

ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

№ 3 (30) 2019

Журнал входит в базу 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:

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

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»

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 материаловедения
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», 2019**

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
связей, информационных технологий и массовых коммуникаций

Адрес редакции:

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38
Тел.: (3519) 29-84-64.
E-mail: ТТaPEoMP@ 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 27.09.2019. Заказ 290. Тираж 500 экз.
Цена свободная.

THE THEORY AND PROCESS ENGINEERING OF METALLURGICAL PRODUCTION

No. 3 (30) 2019

The journal is incorporated 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:

K.N. Vdovin – D.Sc., Professor,
Nosov Magnitogorsk State Technical University

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»

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.,
Nosov Magnitogorsk State Technical University

Scientific Editor:

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

Technical Editor:

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

K.I. Rud

Designer:

E.O. Harchenko

© FSBEI of HE “Nosov Magnitogorsk State Technical University”, 2019

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:

38, pr. Lenina, city of Magnitogorsk 455000, Russia
Tel.: +7 (3519) 29-84-64.
E-mail: TTAPEoMP@ magtu.ru; ttmp@ magtu.ru

Printing office:

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

Editorial office:

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

Publication date 27.09.2019. Order 290. Circulation: 500.
Open price.

СОДЕРЖАНИЕ

МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ.....	4
Бунеева Е.А., Столяров А.М., Мошкун В.В., Потапова М.В.	
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МЯГКОГО ОБЖАТИЯ НА КАЧЕСТВО ТОЛСТЫХ СЛЯБОВ ИЗ ТРУБНОЙ СТАЛИ	4
Мурзадеров А.В., Нешпоренко Е.Г.	
АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ СИДЕРИТОВЫХ РУД С ПРИМЕНЕНИЕМ ГАЗОВЫХ ТУРБИН	8
Зарецкий М.В., Соколова Е.В., Власова П.С.	
МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА МЕТОДАМИ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	12
ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО	17
Постникова А.С.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ СТЕНКИ ОТЛИВКИ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПРИ ЗАТВЕРДЕВАНИИ	17
ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ.....	20
Губанов С.А., Чикишев Д.Н.	
ОСОБЕННОСТИ КОМПОЗИЦИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СТАЛИ ДЛЯ ЖЕСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ В УСЛОВИЯХ ПАО «ММК»	20

CONTENTS

METALLURGY OF BLACK, COLOR AND RARE METALS.....	4
Buneeva E.A., Stolyarov A.M., Moshkunov V.V., Potapova M.V.	
STUDY OF THE SOFT REDUCTION INFLUENCE ON THE QUALITY OF THICK SLABS MADE OF PIPE STEEL	4
Murzaderov A.V., Neshporenko E.G.	
ANALYSIS OF POSSIBILITY OF ENERGY MODERNIZATION OF THE PROCESSING SIDERITE ORES TECHNOLOGY WITH THE USE OF GAS TURBINES	8
Zaretsky M.V., Sokolova E.V., Vlasova P.S.	
MODELING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF STEELMAKING PRODUCTION BY METHODS OF ENGINEERING TECHNOLOGIES	16
FOUNDRY	17
Postnikova A.S.	
DETERMINATION OF EQUIVALENT HEAT CAPACITY OF CASTING WALL FOR CALCULATION OF TEMPERATURE FIELD DURING SOLIDIFICATION	19
PROCESSING OF METALS BY PRESSURE.....	20
Gubanov S.A., Chikishev D.N.	
FEATURES OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF STEEL FOR TIN BY PRODUCTION IN THE CONDITIONS OF PJSC MMK	20

МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

УДК 621.74.047

Бунеева Е.А., Столяров А.М., Мошкунов В.В., Потапова М.В.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МЯГКОГО ОБЖАТИЯ НА КАЧЕСТВО ТОЛСТЫХ СЛЯБОВ ИЗ ТРУБНОЙ СТАЛИ

Аннотация. В работе сравнивается качество макроструктуры осевой зоны толстых слябов толщиной 350 мм из трубной стали класса прочности К60 с внешним воздействием в виде мягкого обжатия и без него. Приведены данные об изменении содержания и зональной химической неоднородности нескольких элементов по толщине заготовок. Мягкое обжатие в процессе отливки слябов способствует улучшению качества макроструктуры осевой зоны заготовок.

Ключевые слова: непрерывная разливка, трубная сталь, мягкое обжатие, сляб, макроструктура, качество.

Слябы толщиной 350 мм из трубной стали отливаются на одноручьевой слябовой МНЛЗ криволинейного типа с вертикальным участком кислородно-конвертерного цеха ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» [1, 2]. Машина оснащена оборудованием для осуществления мягкого обжатия отливаемой заготовки [3–5]. В работе сравнивается качество макроструктуры осевой зоны толстых слябов из трубной стали с внешним воздействием в виде мягкого обжатия и без него.

Трубная сталь класса прочности К60 имела следующий марочный химический состав (% по массе):

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Al	Ti	N	Mo	Nb
0,07	0,28	1,64	0,002	0,010	0,05	0,18	0,15	0,04	0,02	0,005	0,003	0,05

Разливка была произведена на слябы с размерами поперечного сечения 350×2600 мм. Температура ликвидус металла составила 1517 °С. Металл в промежуточном ковше МНЛЗ имел температуру 1544 °С. Из кристаллизатора МНЛЗ слябы вытягивались со скоростью 0,70 м/мин. Мягкое обжатие заготовок на величину 5 мм производилось в 13 и 14 сегментах зоны вторичного охлаждения (всего машина имеет 15 сегментов). Из одного сляба (второго по порядку разливки) с мягким обжатием и одного (последнего тринадцатого) без обжатия были отобраны осевые поперечные темплеты. Вид этих темплетов после механической обработки и травления представлен на рис. 1.

При рассмотрении этих рисунков не следует обращать внимание на локальные темные участки в виде пятен – это дефекты обработки темплетов. В центральной (по высоте) части темплетов имеются различия в структуре металла. Так, на темплете из сляба без обжатия (см. рис. 1) видны рыхлость и следы ликвации (отмечены стрелками), в то время как на темплете из заготовки с мягким обжатием эти дефекты отсутствуют.

© Бунеева Е.А., Столяров А.М., Мошкунов В.В., Потапова М.В., 2019

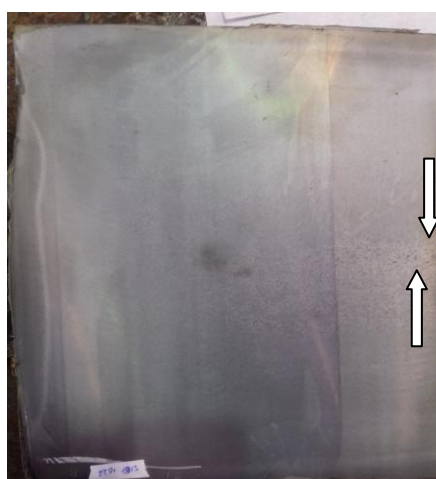


Рис. 1. Вид макроструктуры слябов с мягким обжатием (вверху) и без обжатия (внизу): г и R – стороны малого и большого радиусов

Из каждого темплета по их высоте (это соответствует толщине сляба) были вырезаны узкие пробы металла, каждая из которых разделена на четыре части для надежного крепления при проведении химического анализа (рис. 2). После зачистки поверхности проб на различном расстоянии от верхней стороны сляба был проанализирован химический состав металла с использованием эмиссионного спектрометра SPECTROLAB M8A. Анализ производился в двух точках на каждом горизонте с последующим усреднением результатов.



Рис. 2. Пробы для проведения химического анализа металла

Распределение содержания в металле углерода, серы и фосфора по толщине заготовок показано на рис. 3.

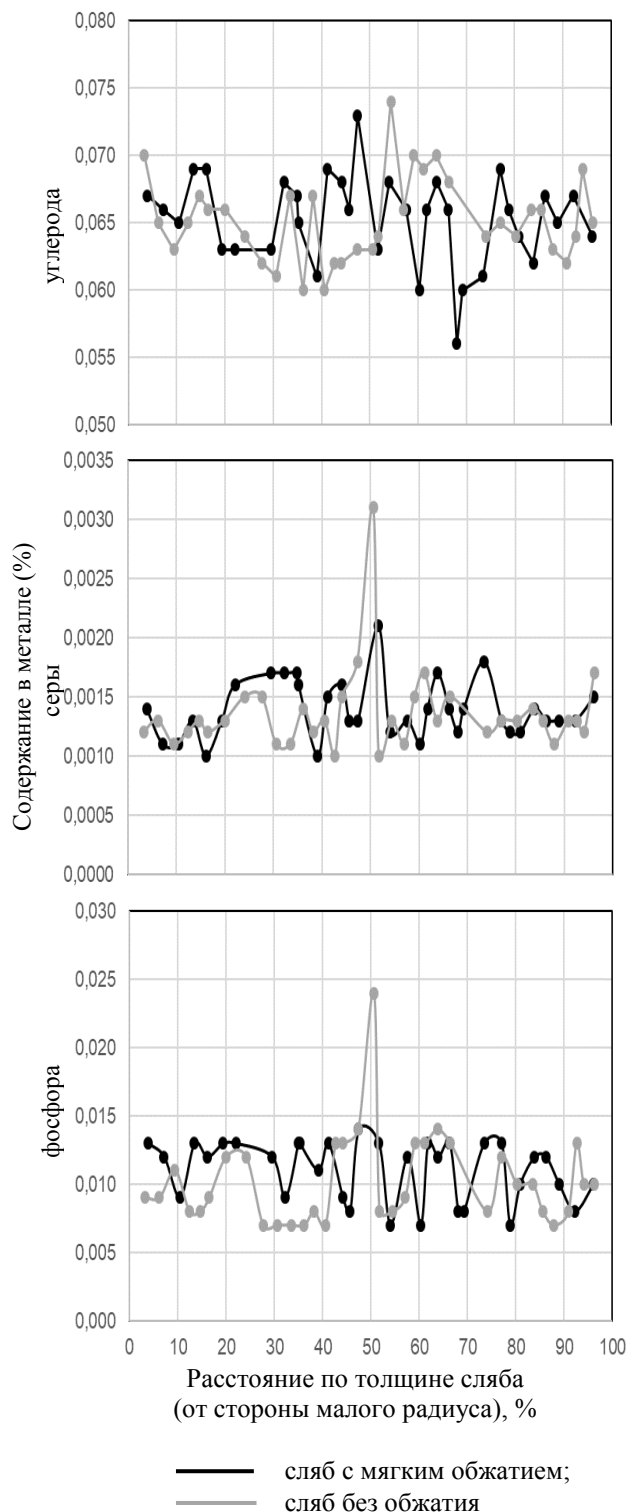


Рис. 3. Изменение содержания углерода, серы и фосфора по толщине слябов, отлитых с мягким обжатием и без него

Степень зональной химической неоднородности элементов была рассчитана относительно среднего содержания каждого элемента в сделанных замерах. Изменение значений этого параметра по толщине слябов для углерода, серы и фосфора представлено на рис. 4.

