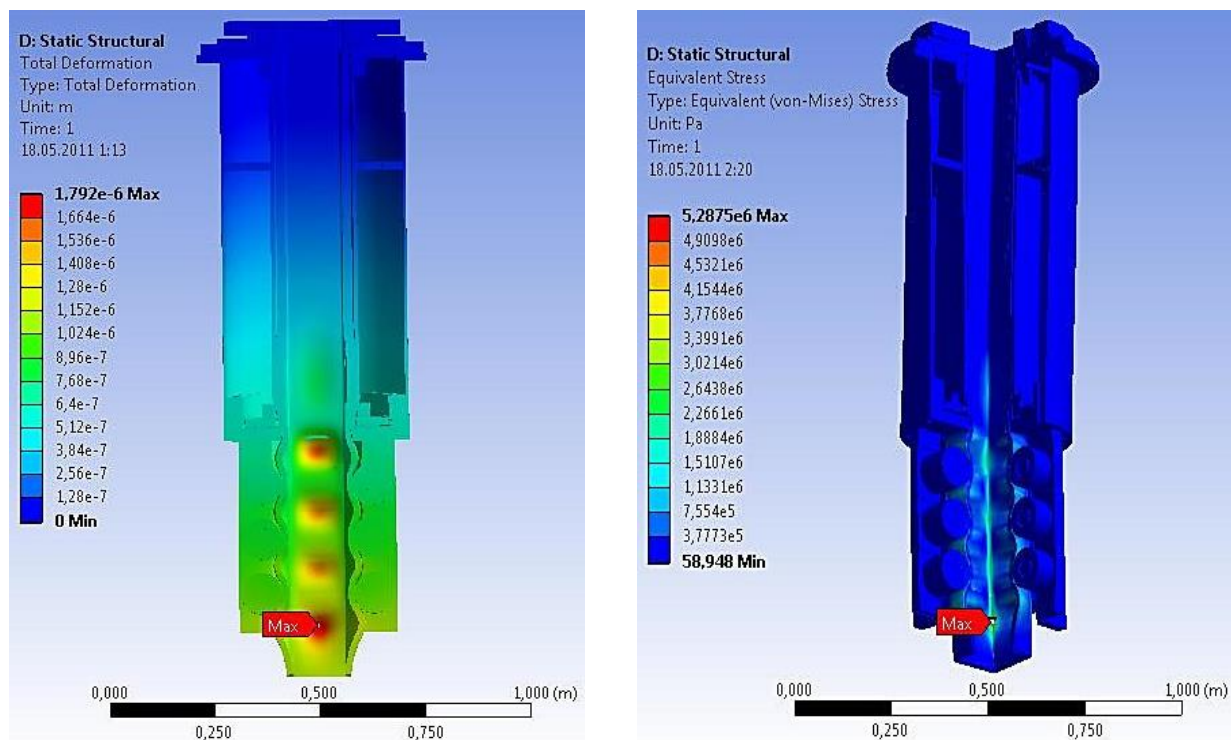


Fig. 4. Image of the stress-strain state of a 3D mould model with a hanger unit with three lines of supporting rollers

According to the results of the calculation, it can be seen that the main load is applied between the first line of rollers and the base and downstream the third line as well. The maximum values of deformation can be observed in the outer radius of the billet (the maximum value is reached after the third line of rollers), and the maximum pressure can be detected at the adjoining edges (downstream the third line of rollers). The calculations show that the total deformation of the billet and the hanger has decreased by 30%, and the re-

sulting equivalent stress - by 38%.

The change in the design of the hanger unit of caster secondary cooling zone has led to decrease in the load at the contact points with the casting billet.

The hanger roller unit has been manufactured (Fig. 5), the necks of the rollers have been cladded using friction method to increase their strength and reduce their wear [5], and it is planned to use this equipment in the production process.

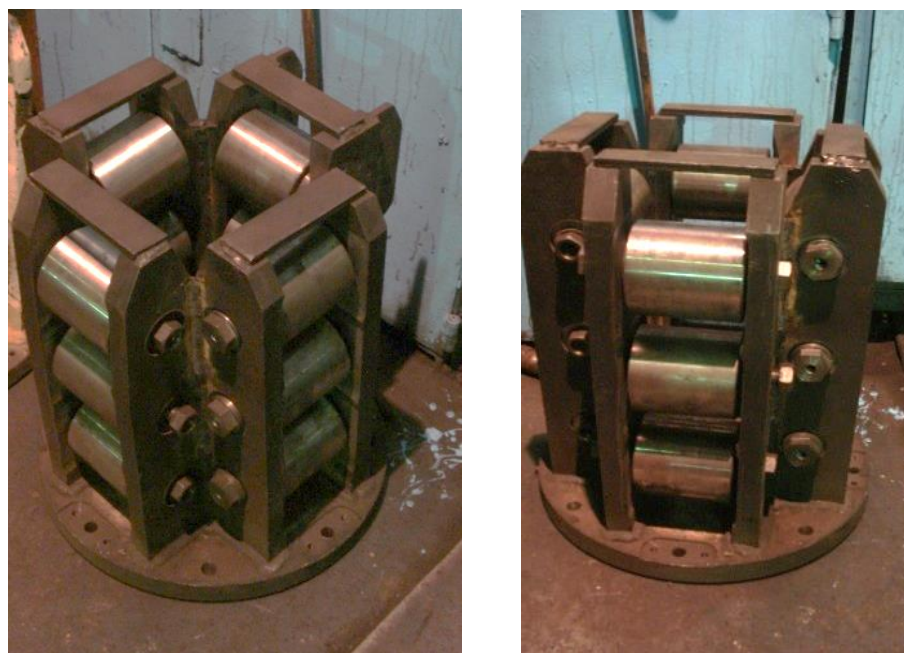


Fig. 5. Three section hanger roller unit of billet caster secondary cooling zone

Conclusion

The analysis of the patterns of the stress-strain state of the billet with a liquid core and the rollers located in the area of billet output from the mould has been carried out; it has showed that the area between the first and the second lines of the roller unit is subjected to the main load, the maximum equivalent stresses at this area correspond to $\sigma_{\text{vonMises}} = 5.2872 \cdot 10^6$ Pa - for a hanger unit with three roller lines and $8.5062 \cdot 10^6$ Pa - for a hanger unit with two roller lines. Stress-strain state of a 3D model of a mould with the hanger unit with three lines of supporting rollers – the deformation in the billet is $1.792 \cdot 10^{-6}$ m, the equivalent von Mises stress is $\sigma_{\text{vonMises}} = 5.2872 \cdot 10^6$ Pa; the deformation in the billet is $2.5277 \cdot 10^{-6}$ m, the equivalent von Mises stress is $\sigma_{\text{vonMises}} = 8.5062 \cdot 10^6$ Pa for the hanger unit with two lines of supporting rollers. It can be concluded that even in case of significant failure to comply with the technological process (casting speed, cooling modes, chemical composition, melt temperature, etc.), the resistance to change in the geometric parameters of the billet at the areas of maximum stress-strain state [4] is increased by 30%.

References

- Guba V.M., Postolnik Yu.S., Litvinenko V.N. To the calculation of thermal stresses in the rollers of the CCM // *BMSTU Journal*. 1988. №4. P. 127–130.
- Selective transfer in heavy-duty friction units / D.N. Garkunov, S.I. Dyakin, O.N. Kurlov and others. M.: Mashinostroyeniye, 1982. 204 p.
- Androsenko M.V., Kadoshnikova I.D. Study and analysis of the quality of ingots manufactured by continuous casting machines // *Heavy mechanical engineering*. 2015. №9. P. 30–33.
- Impact of rolls position movement during blocks production on continuous - casting machine billets quality / M.V. Androsenko, V.I. Kadoshnikov, I.D. Kadoshnikova, E.V. Kulikova, I.P. Balanduk // *Metallurgical and Mining Industry*. 2016. №2. P. 174–177.
- Androsenko M., Reshetnikova E., Tyuteryakov N. Analysis of acting forces on rollers under the billet caster mould in the zone of secondary cooling // *Materials Today: Proceedings : Proceedings of the International Conference, Sevastopol, 09–13 сентября 2019 года / Sevastopol State University*. Vol. 19, Part 5. Sevastopol: Elsevier Ltd, 2019. P. 2458-2461.
- Improving the performance and quality of metal products by friction cladding / L.S. Belevsky, V.I. Kadoshnikov, P.P. Ismagilov, M.V. Aksenova and others // *Steel*. 2011. №2. P. 93–96.
- Manufacturing Technology Improvement of Technology and Equipment for Preparing Steel-Copper Wire / V.I. Kadoshnikov, E.V. Kulikova, R.R. Dema [et al.] // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2019. Vol. 55. No. 1-2. P. 76–83.
- Antsupov V.P., Petrovskaya T.V., Usataya T.V. The use of CAD to assess and improve the reliability of parts and assemblies of metallurgical machines // *Actual problems of modern science, technology and education: Theses of the 80th international scientific and technical conference, Magnitogorsk, April 18-22, 2022*. Vol. 1. Magnitogorsk: Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosova, 2022. S. 148.
- Development of structures for protection of liquid steel during continuous casting / V.V. Tochilkin, D.V. Terentiev, V.V. Tochilkin, O.A. Filatova // *Metallurgist*. 2023. Vol. 66. No. 9-10. P. 1327–1330.
- Theory of Constraints in Machine Dynamics and Steelmaking Processes / Yu.A. Izvekov, E.M. Gugina, V.V. Shemetova [et al.] // *Proceedings of the 8th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2022), Sochi, 16–20 мая 2022 года*. Springer Nature Switzerland AG: Springer Nature Switzerland AG, 2023. P. 309-318.

Сведения об авторах

Androsenko Mariya V. – Ph.D. (Eng), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: m.androsenko@magtu.ru. ORCID 0000-0002-0560-9814

Kenar Ekaterina V. – Ph.D. (Eng), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: redket78@mail.ru.

Kulikov Semyon S. – bachelor degree student of Industrial Ecology and Life Safety department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: kulikovsemen56@gmail.com

Krayny Ivan V. – postgraduate student Design and Operation of Metallurgical Machinery and Equipment department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: kraynyivan@mail.ru

Kharlov Dmitry A. – master's student of Urban Studies and Engineering Systems department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: d.kharlov17@gmail.com

Nalimova Marina N. – Art. Lecturer, Department of Physical Education, SGEU, Samara State University of Economics, Samara, Russia. E-mail: pnn-marina@yandex.ru.

ИССЛЕДОВАНИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДВЕСНОГО РОЛИКОВОГО БЛОКА ЗОНЫ ВТОРИЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ СОРТОВОЙ МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВКИ

Андросенко Мария Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования и эксплуатации металлургических машин и оборудования, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: m.androsenko@magtu.ru ORCID 0000-0002-0560-9814

Кенарь Екатерина Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры механики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: redket78@mail.ru

Куликов Семен Сергеевич – студент кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: kulikovsemen56@gmail.com

Крайний Иван Владимирович – аспирант кафедры проектирования и эксплуатации металлургических машин и оборудования, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: krayniy.ivan@mail.ru

Харлов Дмитрий Анатольевич – магистрант кафедры урбанистики и инженерных систем, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: d.kharlov17@gmail.com

Налимова Марина Николаевна – старший преподаватель кафедры физического воспитания, Самарский государственный экономический университет, г. Самара, Россия. E-mail: pmn-marina@yandex.ru.

Аннотация. Зона вторичного охлаждения машины непрерывного литья заготовок предназначена для затвердевания и поддержки отливаемого слитка. При затвердевании происходит воздействие силовых факторов, вызывающих выпучивание корки слитка. Актуальными являются задачи, связанные с определением конструктивных параметров машины, направленные на достижение высоких показателей качества и эффективности производства. Таким образом, совершенствование оборудования машин непрерывной разливки, направленное на выпуск заготовок повышенного качества, является актуальной задачей. Целью исследования является совершенствование конструкции подвесного роликового блока зоны вторичного охлаждения МНЛЗ.

Ключевые слова: машина непрерывного литья заготовок, зона вторичного охлаждения, сортовая заготовка, подвесной блок, напряженно-деформированное состояние

Ссылка на статью:

Исследование и совершенствование подвесного роликового блока зоны вторичного охлаждения сортовой машины непрерывного литья заготовки / М.В. Андросенко, Е.В. Кенарь, С.С. Куликов, И.В. Крайний, Д.А. Харлов, М.Н. Налимова // Теория и технология металлургического производства. 2023. №4(47). С. 12-16.

Androsenko M.V., Kenar E.V., Kulikov S.S., Krainiy I.V., Kharlov D.A., Nalimova M.N. Analysis and development of foot roller unit of the secondary cooling zone of billet continuous casting machine. *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2023, vol. 47, no. 4, pp. 12–16.

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 675.92.027

Фирстов А.П., Шевченко О. И., Мартыненко С. В.

ОПЫТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПО ОПРОБОВАНИЮ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ ПО ЛИКВИДАЦИИ ИЛИ СУЩЕСТВЕННОГО СНИЖЕНИЯ «ПЕРЕДУВА»

Аннотация. При использовании жидкостекольных смесей наряду с достоинствами – дешевизна, упрочнение форм и отсутствие сушки – встречается ряд проблем. К основным проблемам относится затрудненная выбиваемость вследствие повышенной спекаемости жидкого стекла с формовочным песком.

При первоначальном использовании жидкостекольные формы подвергались подсушке с целью ускорения процесса затвердевания (образования коллоидных частиц – геля). Продолжительность подсушивания форм, изготовленных из смеси с жидким стеклом, была в несколько раз меньше, чем обычных. Дальнейшее развитие применения жидкого стекла привело к созданию процесса без сушки путем ускорения процесса химического твердения форм и стержней. Ускорение процесса химического твердения достигается в результате обработки смесей с жидким стеклом углекислым газом (CO₂-процесс). В этом случае твердение форм и стержней производится непосредственно на рабочем месте и длится всего несколько минут.

Продувая стержни углекислым газом, литейщики столкнулись с другой проблемой, влияющей на качество получаемой отливки: при длительной продувке идет понижение прочностных характеристик изделия и образование пригара на её поверхности.

Увеличение длительности продувки жидкостекольных смесей углекислым газом больше оптимального времени продувки снижает механическую прочность формовочной и стержневой смеси. Это явление объясняют наличием образовавшегося гидрокарбоната натрия (NaHCO₃) при подаче углекислого газа в жидкостекольную смесь в большем количестве по сравнению с оптимальным. Решением проблемы снижения прочности жидкостекольных смесей при длительной продувке углекислым газом явилось противозерозионное разделительное покрытие.

Целью работы является обеспечение стабильной прочности жидкостекольной смеси при продувке углекислым газом с нанесением на поверхность формы разделительного покрытия.

Ключевые слова: жидкостекольная смесь, разделительное покрытие, углекислый газ, карбонат натрия, гидрокарбонат натрия, сульфат меди, прочность, пригар

Введение

В 30-х годах в технической литературе появляются первые публикации, описывающие метод химического твердения литейных форм и стержней, содержащих в составе жидкое стекло, получивший в 50-х годах широкое развитие в СССР и за рубежом для различных видов литья [1–4]. При всех положительных сторонах нового метода химического твердения жидкого стекла литейщики столкнулись с негативными явлениями при его использовании. Это возникновение пригара и засоров, получаемых при длительной продувке литейных форм и снижение их механической прочности [5–7]. Проблему можно решить, изменяя состав смеси. Однако большинство авторов считают возможным снизить или устранить указанный недостаток без введения улучшающих смесь добавок.

Известно, что пригара и снижения прочностных характеристик форм и стержней можно избежать, если в интервале температур 400–600°C CO₂-процесса не допускать возникновения «передува» жидкостекольной смеси углекислым газом. Основным следствием этого процесса является появление и накопле-

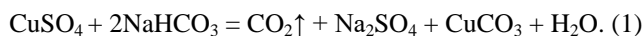
ние гидрокарбоната натрия (NaHCO₃) в приграничных с металлом слоях формовочной смеси [8–15].

Методы и материалы

В качестве решения проблемы предложено использование разделительного покрытия, в состав которого входит соль, катионом которой является металл с положительным электродным потенциалом, а анионом – кислотный остаток, больший по силе, чем угольная кислота при молекулярном соотношении жидкого стекла и соли 2:1 [16, 17].

Экспериментальная часть

Реализация предлагаемого способа осуществлена в условиях лабораторного эксперимента. В качестве основного компонента покрытия использован сульфат меди (CuSO₄) с электродным потенциалом Cu = +0,338. Известно, что электродный потенциал Na = –2,71, константа ионизации кислот (pKa): H₂SO₄ = –3,0 > H₂CO₃ = 6,4 [18]. Таким образом, медь будет вытеснять водород из гидрокарбоната натрия в присутствии угольной кислоты, которая намного слабее серной кислоты. Устранение «передува» будет происходить за счет реакции (1), приводящей к ликвидации гидрокарбоната натрия (NaHCO₃):



Для проведения лабораторных испытаний приготовили жидкостекольную смесь, содержащую 5 % связующего (жидкого стекла). На поверхность формы, изготовленной из указанной смеси, нанесли разделительное покрытие. Обработанную поверхность жидкостекольной формы продували углекислым газом [19–21]. При вируемом времени продувки жидкостекольной смеси осуществляли контроль соотношения образующихся карбонатов и гидрокарбонатов натрия (ГОСТ Р 52963-2008) с фиксацией предела прочности в сухом состоянии (ГОСТ 23409.7–78). Одновременно для получения сравнительных данных осуществили изготовление жидкостекольной формы с таким же содержанием связующего (жидкого стекла), но без нанесения разделительного покрытия.

Результаты исследования

Результаты испытаний по продувке жидкостекольной смеси углекислым газом и относительное содержание карбоната и гидрокарбоната натрия в жидкостекольной смеси представлены в табл. 1 и на рисунке.

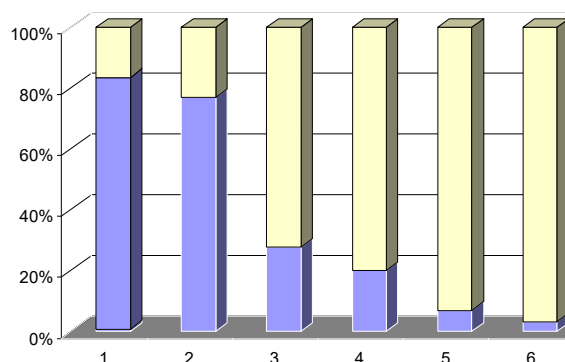
Результаты испытаний по продувке жидкостекольной смеси углекислым газом с изменением прочности представили в табл. 2.

Анализ результатов экспериментов (см. табл. 1) показал, что при продувке формы через две минуты продувки достигается соотношение Na_2CO_3 – 92,4% и NaHCO_3 – 7,6%. Дальнейшее увеличение времени продувки к существенному изменению отношения $\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{NaHCO}_3$ привести уже не может. Максимально достигнутый результат лабораторного эксперимента составлял 96,2 / 3,8, однако при таком соотношении наблюдается снижение механической прочности формы. Полностью убрать гидрокарбонат натрия не удастся из-за фронтальной подачи кислого реагента (углекислого газа). Опытные исследования и производственные испытания показали, что время оптимальной продувки жидкостекольной смеси без снижения прочности образца должно не превышать двух минут. Дальнейшая продувка литейной формы влечет за собой снижение предела прочности в сухом состоянии (см. табл. 2).

Таблица 1

Содержание карбоната и гидрокарбоната натрия при различном времени продувки жидкостекольной смеси

№ п/п	1		2		3		4		5		6	
	10		30		60		120		180		240	
Время продувки образца, с												
Контролируемое вещество	Na_2CO_3	NaHCO_3	Na_2CO_3	NaHCO_3	Na_2CO_3	NaHCO_3	Na_2CO_3	NaHCO_3	Na_2CO_3	NaHCO_3	Na_2CO_3	NaHCO_3
Образец без покрытия, %	10	0,2	17,0	0,5	33,0	1,3	74,0	26,0	43,0	57,0	31,0	69,0
Образец с покрытием, %	12	0,1	24,0	0,3	37,0	1,35	92,4	7,6	93,8	6,2	96,2	3,8



Соотношение карбонатов и гидрокарбонатов при различном времени продувки жидкостекольной смеси, % [22]

Таблица 2

Изменение прочности при различном времени продувки смеси

Время продувки образца, с		10	30	60	120	180	240
Прочность, МПа	образец без покрытия	1,75	1,81	1,96	2,1	1,97	1,83
	образец с покрытием	1,76	1,8	1,98	2,17	2,13	2,1

Заключение

Предложенный способ позволил обеспечить стабильную прочность жидкостекольной смеси при продувке углекислым газом. Результаты испытаний показали, что обработка поверхности формовочной смеси солью, катионом которой является металл с положительным электродным потенциалом, а анионом – кислотный остаток, больший по силе, чем угольная кислота при молекулярном соотношении жидкого стекла и соли 2:1, позволяет существенно снизить содержание гидрокарбоната натрия в жидкостекольной смеси, являющийся источником снижения прочности. Установлено, что при продувке формы через две минуты продувки достигается соотношение Na_2CO_3 – 92,4% и NaHCO_3 – 7,6%. За это же время образец демонстрирует максимальную прочность. Дальнейшее увеличение времени продувки к существенному изменению отношения $\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{NaHCO}_3$ не приводит. Проведенные промышленные испытания дают возможность внедрения представленного способа на промышленных предприятиях.

Список литературы

- Шапиро, М.С., Шипилин, Б.И. Изготовление стержней в литейных массового производства / ОНТИ Государственное НКТП, Научно-техническое издательство Украины. Харьков, 1937. 168 с.
- Жилин А.И. Растворимое стекло, его свойства, получение и применение. М.: Гос. объединен. науч.-техн. изд-во, 1939. 100 с.
- Ноткин Е. М. Основные направления в развитии литейных цехов на машиностроительных заводах США, Западной Германии, Англии, Франции и Италии. М.: Изд-во Акад. Наук СССР, 1955. 40 с.
- Григорьев П.Н., Матвеев М.А. Растворимое стекло / Гос. изд-во лит. по строительным материалам. М., 1956. 443 с.
- Мариенбах Л.М., Петров В.П., Фрадин Л.Р. Применение углекислого газа для химического твердения литейных форм и стержней. М.: Центр. бюро техн. информации трактор. и с.-х. машиностроения, 1958. 75 с.
- Лясс А.М., Валисовский И.В. Пути улучшения выживаемости смесей с жидким стеклом // Труды ЦНИИТМАШ. 1960. №6. С. 81–95.
- Paullcek R. Die selbsthartenden Formstoffmischungen in der CSSR // Giessereitechnik. 1976. 22. № 12. S. 418–419.
- Лясс А. М. Быстротвердеющие формовочные смеси. М.: Машиностроение, 1965. 332 с.
- Richards P. I. Factors affecting the soundness and dimensions of iron castings made in cold-curing chemically bonded moulds // British Foundryman. 1982. V. 75. N. 11. P. 213 – 223.
- Жуковский С.С. Прочность литейной формы. М.: Машиностроение, 1989. 288 с.
- Борсук П.А., Лясс А.М. Жидкие самотвердеющие смеси. М.: Машиностроение, 1979. 255 с.
- Gutowski W., Chudziekewicz R. Mechanismus der Verflüssigung von selbsthartenden Formstoffen // Giessereitechnik. 1980. N. 1. P. 20 – 21.
- Клындюк А.И. Поверхностные явления и дисперсные системы: учебное пособие для студентов высших учебных заведений по химико-технологическим специальностям. Мн.: БГТУ, 2011. 315 с.
- Технология литейного производства: Литьё в песчаные формы / Трухов А.П., Сорокин Ю.А., Ершов М.Ю. и др.; под ред. А.П. Трухова. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 528 с.
- Маслов К.А., Леушин И.О., Субботин А.Ю. Теоретические аспекты некоторых методов повышения технологичности жидкостекольных стержневых смесей, отверждаемых по CO_2 -процессу // Литейщик России. 2010. №6. С.36 – 38.
- Пат. 2764908 С1. Способ отверждения жидкостекольной смеси при изготовлении форм и стержней / А. П. Фирстов [и др.] ; заявл. № 2021122794 от 30.07.2021 ; опубл. 24.01.2022, Бюл. №18.
- Martin G. I. The CO_2 -process—the current state of the art // British Foundryman. 1979. N. 6. P. 164–169.
- Крешков А.П. Основы аналитической химии. М.: Химия, 1971. Т. 2. С. 181-182.
- Dlesek J. Zakladni hlediska pro ryber pisku do smesi pro postup CO_2 // Slevarenstvi. 1979. Bd. 27. N. 11. S. 454-460.
- Гуляев Б.Б., Корнюшкин О.А., Кузин А.В. Формовочные процессы. Л.: Машиностроение, 1987. 264 с.
- Жуковский С.С., Борсук П.А. Перспективы применения смесей с жидким стеклом в литейном производстве // Литейное производство. 1983. № 1. С. 12–14.
- Фирстов А.П. Возможные улучшения свойств жидкостекольных смесей // Евразийский журнал ученых (ЕСУ). 2019. № 10(67). Ч. 6. С. 61–64.

Сведения об авторах

Фирстов Александр Петрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры металлургических технологий, Нижнетагильский технологический институт (филиал) Уральского федерального университета, г. Нижний Тагил, Россия. E-mail: first55@mail.ru,

Шевченко Олег Игоревич – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедры металлургических технологий, Нижнетагильского технологического института (филиала) Уральского федерального университета, г. Нижний Тагил, Россия. E-mail: oleg.shevchenko@urfu.ru.

Мартыненко Сергей Витальевич – кандидат технических наук, главный металлург, АО «Научно-производственная корпорация «Уралвагонзавод», г. Нижний Тагил, Россия. E-mail: mart_sergio@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

PILOT TESTS FOR TESTING THE SEPARATION COATING TO ELIMINATE OR SIGNIFICANTLY REDUCE THE "OVERDRIVE"

Firstov Alexander P. – Associate Professor of the Department of Metallurgical Technologies, Nizhny Tagil Institute of Technology (Branch) Ural Federal University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Nizhny Tagil, Russia. E-mail: first55@mail.ru

Shevchenko Oleg I. – Head of the Department of Metallurgical Technologies, Nizhny Tagil Institute of Technology (Branch) Ural Federal University, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Nizhny Tagil, Russia. E-mail: oleg.shevchenko@urfu.ru

Martyненко Sergey V. – Chief Metallurgist, Uralvagonzavod Scientific and Production Corporation, Candidate of Technical Sciences, Nizhny Tagil, Russia. E-mail: mart_sergio@mail.ru

Abstract. When using liquid-glass mixtures, along with the advantages, cheapness, hardening of forms and lack of drying, there are a number of problems. The main ones include difficult knockout due to increased sinterability of liquid glass with molding sand.

During initial use, the liquid-glass molds were dried in order to accelerate the solidification process (formation of colloidal particles - gel). The drying time of molds made from a mixture with liquid glass was several times less than usual. Further development of the use of liquid glass led to the creation of a process without drying by accelerating the process of chemical hardening of molds and rods. The acceleration of the chemical hardening process is achieved as a result of the treatment of mixtures with liquid glass with carbon dioxide (CO₂-process). In this case, the hardening of molds and rods is carried out directly at the workplace and lasts only a few minutes.

Blowing the rods with carbon dioxide, the foundry faced another problem affecting the quality of the resulting casting – with prolonged purging, the strength characteristics of the product decrease and the formation of a burn on its surface.

Increasing the duration of purging of liquid-glass mixtures with carbon dioxide more than the optimal purging time reduces the mechanical strength of the molding and core mixture. This phenomenon is explained by the presence of sodium bicarbonate (NaHCO₃) formed when carbon dioxide is supplied to the liquid-glass mixture in a larger amount than the optimal one. The solution to the problem of reducing the strength of liquid-glass mixtures during prolonged purging with carbon dioxide was an anti-erosion separation coating.

The aim of the work is to ensure the stable strength of the liquid-glass mixture when purging with carbon dioxide with the application of a separation coating on the surface of the mold.

Keywords: liquid-glass mixture, separation coating, carbon dioxide, sodium carbonate, sodium bicarbonate, copper sulfate, strength, prigar.

Ссылка на статью:

Фирстов А.П., Шевченко О.И., Мартыненко С.В. Опытные испытания по опробованию разделительного покрытия по ликвидации или существенного снижения «передува»// Теория и технология металлургического производства. 2023. №4(47). С. 17-20.
Firstov A.P., Shevchenko O.I., Martyненко S.V. Pilot tests for testing the separation coating to eliminate or significantly reduce the "overdrive. *Teoria i tehnologija metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2023, vol. 47, no. 4, pp. 17–20.

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.771

Могильных А.Е., Бирюкова О.Д., Песин А.М., Пустовойтов Д.О.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТВЁРДОСТИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПРИ АСИММЕТРИЧНОЙ ПРОКАТКЕ

Аннотация. На сегодняшний день наблюдается быстрый темп развития цветной металлургии в России – многие отрасли производства, включая автомобилестроение, все чаще в качестве сырья для металлоконструкций используют энергоэффективный алюминий и его сплавы. В связи с этим актуальной задачей становится разработка способов и технологий обработки алюминиевых материалов с целью получения улучшенных свойств. Повышение твёрдости, например, позволит снизить вероятность появления небольших повреждений при незначительных автомобильных авариях. В данной работе рассмотрена возможность управления значениями твёрдости с помощью процесса асимметричной прокатки. Исследовался процесс тонколистовой прокатки алюминиевых сплавов АД33, Д16 и АМгб. Представлены основные характеристики процесса асимметричного деформирования, варьируемые и контролируемые параметры. Прокатка осуществлялась на стане 400 асимметричной прокатки лаборатории «Механика градиентных наноматериалов им. А.П. Жилиева» ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова». По результатам эксперимента представлены основные параметры прокатки лент из алюминиевых сплавов, включая конечные и начальные толщины образцов, значения относительных обжатий, силы прокатки, отношения скоростей валков и твёрдости, полученной измерением по методу Бринелля. Приведен сравнительный анализ результатов, полученных при прокатке в симметричном и асимметричном режиме. Показаны основные зависимости твёрдости алюминиевых лент из сплавов АД33, Д16 и АМгб от изменения относительного обжатия.

Ключевые слова: асимметричная прокатка, алюминиевые сплавы, твёрдость, автомобилестроение, отношение скоростей валков

Введение

Спрос на продукцию из цветных металлов и сплавов в последнее десятилетие неуклонно растёт, и к 2030 году прирост потребления составит 30% [1]. Основные отрасли-потребители включают в себя: строительство (около 52%), автомобилестроение (около 25%), машиностроение и оборудование (около 20%) и т.д. Стоит отметить, что наиболее часто используемый металл – алюминий, имеющий высокий уровень производства в России.

Ещё 10 лет назад мировая автомобильная индустрия потребляла 2,87 млн т алюминия [2]. Данный металл и его сплавы устойчивы к атмосферной коррозии, очень энергоэффективны [3]. По сравнению со сталью сплавы алюминия поглощают на 50% больше энергии, препятствуют распространению разрушения, за счёт чего позволяют сделать автомобиль более безопасным.

Известно, что производители стремятся снизить массу конструкций автомобилей с целью улучшения экологической обстановки. На сегодняшний день зарегистрировано более 60 млн автомобилей в России, каждый из которых выбрасывает не менее 160 т вредных газов на каждые 10 тыс. км пробега. Снижение массы автомобиля позволит сократить потребление топлива, что позволит уменьшить выбросы вредных веществ в атмосферу. Однако главный минус использования алюминия и его сплавов в качестве кузовных деталей автомобиля – плохая ремонтпригод-

ность. Чаще всего даже при небольших повреждениях приходится заменять деталь целиком.

В настоящее время используются материалы, изготавливаемые чаще всего из алюминиевых сплавов 6 серии [4] системы Al – Mg – Si – Cu по ГОСТ 21631-76, ГОСТ 4784-97, EN 515, EN 573-3, EN 485-1,2,4 для автомобилей марок Audi, BMW, Porsche, Tesla, Jaguar, Ferrari и т.д., а также низкоуглеродистые марки сталей, производимые по ГОСТ 9045-93, EN 10130 для автомобилей марок «Лада», Chevrolet, Nissan, Volkswagen, Skoda, Peugeot и т.д. В основном массовая доля алюминия в автомобиле будет увеличиваться за счёт кузовных деталей. Уже к 2025 году доля алюминия в одном автомобиле превысит 250 кг [1].

Улучшение показателей по такой механической характеристике, как твёрдость алюминиевых сплавов, используемых в отрасли автомобилестроения, позволит снизить вероятность появления небольших повреждений при незначительных авариях, например царапин, небольших вмятин и т.д.

Метод исследования и используемые материалы

Целью данной работы являлось исследование зависимостей изменения твёрдости алюминиевых сплавов, химический состав которых представлен в табл. 1 [5], от значения относительного обжатия за проход при использовании кинематической асимметрии при тонколистовой прокатке.

Химический состав алюминиевых сплавов АД33, Д16, АМг6

Сплав	Mn	Si	Mg	Fe	Cu	Ti	Zn	Al
АД33	до 0,15	0,4-0,8	0,8-1,2	до 0,7	0,15-0,4	до 0,15	до 0,25	95,9-98,5
Д16	0,3-0,9	до 0,5	1,2-1,8	до 0,5	3,8-4,9	до 0,1	до 0,3	90,8-94,7
АМг6	0,5-0,8	до 0,4	5,8-6,8	до 0,4	до 0,1	0,02-0,1	до 0,2	91,1-93,7

Основные размеры заготовок из алюминиевых сплавов следующие:

1) образцы из сплава Д16: толщина – 6,0 мм; ширина – 25,0 мм; длина – 100,0 мм;

2) образцы из сплава АМг6: толщина – 1,9 мм; ширина – 25,0 мм; длина – 100,0 мм;

3) образцы из сплава АД33: толщина – 2,0 мм; ширина – 25,0 мм; длина – 100,0 мм.

Прокатку образцов алюминиевых сплавов осуществляли на уникальной научной установке – стане 400 асимметричной прокатки лаборатории «Механика градиентных наноматериалов им. А.П. Жилева» ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова». Основная особенность стана заключается в том, что привод рабочих валков индивидуальный с возможностью работы в симметричном и асимметричном режимах. Мощность главного привода стана составляет 2,75 кВт, крутящие моменты – 2,65 кН·м, усилие прокатки – 2500 кН [6].

Прокатка осуществлялась в двух режимах – симметричном и асимметричном [7, 8]. Количество проходов для каждого образца – 1. Деформирование осуществлялось при комнатной температуре. Обработка алюминиевых сплавов велась без использования смазки, то есть на сухих валках. Однако для увеличения коэффициента трения осуществлялась предварительная прокатка алюминиевых листов.

По каждому из рассматриваемых режимов проводилось не менее десяти контрольных повторов для подтверждения достоверности.

Основные варьируемые параметры включили в себя:

- 1) относительное обжатие за проход (от 5 до 89 %);
- 2) отношение скоростей рабочих валков (от 1,0 до 7,7).

Основные контролируемые параметры следующие:

- 1) усилие прокатки;
- 2) моменты прокатки на рабочих валках;
- 3) конечные размеры проката;
- 4) механические свойства: предел текучести, временное сопротивление, относительное удлинение;
- 5) твёрдость по Бринеллю.

В данной работе проводилась оценка твёрдости материалов. Важно отметить, что замер твердости производился по методу Бринелля на твердомере EMCO TEST M4C/R G3. Обязательное условие по сходимости результатов эксперимента (с доверительной вероятностью 95%) было соблюдено [9].

Полученные результаты эксперимента

Были проанализированы параметры прокатки сплавов АД33, Д16 и АМг6, включая относительные обжатия и полученные толщины, сила прокатки, твердость и состояние образцов (произошло разрушение при обработке или не произошло). В табл. 2-4 представлены основные результаты процесса тонколистовой симметричной и асимметричной прокатки.

Таблица 2

Параметры прокатки лент из алюминиевого сплава АД33

Номер образца	Толщина начальная, мм	Толщина конечная, мм	Относительное обжатие, %	Сила прокатки, кН	Отношение скоростей валков	Твердость, ед.
1	2,00	1,20	40	353,9	5,0/5,0	116
2	2,00	0,75	63	320,90	8,0/4,0	118
3	2,00	0,60	70	227,90	9,0/3,0	121
4	2,00	0,50	75	166,30	8,0/2,0	100
5	2,00	0,50	75	173,90	10,0/2,0	105

Таблица 3

Параметры прокатки лент из алюминиевого сплава Д16

Номер образца	Толщина начальная, мм	Толщина конечная, мм	Относительное обжатие, %	Сила прокатки, кН	Отношение скоростей валков	Твердость, ед.
1	6,00	3,10	48	463,80	5,0/5,0	104
2	6,00	2,60	58	181,40	8,0/4,0	122
3	6,00	2,00	67	215,10	9,0/3,0	86
4	6,00	1,90	68	188,60	8,0/2,0	88
5	6,00	0,90	85	243,00	10,0/2,0	73
6	6,00	0,65	89	230,00	10,0/1,5	68

Параметры прокатки лент из алюминиевого сплава АМг6

Номер образца	Толщина начальная, мм	Толщина конечная, мм	Относительное обжатие, %	Сила прокатки, кН	Отношение скоростей валков	Твердость, ед.
1	1,90	0,95	50	290,30	5,0/5,0	102
2	1,90	0,73	62	268,10	8,0/4,0	132
3	1,90	0,90	53	167,70	9,0/3,0	129
4	1,90	0,80	58	211,30	8,0/2,0	121
5	1,90	0,78	59	130,90	10,0/2,0	115

Из результатов эксперимента следует, что при обработке образцов 1 алюминиевого сплава АД33, образцов 1-4 алюминиевого сплава Д16 и образцов 1-4 алюминиевого сплава АМг6 происходило их разрушение во время деформирования. Образец 7 алюминиевого сплава Д16 (не представлен в таблице) при отношении скоростей валков 10,0/1,3, начальной толщины 6,00 мм при обработке расплавился в очаге деформации.

Анализ полученных данных показывает, что разрушение образца из сплава АД33 происходит при обработке в симметричном режиме при значении относительного обжатия 40%, при обработке сплавов марок Д16 и АМг6 картина похожая, оба образца в режиме симметрии были разрушены во время деформирования при значениях относительного обжатия 48 и 50% соответственно.

Однако в режиме асимметрии некоторые образцы также были разрушены. Сплав Д16 обрабатывался без образования дефектов при значительно больших значениях относительного обжатия – 85 и 89%. Сплав АМг6 сохранил целостность при значении относительного обжатия 59%, однако при обжатии 66% образцы имели разрывы.

Оценка характеристики твердость производилась в зависимости от изменения значений относительного обжатия, основные результаты представлены на рис. 1-3. Выявлено, что, регулируя отношение скоростей рабочих валков и относительное обжатие, можно воздействовать на твердость и технологическую пластичность металлических лент из рассматриваемых сплавов АД33, Д16 и АМг6. При этом, в зависимости от назначения продукции, возможно не только увеличивать твердость материалов, выполненных из данных сплавов, но и также ее уменьшать при увеличении или снижении отношения скоростей валков.

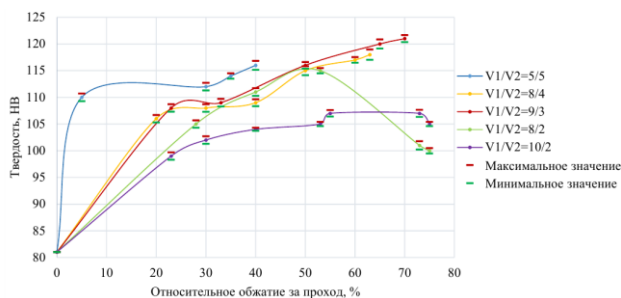


Рис. 1. Зависимость твердости алюминиевых лент из сплава АД33 от относительного обжатия

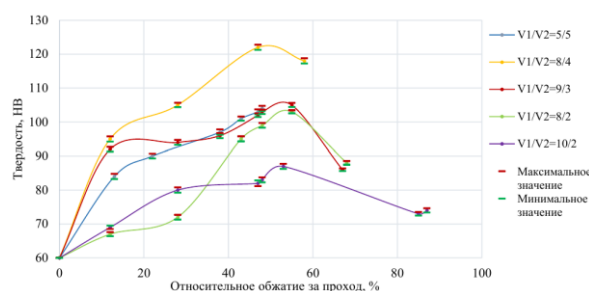


Рис. 2. Зависимости твердости лент из алюминиевого сплава Д16 от относительного обжатия

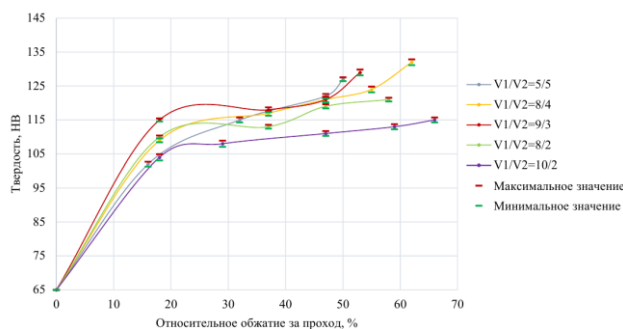


Рис. 3. Зависимости твердости лент из алюминиевого сплава АМг6 от относительного обжатия

Согласно рис. 1 и табл. 2, максимальное значение твердости (HV) в алюминиевом сплаве АД33 составило 121 ед., соотношение скоростей валков при этом составило 3,0 ($V_1/V_2 = 9,0/3,0$), значение относительного обжатия – 70%. Минимальное значение твердости (HV) составило 100 ед. при отношении скоростей валков 5,0 ($V_1/V_2 = 10,0/2,0$) и значении относительного обжатия 75%.

