

ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

№ 2 (25) 2018

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»;

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 Рос-
сии Б.Н. Ельцина»;

А.С. Савинов – д-р техн. наук, доцент
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»;

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 метал-
лургии, машиностроения и материалообра-
ботки ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носо-
ва», д-р техн. наук.

Научный редактор:

Н.Ш. Тютяряков – 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»;
У.И. Лужбина

Дизайнер:

Е.О. Харченко

© ФГБОУ ВО «МГТУ», 2018

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.

Адрес редакции:

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38
Тел.: (3519) 29-84-64.

E-mail: TTAPEoMP@mail.ru; tmp@mail.ru

Журнал подготовлен к печати издательским центром МГТУ
им. Г. И.Носова, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38.

Отпечатан на полиграфическом участке МГТУ им. Г.И. Носова,
455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38.

Выход в свет: Заказ. Тираж 500 экз.
Цена свободная.

THE THEORY AND PROCESS ENGINEERING OF METALLURGICAL PRODUCTION

No. 2 (25) 2018

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. Ostrowski – 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»

A.S.Savinov – D.Sc., Associate Professor,
Nosov Magnitogorsk State Technical University

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

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

Editor-in-Chief:

A.S.Savinov – Director of Metallurgy Mechanical Engi-
neering 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
U.I. Luzhbina

Designer:

E.O. Harchenko

© FSBEI of HE “Nosov Magnitogorsk State Technical University”, 2018

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

Editorial office:

38, pr. Lenina, city of Magnitogorsk 455000, Russia

Tel.: +7 (3519) 29-84-64.

E-mail: TTAPEoMP@mail.ru; ttmp@mail.ru

Prepared for the publication by the NMSTU publishing center,
38, pr. Lenina, city of Magnitogorsk 455000, Russia

Printed by the NMSTU printing section,

38, pr. Lenina, city of Magnitogorsk 455000, Russia.

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

СОДЕРЖАНИЕ

МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЁРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ	4
Шешуков О.Ю., Некрасов И.В., Метелкин А.А., Савельев М.В.	4
К ВОПРОСУ ОБ ИОННОМ СТРОЕНИИ ШЛАКОВ	4
Мурапталова Р.Р., Столяров А.М., Потапова М.В.	10
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ МЕТАЛЛА НА ЗАГРЯЗНЕННОСТЬ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ СОРТОВОЙ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ	10
ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО	14
Иванова В.А.	14
УСТАНОВЛЕНИЕ ВЗАИМНОГОВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИТЕЙНОГО КОКСА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА СТРУКТУРИРОВАНИЯ ФУНКЦИИ КАЧЕСТВА	14
Смолко В.А., Антошкина Е.Г.	19
МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИНЫ ПРОНИКНОВЕНИЯ ПРОТИВОПРИГАРНО-УПРОЧНЯЮЩИХ КРАСОК В ФОРМОВОЧНУЮ СМЕСЬ	19
ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ	22
Полякова М. А., Харитонов В. А., Петров И. М.	22
ОЦЕНКА ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА АРМАТУРНОГО ПРОКАТА НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ	22
Белан А.К., Белан О.А.	27
МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОЦЕССА ХОЛОДНОЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ ПРОГРЕССИВНЫХ ВИДОВ КРЕПЁЖНЫХ	27
Румянцев М.И.	33
ОПЫТ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗА УСИЛИЯ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ	33

CONTENTS

FERROUS, NON FERROUS AND RARE METALS	4
Sheshukov O.Yu., Nekrasov I.V., Metelkin A.A., Savel'ev M.V.	4
ABOUT THE SLAG IONIC	4
Muraptalova R.R., Stolyarov A.M., Potapova M.V.	10
ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF METAL ELECTROMAGNETIC MIXING ON CO-CAST BILLET CONTAMINATION WITH NON-METALLIC INCLUSIONS	10
FOUNDRY	15
Ivanova V.A.	14
DETERMINATION OF RECIPROCAL INFLUENCE OF FOUNDRY COKE CHARACTERISTICS BY METHOD OF THE QUALITY FUNCTION STRUCTURING	14
Smolko V.A., Antoshkina E.G.	19
DETERMINATION METHOD OF THE DEPTH OF NON-STICK HARDENING COMPOSITIONS' PENETRATION INTO THE MOLDING MIXTURE	20
METALL FORMING	23
Polyakova M.A., Kharitonov V.A., Petrov I.M.	22
ASSESSMENT OF THE PRODUCTION PROCESS OF REINFORCING BARS ON THE BASIS OF STATISTICS	23
Belan A.K., Belan O.A.	27
MODELING AND DEVELOPMENT OF COLD FORGING PROGRESSIVE TYPES OF FASTENERS TECHNOLOGY	28
Rumyantsev M.I.	33
EXPERIENCE OF MODEL DEVELOPMENT FOR COLD ROLLING FORCE	34

МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЁРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

УДК 669

Шешуков О.Ю. (1,2), Некрасов И.В. (2), Метелкин А.А. (3), Савельев М.В. (4)
 (1) - ФГАОУ ВО УрФУ, (2) - ИМЕТ УрО РАН, (3) – НТИ УрФУ, (4) – АО ЕВРАЗ НТМК

К ВОПРОСУ ОБ ИОННОМ СТРОЕНИИ ШЛАКОВ

Аннотация. Рассмотрены вопросы ионного строения металлургических шлаков. Показано, что в структуре шлаков имеются два вида плоскостей, тетраэдрические плоскости – между четырьмя ионами кислорода, центры которых образуют правильный тетраэдр, и октаэдрические – между шестью ионами кислорода, центры которых образуют правильный октаэдр. Рассмотрены различные типы ионов и их возможность формировать тетраэдрические и октаэдрические структуры в металлургических шлаках. Полученные данные позволяют определить важнейшие параметры металлургических шлаков: растворимость оксидов в шлаковом расплаве, вязкость оксидных расплавов, основность оксидных расплавов, их рафинировочные свойства и ряд других параметров.

Ключевые слова: ионы в металлургических шлаках, структура шлака, определение параметров металлургических шлаков.

Шлаки являются важнейшим составляющим технологического процесса выплавки стали. В современном металлургическом производстве невозможно получить качественный металл без обработки рафинирующими шлаками. Поэтому управление физико-химическими свойствами шлаков является одной из важных задач современной технологии выплавки стали.

В начале XX века преобладала молекулярная теория строения шлаков. Основоположниками данной теории принято считать В.В. Грум-Гржимайло, М.М. Карнаухова, Г. Шенка, Дж. Чипмена и др. Данная теория удовлетворительно дает объяснения о протекающих процессах между металлом и шлаком [1].

Однако по данным [2] попытки использовать данную теорию для количественной характеристики сталеплавильных реакций оказались безуспешными.

Более глубокое изучение металлургических процессов позволило представить, что шлак состоит из положительно и отрицательно заряженных ионов. Доказательством ионного строения шлаков служат многочисленные рентгеноструктурные исследования застывших шлаков, электрическая проводимость расплавленных шлаков, наличие электрических зарядов в пограничных слоях металла и шлака, высокие значения поверхностного натяжения шлаков и т.д. [2-3].

В расплавленных металлургических шлаках существуют ионы следующих групп [2-4]:

1. Катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} .
2. Анионы O^{2-} , S^{2-} , SiO_4^{4-} , PO_4^{3-} , AlO_2^{1-} , FeO_2^{1-} .
3. В кислых шлаках могут образовываться более сложные кремнекислотные анионы (SiO_3^{2-})_n, $Si_3O_9^{6-}$, $Si_4O_{12}^{8-}$, $Si_6O_{18}^{12-}$ и т.д.

Рентгеноструктурный анализ твердых шлаков показывает, что их структуру можно рассматривать, как плотную упаковку ионов кислорода, в которой имеются два вида плоскостей [3, 4]: тетраэдрические плоскости – между четырьмя ионами кислорода, центры которых образуют правильный тетраэдр (рис. 1, а), и октаэдрические – между шестью ионами кислорода, центры которых образуют правильный октаэдр (рис. 1, б) [4].

Основные оксиды (CaO, MgO, FeO, MnO и др.) имеют решетки типа NaCl, в которой каждый катион металла окружен шестью анионами кислорода, а каждый анион кислорода шестью катионами металла, т.е. образуют октаэдрическую координацию (рис. 2) [3]. По данным [4], такую же структуру могут образовывать катионы Al^{3+} и Fe^{3+} .

При повышенном содержании диоксида кремния тетраэдры объединяются вершинами друг с другом, образуя цепочки, кольца и более сложные соединения (рис. 3 и 4) [3-4].

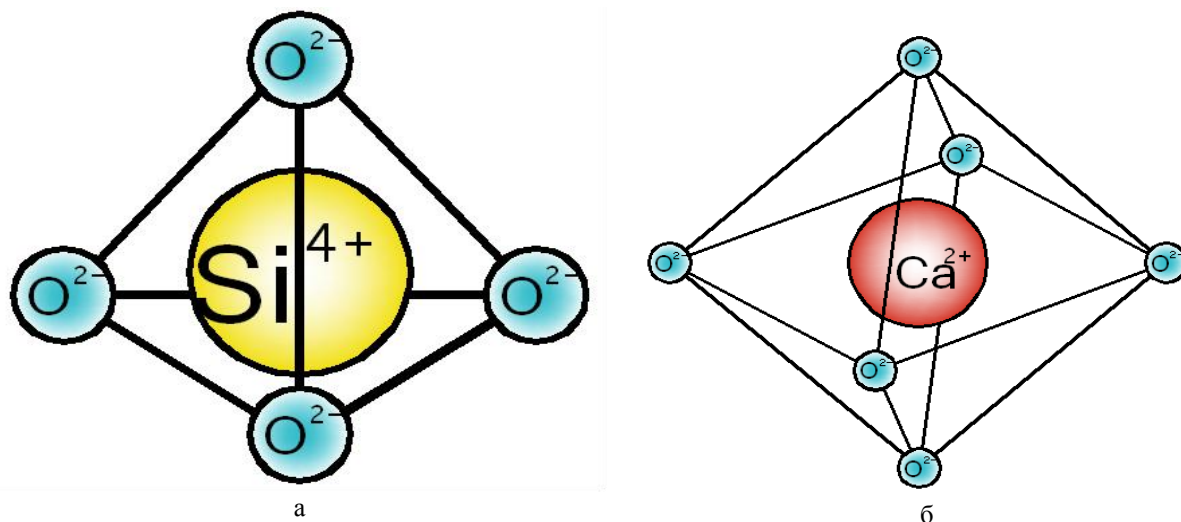


Рис. 1. Тетраэдрическое и октаэдрическое окружение ионов в шлаке:
а – анион SiO_4^{4-} ; б – катион Ca^{2+}

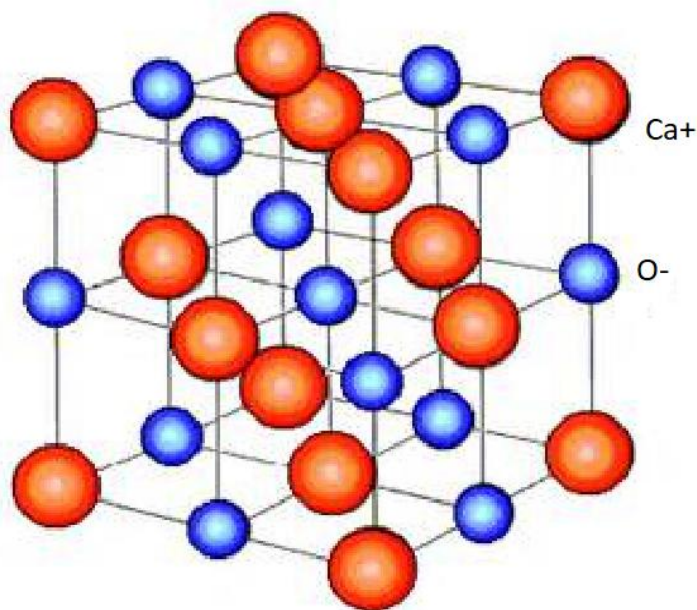
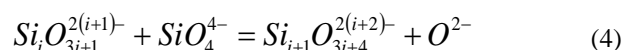
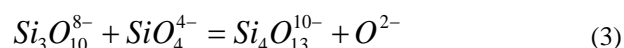
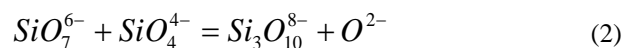
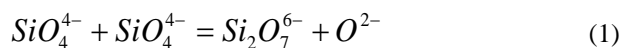


Рис. 2. Октаэдрическая координация катионов металла с анионами кислорода

Тетраэдрические плоскости заняты катионами Si^{4+} , P^{5+} , B^{3+} [3, 4], также в данные плоскости могут встраиваться катионы Al^{3+} и Fe^{3+} [4].

В силикатных расплавах по данным [4] при небольшом содержании в шлаке SiO_2 (не более 50 %) образуются только линейные цепочки, однако при повышенном содержании SiO_2 в шлаке (более 50 %) могут образовываться циклические тетраэдры типа $Si_4O_{12}^{8-}$:



Глинозем является одним из разжижителей шлака при внепечной обработке металла, поэтому изучение поведения Al_2O_3 в шлаках является необходимым и важным вопросом.

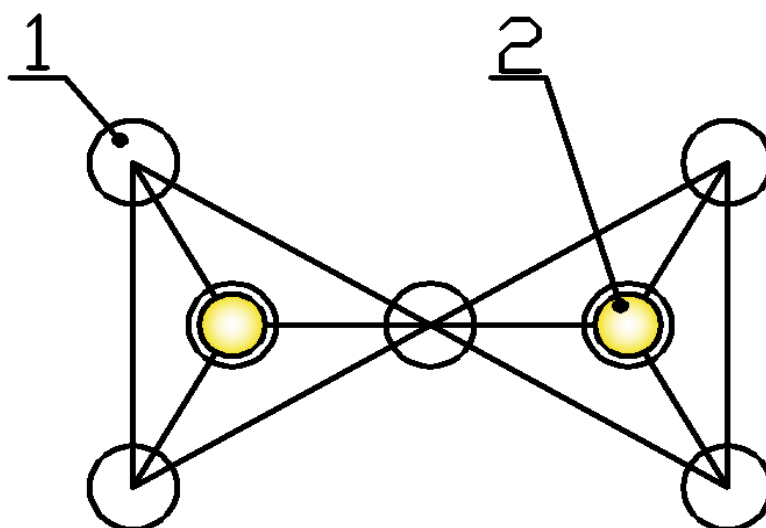


Рис. 3. Схема двойного кремнекислородного тетраэдра:
1 – анион O^{2-} , 2 – катион Si^{4+}

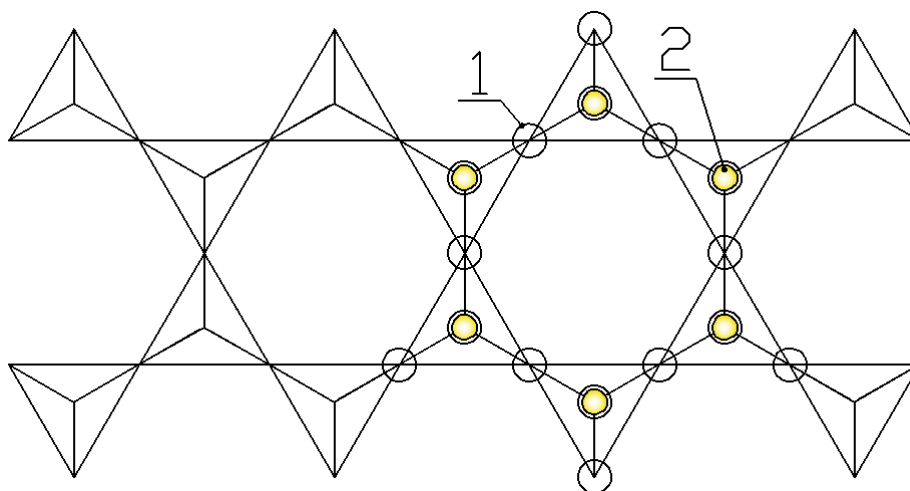
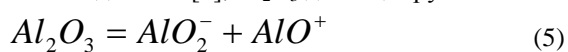


Рис. 4. Схема плоской цепочки тетраэдров:
1 – анион O^{2-} , 2 – катион Si^{4+}

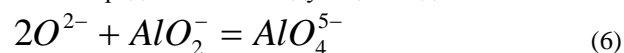
Al_2O_3 является амфотерным оксидом, он может образовывать как тетраэдрические, так и октаэдрические полости. Экспериментально отмечено, что растворенный в расплаве Al_2O_3 из координации 6 может переходить в координацию 4. Однако, возможно, для расчета влияния глинозема на образование полимерных цепочек необходимо внести поправку, т.к. Al_2O_3 может являться как основным оксидом, так и кислотным. Так, при его содержании в шлаке до 18% он является основным, а при содержании более 30% - кислотным; в интервале от 18 до 30% нет ярко выраженных свойств ни основного, ни кислого характера [6].

По данным [4], Al_2O_3 диссоциирует на ионы



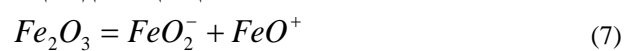
Реакцию образования ортоалюминатного аниона

можно представить в следующем виде:



При расчетах ферритных оксидных расплавов необходимо учитывать не только оксид железа FeO , но и комплексообразующее влияние оксида Fe_2O_3 .

Трехвалентное железо образует с кислородом комплексные анионы, которые записывают в виде FeO_2^- [4]. Возможно, они являются результатом реакции диссоциации:



А возникновение тетраэдра FeO_4^{5-} может быть представлено реакцией

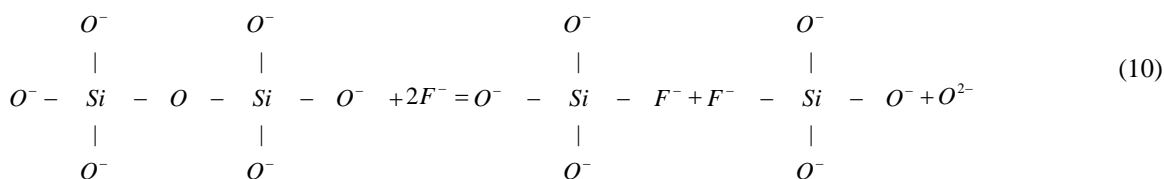


Исходя из вышесказанного, оксид Fe_2O_3 можно

представить в виде соединения $FeO[FeO_2]$, т.е. по данным [4] можно сказать, что половина атомов трехвалентного железа находится в четвертой координации по кислороду, а половина в шестерной.

В фосфатных расплавах P_2O_5 является кислотным оксидом, поэтому в шлаках всегда находится в тетраэдрических плоскостях кислородной упаковки, следовательно, можно считать, что он всегда является элементом-комплексообразователем.

Реакцию образования ортофосфатного комплекса PO_4^{3-} можно представить в следующем виде:



В шлаках с невысоким содержанием SiO_2 имеются простые кремнекислородные анионы SiO_4^{4-} . Поэтому реакция не происходит, и появление анионов F^- приводит к уменьшению ионной доли свободных анионов O^{2-} , а следовательно, активности MeO .

В полимерной модели, разработанной в УрФУ на кафедре «Теория металлургических процессов», принимается, что в шлаках с содержанием SiO_2 (не более 50 %) образуются только линейные цепочки [4]. Учитывая данный факт, можно считать, что реакция по-

Отдельного внимания заслуживают оксифторидные расплавы. В основном можно считать, что введение фторидов положительно влияет на поведение шлакового расплава, а именно понижается вязкость, повышается рафинирующая способность. Однако необходимо отметить, что применение фтористых соединений ухудшает экологическую обстановку на рабочей площадке [5]. Фториды по-разному влияют на активность MeO .

В кислых расплавах с высоким содержанием SiO_2 введение фторидов повышает активность MeO . Это связано с тем, что происходит разрушение мостиковых связей $Si-O-Si$ ионами фтора [4]:

лимеризации сводится к взаимодействию двух концевых ионов кислорода (O^-) с образованием одного взаимодействующего кислорода (O^0) и одного свободного иона (O^{2-}), т.е.



где, O^- - кислород, связанный с одним атомом кремния;

O^0 - с двумя атомами кремния;

O^{2-} - не связанный атомами кремния (рис. 5).

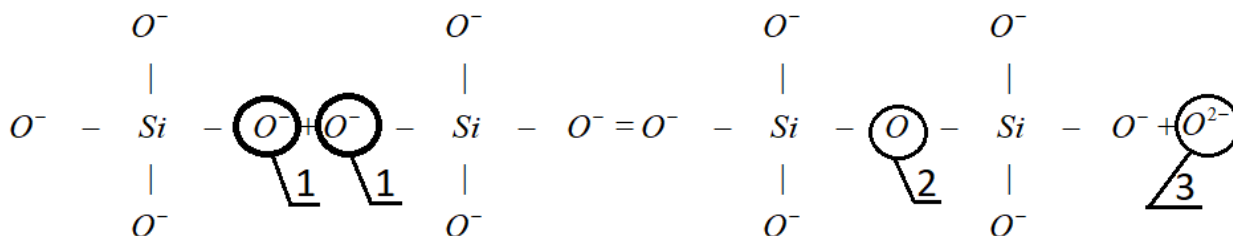


Рис. 5. Кислород, связанный с одним атомом кремния (1), с двумя атомами кремния (2) и не связанный атомами кремния (3)

По представленным выше положениям рассчитываются константа равновесия реакции полимеризации K_{II} и степень полимеризации α , равная доле функциональных (реакционноспособных) концевых ато-

мов кислорода (O^-), находящихся в полностью деполимеризованном расплаве (в расплаве с разобщенными мономерами, вступившим в реакцию полимеризации) [4-7]:

$$K_{II} = \frac{\alpha(1 - 3N_{SAF} - 2,5N_{PO_{5/2}} + 2\alpha N_{SAF} + 1,5\alpha N_{PO_{5/2}})}{\left(1 - \sum_{j=1}^k N_j\right)(1 - \alpha)^2}, \quad (12)$$

где, N_{SAF} - сумма мольных долей оксидов SiO_2 , Al_2O_3 (учитывается, если содержание в шлаке более 30%),

Fe_2O_3 ;

$N_{PO_{5/2}}$ – мольная доля $PO_{5/2}$.

Известное значение α позволяет рассчитать ионную долю «свободных» анионов кислорода $N_{O^{2-}}$ из уравнения [7]:

$$N_{O^{2-}} = \frac{1 - 3N_{SAF} - 2,5N_{PO_{5/2}} + 2\alpha N_{SAF} + 1,5\alpha N_{PO_{5/2}}}{1 - 2N_{SAF} - 1,5N_{PO_{5/2}} + \alpha N_{SAF} + 0,5\alpha N_{PO_{5/2}}} \quad (13)$$

Рассчитанные значения константы равновесия реакции полимеризации K_p , степень полимеризации – α и ионная доля «свободных» анионов кислорода $N_{O^{2-}}$ позволяют определить важнейшие параметры металлургических шлаков: растворимость оксидов в шлаковом расплаве, вязкость оксидных расплавов, основность оксидных расплавов, их рафинировочные свойства и ряд других параметров.

Список литературы

1. Теоретические основы сталеплавильных процессов: учеб. пособие для вузов / Р.С. Айзатулов, П.С. Харлашин, Е.В. Протопопов, Л.Ю. Назюта. М.: МИСиС, 2004. 320 с.
2. Бигеев А.М., Бигеев В.А. Металлургия стали. Теория и технология плавки стали: учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2000. 544 с.
3. Попель С.И., Сотников А.И., Бороненков В.Н. Теория металлургических процессов: учеб. пособие для вузов М.: Металлургия, 1986. 463 с.
4. Новиков В.К., Невидимов В.Н. Полимерная природа расплавленных шлаков : учеб. пособие. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2006. 62 с.
5. Повышение стойкости футеровки агрегатов внепечной обработки стали: монография/ А.А. Метелкин, О.Ю. Шешуков, И.В. Некрасов, О.И. Шевченко; М-во образования и науки РФ; ФГАОУ ВПО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н.Ельцина», Нижнетагил. технол. ин-т (фил.). Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2015. 144 с.
6. Вопросы утилизации рафинировочных шлаков сталеплавильного производства: монография / О.Ю. Шешуков, М.А. Михеенков, И.В. Некрасов, Д.К. Егиазарьян, А.А. Метелкин, О.И. Шевченко; М-во образования и науки РФ; ФГАОУ ВПО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н.Ельцина», Нижнетагил. технол. ин-т (фил.). Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2017. 208 с.
7. Некрасов И.В. Разработка рационального режима плавки стального полупродукта в сверхмощных дуговых электропечах : дис. ... канд. тех. наук: 05.16.02 : защищена 05.03.2010: утв. 11.06.2010/ Некрасов Илья Владимирович. Екатеринбург. 2012. 145 с.

Сведения об авторах

Шешуков Олег Юрьевич – д-р техн. наук, проф., директор Института новых материалов и технологий УрФУ, главный научный сотрудник лаборатории пирометаллургии черных металлов ИМЕТ УрО РАН, Екатеринбург, Россия. E-mail: o.j.sheshukov@urfu.ru

Некрасов Илья Владимирович – канд. техн. наук, ст. науч. сотр., Институт металлургии Уральского отделения РАН, Екатеринбург, Россия. E-mail: ivn84@bk.ru

Метелкин Анатолий Алексеевич – канд. техн. наук, ст. преп. кафедры металлургической технологии, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал), Нижний Тагил. Россия. E-mail: anatoliy82@list.ru

Савельев Максим Владимирович – начальник Технического управления АО ЕВРАЗ НТМК, Нижний Тагил, Россия. E-mail: maxim.savelev@evraz.com

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

Sheshukov O.Yu., Nekrasov I.V., Metelkin A.A., Savel'ev M.V.

ABOUT THE SLAG IONIC STRUCTURE

Abstracts: *The questions of ion structure of metallurgical slag are considered in the paper. It is shown that there are two types of planes in the slag structure: tetrahedral planes between four oxygen ions and octahedron between six oxygen ions. Various types of ions and their possibility to form tetrahedral and octahedral structures in metallurgical slags are studied. The obtained data allow to determine the most important parameters of metallurgical slag: the solubility of oxides in slag melt, the viscosity of oxide melts, the basicity of oxide melts, their refining properties and a number of other parameters.*

Keywords: *Ions in metallurgical slags, slag structure, determination of metallurgical slag parameters.*

Information about authors:

Sheshukov Oleg Yurievich - D. Sc.(Eng), Professor, Director of the Institute of new materials and technologies, Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, chief researcher, laboratory of pyrometallurgy of ferrous metals IMET UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

Nekrasov Ilya Vladimirovich – Ph.D. (Eng), senior researcher, laboratory of pyrometallurgy of ferrous metals IMET UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

Metelkin Anatoliy Alekseyevich - Ph.D. (Eng), Associate Professor Department of Metallurgical technologies Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), Nizhny Tagil, Russia.

Savel'ev Maksim Vladimirovich - *Head of Technical Department of JSC EVRAZ NTMK, Nizhny Tagil, Russia.*

Ссылка на статью:

Шешуков О.Ю., Некрасов И.В., Метелкин А.А., Савельев М.В. К вопросу об ионном строении шлаков // Теория и технология металлургического производства. 2018. №2(25). С.4 - 9.

Sheshukov O.Yu., Nekrasov I.V., Metelkin A.A., Savel'ev M.V. About the slag ionic structure. *Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2018, vol. 25, no. 2, pp. 4-9.

УДК 621.74.047

Мурапталова Р.Р., Столяров А.М., Потапова М.В.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ МЕТАЛЛА НА ЗАГРЯЗНЕННОСТЬ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ СОРТОВОЙ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ

Аннотация. В работе изучается влияние электромагнитного перемешивания металла в нижней части кристаллизатора на загрязненность неметаллическими включениями сортовой непрерывнолитой заготовки сечением 150×150 мм при разливке стали марки 20 закрытой струей.

Ключевые слова: непрерывная разливка стали, сортовая заготовка, неметаллические включения, технология разливки, электромагнитное перемешивание.

Загрязненность сортовой непрерывнолитой заготовки неметаллическими включениями оценивается по степени развития краевых точечных загрязнений – дефекта макроструктуры литого металла [1]. В предыдущих работах [2, 3] при изучении качества макроструктуры сортовой непрерывнолитой заготовки, отлитой на МНЛЗ радиального типа, установлена тесная взаимосвязь между степенью развития краевых точечных загрязнений и такими внутренними дефектами, как ликвационные трещины и полоски, расположенные, в основном, в углах поперечного сечения заготовки, а также внутренние и поверхностные газовые пузыри. В результате анализа влияния различных факторов на степень развития краевых точечных загрязнений определено преобладающее воздействие способа разливки металла из промежуточного ковша МНЛЗ в кристаллизаторы. Степень развития краевых точечных загрязнений в заготовке, отлитой открытой струей, в семь и более раз выше, чем в металле при разливке закрытой струей, что свидетельствует о преобладании в составе неметаллики оксидных включений. При разливке металла открытой струей для снижения загрязненности заготовки неметаллическими включениями следует иметь содержание серы в разливаемом металле не более 0,006 %, отношения содержания марганца к содержанию серы – не менее 80, содержание фосфора – не более 0,010 %. При проведении данных исследований не удалось рассмотреть влияние на загрязненность металла важного фактора – электромагнитного перемешивания (ЭМП) металла [4], так как изучалась углеродистая сталь марки Ст.3сп обыкновенного качества, разливаемая на МНЛЗ без ЭМП. В данной работе сделана попытка оценки влияния ЭМП металла другого сорта на качество макроструктуры литой стали.

С этой целью был проанализирован массив производственных данных из 181 плавки углеродистой качественной стали марки 20. Данные о химическом составе разлитого металла и основных параметрах отливки заготовок представлены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав металла и параметры разливки

Параметр	Значение*
Содержание в металле, %:	
углерод	<u>0,17 – 0,22</u> 0,19
кремний	<u>0,17 – 0,22</u> 0,20
марганец	<u>0,42 – 0,61</u> 0,45
сера	<u>0,001 – 0,015</u> 0,003
фосфор	<u>0,003 – 0,015</u> 0,007
азот	<u>0,005 – 0,010</u> 0,007
алюминий	<u>0,015 – 0,026</u> 0,020
Температура металла в промежуточном ковше, °С	<u>1525 – 1556</u> 1543
Температура ликвидус металла, °С	<u>1513 – 1526</u> 1516
Скорость вытягивания заготовки, м/мин	<u>2,0 – 2,8</u> 2,4

* Числитель – интервал изменения, знаменатель – среднее значение.

Поперечные темплеты были вырезаны из сортовых непрерывнолитых заготовок с размерами поперечного сечения 150×150 мм каждой плавки. Непрерывная разливка металла осуществлялась закрытой

струей на двух пятиручьевых МНЛЗ радиального типа электросталеплавильного цеха ПАО «ММК» [5 – 7].

На одной из машин разливаемый металл на всех ручьях подвергался ЭМП при помощи устройства фирмы «ABB Automation Systems». Это устройство представляет собой укороченную катушку, расположенную с внешней стороны нижней части кристаллизатора (рис. 1) [8]. Частота питающего тока равна 3 - 5,5 Гц. Напряжение составляет 500 В, а сила тока – 300 - 500 А. Устройство обладает кажущейся мощностью 433 кВт·А. С ЭМП было отлито 155 плавов стали марки 20.

На другой МНЛЗ устройства ЭМП отсутствовали, там было отлито 26 плавов стали той же марки.

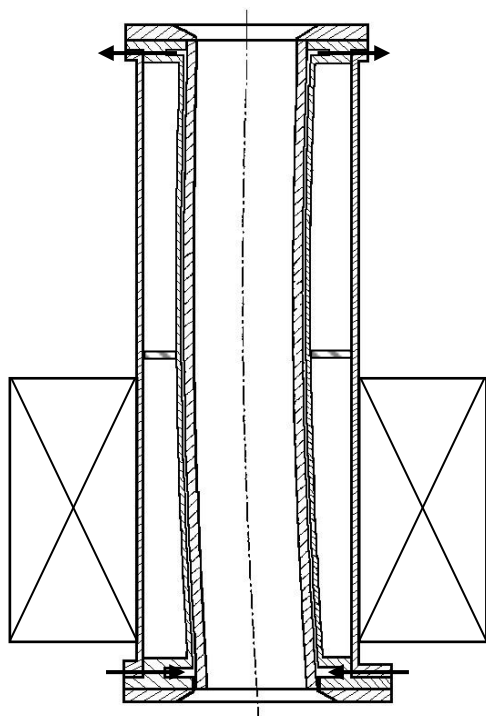


Рис. 1. Схема расположения катушки устройства электромагнитного перемешивания металла в нижней части кристаллизатора

Качество макроструктуры литого металла оценивалось с использованием четырехбалльных шкал согласно ОСТ 14-4-73. Результаты оценки приведены в табл. 2.

Из представленных данных следует, что наибольшее различие в качестве макроструктуры металла, отлитого с ЭМП и без него, наблюдается в степени развития краевых точечных загрязнений (рис. 2). ЭМП металла в нижней части кристаллизатора создает благоприятные условия для всплывания неметаллических

включений из лунки жидкого металла и ассимиляции их покровным шлаком в кристаллизаторе.

Таблица 2

Результаты оценки качества макроструктуры литого металла

Вид дефекта	Степень развития дефекта*, баллы
Центральная пористость (ЦП)	$\frac{1,42}{1,52}$
Осевая ликвация (ОЛ)	$\frac{1,14}{1,10}$
Ликвационные трещины и полосы общие (ЛТП _{об})	$\frac{0,35}{0,42}$
Ликвационные трещины и полосы осевые (ЛТП _{ос})	$\frac{0,18}{0,42}$
Ликвационные трещины и полосы угловые (ЛТП _{уг})	$\frac{0,14}{0,10}$
Светлые полосы (СП)	$\frac{0}{0}$
Краевые точечные загрязнения (КТЗ)	$\frac{0,10}{0,27}$
Газовый пузырь внутренний (ГПА)	$\frac{0}{0}$
Газовый пузырь поверхностный (ГПВ)	$\frac{0}{0,02}$

* Числитель – металл разлит с ЭМП, знаменатель – металл разлит без ЭМП.

Статистическая оценка средних значений двух выборок степени развития краевых точечных загрязнений была произведена с использованием F и t критериев (табл. 3).

Превышение расчетного значения t – критерия над его критическим значением свидетельствует о том, что с вероятностью ошибки 10 % можно оценить, как статистически значимо различие между средними значениями двух выборок. Следовательно, снижение загрязненности металла неметаллическими включениями произошло именно вследствие применения ЭМП при разливке стали.

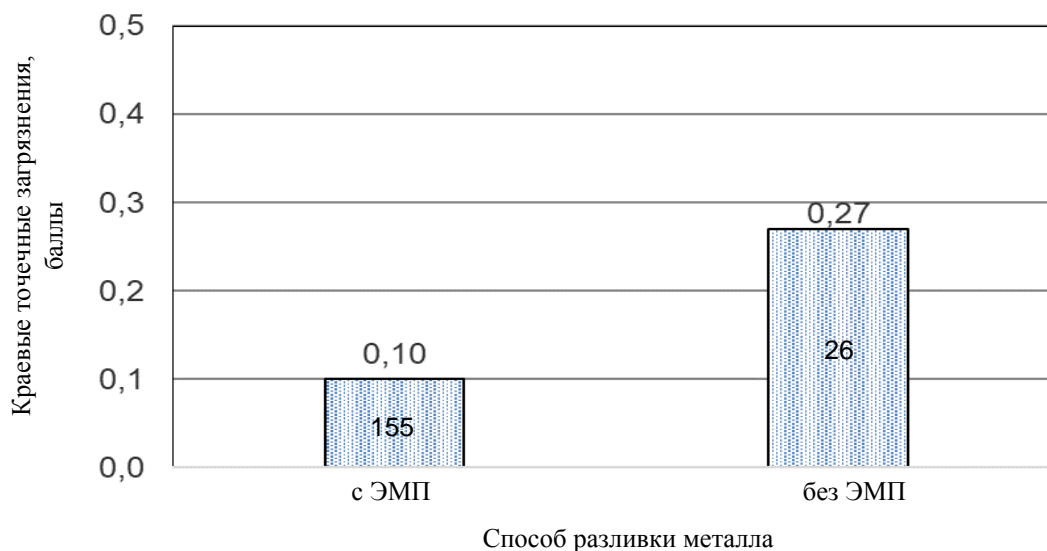


Рис. 2. Степень развития краевых точечных загрязнений в сортовой непрерывнолитой заготовке сечением 150×150 мм из стали марки 20, разлитой с ЭМП и без него

Таблица 3

Сравнение загрязненности металла неметаллическими включениями

Параметр	Способ разливки металла	
	с ЭМП	без ЭМП
Количество данных в выборке, шт.	155	26
Среднее значение степени развития краевых точечных загрязнений, баллы	0,10	0,27
Дисперсия, баллы	0,059	0,245
Критерий F	4,163	
Критическое значение критерия $F_{0,05}$	1,578	
Критерий t	1,743	
Критическое значение критерия $t_{0,10}$	1,703	

Заключение. Таким образом, в результате проведенного исследования установлено, что ЭМП металла в нижней части кристаллизатора сортовой МНЛЗ позволяет снизить загрязненность стали неметаллическими включениями при разливке закрытой струей. Однако данное воздействие значительно менее эффективно по сравнению с влиянием способа заливки металла из промежуточного ковша в кристаллизаторы.

Список литературы

1. Ботников С.А. Современный атлас дефектов непрерывнолитой заготовки и причины возникновения прорывов кристаллизующейся корочки металла. Волгоград: ООО «САТЕ», 2011. 97 с.
2. Мурапталова Р.Р., Столяров А.М., Потапова М.В. Краевые точечные загрязнения сортовой непрерывнолитой заготовки // Теория и технология металлургического производства. 2017. №4 (23). С. 23–25.
3. Изучение загрязненности неметаллическими включениями сортовой непрерывнолитой заготовки / А.М. Столяров, В.В. Мошкунов, М.В. Потапова, Р.Р. Мурапталова // Теория и технология металлургического производства. 2018. №1(24). С. 14 – 20.
4. О способах воздействия на процесс формирования стальной непрерывнолитой заготовки / Столяров А.М., Сомнат Басу, М.В. Потапова, С.В. Дидович // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №1 (45). С. 24–27.

5. Бигеев В.А., Столяров А.М., Валиахметов А.Х. Металлургические технологии в высокопроизводительном электросталеплавильном цехе: учеб. пособие. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. 308 с.
6. Столяров А.М., Великий А.Б., Юречко Д.В. Повышение эффективности разлива стали на высокопроизводительных сортовых МНЛЗ. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2009. 126 с.
7. Столяров А.М., Селиванов В.Н. Технология непрерывной разлива стали: учеб. пособие Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2009. 78 с.
8. Столяров А.М., Селиванов В.Н. Непрерывная разлива стали. Машины непрерывного литья заготовок: учеб. пособие Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. 193 с.

Сведения об авторах

Мурапталова Рамиля Рамилевна – бакалавр кафедры технологии металлургии и литейных процессов Института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Магнитогорск, Россия. E-mail: mchm@magtu.ru

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

Потапова Марина Васильевна – канд. техн. наук, доц. кафедры технологии металлургии и литейных процессов Института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Магнитогорск, Россия. E-mail: mchm@magtu.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF METAL ELECTROMAGNETIC MIXING ON CO-CAST BILLET CONTAMINATION WITH NON-METALLIC INCLUSIONS

Muraptalova Ramilya Ramilevna – bachelor degree student of Technology of Metallurgy and Foundry Processes Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation. E-mail: mcm@magtu.ru

Stolyarov Alexander Mikhailovich – D.Sc. (Eng.), Professor of Technology of Metallurgy and Foundry Processes Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation. E-mail: mcm@magtu.ru

Potapova Marina Vasilyevna – Ph.D. (Eng.), Associate Professor of Technology of Metallurgy and Foundry Processes Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation. E-mail: mari-na_potapova8@mail.ru

Abstract: *The effect of electromagnetic mixing of metal in the lower part of the crystallizer on contamination with nonmetallic inclusions of the co-cast billet with a cross section of 150 × 150 mm is studied in the process of 20 grade steel casting by a closed jet.*

Keywords: *Continuous casting of steel, high-quality billets, non-metallic inclusions, casting technology, electromagnetic mixing.*

Ссылка на статью:

Мурапталова Р.Р., Столяров А.М., Потапова М.В. Оценка влияния электромагнитного перемешивания металла на загрязненность неметаллическими включениями сортовой непрерывнолитой заготовки // Теория и технология металлургического производства. 2018. №2(25). С. 10 - 13.

Muraptalova R.R., Stolyarov A.M., Potapova M.V. Assessment of the influence of metal electromagnetic mixing on co-cast billet contamination with non-metallic inclusions. *Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2018, vol. 25, no. 2, pp. 10-13.

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 62-663

Иванова В.А.

УСТАНОВЛЕНИЕ ВЗАИМНОГОВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИТЕЙНОГО КОКСА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА СТРУКТУРИРОВАНИЯ ФУНКЦИИ КАЧЕСТВА

Аннотация. На основе литературных данных и с применением метода структурирования функции качества (QFD-метод) построены подматрицы потребительских свойств, связей, характеристик качества и корреляционная подматрица для литейного кокса. Установлены характеристики качества литейного кокса и их влияние на его потребительские свойства, а также зависимости между характеристиками качества литейного кокса и степенью удовлетворения потребительских свойств. К потребительским свойствам литейного кокса относятся: снижение удельного расхода кокса; обеспечение дренажной способности; обеспечение требуемого содержания серы и фосфора в чугуна; сохранение крупности литейного кокса при транспортировке; обеспечение необходимой температуры чугуна на выпуске. Характеристиками качества литейного кокса являются прочность, пористость, плотность, насыпная плотность, гранулометрический состав, реакционная способность, содержание серы, содержание фосфора, структура, влажность, зольность, состав золы, выход летучих веществ. Результаты формирования матриц структурирования функции качества позволяют наглядно представить влияние каждой характеристики качества литейного кокса на его потребительские свойства и их взаимное влияние, что позволяет устанавливать номенклатуру характеристик качества литейного кокса с учетом его потребительских свойств.

Ключевые слова: литейный кокс, метода структурирования функции качества (QFD-метод), характеристики качества, взаимное влияние, потребительские свойства.

Метод структурирования функции качества – это формализованная процедура идентификации требований потребителей и последующего их перевода в характеристики качества изделия на каждом этапе его проектирования и изготовления. Целью этого метода является преобразование характеристик качества продукции с учетом наиболее полного удовлетворения выявленных запросов и пожеланий потребителей при оптимальном расходовании материальных, финансовых и временных ресурсов (ГОСТ Р 56005-2014 «Арматура трубопроводная. Методика обеспечения надежности и безопасности при проектировании и изготовлении с использованием метода структурирования функции качества»).

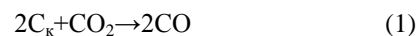
Литейный кокс – топливо для плавки чугуна в вагранке. Основными задачами плавки чугуна в вагранке являются расплавление шихты и обеспечение требуемого химического состава и температуры выплавляемого чугуна. Необходимая температура чугуна достигается в результате сгорания кокса при подводе дутья и является функцией взаимодействия кислорода воздуха и углерода кокса. Удельный расход топлива – показатель энергетической эффективности плавильной печи (ГОСТ Р 51749-2001 «Энергосбережение. Энергопотребляющее оборудование общепро-

мышленного применения. Виды. Типы. Группы. Показатели энергетической эффективности. Идентификация»).

К основным требованиям к литейному коксу для обеспечения эффективности плавки чугуна в вагранке (потребительские свойства) относятся: снижение удельного расхода кокса; обеспечение дренажной способности; обеспечение требуемого содержания серы и фосфора в чугуна; сохранение крупности литейного кокса при транспортировке; обеспечение необходимой температуры чугуна на выпуске.

Литейный кокс – это объект, обладающий большим количеством отличительных свойств, которые взаимосвязаны друг с другом. Установление взаимного влияния свойств литейного кокса позволит оптимизировать их количество, а также выявить наиболее важные характеристики, которые можно будет применять для оценки качества литейного кокса. Проведем анализ литературных данных о каждой характеристике литейного кокса с целью установления их оптимальных значений и взаимного влияния.

Под реакционной способностью кокса обычно понимают скорость образования оксида углерода при взаимодействии углерода кокса с диоксидом углерода [1] по реакции



Реакционная способность кокса зависит от формы углерода [2, 3] – снижению реакционной способности способствуют анизотропные текстуры в коксе. Получены многочисленные данные о влиянии на реакционную способность кокса различных минеральных примесей [5-8]: оксиды кальция, железа, фосфора, серы, алюминия, щелочных металлов и др. По мнению авторов [6-8], щелочи калия и натрия являются катализаторами газификации углерода. Опыт работы в ОАО «ИспатКармет» показал влияние зольности на реакционную способность: при снижении зольности кокса с 12,8 до 10,5 % показатели CRI улучшились соответственно с 31 до 26 % [9]. Величина реакционной способности обусловлена также содержанием серы. Повышение содержания общей серы (S_t^d) на 1 % приводит к увеличению реакционной способности кокса K на $0,521 \text{ см}^3/(\text{г}\cdot\text{с})$ (ГОСТ 10089-89 «Кокс каменноугольный. Метод определения реакционной способности»), а CRI – на 17,5 % [10, 11]. В работе [12] была установлена зависимость реакционной способности кокса от температуры нагрева и значений плотности и пористости. Влияние пористости кокса на реакционную способность было установлено также в работе [13], а кажущейся плотности – в работе [14]. В доменном переделе считается, что реакционная способность кокса оказывает влияние на газопроницаемость и дренажную способность шихтовых материалов. Увеличение реакционной способности на 1 % приводит к увеличению расхода кокса на 0,509 кг/т чугуна, а увеличение реакционной способности на 10 % ухудшает газопроницаемость за счет появления мелочи и способствуют увеличению потерь давления на 5,3 % [15].

Реакционная способность определяет эффективность использования кокса в вагранке [6]. Реакция газификации способствует перерасходу кокса и охлаждению вагранки, причем образующийся оксид углерода не может быть использован [14], что в целом снижает эффективность плавки. Поэтому для литейного производства требуется кокс с минимально возможной реакционной способностью ($< 0,5 \text{ см}^3/(\text{г}\cdot\text{с})$) [16]. Лучшие сорта отечественного литейного кокса имеют реакционную способность на уровне 0,4-0,5 $\text{см}^3/(\text{г}\cdot\text{с})$ [17].

Увеличение зольности кокса способствует его перерасходу при плавке по следующим причинам: увеличение зольности кокса приводит к уменьшению содержания углерода – горючей составляющей кокса; расход кокса повышается за счет увеличения расхода теплоты на нагрев и плавление минеральной массы [18]; увеличение содержания золы способствует увеличению количества шлака и, как следствие, увеличению расхода кокса [2, 4]. По данным работы [17], из-

менение расхода кокса в зависимости от его зольности при температуре чугуна $1360 \text{ }^\circ\text{C}$ и соответственно $\text{CO}_2/\text{CO}=1,1$ в колошниковых газах составляет примерно 0,3 % на 1 % золы. Содержание золы в коксе зависит от его крупности. Было замечено, что в коксе крупностью менее 10 мм содержится больше золы [12]. Зола в виде минеральных включений в коксе, являясь центрами внутренних напряжений и деформации кусков кокса вследствие различных коэффициентов расширения и химических реакций с углеродом, ослабляет структуру кокса и снижает его прочность при высоких температурах [2]. На каждый процент снижения зольности кокса показатель прочности CSR возрастает на $\sim 3,6 \%$ [4]. Содержание золы (A^a , %) является показателем качества литейного кокса в соответствии с требованиями ГОСТ 3340-88 «Кокс литейный каменноугольный. Технические условия» и зависит от марки литейного кокса. Для кокса марки КЛ-1 зольность не должна превышать 12,0 %, для кокса марки КЛ-2 – 11,0 %, а для кокса марки КЛ-3 – 11,5 %.

Влага кокса в вагранке испаряется благодаря теплу отходящих газов в верхней ее части. Повышенное содержание влаги в коксе понижает теплоту его сгорания вследствие уменьшения содержания горючих компонентов, а также из-за увеличения расхода теплоты на ее испарение и поэтому сказывается на тепловом состоянии плавки [19]. Нестабильность влажности кокса вызывает колебание содержания углерода, что отрицательно влияет на тепловое состояние печи и требует ведения плавки с определенным резервом тепла, это приводит к перерасходу кокса и снижению производительности печей [2]. Колебание влажности кокса отрицательно сказывается на работе печи при условии загрузки кокса по массе, поэтому требует корректировки расчета шихты [14, 20]. Доля общей влаги в рабочем состоянии топлива (W^p , %) не зависит от марки литейного кокса и не должна превышать 5,0 %.

Для снижения серы в чугуне необходим основной шлак, который связывает серу в нерастворимые в металле соединения, что приводит к увеличению расхода флюса и, как следствие, расхода кокса, что снижает производительность печи [2, 13]. Из опыта доменной плавки известно, что повышение содержания серы в коксе в среднем на 1 % приводит к увеличению его расхода на 10-14 % и снижению производительности доменной печи на 8-12 % [20, 21]. Уменьшение содержания серы в коксе на каждую 0,1 % способствует росту производительности доменной печи на 0,3 % и снижению расхода кокса на 0,3 % [21]. Представляет интерес влияние серы кокса на его прочность. Например, в работе [22] установлено сни-

жение прочности кокса с увеличением содержания в золе кокса SO_3 . О наличии связи между содержанием серы и показателями прочности свидетельствуют значения коэффициентов корреляции, полученные при анализе данных различных авторов [12, 19]. Противоречивые, но высокие значения коэффициентов корреляции свидетельствуют о необходимости проведения дополнительных исследований по данному вопросу. В литейном коксе марки КЛ-1 массовая доля общей серы не должна превышать 0,6 %, в коксе марки КЛ-2 – не более 1,0 %, а в коксе марки КЛ-3 – не более 1,4 %.

В коксе фосфор содержится в виде фосфатов кальция и алюминия в золе. При плавке чугуна в вагранке газификация фосфатов кальция ($Ca_3(PO_4)_2$) и алюминия из золы кокса возможна уже при 500 °С. Поэтому восстановление фосфора из кокса в чугун будет происходить через газовую фазу. Процесс восстановления фосфора в чугун из газовой фазы может происходить, в том числе, и с участием углерода чугуна, что может приводить к его снижению. Массовая доля фосфора в золе кокса на различных металлургических предприятиях (P_2O_5 , %) изменяется в широких пределах от 0,25 до 1,10.

Количество летучих веществ литейного кокса (V^{daf} , %) составляет от 0,5 до 1,5 % [17, 21]. По данным [20, 23], рекомендуемое количество летучих веществ в литейном коксе не должно превышать 1,2 %. Снижение значения V^{daf} (%) для промышленных коксов Алчевского коксохимического завода с 2,76 до 0,86 приводит к снижению величины реакционной способности K ($cm^3/g \cdot c$) с 0,72 до 0,23, к росту величины структурной прочности по Грязнову с 80 до 87 %, к росту действительной плотности с 1,684 до 1,894 $г/см^3$, к росту термомеханической прочности (по УХИН) с 44,2 до 76,7 % [23]. Выход летучих веществ в коксе различен для разных классов крупности [12, 13]. Чем меньше крупность кокса, тем больше содержание в нем летучих веществ.

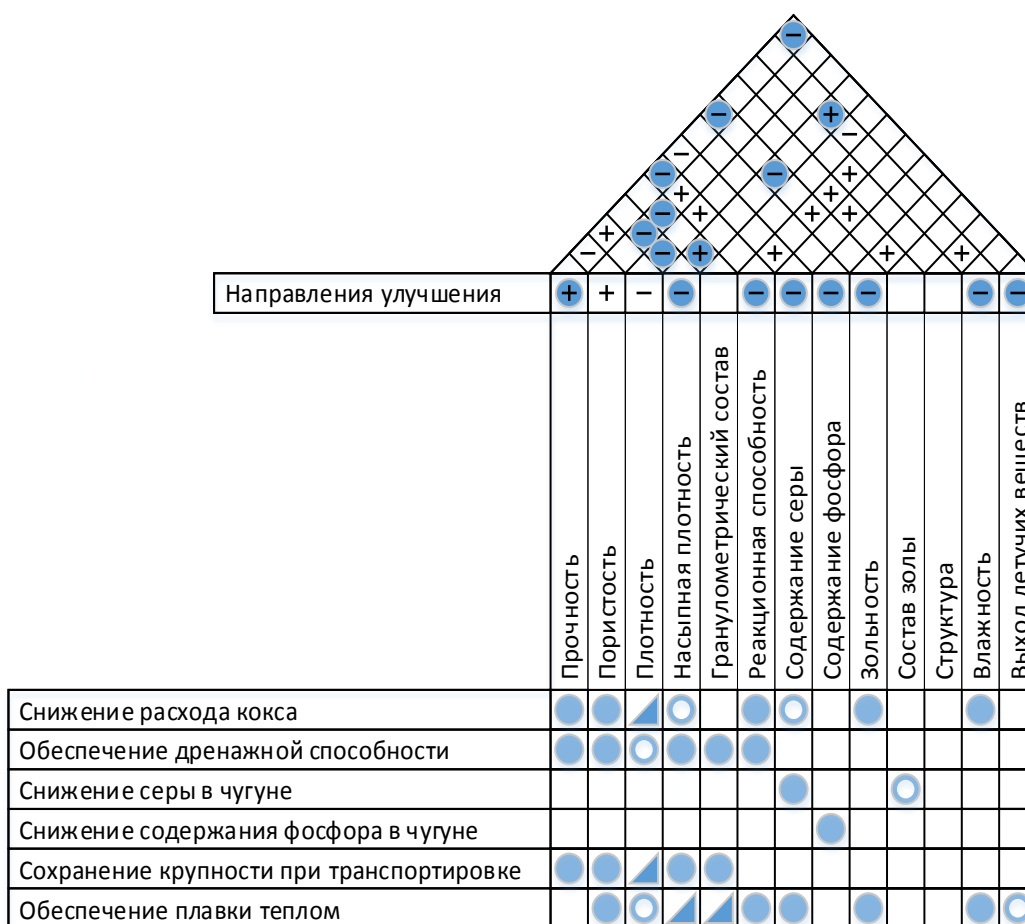
Прочность литейного кокса имеет большое значение для эффективности плавки чугуна в вагранке. Для литейного кокса значение прочности (M_{40} , %) установлено в ГОСТ 3340-88 «Кокс литейный каменноугольный. Технические условия» и составляет в зависимости от класса крупности от 73 до 78 %. Полученные зависимости прочности металлургического кокса от состава золы в работах [24] подтверждают снижение прочности с увеличением содержания в золе основных оксидов. Выявлено влияние содержания в золе кокса SO_3 на его прочность: увеличение на 1 % содержания в золе SO_3 снижает CSR на 20-24 % (абс.) [22]. Установлено, что прочность кокса связана с его крупностью. Как показывают результаты экспериментов, из исследованных классов кокса (80 мм и более,

60-80, 40-60 и 25-40) наименьшую прочность имеют куски размером 80 мм и более, наибольшую – 40-60 мм.

В России кокс по размеру кусков классифицируют в соответствии с требованиями ГОСТ 9434-75 «Кокс каменноугольный. Классификация по размеру кусков», в котором установлены следующие классы кокса, применяемого в литейном производстве (мм): 40 и более, 40-60, 60-80, 60 и более, 80 и более. Для кокса существенное снижение газопроницаемости наблюдается при уменьшении отношения линейных размеров его кусков (самых крупных к самым мелким) ниже двух. Известно, что особенно отрицательно отражается на работе вагранки малый размер кусков [17]. Таким образом, газопроницаемость шихты обеспечивается равномерностью по крупности используемого кокса.

Пористость кокса определяют различными методами и характеризуется она параметрами пористости (P_r , %), кажущейся пористости (Π_k , %) и насыпной массой в большом контейнере (Z , t/m^3). Для литейного кокса значение кажущейся пористости (Π_k , %) составляет по разным источникам от 35 до 45 % [1, 19]. Насыпную массу в большом контейнере в соответствии с требованиями ГОСТ ISO 1013-95 «Кокс. Метод определения насыпной массы в большом контейнере» (Z , t/m^3) определяют как массу кокса, приходящуюся на объем контейнера. Насыпная масса зависит как от действительной плотности, так и от кажущейся плотности и пористости. Для коксов из донецких углей насыпная масса составляет 0,43-0,45 [20, 21], а для коксов из восточных углей – 0,46-0,48 t/m^3 [20].

Изложенные данные систематизированы с применением метода структурирования функции качества (QFD-метод), который представляет собой формализованную процедуру идентификации требований потребителя и последующего их перевода в характеристики качества изделия на каждом этапе его проектирования и изготовления (ГОСТ Р 56005-2014 «Арматура трубопроводная. Методика обеспечения надежности и безопасности при проектировании и изготовлении с использованием метода структурирования функции качества», см. рисунок). Результаты формирования матриц структурирования функции качества литейного кокса позволяют наглядно представить влияние каждой характеристики качества литейного кокса на потребительские свойства, а также их взаимное влияние, что позволит устанавливать номенклатуру характеристик качества литейного кокса с учетом его потребительских свойств.



Фрагмент «дома качества» литейного кокса (подматрицы корреляционная, потребительских свойств и связей).

Список литературы

1. *Металлургическое топливо: справочник* / М.Б. Равич, С.С. Дворин, А.Я. Ленков, С.И. Певзнер; под ред. И.Н. Сушкина, Г.Ф. Кнорре, Т.А. Зикеева. М.: Металлургия, 1965. 653 с.
2. Пинчук С.И. Системный анализ природы качества доменного кокса // *Кокс и химия*. 2001. № 8. С. 12-18.
3. Скляр М.Г., Данг В.Х. Структура и свойства кокса: труды МЧМ СССР. М.: Металлургия, 1986. С. 71-94.
4. Влияние оптимизации состава шихты и ее зольности на показатели качества кокса / Ю.В. Степанов, Р.Р. Гилязетдинов, Н.К. Попова, Л.А. Махортова // *Кокс и химия*. 2005. № 7. С. 14-18.
5. Реактивность и прочность кокса // *Кокс и химия*. 2002. № 10. С. 44-46. (Hermann W. // *Sokemak. Int.* 2002. № 1. V. 14. P. 18-31).
6. Теоретические аспекты газификации кокса в доменном и недоменных технологических процессах / А.Я. Лазаренко, В.Е. Кононенко, Е.Л. Сорокин, А.П. Толстой // *Кокс и химия*. 2003. № 6. С. 14-18.
7. G.-W.Lask // *World Coal*. 2000. V. 9. № 8. P. 50-53.

8. Вейнский В.В., Барский В.Д. Зависимость реакционной способности кокса от величины зольности и состава золы // *Кокс и химия*. 1990. № 12. С. 9-12.
9. Влияние оптимизации состава шихты и ее зольности на показатели качества кокса / Ю.В. Степанов, Р.Р. Гилязетдинов, Н.К. Попова, Л.А. Махортова // *Кокс и химия*. 2005. № 7. С. 14-18.
10. Сернистость и реакционная способность кокса / М.Л. Улановский, Д.В. Мирошниченко, Ю.С. Кафтан, А.Н. Лихенко // *Углекимический журнал*. 2003. № 3-4. С. 45-48
11. Взаимосвязь реакционной способности и термомеханической прочности кокса / М.Л. Улановский, Д.В. Мирошниченко, И.Д. Дроздник и др. // *Углекимический журнал*. 2004. № 5-6. С. 46-51.
12. Шукин П.А. Исследование свойств металлургического кокса. М.: Металлургия, 1971. 184 с.
13. Мучник Д.А., Иванов Е.Б. Сортировка кокса. М.: Металлургия, 1968. 296 с.
14. Луазон Р., Фош П., Буайе А. *Кокс*. М.: Металлургия, 1975. 520 с.
15. Скляр М.Г., Данг В.Х. Влияние реакционной способности кокса на работу доменной печи: обзор.

информ./ Ин-т «Черметинформация». Сер. «Производство чугуна». М., 1982. Вып. 2. 11 с.

16. Леви М.А., Мариенбах Л.М. Основы теории металлургических процессов и технология плавки литейных сплавов. М.: Машиностроение, 1970. 496 с.

17. Нефедов П.Я., Страхов В.М. Качество и эффективность использования литейного кокса в вагранках// Кокс и химия. 2003. № 7. С. 16-26.

18. Мучник Д.А., Гуляев В.М. Расчеты и прогнозирование показателей качества металлургического кокса с использованием ПК: учеб. пособие. Днепропетровск: Изд-во Днепропетровского гос. техн. ун-та, 2007. 225 с.

19. Плужников А.И., Риферт О.Г., Трембач А.А. Критерии оценки качества доменного кокса. Перспективы его улучшения на ОАО «Испат-Кармет» // Кокс и химия. 2001. № 1. С. 8-10.

20. Остроухов М.Я., Шнарбер Л.Я. Справочник мастера-доменщика. М.: Металлургия, 1977. 304 с.

21. Металлургия чугуна / Е.Ф. Вегман, Б.Н. Жеребин, А.Н. Похвиснев, Ю.С. Юсфин. М.: Металлургия, 1978. 480 с.

22. Улановский М.Л., Мирошниченко Д.В. О методе фирмы «Ниппон Стил Корпорейшн» определения качества кокса// Кокс и химия. 2005. № 6. С. 18-21.

23. Мирошниченко Д.В. Влияние технологических факторов подготовки и коксования углей на реакционную способность кокса // Кокс и химия. 2009. № 2. С. 37-42.

24. Гайниева Г.Р., Рябченко А.Д., Никитин Л.Г. Составление шихт для коксования по минеральным составляющим золы углей// Кокс и химия. 2003. № 10. С. 18-22.

Сведения об авторах

Иванова Валерия Анатольевна – канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой технологии материалов, стандартизации и метрологии, ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», г. Ярославль, Россия. E-mail: ivanova-waleriya@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

Ivanova Valeria Anatolievna – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Chief of the Material Technology, Standardization and Metrology Department, Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia. E-mail: ivanova-waleriya@mail.ru

DETERMINATION OF RECIPROCAL INFLUENCE OF FOUNDRY COKE CHARACTERISTICS BY METHOD OF THE QUALITY FUNCTION STRUCTURING

Abstract. *Submatrices of consumer properties, relationships, quality characteristics and a correlation submatrix for foundry coke are constructed on the basis of literature data and using the quality function structuring method (QFD method). The quality characteristics of foundry coke and their influence on its consumer properties are determined, as well as the relationships between the quality characteristics of foundry coke and the degree of satisfaction of consumer properties. The consumer properties of foundry coke include: a decrease in the specific consumption of coke; ensuring drainage capacity; ensuring the required sulfur and phosphorus content in cast iron; preservation of the size of the foundry coke during transportation; ensuring the necessary temperature of the cast iron at the outlet. Characteristics of casting coke quality are strength, porosity, density, bulk density, granulometric composition, reactivity, sulfur content, phosphorus content, structure, moisture, ash content, ash composition, volatile matter yield. The results of forming the matrices of the structuring of the quality function make it possible to visualize the effect of each quality characteristic of the casting coke on its consumer properties and their mutual influence.*

Keywords: *Foundry coke, quality function structuring method (QFD method), quality characteristics, mutual influence, consumer properties.*

Ссылка на статью:

Иванова В.А. Установление взаимного влияния характеристик литейного кокса с применением метода структурирования функции качества // Теория и технология металлургического производства. 2018. №2(25). С. 14 - 18.

Ivanova V.A. Determination of reciprocal influence of foundry coke characteristics by method of the quality function structuring. *Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2018, vol. 25, no. 2, pp. 14-18.

УДК 621.744.079

Смолко В.А., Антошкина Е.Г.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИНЫ ПРОНИКНОВЕНИЯ ПРОТИВОПРИГАРНО-УПРОЧНЯЮЩИХ КРАСОК В ФОРМОВОЧНУЮ СМЕСЬ

Аннотация. При изготовлении отливок в сырых формах прочность поверхностного рабочего слоя формы увеличивают пропиткой его специальными противопригарно-упрочняющими суспензиями с целью повышения размерной точности отливок, предотвращения пригара, ужимин и других дефектов. Предложен неразрушающий метод экспериментального определения глубины проникновения противопригарно-упрочняющих красок в формовочную смесь, основанный на определении изменения электрической емкости образца смеси после его пропитки противопригарно-упрочняющим составом. Экспериментально подтверждено, что, используя данную методику и предложенное эмпирическое выражение, а также задаваясь определенной глубиной пропитки, представляется возможным рассчитать время окраски стержня при покрытии стержней противопригарно-упрочняющими красками.

Выявлены особенности структурных состояний растворов железа с ванадием, кремнием и углеродом, установлена их взаимосвязь с исходным структурным состоянием расплава железа. Показаны возможности структурных исследований расплавов при термодинамической характеристике растворов. В частности, качественно подтверждены выводы о неидеальности растворов углерода и кремния и поведении ванадия в растворах железа, близком к идеальному.

Установлена взаимосвязь свойств твердого металла с особенностями структурного состояния расплавов и намечены пути технологической реализации резервов повышения качества стали при микролегировании.

Ключевые слова: формовочная смесь, противопригарно-упрочняющая краска, электрическая емкость.

Введение. Для повышения размерной точности отливок, предотвращения пригара, ужимин и других дефектов, снижения припусков на механическую обработку, при изготовлении отливок в сырых формах увеличивают прочность поверхностного рабочего слоя формы пропиткой его специальными противопригарно-упрочняющими суспензиями с получением прочного покрытия [1].

Противопригарно-упрочняющие краски представляют собой суспензии, состоящие из порошкообразного огнеупорного наполнителя, связующего стабилизатора и других технологических добавок, равномерно распределенных в дисперсионной среде (воде или органических жидкостях). Она должна обладать достаточной термостойкостью, высокой седиментационной устойчивостью, хорошей кроющей способностью, высокой прочностью сцепления с поверхностью форм и стержней, малой газотворностью [2].

В качестве огнеупорного наполнителя чаще всего используется циркон, дистен-силлиманит, пылевидный кварц, пирофиллит, тальк, шунгит, электрокорунд, хромит, хромомagnesит, графит и т.д.

В практике литейного производства для форм и стержней чугунного литья применяются противопригарные краски, в которых в качестве наполнителя используется тальк, шамотный порошок, серебристый и скрытокристаллический графит, а в качестве связующего – патока, гидрол, ЛСТ и др. [3].

Для определения глубины проникновения краски в поры смеси была разработана методика, которая позволяет исследовать кинетику пропитки сме-

сей различными красками, устанавливать пределы вязкости суспензий и количество вводимых ингредиентов, определять технологическое время окраски стержней.

Целью работы является разработка неразрушающего метода экспериментального определения глубины проникновения краски в поры формовочной смеси.

Экспериментальная часть. Методика определения глубины проникновения краски основана на определении изменения электрической емкости уплотненного, стандартного цилиндрического образца смеси после его пропитки противопригарно-упрочняющим составом. Глубина проникновения краски определялась с помощью автоматического моста переменного тока Р 5010 на частоте 1000 Гц. Погрешность измерений электрической емкости $\pm 0,02\%$. Стандартные цилиндрические образцы диаметром и высотой 50 мм изготавливались из единой формовочной смеси (табл. 1) и определялась их емкость C_0 . Затем образцы опускались в чашку Петри до соприкосновения с зеркалом упрочняющего раствора и находились в контакте с ним в течение 5, 10, 15 с соответственно. После этого вновь определялась емкость образцов C_T .

Состав исследуемой формовочной смеси

Формовочная смесь	% по массе
Оборотная смесь	97,5
Песок кичигинский марки 2К ₃ О ₂ 03	2,8
Глинистая суспензия нижеуельской глины (ρ = 1,15 – 1,20 г/см ³)	2,0
Вода техническая	3,0
Углеродсодержащая добавка	0,07 – 0,01

Результаты исследований и обсуждение

При рассмотрении суммарной электрической емкости [4] образца уплотненной смеси можно записать для случая пропитки его упрочняющей противопопригарной краской, как два конденсатора, соединенных последовательно:

$$\frac{1}{C_{\tau}} = \frac{1}{C} + \frac{1}{C_1}, \quad (1)$$

где C и C₁ – два конденсатора, соединенных последовательно.

Для однородного тела постоянного сечения величина электрической емкости C обратно пропорциональна расстоянию между электродами (см. рисунок), где: h₀ и C₀ – высота и емкость образца перед пропиткой; h₁ и C₁ – глубина и емкость непропитанной части образца; C_τ – емкость образца во время τ, C_n – емкость пропитанной части образца.

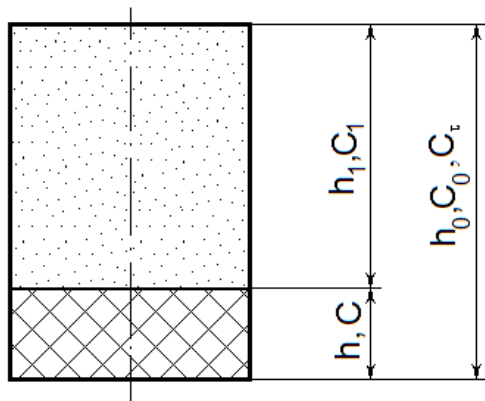


Схема для расчета глубины проникновения

Подставив значения C и C₁ в выражение (1), получим

$$\frac{1}{C_{\tau}} = \frac{h}{C_n \cdot h_0} + \frac{h_1}{C_0 \cdot h_1}. \quad (2)$$

Так как C_n >> C₀, то можно принять $\frac{h}{C_n \cdot h_0} \approx 0$, тогда выражение (2) примет вид

$$\frac{1}{C_{\tau}} = \frac{h_1}{C_n \cdot h_0}, \quad (3)$$

где h₁ = h₀ – h.

Подставив значение h в выражение (3), получим

$$\frac{1}{C_{\tau}} = \frac{h_0 - h}{C_0 \cdot h_0}. \quad (4)$$

Из выражения (4) путем преобразований находим уравнение для расчета глубины проникновения h_τ упрочняющих красок в формовочную (стержневую) смесь за время пропитки τ:

$$h_{\tau} = \frac{h_0}{C_{\tau}} (C_{\tau} - C_0). \quad (5)$$

Усредненные данные по глубине проникновения красок в пять образцов каждой партии приведены в табл. 2. После провяливания образцов на воздухе в течение 2 ч их распиливали и с помощью штангенциркуля измеряли толщину упрочненного слоя и сравнивали с расчетной по формуле (5).

Таблица 2

Практическая и расчетная глубина проникновения противопопригарно-упрочняющих красок

Добавка	Глубина проникновения	На основе жидкого стекла						На основе ЛСТ		
		Время пропитки, с						Время пропитки, с		
		5	10	15	5	10	15			
		Толщина, мм						Толщина, мм		
–	практическая	12,6	16,0	17,4	8,2	11,3	12,5			
	расчетная	11,7	15,5	17,2	7,6	11,0	11,9			
Мочевина	практическая	12,6	16,4	17,5	9,0	11,9	15,1			
	расчетная	11,7	15,6	17,2	8,8	11,6	14,9			
Уротропин	практическая	12,3	15,3	17,1	7,6	10,3	12,1			
	расчетная	11,9	15,1	16,9	7,3	10,1	11,9			

Вывод. Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о достаточной сходимости расчетных и экспериментальных данных и возможности применения разработанного метода для оценки проникающей способности упрочняющих красок. Для случая покрытия стержней противопригарно-упрочняющими красками методом окунания, используя данную методику и выражение (5) и задаваясь определенной глубиной пропитки, представляется возможным рассчитать время пребывания стержня в окрасочной ванне.

Список литературы

1. Сварика А.А. Покрытия литейных форм. М.: Машиностроение, 1977. 215 с.
2. Вдовин К.Н., Савинов А.С., Феоктистов Н.А. Технологические особенности производства крупного стального литья. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2015. 195 с.
3. Формовочные материалы и технология литейной формы. Справочник / С.С. Жуковский, Г.А. Анисович, Н.И. Давыдов и др. М.: Машиностроение, 1993. 432 с.
4. Физическая энциклопедия / гл. ред. А.М. Прохоров. М.: Большая Российская энциклопедия, 1998. 760 с.

Сведения об авторах

Смолко Виталий Анатольевич – д-р техн. наук, профессор кафедры «Теоретическая и прикладная химия» ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)». Челябинск, Россия. E-mail: smolko-2007@mail.ru.

Антошкина Елизавета Григорьевна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Теоретическая и прикладная химия» ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)». Челябинск, Россия. E-mail: aeg-2007@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

Smolko Vitaly Anatolyevich – D.Sc. (Eng.), Professor of department «Theoretical and applied chemistry» FSAEI HE «South Ural State University (national research university)». Chelyabinsk, Russia. E-mail: smolko-2007@mail.ru.

Antoshkina Elizaveta Grigorievna – Ph.D. (Eng.), Associate Professor of department «Theoretical and applied chemistry» FSAEI HE «South Ural State University (national research university)». Chelyabinsk, Russia. E-mail: aeg-2007@mail.ru.

DETERMINATION METHOD OF THE DEPTH OF NON-STICK HARDENING COMPOSITIONS' PENETRATION INTO THE MOLDING MIXTURE

Abstract: During the production of castings in raw forms, the strength of the mold's surface layer is increased by impregnating with hardening non-stick compositions for the purpose of improving the dimensional accuracy of castings, also preventing metal penetration, squeezing and other defects. The authors suggest a method of experimental determination the depth of penetration of hardening non-stick compositions into the molding mixture, based on the change of the electrical capacity of a mixture's sample after the impregnation process. It has been experimentally confirmed that it is possible to calculate the time of the impregnation process, by using this technique, proposed empirical expression and certain depth of impregnation.

Keywords: Molding mixture, strength, hardening non-stick composition, electrical capacity.

Ссылка на статью:

Смолко В.А., Антошкина Е.Г. Метод определения глубины проникновения противопригарно-упрочняющих красок в формовочную смесь // Теория и технология металлургического производства. 2018. №2(25). С. 19 - 21.

Smolko V.A., Antoshkina E.G. Determination method of the depth of non-stick hardening compositions' penetration into the molding mixture *Teoria i tehnologija metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2018, vol. 25, no. 2, pp. 19-21.

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.778.08

Полякова М. А., Харитонов В. А., Петров И. М.

ОЦЕНКА ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА АРМАТУРНОГО ПРОКАТА НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос статистической оценки процесса производства арматурного проката, приведены общие требования к арматурному прокату в соответствии с европейским опытом изготовления арматуры. Дано сравнение требований наиболее современных отечественных стандартов на арматурный прокат ГОСТ Р 52544-2006 и ГОСТ 34028-2016, а также европейского стандарта EN 1992-1-1. Также в статье рассмотрен вопрос определения доверительных интервалов для показателей качества арматурного проката и приведены примеры графиков, по которым можно определить наибольшее стандартное отклонение показателей качества при заданном среднем значении результатов испытаний для заданной вероятности.

Ключевые слова: арматурный прокат, сравнение стандартов, статистическая оценка, доверительные интервалы, показатели качества.

Конкуренция на строительном рынке порождает необходимость снижения себестоимости и сокращения сроков строительства, для чего нужны эффективные строительные материалы, обеспечивающие надежность и долговечность сооружений. Особое место среди строительных материалов занимает арматурный прокат периодического профиля, который является основным несущим элементом железобетонных конструкций. При этом арматурный прокат должен удовлетворять требованиям строителей как по сортаменту, так и по эксплуатационным характеристикам [1]. Именно арматурный прокат по своим физико-механическим и эксплуатационным признакам может оказать существенное позитивное влияние на основные признаки эффективности железобетона, а именно металлоемкость, индустриальность, долговечность и сейсмостойкость (безопасность).

Повышение эффективности отечественного строительства, надежности и безопасности эксплуатации строительных сооружений, снижение себестоимости железобетона, а также необходимость сближения эксплуатационных показателей отечественного арматурного проката с европейским уровнем предполагает производство и применение такой арматуры диаметром до 18 мм в комплексе следующих категорий [2, 3]:

– Класс прочности 400, 500 и 600 Н/мм² с возможностью его повышения при минимальных затратах.

– Категории пластичности в соответствии с Eurocode 2 «А», «В» и «С».

– Способы упрочнения арматурного проката должны минимизировать применение операций термической обработки, в особенности для сейсмически стойкой арматуры категории «С». Предпочтительные способы: легирование, контролируемое охлаждение и

отпуск, упрочнение в холодном состоянии горячекатаного проката с готовым периодическим профилем (малая степень деформации) и горячекатаного проката гладкого с нанесением периодического профиля (высокая степень деформации).

– Поставка преимущественно в бухтах рядной смотки дифференцированной массы от 2 до 5 т, с очищенной от окалины поверхностью (для сварного механизированного производства).

– В интервале диаметров от 4 до 10 мм номинальный размер должен производиться через 0,5 мм, в интервале размеров от 10 до 16 (18) мм – через 1 мм в гарантированном минусовом поле допуска, предусматриваемом действующими нормативами.

– Форма и параметры периодического профиля должны обеспечивать высокие показатели сцепления, формироваться предпочтительно при горячей прокатке и полностью обеспечивать эффективную механизированную высокопроизводительную переработку.

– Технологическая свариваемость арматурного проката должна обеспечиваться не только низким содержанием углерода, но и содержанием необходимых для этого легирующих элементов, состав и доля которых могут определяться еще и способом деформационного упрочнения арматуры.

– Арматурный прокат должен быть коррозионностойким, как минимум, в среднеагрессивных средах и морозоустойчивым до –50°С.

– Оценка показателей качества арматурного проката должна производиться с использованием статистических показателей.

Целью статьи является сравнение отечественных и зарубежных стандартов на арматурный прокат.

В настоящее время в России арматурный прокат производится по большому количеству различных нормативных документов. Наиболее современными

отечественными стандартами на арматурный прокат являются ГОСТ Р 52544-2006 и ГОСТ 34028-2016. Сравнение некоторых требований ГОСТ 52544-2006, ГОСТ 34028-2016 и EN 1992-1-1 приведено в табл. 1 [4].

Таблица 1

Сравнение требований ГОСТ 52544-2006, ГОСТ 34028-2016 и EN 1992-1-1

Требования	EN 1992-1-1	ГОСТ 52544-2006	ГОСТ 34028-2016
Сортамент	4,0–50,0	4,0–40,0	4,0–40,0
Предел текучести σ_t , Н/мм ² , не менее	400; 500; 600	500	240; 400; 500; 600; 800; 1000
Полное относительное удлинение при максимальном напряжении Agt , %, не менее	Категория А 2,5; Категория В 5,0; Категория С 7,5	Класс А –, Класс В 2,5	2,5; 5,0; 7,5
Минимальное значение относительной площади ребер f_R , не менее (в зависимости от диаметра)	0,035-0,056	0,035-0,056	0,035-0,056
Временное сопротивление σ_b , Н/мм ² , не менее	–	Класс А 600, Класс В 550	380; 590; 600; 700; 1000; 1250
Отношение σ_b/σ_t , не менее	Категория А 1,05; Категория В 1,08; Категория С 1,15; <1,35	Класс А 1,08, Класс В 1,05	1,05
Содержание углерода, %, не более	0,24	0,24	0,24
Углеродный эквивалент, $C_{эkv}$	0,52	0,52	0,52

EN1992-1-1 регламентирует большой сортамент по сравнению с ГОСТ 52544-2006 и ГОСТ 34028-2016. В европейской и международной практике в соответствии со стандартами EN1992-1-1, Eurocode2 и EN10080-2009 для арматуры, используемой в ненапряженном железобетоне, установлены три категории пластичности: «А», «В» и «С» при трёх различных классах прочности, характеризующихся пределом текучести. Также для каждой категории арматурного проката в Eurocode2 устанавливается отношение σ_b/σ_t .

Кроме того, ГОСТ 52544-2006, ГОСТ 34028-2016 и EN1992-1-1 устанавливают требования к статистическим показателям характеристик арматурного проката. При этом ГОСТ 52544-2006 устанавливает данные требования только для прочностных характеристик (временного сопротивления и предела текучести) с доверительной вероятностью 90%. Следует отметить, что EN1992-1-1 [5] устанавливает требования к статистическим показателям для большего числа характеристик арматурного проката – предел текучести и максимальное отклонение от номинальной массы должны быть обеспечены с доверительной вероятностью 95%; отношение σ_b/σ_t и полное относительное удлинение при максимальном напряжении с доверительной вероятностью 90%; прочность на срез с максимальной доверительной вероятностью. ГОСТ 34028-2016 также устанавливает требования к статистическим показателям для большого количества показателей качества арматурного проката.

Требования к статистическим показателям характеристик определяются из формулы границ дове-

рительного интервала:

$$(\bar{X} - t_{\beta} \cdot \sigma; \bar{X} + t_{\beta} \cdot \sigma),$$

где \bar{X} – среднее значение показателя в генеральной совокупности;

t_{β} – значение коэффициента Стьюдента для данной доверительной вероятности β ;

σ – стандартное отклонение показателя в генеральной совокупности.

Сами требования в общем виде определяются по следующим зависимостям (соответственно, если в стандарте регламентируется только нижняя граница показателя, верхняя граница и заданы обе границы):

$$\bar{X} \geq X_{бр.н} + t_{\beta} \cdot \sigma;$$

$$\bar{X} \leq X_{бр.в} - t_{\beta} \cdot \sigma;$$

$$X_{бр.н} + t_{\beta} \cdot \sigma \leq \bar{X} \leq X_{бр.в} - t_{\beta} \cdot \sigma,$$

где $X_{бр.н}$ и $X_{бр.в}$ – соответственно нижняя и верхняя браковочная граница соответствующего показателя.

На основе данных зависимостей для каждой характеристики можно построить графики для определения максимально допустимого значения стандартного отклонения, при котором для заданного среднего

и величины доверительной вероятности границы доверительного интервала будут находиться внутри браковочных границ данной характеристики. Примеры таких графиков представлены на рис. 1 и 2.

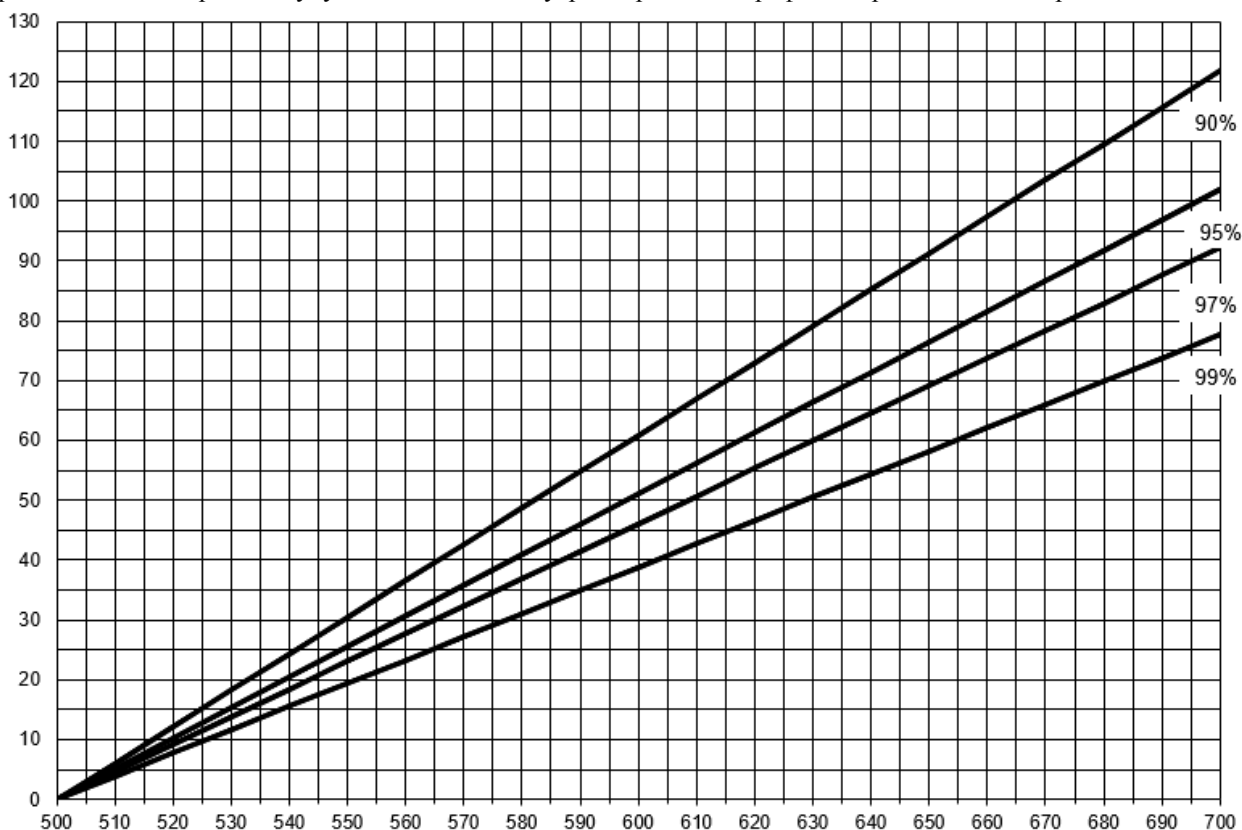


Рис. 1. Зависимость допустимого стандартного отклонения и среднего арифметического для предела текучести ($\sigma_T = 500$ МПа)

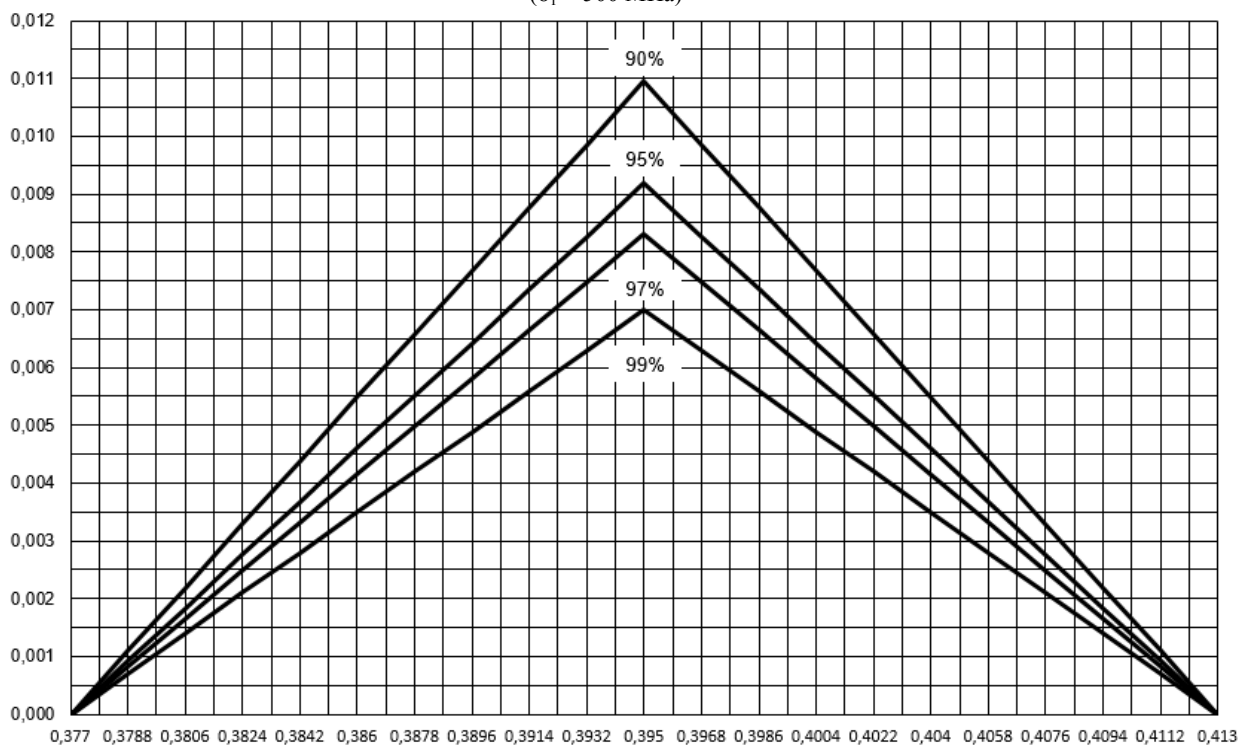


Рис. 2. Зависимость допустимого стандартного отклонения и среднего арифметического для номинальной массы погонного метра арматурного проката (для диаметра 8 мм)

Как видно из представленных графиков, с ростом величины среднего арифметического по выборке также растёт и наибольшее допускаемое значение стандартного отклонения, при котором границы доверительного интервала будут находиться внутри границ, регламентируемых стандартом. При этом чем меньше доверительная вероятность, тем допускается большее значение стандартного отклонения.

Кроме того, следует отметить, что высокое значение стандартного отклонения означает высокий разброс данного параметра при производстве. Это негативно влияет на надёжность арматурного проката и говорит о низкой стабильности производственного процесса, несмотря на то, что при этом значения доверительного интервала могут находиться в браковочных границах, установленных стандартом.

Список литературы

1. Бондаренко В.И. Проблемы производства и применения холоднодеформированной арматуры // Метизы. 2009. № 1. С. 10–12.

2. Дорохин П.С., Харитонов В.А. Прогресс в структуре потребления арматурного проката диаметром до 18 мм неизбежен // Стройметалл. 2012. № 3. С. 14–23.

3. Харитонов В.А., Петров И.М. Оценка и направления повышения конкурентоспособности бунтовой арматурной стали // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. № 4. С. 65–69.

4. Харитонов В.А., Петров И.М. Совершенствование технологических процессов производства низкоуглеродистой бунтовой арматурной стали // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы трудов 71-й научно-технической конференции. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. Т. 1. С. 273–276.

5. Алмазов В.О. Проектирование железобетонных конструкций по ЕВРОНОРМАМ. М.: АСВ, 2011. 216 с.

Сведения об авторах

Полякова Марина Андреевна – д-р техн. наук, доц. кафедры машиностроительных и металлургических технологий. ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Магнитогорск, Россия. E-mail: m.polyakova-64@mail.ru.

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

Петров Игорь Михайлович – ст. преп. кафедры металлургии и стандартизации, филиал ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» в г. Белорецк, Россия. E-mail: petrov.mgtu@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

Polyakova M.A., Kharitonov V.A., Petrov I.M.

ASSESSMENT OF THE PRODUCTION PROCESS OF REINFORCING BARS ON THE BASIS OF STATISTICS

Polyakova Marina Andreevna – D.Sc. (Eng.), Associate Professor of Materials Processing Technologies Department. Nosov Magnitogorsk State Technical University. Magnitogorsk, Russia. E-mail: m.polyakova-64@mail.ru

Kharitonov Veniamin Alexandrovich – Ph.D. (Eng.), Professor of Materials Processing Technologies Department. Nosov Magnitogorsk State Technical University. Magnitogorsk, Russia. E-mail: hva-46@yandex.ru

Petrov Igor Mikhailovich – Assistant Professor of Metallurgy and Standardization Department, NMSTU branch in Be-

loretsk, Russia. E-mail: petrov.mgtu@gmail.com

Abstract. *The article deals with the statistical assessment of the production process of reinforcing bars and the general requirements for rebar rolling in accordance with the European experience of rebar manufacturing. The comparison of the requirements of the most modern Russian standards for reinforcing bars GOST R 52544-2006, GOST 34028-2016 and the European standards EN 1992-1-1 is presented. The definition of confidential intervals for quality indicators of reinforcing bars and examples of schedules on which it is possible to define the greatest standard deviation of quality indicators at the specified average value of test results for the specified probability is shown in the paper as well.*

Keywords: *Preinforcing bar, comparison of standards, statistical evaluation, confidential intervals, indicators of quality.*

Ссылка на статью:

Оценка процесса производства арматурного проката на основе статистических показателей / Полякова М. А., Харитонов В. А., Петров И. М. // Теория и технология металлургического производства. 2018. №2(25). С. 22-26.

Polyakova M. A., Kharitonov V. A., Petrov I. M. Assessment of the production process of reinforcing bars on the basis of statistics / *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2018, vol. 25, no. 2, pp. 22-26.

УДК 621.7.016.3

Белан А.К., Белан О.А.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОЦЕССА ХОