

ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

№ 3 (38) 2021

Журнал включен в Перечень российских рецензируемых научных журналов, по специальностям: 05.16.02 Металлургия черных, цветных и редких металлов; 05.16.04 Литейное производство; 05.16.05 Обработка металлов давлением, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (Перечень ВАК). 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. Емелюшин – 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.
Ченстоховского технологического
университета, 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

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

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

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 материалообработки
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»,
д-р техн. наук

Научный редактор:

Н.Ш. Тютряков – 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», 2021

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 30.09.2021. Заказ 239. Тираж 500 экз.
Цена свободная.

THE THEORY AND PROCESS ENGINEERING OF METALLURGICAL PRODUCTION

No. 3 (38) 2021

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

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

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

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

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

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

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

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

V.B. Deev – D. Sc., Professor, MISiS, Moscow,
Russia

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

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

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

A.A. Kazakov - D.Sc., Associate Professor,
Peter the Great St.Petersburg Polytechnic 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., No-
sov 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”, 2021

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; tmp@ 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 30.09.2021. Order 239. Circulation: 500.
Open price.

СОДЕРЖАНИЕ

МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ.....	4
Бигеев В.А., Потапова М.В., Макарова И.В., Юдин Д.В.	
К ВОПРОСУ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРОНИКЕЛЯ СЕЛЕКТИВНЫМ ВОССТАНОВЛЕНИЕМ БЕДНЫХ ЖЕЛЕЗОХРОМОНИКЕЛЕВЫХ РУД.....	4
Ниценко А.В., Линник К.А., Тулеутай Ф.Х., Бурабаева Н.М., Сейсембаев Р.С.	
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕЛЛУРСОДЕРЖАЩЕГО ПРОМПРОДУКТА ТОО «КАЗАХМЫС СМЭЛТИНГ»	10
Харитонов В.А., Витушкин М.Ю., Усанов М.Ю.	
ПОВЫШЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ	17
Пивоварова К.Г.	
ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛЬНОЙ КАТАНКИ	24
ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО	30
Зарицкий Б.Б., Савинов А.С., Феоктистов Н.А., Тютеряков Н.Ш., Постникова А.С.	
ФОРМИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ИЗГИБА В БОЧКЕ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПРОКАТНОГО ВАЛКА ПРИ ЕГО ТЕРМООБРАБОТКЕ	30

CONTENTS

METALLURGY OF BLACK, COLOR AND RARE METALS	4
Bigeev V.A., Potapova M.V., Makarova I.V., Yudin D.V.	
ABOUT OBTAINING FERRONICKEL BY SELECTIVE REDUCTION OF POOR IRONCHROMONICKEL ORE.....	8
Nitsenko A.V., Linnik X.A., Tuleytay F.Kh., Burabaeva N.M., Seisembaev R.S.	
PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF TELLURIUM-CONTAINING INDUSTRIAL MIDDLING KAZAKHMYS SMELTING LLP	15
Kharitonov V.A., Vitushkin M.Yu., Usanov M.Yu.	
INCREASING THE RIGIDITY OF OVERHEAD TRANSMISSION LINE WIRES	22
Pivovarova K.G.	
QUALITY SURFACE ASSURANCE FOR WIRE ROD OF HIGH-CARBON STEEL.....	28
FOUNDRY	30
Zaritskii B.B., Savinov A.S., Feoktistov N.A., Tyuteryakov N.Sh., Postnikova A.S.	
FORMATION OF BENDING STRESSES IN THE BARREL OF BIMETALLIC ROLLING ROLLS DURING THEIR HEAT TREATMENT	34

МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

УДК 669.243.881

Бигеев В.А., Потапова М.В., Макарова И.В., Юдин Д.В.

К ВОПРОСУ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРОНИКЕЛЯ СЕЛЕКТИВНЫМ ВОССТАНОВЛЕНИЕМ БЕДНЫХ ЖЕЛЕЗОХРОМОНИКЕЛЕВЫХ РУД

Аннотация. В черной металлургии никель является ценным легирующим элементом, применяемым при производстве нержавеющей, жаростойких, кислотоупорных марок стали. Для развития ферроникелевого производства в РФ предлагается вовлечь в переработку комплексные забалансовые железохромоникелевые руды Халиловского месторождения, которые в настоящее время не используются. В работе были изучены зависимости степеней восстановления элементов железохромоникелевой руды от степени извлечения железа, необходимые для выбора состава и разработки технологии получения ферроникеля. Обожженное рудное сырье подвергалось селективному карботермическому восстановлению на лабораторной установке УЭШП-6. В полученном ферроникеле содержание Ni с увеличением расхода восстановителя уменьшалось с 65 до 3%, P – с 0,68 до 0,38%, S – с 0,19 до 0,10%. Степень извлечения никеля при степени восстановления железа 1% составила всего 50%, при 5% – 65–75%, при 20% – 95%. Содержание оксидов железа в частично восстановленном расплаве с увеличением расхода коксика снизилось с 61 до 53%, а NiO – с 0,192 до 0,010%. Из полученных зависимостей следует, что восстанавливать менее 5% железа нецелесообразно из-за низкой степени извлечения никеля (менее 70%). Рациональная степень восстановления железа из рудного сырья – 5–10%, что соответствует содержанию никеля в получаемом ферросплаве Ni–10–20%, фосфора – P–0,3–0,5%, серы – S–0,08–0,09%. Очевидно, что получаемый черновой ферроникель нуждается в рафинировании, прежде всего в дефосфорации.

Ключевые слова: железохромоникелевая руда, селективное восстановление, никель, ферроникель, легирование.

Введение

Одним из важнейших металлов, применяемых для выплавки легированных сталей, является никель. В России для выплавки высококачественных никелевых сталей в основном используется металлический никель (~99% Ni), высокая цена которого не способствует развитию производства никельсодержащих марок стали. В то же время в нашей стране ощущается дефицит относительно дешевых никелевых ферросплавов с содержанием никеля 10–20% [1–6].

Серьезным дополнительным источником для увеличения производства ферроникеля могут служить железохромоникелевые руды Халиловского месторождения (Оренбургская обл.), запасы которых значительны. Переработка этих руд существующими способами не нашла широкого применения ввиду их бедности как по никелю, так и по железу [7].

Железохромоникелевая руда Халиловского месторождения, запасы которой составляют 10 млн т бурых железняков (Ni ~ 0,4–0,5%, Cr ~ 1,7%, Fe ~ 37%) [8, 9], является комплексным сырьем, содержащим по крайней мере три полезных элемента, которые могут быть извлечены из него пирометаллургическим способом – это железо, никель и хром. Такое извлечение имеет место при доменной плавке. Получаемый при этом природнолегируемый металл является прекрасным литейным чугуном. Для переработки этой руды в послевоенные годы

был построен Орско-Халиловский металлургический комбинат с полным металлургическим циклом.

Но природнолегируемый чугун, получаемый в доменной печи из Халиловской руды, практически непригоден для высокоэффективного передела в сталь, так как главным элементом передела чугуна в сталь является окислительное рафинирование металла, во время которого основная доля хрома (>80 %) окисляется и переходит в шлак, который становится гетерогенным и низкотекучим (вязким) из-за высокого содержания оксидов хрома в нем. Такой шлак усложняет ведение плавки в любом сталеплавильном агрегате. К тому же основные показатели работы доменных печей при переделе железохромоникелевых руд почти в два раза хуже, чем при плавке обычного рудного сырья [10].

Неэффективность передела халиловской руды в доменных печах была понята уже в первые годы работы ОХМК. Тогда академик И.П. Бардин предложил испытать один из вариантов недоменного (бескоксового) восстановления: твердофазное (низкотемпературное) восстановление в трубчатой печи. Этот способ прямого восстановления руды во вращающейся печи заключался в том, что измельченный железорудный концентрат поступал из бункера по желобчатому транспортеру в слегка наклоненную вращающуюся печь, где он двигался сверху вниз противоточно газу, содержащему CO и H₂. Температура в печи составляла 950°C. Восстановительный газ вдвухался с температурой 1250–1500°C через устройство, на нижнем конце которого находилось отверстие для спуска образу-

ющего шлака. Выгрузка губки происходила с нижнего конца печи [11].

Результат внедрения вышеописанного способа оказался неудовлетворительным: производительность агрегата была ничтожно мала (около 100 т в сутки), а получаемый продукт использовался только в качестве присадки в доменную печь. Кроме того, непригодность процесса твердофазного бескоксового восстановления железохромоникелевых руд связана с тем, что они являются бедными по содержанию железа и трудно поддаются обогащению. Пустая порода при твердофазном восстановлении не отделяется от полученного металла.

В 1958 г. на ОХМК был построен и пущен дуплекс-цех, в котором предусматривались предварительное удаление хрома из чугуна, получение полупродукта в кислом (бессемеровском) конвертере и стали из полупродукта (с добавкой лома) в основной мартеновской печи. Недостатками использования данного процесса являются:

- увеличение капиталовложений;
- высокая себестоимость стали, связанная с эксплуатацией двух агрегатов;
- необходимость четкой синхронизации работы двух агрегатов – конвертера и мартеновской печи;
- потеря никеля, хрома, глинозема за счет рассеивания их по продуктам плавки.

После десятилетней работы дуплекс-процессом комбинат от него отказался и в 1971 г. перешел на монопроцесс: получение стали из хромоникелевого чугуна в основной мартеновской печи [10].

Таким образом, в настоящее время экономически целесообразной и технически приемлемой технологии переработки железохромоникелевых руд не существует.

В МГТУ им. Г.И. Носова на кафедре металлургии и химических технологий комплексное никельсодержащее сырье, к которому относятся железохромоникелевые руды, предлагается перерабатывать методом селективного (избирательного) восстановления,

который основан на предварительном извлечении никеля и части железа из рудного сырья и дальнейшем восстановлении оставшегося оксидного расплава с получением чугуна.

В настоящей работе ставилась задача изучить зависимости степеней восстановления элементов железохромоникелевой руды от степени извлечения железа. Эти характеристики необходимо знать для выбора состава и разработки технологии получения ферроникеля.

Методы и результаты

Эксперименты по восстановлению железохромоникелевой руды проводились в лаборатории кафедры литейного производства и материаловедения Магнитогорского государственного технического университета на однофазной установке УЭШП-6. В качестве шихтовых материалов в опытных плавках использовались:

- обожженная железохромоникелевая руда Халиловского месторождения;
- коксовая мелочь.

Химический состав проб руд и коксовой мелочи приведен в табл. 1 и 2.

Масса плавки составляла 1 кг руды. Количество восстановителя варьировалось в зависимости от требуемой степени восстановления железа. Расчетный расход восстановителя на частичное восстановление руды с целью получения черного ферроникеля представлен в табл. 3.

Всего было проведено 24 плавки (по три плавки с каждым расчетным расходом восстановителя). В общей сложности было проплавлено 25 кг руды. Анализ выполнен рентгеноспектральным методом по методике количественного химического анализа НДП № 104-МС-14-99 на многоканальном спектрометре ARL-8680-S.

Ниже, в табл. 4 и 5, приводится химический анализ ферроникеля и шлака по выпускам.

Таблица 1

Химический состав проб железохромоникелевой руды, %

Номер пробы	Fe _{общ}	SiO ₂	CaO	NiO	S	P	Cr	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	TiO ₂
1	41,4	25,7	1,62	0,85	0,035	0,15	1,78	8,52	3,40	0,68	0,58
2	42,3	23,8	1,68	0,77	0,080	0,17	1,89	9,12	2,85	0,65	0,66

Таблица 2

Химический состав коксовой мелочи

C	S	H ₂ O	Зола	Летучие
84,15	0,34	0,35	12,49	3,02

Таблица 3

Расход восстановителя

Степень восстановления железа, %	1	2	3	4	5	10	15	20
Расход коксика кг/100 кг руды	0,32	0,47	0,62	0,76	0,91	1,64	2,38	3,11

Таблица 4

Химический анализ проб металла опытных плавков

Расход коксика, кг/100 кг	Номер плавки	Массовая доля химических элементов, %						Извлечение, %	
		Ni	C	Si	Mn	S	P	Ni	Fe
0,32	1	64,35	0,01	Сл.	Сл.	0,090	0,68	73,5	0,75
	2	57,73	0,01	Сл.	Сл.	0,076	0,59	70,5	0,95
	3	65,05	0,03	Сл.	Сл.	0,060	0,58	80,4	0,70
0,47	1	33,91	0,01	Сл.	Сл.	0,069	0,54	77,3	2,70
	2	47,48	0,02	Сл.	Сл.	0,056	0,58	76,3	1,49
	3	39,89	0,01	Сл.	Сл.	0,070	0,43	70,1	2,08
0,62	1	32,3	0,03	Сл.	Сл.	0,035	0,57	85,2	2,95
	2	30,76	0,01	Сл.	Сл.	0,086	0,68	92,5	3,15
	3	28,14	0,01	Сл.	Сл.	0,061	0,56	83,7	3,64
0,76	1	22,98	0,01	Сл.	Сл.	0,032	0,56	93,5	4,77
	2	21,45	0,03	Сл.	Сл.	0,090	0,54	89,8	5,12
	3	23,59	0,01	Сл.	Сл.	0,077	0,52	94,4	5,20
0,91	1	20,31	0,02	Сл.	Сл.	0,090	0,51	97,0	5,55
	2	18,42	0,02	Сл.	Сл.	0,084	0,41	87,6	6,30
	3	17,92	0,01	Сл.	Сл.	0,101	0,52	89,3	6,52
1,64	1	10,96	0,24	Сл.	Сл.	0,060	0,37	99,2	11,68
	2	8,63	0,06	Сл.	Сл.	0,016	0,42	88,8	15,10
	3	12,76	0,03	Сл.	Сл.	0,087	0,38	95,6	9,83
2,38	1	8,01	0,08	0,05	Сл.	0,005	0,40	98,7	15,26
	2	7,51	0,13	0,02	Сл.	0,140	0,36	94,5	17,11
	3	6,33	0,03	0,05	Сл.	0,089	0,34	91,9	20,03
3,11	1	3,55	0,14	0,14	Сл.	0,075	0,33	97,3	38,63
	2	5,18	0,059	0,04	Сл.	0,082	0,31	99,5	25,80
	3	2,98	0,19	0,54	Сл.	0,053	0,38	98,5	47,06

Таблица 5

Химический анализ проб шлака опытных плавков

Расход коксика, кг/100 кг	Номер плавки	Массовая доля химических элементов, %								
		SiO ₂	MnO	NiO	Fe _{общ}	S	P ₂ O ₅	CaO	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃
0,32	1	25,13	0,69	0,192	43,73	0,023	0,161	2,23	25,82	2,01
	2	24,68	0,61	0,128	43,75	0,021	0,172	2,22	27,97	2,67
	3	25,76	0,71	0,172	43,96	0,023	0,164	2,14	26,95	2,26
0,47	1	25,18	0,69	0,128	43,44	0,023	0,161	2,15	26,74	3,14
	2	24,98	0,58	0,155	43,61	0,023	0,158	2,17	27,24	3,16
	3	25,67	0,68	0,196	42,48	0,024	0,160	2,18	27,33	3,28
0,62	1	25,47	0,70	0,097	43,35	0,024	0,160	2,19	27,51	3,18
	2	26,03	0,75	0,049	43,33	0,024	0,161	2,11	26,48	3,18
	3	27,05	0,81	0,108	43,21	0,024	0,160	2,04	25,59	3,05
0,76	1	25,75	0,71	0,047	43,01	0,024	0,156	2,16	27,08	3,22
	2	25,85	0,68	0,068	42,83	0,023	0,158	2,17	27,34	3,17
	3	25,96	0,66	0,037	42,95	0,025	0,161	2,15	26,85	3,26
0,91	1	25,88	0,73	0,020	41,58	0,024	0,158	2,28	28,59	3,02
	2	25,98	0,71	0,083	42,68	0,024	0,157	2,16	27,12	3,24
	3	26,02	0,72	0,072	40,79	0,024	0,057	2,32	29,07	3,25
1,64	1	26,85	0,74	0,006	42,54	0,25	0,153	2,08	26,11	3,35
	2	27,40	0,75	0,079	40,79	0,25	0,150	2,16	27,27	3,42
	3	28,27	0,78	0,059	39,64	0,024	0,146	2,20	27,55	3,53
2,38	1	27,44	0,75	0,009	40,78	0,027	0,150	2,18	27,36	3,52
	2	27,75	0,76	0,039	40,30	0,026	0,149	2,47	25,63	3,43
	3	28,27	0,77	0,058	39,64	0,026	0,146	2,36	28,16	3,47
3,11	1	32,09	0,882	0,012	34,54	0,03	0,127	2,28	28,58	3,74
	2	29,37	0,807	0,004	38,21	0,027	0,141	2,17	27,29	4,15
	3	34,19	0,94	0,013	40,81	0,032	0,017	1,58	19,78	4,22

В полученном ферроникеле содержание Ni с увеличением расхода восстановителя уменьшалось с 65 до 3%, P – с 0,68 до 0,38%, S – с 0,19 до 0,10%. Степень извлечения никеля при степени восстановления железа 1% составила всего 50%, при 5% – 65–75%, при 20% – 95%. Содержание оксидов железа в частично восстановленном расплаве с увеличением

расхода коксика снизилось с 61 до 53%, а NiO – с 0,192 до 0,010%.