Согласно рис. 2 и табл. 3, максимальное значение твердости (HV) в алюминиевом сплаве Д16 составило 122 ед., соотношение скоростей валков при этом составило 2,0 ($V_1/V_2 = 8,0/2,0$), значение относительного обжатия – 47%. Минимальное значение твердости (HV) составило 68 ед. при отношении скоростей валков 6,7 ($V_1/V_2 = 10,0/1,5$) и значении относительного обжатия 89% [10, 11].

Согласно рис. 3 и табл. 4, максимальное значение твердости (HV) в алюминиевом сплаве АМг6 составило 132 ед., соотношение скоростей валков при этом составило 2,0 ($V_1/V_2 = 8,0/2,0$), значение относительного обжатия – 62%. Минимальное значение

твердости (НВ) при асимметричной прокатке составило 115 ед. при отношении скоростей валков 5,0 ($V_1/V_2 = 10,0/2,0$) и значении относительного обжатия 66% [12, 13].

Выводы

Проведено широкое исследование влияния кинематической асимметрии при тонколистовой прокатке на изменение значений твердости. Показано, что процесс асимметричной прокатки управляем – с его помощью можно регулировать, то есть как уменьшить, так и увеличить твердость металлических материалов в зависимости от требований и назначения продукции. Основные варьируемые параметры для достижения данной цели – относительное обжатие и отношение скоростей рабочих валков.

Основные результаты показали, что для алюминиевого сплава АД33 твердость (НВ) может изменяться в пределах от 100 до 121 ед., для алюминиевого сплава Д16 в пределах от 68 до 122 ед., для алюминиевого сплава АМг6 в пределах от 102 до 132 ед.

Отдельно стоит отметить, что ведение асимметрии с отношением скоростей рабочих валков $V_1/V_2 = 10,0/2,0$ приводит к получению алюминиевых лент из сплава АД33 и особенно Д16 со значениями твердости, меньшими, чем у алюминиевых лент, полученных при симметричной прокатке.

Данный способ широко может применяться для получения продукции в различных отраслях, в том числе для автомобилестроения, что при увеличении твердости сплавов сможет снизить вероятность получения небольших повреждений при не крупных авариях, что особенно актуально для алюминиевых материалов.

Благодарность. Исследования выполнены за счет гранта Российского научного фонда № 22-49-02041, <http://rscf.ru/project/22-49-02041/>

Список литературы

1. Равлюк С. Рынок алюминия в России и в мире: первичный и вторичный алюминий тенденции и перспективы [Электронный ресурс]: презентация. Москва, ОК РУСАЛ, 2020. 17 слайдов.
2. Елагин В.И. Пути развития высокопрочных и жаропрочных конструкционных алюминиевых сплавов в XXI столетии // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2013. №9. С. 3-11.

Сведения об авторах

Могильных Анна Евгеньевна – кандидат технических наук, инженер научно-инновационного сектора, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: kozhemiakina.a@yandex.ru.

Бирюкова Олеся Дмитриевна – кандидат технических наук, инженер научно-инновационного сектора, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: fimapatisationchik@inbox.ru.

3. Алюминий и его сплавы: учебное пособие / сост. А.Р. Луц, А.А. Суслина. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. 81 с.: ил.
4. Гуреева М.А., Грушко О.Е. Алюминиевые сплавы в сварных конструкциях современных транспортных средств // *Машиностроение и инженерное образование*. 2009. №1. С. 27–41.
5. ГОСТ 4784-2019. Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки. М.: Стандартинформ, 2019. 35 с.
6. Возможности стана 400 асимметричной прокатки и роботизированного комплекса Kuka 160 / А.М. Песин, Д.О. Пустовойтов, М.П. Барышников, О.Д. Бирюкова, А.Е. Кожемякина, Л.В. Носов, Д.В. Грачев // *Механическое оборудование металлургических заводов*. 2021. №1 (16). С. 9-13.
7. Shear Deformation and Grain Refinement in Pure Al by Asymmetric Rolling / Zhang XingYao, Fang-Qing Zuo, Jian-Hua Jiang, Ai-Dang Shan, Jian-Min Fang // *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 2008. Vol. 18. P. 774-777
8. Асимметричная прокатка листов и лент: история и перспективы развития / А.М. Песин, Д.О. Пустовойтов, О.Д. Бирюкова, А.Е. Кожемякина // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия»*. 2020. Т. 20, № 3. С. 81–96.
9. Румянцев М.И., Ручинская Н.А. Статистические методы для обработки и анализа числовой информации, контроля и управления качеством: учебное пособие. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2008. 210 с.
10. Разработка технологических схем асимметричной прокатки алюминиевых лент, обладающих повышенной прочностью и пластичностью / А.М. Песин, Д.О. Пустовойтов, И.А. Песин, А.Е. Кожемякина, Л.В. Носов, А.И. Сверчков // *Теория и технология металлургического производства*. 2022. № 2 (41). С. 32-42.
11. Kozhemyakina A., Pesin A., Pustovoytov D., Pesin I., Nosov L. Developing asymmetric rolling process procedures for aluminum narrow strips, showing higher strength and ductility // *Материалы VI международной молодежной научно-технической конференции / под ред. А.Г. Корчунова*. Magnitogorsk, 2022. P. 93-94.
12. Песин А.М., Пустовойтов Д.О., Кожемякина А.Е. Исследование влияния соотношения скоростей рабочих валков при асимметричной прокатке на твердость алюминиевых сплавов Д16 и АМг6 // *Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 80-й международной научно-технической конференции*. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2022. Т. 1. С. 233.
13. Кожемякина А.Е. Разработка способов повышения технологической пластичности алюминиевых лент при асимметричной прокатке: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.Е. Кожемякина. Магнитогорск: МГТУ, 2022. 17 с.

Песин Александр Моисеевич – доктор технических наук, профессор кафедры технологий обработки материалов, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: pesin@bk.ru.

Пустовойтов Денис Олегович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий обработки материалов, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: pustovoitov_den@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE RESEARCH OF THE POSSIBILITY OF THE HARDNESS REGULATING IN ALUMINUM ALLOYS DURING ASYMMETRICAL ROLLING

Mogilnykh Anna E. – PhD (Eng.), engineer of the research and innovation sector, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: kozhemiakina.a@yandex.ru.

Biryukova Olesya D. – PhD (Eng.), engineer of the research and innovation sector, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: fimapatisonchik@inbox.ru.

Pustovoitov Denis O. – Ph.D. (Eng.), the associate professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: pustovoitov_den@mail.ru.

Pesin Alexander M. – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Magnitogorsk, Russia. E-mail: pesin@bk.ru

Abstract. Nowadays, we see a rapid pace of a non-ferrous metallurgy development in Russia - many industries, including the automotive industry, are using energy-efficient aluminum and its alloys as raw materials for metal structures more often. In this regard, the development of methods and technologies for processing aluminum materials in order to obtain improved properties becomes a topical aim. Increasing hardness, for example, will reduce the likelihood of slight damage in minor car accidents. This paper shows the possibility of controlling hardness values using the asymmetric rolling process. The process of rolling of aluminum alloys AD33, D16 and AMg6 was studied. The main characteristics of the asymmetric deformation process, variable and controlled parameters are presented. Rolling was carried out on the asymmetric rolling mill 400 of the Zhilyaev Laboratory of Mechanics of Gradient Nanomaterials in NMSTU. Based on the results of the experiment, the main parameters of aluminum alloys production are presented, including the final and initial thicknesses of the samples, the values of relative reductions, rolling forces, the rolls speeds ratio and hardness obtained by the measurement with the use of the Brinell method. A comparative analysis of the results obtained during symmetric and asymmetric rolling is presented. The main dependences of the hardness of aluminum strips made of the AD33, D16 and AMg6 alloys on changes in relative compression are shown.

Key words: asymmetric rolling, aluminum alloys, hardness, automotive industry, rolls speed ratio.

Ссылка на статью:

Исследование возможности регулирования твёрдости алюминиевых сплавов при асимметричной прокатке / А.Е. Могильных, О.Д. Бирюкова, А.М. Песин, Д.О. Пустовойтов // Теория и технология металлургического производства. 2023. №4(47). С. 21-25.
Mogilnykh A.E., Biryukova O.D., Pustovoitov D.O., Pesin A.M. The research of the possibility of the hardness regulating in aluminum alloys during asymmetrical rolling. *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2023, vol. 47, no. 4, pp. 21-25.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 669.18; 621.385

Головкин П.А.

О ПРИМЕСИ ВИСМУТА В ПРУТКАХ ИЗ СТАЛИ 10864

Аннотация. На примере разрушения прутков из стали вакуумной плавки с установленным значением коэрцитивной силы 10864 разбираются требования технических условий (ТУ), определяющих их свойства и химический состав. Раскрывается один из механизмов попадания висмута в электротехническую сталь вакуумной плавки.

Показано, что требования ТУ на поставку стали 10864 вакуумного перепада не содержат требований к предельно-му содержанию в ней ряда примесей, в частности висмута. А это значит, что при проверке химического состава материала прутков с взятием торцевых проб в соответствии с ГОСТ 7565 такие примеси могут быть не выявлены просто потому, что на их содержание в соответствии с ТУ его не проверяют.

Также указано, что требования ТУ и ссылочных документов не позволяют предъявлять поставщику материал с прослойками висмута, если они обнаружены с применением увеличительных приборов, и ещё не привели к образованию трещин, что приводит к необходимости внесения дополнительных требований к химическому составу и структуре материала прутков из стали 10864 вакуумной плавки в договоры на их поставку.

Ключевые слова: сталь, прутки, детали, электровакуумные приборы, температура, примеси, висмут, проверка макроплотности

Общие положения.**Целевые и нормативные требования к стали 10864**

Электротехнические стали вакуумного перепада с установленным значением коэрцитивной силы 10864-ВИ (03-ВИ) по ТУ 14-1-896 [1] и 10864-ВД (03-ВД) по ТУ 14-1-1683 [2] являются распространённым материалом электровакуумных приборов (далее – ЭВП) и должны обеспечивать не только заданные магнитные характеристики, но и вакуумную плотность, механическую прочность, и малый уровень остаточного газовыделения, без чего работа ЭВП может быть нарушена [3].

Химический состав стали 10864 согласно ТУ, приведены в табл. 1. Для сравнения в таблице приведены также требования к химическому составу поставляемой по ГОСТ 11036 [4] электротехнической стали открытой плавки, заявленной этим стандартом как материал для применения в магнитных цепях электрических аппаратов и приборов. Некоторые свойства присущих сталям примесей, за исключением серы, не прописанных в указанных документах, по

данным источника [5] приведены в табл. 2.

Из табл. 2 следует, что материал прутков может иметь самые разные комбинации вредных для работы ЭВП примесей, содержание которых при этом даже не обязан отслеживать их изготовитель. Вообще удивляет то, что указанные документы не устанавливают предельно допустимое содержание даже тех примесей, которые прописаны, например, в ГОСТ 380 [6] на углеродистую сталь обыкновенного качества открытой плавки, из которой изготавливают, в частности, самую распространённую строительную арматуру периодического профиля. Так, ГОСТ 380 указывает для стали марки Ст3 допустимое содержание хрома, никеля и мышьяка, которые для почти идентичной по химическому составу стали 10864 не прописаны.

Касательно деталей рабочей зоны ЭВП необходимо обратить внимание на возможное наличие в стали 10864 таких не указанных в ТУ и ГОСТ 11036 малорастворимых и легкоплавких примесей, как висмут, селен и теллур.

Таблица 1

Химический состав стали 10864, мас. %, не более

Стандарт, марка стали	Углерод	Марганец	Кремний	Фосфор	Сера	Медь	Кислород	Азот
ГОСТ 11036 10864	0,035	0,3	0,3	0,020	0,030	0,3	–	–
ТУ 14-1-896 10864-ВИ	0,025	0,15	0,15	0,010	0,010	0,20	0,004	0,010
ТУ 14-1683 10864-ВД	0,025	0,15	0,15	0,010	0,010	0,20	0,003	0,007

Некоторые свойства примесей в нелегированной электротехнической стали

Элемент	Сера	Свинец	Олово	Сурьма	Висмут	Селен	Теллур
Температура плавления, °С	119,3	327,4	231	630,5	327,5	221	722
Температура кипения, °С	444,6	1749	2630	1634	1564	685	990
Температура насыщения пара К, при вакууме 10^{-5} ат	271,4	655,6	1015	572,3	543,4	371,8	466,3
Температура насыщения пара при давлении 1 ат, К	508,3	1418	2119	1195	1185	691,1	889,1

Особую опасность представляет примесь висмута. Его отличие от примесей селена и теллура состоит в том, что если температуры кипения селена и теллура много ниже температуры плавления электротехнической стали и лежат примерно в рамках температур её горячей обработки, как это показано в табл. 2, то температура кипения висмута превышает её, составляя 1564°С против 1538°С [5].

Это значит, что в то время, как при отжиге исходного слитка и его дальнейшего передела в прутки, примеси селена и теллура образовали бы браковочные признаки в виде распределённой пористости и флокенов, наличие прослоек висмута не дают основания для возврата материала поставщику.

Здесь следует обратить внимание на ряд упущений в ТУ на сталь 10864 вакуумной плавки в части требований к химической чистоте и структуре материала прутков. Так, ТУ предусматривают проверку макроструктуры прутков на отсутствие усадочной раковины и рыхлости, а также пузырей, трещин, расслоений, шлаковых включений и флокенов, определение которым даёт ГОСТ 10243 [7]. Количество этих дефектов не должно превышать 1 балла, но только по методике указанного документа обнаружены они должны быть без применения увеличительных приборов. А это значит, что ТУ не позволяют расценивать обнаруженные с применением увеличительных приборов дефекты как существующие, и формально их нельзя предъявлять поставщикам для возврата непригодного к использованию в составе ЭВП материала, если только иное отдельно не прописано в договоре на его поставку. К тому же стандартного определения такого дефекта стали, как прослойки малорастворимых легкоплавких примесей, или эвтектические прослойки, в ГОСТ 10243 и других государственных и отраслевых документах в настоящее время нет, а это означает дополнительные сложности в спорах с поставщиками непригодного материала. Ведь тонкие прослойки малорастворимых фаз – это не синоним трещин или расслоений, поскольку трещина по прослойкам может ещё не развиваться, а расслоения могут иметь, например, диффузионную природу, как это описано в работе [8], не считая уже того, что по ТУ 14-1-896, ТУ 14-1-1683 и ГОСТ 11036 висмут не указан в перечне недопустимых примесей.

В то же время висмут плавится при температуре 271,4°С [5], что много меньше величины возможного рабочего разогрева частей деталей ЭВП, достигающего 400 °С [9], и тем более температур пайки-сборки узлов ЭВП и его откочки [3], когда испарение и остаточное газовыделение висмута нарушает вакуумную чистоту ЭВП. Более того, по прослойкам висмута могут образоваться трещины в материале стальных деталей, полностью выводя ЭВП из строя. Пример таких трещин в материале полученных из прутка деталей показан на рис. 1. Поэтому, хотя определяющий метод отбора проб для определения химического состава стали по ГОСТ 7565 [10] и предусматривает проверку материала прутков диаметром до 50 мм включительно, с использованием сплошных поперечных образцов, примеси висмута могут быть не обнаружены.

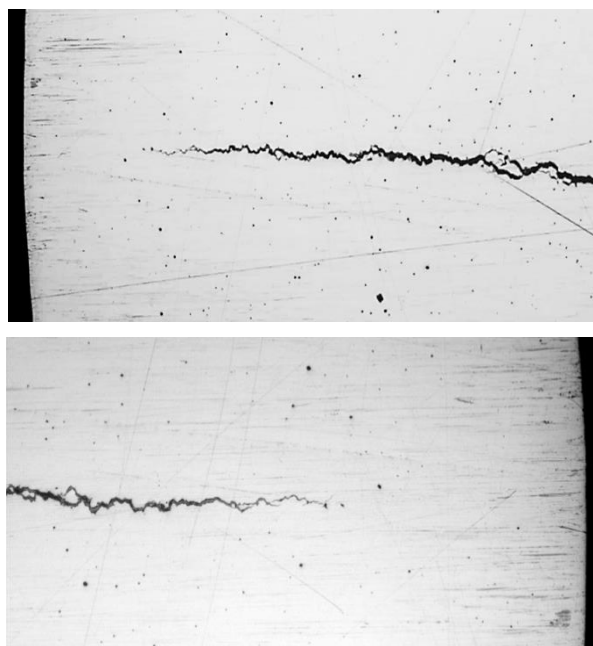


Рис. 1. Трещины в поперечном шлифе прутка без его травления, $\times 100$

Если требования ТУ на материал не предусматривают его проверки на содержание висмута, то незачем его возможное содержание и проверять. Тем более, что даже будучи обнаруженным, повышенное содержание висмута само по себе формально не будет

считаться браковочным признаком, поскольку не нарушит требований ТУ.

Возможные причины появления висмута в стали 10864

У не связанных непосредственно с производством материалов специалистов может возникнуть вопрос: откуда может появиться висмут в электротехнической стали вакуумной плавки? Одной из вероятных причин при использовании индукционной вакуумной плавки может быть следующая.

Используемые при изготовлении слитков стали 10864-ВИ обычно сильно загружены выплавкой других самых разных материалов – медных, медноникелевых и прецизионных сплавов, припоев и других, часто чередующихся в порядке, определяемом не технологическими их особенностями, а первоочередностью выполнения поступающих заказов на материал. Поэтому привычны случаи, когда в начале дня в одной и той же печи последовательно выплавляют материалы, где основные компоненты первых являются вредными примесями в последующих. При этом тигель печи, как правило, меняют лишь в связи с его полным физическим износом. Это значит, что этот тигель каждый раз загрязняется составляющими тех сплавов, которые в нём готовят, и механическая зачистка его рабочей поверхности не позволяет полностью удалить проникающие в его глубину вещества, особенно из донной, трудно зачищаемой его части. Для того чтобы уменьшить перенос через тигель частиц компонентов предыдущей дорогостоящей плавки в следующую, обычно применяют «промывку» тигля – плавку в нём менее дорогого материала.

Часто бывает, что таковым и выступает электротехническая сталь, и если перед ней в печи готовили, например, припой, содержащий висмут, то он вполне мог перейти в расплав «промывки», которую нерадивые производители, помня об описанных выше упущениях в ТУ, заявляют как качественный, химически чистый материал.

Работа с поставщиками показывает, что далее события могут развиваться следующим образом. Стремясь понизить производственные издержки, производитель материала стремится снять с полученного слитка минимальный поверхностный слой при зачистке и отрезать минимальную прибыльную и прилегающую к ней часть слитка. Что же касается донной части слитка, то часто её вообще не отделяют от слитка, руководствуясь при этом признаком неразрушения слитка при его проковке или прокатке, обычно даже без проведения гомогенизационного отжига, как это описано в работе [8].

Между тем, как более тяжёлый элемент, висмут, плотность которого при 293 К составляет 9780 кг/м^3 при плотности железа, равной 7874 кг/м^3 , располагается преимущественно в нижней части исходного расплава и полученного слитка. Соответственно, за-

грязнённая висмутом часть слитка могла быть относительно небольшой и легко отделена от него, не говоря уже о том, что её можно было бы связать и вывести в шлак добавкой мишметалла по ТУ 48-4-280 [11] или других присадок, как это рекомендовано в работе [8]. Всё это делается (или не делается) для сохранения наибольшей возможной товарной массы материала и минимального расхода времени и энергоносителей. Если же при дальнейшей проковке или прокатке части слитка происходит их частичное разрушение, от них отрезают только непосредственно явно разрушившуюся часть, остальной же материал подвергается дальнейшему переделу.

Далее предназначенный для изготовления прутков такой материал обычно поступает на поперечно-винтовую прокатку [12] либо ротационную ковку [13], как наиболее универсальные способы получения их небольших партий. И в этом случае, в соответствии с перемещением деформационных фронтов в материале заготовки, примеси повторяют в нём путь полей наибольших растягивающих напряжений. Таким образом и образуются расположенные в меридиональном относительно направлении прокатки/ковки прутков прослойки висмута, причём, повторяя ход полей деформации и напряжений, относительно оси симметрии прутка они расположены веретенообразно, винтом. Важно, что при этом во внешних слоях снаружи прутка может не содержать примесей висмута и, соответственно, признаков разрушения металлического материала.

Именно этот случай и показан на фотографиях рис. 1, где вызванные меридиональной прослойкой висмута трещины тем шире, чем выше образованные неравномерной деформацией при поперечно-винтовой прокатке и ротационной ковке растягивающие напряжения в материале прутка.

На рис. 2 показаны трещины в протравленном поперечном шлифе прутка из стали марки 10864-ВИ. Хорошо видно, что разрушение носит зернограничный характер, и трещины имеют на своей поверхности (показаны стрелками), следы эвтектики. При этом основной материал прутка отличается необходимой вязкостью, о чём свидетельствует наличие перемычек – утяжин в местах прохождения трещин, и не будь в нём примеси висмута, в результате сформированных поперечно-винтовой прокаткой или ротационной ковкой напряжений, он не разрушился бы.

В завершение следует указать, что ввиду практической нереализуемости внесения изменений в определяющих химический состав стали 10864 вакуумной плавки ТУ, для обоснования его возможной отбраковки по признаку наличия примесей висмута, предприятиям-потребителям этого материала следует оговаривать соответствующий браковочный признак в составе дополнительных требований в договорах на его поставку.

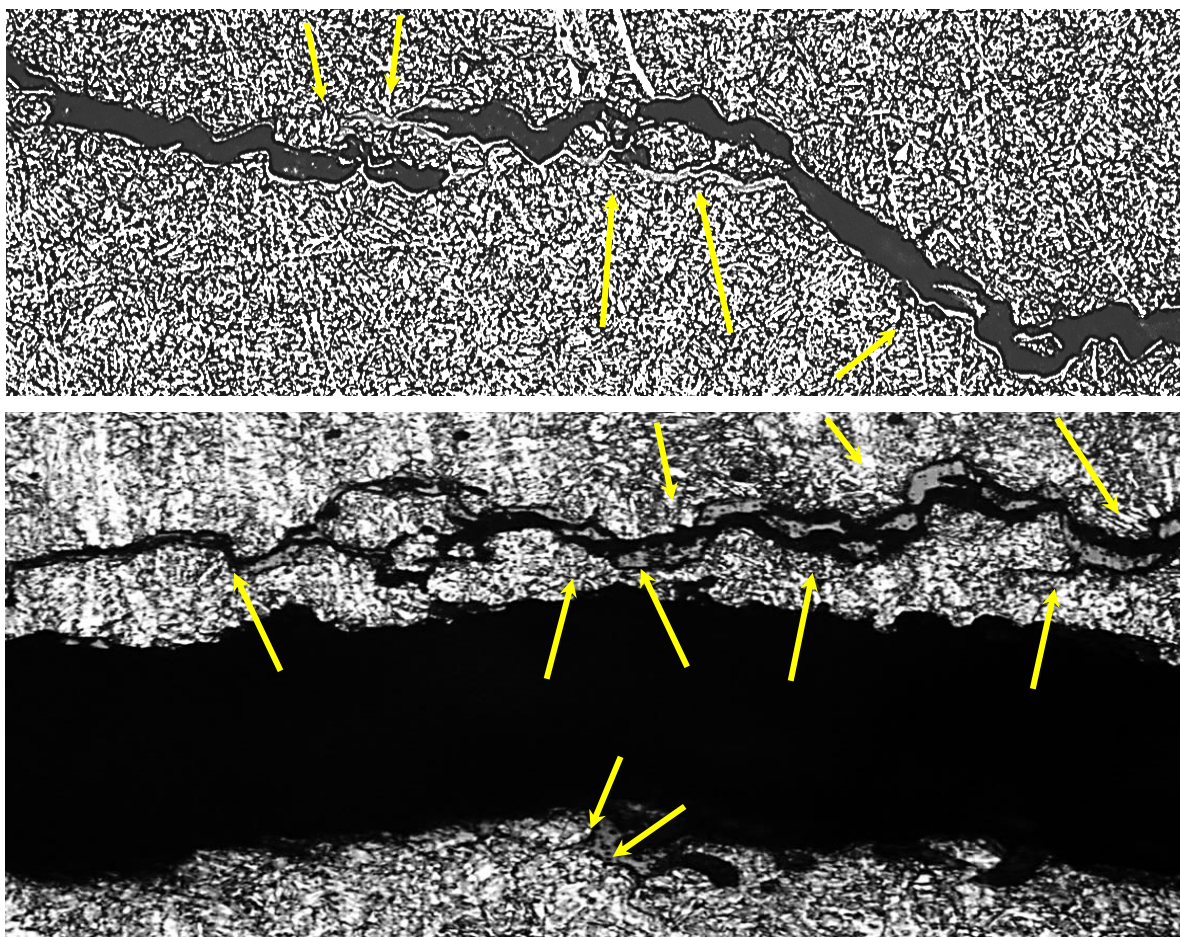


Рис. 2. Поперечный шлиф материала в местах расположения трещин после его травления, $\times 200$ (вверху) и $\times 400$ (внизу)

Выводы

1. В определяющих химический состав стали марки 10864 вакуумной индукционной выплавки и электродугового переplava ТУ 14-1-896 и ТУ 14-1-1683 имеют место существенные для изготовления деталей рабочей зоны ЭВП упущения, именно: отсутствуют требования к предельно допустимому содержанию таких легкоплавких и при этом малорастворимых примесей, как селен, теллур и висмут, представляющих существенную угрозу для вакуумной чистоты рабочей зоны ЭВП. Поэтому даже проведение анализа химического состава материала прутков с соблюдением требований ГОСТ 7565 не может гарантировать его пригодность для изготовления деталей ЭВП, в особенности их рабочей зоны.

2. Действующая методика определяющего методы испытаний и оценки макроструктуры стали ГОСТ 10243 не предусматривает проверку качества материала прутков с применением увеличительных приборов, что может привести к попаданию в детали ЭВП материала с малозаметными прослойками по границам его зёрен висмута, которые могут привести к его дальнейшему разрушению и выходу прибора из строя.

3. Исключение попадания в состав стали 10864 легкоплавких примесей может быть обеспечено соблюдением простой технологической дисциплины при приготовлении исходного расплава и обработке слитков: недопущение использования очищающей тигель «промывки», необходимая очистка расплава добавлением в него мишметалла либо других присадок, удаление в необходимом количестве прибыльной и донной части слитка и т.д.

4. Предприятиям-потребителям стали 10864 следует оговаривать с организациями-поставщиками наличие в ней примеси висмута как браковочный признак с указанием методик его выявления в составе дополнительных требований в договорах на его поставку.

Список литературы

1. ТУ 14-1-896-74. Прутки горячекатаные и кованные из нелегированной специальной стали марки 10864 (03-ВИ). Технические условия.
2. ТУ 14-1-1683-2005. Прутки из нелегированной специальной стали марки 10864-ВД (03-ВД). Технические условия.
3. Технология производства электровакуумных приборов: термовакuumная обработка. Эксперимен-

- тальное сопровождение технологического процесса: учебное пособие / под ред. И.П. Ли, Ю.В. Панфилова. М.: Изд-во МГТУ им. М.Э. Баумана, 2022. 119 с.: ил.
4. ГОСТ 11036-75. Сталь сортовая электротехническая нелегированная. М.: Изд-во стандартов, 1975. 5 с.: ил.
 5. Физические величины. Справочник / коллектив авторов по ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. М.: Энергоатомиздат, 1991. 1231 с.: ил.
 6. ГОСТ 380-2005. Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки. М.: Стандартинформ, 2009. 13 с.: изм.
 7. ГОСТ 10243-75. Сталь. Методы испытаний и оценки макроструктуры. М.: Изд-во стандартов, 1975. 48 с.: ил.
 8. Головкин П.А. О важности проведения подстуживания расплава при индукционной плавке и гомогенизации слитка под прокатку листов и лент из прецизионного сплава 29НК-ВИ // Труды 30-й Всероссийской научн.-техн. конф. с межд. участием «Вакуумная техника и технологии – 2023», Секция «Вакуумные технологии», 20–22 июня 2023 г. С-Пб.: ВНИИ метрологии им. Д.И. Менделеева, 2023. С. 72-78.
 9. Коваленко В.Ф. Теплофизические процессы и электровакуумные приборы. М.: Советское радио, 1975. 216 с.
 10. ГОСТ 7565-81. Чугун, сталь и сплавы. Метод отбора проб для определения химического состава. М.: Стандартинформ, 2018. 12 с.; изм.
 11. ТУ 48-4-280-91. Мишметалл МЦ50ЖЗ и МЦ50Ж6. Технические условия / Иртышский химико-металлургический завод. 56 с.
 12. Тетерин П.К. Теория поперечной и винтовой прокатки. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1983. 269 с.: ил.
 13. Головкин П.А. Получение прутков из сплава НММц 38-2В методом ротационнойковки // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2021. № 5. С. 221–226.

Сведения об авторах

Головкин Павел Александрович – кандидат технических наук, АО «Плутон», г. Москва, Россия. E-mail: p.golovkin@pluton.msk.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

ON BISMUTH IMPURITY IN COLD-FORMED STEEL BARS WITH THE SET COERCIVITY VALUE "10864"

Golovkin Pavel A. – Ph.D. in Engineering Science, Pluton JSC, Moscow, Russia. E-mail: p.golovkin@pluton.msk.ru;

Abstract. On the example of fracture of bars from vacuum melting steel with the established value of coercive force “10864” the requirements of technical specifications defining their properties and chemical composition are analysed. One of the mechanisms of bismuth ingress into vacuum melting electrical steel is revealed. One of the mechanisms of bismuth ingress into vacuum melting electrical steel is revealed.

It is shown that the requirements of technical specifications for the supply of “10864” vacuum melting steel do not contain requirements for the maximum content of a number of impurities, in particular, bismuth. This means that when checking the chemical composition of the material of bars with end samples in accordance with the state standard of the Russian Federation № 7565, such impurities may not be detected simply because their content in accordance with the technical specifications, it is not checked.

It is also stated that the requirements of technical specifications and reference documents do not allow the supplier to present the material with layers of bismuth, if they are detected with the use of magnifying devices, and have not yet led to the formation of cracks, which leads to the need to introduce additional requirements for the chemical composition and structure of the material of bars from steel “10864” vacuum melting in contracts for the supply of material.

Keywords: steel, bars, parts, electrovacuum devices, temperature, impurities, bismuth, macrostructure inspection.

Ссылка на статью:

Головкин П.А. О примеси висмута в прутках из стали 10864 // Теория и технология металлургического производства. 2023. №4(47). С. 26-30.
Golovkin P.A. On bismuth impurity in cold-formed steel bars with the set coercivity value "10864". *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2023, vol. 47, no. 4, pp. 26-30.

УДК 621.798

Коляда Л.Г., Тарасюк Е.В., Пономарев А.П., Шувалова М.М.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ВОСКОВЫХ ЭМУЛЬСИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ НА СТАЛЬНУЮ УПАКОВОЧНУЮ ЛЕНТУ

Аннотация. Стальная упаковочная лента широко используется для упаковки грузов различного назначения, в том числе тяжелых и крупногабаритных: арматурных материалов, труб, проката. Для повышения стойкости к коррозии на поверхность металлической упаковочной ленты наносят полимерные покрытия и восковые эмульсии. Благодаря этому лента хорошо переносит не только повышенную влажность воздуха, но и химическое воздействие многих агрессивных веществ. Восковые эмульсии влияют на скольжение, истирание, подвижность и водостойкость материала. Целью данной работы является исследование химического состава и эксплуатационных свойств восковых эмульсий для нанесения на стальную упаковочную ленту. Анализ химического состава восковых эмульсий проводили методом инфракрасной спектроскопии. Скольжение оценивалось по результатам испытаний материалов на трение и износ. Противокоррозионные свойства восковых эмульсий на образцах стальной ленты исследовались в условиях повышенных значений температуры и влажности по методу 207-3 (ГОСТ Р 51369-99) и при воздействии нейтрального соляного тумана по методу 215-1.2.1 (ГОСТ Р 52763-2007). Анализ ИК-спектров исследуемых восковых эмульсий позволил выявить существенные различия в их составе: на ИК-спектрах отечественных восковых эмульсий присутствуют полосы поглощения, характерные для ароматических нитросоединений, что, возможно, говорит о содержащихся в этих эмульсиях ингибиторах коррозии. Установлено, что наибольшую износостойкость имеет эмульсия зарубежного производства (образец А), а наименьшую – отечественный образец В. За время коррозионных испытаний очаги коррозии в виде отдельных пятен появились только на образцах стальной ленты с зарубежной эмульсией А, на остальных образцах следы коррозии отсутствовали, что подтверждает сделанное по результатам анализа ИК-спектров предположение о наличии ингибиторов коррозии в составе восковых эмульсий отечественного производства.

Ключевые слова: стальная упаковочная лента, восковые эмульсии, коррозия, ингибиторы, инфракрасная спектроскопия, износостойкость, коэффициент трения

Введение

На сегодняшний день на предприятиях черной и цветной металлургии применяется три самых распространенных типа упаковочных лент – полиэстеровая (ПЭТ-лента), полипропиленовая (ПП-лента) и металлическая [1-4]. Эксплуатационные характеристики лент различаются. ПП-ленты выдерживают нагрузку в диапазоне от 45 до 340 кг. Они становятся хрупкими при низких температурах. ПЭТ-ленты морозоустойчивы и могут выдерживать нагрузку до 1220 кг. Стальные ленты выдерживают нагрузку до 4200 кг.

Практика зарубежных предприятий показывает, что для обвязки грузов, отправляемых потребителю, сегодня в основном используются полиэстеровые материалы. Полиэстеровая лента завоевывает Россию гораздо медленнее, чем зарубежные страны. Есть несколько причин, почему полиэстеровая лента не заменяет стальную ленту. Многие производители не осведомлены о новых разработках в области упаковки. До сих пор применяются конкретные стандарты перевозки грузов по железной дороге, которые никто не отменял, несмотря на их сорокалетнюю давность. Они гласят, что вся перевозимая продукция деревообрабатывающей отрасли должна быть упакована стальной лентой. Еще одним препятствием выступают местные особенности упаковки грузов. Дело в том, что в нашей стране зачастую формируют грузовые партии продукции в неотапливаемых цехах, что может отрицательно сказаться на качестве соединения полиэсте-

ровой ленты ручным инструментом, где применяется сварка трением. В автоматических машинах такой проблемы нет, так как там применяется термосварка. Для качественного скрепления такой ленты ручным инструментом рекомендуется температура окружающей среды не менее +5°C [1].

Для ручной и автоматической упаковки крупногабаритных, массивных и ответственных грузов, где требуются значительные усилия при стягивании ленты в сочетании с ее высокими прочностными характеристиками, традиционно используется стальная лента. Данная лента дешевле полиэстеровой, и при работе с ней не требуется специальных знаний и навыков. Географическое расположение металлургических заводов требует длительной транспортировки продукции до потребителя и обязывает к более внимательному отношению к упаковке экспортной продукции.

В настоящее время упаковочную стальную ленту применяют для упаковки грузов различного назначения, а также для их армирования. Сегодня без нее не обходятся не только на металлургических, но и деревообрабатывающих, строительных и других предприятиях [1-5].

Производится упаковочная лента из стали, но для повышения стойкости к коррозии ее с обеих сторон покрывают цинком, полимерами, восками и т.д. Благодаря этому она не только хорошо переносит повышенную влажность воздуха, но и химическое воздействие многих агрессивных веществ. Восковая эмульсия на металлических поверхностях используется для модифицирования поверхности, улучшения ее

внешнего вида и обеспечения временной защиты от коррозии. Сопротивление к скольжению может быть осуществлено путем добавления восковых модификаторов поверхности (полиэтиленовые воски, восковые эмульсии) [5-11].

Исследования в данной области проводятся, а именно разрабатываются новые способы обработки стальной упаковочной ленты с использованием водно-восковой эмульсии [8] или с лакокрасочным покрытием [9], новые способы получения водно-восковой эмульсии для защиты металлоизделий от коррозии [10-12].

В патенте [8] поставленная задача решается тем, что в способе производства высокопрочной упаковочной ленты толщиной 0,45-1,30 мм, согласно изобретению, холоднокатаную ленту патентируют путем нагрева ленты до температуры 930-950°C в атмосфере, содержащей 0,5-2,4% CO, и изотермической выдержки в расплаве свинца в течение 20-50 с при температуре 460-500°C, после чего ленту окрашивают, сушат и покрывают воском в водно-восковой эмульсии, содержащей 20% парафина, с последующим охлаждением воздухом, имеющим температуру 60-70°C. Выбранные временные интервалы нахождения ленты в ванне с водно-восковой эмульсией способствуют формированию на ее поверхности однородного воскового покрытия толщиной 0,5-1,0 мкм без непокрытых участков, что обеспечивает скольжение соприкасающихся поверхностей, а также стойкость к атмосферной коррозии.

В патенте [10] разработан способ приготовления водно-восковых эмульсий для приготовления составов для защиты металлоизделий от атмосферной коррозии. Способ получения водно-восковой эмульсии включает перемешивание церезина с поверхностно-активным веществом и водой, при этом в качестве поверхностно-активного вещества используют продукт взаимодействия животного жира с диэтаноламином и борной кислотой, добавляют церезин, затем полученную смесь растворяют в ксилоле и все компоненты интенсивно перемешивают с водой до получения однородной белой эмульсии.

В настоящее время из-за ограничений со стороны западных стран появилась необходимость в поиске новых современных и отечественных составов, которые бы не уступали по своим особенностям европейским аналогам.

Целью данной работы является исследование химического состава и эксплуатационных свойств восковых эмульсий для нанесения на стальную упаковочную ленту.

Материалы и методы исследований

В качестве объектов исследования были взяты восковые эмульсии разных производителей, которые используются на участке производства высокопрочной упаковочной ленты: образец А – Германия, образцы В и С – Россия. Состав зарубежного аналога –

восковой эмульсии А известен, %: вода – 89–95; карнаубский воск – 1–5; полиэтиленовый воск – 1–5; ланолин – 1–5; 2-диэтилметанол – 0,5–1,4; 2-аминоэтанол – 0,5–1,4. Составы водно-восковых эмульсий российских производителей неизвестны.

Методом ИК спектроскопии были сняты спектры образцов пленок восковых эмульсий для идентификации их химического состава на приборе ИК фурье-спектрометре ФТ 801 (Россия).

Скольжение определялось с помощью испытаний полимерных материалов на износ и трение. Испытаниями на износ и истирание выявляют поведение поверхностных слоёв материалов после длительного воздействия сил трения, а также изменение массы образцов.

Оценка противокоррозионных свойств восковых эмульсий на образцах стальной ленты выполнена в условиях повышенных значений температуры и влажности, а также при воздействии нейтрального соляного тумана.

Методика исследований

Для проведения ИК-спектроскопии были получены пленки из восковых эмульсий путем нанесения слоя на предметное стекло и сушки его в сушильном шкафу при 60°C.

Для испытаний на трение и износ эмульсии наносились на полимерные пленки, подсушивались при 60°C в течение 15 мин и испытывались на приборах трения и износа [13]. Величина износа по массе определяется путем взвешивания образцов с точностью до 1 мг через определенное число циклов испытаний. В современных расчетах на износ при установленном процессе изнашивания используют следующие параметры изнашивания:

– интенсивность износа J_g , мг/м, равна отношению изменения массы изнашиваемого изделия Δg к пути трения, называемого пробегом L :

$$J_g = \frac{\Delta g}{L}; \quad (1)$$

– износостойкость – величина, обратная интенсивности износа:

$$I = \frac{1}{J}; \quad (2)$$

– скорость изнашивания $I_{h(t)}$ – интенсивность изнашивания во времени t :

$$I_{h(t)} = \frac{\Delta h}{t}. \quad (3)$$

Испытания в условиях повышенных значений температуры и влажности проводились в климатической камере СМ-60/75-80 ТВХ (Россия) в соответ-

ствии с требованиями ГОСТ Р 51369-99 [14]. Продолжительность испытания составила восемь циклов. Каждый цикл состоял из следующих этапов: нагрев в течение 3 ч до температуры $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$, при этом относительная влажность в камере была не менее 95%; выдержка в течение 9 ч при температуре $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности $(93 \pm 3)\%$; охлаждение в течение 3 ч до температуры $(25 \pm 3)^\circ\text{C}$, при этом относительная влажность была не менее 95%; выдержка в течение 9 ч при температуре $(25 \pm 3)^\circ\text{C}$ и относительной влажности не менее 95%.

Исследования при воздействии нейтрального соляного тумана проводились в камере соляного тумана типа КСТ-0,4-015 (Россия) по методу 215-1.2.1 в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52763-2007 [15]. Исследование стойкости образцов к воздействию нейтрального соляного тумана проводилось в течение 96 ч. Температура в камере в период исследования составляла $(35 \pm 2)^\circ\text{C}$. Туман в камере создавался путём распыления нейтрального соляного раствора, представляющего собой раствор хлористого натрия в дистиллированной воде концентрацией (5 ± 1) мас. %.

Обработка результатов коррозионных испытаний проведена по ГОСТ 9.407-2015, ГОСТ 9.908-85 [16, 17].

Результаты исследований и их обсуждение

Воски состоят преимущественно из эфиров высших одноосновных (реже – двухосновных) карбоновых кислот с высшими одноатомными (реже – двухатомными) спиртами, причем и кислоты, и спирты большей частью содержат четное число атомов углерода ($\text{C}_{16} - \text{C}_{36}$). Кроме того, воски всегда содержат свободные кислоты, свободные спирты и часто углеводороды. Восковые эмульсии состоят из мелких и стабилизированных частиц воска, равномерно распределенных в воде. Для устойчивости эмульсий в систему вводятся специальные эмульгаторы, которые концентрируются на границе раздела фаз и снижают поверхностное натяжение [18].

Водно-восковая эмульсия зарубежного производства (образец А) состоит из трех видов восков:

- карнаубский воск растительного происхождения в своем составе содержит: сложные эфиры жирных кислот (80-85%) общей формулой $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{23-27}-\text{C}(\text{O})-\text{O}-(\text{CH}_2)_{31-33}-\text{CH}_3$, жирные спирты (10-16%), жирные кислоты (3-6%) и углеводороды (1-3%);

- ланолин – воск животного происхождения состоит из смеси сложных эфиров высокомолекулярных спиртов (холестерина и др.) с высшими жирными кислотами;

- полиэтиленовый воск – синтетический воск, который представляет собой сверхнизкомолекулярный полиэтилен высокой степени кристалличности и линейности, по своим свойствам схожий с твердым жиром.

На рис. 1 представлен ИК-спектр восковой эмульсии образца А.

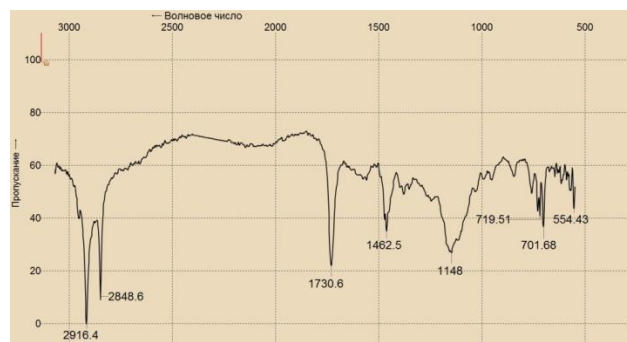


Рис. 1. ИК-спектр пленки восковой эмульсии образца А

Как видно из рис. 1, полосы поглощения в ИК-спектрах при 2916 и 2848 cm^{-1} отвечают асимметричным валентным колебаниям С-Н в насыщенных углеводородах, полоса в диапазоне 1462 cm^{-1} характеризует деформационные колебания групп $-\text{CH}_2-$, слабая полоса поглощения в диапазоне 719 cm^{-1} связана с деформационными колебаниями групп $(-\text{CH}_2-)_n$, где $n \geq 4$ [19-20]. Полосы сильной интенсивности на частоте 1730 cm^{-1} соответствуют валентным колебаниям карбонильной группы С=О, присутствующей в альдегидах и сложных эфирах. Широкая полоса поглощения в диапазоне 1148 cm^{-1} соответствует деформационным колебаниям О-Н и валентным колебаниям С-О в третичных спиртах, а также совпадает по диапазону частот с эфирами алифатических кислот и алифатическими аминами. Наблюдаемая полоса поглощения 701 cm^{-1} , возможно, характеризует деформационные колебания N-H в первичных аминах $-\text{NH}_2$, присутствующих в эмульгаторе 2-аминоэтаноле. Полосы поглощения в диапазоне меньше 700 cm^{-1} могут отвечать неорганическим добавкам, примесям и пр.

На рис. 2 представлен ИК-спектр восковой эмульсии образца В. Можно предположить, что по совокупности пиков в областях 2916 , 2848 , 1462 и 719 cm^{-1} основу эмульсии составляет воск.

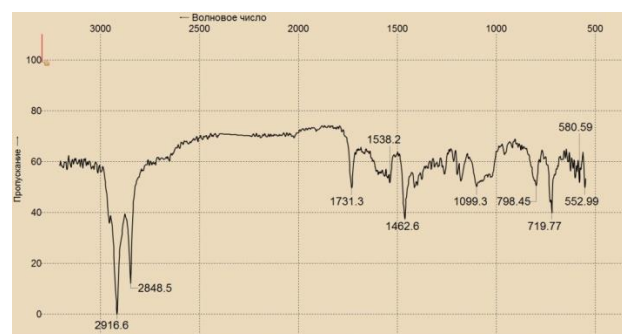


Рис. 2. ИК-спектр пленки восковой эмульсии образца В

ИК-спектр отечественного образца восковой эмульсии отличается присутствием дополнительных пиков в областях 1538 и 798 cm^{-1} . Полоса в области 1538 cm^{-1} может принадлежать колебаниям ненасыщенных азотистых соединений. Диапазон частот с сильным поглощением $1570-1500$ cm^{-1} характерен для колебаний С-NO₂ в ароматических нитросоединениях

[20, 21]. Поскольку данная восковая эмульсия производится с добавкой ингибитора коррозии, то это позволяет предположить, что ингибитор имеет ароматическую природу (типа промышленных ингибиторов марок Г-2, НДА и др.) [22]. Широкая полоса поглощения в диапазоне 1099 см^{-1} соответствует деформационным колебаниям О-Н и валентным колебаниям С-О во вторичных -спиртах. Пики в областях $815\text{-}750$ и $625\text{-}565\text{ см}^{-1}$ отвечают колебаниям RO-N=O в нитритах неорганической природы.

На рис. 3 представлен ИК-спектр восковой эмульсии образца С. В ИК-спектре восковой эмульсии образца С присутствуют полосы поглощения, характерные для воска. Пик на частоте 1599 см^{-1} соответствует нитросоединениям. Пик на частоте 968 см^{-1} соответствует деформационным колебаниям С-Н в дизамещенных алкенах, присутствие которых можно объяснить наличием непрореагировавшего мономера. Интенсивный пик в области 698 см^{-1} можно отнести к монозамещенным производным бензола.

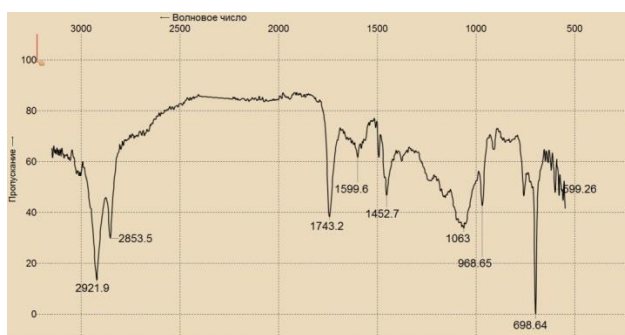


Рис. 3. ИК-спектр пленки восковой эмульсии образца С

Испытание на трение и износ. Свойства скольжения (или смазывающая способность) представляют собой способность двух поверхностей скользить друг по другу, не вызывая каких-либо механических повреждений. Сопротивление скольжению – это способность управлять поверхностной энергией за счет увеличения коэффициента трения отвержденного покрытия.

В табл. 1 приведены результаты исследования скольжения и определения коэффициента трения восковых эмульсий. В ходе испытания фиксировался массовый износ и на основании полученных результатов рассчитаны интенсивность, износостойкость и скорость изнашивания [13].

Таким образом, наименьшая интенсивность массового износа наблюдается у зарубежного аналога – образца А, а наибольшая – у отечественного образца В. Скорость изнашивания образца В в 25 раз выше, чем у образца А.

Отечественные восковые эмульсии имеют более высокие значения коэффициентов трения, чем зарубежный аналог. Более высокий коэффициент трения восковой пленки обуславливает повышение сопротивления скольжению и, соответственно, износ.

Оценка противокоррозионных свойств восковых эмульсий. Результаты испытания образцов в условиях повышенных значений температуры и влажности приведены в табл. 2. Продолжительность испытания составила восемь циклов.

Как видно из табл. 2, после испытаний в климатической камере очаги коррозии наблюдались в виде отдельных пятен только на образце А, на остальных коррозия отсутствовала. Исходя из степени поражения поверхности коррозией, образцу А присвоена оценка К4. Площадь коррозионных разрушений остальных образцов соответствует оценке К0.

Исследование стойкости образцов к воздействию нейтрального соляного тумана выполняли в течение 96 часов. Результаты испытания образцов в условиях соляного тумана представлены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, после воздействия нейтрального соляного тумана все образцы имели коррозионные поверхностные разрушения. Наименьшая степень поражения поверхности отмечена у образца В – его оценка коррозии составила К3, что возможно обусловлено наличием ингибиторов коррозии в составе данной восковой эмульсии. Наибольшая степень поражения поверхности отмечена у образца А, что соответствует оценке коррозии К5.

Таблица 1

Результаты испытаний на трение и износ

Образец	Массовый износ			Коэффициент трения	
	Интенсивность износа, мг/м	Износостойкость, м/мг	Скорость изнашивания, г/мин	Статический	Динамический
Образец А	0,00052	1934	0,0002	0,35	0,33
Образец В	0,01011	99	0,0049	0,42	0,46
Образец С	0,00077	1306	0,0004	0,49	0,58

Результаты испытания образцов в условиях повышенных значений температуры и влажности по методу 207-3 ГОСТ Р 51369-99



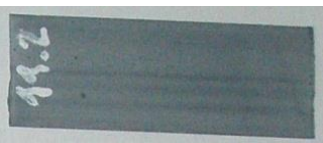



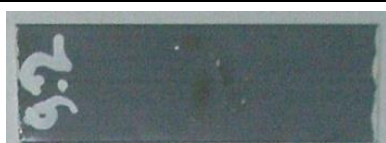

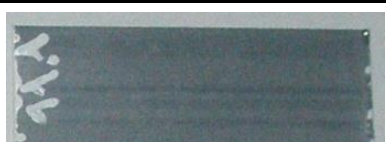

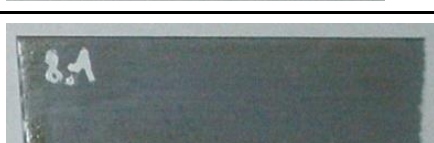

Образцы	Внешний вид образцов		Степень поражения поверхности, %	Оценка коррозии металла, балл
	до испытания	после испытания		
Образец А			7,2	К4
Образец В			0,0	К0
Образец С			0,0	К0

Таблица 3

Результаты испытания образцов при воздействии нейтрального соляного тумана

Образцы	Внешний вид образцов		Степень поражения поверхности, %	Оценка коррозии металла, балл
	до испытания	после испытания		
Образец А			92,8	К5
Образец В			23,6	К3
Образец С			80,0	К5

Заключение

В данной работе было проведено исследование образцов упаковочной ленты, покрытых восковыми эмульсиями разных производителей.

С помощью ИК-спектрометрии изучены составы восковых эмульсий разных производителей. Сравнительный анализ ИК-спектров исследуемых пленок позволяет заключить о примерно одинаковом составе компонентов, основным из которых является воск. Однако есть существенные отличия: на ИК-спектрах

восковых эмульсий образцов В и С присутствуют полосы поглощения, характерные для ароматических нитросоединений, что может соответствовать наличию ингибиторов коррозии в их составах.

В результате проведения испытаний на износ определено, что наибольшая износостойкость наблюдается у зарубежного аналога – образца А, а наименьшая – у отечественного образца В. Скорость изнашивания образца В в 25 раз выше, чем у образца А.

Установлено, по результатам испытания в климатической камере в условиях повышенной температуры и влажности очаги коррозии наблюдались в виде отдельных пятен только на зарубежном аналоге – образце А, на остальных коррозии отсутствовала, что возможно обусловлено наличием ингибиторов коррозии в их составах.

В условиях воздействия нейтрального соляного тумана все образцы имели коррозионные поверхностные разрушения. Наибольшая степень поражения поверхности отмечена у зарубежного образца А, что соответствует оценке коррозии К5. Наименьшая степень поражения поверхности отмечена у отечественного образца В.

Список литературы

- Потапов А.Е. Обзор рынка упаковочной ленты // Unipack.Ru: отраслевой портал. URL: <https://ref.unipack.ru/print/60/> (дата обращения: 21.11.2023).
- Астапкин А.С., Винидиктова Н.С., Царенко И.В. Упаковочные полимерные ленты: технологические аспекты производства // Актуальные вопросы физики и техники: сборник материалов XI Республиканской научной конференции. В 2 ч. Ч. 1. Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2022. С. 16-19.
- Юрченко В.В. Упаковка продукции. Экономическая эффективность // Строительные материалы. 2011. № 9. С. 26-28.
- Гун Г.С. Инновационные методы и решения в процессах обработки материалов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 4 (48). С. 99-113.
- Оценка консервационных материалов для защиты от коррозии рабочих органов сельскохозяйственной техники / Е.Б. Миронов, В.В. Косолапов, Е.М. Тарукин и др. // Вестник НГИЭИ. 2015. № 8 (51). С. 45-57.
- Ингибиторы коррозии (обзор) / Л.С. Козлова, С.В. Сибилева, Д.В. Чесноков и др. // Авиационные материалы и технологии. 2015. № 2 (35). С. 67-75.
- ГОСТ 34180-2017. Прокат стальной тонколистовой холоднокатаный и холоднокатаный горячеоцинкованный с полимерным покрытием с непрерывных линий. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2017. 43 с.
- Пат. 2687620 Российская Федерация, МПК C21D8/02 C21D1/20 C21D9/52 C22C38/00. Способ обработки стальной упаковочной ленты / С.А. Ненашев, А.Ю. Кузьмин, Д.В. Нефедов; заявитель и патентообладатель Ненашев С.А., Кузьмин А.Ю., Нефедов Д.В. № 2017139325; заявл. 13.11.2017; опубл. 15.05.2019.
- Соколов А.А., Пудов Е.А. Производство высокопрочной упаковочной ленты с лакокрасочным покрытием с целью замены ленты зарубежных производителей // Обработка сплошных и слоистых материалов. 2014. № 1 (40). С. 19-23.
- Пат. 2784432 Российская Федерация, МПК C09D5/08 C08L91/06 C08J3/03 C07C69/26 C09D191/06. Способ получения водно-восковой эмульсии для защиты металлоизделий от коррозии / С.М. Гайдар, В.Е. Коноплев, О.М. Лапсарь, Т.И. Балькова, А.М. Пикина, Д.И. Петровский; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева». № 2022117349; заявл. 28.06.2022; опубл. 24.11.2022.
- Тарасюк Е.В., Пономарев А.П., Мулюкова А.Ф. Исследование эксплуатационных свойств восковой эмульсии для стальной упаковочной ленты // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 81-й международной научно-технической конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2023. Т. 2. С. 226.
- Защитные свойства водно-восковых составов «Герон» / Л.Г. Князева, Е.Г. Кузнецова, В.И. Вигдорович и др. // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2013. Т. 18. № 5. С. 2299-2303.
- Тарасюк Е.В., Пономарев А.П. Испытания упаковочных материалов: лабораторный практикум. Магнитогорск : МГТУ, 2016. URL: <https://host.megaprolib.net/MP0109/Download/MObject/1574> (дата обращения: 27.11.2023).
- ГОСТ Р 51369-99. Методы испытаний на стойкость к климатическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на воздействие влажности. М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. 23 с.
- ГОСТ Р 52763-2007. Методы испытаний на стойкость к климатическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на воздействие соляного тумана. М.: Стандартинформ, 2007. 15 с.
- ГОСТ 9.407-2015. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Метод оценки внешнего вида. М.: Стандартинформ, 2015. 39 с.
- ГОСТ 9.908-85. Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Методы опре-

- деления показателей коррозии и коррозионной стойкости. М.: ИПК Издательство стандартов, 1999. 34 с.
18. Грандберг И.И. Органическая химия: учебник. М.: Дрофа, 2001. 672 с.
19. Полиэтиленовые воска производства ОАО «Газпром нефтехим Салават» / А.М. Кирюхин, З.Д. Федорова, О.Ю. Хисамутдинова и др. // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2015. № 7 (164). С. 106-111.
20. Тарасевич Б.Н. ИК-спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2012. 54 с.
21. Зуев В.В. Применение ИК-спектроскопии на предприятиях ТЭК: учебно-методическое пособие. СПб.: Университет ИТМО, 2020. 61 с.
22. Антропов Л.И., Макушин Е.М., Панасенко В.Ф. Ингибиторы коррозии металлов. Киев: Техніка, 1981. 183 с.

Сведения об авторах

Коляда Людмила Григорьевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры химии, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: kl174@mail.ru

Тарасюк Елена Владимировна – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры химии, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: gepod@inbox.ru

Пономарев Антон Павлович – старший преподаватель кафедры химии, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: antonpon@mail.ru

Шувалова Мария Михайловна – студентка, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: mariashuvalova81@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE RESEARCH OF OPERATIONAL PROPERTIES OF WAX EMULSIONS USED FOR STEEL PACKING TAPE COATING

Kolyada Lyudmila G. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Chemistry, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: kl174@mail.ru

Tarasyuk Elena V. – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Chemistry, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: gepod@inbox.ru

Ponomarev Anton P. – Assistant Professor of the Department of Chemistry, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: antonpon@mail.ru

Shuvalova Mariya M. – Undergraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: mariashuvalova81@gmail.com

Abstract. Steel packing tape is widely used for packaging goods of various purposes, including heavy and large ones: reinforcing materials, pipes, rolled metal. Polymer coatings and wax emulsions are applied to surface of metal packing tape to increase its corrosion resistance. This allows tape to withstand not only high air humidity, but also chemical effects of many aggressive agents. Wax emulsions affect sliding, abrasion, movability and water resistance of material. The purpose of this work is to study chemical composition and operational properties of wax emulsions steel packing tape coating. The chemical composition of wax emulsions was analyzed by infrared spectrometry. Sliding was evaluated based on the results of friction and wear tests of materials. The anticorrosion properties of wax emulsions on steel tape samples were studied under conditions of elevated temperature and humidity according to “207-3” method (State Standard GOST R 51369-99) and under exposure to neutral salt mist according to “215-1.2.1” method (State Standard GOST R 52763-2007). The analysis of the IR spectra of the wax emulsions under study allowed revealing significant differences in their composition: the IR spectra of domestic wax emulsions contain absorption bands that are typical for aromatic nitro compounds. This may indicate the presence of corrosion inhibitors in these emulsions. It has been established that the emulsion of foreign production (Sample A) has the highest wear resistance, and the domestic Sample B has the least. During the corrosion tests, the corrosion centers in the form of separate spots appeared only on samples of steel tape with foreign “A” emulsion, on the other samples there were no instances of corrosion. This con-

firmly confirms the supposition of the presence of corrosion inhibitors in the composition of domestically produced wax emulsions, which was made based on the results of the analysis of IR spectra.

Keywords: steel packing tape, wax emulsions, corrosion, inhibitors, infrared spectrometry, wear resistance, friction coefficient.

Ссылка на статью:

Исследование эксплуатационных свойств восковых эмульсий, используемых для нанесения на стальную упаковочную ленту / Л.Г. Коляда, Е.В. Тарасюк, А.П. Пономарев, М.М. Шувалова // Теория и технология металлургического производства. 2023. №4(47). С. 31-38.
Kolyada L.G., Tarasyuk E.V., Ponomarev A.P., Shuvalova M.M. The research of operational properties of wax emulsions used for steel packing tape coating. *Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2023, vol. 47, no. 4, pp. 31–38.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»
(ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»)
Ленина пр., д. 38, г. Магнитогорск, 455000. Тел. (3519) 29-84-64.

ИНФОРМАЦИОННОЕ ПИСЬМО

Уважаемые коллеги!

Приглашаем Вас принять участие в издании научного журнала «Теория и технология металлургического производства» («*Teoriâ i tehnologiâ metallurgiĉeskogo proizvodstva*») (Аббревиатура: **Teor. tehnol. metall. proizv.**) Периодичность издания – 4 раза в год.

Журнал зарегистрирован в Научной электронной библиотеке, включен в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). ISSN 2311-5378. Не забывайте в библиографических ссылках статей указывать свои труды и труды Ваших коллег для повышения индекса научного цитирования и изданий в целом.

Журнал включает в себя следующие разделы:

1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.
2. Металлургия черных, цветных и редких металлов.
3. Литейное производство.
4. Обработка металлов давлением.

Для публикации статьи в журнале необходимо представить *следующие материалы*:

- электронную версию статьи выслать по электронной почте;
- экспертные заключения о возможности опубликования от всех организаций, сотрудниками которых являются авторы статьи;
- контактный E-mail: , контактный телефон, почтовый адрес для получения экземпляра журнала;
- адрес редакции Ленина пр., д. 38, г. Магнитогорск, 455000. Тел. (3519) 29-85-18, E-mail: TТаPEoMP@mail.ru; ttmp@magtu.ru.
- лицензионный договор на передачу прав
- авторская справка

Авторам, представившим статьи для публикации, будет выслан один экземпляр журнала. Материалы, переданные в журнал, редакционной коллегией не возвращаются.

Статьи должны быть выполнены в текстовом редакторе MS Office Word 2007 и оформлены в соответствии со следующими требованиями:

- формат страницы – А4 (210x297мм), отступы: слева, справа и сверху по 18 мм, снизу – 20 мм; нумерация страниц снизу по центру;
- шрифт основного текста – Times New Roman размера 12 пунктов;
- межстрочный интервал – одинарный;
- отступ перед каждым абзацем (красная строка) – 5 знаков (примерно 10 мм);
- формулы должны быть набраны в тексте, вписывание формул от руки не допускается; размер базового шрифта в формулах – 12 пунктов;
- горизонтальные страницы допускается оформить отдельно от вертикальных страниц статьи, они должны быть также формата А4;
- рисунки должны быть вставлены в текст;
- не допускается разрыв таблиц, рисунков, заголовков при переходе со страницы на страницу;
- статья должна включать: УДК, авторов, название, аннотацию, ключевые слова, текст, список литературы, сведения об авторах.
- структура основной части статьи: введение, теория, результаты исследования, заключение. Пример оформления статьи приведен в **(Приложении 1)**.
- аннотация (*Abstracts*) (150-250слов), выполняется курсивом (аннотация должна быть логически выстроена);
- ключевые слова (*Keywords*) (5-15 основных терминов), выполняется курсивом;
- список литературы выполняется в соответствии с требованиями (пример оформления литературы приведен в **(Приложении 2)**);
- сведения об авторах (*Information about authors*) должны включать: Ф.И.О. полностью, должность, место работы, ученая степень, ученое звание, контактный телефон, электронный и почтовый адреса;
- в конце статьи дается английская версия фамилий, инициалов авторов, названия статьи, авторского резюме, ключевых слов, сведений об авторах. **За качество перевода несут ответственность авторы статьи. Использование электронного переводчика не допустимо.**

Редакционная коллегия оставляет за собой право исправлять орфографические ошибки без согласования с авторами.

Пример оформления статьи

УДК 621.746.5.047

Столяров А.М., Шевченко Е.А.

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА УЗКИХ ГРАНЕЙ СЛЯБОВОЙ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ*Аннотация. 150-250 слов**Ключевые слова: 5-15 основных терминов*

Текст статьи

Список литературы

Сведения об авторах

Stolyarov A.M., Shevchenko Y.A.

IMPROVING THE QUALITY OF NARROW FACES CONTINUOUS SLAB BILLET*Abstract. 150-250 words**Keywords: 5-15 basic terms**References:**Information about authors**Пример оформления литературы***Список литературы**

1. Шевченко Е.А., Столяров А.М., Шаповалов А.Н. Изучение качества слябовой заготовки, отлитой на криволинейной МНЛЗ с вертикальным участком // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №1 (41). С. 27 – 30.
2. Шевченко Е.А., Столяров А.М., Шаповалов А.Н. Влияние температуры разливаемого металла на качество непрерывнолитого сляба и листового проката // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2012. Вып.12. С. 68–74.
3. Пат. 2061756 РФ, МПК С 21 В 7/00. Доменная печь / Курбацкий М.Н., Манаенко И.П., Монастырков В.П. и др.; заявитель и патентообладатель ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», Товарищество с ограниченной ответственностью «Техника и технология» (RU). № 9305232/02; заявл. 18.11.93; опубл. 10.06.96, Бюл. № 16. 4 с.: ил.
4. Донсков Е.Г., Лялюк В.П., Севернюк В.В. Работа воздушных фурм доменных печей. Днепропетровск: Пороги, 1997. 120 с.
5. Лукашов Г.Г., Савелов Н.И., Плискановский С.Т. Опыт работы доменных печей на воздушных фурмах различного диаметра // Сталь. 1972. № 7. С. 587-589.
6. Максимов Е.В, Альжанов М.К., Ержанов У.К. Влияние параметров фурмы на перепад газа в доменной печи. // Тез. докл. III Международного конгресса доменщиков. Новокузнецк, 1995. С.120.

На английском языке: Авторы (транслитерация). Название статьи на английском языке. Название журнала курсивом (транслитерация) [Название журнала на английском языке (если есть)]. Выходные данные на английском языке, либо цифровые.

1. Moshkunov V.V., Stolyarov A.M., Kazakov A.S. Determination of the length to point of solidification in strands of Peritectic Low Alloyed steels for pipes with using “Mini whale” effect. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta im. G.I.Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2012, no. 1(37), pp. 24-26.

Ответственный по изданию журнала: канд. техн. наук. Тютеряков Н.Ш.

По всем вопросам обращаться по тел.: +7 (3519)29-85-18, 89049410710, либо по E-mail: ttmp@magtu.ru