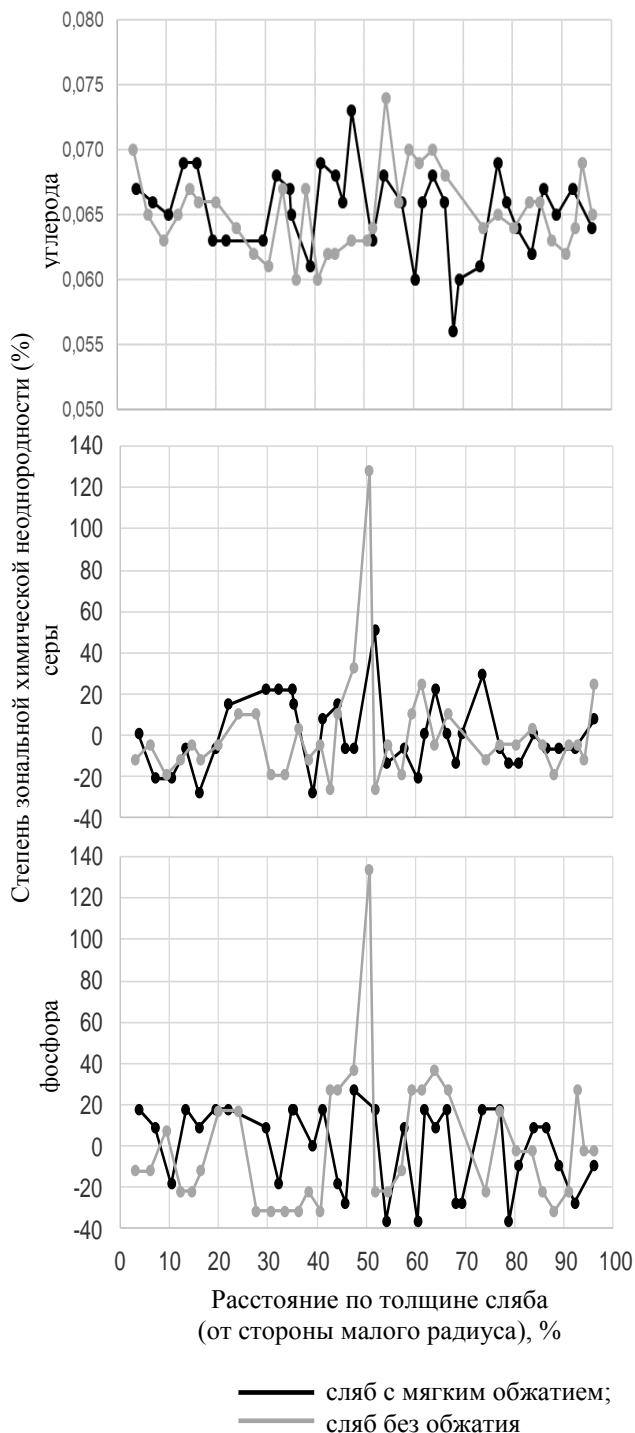


Рис. 4. Данные о степени зональной химической неоднородности

Из рис. 3 видно, что в осевой части отлитых заготовок наблюдается резкое повышение содержания всех рассмотренных элементов, особенно серы и фосфора, имеющих большую склонность к ликвации, что ведет к росту осевой химической неоднородности металла (см. рис. 4). Мягкое обжатию позволило уменьшить химическую неоднородность в осевой зоне сляба. Это подтверждается данными о максимальной степени зональной химической неоднородности элементов (%):

Элемент	C	Si	Mn	S	P	Al
Металл с обжатию	11,8	4,9	1,9	51,0	26,9	15,4
Металл без обжатию	13,5	11,4	12,6	127,9	133,9	21,4

Таким образом, сравнение качества трубного металла класса прочности К60 показало, что мягкое обжатию в процессе отливки слябов толщиной 350 мм способствует улучшению качества макроструктуры осевой зоны заготовок.

Список литературы

1. Модификация оборудования МНЛЗ №6 с целью освоения разливки сляба толщиной 350 мм / Д.В. Рабаджи, М.В. Злов, В.А. Авраменко и др. // Сборник трудов XV международного Конгресса сталеплавильщиков и производителей металла: Межрегиональная общественная организация «Ассоциация сталеплавильщиков». Москва – Тула, 15–19 октября 2018. М., 2018. С. 409–412.
2. Колесников Ю.А., Буданов Б.А., Столяров А.М. Металлургические технологии в высокопроизводительном конвертерном цехе: учеб. пособие Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2015. 379 с.
3. Столяров А.М., Мошкунов В.В., Казаков А.С. Мягкое обжатию слябов при разливке трубной стали на криволинейной МНЛЗ с вертикальным участком Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. – 116 с.
4. О способах воздействия на процесс формирования стальной непрерывнолитой заготовки / А.М. Столяров, Сомнат Басу, М.В. Потапова, С.В. Дидович // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №1 (45). С. 24 – 27.
5. Мягкое обжатию толстых слябов из трубной стали / Е.А. Бунеева, А.М. Столяров, В.В. Мошкунов, М.В. Потапова // Теория и технология металлургического производства. 2019. №1 (28). С. 13-17.

Сведения об авторах

Бунеева Евгения Александровна – аспирант кафедры металлургии и химических технологий Института металлургии, машиностроения и материаловедения, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: mchm@magtu.ru

Столяров Александр Михайлович – д-р техн. наук, проф. кафедры металлургии и химических технологий Института металлургии, машиностроения и материаловедения, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: mchm@magtu.ru

Мошкунев Владимир Викторович – канд. техн. наук, инженер-технолог фирмы «SMS-group», Магнитогорск.

Потапова Марина Васильевна – канд. техн. наук, доц. кафедры металлургии и химических технологий Института металлургии, машиностроения и материаловедения, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: mchm@magtu.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

STUDY OF THE SOFT REDUCTION INFLUENCE ON THE QUALITY OF THICK SLABS MADE OF PIPE STEEL

Buneyeva Yevgeniya Aleksandrovna – PhD student of Metallurgy and Chemical Technology Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation. Phone: 8(3519)29-85-73. E-mail: mcm@magtu.ru

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

Moshkunov Vladimir Viktorovich – Ph.D. (Eng.), engineer-technologist "SMS-Group", Magnitogorsk, Russian Federation. E-mail: mcm@magtu.ru

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

***Abstract:** The paper compares the quality of the macrostructure of the axial zone of thick slabs with a thickness of 350 mm made of strength class K60 pipe steel with soft reduction and without it. Data on changes in the content and zonal chemical heterogeneity of several elements over the thickness of the workpieces are presented. Soft compression during the casting of slabs improves the quality of the macrostructure of the axial zone of the workpieces.*

***Key words:** continuous casting, pipe steel, soft reduction, slab, macrostructure, quality.*

Ссылка на статью:

Бунеева Е.А., Столяров А.М., Мошкунев В.В., Потапова М.В. Изучение влияния мягкого обжата на качество толстых слябов из трубной стали // Теория и технология металлургического производства. 2019. №3(30). С. 4-7.

Buneeva E.A., Stolyarov A.M., Moshkunov V.V., Potapova M.V. Study of the soft reduction influence on the quality of thick slabs made of pipe steel. *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2019, vol. 30, no. 3, pp. 4-7.

УДК 662.987.2

Мурзадеров А.В., Нешпоренко Е.Г.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ СИДЕРИТОВЫХ РУД С ПРИМЕНЕНИЕМ ГАЗОВЫХ ТУРБИН

Аннотация. В работе рассматривается вопрос возможности применения газотурбинной установки в тепловой технологии обжига сидеритовой руды. Проанализировано потребление электрической энергии на действующем предприятии для определения требуемой мощности, которая составила 10,25 МВт. Составлена математическая модель процесса горения природного газа в камере сгорания газовой турбины с последующим использованием отработавших продуктов сгорания в печи обжига сидеритовой руды. Получено, что для обеспечения собственной электрической энергией потребуются установить перед двумя печами две газовых турбины мощностью по 5 МВт каждая. Это приведет к возрастанию расхода топлива предприятием, но позволит исключить закупку электрической энергии из внешних сетей, что приведет к снижению себестоимости конечной продукции.

Ключевые слова: теплотехнология, сидеритовая руда, обжиг, электропотребление, газовая турбина, энергосбережение, расход топлива

Введение

Бакальское месторождение железных руд является одним из крупнейших в России. Основу минеральных ресурсов месторождения составляет сидеритовая руда, которая по месту добычи проходит технологические стадии обработки дроблением, классификацией, окислительным обжигом и последующей магнитной сепарацией с получением концентрата обожженного сидерита (КОС).

Энерготехнологический комплекс предприятия представлен шахтными печами для обжига сидеритовых руд. Обжиг сидеритовой руды осуществляют продуктами сгорания природного газа при температуре 1000-1100°C. Для достижения требуемых температур природный газ сначала сжигают с воздухом с коэффициентом избытка 2,2. Продукты сгорания из камеры сгорания по кернам с жаровыми каналами поступают в центр шахтной печи, где смешиваются с подсосываемым из зоны охлаждения воздухом. Таким образом, суммарный коэффициент избытка воздуха составляет 3,0 [1].

Шахтная печь для обжига сидеритовой руды организована по принципу противотока движения теплоносителя, направляемому снизу вверх, и технологического материала, направляемого сверху в низ. Проходя зону обжига, технологический материал попадает в зону воздушного охлаждения находящуюся ниже уровня керна с жаровыми каналами подвода греющего теплоносителя.

Следует отметить, что теплотехнология обжига сидеритовых руд на Бакальском предприятии ведется по двум тепловым схемам: с регенерацией теплоты обожженного технологического материала и по схеме без регенерации. При этом расход природного газа, приведенный к конечному КОС, после обжига и магнитного обогащения при результирующей степени

извлечения железорудного материала 0,59 [1] составляет для первого варианта составляет около 30 м³, для второй схемы – около 50 м³ на тонну концентрата.

По данным технической эксплуатации печей [1] можно определить энергетическую эффективность использования первичного энергетического ресурса в пределах обжиговой печи, которая составляет 41,5%, при этом физические тепловые потери с отходящими газами составляют 45,3% с температурой до 600°C.

Электрическая энергия используется на всем этапе подготовки руд к обогащению (бурение, экскавация, транспорт), но особенно много на измельчение и дробление – до 40-60 кВт·ч/т [2]. В процессе обогащения также потребляется значительное количество электрической энергии. Например, обогатительная фабрика в составе горно-обогатительного комбината (ГОК) в целом потребляет электроэнергию 65-80 кВт·ч/т руды. Если учесть затраты на карьерные работы и вывоз руды, освещение объектов и другие вспомогательные нужды, то можно оценить общие затраты электроэнергии на ГОК величиной порядка 80-100 кВт·ч/т руды.

Следует отметить, что рудодобывающие и обогащательные предприятия находятся, как правило, вдали от городской инфраструктуры и электрических станций, поэтому производство электроэнергии на станции превышает потребление энергии на предприятии на величину потерь при ее транспорте и распределении. Потребитель же (предприятие) оплачивает всё, в том числе и потери электрической энергии при транспорте.

Фактические суммарные потери электроэнергии в российских сетях приблизительно оцениваются в 13,1%, при этом значительная часть потерь электроэнергии (около 20%) не учитываются Росстатом. В отдельных распределительных линиях 0,4-10,0 кВ распределительных сетевых компаний (РСК) фактические относительные потери электроэнергии достигают 30-40% [3].

Таким образом, можно оценить суммарные потери электроэнергии от станций до ГОК в 15-20%. То есть

для потребления 80-100 кВт·ч/т руды в добывающем и обогатительном комплексе от станций должно быть отпущено около 100-120 кВт·ч электрической энергии.

В настоящее время интенсивно развивается рынок газотурбинных установок (ГТУ), которые в первую очередь предназначены для выработки электрической энергии. Как правило, ГТУ работают по связке с котлом-утилизатором, который встроен в классический цикл систем генерации электрической энергии. Коэффициент полезного действия современных ГТУ достигает 35-40% при рабочей температуре рабочего тела 1300÷1600°С на входе. При совместном включении ГТУ с котлом-утилизатором в схему тепловой электрической станции тепловой коэффициент полезного действия повышается до 55-60%.

Рассматриваются варианты включения газовых турбин как надстройку над другим энергетическим циклом или для использования вторичных энергетических ресурсов основного технологического процесса, однако практически не рассматривается вопрос включения газовой турбины перед технологическим процессом. Вероятно, это обусловлено низкой температурой отходящих газов из газовой турбины 450-600°С [4].

Следует отметить, что в действующей тепловой технологии обогащения сидеритовой руды её обработка осуществляется продуктами сгорания природного газа при температуре 1000÷1100°С. Таким образом, если рассматривать вариант включения газовой турбины как надстройку над печью для обжига сидеритовой руды, то при этом требуется повысить температуру отходящих газов из газовой турбины 450-600°С до требуемого значения в 1000 - 1100°С. Для этого необходимо составить математическую модель процесса горения топлива, позволяющую по заданным исходным параметрам системы рассчитать основные компоненты газообразных продуктов, выходящих из газовой турбины, а также рассчитать требуемое дополнительное количество топлива для повышения температуры газообразных продуктов до температуры 1100°С, которая задан на технологией обжига сидеритовой руды [1, 5].

В процессе сгорания топлива, поступающего в газовую турбину, образуются продукты его сгорания с температурой около 2000°С, которые разбавляют воздухом для понижения до требуемой температуры рабочего тела ГТУ. Основные компоненты газообразного природного топлива приведены в таблице.

Основные компоненты газообразного природного топлива

Компоненты топлива	C _n H _m	H ₂	H ₂ S	CO	H ₂ O	CO ₂	N ₂
Обозначение	a _i	b	c	d	e	f	g
Пример, объёмные доли компонентов	0,95	0,01	0,0	0,0	0,01	0,02	0,01

В процессе горения принимают участие следующие компоненты топлива: C_nH_m, H₂, H₂S, CO. Соответственно реакции полного окисления приведённых компонентов запишутся следующим образом:

$$\sum_{i=1}^k a_i (C_{n_i} H_{m_i}) + \sum_{i=1}^k a_i \left(n_i + \frac{m_i}{4} \right) (O_2 + d_{N_2} N_2) = \left(\sum_{i=1}^k (a_i \cdot n_i) \right) (CO'_2) + \left(\sum_{i=1}^k \left(a_i \cdot \frac{m_i}{2} \right) \right) (H_2O') + \sum_{i=1}^k a_i \cdot \left(n_i + \frac{m_i}{4} \right) \cdot d_{N_2} (N'_2); \quad (1)$$

$$b(H_2) + 0,5 \cdot b(O_2 + d_{N_2} N_2) = b(H_2O') + 0,5 \cdot b \cdot d_{N_2} (N'_2); \quad (2)$$

$$c(H_2S) + 1,5 \cdot c(O_2 + d_{N_2} N_2) = c(H_2O') + c(SO'_2) + 1,5 \cdot c \cdot d_{N_2} (N'_2); \quad (3)$$

$$d(CO) + 0,5 \cdot d(O_2 + d_{N_2} N_2) = d(CO'_2) + 0,5 \cdot d \cdot d_{N_2} (N'_2). \quad (4)$$

Общее уравнение образования продуктов полного сгорания топлива с учетом избытка окислителя можно записать следующими уравнениями:

– баланс исходных компонентов газообразного топлива

$$\sum_{i=1}^k a_i (C_{n_i} H_{m_i}) + b(H_2) + c(H_2S) + d(CO) + e(H_2O) + f(CO_2) + g(N_2) = 1; \quad (5)$$

– расход окислителя на процесс горения

$$V_{OK} = \alpha \cdot A \cdot (1 + d_{N_2}), \quad (6)$$

где α – коэффициент избытка окислителя; d_{N_2} – отношение содержания балластных газов (азот) к кислороду в окислителе (для воздуха $d_{N_2} = 79/21 = 3,762$); параметр A

$$A = \left(\sum_{i=1}^k \left(n_i + \frac{m_i}{4} \right) \cdot a_i + 0,5 \cdot b + 1,5 \cdot c + 0,5 \cdot d \right). \quad (7)$$

Тогда объём образующихся газообразных продуктов реакции горения топлива заданного состава составит

$$V_{PC} = \left(\sum_{i=1}^k (a_i \cdot n_i) + d + f \right) (CO'_2) + \left(\sum_{i=1}^k \left(a_i \cdot \frac{m_i}{2} \right) + b + c + e \right) (H_2O') + c(SO'_2) + A \cdot (\alpha - 1) (O'_2) + \alpha \cdot d_{N_2} \cdot (A + g) (N'_2). \quad (8)$$

В результате полного окисления компонентов природного газа образуются новые соединения, которые смешивают с дополнительным окислителем (воздухом) для достижения заданной начальной температуры газов на входе в газовую турбину. Затем продукты смешения срабатываются и выходят из газовой турбины с заданной конечной температурой. Данный процесс можно описать путем составления материального и энергетического балансов с использованием констант равновесия, диссоциации и атомизации с применением фундаментальных академических данных [6].

При этом в продуктах могут присутствовать следующие компоненты: $\text{CO}'=x_1$, $\text{CO}_2'=x_2$, $\text{CH}_4'=x_3$, $\text{H}_2\text{O}'=x_4$, $\text{OH}'=x_5$; $\text{H}_2'=x_6$, $\text{O}_2'=x_7$, $\text{SO}_2'=x_8$, $\text{H}_2\text{S}'=x_9$, $\text{N}_2'=x_{10}$, а их распределение между собой зависит от температурного уровня и давления в системе. При относительно низких температурах горения (ниже 2500°C) атомарным состоянием отдельных элементов можно пренебречь [7]. Тогда материальный баланс по каждому элементу, входящему в уравнение (5), запишется таким образом:

баланс по углероду

$$\sum_{i=1}^k (a_i \cdot n_i) + d + f = x_1 + x_2 + x_3; \quad (9)$$

баланс по водороду

$$\sum_{i=1}^k (a_i \cdot m_i) + 2 \cdot b + 2 \cdot c + 2 \cdot e = 4 \cdot x_3 + 2 \cdot x_2 + x_5 + 2 \cdot x_6 + 2 \cdot x_9; \quad (10)$$

баланс по кислороду

$$d + e + 2 \cdot f + \sum_{i=1}^k a_i \left(n_i + \frac{m_i}{4} \right) (\text{O}_2) = x_1 + 2 \cdot x_2 + x_4 + x_5 + 2 \cdot x_7 + 2 \cdot x_8; \quad (11)$$

баланс по сере:

$$c = x_8; \quad (12)$$

баланс по азоту

$$2 \cdot g = 2 \cdot x_{10}. \quad (13)$$

Продукты реакции (5) в зависимости от температуры и давления системы распределятся между собой в соответствии с константами равновесия простых реакций, которые охватывают все продукты. Поскольку химических элементов, составляющих продукты сгорания 5 (С, Н, О, S, N), а самих продуктов сгорания 10, то система уравнений будет состоять из пяти уравнений материального баланса и 10-5=5 уравнений констант равновесия. Для записи констант равновесия можно воспользоваться химическими реакциями, в которые входят продукты реакции горения, например реакцией водяного газа, и соответствующая ей константа равновесия запишется:

$$K_{\text{P.вг.}}(T) = \frac{k_{\text{H}_2\text{O}}(T) \cdot k_{\text{CO}}(T)}{k_{\text{H}_2}(T) \cdot k_{\text{CO}_2}(T)} = \frac{x_7 \cdot x_1}{x_6 \cdot x_2}. \quad (14)$$

Реакция диссоциации водяных паров на молекулярные газы и соответствующая ей константа равновесия

$$K_{\text{P}_{\text{H}_2\text{O}}}(T) = \frac{k_{\text{H}_2\text{O}}(T)}{k_{\text{H}_2}(T) \cdot k_{\text{O}_2}(T)^{0.5}} = \frac{x_6 \cdot x_7^{0.5}}{x_4} \cdot \left(\frac{P}{x_4 + x_6 + x_7} \right)^{0.5}. \quad (15)$$

Реакция диссоциации водяных паров с образованием гидроксида и соответствующая ей константа равновесия

$$K_{\text{P}_{\text{H}_2\text{O}}}(T) = \frac{k_{\text{H}_2\text{O}}(T)}{k_{\text{OH}}(T) \cdot k_{\text{H}_2}(T)^{0.5}} = \frac{x_5 \cdot x_6^{0.5}}{x_4} \cdot \left(\frac{P}{x_4 + x_5 + x_6} \right)^{0.5}. \quad (16)$$

Константа равновесия химической реакции паровой конверсии метана может быть записана через константы атомизации веществ и через объемы компонентов системы с учетом давления

$$K_{\text{P}_{\text{МК}}}(T) = \frac{k_{\text{CH}_4}(T) \cdot k_{\text{H}_2\text{O}}(T)}{k_{\text{CO}}(T) \cdot k_{\text{H}_2}(T)^3} = \frac{x_1 \cdot x_6^3}{x_3 \cdot x_4} \cdot \left(\frac{P}{x_1 + x_3 + x_4 + x_6} \right)^2. \quad (17)$$

Константа равновесия химической реакции полного окисления сероводорода, записанная через константы атомизации веществ и объемы компонентов системы с учетом давления:

$$K_{\text{P}_{\text{СВ}}}(T) = \frac{k_{\text{H}_2\text{S}}(T) \cdot k_{\text{O}_2}^{1.5}(T)}{k_{\text{SO}_2}(T) \cdot k_{\text{H}_2\text{O}}(T)} = \frac{x_8 \cdot x_4}{x_9 \cdot x_7^{1.5}} \cdot \left(\frac{x_4 + x_7 + x_8 + x_9}{P} \right)^{0.5}. \quad (18)$$

Таким образом, составлена система из 10 уравнений с 10-ю неизвестными, которые описывают процесс горения и разбавления топлива в камере сгорания газовой турбины в полном объеме. Решая совместно уравнения (9)-(18), при заданной конечной температуре продуктов реакции, рассчитывают их количество.

Современные газовые турбины имеют широкий диапазон варьирования исходного давления газового топлива и окислителя (воздуха) в камере сгорания, как правило, в пределах от 0,15 до 1,5 МПа. Расход топлива данной системы уравнений необходимо увязать с теплопотреблением процесса обработки сидеритовой руды, а также с температурным уровнем газов, выходящих за турбиной и далее поступающих в печь для обжига сидеритовой руды.

Современные печи для обжига сидеритовой руды, установленные на Бакальском предприятии, имеют производительность 10 т/ч по сырой руде. То есть для процесса обжига требуется иметь в системе не менее 13,5 ГДж теплоты, которая подводится с топливом (источником тепловой энергии). Следует отметить, что при учете производительности печи мощность теплового источника составит не менее 3,75 МВт. С учетом реальной температуры отходящих газов из печи, равной 250-300°C [1] (то есть будет иметь место неполное использование теплоты топлива), величина мощности теплового источника энергии будет несколько выше, что приведет к возрастанию расхода первичного топлива.

В принятых условиях проведенные термодинамические расчеты позволили определить требуемый расход природного газа для обеспечения процесса генерации электрической энергии с применением газотурбинной установки и для последующего процесса обжига сидеритовой руды.

Термодинамические расчеты показывают, что для обеспечения работы одной печи для обжига сидеритовой руды с предвключенной газотурбинной установкой требуется повышение расхода топлива с 50 до 144 м³/т. При этом газотурбинная установка позволит вырабатывать 5000 кВт·ч электрической энергии, что покрывает 48% потребностей в электроэнергии предприятия. Таким образом, установка двух предвключенных ГТУ позволит практически полностью обеспечить предприятие собственной электроэнергией. При капитальных затратах 520 млн руб. на встраивание двух ГТУ в схему предприятия проект окупится за 3 года 8 месяцев.

Список литературы

1. Оценка эффективности тепловой работы шахтной печи для обжига сидеритовой руды / В.И. Матюхин, В.В. Шаццлло, А.В. Кузнецов и др. // Металлург. 2017. №1. С. 16-22.
2. Абзалов Р.Ф., Заслов А.Я., Лисовик Л.К. Электрооборудование и электроснабжение горных предприятий. 2-е изд. М.: Недра. 1977. 295 с.
3. Савина Н.В., Барабаш Д.А. Комплексный анализ потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях напряжением 10-35 кВ на примере Амурской области // Вестник ИрГТУ. 2010. №10. С. 166-173.
4. Зысин Л.В. Парогазовые и газотурбинные тепловые электростанции. С-Пб.: Изд-во Политехн. унта, 2010. 368 с.
5. Мурзадеров А.В., Картавец С.В., Нешпоренко Е.Г. Совершенствование энергетики теплотехнологии переработки сидеритовых руд // Промышленная энергетика. 2017. № 10. С. 42-50.
6. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. Справочное издание: в 4-х т. Т.1, Кн.2./ Л.В. Гурвич, И.В. Вейц, В.А. Медведев и др. 3-е изд., перераб. и расширен. М.: Наука, 1978. 328 с.
7. Пашков Л.Т. Основы теории горения. М.: Изд-во МЭИ, 2002. 136 с.
8. Хроматографический анализ газовой фазы, образующейся при «мягком» обжиге высокомагнезильной сидеритовой руды / Р.Н. Абдрахманов, С.П. Клочковский, И.А. Савченко, А.Н. Смирнов // Теория и технология металлургического производства. 2013. №1 (13). С. 13-15.

Сведения об авторах

Мурзадеров Артём Вячеславович – инженер, ПАО «ММК», магистр, E-mail: murzaderov1994@mail.ru

Нешпоренко Евгений, Григорьевич – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», Магнитогорск. E-mail: neshporenkoeg@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

ANALYSIS OF POSSIBILITY OF ENERGY MODERNIZATION OF THE PROCESSING SIDERITE ORES TECHNOLOGY WITH THE USE OF GAS TURBINES

Murzaderov A.V. – engineer, PJSC «MМК», magister, Magnitogorsk, Russian Federation.

Neshporenko E.G. – PhD (Eng.) Associate Professor, of Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation.

Abstract: *The paper deals with the possibility of using a gas turbine plant in the thermal technology of siderite ore firing. The consumption of electric energy at the operating enterprise is analyzed to determine the required power, which amounted to 10.25 MW. A mathematical model of the combustion process of natural gas in the combustion chamber of the gas turbine followed by the use of exhaust products in the combustion furnace siderite ore. It was found that to provide its own electric energy, two gas turbines with capacity of 5 MW each, must be installed in front of two furnaces. This modernization will lead to an increase in fuel consumption by the enterprise, but will eliminate the purchase of electricity from external networks, which will reduce the cost of the final product.*

Key word: *thermal technology, siderite ore, firing, electricity consumption, gas turbine, energy saving, fuel consumption*

Ссылка на статью:

Мурзадеров А.В., Нешпоренко Е.Г. Анализ возможности энергетической модернизации теплотехнологии переработки сидеритовых руд с применением газовых турбин // Теория и технология металлургического производства. 2019. №3(30). С. 8-11.
Murzaderov A.V., Neshporenko E.G. Analysis of possibility of energy modernization of the processing siderite ores technology with the use of gas turbines. *Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2019, vol. 30, no. 3, pp. 8-11.

УДК 002:669

Зарецкий М.В., Соколова Е.В., Власова П.С.

МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА МЕТОДАМИ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация. В условиях жесткой конкуренции на внутреннем и мировом рынках ПАО «ММК» решает взаимосвязанные задачи увеличения объемов производства, повышения качества продукции и непрерывного обновления сортамента в соответствии с требованиями потребителей.

Решение перечисленных задач возможно при условии постоянного совершенствования технологических процессов на всех этапах металлургического производства. Частью такого совершенствования является внедрение систем поддержки принятия решений (СППР), позволяющих находить наиболее приемлемые решения на основе сочетания теоретических знаний и практического опыта.

Рассмотрены проблемы разработки систем поддержки принятия решений в сталеплавильном процессе с использованием методологии инженерии знаний. Описан прототип системы поддержки принятия решений, включающий расчетные модули и базу знаний для металлургических процессов, основанную на онтологической парадигме.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений (СППР), модель, база знаний, онтология.

Публичное акционерное общество «Магнитогорский металлургический комбинат» является крупнейшим предприятием чёрной металлургии России. За 2018 год производство стали достигло 12,7 млн т [1].

В условиях жесткой конкуренции на внутреннем и мировом рынке ПАО «ММК» решает взаимосвязанные задачи увеличения объемов производства, повышения качества продукции и непрерывного обновления сортамента в соответствии с требованиями потребителей.

Решение перечисленных задач возможно при условии постоянного совершенствования технологических процессов на всех этапах металлургического производства. Частью такого совершенствования является внедрение систем поддержки принятия решений (СППР), позволяющих находить наиболее приемлемые решения на основе сочетания теоретических знаний и практического опыта.

Основной современных СППР в металлургии являются модельные системы принятия решений. В доменном переделе ПАО «ММК» успешно используются модельные системы поддержки принятия решений, разработанные специалистами ММК и УрФУ [2-4].

Аналогичные по сфере использования системы разрабатываются для сталеплавильного передела. В 2014 году на кафедре металлургии и химических технологий была создана обновленная математическая модель выплавки стали в кислородном конвертере для условий ККЦ ПАО «ММК». На основе данной модели была разработана компьютерная программа, обеспечивающая расчет основных параметров конвертерной плавки [5].

Новая модель была апробирована в промышленных условиях цеха при производстве трубных ма-

рок стали класса прочности К60(Х70). Для настройки системы были использованы реальные производственные данные (50 паспортов плавов). Для адаптации математической модели использовалась модель В.Н.Селиванова (рис. 1) [6].

Программа позволила более полно учитывать влияние всех материалов на ход и результаты технологического процесса.

Разработка данного программного продукта позволила не только модернизировать работу оператора конвертера, но и создать условия для решения исследовательских задач.

Работа программы состоит из нескольких этапов:

- Подготовительный этап: вводятся исходные данные.
 - На первом этапе составляются балансовые уравнения, рассчитываются углерод чугуна, масса чистых металлических материалов, расход кислорода на продувку, количество окислившихся элементов.
 - На втором этапе рассчитывается окисление железа.
 - На третьем этапе рассчитывается газообразование.
 - На четвертом этапе рассчитывается количество и состав шлака конца продувки с учетом расхода каждого материала.
 - На пятом этапе рассчитывается количество и состав шлака для нанесения гарнисажа.
 - На шестом этапе получают выход жидкого металла по балансу железа.
 - На седьмом этапе составляется материальный баланс плавки.
 - Восьмой этап — тепловой баланс плавки.
- На рис. 2 представлен интерфейс программы.



Рис. 1. Модель адаптации математической модели В.Н.Селиванова

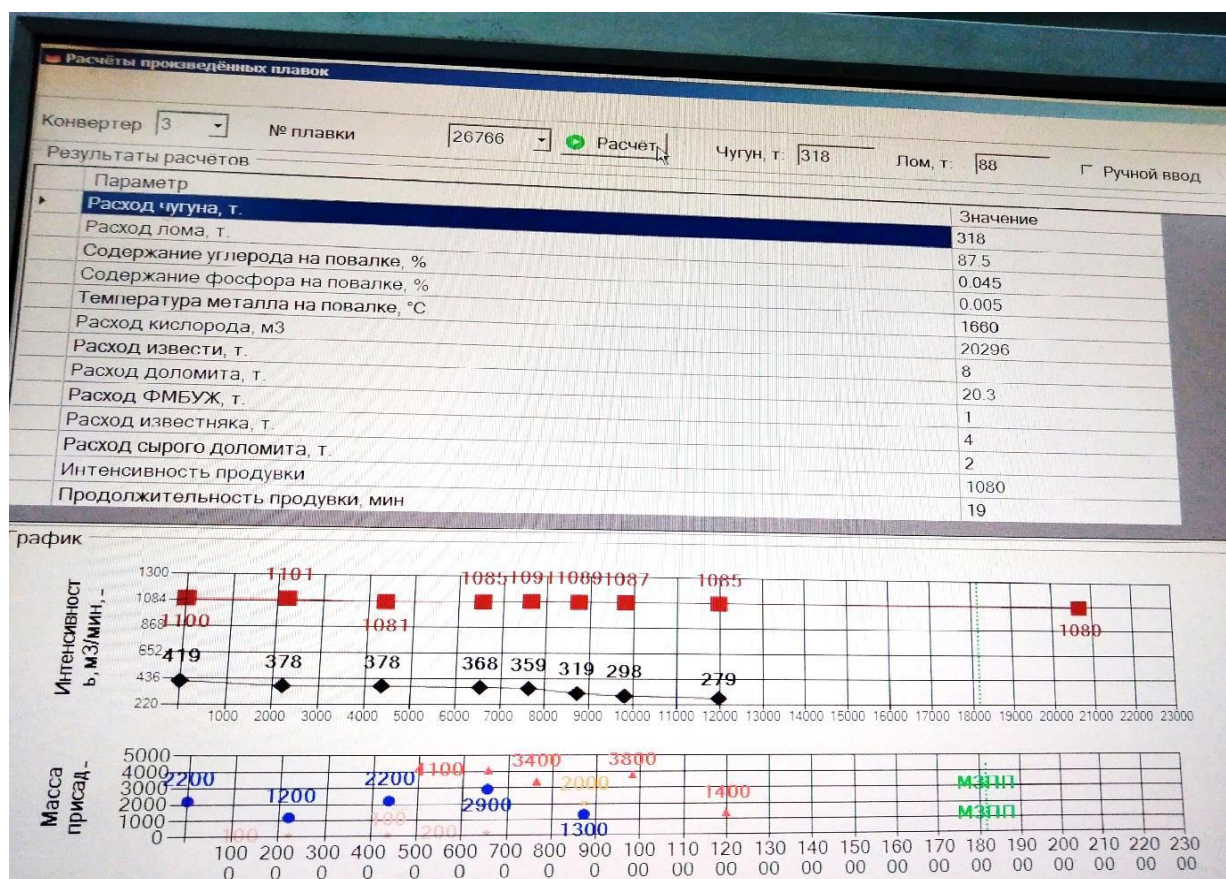


Рис. 2. Интерфейс программы поддержки принятия решения оператора кислородного конвертера

Для разработки и внедрения СППР необходимо систематизировать и единообразно формализовать теоретические и эмпирические знания в предметной области. Эта работа выполняется на основе современ-

ных методов инженерии знаний — теоретической основы современных баз знаний [7-9].

В 2018 году научной группой представителей кафедр металлургии и литейного производства и вы-

числительной техника и программирования была разработана база знаний процессов внепечной обработки стали [10].

База знаний описывалась на основе онтологической парадигмы [11]:

$$\text{Onto}=\{C,Pr,V,I,R,A,D\}$$

где C – множество классов;

R – множество отношений;

Pr - свойство классов;

V - значение свойств;

I - множество экземпляров класса;

A - множество аксиом;

D - множество алгоритмов вывода.

Рассматривались классы:

C1 - сталь, выплавленная в конвертере (электросталеплавильной печи);

C2 - сталь в процессе переработки;

C3- сталь, поступающая на машину непрерывного литья заготовки (МНЛЗ);

C4 - технологический процесс;

C5 - технологическая операция;

C6 - нормативы.

Класс C1 имеет следующие свойства:

PO - содержание кислорода (%);

PH - содержание водорода (%);

PN - содержание азота (%);

PNonMet - содержание неметаллических включений (%);

PS - содержание серы (%);

PV - содержание ванадия (%);

PNb- содержание ниобия (%);

PTi - содержание титана (%);

PSi - содержание кремния (%);

PMn - содержание марганца (%);

PAI - содержание алюминия (%);

PCa- содержание кальция (%);

PB - содержание бора (%).

Классы C2 C3 , имеют те же свойства.

Класс C4 имеет одно свойство:

Proc_Chain - последовательность технологических операций (список из экземпляров класса C5).

Класс C5 имеет свойства:

Op_Res - материальные ресурсы для проведения операции;

En_Res - энергетические ресурсы для проведения операции;

Op_Mode - режим проведения операции;

Op_Time - длительность проведения операции.

Режим проведения операции представлял собой список характеристик – температуру, процентное содержание необходимых компонент, длительность самой операции. В режим проведения операции также может входить проверка условия возможности ее проведения. При невозможности проведения операции

СППР назначает дополнительную операцию для достижения необходимых условий.

Класс C6 имеет свойства:

NormO - максимальное содержание кислорода в продукции;

NormH - максимальное содержание водорода в продукции;

NormN - максимальное содержание азота в продукции;

NormNonMet - максимальное содержание неметаллических включений в продукции;

NormS - максимальное содержание серы в продукции;

NormV - минимальное содержание ванадия в продукции;

NormNb - минимальное содержание ниобия в продукции;

NormTi- минимальное содержание титана в продукции;

NormSi- минимальное содержание кремния в продукции;

NormMn- минимальное содержание марганца в продукции;

NormCa —минимальное содержание кальция в продукции;

NormB — минимальное содержание бора в продукции.

Если содержание какого-либо из легирующих элементов не нормируется, его минимальное значение задается равным 0.

Технологическая цепочка задается для каждой плавки. Для каждой плавки также заданы значения полей класса и по результатам экспресс-анализа известны значения полей класса.

Для расчета первого этапа (общего для всех типов процессов) определяются следующие параметры:

- масса ферросплавов;
- масса алюминия;
- масса извести;
- масса плавикового шпата.

Определяется длительность операции.

Предложенная база знаний процессов внепечной обработки стали основана на онтологической методологии. На рис. 3 представлено описание предметной области в виде взаимодействия сущностей посредством онтографа, позволяющего компьютеру делать дедуктивный вывод. В представленном онтографе отображены свойства подклассов и свойств.

В СППР, основанной на данной базе знаний, предусмотрены модули для расчета параметров вспомогательных технологических операций. Например, при выборе операции охлаждения слябом определяется длительность данной операции. Для всех технологических операций предусмотрен расчет потребности в материальных и энергетических ресурсах.

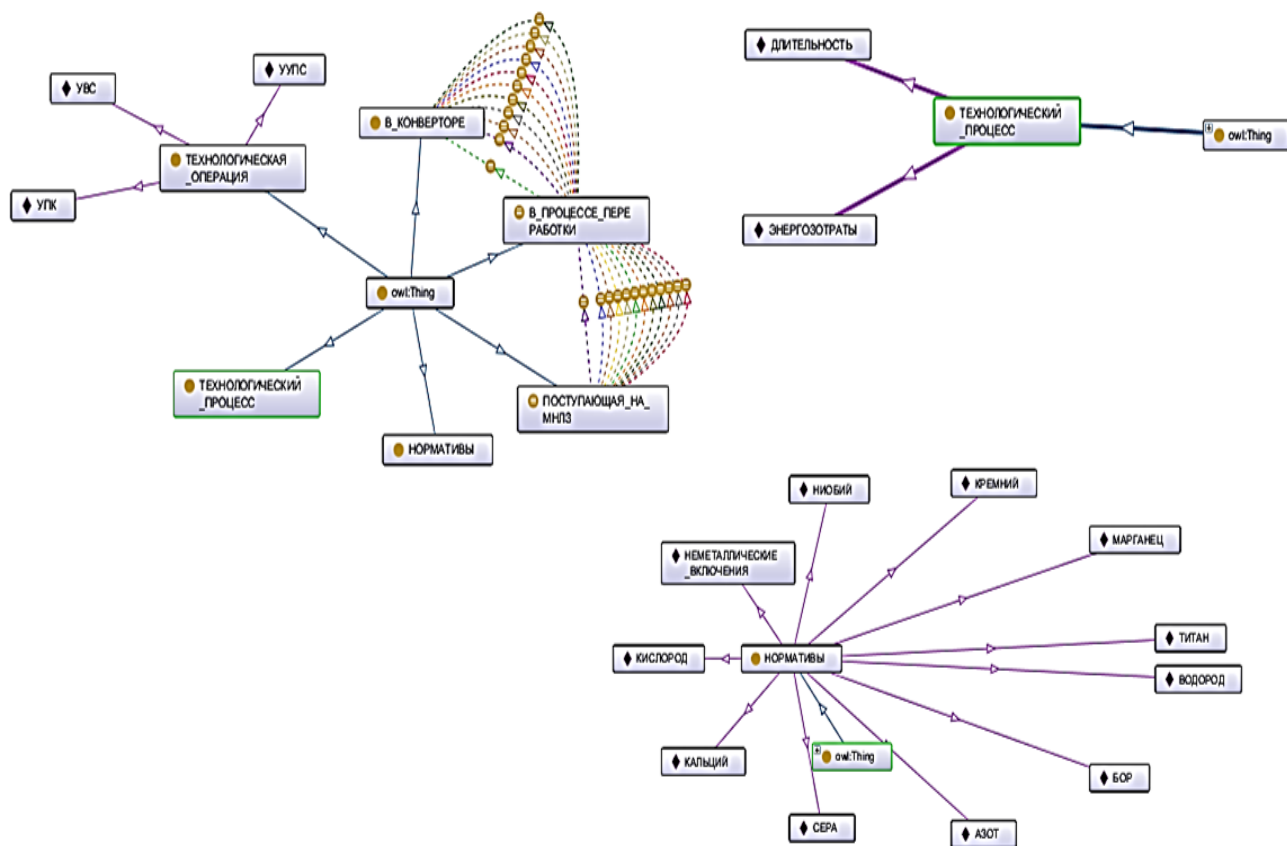


Рис. 3. Онтограф

Список литературы

1. Официальный сайт ПАО ММК. URL: <http://www.mmk.ru/about/> (дата обращения: 07.09.2019)
2. Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки в металлургии / Спирин Н.А., Лавров В.В., Рыболовлев В.Ю. и др.; под ред. Н.А. Спирина. Екатеринбург: УрФУ, 2011. 462 с.
3. Лавров В.В., Спирин Н.А., Гурин И.А., Рыболовлев В.Ю., Краснобаев А.В. Современная методология и компьютерные технологии создания программного обеспечения модельных систем поддержки принятия решений в металлургии (на примере доменного производства) // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2017; (60): 679-685.
4. Математическое моделирование металлургических процессов в АСУ ТП: учеб. пособие / Спирин Н.А., Лавров В.В., Рыболовлев В.Ю. и др. под ред. Н.А. Спирина. Екатеринбург: УрФУ, 2014. 558 с.
5. Колесников Ю.А., Бигеев В.А., Сергеев Д.С. Моделирование выплавки стали в кислородном конвертере на базе физико-химических и тепловых процессов// Известия вузов. Черная металлургия. 2017;60(9):698-705
6. Колесников Ю.А., Бигеев В.А., Сергеев Д.С. Метод моделирования процесса выплавки стали в конвертере с использованием производственных данных // ТИТМП. 2015. №1 (16). С. 53-56.
7. Гаврилова Т.А., В.Ф. Хорошевский Базы знаний интеллектуальных систем. /СПб.: Питер, 2000. 384 с.
8. Литвин В.В. Технології менеджменту знань. /Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010. 260 с.
9. Е.А. Горбатова, Е.А. Емельяненко, М.В. Зарецкий База знаний автоматизированной системы технологической подготовки производства для переработки рудного сырья / // Автоматизированные технологии и производства. № 4 2016 (14). С. 70 – 44.
10. База знаний процессов внепечной обработки стали / В.А. Бигеев, М.В. Зарецкий, Е.А. Соколова, П.С. Власова // Информационные технологии поддержки принятия решений: труды VII Всероссийской научной конференции. Уфа, 2019. С. 125-129.
11. Черняховская Л.Р., А.И. Малахова Онтологический подход к разработке правил принятия решений в проектном менеджменте // Информационные технологии и системы: труды Второй междунар. конф. Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2013. С. 111 – 114.

Сведения об авторах

Зарецкий Марк Валентинович – ст. преп. каф. ВТиП, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова». E-mail: m-zaretsky@yandex.ru

Соколова Екатерина Владиславовна – аспирант института металлургии, машиностроения и материалообработки, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова», Email: katish_moon@mail.ru

Власова Полина Сергеевна – магистрант института металлургии, машиностроения и материалообработки, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова», Email: vlasova.polina97@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

MODELING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF STEELMAKING PRODUCTION BY METHODS OF ENGINEERING TECHNOLOGIES

Zaretsky Mark Valentinovich – Assistaut Professor of the Department of "Computer Science and Programming" "Nosov Magnitogorsk State Technical University". E-mail: m-zaretsky@yandex.ru.

Sokolova Ekaterina Vladislavovna - Post-graduate Student of the Institute Of Metallurgy, Mechanical Engineering and Material Processing, "Nosov Magnitogorsk state technical University". Email: katish_moon@mail.ru

Vlasova Polina Sergeevna – Master Degree Student of the Institute of Metallurgy, Mechanical Engineering and Material Processing, "Nosov Magnitogorsk State Technical University". Email: vlasova.polina@gmail.com

***Abstract:** In a highly competitive domestic and global market public joint stock company "Magnitogorsk iron and steel works» solves interrelated problems of increasing production, improving product quality and continuous updating of the range in accordance with the needs of consumers. The solution of the listed tasks is possible on condition of continuous improvement of technological processes at all stages of metallurgical production. Part of this improvement is the introduction of decision support systems (DSS), which allow to find the most appropriate solutions based on a combination of theoretical knowledge and practical experience. The problems of development of decision support systems in the steelmaking process using the methodology of knowledge engineering are considered. A prototype of a decision support system including calculation modules and a knowledge base for metallurgical processes based on the ontological paradigm is described.*

***Keywords:** decision support system (DSS), model, knowledge base, ontology*

Ссылка на статью:

Зарецкий М.В., Соколова Е.В., Власова П.С. Моделирования технологических процессов сталеплавильного производства методами инженерных технологий // Теория и технология металлургического производства. 2019. №3(30). С. 12-16.

Zaretsky M.V., Sokolova E.V., Vlasova P.S. Modeling of technological processes of steelmaking production by methods of engineering technologies. *Teoria i tecnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2019, vol. 30, no. 3, pp. 12-16.

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621.746.628.4

Постникова А.С.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ СТЕНКИ ОТЛИВКИ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПРИ ЗАТВЕРДЕВАНИИ

Аннотация. Расчет температурного поля затвердевающей стенки отливки осложняется необходимостью учета в уравнении теплопроводности тепла, выделяющегося при кристаллизации. Одним из способов решения данного вопроса может быть увеличение теплоемкости затвердевающего материала таким образом, чтобы тепло, выделившееся в результате охлаждения, было равно теплу, полученному при кристаллизации стенки отливки. Применение значений эквивалентной теплоемкости в методе конечных разностей осуществляется путем использования кусочно-непрерывной функции. В результате вычислений получены кусочно-непрерывные функции, у которых среднее отклонение расчетных значений теплот кристаллизации от заданной не превышает 0,06%, следовательно, возможно использование при расчете теплоты кристаллизации в численном решении задач теплопроводности.

Ключевые слова: отливка, теплоемкость, теплопроводность, тепловое поле, система «отливка-форма».

Качественное определение температурного поля изделия в литейном производстве в процессе его получения дает возможность еще на стадии проектирования отливки прогнозировать ее состав и структуру, усадочные и термические напряжения, а также определять временные параметры технологического цикла изготовления детали.

При численном решении уравнения теплопроводности для расчета температурного поля затвердевающей стенки отливки необходимо учитывать тепло, выделяющееся при кристаллизации, что осложняет данный расчет. Для решения данного вопроса можно увеличить теплоемкость затвердевающего материала, чтобы тепло, которое выделяется в результате охлаждения, было равно теплу, полученному при кристаллизации стенки отливки.

Тепловой баланс затвердевающей стенки отливки может быть выражен следующим уравнением [1]:

$$dQ = dQ_{акк} + dQ_{кр} + dQ_{пер}, \quad (1)$$

где $dQ_{акк}$ – тепло, аккумулированное отливкой, Дж;
 $dQ_{кр}$ – теплота, выделившаяся при кристаллизации отливки, Дж;
 $dQ_{пер}$ – теплота перегрева, Дж.

Необходимость учета в уравнении теплопроводности тепла $dQ_{кр}$, выделяющегося при кристаллизации, также осложняет расчет температурного поля стенки отливки при затвердевании. Для решения данной задачи можно увеличить теплоемкости затвердевающего материала, чтобы тепло, которое выделяется при охлаждении, было равно теплу, полученному при кристаллизации стенки отливки. Следовательно, тепловой баланс процесса затвердевания, отнесенный на 1 кг материала, может быть выражен следующим выражением [2, 3]:

$$\int_{T_{сол}}^{T_{ликв}} C_{доб}^{ме} dT = \omega, \quad (2)$$

где $T_{ликв}$, $T_{сол}$ – температуры ликвидус и солидус сплава соответственно, К;

$C_{доб}^{ме}$ – добавочное значение теплоемкости металла на температурном отрезке ($T_{ликв} - T_{сол}$), Дж/кгК;
 ω – теплота кристаллизации сплава, Дж/кг.

Значения теплоемкостей для сплавов, которые находятся в жидком и твердом состоянии, достаточно хорошо известны [4], однако, вопросы выбора вида функции $C_{эkv}$ на отрезке ($T_{сол} - T_{лик}$) в литературе отражены противоречиво [5]. Между тем при расчете тепловыделения, учитывая, что пространственный элемент в численном решении задачи теплопроводности имеет минимальный размер, вид функции добавочной теплоемкости в первом приближении может быть любым из представленных на рисунке.

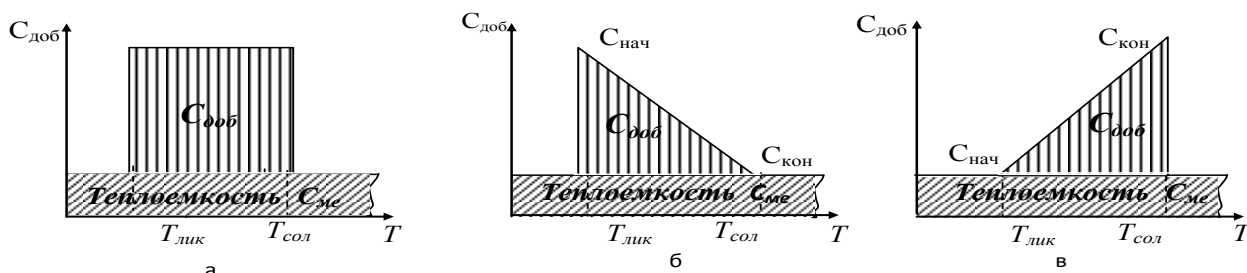
Применение значений эквивалентной теплоемкости в МКР осуществляется путем использования кусочно-непрерывной функции вида

$$\begin{cases} C_{эkv}^{ме} = C_{ме}; T_{ликв} \geq T; \\ C_{эkv}^{ме} = C_{ме} + C_{доб}^{ме}; T_{ликв} > T > T_{сол}; \\ C_{эkv}^{ме} = C_{ме}; T \leq T_{сол}, \end{cases} \quad (3)$$

где $C_{эkv}^{ме}$ – удельная эквивалентная теплоемкость материала отливки, Дж/кг°C;

$C_{ме}$ – температурная зависимость удельной теплоемкости материала отливки, Дж/кг°C;

$C_{доб}^{ме}$ – добавочное значение теплоемкости, учитывающее тепловыделение в слое материала стенки отливки, Дж/кг°C.



Распределение теплоемкости $C_{доб}$ в интервале температур солидуса и ликвидуса при затвердевании:

а – равномерное; б – уменьшающееся; в – возрастающее

При рассмотрении тепловыделения по виду рисунка *a*, функция добавочной теплоемкости будет иметь вид

$$\begin{cases} C_{эв}^{ме} = C_{ме}; T \geq T_{лик}; \\ C_{эв}^{ме} = C_{ме} + \frac{\omega_{крист}}{T_{лик} - T_{сол}}; T_{лик} > T > T_{сол}; \\ C_{эв}^{ме} = C_{ме}; T_{сол} \geq T, \end{cases} \quad (4)$$

где $\omega_{крист}$ – удельная теплота, выделяемая при кристаллизации материала стенки отливки, Дж/кг;
 $T_{ликв}$ – температура ликвидус, °С;
 $T_{сол}$ – температура солидус, °С.

При тепловыделении по типу рисунка *б* уравнение изменения теплоемкости имеет вид

$$C_{доб}^{ме} = -kT + b, \quad (5)$$

где k и b – коэффициенты уравнения.

Для абсциссы $T = T_{ликв}$, $C_{нач} = 0$, следовательно, уравнение в данной точке примет вид

$$-kT_{ликв} + b = 0, \quad (6)$$

откуда

$$b = kT_{ликв}. \quad (7)$$

Коэффициент k можно определить как

$$k = -\frac{C_{кон}}{T_{лик} - T_{сол}}. \quad (8)$$

Выделившаяся в процессе затвердевания теплота кристаллизации ω численно равна площади под прямой и может быть найдена как

$$\omega = \int_{T_{сол}}^{T_{лик}} C_{доб}^{ме} dt = \frac{1}{2}(T_{лик} - T_{сол})C_{кон}, \quad (9)$$

откуда

$$C_{кон} = \frac{2\omega}{T_{лик} - T_{сол}}. \quad (10)$$

Подставив выражение (7), (8) в (5), получим уравнение добавочной теплоемкости

$$C_{доб}^{ме} = \frac{2\omega(T_{лик} - T_{сол})}{(T_{лик} - T_{сол})^2}. \quad (11)$$

Тогда кусочно-непрерывная функция для тепловыделения по типу *б* будет выглядеть как

$$\begin{cases} C_{эв}^{ме} = C_{ме}; T \geq T_{лик}; \\ C_{эв}^{ме} = C_{ме} + \frac{2\omega_{крист}(T_{лик} - T)}{(T_{лик} - T_{сол})^2}; T_{лик} > T > T_{сол}; \\ C_{эв}^{ме} = C_{ме}; T_{сол} \geq T. \end{cases} \quad (12)$$

Аналогично функция добавочной теплоемкости при тепловыделении по типу *в* будет равна

$$\begin{cases} C_{эв}^{ме} = C_{ме}; T \geq T_{лик}; \\ C_{эв}^{ме} = C_{ме} + \frac{2\omega_{крист}(T - T_{сол})}{(T_{лик} - T_{сол})^2}; T_{лик} > T > T_{сол}; \\ C_{эв}^{ме} = C_{ме}; T_{сол} \geq T. \end{cases} \quad (13)$$

Рассмотрим применение функции добавочной теплоемкости (4), (12), (13) различных теплот кристаллизации на температурном промежутке $T_{лик} - T_{сол}$. расчет сведем в таблицу.

Результаты применения функции добавочной теплоемкости

Интервал температур $T_{лик} - T_{сол}$	Теплота кристаллизации $\omega_{крист}$, кДж	ω^* , кДж	ω^{**} , кДж	ω^{***} , кДж	Среднее отклонение, %
1600-1400	80	80,4	80,4	80,4	0,0025
1200-1100	90	90,9	90,9	90,9	0,01
850-800	95	96,6	96,6	96,6	0,04
720-700	120	126	126	126	0,25
670-600	70	71	71	71	0,02
Среднее отклонение		0,06			

Примечание: ω^* – выделение теплоты кристаллизации по типу рисунка *a*;
 ω^{**} – выделение теплоты кристаллизации по типу рисунка *б*;
 ω^{***} – выделение теплоты кристаллизации по типу рисунка *в*.

Теория и технология металлургического производства

Как видно из таблицы, среднее отклонение расчетных значений теплот кристаллизации от заданной не превышает 0,06%, следовательно, возможно использование функции кусочно-непрерывных функций (4), (12), (13) при расчете теплоты кристаллизации в численном решении задач теплопроводности.

Список литературы

1. Неуструев А.А., Неуструев А.А., Моисеев В.С. Теория формирования отливок и САПР литья // Литейное производство. 1992. №12. С. 9.
2. Савинов А.С. Расчет теплоемкости затвердевающей стенки отливки // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2011. Вып. 11. С.130 – 133.
3. Савинов А.С., Тубольцева А.С., Дзюба В.П., Фролушкина К.А. Исследование физических свойств сухих песчано-глинистых литейных форм. Магнитогорск, 2012. Деп. В ВИНТИ 11. 03.2012, №81-В2012.
4. Расчет параметров прокатки на непрерывных широкополосных станах с помощью ЭВМ/ О.Г. Музалевский, В.М. Бурдин, В.И. Кирюхин и др.// Сталь. 1970. № 3. С. 246-250.
5. Снижение энергозатрат при прокатке полос/ А.Л. Остапенко, Ю.В. Коновалов, А.Е. Руднев, В.В. Кисиль. Киев: Техника, 1983. 224 с.

Сведения об авторах

Постникова Алёна Сергеевна – ст. преп. кафедры механики ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

DETERMINATION OF EQUIVALENT HEAT CAPACITY OF CASTING WALL FOR CALCULATION OF TEMPERATURE FIELD DURING SOLIDIFICATION

Postnikova A.S. – Assistant Professor of Department of Mechanics, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

Abstract. *The calculation of the temperature field of solidifying walls of the casting is complicated by the necessity of considering the heat conduction equation of heat released during crystallization. One of the ways to solve this problem is to increase the heat capacity of the solidified material so that the heat released as a result of cooling was equal to the heat obtained during the crystallization of the casting wall. The application of equivalent heat capacity values in the finite difference method is carried out by using a piecewise continuous function. As a result of calculations piecewise continuous functions at which the average deviation of settlement values of heats of crystallization from the set does not exceed 0,06% are received, and it is possible to use them in the course of calculation of of crystallization heat in the numerical solution of thermal conductivity problems.*

Keywords: *casting, heat capacity, thermal conductivity, thermal field, system «casting-form»*

Ссылка на статью:

Постникова А.С. Определение эквивалентной теплоемкости стенки отливки для расчета температурного поля при затвердевании // Теория и технология металлургического производства. 2019. №3(30). С. 17-19.
Postnikova A.S. Determination of equivalent heat capacity of casting wall for calculation of temperature field during solidification. *Teoria i tehnologija metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2019, vol. 29, no. 2, pp.17-19.

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.771.09

Губанов С.А., Чикишев Д.Н.

ОСОБЕННОСТИ КОМПОЗИЦИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СТАЛИ ДЛЯ ЖЕСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ В УСЛОВИЯХ ПАО «ММК»

Аннотация. В отечественной отрасли производства жестяной тары в последние десятилетия происходят большие изменения. Прежде всего, эти изменения связаны с освоением и разработкой новых видов упаковки, изготавливаемых из жести, таких как: цельнотянутые двухсоставные банки, крышки *easy-open* и *twist-off*, декоративная упаковка с качественной цветной литографией, аэрозольные баллоны, банки для напитков и т.п. Освоение новых видов упаковки приводит к необходимости технического перевооружения производителей. Современные высокоточные и высокопроизводительные линии для производства жестяной тары предполагают использование жести с высокими требованиями к механическим свойствам. В данной статье показаны основные характеристики современной концепции легирования стали для производства жести. Описано влияние основных легирующих элементов на конечные механические свойства проката.

Ключевые слова: химический состав, жесть консервная, контролируемая прокатка, старение стали, колпаковый отжиг, непрерывный отжиг.

Жесть является сложным продуктом металлургического производства, для изготовления которого требуется задействование множества переделов. В условиях Магнитогорского металлургического комбината жесть изготавливается по следующему технологическому потоку: выплавка в конвертере и непрерывная разливка стали, прокатка полос шириной 1335-1880 мм на широкополосном стане горячей прокатки (ШСГП) 2000. Затем полоса подвергается травлению на непрерывно-травильном агрегате (НТА), после чего поступает на линию продольного роспуска (ЛПР), где производится симметричный или несимметричный продольный роспуск. Правая и левая половинки полосы поступают на 5-клетевой стан 1200, где производится прокатка на толщину 0,16-0,50 мм. Затем нагартованные рулоны поступают либо в термическое отделение колпаковых печей КП (где жесть предварительно подвергается очистке в агрегатах электролитического обезжиривания АЭО), либо в поток агрегата непрерывного отжига (АНО). Отожженные рулоны дрессируются на 2-клетевом стане и отправляются на агрегат электролитического лужения (АЭЛ).

Основными факторами, обеспечивающими механические свойства жести, являются:

- химический состав стали (содержание химических элементов и взаимное соотношение некоторых из них);
- режимы горячей прокатки на широкополосном стане (параметры нагрева сляба, температура конца прокатки и смотки, величина обжатия, параметры ускоренного охлаждения и т.п.);
- параметры рекристаллизационного отжига жести после холодной прокатки (температура нагрева, длительность выдержки, скорость охлаждения и т.п.);
- параметры дрессировки (удлинение, парамет-

ры натяжения и т.п.).

Основопологающим фактором, определяющим конечные свойства и параметры всего процесса производства, является химический состав стали. По ГОСТ 13345 жесть может изготавливаться из стали марок 08кп, 08пс, 10кп, 10пс с химическим составом, регламентируемым ГОСТ 1050. В условиях ПАО «ММК» для производства жести выплавляется сталь марки 08пс, однако существует ряд отличий химического состава стали от указанной в ГОСТ 1050. Во-первых, по справочнику сталей кислородно-конвертерного цеха ПАО ММК существует четкое разделение химического состава стали для жести, предназначенной для колпакового или непрерывного отжига, во-вторых, химический состав стали сформирован таким образом, чтобы соответствовать существующему уровню производственного оборудования для обеспечения необходимого уровня механических свойств.

Углерод (С) в стали оказывает упрочняющее воздействие на механические свойства, с этой целью его содержание ограничивают до 0,06% для жести колпакового отжига и до 0,03% для жести непрерывного отжига. Такое разделение связано с особенностями протекания термической обработки. Если в случае с колпаковым отжигом рулон в виде термически массивного тела подвергается нагреву в течение 36-38 ч и охлаждению в течение 56-60 ч, то весь процесс отжига в АНО происходит в течение 3-6 мин. Особенности непрерывного отжига (высокие скорости охлаждения) обуславливают склонность жести к старению, то есть изменение механических свойств в сторону повышения прочностных и уменьшения пластических характеристик. Процесс старения связан с передвижением растворенных атомов углерода и азота к имеющимся в структуре дислокациям, где происходит их скопление, блокирование свободных дислокаций примесями путем образования атомных атмо-

сфер (атмосфер Коттрелла).

Кремний (Si) является раскисляющим элементом при выплавке. Принято считать, что кремний оказывает упрочняющее действие, однако ряд литературных источников говорит о том, что содержание кремния повышает активность углерода и алюминия, благодаря чему происходит связывание углерода и азота в карбиды и нитриды, что в дальнейшем может положительно сказаться на снижении эффекта старения для жести непрерывного отжига.

Марганец (Mn), аналогично кремнию, является раскислителем при выплавке, так как связывает кислород в прочные соединения MnO. Марганец относится к упрочняющим элементам, однако его влияние следует рассматривать в первую очередь с тем, что содержание марганца определяет количество и морфологию сульфидных включений в стали. Для этого специально вводят специальный показатель $K = \text{Mn}/\text{S}$, который характеризует избыток марганца над количеством, необходимым для полного связывания серы. Снижение показателя K приводит к повышению неравномерности распределения сульфидных включений и, как следствие, к снижению пластичности и повышению склонности к старению. Для получения необходимого уровня механических свойств и минимизации эффекта старения значение показателя K должно быть не менее 0,24, то есть отношение Mn/S должно быть не менее 16. Повышение данных показателей целесообразно за счет снижения содержания серы в стали. В настоящее время содержание серы в марочнике ККЦ ММК ограничено на уровне не более 0,022%. Для улучшения механических свойств в дальнейшем необходимо ограничивать содержание серы на уровне не более 0,012 %.

Фосфор является вредной примесью, и его содержание в стали ограничивают на уровне не более 0,015%. Снижение содержания фосфора повышает пластические характеристики и уменьшает анизотропию механических свойств, что положительно сказывается при штамповке цельнотянутых банок.

Ещё одна важная группа химических элементов, оказывающая существенное влияние на механические свойства, – это содержание алюминия (Al), азота (N) и их соотношение. Азот аналогично углероду повышает склонность к старению. Азот плохо растворим в атомной решетке объемно центрированного куба $\alpha\text{-Fe}$ в области температур отжига, в результате чего при быстром охлаждении азот остается в объеме металла в виде твердого пересыщенного раствора внедрения. Атомы азота, аналогично атомам углерода, перемещаются в наиболее искаженные участки решетки вблизи дислокаций, в дальнейшем препятствуя их перемещению, при этом скорость диффузии атомов азота в 2 раза выше, чем у атомов углерода. С целью снижения содержания свободного азота в стали вводят Al для связывания в устойчивые нитриды алюминия AlN. На основе статистического анализа установлено, что для связывания свободного азота

отношение Al/N должно превышать 10. Преимуществом алюминия является то, что он не упрочняет сталь из-за того, что его атомный радиус практически равен атомному радиусу железа.

Для связывания свободного азота возможно применение титана (Ti) в стехиометрии $\text{Ti}=3.4\text{N}$, однако в отличие от алюминия титан может сильно упрочнять сталь даже при незначительном избытке, и для отжига полосы, легированной титаном, необходимы более высокие температуры, что недостижимо в условиях производства жести на ПАО «ММК».

Следующая группа элементов – хром (Cr), никель (Ni), медь (Cu). Они являются остаточными элементами, попадающими при выплавке в сталь в основном из лома. Отрицательно влияют на пластические свойства стали, повышая твердость, предел текучести и временное сопротивление разрыву. Никель при этом ещё понижает температуру $\gamma \rightarrow \alpha$ – превращения, что приводит к изменению процессов протекающих при контролируемой прокатке.

Ванадий (V) и молибден (Mo) оказывают упрочнение за счёт выделения карбонитридов в ферритной области, и, как следствие, их повышенное содержание приводит к снижению пластичности жести. С этой целью необходимо ограничивать содержание V и Mo в стали на уровне $\sum(\text{V}, \text{Mo}) \leq 0.007\%$.

Для повышения пластических характеристик стали и улучшения штампуемости существуют концепции легирования бором (B) и цирконием (Zr), благодаря которым можно значительно снизить эффект старения. Однако применение этих химических элементов для жести на данный момент невозможно по следующим причинам:

1. Не изучено влияние бора и циркония на здоровье человека при взаимодействии жести с продуктами.

2. Бор и особенно цирконий являются дорогостоящими легирующими элементами, что отрицательно скажется на себестоимости жести.

Из всего представленного можно сделать вывод о том, что наиболее перспективными направлениями в совершенствовании механических свойств с помощью химического состава стали являются:

- снижение содержания в стали структурно-свободного азота путем легирования алюминием и обеспечение отношения Al/N на уровне не менее 10;
- снижение содержание серы и обеспечение коэффициента K на уровне не менее 0,24;
- снижение содержания упрочняющих элементов, таких как Cr, Ni, Cu, V, Mo.

Список литературы

1. Васильев Я.Д., Замогильный Р.А., Самокиш Д.Н. К определению рациональной толщины горячекатаного подката для производства тонкой жести методом одинарной прокатки // Черная металлургия. 2016. №12. С. 56-61.

2. Дьяконов А.А., Молева О.Н., Мельников Ю.А. Совершенствование технологии производства тонкой жести однократной прокатки // *Сталь*. 2012. №3. С. 34-35.
3. Литвиненко Д.А. Холоднокатаная нестареющая сталь. М.: Металлургия, 1968, 168 с.
4. Дорогобид В. Г., Ильина Н.Н. Технология производства и механические свойства жести: учеб. пособие. Магнитогорск: МГТУ, 2002. 130 с.
5. Губанов С.А., Чикишев Д.Н. Ускоренное контролируемое охлаждение, применяемое на толстолистовых станах для производства высокопрочных сталей // *Калибровочное бюро: электрон. науч. журн.* Выпуск 3.1. 2014. С. 4-10. URL:<http://www.passdesign.ru/numbers/> (дата обращения: 30.04.2018).
6. Губанов С.А., Чикишев Д.Н. Контролируемая прокатка и ускоренное контролируемое на толстолистовом стане для производства трубных сталей // *Моделирование и развитие процессов ОМД*. 2014. №20. С. 207-215.
7. Губанов С.А., Чикишев Д.Н., Пустовойтов Д.О. Конечно-элементное моделирование процесса ускоренного охлаждения толстолистового проката // *Современные тенденции в образовании и науке: сб. науч. тр. по материалам международной научно-практической конференции: в 14 ч.* Тамбов, 2014. С. 38–42.

Сведения об авторах

Губанов Сергей Александрович – аспирант кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: gybanov@inbox.ru

Чикишев Денис Николаевич – канд. техн. наук, профессор кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: chikishev_denis@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

FEATURES OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF STEEL FOR TIN BY PRODUCTION IN THE CONDITIONS OF PJSC MMK

Gubanov Sergey Aleksandrovich – graduate student Department of Material processing. Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: gybanov@inbox.ru

Chikishev Denis Nikolayevich – PhD (Eng.), professor Department of Metal Forming. Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: chiki-shev_denis@mail.ru

Abstract: *In the domestic industry of production of tin containers in recent decades, there have been great changes. First of all, these changes are associated with the development and development of new types of packaging made from tin, such as: seamless two-piece cans, easy-open and twist-off covers, decorative packaging with high-quality color lithography, aerosol cans, beverage cans.. The development of new types of packaging leads to the need for technical re-equipment of manufacturers. Modern high-speed and high-performance lines for the production of tin containers involve the use of tin with high demands on mechanical properties. This article shows the main characteristics of the modern concept of steel alloying for the production of tin. The influence of the main vanishing elements on the final properties of rolled products is described.*

Keywords: *chemical composition, tin-plate, controlled rolling, aging of steel, batch (box) annealing, continuous annealing.*

Ссылка на статью:

Губанов С.А., Чикишев Д.Н. Особенности композиции химического состава стали для жести при производстве в условиях ПАО «ММК» // *Теория и технология металлургического производства*. 2019. №3(30). С. 20-22.
 Gubanov S.A., Chikishev D.N. Features of the chemical composition of steel for tin by production in the conditions of PJSC MMK. *Teoria i tehnologija metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2019, vol. 30, no. 3, pp. 20-22.

Теория и технология металлургического производства

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

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. 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 tehničeskogo 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