На рис. 1–3 представлены зависимости степеней восстановления никеля, фосфора и серы из рудного сырья от степени извлечения железа соответственно, построенные по экспериментальным данным.

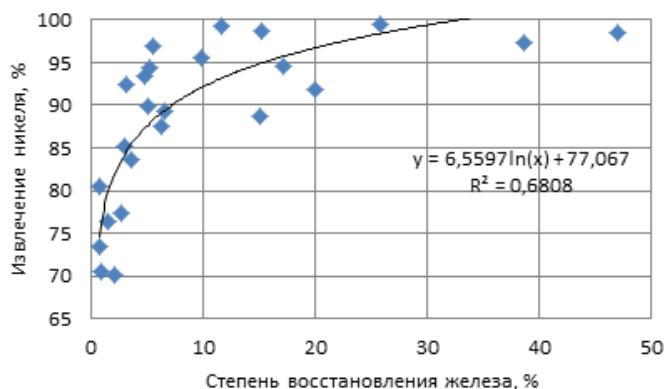


Рис. 1. Зависимость извлечения никеля из рудного сырья от степени восстановления железа

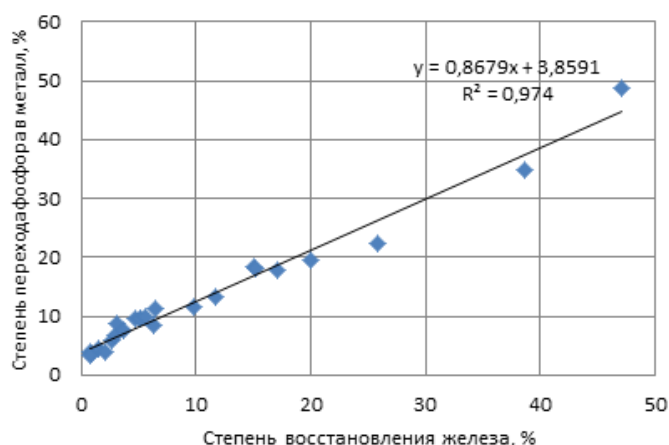


Рис. 2. Зависимость степени перехода фосфора в металл от степени восстановления железа из рудного сырья

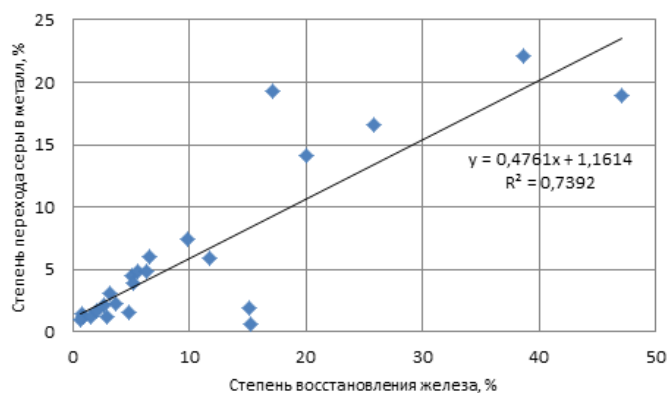


Рис. 3. Зависимость степени перехода серы в металл от степени восстановления железа из рудного сырья

Заключение

Результаты проведенных экспериментов показывают принципиальную возможность получения ферроникеля с очень высоким содержанием никеля (50–60%), но при таких концентрациях степень его извлечения достаточно низкая (50–60%), а содержание фосфора превышает 0,6%. Из полученных зависимостей следует, что восстанавливать менее 5% железа нецелесообразно из-за низкой степени извлечения никеля (менее 70%). Рациональная степень восстановления железа из рудного сырья – 5–10%, что соответствует содержанию никеля в получаемом ферросплаве Ni~10–20%, фосфора – P~0,3–0,5%, серы – S~0,08–0,09%. Очевидно, что получаемый черновой ферроникель нуждается в рафинировании, прежде всего в дефосфорации [3].

Получаемый железистый шлак (FeO~60%) после обогащения может быть направлен в металлургическое производство для получения чугуна, что дает возможность осуществления безотходной технологии переработки бедных железохромоникелевых руд.

Список литературы

1. Barkas J. Drivers and risks for nickel demand, 7th International China Nickel Conference, 2010, Shanghai, China.
2. Yucel O., Turan A., Yildirim H. Investigation of pyrometallurgical nickel pig iron (NPT) production process from lateritic nickel ores, TMS 2012, 141th Annual Meeting and Exhibition, 11-15 March 2012, Orlando, Florida, USA.
3. Kim J., Dodbiba G., Tanno H., Okayaa K., Matsuo S., Fujita T. Calculation of low-grade laterite for concentration of Ni by magnetic separation, *Minerals Engineering*, 23 (2010) 282-288.
4. Johnson J.A., Cashmore B.C. and Hockridge R.J. Optimization of nickel extraction from laterite ores by high pressure acid leaching with addition of sodium sulphate, *Minerals Engineering*, 18 (2005) 1297-1303.
5. Sohn H.Y. Process modeling in non-ferrous metallurgy // *Treatise on Process Metallurgy: Industrial Processes*. Oxford: Elsevier Ltd., 2014. Chapter 2.4. P. 701-838.
6. Raynor G.V., Rivlin V.G. Co-Fe-Ni in Phase Equilibria in Iron Ternary Alloys. London: Inst. Metals, 1988, pp. 247-255.
7. Заякин О.В. Разработка рационального состава и технологии производства никельсодержащих ферросплавов из бедных окисленных никелевых руд: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург: Ин-т металлургии Уральского отделения Российской академии наук, 2002.
8. Железорудная база России // под ред. В.П. Орлова. М.: Изд. ЗАО «Геоинформмарк», 1998. 848 с.
9. Рудные месторождения СССР. Т.1. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Недра, 1987.
10. Бигеев А.М. Металлургия стали. Челябинск: Металлургия, 1988. 480 с.
11. Костин В.Ф., Савельева Р.Н. Процессы и агрегаты для прямого получения железа: учеб. пособие. Свердловск: Изд-во УПИ им. Г.И. Кирова, 1983. 64 с.

Сведения об авторах

Бигеев Вахит Абдрашитович – доктор технических наук, профессор кафедры металлургии и химических технологий, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: v.bigeev11@yandex.ru

Потапова Марина Васильевна – кандидат технических наук, доцент кафедры металлургии и химических технологий, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: marina_potapova8@mail.ru

Макарова Ирина Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры металлургии и химических технологий, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: m.irina1976@mail.ru

Юдин Данил Владиславович – студент кафедры бизнес-информатики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: ydv2002@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

ABOUT OBTAINING FERRONICKEL BY SELECTIVE REDUCTION OF POOR IRONCHROMONICKEL ORE

Bigeev Vakhit A. – Professor of Metallurgy and Chemical Technologies Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: v.bigeev11@yandex.ru

Potapova Marina V. – Ph.D. (Eng), Associate Professor of Metallurgy and Chemical Technologies Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: marina_potapova8@mail.ru

Makarova Irina V. – Ph.D. (Eng), Associate Professor of Metallurgy and Chemical Technologies Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: m.irina1976@mail.ru

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

Abstract. In ferrous metallurgy, nickel is an extremely important alloying element used in the production of stainless, heat-resistant, acid-resistant steels. For the development of ferronickel production in the Russian Federation, it is proposed to involve into processing complex off-balance iron-chromium-nickel ores of the Khalilovskoye deposit, which are not used at the present. In this work, the dependences of the degrees of elements reduction from iron-chromium-nickel ore on the degree of extraction of iron were studied. This information is needed for the selection of the composition and development of the technology for ferronickel production. Burned ore raw materials were subjected to selective carbothermal reduction at the Slag Remelting laboratory unit. In the obtained ferronickel, the Ni content with an increase in the consumption of the reducing agent decreased from 65 to 3%, P - from 0.68 to 0.38%, S - from 0.19 to 0.10%. The nickel recovery rate at 1% iron reduction was only 50%, at 5% - 65–75%, at 20% - 95%. The content of iron oxides in the partially reduced melt with an increase in coke consumption decreased from 61 to 53%, and NiO - from 0.192 to 0.010%. Analysis of obtained dependences shows that it is not effective to recover less than 5% of iron due to the low degree of nickel recovery (less than 70%). The rational degree of iron reduction from ore raw materials is 5-10%, which corresponds to the nickel content in the finish ferroalloy Ni ~ 10-20%, phosphorus – P ~ 0.3-0.5%, sulfur – S ~ 0.08-0, 09%. Obviously, the resulting rough ferronickel needs refining, primarily dephosphorization.

Keywords: iron-chromium-nickel ore, selective reduction, nickel, ferronickel, alloying.

Ссылка на статью:

К вопросу получения ферроникеля селективным восстановлением бедных железохромоникелевых руд / Бигеев В.А., Потапова М.В., Макарова И.В., Юдин Д.В. // Теория и технология металлургического производства. 2021. №3(38). С. 4-9.
Bigeev V.A., Potapova M.V., Makarova I.V., Yudin D.V. About obtaining ferronickel by selective reduction of poor ironchromonickel ore. *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2021, vol. 38, no. 3, pp. 4-9.

УДК 661.692

Ниценко А.В., Линник К.А., Тулеутай Ф.Х., Бурабаева Н.М., Сейсембаев Р.С.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕЛЛУРСОДЕРЖАЩЕГО ПРОМПРОДУКТА ТОО «КАЗАХМЫС СМЭЛТИНГ»

Аннотация. Интерес технологов к теллuru связан с его разнообразными физическими и химическими свойствами. Основным его промышленным источником служат медьэлектролитные шламы, из которых теллур извлекается как побочный продукт и в дальнейшем реализуется как в элементном виде, так и в виде теллурсодержащего промпродукта. Для разработки и совершенствования технологий переработки промышленного теллурида меди с целью получения металлического теллура немаловажным является характеристика продукта. В данной работе изучены физико-химические свойства теллурсодержащего промпродукта ТОО «Казакхмыс Смэлтинг», произведенного предприятием в процессе проведения текущих работ незадолго до его приобретения. При проведении исследований были использованы такие методы анализа, как гранулометрический, рентгенофазовый и рентгенофлуоресцентный. Было установлено, что материал в основном представлен крупными агрегатами, влажность пробы составляет 29 %. Насыпная плотность влажного материала составила без утряски $0,74 \text{ г/см}^3$, с утряской – $0,83 \text{ г/см}^3$, сухого – $0,74 \text{ г/см}^3$ (без утряски) и $0,9 \text{ г/см}^3$ (с утряской). Угол естественного откоса и для влажного, и для обезвоженного материала составил 25° . Рентгенофлуоресцентным методом анализа установлен элементный состав материала, масс. %: Cu – 47,19; Te – 31,22; O – 18,88; S – 2,09; Se – 0,04. Рентгенофазовым анализом определено, что материал представлен кристаллическими фазами: Cu_7Te_4 , Cu_5Te_3 , Cu_2Te , $\text{Cu}_{2,5}\text{SO}_4(\text{OH})_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Cu}_3(\text{SO}_4)(\text{OH})_4$. В открытой литературе информация о физико-химических характеристиках теллурсодержащего промпродукта весьма ограничена, поэтому полученные данные являются новыми сведениями, способствующими организовать выпуск элементного теллура технических марок в Республике Казахстан.

Ключевые слова: теллур, медь, теллурид меди, промпродукт, фазовый состав, элементный состав.

Введение

Интерес технологов к теллuru связан с его разнообразными физическими и химическими свойствами [1]. Так, в стекольной промышленности при помощи добавки чистого теллура получают стёкла с высокими показателями преломления, а также специальные стёкла, пропускающие инфракрасные лучи в очень широком диапазоне. В резиновой промышленности теллур используют как аналог серы для вулканизации каучуков. В электронике теллур применяется в качестве полупроводника (для изготовления полупроводниковых холодильников). Довольно новой областью использования теллура является производство DVD-дисков, основой которых является плёнка диоксида теллура, легированная оловом и германием.

Согласно Shijie Wang [2] половина производимого теллура до недавнего времени использовалась для легирования стали и чугуна. Добавка теллура (0,03–0,04%) ограничивает поглощение чугуном азота, измельчает зерно в стали, повышает её прочность и коррозионную стойкость, а также увеличивает ковкость и стойкость чугуна к трещинообразованию. В цветной металлургии теллур применяют для улучшения обрабатываемости медных сплавов, прочностные и пластические характеристики сплавов на основе олова, алюминия и свинца. Легированный теллуром свинец используют для изготовления стойких оболочек кабелей погружных нефтяных насосов.

Применение теллура (CdTe) в фотогальванике произвело революцию в индустрии солнечных элементов [3] и стимулировало глобальный его спрос.

По информации на 1 января 2017 года, приведенной в [4], запасы теллура в мире по оценке USGS составляют 24570 т. Крупными запасами обладает США, Перу и ряд других стран (рис. 1). Основными покупателями теллура на мировом рынке являются Малайзия с долей 12,18 %, Гонконг с долей 11,05% и Филиппины с долей 10,79%. Среди основных поставщиков теллура в период 2012–2016 можно выделить Турцию с долей 26,49%, Гонконг с долей 12,45% и Бельгию с долей 10,15%. Авторы отчета отмечают, что объёмы мировой торговли теллуром приведены по весу продукции, содержащей теллур, а не по весу металлического теллура.

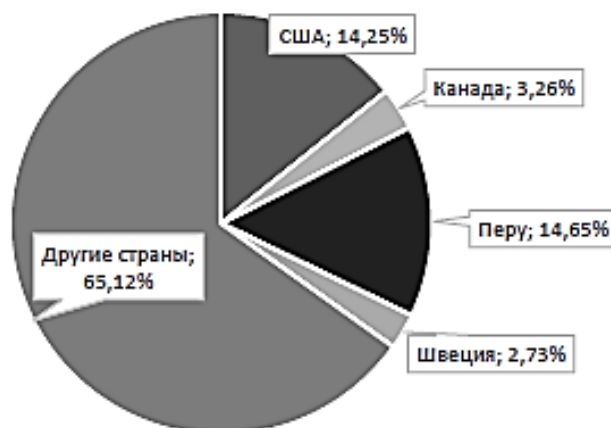


Рис. 1. Структура мировых запасов теллура на 01.01.2017 г. [4]

Основным промышленным источником теллура служат медьэлектролитные шламы, представляющие собой многокомпонентный материал и содержащий до 45% Cu, 5% Au, 45% Ag, 18% Se, 10% Te, 40% Pb,

16% Sb и 9% As [5]. Как правило, медь в шлаках представлена в элементной форме, селен и теллур – в виде селенидов и теллуридов благородных металлов, меди.

В первую очередь шлак служит сырьем для получения благородных металлов, также продуктами его переработки являются селен и теллур. Разнообразие химического и фазового составов медеэлектролитных шламов обуславливает наличие довольно широкого спектра приёмов их переработки. В обзорных работах [6-10] обобщена информация по разработанным технологиям за последние 30 лет. Из-за сложности и разнообразия состава исходного материала требуется несколько этапов обработки, при этом используются как гидро- или пирометаллургические способы, так и комбинированные приёмы. Поэтому интерес к разработке наиболее оптимальных и эффективных технологий извлечения ценных компонентов не угасает и в настоящее время.

Следует отметить, что одним из ценных промпродуктов рафинирования меди является её теллурид [2, 11], включающий примеси других элементов и соединений [12, 13]. В открытой литературе информация о разработках в области извлечения теллура из теллурида меди весьма ограничена. Но и по проанализированным данным можно сделать вывод, что интерес исследователей направлен на разработку гидрометаллургических схем [13, 14], которые характеризуются многостадийностью и несовершенством.

Крупнейшим производителем меди на территории Республики Казахстан является ТОО «Корпорация «Казахмыс», производящее поиск, разведку, добычу, обогащение, переработку и реализацию получаемых продуктов. Одним из видов товарной продукции Корпорации является теллурид меди, переработка которого позволяет организовать выпуск элементного теллура технических марок в Республике Казахстан.

На Балхашском медеплавильном заводе ТОО «Казахмыс Смэлтинг» обезмеживание шлама проводят посредством автоклавного выщелачивания [15], при этом:

- обезмеженный шлак поступает на плавку в печь Калдо;
- теллурсодержащий раствор – на стадию цементации для извлечения теллура в виде товарного продукта – теллурида меди.

АО «Институт металлургии и обогащения» (АО «ИМиО») на протяжении долгого времени занимается вопросами извлечения селена из промпродуктов [9, 16-18].

Ранее нами были изучены физико-химические свойства лежалого теллурсодержащего промпродукта [12]. Было показано, что ввиду сильной аморфности рентгенофазовым анализом удалось установить лишь фазы гидрокосульфатов меди, являющихся продуктом окисления медных соединений под воздействием атмосферного воздуха в городских условиях. Для разработки и совершенствования технологий переработ-

ки промышленного теллурида меди с целью получения металлического теллура немаловажным фактором являются сведения о наличии и форме теллуридных фаз в сырье. Вследствие этого нами была проведена работа по изучению физико-химических свойств не лежалого промпродукта, результаты которой представлены в данной работе.

Методы исследований

Объектом исследований является теллурсодержащий промпродукт ТОО «Казахмыс Смэлтинг», произведенный предприятием в процессе проведения текущих работ незадолго до его приобретения лабораторией вакуумных процессов АО «Институт металлургии и обогащения».

Фракционный состав теллурсодержащего промпродукта был определен гранулометрическим методом анализа. Предварительно материал был усреднён методом квартования. Рассев пробы массой 300 г по классам крупности осуществлялся на стандартном наборе сит, изготовленных с учетом требований ГОСТ Р 51568-99.

Влажность пробы определена путем её нагрева в вакуумном сушильном шкафу при давлении 7,8 кПа и температуре 110 °С до установления постоянной массы навески. Исходная масса промпродукта, помещаемая в сушильный шкаф, составляла 500 г.

Насыпная плотность (без утряски и с утряской) определена весовым методом с помощью мерного цилиндра. Угол естественного откоса был измерен путем прикладывания транспортира к основанию свободно насыпанного материала в форме конуса.

Все необходимые в процессе выполнения работ взвешивания образцов проводились на аналитических весах PA214C (Ohaus-Pioneer) с погрешностью $\pm 0,0005$ г.

Элементный состав теллурсодержащего промпродукта определялся рентгенофлуоресцентным анализом с помощью рентгенофлуоресцентного волнодисперсионного спектрометра Axios.

Минералогический состав идентифицировался рентгенофазовым анализом на рентгеновском дифрактометре D8 Advance, излучение Cu-K α , путем сопоставления полученных рентгенограмм с эталонными (база ICDD PDF-2 (2020 год)).

Результаты исследований и их обсуждение

Для выполнения исследовательских работ по проекту AP08052016 было приобретено 10 кг (по сухому материалу) теллурсодержащего промпродукта ТОО «Казахмыс Смэлтинг», произведенного предприятием в процессе проведения текущих работ незадолго до его приобретения. Материал был герметично упакован в два мешка. Внешне теллурид меди представляет собой окомкованный влажный материал черного цвета, без запаха (рис. 2). Согласно сертификату качества, влага составляет 27%. На поверхности агломератов имеются вкрапления малахитового цвета, которые, вероятно,

являются следствием окислительных реакций медных составляющих промпродукта, происходящих в сильновлажной среде, обогащенной сульфат-ионами. Ввиду того, что материал был упакован герметично, предположительной причиной наличия ионов SO_4^{2-} в материале является недостаточная отмывка теллурида меди от раствора сульфата меди после цементации теллура на меди из теллуристой кислоты по реакции: $H_2TeO_3 + 4Cu + 2H_2SO_4 \rightarrow Cu_2Te + 2CuSO_4 + 3H_2O$.



Рис. 2. Промышленный теллурсодержащий промпродукт ТОО «Корпорация Казахмыс»

В табл. 1 представлены результаты гранулометрического анализа усредненной пробы теллурсодержащего промпродукта с учетом невязки. Как видно, материал в основном представлен крупными агрегатами, имеющими размер более 1 мм, класс крупности менее 1 мм суммарно составляет 14,92 и 17,65% для влажного и высушенного промпродукта соответственно. Ввиду сильной степени окомкованности теллурида меди перед дальнейшей переработкой его целесообразно направлять на стадию измельчения, что позволит провести извлечение теллура наиболее полно.

Влажность пробы теллурсодержащего промпродукта составляет 29%. Вследствие сильной влажности при разработке и совершенствовании пирометаллур-

гических технологий и оборудования необходимо предусмотреть либо предварительную стадию обезвоживания материала, либо резервуар для сбора образующегося конденсата.

Одним из немаловажных технологических параметров является степень сыпучести, пренебрежение которой приводит к нарушению технологического режима, ухудшению качества продукции и нарушению режимов работы оборудования. Для теллурсодержащего промпродукта она была определена по двум критериям: углу естественного откоса и насыпной плотности. По результатам измерений насыпная плотность влажного материала (масса 20 г), определенная с помощью мерного цилиндра, составила без утряски $0,74 \text{ г/см}^3$, с утряской – $0,83 \text{ г/см}^3$, сухого – $0,74 \text{ г/см}^3$ (без утряски) и $0,9 \text{ г/см}^3$ (с утряской). Угол естественного откоса и для влажного, и для обезвоженного материала составил 25° . Таким образом, промпродукт характеризуется достаточно хорошей степенью сыпучести, а полученный коэффициент прессируемости составил 11,11 (для влажного материала) и 18,52 (для сухого материала).

Рентгенофлуоресцентным методом анализа установлено наличие 11-ти химических элементов, содержание которых колеблется в широких пределах. Основными элементами в пробе теллурида меди после обезвоживания являются медь (47,19 масс. %) и теллур (31,22 масс. %). Содержание селена составляет 0,04 масс. %, кислорода – 18,88 масс. % и серы – 2,09 масс. %. Количество прочих колеблется от сотых до десятых долей, в сумме составляет 0,58 масс. % (табл. 2). Присутствие кислорода и серы в материале может говорить о возможном наличии оксидных, гидроксидных, сульфатных или гидросульфатных фаз.

При изучении фазовой структуры исследуемого материала (рис. 3) было установлено наличие большой доли аморфного гало, обусловленного рассеянием от неупорядоченных фаз. Относительная степень аморфности данного образца составляет 78,3%. На дифрактограмме зафиксировано 10 рефлексов, характеризующие параметры которых приведены в табл. 3.

Таблица 1

Фракционный состав теллурсодержащего промпродукта

Крупность материала, мм	< 0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1	1-2,5	>2,5
Влажный						
Количество, %	1,05	1,35	4,23	8,29	21,52	63,56
Высушенный						
Количество, %	2,37	2,21	4,88	8,19	23,27	59,08

Таблица 2

Элементный состав теллурсодержащего промпродукта

Элемент	O	Al	Si	S	Cl	Fe	Cu	As	Se	Te	Pb
Содержание, масс. %	18,88	0,11	0,03	2,09	0,29	0,02	47,19	0,11	0,04	31,22	0,02

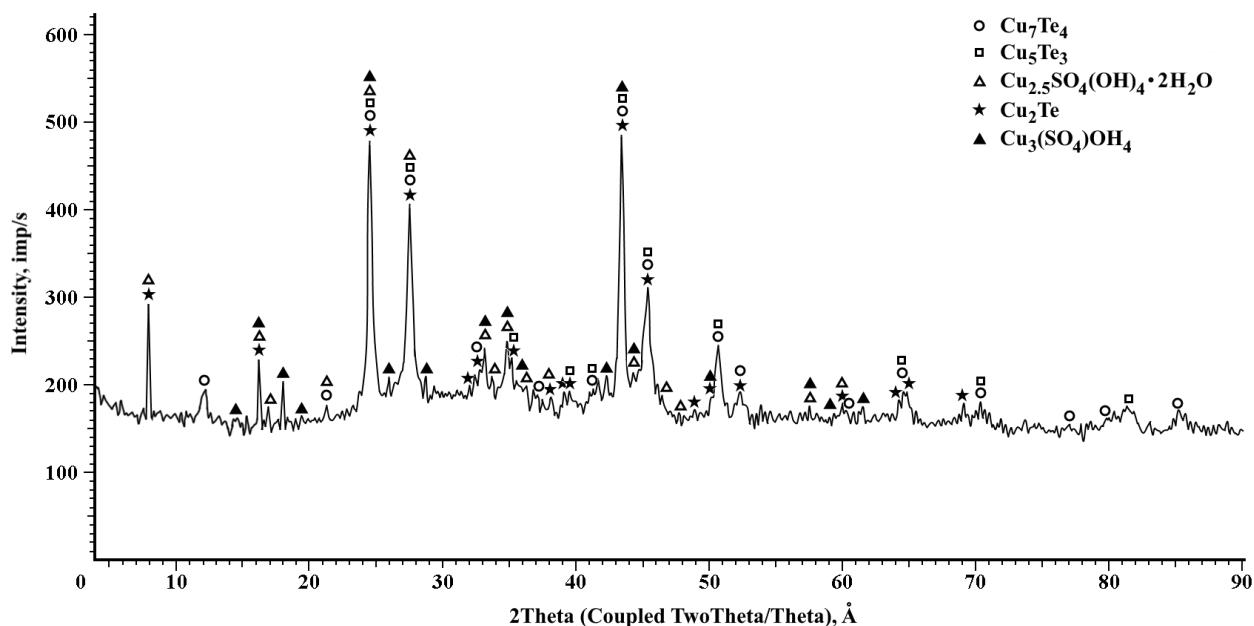


Рис. 3. Дифрактограмма теллурсодержащего промпродукта ТОО «Казахмыс Смэлтинг»

Таблица 3

Углы дифракции 2θ , Å, межплоскостные расстояния d , интенсивности I , имп/с, зарегистрированных рефлексов

2θ	d	I
8,196	10,77942	292
16,461	5,38101	228
18,229	4,86285	203
24,766	3,59208	476
27,727	3,21478	404
33,312	2,68747	242
34,988	2,56250	250
45,553	2,07634	484
45,510	1,99151	311
50,781	1,79647	245

Было установлено, что кристаллическая часть промпродукта, составляющая 21,7%, преимущественно состоит из фаз теллуридов меди различного состава:

– Cu_7Te_4 (PDF 00-057-0196) – 36,5%: гексагональная сингония, с параметрами $a = 8,31180$, $c = 7,20960$ Å, $V = 431,35$ Å³, $Z = 2$, пространственная группа $P3m1$;

– Cu_5Te_3 (PDF 02-1222) – 28,5%: данные отсутствуют;

– Cu_2Te (PDF 00-057-0477) – 12,9%: гексагональная сингония, $a = 8,36700$, $c = 21,62700$ Å, $V = 1311,19$ Å³, $Z = 24$, пространственная группа $P3m1$.

Помимо теллуридов меди в материале были обнаружены фазы кристаллических гидросульфатов меди, которые и представляют собой вкрапления маляхитового цвета на поверхности материала:

– $\text{Cu}_{2,5}\text{SO}_4(\text{OH})_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (PDF 51-0321) – 16,2%: страндбергит, триклинная сингония, $a = 6,07180$, $b = 11,06400$, $c = 5,5059$ Å, $V = 359,67$ Å³, $Z = 2$, пространственная группа $P-1$;

– $\text{Cu}_3(\text{SO}_4)(\text{OH})_4$ (PDF 07-0408) – 5,9%: антлерит, орторомбическая сингония, $a = 8,25000$, $b = 12,01000$, $c = 6,04000$ Å, $V = 598,46$ Å³, $Z = 4$, пространственная группа $Pnam$.

Гидросульфаты многих металлов, включая медь, являются продуктами гидролитических превращений сульфатов.

Согласно [19] указанные гидросульфатные фазы – это естественные продукты коррозии меди (патины) под воздействием городской окружающей среды, содержащей сульфат-ионы. Авторы отмечают, что при малом содержании $\text{SO}_2/\text{SO}_4^{2-}$ в процессе окисления меди образуется познякит ($\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$), который далее переходит в фазу брошангита ($\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$). Однако если уровень содержания $\text{SO}_2/\text{SO}_4^{2-}$ с течением времени повысится, то в качестве конечного продукта возможно образование антлерита. В среде, содержащей достаточно большое количество сульфат-ионов, продуктом окисления меди является антлерит, прекурсор

ром для которого служит страндбергит, по следующей схеме: $\text{Cu}_2\text{O} \rightarrow \text{CuSO}_4$ (аморфный) $\rightarrow \text{Cu}_{2,5}\text{SO}_4(\text{OH})_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cu}_3(\text{SO}_4)(\text{OH})_4$. Вместе с тем понижение уровня $\text{SO}_2/\text{SO}_4^{2-}$ может привести к образованию брошантита.

В условиях лаборатории медные гидросульфаты целенаправленно получают при их осаждении из раствора сульфата меди щелочью, например NaOH [20-23].

Образование страндбергита и антлерита в изучаемом теллурсодержащем промпродукте является побочным явлением, причина которого – остаточное содержание сульфат-ионов после конечной отмывки материала от раствора сульфата меди. В результате гидролиза сульфата меди образуется гидроксид меди. При их взаимодействии сульфат-ионы от гидролитического разложения сульфата меди заменяют некоторые гидроксильные группы в гидроксиде меди, что и приводит к образованию страндбергита, который далее трансформируется в антлерит.

Следует отметить, по результатам исследований авторов [19] для образования антлерита и брошантита в естественных условиях требуются годы. В нашем случае образование гидросульфатных фаз с момента производства материала до момента проведения анализа произошло за 1 месяц. Этот факт свидетельствует о том, что в герметичных условиях транспортировки процесс образования гидросульфатов меди интенсифицируется.

Выводы

В результате проведенной работы было определено:

- материал в основном представлен крупными агрегатами, имеющими размер более 1 мм, класс крупности менее 1 мм суммарно составляет 14,92 и 17,65% для влажного и высушенного промпродукта соответственно,
- влажность пробы составляет 29%;
- насыпная плотность влажного материала составила без утряски $0,74 \text{ г/см}^3$, с утряской – $0,83 \text{ г/см}^3$, сухого – $0,74 \text{ г/см}^3$ (без утряски) и $0,9 \text{ г/см}^3$ (с утряской). Угол естественного откоса и для влажного, и для обезвоженного материала составил 25° ;
- рентгенофлуоресцентным методом анализа установлен элементный состав материала, масс. %: Cu – 47,19; Te – 31,22; O – 18,88; S – 2,09; Se – 0,04; содержание прочих колеблется от сотых до десятых долей процента и в сумме составляет 0,58 масс. %;
- рентгенофазовым анализом определено, что кристаллическая часть промпродукта, составляющая 21,7%, преимущественно состоит из фаз теллуридов меди различного состава, %: Cu_7Te_4 – 36,5, Cu_5Te_3 – 28,5, Cu_2Te – 12,9. Помимо теллуридов меди в материале были обнаружены фазы кристаллических гидросульфатов меди, %: $\text{Cu}_{2,5}\text{SO}_4(\text{OH})_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 16,2 и $\text{Cu}_3(\text{SO}_4)(\text{OH})_4$ – 5,9%. Наличие страндбергита и антлерита в изучаемом теллурсодержащем промпро-

дукте является побочным явлением и связано с наличием остаточного количества сульфат-ионов после конечной отмывки материала от раствора сульфата меди.

Полученные данные будут способствовать разработке новых и усовершенствованию существующих технологий по получению металлического теллура.

Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант AP08052016).

Авторы выражают благодарность и глубокую признательность Бахытұлы Наурызбеку, Куц Елене Петровне, Дайырхановой Дане Осербаевне за проведение аналитических работ.

Список литературы

1. Молдавер Т.И. Теллур // Химия и жизнь. 1972. № 3. С. 17-21.
2. Wang Sh. Tellurium, its resourcefulness and recovery // The Journal of the Minerals, Metals & Materials Society. 2011. Vol. 63. No. 8. Pp. 90-93.
3. Zweibel K. The Impact of Tellurium Supply on Cadmium Telluride Photovoltaics // Science. 2010. No. 328(5979). Pp. 699-701.
4. Мировой и российский рынок селена и теллура 2018: аналит. обзор, янв. 2018 / Группа аналитиков по изучению рынков металлов «International Metallurgical Research Group». 2018. 71 с.
5. ИТС 24-2017. Производство редких и редкоземельных металлов. М.: Бюро НДТ, 2017. 202 с.
6. Liu G., Wu Yu., Tang A., Pan D., Li B. Recovery of scattered and precious metals from copper anode slime by hydrometallurgy: A review // Hydrometallurgy. 2020. Vol. 197, pp. article 105460.
7. Mastuyugin S. A., Naboichenko S. S. Processing of copper-electrolyte slimes: Evolution of technology // Russian Journal of Non-ferrous Metals. 2012. Vol. 53. Iss. 5. Pp. 367-374.
8. Cooper W. C. The treatment of copper refinery anode slimes // Journal of the Minerals, Metals & Materials Society. 1990. Vol. 42. no. 8. pp. 45-49.
9. Извлечение селена из промпродуктов металлургического производства / Кенжалиев Б.К., Требухов С.А., Володин В.Н., Требухов А.А., Тулеутай Ф.Х. // Комплексное использование минерального сырья. 2018. № 4. С. 56-64. <https://doi.org/10.31643/2018/6445.30>
10. Чижиков Д.М., Счастливый В.П. Теллур и теллуриды. М.: Наука, 1964. 322 с.
11. Shibasaki T., Abe K., Takeuchi H. Recovery of tellurium from decopperizing leach solution of copper refinery slimes by a fixed bed reactor // Hydrometallurgy. 1992. Vol. 29(1-3). Pp. 399-412.
12. Изучение физико-химических свойств теллурсодержащего промпродукта / Ниценко А.В., Бурабае-

- ва Н.М., Тулеутай Ф.Х., Сейсембаев Р.С., Линник К.А., Азлан М.Н. // Комплексное использование минерального сырья. 2020. № 4(315). С. 49-56. <https://doi.org/10.31643/2020/6445.36>
13. Xu L., Xiong Ya., Song Y., Zhang G., Zhang F., Yang Y., Hua Zh., Tian Y., You J., Zhao Zh. Recycling of copper telluride from copper anode slime processing: Toward efficient recovery of tellurium and copper // Hydrometallurgy. 2020. Vol. 196, article 105436.
 14. Mahmoudi A., Shakibania S., Mokmeli M., Rashchi F. Tellurium, from copper anode slime to high purity product: A review paper // Metallurgical and Materials Transactions B. 2020. Vol. 51, pp. 2555-2575.
 15. ТОО «Корпорация «Казакхмыс» развивает аффинаж на Балхашском медеплавильном заводе. [Электрон. ресурс] – 2018. – URL: <http://metalmininginfo.kz/archives/5671> (дата обращения 07.10.2020)
 16. Kenzhaliyev B. K. Innovative technologies providing enhancement of nonferrous, precious, rare and rare earth metals extraction // Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a. 2019. № 3. Pp. 64-75. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.30>
 17. Linnik K.A., Sharipova A.S., Zagorodnyaya A.N. A slurry emission off a pulp appeared after metallurgic gases wash of balkhash copper smelting plant by spinning // Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a. 2019. № 2. Pp. 5-13. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.11>
 18. Загородняя А.Н. Шлам сернокислотного цеха Балхашского медеплавильного завода – альтернативный источник получения селена на предприятии. Обзор // Комплексное использование минерального сырья. 2018. № 4. С. 46-55. <https://doi.org/10.31643/2018/6445.29>
 19. Krättschmer A., Odnevall Wallinder I., Leygraf C. The evolution of outdoor cooper patina // Corrosion Science. 2002. Vol. 44, Iss. 3. Pp. 425-450.
 20. Pollard A.M., Thomas R.G., Williams P.A. The stabilities of antlerite and $\text{Cu}_3\text{SO}_4(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: their formation and relationships to other copper(II) sulfate mineral // Mineralogical Magazine. 1992. Vol. 56(384). Pp. 359-365.
 21. Zittlau A.H., Shi Q., Boerio-Goates J., Woodfield B.F., Majzlan J. Thermodynamics of the basic copper sulfates antlerite, posnjakite, and brochantite // Chemie der erde-geochemistry. 2013. Vol. 73. Iss. 1. Pp. 39-50.
 22. Prasad S.V.S., Sitakara Rao V. Thermal analysis, X-ray diffraction and infrared spectroscopic study of synthetic brochantite // Journal of Thermal Analysis. 1985. Vol. 30. pp. 603-609.
 23. Yodler C.H., Agee T. M., Ginion K.E., Hofmann A.E., Ewanichak J.E., Dchaeffer Jr. C.D., Carroll M.J., Schaeffer R.W., McCaffrey P. F. The relative stabilities of copper hydroxyl sulphates // Mineralogical Magazine. 2007. Vol. 71(5). Pp. 571-577.

Сведения об авторах

Ниценко Алина Владимировна – кандидат технических наук, заведующая лабораторией вакуумных процессов, Satbayev University, АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан. E-mail: alina.nitsenko@gmail.com.

Линник Ксения Александровна – магистр технических наук, младший научный сотрудник, Satbayev University, АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан. E-mail: nenija_linnik@mail.ru.

Тулеутай Фархат Ханафия-улы – магистр технических наук, инженер, Satbayev University, АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан. E-mail: farkhat_kaldybek@mail.ru.

Бурабаева Нурила Муратовна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Satbayev University, АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан. E-mail: nuri_eng@mail.ru.

Сейсембаев Руслан Серикович – PhD, научный сотрудник, Satbayev University, АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан. E-mail: seisembayev.r@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF TELLURIUM-CONTAINING INDUSTRIAL MIDDLING KAZAKHMYS SMELTING LLP

Nitsenko Alina V. – Candidate of Technical Sciences, head of the vacuum processes laboratory, Satbayev University, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Almaty, Kazakhstan. E-mail: alina.nitsenko@gmail.com.

Linnik Xeniya A. – Master of Technical Sciences, Junior Researcher, Satbayev University, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Almaty, Kazakhstan. E-mail: nenija_linnik@mail.ru.

Tuleytay Farkhad Kh. – Master of Technical Sciences, engineer, Satbayev University, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Almaty, Kazakhstan. E-mail: farkhat_kaldybek@mail.ru.

Burabaeva Nurila M. – Candidate of Technical Sciences, senior researcher, Satbayev University, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Almaty, Kazakhstan. E-mail: nuri_eng@mail.ru.

Seisembaev Ruslan S. – PhD, researcher, Satbayev University, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Almaty, Kazakhstan. E-mail: seisembayev.r@gmail.com.

Abstract. The process experts are concerned about tellurium due to its various physical and chemical properties. Its main industrial source is copper electrolyte sludge, from which tellurium is extracted as a by-product and is subsequently sold both in elemental form and in the form of tellurium-containing middling. Characteristics of the middling are not the least of the factors for the development and improvement of technologies for the processing of industrial copper telluride to obtain metal tellurium. In this work, the physicochemical properties of the tellurium-containing middling of Kazakhmys Smelting LLP, which is produced by the plant in the course of current work shortly before its acquisition, have been studied. The following methods have been applied during the study: particle size distribution, X-ray phase, and X-ray fluorescence. It was found that material is mainly represented by the large aggregate, the moisture content of the sample is 29 %. The bulk density of wet material was 0.74 g/cm³ without tapping, 0.83 g/cm³ with tapping, 0.74 g/cm³ dry (without tapping), and 0.9 g/cm³ (with tapping). The angle of natural slope for both wet and dewatered material was 25°. The elemental composition of the material was determined by the X-ray fluorescence method as follows, wt. %: Cu – 47.19; Te – 31.22; O – 18.88; S – 2.09, Se – 0.04. X-ray phase analysis determined that the material is represented by crystalline phases: Cu₇Te₄, Cu₅Te₃, Cu₂Te, Cu_{2.5}SO₄(OH)₃·2H₂O, Cu₃(SO₄)(OH)₄. Information on the physicochemical characteristics of tellurium-containing middlings is very limited in the open literature. Therefore, the obtained data are new information, which contributes to the organization of the elemental tellurium production of technical grades in the Republic of Kazakhstan.

Keywords: tellurium, copper, copper telluride, middling, phase composition, elemental composition.

Ссылка на статью:

Физико-химическая характеристика теллурсодержащего промпродукта ТОО «Казакхмыс Смэлтинг» / Ниценко А.В., Линник К.А., Тулеутай Ф.Х., Бурабаева Н.М., Сейсембаев Р.С. // Теория и технология металлургического производства. 2021. №3(38). С. 10-16.
Nitsenko A.V., Linnik X.A., Tuleytay F.Kh., Burabaeva N.M., Seisembaev R.S. Physico-chemical characteristics of tellurium-containing industrial middling Kazakhmys Smelting LLP. *Teoria i tehnologiya metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2021, vol. 38, no. 3, pp. 10-16.

УДК 621.778

Харитонов В.А., Витушкин М.Ю., Усанов М.Ю.

ПОВЫШЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Аннотация. Провода воздушных линий электропередач подвержены статическим и динамическим нагрузкам. Большое влияние на работоспособность проводов оказывает их жесткость. Наиболее эффективным способом повышения жесткости провода является увеличение прочности стальной проволоки. Согласно российским стандартам требование по минимальному пределу прочности стальной оцинкованной проволоки составляет от 1380 до 1450 Н/мм² в зависимости от диаметра проволоки. За рубежом аналогичную проволоку изготавливают и с более высокими прочностными характеристиками: предел прочности проволоки европейского производства может составлять от 1900 до 2300 Н/мм². В данной работе выявлены основные способы повышения прочности проволоки, оцинкованной на готовом размере, рассмотрены их способы реализации и недостатки. К данным способам можно отнести: повышение массовой доли углерода в стали, получение мелкодисперсной структуры при патентировании, увеличение степени деформации при волочении, снижение температуры оцинкования и времени выдержки в ванне оцинкования, легирование кремнием или ванадием. Большое влияние на показатели качества проволоки, такие как прочность и пластичность, а также затраты на ее производство оказывает применяемый маршрут волочения. Приведен пример технологии получения высокопрочной оцинкованной проволоки для сердечников проводов. Применение высокоуглеродистой стали, патентирования, низкотемпературного оцинкования и нового многократного маршрута волочения с суммарной степенью деформации в интервале 80-85% обеспечивает повышение жесткости проводов ЛЭП в 1,2-1,3 раза.

Ключевые слова: провода электропередач, жесткость, проволока стальная, состав, технология, конкурентоспособность.

Введение

Современный этап разработок новых механических устройств и систем в энергетике, специальном машиностроении, строительстве во многом связан с созданием гибких конструкций, конфигурация которых может значительно изменяться в процессе нагружения. Гибкие элементы этих конструкций могут иметь сложную внутреннюю структуру. Деформации таких элементов часто являются связанными, а жесткостные параметры – величинами переменными, зависящими от внешних нагрузок и текущей геометрической конфигурации [1].

Примерами таких конструкций со сложной внутренней структурой являются провода, тросы и кабели воздушных линий электропередач (ЛЭП). Они представляют собой достаточно сложные проволочные конструкции, состоящие из нескольких повивов, т.е. проволочных слоев, уложенных друг на друга под разными углами относительно оси провода, сердечником которого являются одна или несколько скрученных проволок повышенной прочности в центральной части провода. Проволоки, образующие один повив, изготавливаются, как правило, из одного и того же материала. В России наиболее распространенным типом провода является провод АС, сердечник которого сделан из стальных оцинкованных проволок, а токопроводящие – из алюминиевого сплава. Для предотвращения раскручивания соседние повивы должны иметь различное направление скрутки [1].

Общий вид сталеалюминиевого провода представлен на рис. 1, а его конструкция – на рис. 2.



Рис. 1. Сталеалюминиевый провод

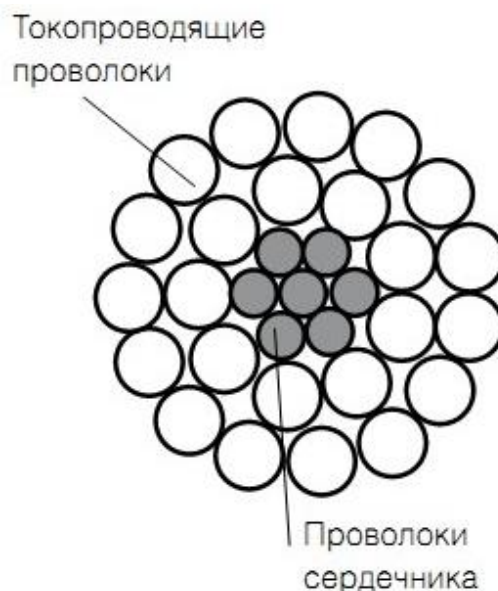


Рис. 2. Конструкция сталеалюминиевого провода

С точки зрения механики и технологии изготовления к проводам следует отнести и стальные молниезащитные тросы, расположенные над проводами воздушной ЛЭП, конструкции которых подобны проводам [1].

Жесткость проводов линий электропередач

При проектировании или реконструкции воздушных ЛЭП в расчет прилагаются как статические, так и динамические режимы нагружения провода, возникающие в результате воздействия собственного веса, гололеда и ветрового потока. При этом большое влияние на работоспособность проводов оказывает их жесткость [1].

Жесткость – это свойство каната (а как было показано выше, провод конструктивно и по технологии является таковым) сопротивляться возникновению в нем деформаций (особенно при изгибе и кручении) в пределах упругости. Жесткость каната зависит от его типа и конструкции, рода и вида свивки, диаметра проволок и их прочности [2].

При заданных конструкцией режимах свивки и материалах провода наиболее действенным путем повышения его жесткости является получение высокой прочности стальных проволок.

Проволока для сердечников проводов

В России стальную оцинкованную проволоку для сердечников сталеалюминевых проводов изготавливают с требованиями по ГОСТ 9850-72 на таких предприятиях черной металлургии, как АО «БМК», ОАО «ММК-Метиз», ОАО «Северсталь-Метиз».

Требование по минимальному пределу прочности стальной оцинкованной проволоки по ГОСТ 9850 составляет от 1380 до 1450 Н/мм² в зависимости от диаметра проволоки.

За рубежом аналогичную проволоку изготавливают и с более высокими прочностными характеристиками. Например, американский стандарт ASTM B958-08 предъявляет следующие требования по прочности для проволоки диаметром 2,29-3,04 мм: не менее 1790 Н/мм² для проволоки класса «Extra» и не менее 1900 Н/мм² для проволоки класса «Ultra».

В рамках данной работы произведены испытания проволоки европейского производства, результаты которых приведены в табл. 1.

Перед метизным производством нашей страны встает задача получения аналогичного продукта с це-

лью импортозамещения в условиях технического прогресса.

Для поиска решения необходимо проанализировать действующую технологию изготовления проволоки для сердечников проводов.

Технология изготовления проволоки для сердечников проводов

При изготовлении проволоки в отечественной промышленности используется сорбитизированная катанка из сталей марок 60-75. После подготовки поверхности осуществляют многократное волочение в монолитных волоках, а завершающей операцией является горячее оцинкование проволоки. Ввиду того, что горячее оцинкование при температуре 450-480°C осуществляется на проволоке готового размера, происходит разупрочнение проволоки на 50-250 Н/мм², в зависимости от степени её наклепа при волочении.

При использовании данной технологической схемы возможны два направления повышения прочности проволоки:

- повышение предела прочности заготовки под оцинкование после волочения;
- снижение разупрочнения при оцинковании.

Снижение разупрочнения при горячем оцинковании может осуществляться за счет снижения температуры оцинкования, уменьшения длительности пребывания проволоки в ванне оцинкования либо легирования стали.

Оптимальной температурой оцинкования проволоки можно считать диапазон 450–460°C. При увеличении температуры расплава будет возрастать разупрочнение проволоки. При снижении температуры ниже 450°C в «холодных» участках ванны может происходить кристаллизация цинка.

Теоретически возможно снизить разупрочнение уменьшением длительности пребывания проволоки в ванне оцинкования при снижении скорости обработки на цинковальном агрегате. Очевидным недостатком данного способа является снижение массы покрытия на проволоке.

Таблица 1

Результаты испытаний проволоки европейского производства

Маркировка проволоки	Предел прочности, Н/мм ²	Напряжение при 1% удлинении, Н/мм ²	Относительное удлинение δ_{200} , %	Материал
ACSS diam. 3,50 mm bezinal endcoated MEGA 2200 MPa	2290	1790-2100	5,5	Высокоуглеродистая сталь (C=0,92%), легированная Si=1,22%
ACSS diam. 3,46 mm bezinal endcoated MEGA 2150 MPa	2320	1880-2120	5,5-6,0	
ACSS diam. 2,76 mm bezinal endcoated EHS 1790 MPa	1900	1630	5,5-6,0	Высокоуглеродистая сталь (C=0,88%)

Разупрочнению стали при горячем оцинковании препятствуют некоторые легирующие элементы, такие как кремний и ванадий. Имеются сведения [3, 4] об изготовлении горячеоцинкованной на готовом размере проволоки диаметром от 5 до 7 мм с пределом прочности более 1960 МПа. Для изготовления используется высокоуглеродистая сталь, легированная кремнием и ванадием. При испытании проволоки европейского производства диаметром 3,50 мм с прочностью 2300 МПа также выявлено легирование стали кремнием в количестве 1,22%.

Легирование кремнием при производстве высокопрочной оцинкованной проволоки сопровождается определенными трудностями. Во-первых, кремний увеличивает время распада аустенита, поэтому при патентировании необходимо увеличение температуры свинца, что требует обработки заготовки отдельной партией. Во-вторых, при оцинковании кремнистых сталей возрастает толщина слоев хрупких фаз железоцинкового сплава, что ухудшает качество покрытия. Для исключения этого необходимы короткие выдержки в ванне оцинкования, а требуемую массу покрытия возможно получить за счет сохранения фазы чистого цинка при использовании азотного либо электромагнитного обтира.

Прочность холоднотянутой заготовки под оцинкование можно повысить либо за счет повышения прочности исходной заготовки, либо за счет увеличения суммарной деформации при волочении.

Увеличение степени суммарной деформации при волочении является малоперспективным способом повышения прочности проволоки для сердечников проводов. Во-первых, значительная часть прочности, полученная от наклепа, исчезнет при последующем горячем оцинковании. Во-вторых, перенаклеп проволоки может приводить к обрывам при волочении и оцинковании, а также ломкости при испытании проволоки на навивку. В-третьих, увеличение суммарной деформации требует увеличения кратности волочильного оборудования. Рациональным суммарным обжатием при волочении высокопрочной проволоки диаметром 2,50–3,50 мм можно считать диапазон 80–85%. При этом необходимо 8–9-кратное волочильное оборудование, пониженные скорости волочения и хорошее охлаждение проволоки на промежуточных барабанах ввиду высокой прочности проволоки и повышенного её нагрева при волочении.

Разработка новой технологии производства высокопрочной проволоки

На наш взгляд, основным инструментом повышения прочности проволоки для проводов является увеличение прочности исходной заготовки, которое возможно за счет увеличения массовой доли углерода в стали и получения более мелкодисперсной микроструктуры заготовки. Взамен использования сорбитизированной катанки необходимо введение операции патентирования заготовки. Для уменьшения межпла-

стинчатого расстояния в перлите необходимо небольшое снижение температуры ванны изотермического охлаждения и небольшое увеличение температуры нагрева в печи. В качестве сырья необходимо использовать высокоуглеродистую сталь, например марки У9А.

Так, катанка диаметром 6,5 мм из стали марки У9А после патентирования при температуре нагрева 1000°C и изотермическом охлаждении в свинце при температуре 490°C имеет предел прочности 1320–1350 Н/мм². Холоднотянутая проволока диаметром 2,65 мм, протянутая из такой заготовки, имеет предел прочности 2170–2230 Н/мм². После разупрочнения при горячем оцинковании при температуре 450–460°C готовая проволока будет иметь предел прочности 1950–2020 Н/мм², что соответствует требованиям классов «Extra» и «Ultra» стандарта ASTM B958-08. Для изготовления более высокопрочной проволоки необходимо использование высокоуглеродистой стали, легированной кремнием.

Для обеспечения устойчивости, стабильности и экономической эффективности процесса волочения высокопрочной проволоки необходимо выбрать рациональный маршрут волочения. Маршрут волочения должен обеспечить получение качественной проволоки с достаточным запасом прочности и пластичности, с максимально возможной производительностью и минимальными затратами на ее изготовление [5].

Для расчета маршрутов волочения используется новая методика и алгоритм расчета маршрутов волочения, отличающиеся тем, что на стадии проектирования маршрута волочения строится кривая «гидростатическое напряжение – усилие волочения», по которой выбираются рациональные обжатия для данных рабочих углов волок. Это обеспечивает возможность получения проволоки заданного уровня качества при минимальных энерго- и материалозатратах. Данная методика может применяться как при проектировании новых, так и при анализе действующих маршрутов волочения [6, 7].

Для получения качественной проволоки важно учитывать величину и знак действующего гидростатического напряжения на оси проволоки, который можно определить по кривой «гидростатическое напряжение – усилие волочения». Кроме того, данная кривая устанавливает зависимости между основными показателями процесса волочения, такими как гидростатическое напряжение на оси проволоки, единичное обжатие, значение дельта-фактора и усилие волочения. Показатель неравномерности распределения деформации по сечению в проволоке, получивший в технической литературе название «дельта-фактор», находится из выражения $\Delta = \frac{\alpha}{\varepsilon} (1 + \sqrt{1 - \varepsilon})^2$, где α – полуугол рабочего конуса волоки, рад; ε – единичное обжатие [8]. Гидростатическое напряжение находится как среднее суммы главных напряжений. Так, при значении дельта-фактора меньше 1,50 во всем объеме проволоки гидростатическое напряжение будет сжи-

мающим. При увеличении значения дельта-фактора увеличивается как область действия растягивающих напряжений, так и их величина. Так, при значении дельта-фактора 2,0 площадь действия растягивающего гидростатического напряжения в центре проволоки составит около 11% от общей площади проволоки.

С использованием предложенной методики был проведен анализ действующих маршрутов волочения с диаметра 7,0 на 3,05 мм (табл. 2) и с диаметра 6,5 мм на диаметр 2,65 мм (табл. 3). Рабочие углы волок $2\alpha = 12$ град. Коэффициент трения 0,08.

Анализ данных, приведенных в табл. 2 и 3, показал, что значения дельта-фактора принимают значения от 1,78 до 2,66 для маршрута волочения с 7,0 на 3,05 мм, и от 1,63 до 2,32 для маршрута с 6,5 на 2,65 мм. Дельта-фактор принимает наибольшие значения на последних протяжках, что приводит к появлению высокого растягивающего гидростатического напряжения на оси проволоки, снижает ее пластические свойства и деформируемость, повышает вероятность обрыва.

Для исключения появления высокого растягивающего напряжения на оси проволоки разработаны новые маршруты волочения, при этом величина гидростатического напряжения от усилия волочения и значения дельта-фактора определялась согласно рис. 3. Для новых маршрутов волочения единичные обжатия принимаются равными 19-24%, что соответствует значениям дельта-фактора 2,0-1,5.

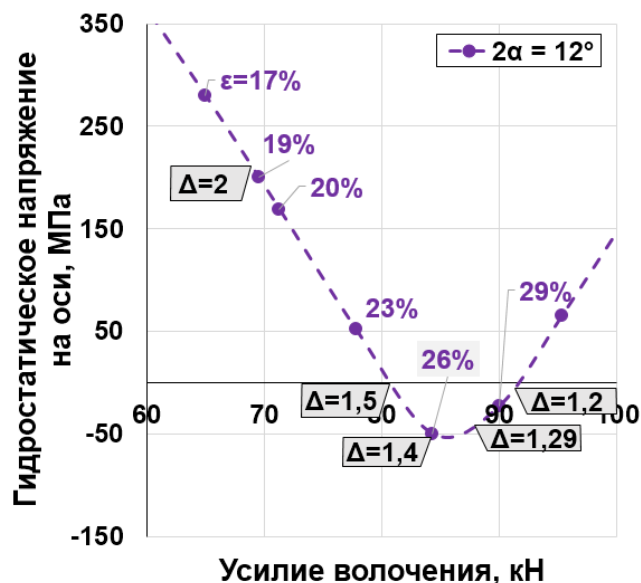


Рис. 3. Изменение величины гидростатического напряжения от усилия волочения и значения дельта-фактора для рабочих углов $2\alpha = 12^\circ$

Маршруты волочения, построенные по принципу линейного убывания единичных обжатий и, соответственно, линейного роста значений дельта-фактора, приведены в табл. 4 и 5. Рабочие углы волок $2\alpha = 12$ град. Коэффициент трения 0,08. Изменение значений дельта-фактора, для действующих и новых маршрутов волочения приведены на рис. 4.

Таблица 2

Анализ действующего маршрута волочения с диаметра 7,0 на 3,05 мм

Номер перехода	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Диаметр проволоки, мм	7,0	6,3	5,6	5	4,5	4,05	3,65	3,3	3,05
Единичное обжатие, %		19,00	20,99	20,28	19,00	19,00	18,78	18,26	14,58
Дельта-фактор		1,99	1,78	1,85	1,99	1,99	2,02	2,08	2,66
Предел прочности, кг/мм ²	131	138,09	146,47	155,01	163,39	172,23	181,42	190,80	198,47
Усилие волочения, кН		17,08	15,59	12,77	10,31	8,80	7,46	6,26	4,64
Усилие волочения суммарное, кН		17,08	32,67	45,44	55,75	64,55	72,00	78,26	82,91

Таблица 3

Анализ действующего маршрута волочения с диаметра 6,5 на 2,65 мм

Номер перехода	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Диаметр проволоки, мм	6,5	5,8	5,1	4,54	4,05	3,62	3,24	2,9	2,65
Единичное обжатие, %		20,38	22,68	20,76	20,42	20,11	19,89	19,89	16,50
Дельта-фактор		1,84	1,63	1,80	1,84	1,87	1,89	1,89	2,32
Предел прочности, кг/мм ²	133,7	141,54	150,94	159,98	169,38	179,16	189,38	200,17	209,40
Усилие волочения, кН		15,75	14,28	11,08	9,21	7,68	6,44	5,45	4,08
Усилие волочения суммарное, кН		15,75	30,03	41,12	50,32	58,00	64,44	69,90	73,97

Анализ нового маршрута волочения с диаметра 7,0 на 3,05 мм

Номер перехода	0	1	2	3	4	5	6	7
Диаметр проволоки, мм	7,0	6,12	5,37	4,74	4,21	3,76	3,38	3,05
Единичное обжатие, %		23,56	23,01	22,09	21,11	20,24	19,19	18,57
Дельта-фактор		1,56	1,60	1,68	1,77	1,85	1,97	2,04
Предел прочности, кг/мм ²	131	140,10	149,56	159,19	168,91	178,73	188,51	198,45
Усилие волочения, кН		19,75	15,89	12,70	10,22	8,31	6,77	5,64
Усилие волочения суммарное, кН		19,75	35,64	48,34	58,55	66,86	73,63	79,27

Таблица 5

Анализ нового маршрута волочения с диаметра 6,5 на 2,65 мм

Номер перехода	0	1	2	3	4	5	6	7
Диаметр проволоки, мм	6,5	5,68	4,97	4,37	3,84	3,39	2,99	2,65
Единичное обжатие, %		23,64	23,44	22,69	22,79	22,06	22,21	21,45
Дельта-фактор		1,56	1,57	1,63	1,62	1,68	1,67	1,74
Предел прочности, кг/мм ²	133,7	143,03	152,91	163,07	173,96	185,15	197,15	209,42
Усилие волочения, кН		17,42	14,15	11,33	9,37	7,55	6,29	5,09
Усилие волочения суммарное, кН		17,42	31,57	42,89	52,26	59,81	66,10	71,19

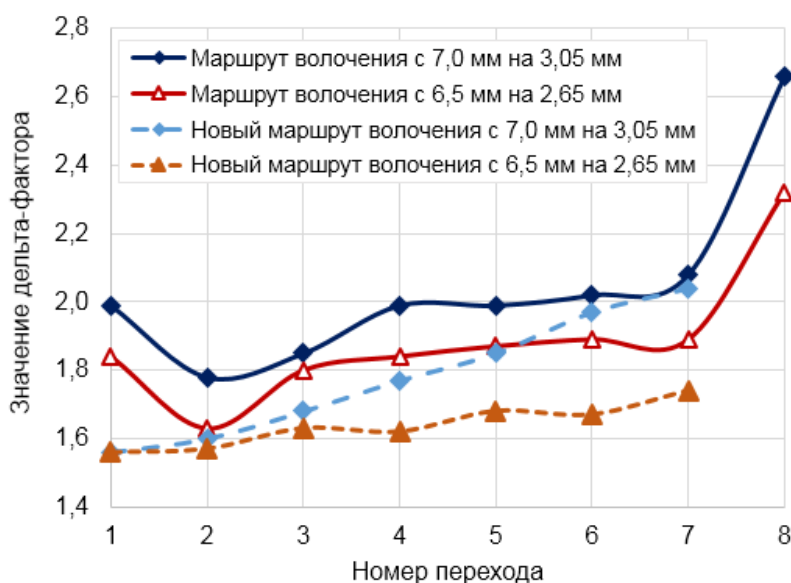


Рис. 4. Изменение значений дельта-фактора для действующего и новых маршрутов волочения

Как видно из табл. 4 и 5, новые маршруты позволяют снизить кратность волочения (на одну протяжку), улучшить равномерность деформации по сечению проволоки и снизить суммарное усилие волочения на 4,4% для проволоки диаметром 3,05 мм и на 3,8% для проволоки диаметром 2,65 мм, т.е. обеспечивая тем самым повышение твердости и конкурентоспособности проволоки.

Для волочения проволоки по предлагаемым маршрутам рекомендуется использовать современное волочильное оборудование немецкой фирмы KOCH, в частности станы KGT 25/7.

По методике, приведенной в работе [9], был выполнен расчет величины крутильных и изгибных жесткостей проводов марки АС с использованием стальных проволок повышенной прочности, показавший возможность повышения жесткости проводов ЛЭП в 1,2-1,3 раза, т.е. обеспечить повышение ее конкурентоспособности на отечественных и зарубежных рынках.

Заключение

1. Высокая жесткость и тем самым эксплуатационная стойкость проводов воздушных ЛЭП обеспечивает

ся в первую очередь прочностью стальных оцинкованных проволок сердечника, определяемой содержанием углерода в стали, дисперсностью микроструктуры, суммарной степенью деформации, маршрутом волочения и температурой оцинкования проволоки.

2. Применение высокоуглеродистой стали, патентирования, низкотемпературного оцинкования и многократного волочения по новым маршрутам волочения с суммарной степенью деформации в интервале 80-85% обеспечивает получение проволоки с требованиями по ASTM B958-08, повышение жёсткости проводов ЛЭП в 1,2-1,3 раза и снижение затрат на ее производство.

Список литературы

1. Виноградов А.А., Данилин А.Н., Рибинский Л.Н. Деформирование многослойных проволочных конструкций спирального типа. Математическое моделирование, примеры использования. М.: Изд-во МАИ, 2014. 168 с.
2. Подвесные канатные дороги / Беркман М.Б., Бовский Г.И., Куйбида Г.Г., Леонтьев Ю.С. М.: Машиностроение, 1984. 264 с.
3. Masafo Kaiso, Nobuhico Ibaraki, Yasuhiro Oki, Takaaki Minamida Development of a new hypereutectoid steel for high-strength wire // Wire Journal International. 2002. February, pp. 116 – 121.
4. Bell A., Hobson S., Wilkinson J. et al. Development of ultra-high-strength wire for offshore applications // Wire Journal International. 2008. May, pp. 78–88.
5. Харитонов В. А. Классификация способов ОМД по технологическим признакам при производстве проволоки // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: междунар. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Салганика. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. С. 49–59.
6. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Совершенствование методики расчета маршрутов волочения для высокоуглеродистых сталей // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2017. № 8. С. 92-95.
7. Методика совершенствования и проектирования маршрутов волочения проволоки / М.Ю. Усанов, В.А. Харитонов, Л.Э. Пыхов, Н.Ю. Сметнева // Сталь. 2018. № 6. С. 42–43.
8. Бэкофен В. Процессы деформации: пер. с англ. М.: Металлургия, 1977. 288 с.
9. Модель провода воздушной линии электропередачи / Шалашилин В.И., Данилин А.Н., Цветков Ю.Л., Рыжов С.В. // Механика композиционных материалов и конструкций. 2005. Т.11. №4. С. 564-572.

Сведения об авторах

Харитонов Вениамин Александрович – кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры технологий обработки материалов, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: hva-46@yandex.ru

Витушкин Максим Юрьевич – аспирант кафедры технологий обработки материалов, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: maksim98849@gmail.com

Усанов Михаил Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры металлургии и стандартизации, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», Филиал Белорецк, E-mail: barracuda_m@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

INCREASING THE RIGIDITY OF OVERHEAD TRANSMISSION LINE WIRES

Kharitonov Veniamin A. – Ph.D. (Eng.), Professor, Department of material processing technology, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: hva-46@yandex.ru

Vitushkin Maxim Yu. – graduate student, Department of material processing technology, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: maksim98849@gmail.com

Usanov Mikhail Yu. – Cand. Eng., Associate Professor, Department of metallurgy and standardization, Nosov Magnitogorsk State Technical University – Branch in Beloretsk, Russia. E-mail: barracuda_m@mail.ru

Abstract. Overhead line wires are subject to static and dynamic loads. The stiffness of wires has a great influence on their performance. The most effective way to increase the stiffness of a wire is to increase the strength of the steel wire. According to Russian standards the requirement for the minimum tensile strength of galvanised steel wire ranges from 1380 N/mm² to 1450 N/mm² depending on the wire diameter. Overseas, similar wires are manufactured with higher tensile properties: the tensile strength of European-made wire can be between 1900 N/mm² and 2300 N/mm². This paper identifies the main ways of increasing the strength of galvanised wire on the finished size and considers their methods of implementation and disadvantages. These methods include: increasing the mass fraction of carbon in steel, obtaining a fine structure in patenting, increasing the degree of deformation in drawing, reducing the temperature of galvanizing and holding time in the galvanizing bath, alloying with silicon or vanadium. A major influence on quality parameters such as strength and ductility of the wire, as well as the costs of wire production, has a significant influence on the used drawing route. An example of a process for producing high-strength galvanised wire for wire cores is given. The use of high-carbon steel, patenting, low-temperature galvanising and a new multiple drawing route with a total degree of deformation in the range of 80-85% provides a 1.2-1.3 times increase in the stiffness of power line wires.

Keywords: power wires, stiffness, steel wire, composition, technology, competitiveness

Ссылка на статью:

Харитонов В.А., Витушкин М.Ю., Усанов М.Ю. Повышение жесткости проводов воздушных линий электропередач // Теория и технология металлургического производства. 2021. №3(38). С. 17-23.

Kharitonov V.A., Vitushkin M.Yu., Usanov M.Yu. Increasing the rigidity of overhead transmission line wires. *Teoria i tehnologija metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2021, vol. 38, no. 3, pp. 17-23.

УДК 621.771

Пивоварова К.Г.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛЬНОЙ КАТАНКИ

Аннотация. Показано, что одними из нежелательных и распространенных дефектов поверхности, которые снижают качественные показатели высокоуглеродистого бунтового проката и эксплуатационные характеристики изготавливаемых из него изделий, являются обезуглероживание поверхности и окалинообразование. Поэтому к катанке из высокоуглеродистой стали предъявляют высокий уровень требований к качеству поверхности, в том числе к глубине видимого обезуглероженного слоя и толщине поверхностной окалины, которые нормируются соответствующей нормативной документацией. В настоящей работе представлены результаты лабораторных исследований высокотемпературного окисления и обезуглероживания катанки из высокоуглеродистой стали марки 80 методами синхронного термического анализа. Установлены температурные интервалы интенсификации окалинообразования и обезуглероживания в различных средах (слабоокислительной и окислительной). Методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) изучены фазовые превращения в высокоуглеродистой стали марки 80 и установлены оптимальные температуры образования однородного аустенита при нагревании. Отмечено, что в диапазоне температур нагрева стали 720–950°C наряду с фазовыми превращениями начинается интенсификация процессов окалинообразования и обеднение поверхностных слоев углеродом. Исследованы методом термогравиметрического анализа (ТГ) особенности кинетики окисления стали в неизотермических условиях при непрерывном нагреве до заданной температуры. Определены температуры максимальной скорости окисления. Показано, что скорость окисления при повышении температуры заготовки с 900 до 1000°C увеличивается в 3 раза, а до 1200°C – в 8 раз. Найдены оптимальная температура нагрева заготовок перед прокаткой (1157°C) и критическая температура (929°C) окисления. Полученные результаты можно использовать для выбора основных технологических параметров режима термической обработки катанки из стали марки 80, обеспечивающей формирование на поверхности металла низкого количества легко удаляемой окалины и минимальной глубины обезуглероженного слоя.

Ключевые слова: высокоуглеродистая катанка, сталь марки 80, термический анализ, ДСК-кривая, ТГ-кривая, окисление, обезуглероживание.

Введение

Высокоуглеродистая катанка является сырьем для метизной промышленности и используется для изготовления арматуры, пружин, канатов и металлокорда. Ее качество является одним из главных факторов, определяющих технико-экономические показатели и потребительские свойства вышеперечисленной продукции. Качество горячекатаного проката (катанки) оценивается соответствием нормативным требованиям его геометрических параметров (овальность и установленные величины допуска на диаметр), химического состава и механических характеристик. Оно также определяется структурой проката, которая, в свою очередь, зависит от способа изготовления, включая разливку стали, нагрев заготовок и горячую прокатку на прокатном стане, способа охлаждения и последующей термообработки [1–4].

На качество готовой метизной продукции существенно влияют поверхностные дефекты катанки. Такие дефекты поверхности, как закаты, плены, риски, волосовины способствуют появлению трещин, рванин, пор при дальнейшей пластической деформации методом волочения. Все перечисленные виды дефектов могут раскрываться при термообработке в виде трещин, приводя к отбраковке готовых изделий. Такие дефекты, как усадочные раковины и рыхлость, ослабляют сечение проволоки, приводя к обрывам при волочении и снижая механические свойства проволоки. Поэтому катанка при наличии значительного

количества поверхностных дефектов даже с высокими значениями механических характеристик и имеющая оптимальную структуру может оказаться совершенно непригодной для дальнейшего применения [5]. Наряду с вышеперечисленными дефектами, самыми распространенными и нежелательными дефектами, которые снижают качественные показатели катанки и эксплуатационные характеристики изготавливаемых из нее изделий, являются окалинообразование и обезуглероживание поверхности [6, 7].

Окалинообразование является причиной таких видов брака, как вкатанная или вмятая окалина, рябизна, раковины (язвины и оспины), что также снижает качество поверхности проката. Формирование окалины при производстве катанки неизбежно ставит проблему ее удаления. Удаление окалины перед волочением необходимо для уменьшения трения в канале волоки и снижения силы волочения, снижения температуры в очаге деформации и величины остаточных напряжений в металле после волочения. Технология удаления окалины значительно влияет на качество и стоимость готовой продукции [8].

Обезуглероживание поверхности металла является нежелательным явлением, однако существует мнение и о положительном влиянии обезуглероживания поверхности бунтового проката на его потребительские свойства. Мягкая обезуглероженная поверхность обеспечивает повышенную пластичность металла при перегибах и скручиваниях из-за малой чувствительности к концентраторам напряжений, высокой сопротивляемости распространению трещин, а также повышению коррозионной стойкости. Форми-

рование в поверхностном обезуглероженном слое остаточных сжимающих напряжений приводит к повышению усталостной прочности и долговечности в процессе эксплуатации изделий (канатов). В бунтовом прокате с более развитым поверхностным обезуглероживанием уменьшается вероятность образования закалочных структур (мартенсита) при волочении и вызываемых появлением мартенсита поверхностных трещин и надрывов. Однако при деформации металла способом холодного волочения, путем протяжки бунтового проката через систему монолитных волок, максимальные напряжения при этом сосредоточены на поверхности проката. В связи с такой особенностью равномерность распределения структуры на поверхности и в приповерхностных слоях оказывает решающее воздействие. Следовательно, при изготовлении качественной катанки необходимо обеспечить минимальную и равномерную глубину обезуглероживания на поверхности металла [2].

Масса окалины и глубина обезуглероженного слоя являются аттестационными показателями бунтового проката, ввиду чего они всегда регламентируются нормативной документацией и сертификатами качества на металлопродукцию [8]. Масса окалины на поверхности проката возрастает с повышением температур горячей деформации и виткообразования, а также при снижении скорости воздушного охлаждения на линии Стелмор, которые, кроме этого, влияют на структурообразование и формирование других качественных показателей бунтового проката [9]. Анализ литературных источников свидетельствуют о наличии довольно противоречивых результатов, касающихся формирования общей массы окалины, времени распада вюстита и определения оптимальных температурных диапазонов его образования на поверхности проката в процессе охлаждения на линии Стелмор. Это требует знания определенных законов, регулирующих процесс окалинообразования, а именно необходимы сведения о кинетике окисления стали для рационального выбора температурно-скоростного регламента нагрева заготовки.

В последнее время термический анализ, в частности синхронный (ТГ и ДСК), является одним из самых распространенных методов физико-химических исследований, ввиду возможности изучения различных по своей природе объектов и быстроты получения разнообразной информации, в том числе, при исследовании высокотемпературных процессов окисления стали [10].

Все вышеизложенное ставит целью работы исследование кинетики окисления и обезуглероживания высокоуглеродистой катанки из стали марки 80 термическим методом.

Материалы и методы исследований

Материалом для исследований служила катанка производства ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» диаметром 16,0 мм из стали марки 80

с химическим составом, % мас.: 0,81 C; 0,35 Si; 0,57 Mn; 0,0020 S; 0,0030 P; 0,02 Cr; 0,03 Ni; 0,0013 V; 0,0010 Al.

Термоаналитические исследования выполняли на приборе синхронного термического анализа STA Jupiter 449 F3. Прибор позволяет одновременно при одном измерении образца проводить дифференциальную сканирующую калориметрию (ДСК) и термогравиметрический анализ (ТГ) и напрямую сравнивать результаты измерений ТГ и ДСК, при этом устранять влияние неоднородности материала, пробоподготовки и условий измерений. Методом ДСК фиксировали разность температур, которая пропорциональна разности теплового потока, возникающего между эталоном (для STA – пустой тигель) и образцом, находящимся в другом тигле из этого материала. Методом термогравиметрии измеряли изменение массы образца в зависимости от температуры при определенных контролируемых условиях.

Для экспериментов вырезали образцы, имеющие форму дисков диаметром 3 мм и высотой 4 мм, шлифовали их поверхность с помощью наждачной бумаги, обезжиривали ацетоном. Измерения проводили в корундовых тиглях. Перед проведением анализа прибор калибровали по температурам плавления эталонов, в качестве которых использованы чистые металлы. Ошибка измерения температуры не превышала $\pm 0,1$ С.

Термические кривые образцов записывали со скоростью 10 °С/мин в потоке аргона (газ защитный – 10 см³/мин, рабочий – 20 см³/мин) в диапазоне температур 30-1000 и 30-1200°С в смеси аргона и воздуха. Такая смесь отвечала требованиям к работе на приборе: на весы подавался защитный газ аргон (10 см³/мин), который далее поступал в печь и смешивался с рабочим газом – воздухом (20 см³/мин). Суммарная скорость потока аргона и смеси составляла 30 см³/мин. Прободержатель ДСК вместе с тиглями перед проведением измерения образца в потоке аргона предварительно прогревали до 1000°С, в потоке воздуха – до 1200°С. После загрузки образца и установки тигля на держатель образца печь герметично закрывали и нагревали по вышеприведенной программе. При этом автоматически фиксировались дифференциальные кривые зависимостей температуры $\Delta T_{\text{обр}} = f(T_{\text{этл}})$ [ДСК], массы $\Delta m = f(T, \tau)$ [ТГ]. Полученные данные обрабатывали с помощью программы Netzsch Proteus Analysis.

Результаты исследования и их обсуждение

Так как для развития процесса обезуглероживания на поверхности металла при нагреве в печи газовая атмосфера не должна оказывать сильное окислительное воздействие, то образец катанки из стали 80 подвергали высокотемпературному нагреву в инертной атмосфере (аргоне). Окисляющими газами в нем являются примеси кислорода (до 0,002%) и воды (до 0,001%) (см. ГОСТ 10157-2016).

На рис. 1 приведена типичная термограмма, отражающая фазовые превращения, протекающие в углеродистых сталях при нагреве, и при этом изменение массы, связанное с процессами окисления и обезуглероживания. На ДСК-кривой (см. рис. 1) исследуемого образца наблюдаются глубокий эндотермический эффект в диапазоне температур 721–757°C с максимумом пика при температуре 744,9°C и перегиб при 930,6°C. Эндотермический эффект свидетельствует о превращении перлита в аустенит ($\alpha \rightarrow \gamma$), перегиб – распаду и растворению в аустените карбидов. Наблюдаемый при нагреве свыше 932°C спад ДСК-кривой до температуры 950°C вероятнее всего связан с гомогенизацией аустенита. Согласно [11] температура виткообразования в производственных условиях в максимальной степени должна соответствовать температуре аустенитизации. Таким образом, по температурному диапазону образования однородного аустенита выбрали рациональную температуру виткообразования и она составляет 930–950°C.

На ТГ-кривой, начиная с температуры 590°C, отмечается незначительный прирост массы, который продолжается практически до температуры 900°C. Прибавка массы в этом диапазоне температур соста-

вила 0,014% и она обусловлена процессами окисления металла. Наряду с процессами окисления наблюдается обезуглероживание металла, о чем свидетельствуют потери массы (0,07%) в диапазоне температур 900–1000°C. Процесс обезуглероживания четко проявляется при температуре 897°C и интенсивно протекает до 1000°C. В этом температурном интервале происходит распад и растворение карбидов в аустените. В результате происходит разрыв связей Me-C, карбиды разлагаются с образованием углерода (C) и элементов, входящих в их состав (Fe, Mn, Cr) и в дальнейшем при нагревании происходит их интенсивное окисление. В то же время окисление углерода и удаление его оксидов в газовую фазу способствует некоторому снижению массы образца.

При нагреве сталей на поверхности образуется слой оксидов железа (FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4), называемый окалиной. Толщина слоя окалины зависит от температуры и времени нагрева, расположения заготовок в печи, состава печных газов и химического состава сплава. Наиболее интенсивно стали окисляются при температуре выше 900°C. Этот процесс наблюдаем на термограмме образца (рис. 2), нагретого в среде воздуха.

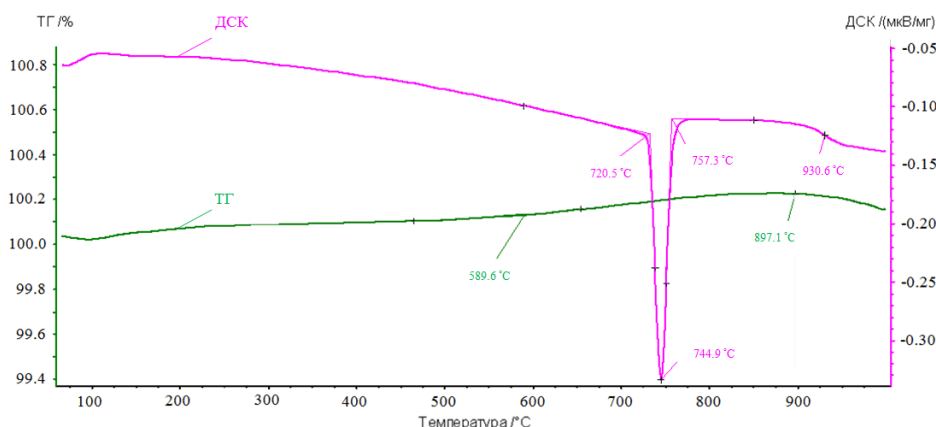


Рис. 1. Термограмма непрерывного нагрева в атмосфере аргона образца из стали марки 80

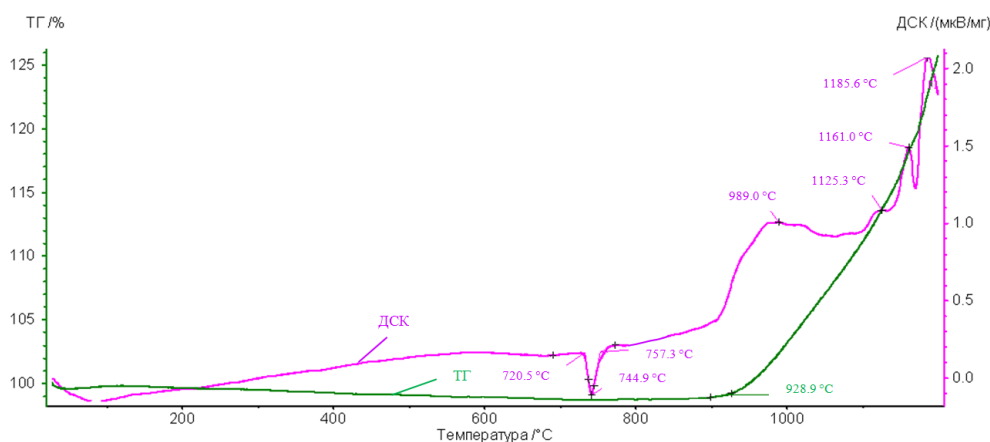


Рис. 2. Термограмма непрерывного нагрева в атмосфере воздуха образца из стали марки 80

При высокотемпературном нагреве в окислительной среде в отличие от слабоокислительной на ДСК-кривой (см. рис. 2) кроме эндотермического эффекта с максимумом при 745°C фиксируются экзотермические пики с максимумами при температурах 989; 1125,3; 1161 и 1185,6°C. Первый соответствует началу интенсификации окисления (угара) после перехода стали в аустенитное состояние (в диапазоне температур 720,5–757,3°C) и образования вюстита, а остальные – продолжению интенсификации угара в области температур до 1200°C. Это обычно происходит при нагреве стали перед горячей прокаткой при температурах выше 1100°C и при сжигании топлива с избытком воздуха. В окислительной среде растворение и распад карбидов в этом диапазоне температур протекает одновременно с процессами окисления сплава, в результате чего происходит наложение эффектов. При этом экзотермический эффект превалирует над эндотермическим и на ТГ-кривой отмечается только увеличение массы, а на ДСК-кривой – экзотермические эффекты. При этом на ТГ-кривой, начиная с температуры 900°C, отмечается увеличение массы за счет окисления железа и других присутствующих компонентов. Резкое увеличение массы образца начинается при температуре 929°C и эта температура согласно [12] является критической. При нагреве выше критической температуры процессы окисления металла начинают протекать с высокой скоростью и связаны они в основном с образованием вюстита в окалине.

Дифференцирование ТГ-кривой дает ДТГ-кривую (рис. 3), позволяющую судить о скорости процесса окисления стали марки 80 при температурах нагрева в печах и прокатки.

Согласно ДТГ-кривой скорость окисления постоянно до температуры 900°C. Свыше 900°C она монотонно увеличивается и достигает максимума при температуре 1000°C, затем начинается ее спад, кото-

рый продолжается почти до температуры 1100°C. Свыше 1100°C скорость окисления начинает резко возрастать и достигает максимума при 1157°C и 1185°C. Так, при увеличении температуры заготовки с 930 до 1000°C скорость окисления увеличивается в 3 раза, а до 1200°C – в 8 раз. Однако в диапазоне температур 1100–1200°C скорость окисления самая высокая. Если принять за единицу скорость окисления при 1100°C, то при температуре 1157°C она увеличивается в 1,5 раза, при 1185°C – более чем в 2 раза. Поэтому скорость окисления стали марки 80 в температурном диапазоне 1100–1200°C при температуре 1157°C ниже, чем при 1185°C. Следовательно, температура 1157°C является оптимальной при нагреве стали марки 80 в печах перед горячей прокаткой.

Заключение

Анализ полученных термограмм и идентификация экстремумов дифференциальных кривых (ТГ и ДСК) позволила описать процессы, протекающие при нагреве стали марки 80 в инертной (аргоне) и окислительной (воздухе) средах. Установлено, что при нагреве образца в инертной атмосфере (с незначительным количеством примесей окисляющих газов) в температурном интервале 720–950°C наряду с фазовыми превращениями ($\alpha \rightarrow \gamma$) начинается интенсификация процессов окалинообразования за счет образования вюстита и обеднения поверхностных слоев углеродом в результате распада и растворения карбидов в аустените.

Результаты синхронного термического анализа (дифференциальной сканирующей калориметрии и термогравиметрического анализа) являются информативными и их можно использовать для корректировки температурно-временных режимов технологического процесса получения высокоуглеродистой катанки из стали 80 с высоким качеством поверхности.

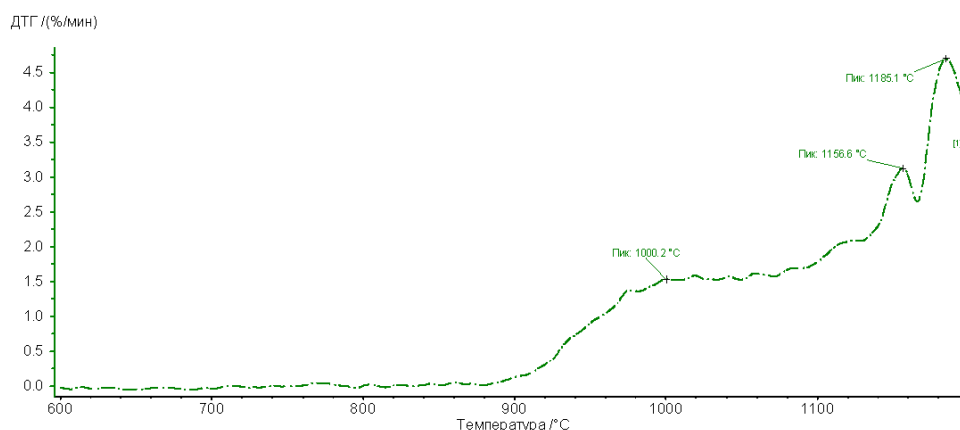


Рис. 3. Изменение скорости окисления стали марки 80 от температуры

Список литературы

1. Совершенствование технологии производства высококачественной катанки / А.Б. Сычков, М.А. Жигарев, С.Ю. Жуков, А.В. Перчаткин, А.В. Перегудов // Литье и металлургия. 2011. № 4 (83). С. 85-92.
2. Влияние величины аустенитного зерна на развитие обезуглероживания при производстве бунтового проката / Э.В. Парусов, С.И. Губенко, А.Б. Сычков, В.А. Луценко, Л.В. Сагура // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. 2016 № 8 (221). С. 26-34.
3. Усовершенствование сквозной технологии производства бунтового проката из стали марки 80P в условиях ОАО «ММК» / А.Г. Корчунов, В.А. Бигеев, А.Б. Сычков, Г.С. Зайцев, Ю.А. Ивин, А.Ю. Дзюба // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова 2013. № 2. С. 29-35.
4. Столяров А.Ю., Зайцева М.В., Столяров Ф.А. Конечно-элементное моделирование процесса cold stretching для оценки возможности изготовления холоднодеформированной арматуры класса 500 в условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ» // Теория и технология металлургического производства. 2021. № 1 (36). С. 21-26.
5. Влияние поверхностного и структурного состояния на качество проката для болтов / А.А. Филиппов, Г.В. Пачурин, В.И. Наумов, Н.А. Кузьмин // Фундаментальные исследования. 2015. № 10-1. С. 77-82.
6. Темлянец М.В., Михайленко Ю.Е. Окисление и обезуглероживание стали в процессах нагрева под обработку давлением: монография. М.: Теплотехник, 2006. 199 с.
7. Формирование свойств окалины для ее полного удаления с поверхности катанки перед волочением / А.Б. Сычков, М.А. Жигарев, С.Ю. Жукова, А.В. Перчаткин, В.И. Грицаенко // Литье и металлургия. 2012. № 4 (68). С. 83-91.
8. Пашнин С.С., Коберник О.П. Исследование окисленности атмосферы печей нагрева на образование окалины при тепловой обработке литых заготовок под прокатку // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 8-2. С. 355-357.
9. Перспективы использования экологически чистого способа подготовки поверхности бунтового проката к волочению / Э.В. Парусов, А.Б. Сычков, С.И. Губенко, И.Н. Чуйко // Проблемы трибологии. 2016. № 2. С. 74-82.
10. Investigation of heat of biomass pyrolysis an secondary reactions by simultaneous thermogravimetry and differential scanning calorimetry / Q. Chen, R. Yang, B. Zhao, Y. Li, S. Wang, H. Wu, Y. Zhuo, C. Chen. Fuel: The Science and Technology of Fuel and Energy. 2014, vol. 134, pp. 467-476.
11. Обоснование параметров регулируемого охлаждения бунтового проката из высокоуглеродистой стали в потоке проволочного стана 320/150 ОАО «ММЗ» / Э. В. Парусов, А.Б. Сычков, С.И. Губенко, С.В. Долгий, Л.В. Сагура // Вісник НТУУ «КПІ». Машинобудування. 2016. № 2 (77). С. 62-70.
12. Миронов О.А. Разработка новых жароизносостойких чугунов для отливок, работающих в условиях повышенных температур, износа и агрессивных газовых сред: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2007. 18 с.

Сведения об авторах

Пивоварова Ксения Григорьевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологий обработки материалов, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: k.pivovarova@magtu.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

QUALITY SURFACE ASSURANCE FOR WIRE ROD OF HIGH-CARBON STEEL

Pivovarova Ksenia G. – Ph.D. (Eng), Associate Professor of Materials Processing Technologies Department, Novosibirsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: k.pivovarova@magtu.ru

Abstract. It is shown that undesirable and common surface defects that reduce the quality indicators of high-carbon hot rolled products and the operational characteristics of products made from it are surface decarburization and scale formation. Therefore, a high level of surface quality requirements are imposed on a high-carbon steel rod, including the depth of the visible decarbonized layer and the thickness of the surface scale, which are normalized by the relevant regulatory documentation. This paper presents the results of laboratory studies of high-temperature oxidation and decarburization of wire rod made of high-carbon steel grade 80 by synchronous thermal analysis methods. Temperature intervals of intensification of scale formation and decarburization in various media (weakly oxidizing and oxidizing)

have been established. The phase transformations in high-carbon steel grade 80 were studied by differential scanning calorimetry (DSC) and the optimal temperatures for the formation of homogeneous austenite during heating were established. It is noted that in the range of heating temperatures of steel 720÷950 °C, along with phase transformations, the intensification of the processes of scale formation and the depletion of the surface layers with carbon begins. The features of the kinetics of steel oxidation under non-isothermal conditions under continuous heating to a given temperature are studied by the method of thermogravimetric analysis (TG). The temperatures of the maximum oxidation rate are determined. It is shown that the rate of oxidation with an increase in the temperature of the workpiece from 900 to 1000 °C increases by 3 times, and up to 1200 °C-by 8 times. The optimal heating temperature of the workpieces before rolling (1157 °C) and the critical temperature (929 °C) of oxidation are found. The obtained results can be used to select the main technological parameters of the heat treatment mode of wire rod made of grade 80 steel, which ensures the formation of a low amount of easily removed scale on the metal surface and a minimum depth of the decarbonized layer.

Keywords: high-carbon wire rod, grade 80 steel, thermal analysis, DSC curve, TG curve, oxidation, decarburization.

Ссылка на статью:

Пивоварова К.Г. Обеспечение качества поверхности высокоуглеродистой стальной катанки // Теория и технология металлургического производства. 2021. №3(38). С. 24-29.

Pivovarova K.G. Quality surface assurance for wire rod of high-carbon steel. *Teoria i tehnologija metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2021, vol. 38, no. 3, pp. 24-29.

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621.74

Зарицкий Б.Б., Савинов А.С., Феоктистов Н.А., Тютряков Н.Ш., Постникова А.С.

ФОРМИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ИЗГИБА В БОЧКЕ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПРОКАТНОГО ВАЛКА ПРИ ЕГО ТЕРМООБРАБОТКЕ

Аннотация. В статье рассматривается частный случай напряженного состояния тела двуслойного прокатного валка при термообработке. Для решения этой проблемы предлагается использовать математический аппарат, позволяющий определять напряженное состояние по сечению валка при изгибе. На основе полученных данных делаем вывод, что уменьшение стенки бандажа валка приводит к росту напряженного состояния в периферийных слоях вала и на границы свариваемости. На основе анализа построенных зависимостей видно, что изменение механических свойств материалов рабочего слоя и сердцевины значительным образом сказывается на разности как нормальных, так и касательных напряжений на границе свариваемости рабочей слой – сердцевина.

Ключевые слова: прокатный валок, математическая модель, напряженное состояние, модуль упругости, касательные и нормальные напряжения.

Введение

При изготовлении прокатных валков разнородной упругости (состоящих из различных материалов – рабочего слоя и центральной части валка) достаточно остро стоит вопрос о получении здорового тела изделия в процессе его термообработки [1]. Следует отметить, что зачастую нарушение сплошности тела валка происходит по границе сопряжения рабочего слоя с материалом сердцевины, это связано с возникающими термическими, фазовыми напряжениями, а также напряжениями от изгиба возникающего при двух- или четырехточечном креплении валка при его термообработке [2]. Рассмотрим вопрос о возникновении напряженного состояния по сечению валка вследствие деформаций изгиба.

Теоретическая часть

При расчете на изгиб бруса разнородной упругости все его геометрические характеристики приводятся к одному материалу [3]. При вычислении геометрических характеристик величина площади поперечного сечения, принадлежащей каждому материалу, умножается на коэффициент, равный отношению модуля упругости данного материала к модулю упругости приводимого материала (обычно того площадь, которого больше) [4].

Таким образом, выражения геометрических характеристик будут иметь вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} A_{\text{пр}} = \int_A \frac{E}{E_0} dA \\ S_{\text{пр}} = \int_A y \frac{E}{E_0} dA \\ I_{\text{пр}} = \int_A y^2 \frac{E}{E_0} dA \end{array} \right\},$$

где $A_{\text{пр}}$, $S_{\text{пр}}$, $I_{\text{пр}}$ – геометрические характеристики приведенного сечения – площадь, статический момент, момент инерции соответственно;

E , E_0 – модули продольной упругости соответствующей элементарной площадки dA и приводимого материала соответственно.

В работе будем рассматривать два жестко сопряженных элемента круглого и кольцевого сечения из различных материалов j , i (рис. 1).

Определим центр тяжести приведенного сечения по формуле [5, с. 9]

$$a = \frac{S_z^{\text{пр}}}{A_{\text{пр}}}, \quad (1)$$

где $A_{\text{пр}}$ – приведенная площадь сечения, см²;

$S_z^{\text{пр}}$ – статический момент приведенного сечения, см³.

Статический момент приведенного сечения [5]

$$S_z^{\text{пр}} = A_i a_i + A_j a_j \frac{E_i}{E_j}, \quad (2)$$

где A_i , A_j – площади i -го и j -го материала, см²;

a_i , a_j – расстояния от оси z до центра тяжести фигур из материалов i , j , см;

E_i , E_j – модули продольной упругости материалов i , j , МПа.

Приведенную площадь сечения [5, с. 9]

$$A_{\text{пр}} = \pi \left(r_j^2 + r_i^2 \left[\frac{E_i}{E_j} - 1 \right] \right), \quad (3)$$

где r_i , r_j – радиусы элементов из i -го и j -го материала, см.

Через найденное расстояние a проведем нейтральную ось x (см. рис. 1).

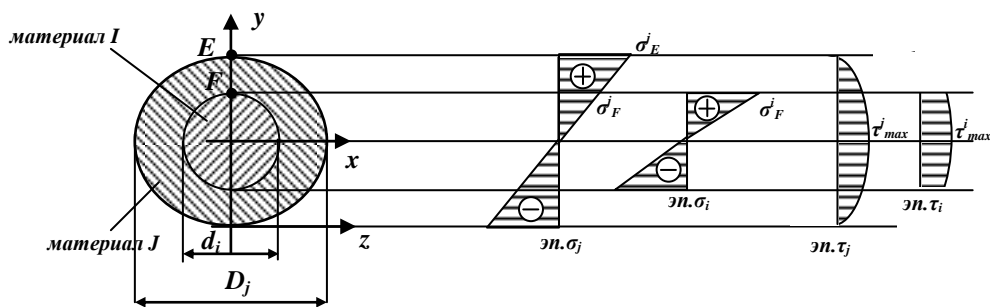


Рис. 1. Схема напряженного состояния биметаллического вала при изгибе

Определим приведенный осевой момент инерции относительно нейтральной оси x [5] как

$$I_x^{np} = I_x^i + I_x^j \frac{E_i}{E_j}, \quad (4)$$

где I_x^{np} – приведенный осевой момент инерции относительно нейтральной оси x , см^4 ; I_x^i, I_x^j – моменты инерции сечений из материалов i, j , см^4 .

$$I_x^i = \frac{\pi d_i^4}{64}; \quad (5)$$

$$I_x^j = \frac{\pi d_j^4}{64} \left[1 - \left(\frac{d_i}{d_j} \right)^4 \right]. \quad (6)$$

Возникающие на стыке материалов i и j нормальные напряжения в т. F , а также максимальные нормальные в т. E и касательные (рис. 1) определим по формулам:

$$\sigma_E^j = \frac{M}{I_x^{np}} r_j; \quad (7)$$

$$\sigma_F^j = \frac{M}{I_x^{np}} r_i; \quad (8)$$

$$\sigma_F^i = \frac{E_i}{E_j} \frac{M}{I_x^{np}} r_i. \quad (9)$$

Для определения касательных напряжений найдем приведенный статический момент [5]:

$$S_{np} = \sum A_j y_c^j + \sum A_i y_c^i \frac{E_i}{E_j}, \quad (10)$$

где y_c^i, y_c^j – расстояние от нейтральной оси x до центра тяжести фигур из материалов i, j , см .

Для полукольца и полукруга y_c^i, y_c^j определяются как

$$y_c^i = \frac{4r_i}{3\pi}; \quad (11)$$

$$y_c^i = \frac{4(r_j^2 + r_j r_i + r_i^2)}{3\pi(r_j + r_i)}. \quad (12)$$

Тогда, используя уравнение Журавского [5], максимальные касательные напряжения определим как

$$\tau_j^{\max} = \frac{QS_{np}}{I_x^{np} D_{np}}; \quad (13)$$

$$\tau_i^{\max} = \frac{QS_{np}}{I_x^{np} D_{np}} \frac{E_i}{E_j}, \quad (14)$$

где D_{np} – длина волокна сечения, по которому определяются касательные напряжения, см ,

$$D_{np} = D_j + D_i \left(\frac{E_i}{E_j} - 1 \right). \quad (15)$$

Практическая часть

Применим выражения (7-9), (13), (14) для расчета напряженного состояния бочки двуслойного прокатного вала диаметром 820 мм и длиной 2200 мм, толщина стенки бондажа 50 мм, при двухконтактной опоре вала в процессе его термообработки. При весе бочки вала 221 кН максимальный момент, возникающий в сечении, будет равен 6077,5 кНсм, максимальное поперечное усилие 110,5 кН. Определим возникающее напряженное состояние в характерных точках E, A (см. рис. 1) при изгибе вала. Рассмотрим изменения происходящие при изменении соотношения диаметров рабочего слоя вала и основного материала рис. 2. При расчете зависимостей (рис. 2, а, б) модуль продольной упругости принимался для материала $j - 2 \cdot 10^5$ МПа, $i - 1,8 \cdot 10^5$ МПа. При расчете зависимостей (рис. 2, в, г) диаметры принимались равными $D_j = 820$ мм, $d_i = 720$ мм.

Как видно из рис. 2, а уменьшение стенки бондажа (материал j) приводит к росту напряженного состояния в исследуемых характерных точках E, F . Это связано прежде всего с разными механическими характеристиками двух материалов, выраженных в данном случае модулями продольной упругости. Максимальные нормальные напряжения возникают в

т. E , что согласуется с уравнением Навье, определяющим распределение нормальных напряжений при изгибе стержня. Вместе с тем следует отметить, что с уменьшением толщины стенки бондажа растет разность напряжений на границе двух материалов (рис. 3, а) и как следствие, увеличивается вероятность наруше-

ния сплошности вала в процессе его термообработки по границе свариваемости, зачастую имеющую более низкие прочностные характеристики, нежели механические свойства свариваемых материалов. Аналогичную картину мы видим при исследовании максимальных касательных напряжений (см. рис. 2, б.)

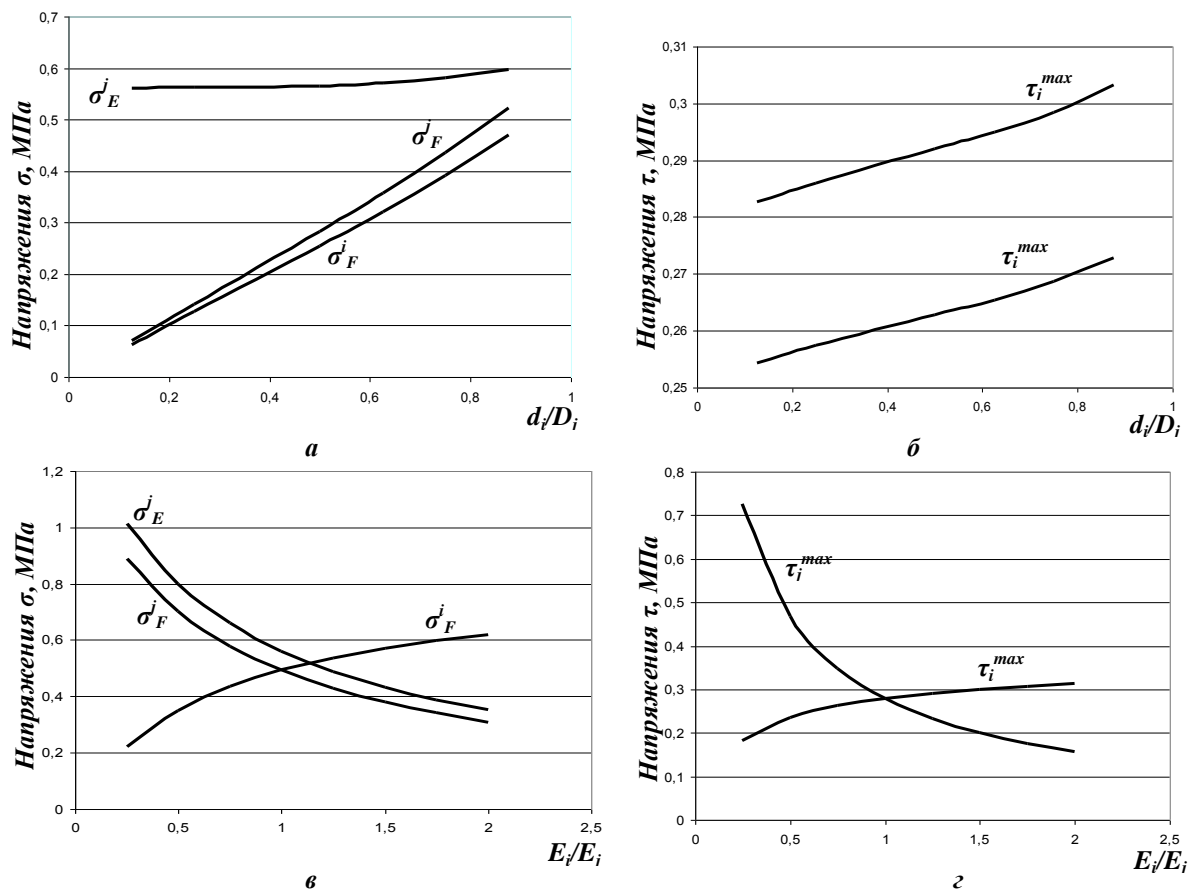


Рис. 2. Изменение напряжений в точках E, F в зависимости от соотношения диаметров (а, б) и модулей упругости (в, г) бондажа и основного слоя прокатного вала

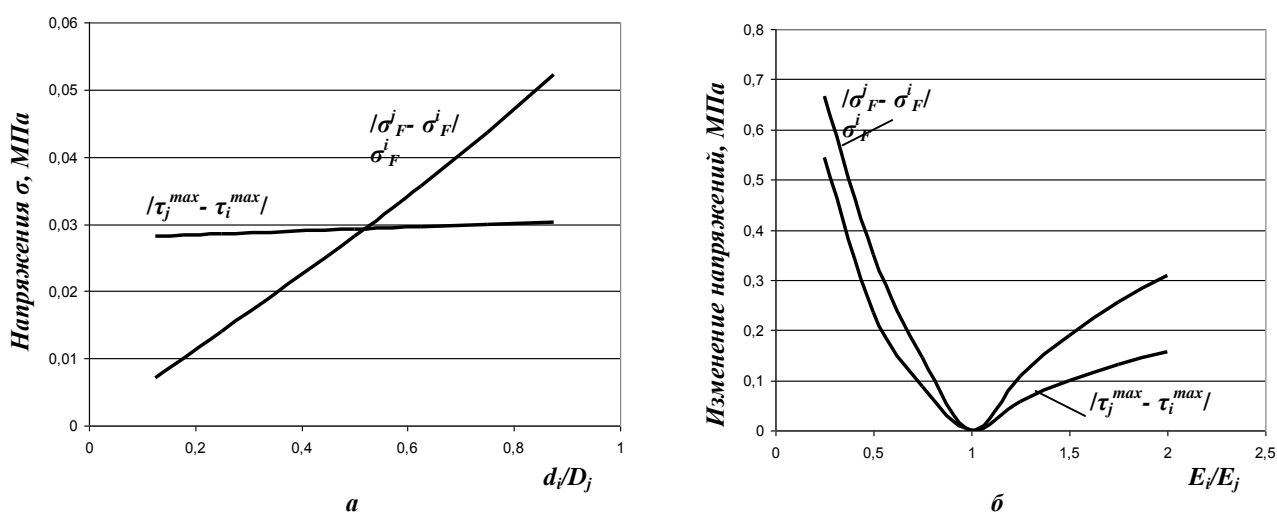


Рис. 3. Абсолютное изменение напряжений на границе материалов в зависимости от соотношения диаметров (а), и модулей упругости (б) бондажа и основного слоя прокатного вала

Рост касательных напряжений при увеличении внутреннего диаметра бондажа также связан с различными модулями продольной упругости свариваемых материалов, однако разность касательных напряжений двух материалов в точке сопряжения, практически постоянна (см. рис. 3, а).

Влияние материалов рабочего слоя и основы на возникающие напряжения выразили через соотношение модулей упругости E_i/E_j . Полученное решение представлено на рис. 2, в, г. Как видно из графика, изменение механических свойств материала значительным образом сказывается на разности как нормальных (см. рис. 2, в), так и касательных (см. рис. 2, г) напряжений на границе свариваемости рабочий слой – сердцевина. Это особенно хорошо заметно на рис. 3, б, где показана разность по модулю напряжений рабочего и основного слоя, взятая в точке свариваемости F . Как следствие, исходя из графиков, видно, что значительное изменение свойств материала приводит к росту абсолютных отклонений как касательных, так и нормальных напряжений, что в соответствии с законом Гука говорит о значительном различии возникающих деформаций, а следовательно, чем больше отклонение в модулях продольной упругости материала бондажа и основы, тем больше вероятность расслоения по границе свариваемости.

Выводы

Таким образом, в результате проведенной работы адаптирован математический аппарат, обеспечивающий определение напряженного состояния по сечению двухслойного прокатного валка при изгибе.

Выявлено, что уменьшение стенки рабочего слоя прокатного валка приводит к росту напряженного состояния как по сечению, так и на границе свариваемости бондажа и сердцевины при изгибе в процессе термообработки изделия.

Сведения об авторах

Зарицкий Борис Борисович – старший преподаватель кафедры «Механика», ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: zaritskii.boris.borisovich@yandex.ru.

Савинов Александр Сергеевич – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Механика», ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: savinov_nis@mail.ru.

Феоктистов Николай Александрович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Литейные процессы и материаловедение», ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: fna87@mail.ru.

Тютеряков Наиль Шаукатович – кандидат технических наук, доцент кафедры «ПиЭММО», ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: n.tutyeryakov@magtu.ru.

Постникова Алена Сергеевна – старший преподаватель кафедры «Механика», ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: a.tuboltseva@magtu.ru.

Установлено, что чем больше отклонение в значениях модуля продольной упругости материалов рабочего слоя и основы, тем больше возникающие напряжения по границе свариваемости материалов, а так же по сечению в целом.

Список литературы

1. Савинов А.С., Тубольцева А.С. Расчет напряжений в углеродистых сталях при высоких температурах // Современные технологии в машиностроении: материалы XV Международной научно-технической конференции. Пенза: Приволжский дом знаний, 2011. С. 38–40.
2. Савинов А.С., Тубольцева А.С., Зарицкий Б.Б. Прогнозирование напряжений в толстостенных отливках при деформациях в температурном интервале хрупкости // Актуальные вопросы в научной работе и образовательной деятельности: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 10 томах. 2015. С. 128–130.
3. Савинов А.С., Зарицкий Б.Б. Прогнозирование механических свойств стали // Итоги научных исследований: сборник статей Международной научно-практической конференции. 2015. С. 22–26.
4. Третьяков А.В., Трофимов Г.К., Гурьянова Н.К. Механические свойства сталей и сплавов при пластическом деформировании. М.: Машиностроение, 1971. 63 с.
5. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов : учебное пособие. 17-е изд. М.: МГТУ им. Баумана, 2018. 542 с. Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/106484> (дата обращения: 10.11.2020). Режим доступа: для авториз. пользователей.

FORMATION OF BENDING STRESSES IN THE BARREL OF BIMETALLIC ROLLING ROLLS DURING THEIR HEAT TREATMENT

Zaritskii Boris B. – Senior Lecturer of department «Mechanics», Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: zaritskii.boris.borisovich@yandex.ru.

Savinov Alexander S. – Doctor of Technical Sciences, head of department «Mechanics», Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: savinov_nis@mail.ru.

Feoktistov Nikolay A. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of department «Foundry Processes and Material Science», Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: fna87@mail.ru.

Tyuteryakov Nail Sh. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of department of Design and operation of metallurgical machinery and equipment («PiEMMO»), Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: n.tyuteryakov@magtu.ru.

Postnikova Alyona S. – Senior Lecturer of department «Mechanics», Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: a.tuboltseva@magtu.ru.

Abstract. The article deals with a particular case of stressed state of a body of a bimetallic rolling roll during heat treatment. To solve this problem, it is proposed to use a mathematical apparatus, which allows to determine the stress state of the roll cross-section during bending. Based on the data obtained, we conclude that the reduction of the roll band wall leads to an increase in the stress state in the peripheral layers of the roll and at the boundary of weldability. Based on the analysis of the dependencies, it is seen that the change in the mechanical properties of the working layer and the core materials significantly affects the difference between both the normal and shear stresses on the boundary of weldability of the working layer - the core.

Keywords: rolling roll, mathematical model, stress state, modulus of elasticity, tangential and normal stresses.

Ссылка на статью:

Формирование напряжений изгиба в бочке биметаллического прокатного валка при его термообработке / Зарицкий Б.Б., Савинов А.С., Феоктистов Н.А., Тютеряков Н.Ш., Постникова А.С. // Теория и технология металлургического производства. 2021. №3(38). С. 30-34.
Zaritskii B.B., Savinov A.S., Feoktistov N.A., Tyuteryakov N.Sh., Postnikova A.S. Formation of bending stresses in the barrel of bimetallic rolling rolls during their heat treatment. *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2021, vol. 38, no. 3, pp. 30-34.

ИНФОРМАЦИОННОЕ ПИСЬМО

Уважаемые коллеги!

Приглашаем Вас принять участие в издании научного журнала «*Теория и технология металлургического производства*» («*Teoriã i tehnologiã metallurgiçeskogo 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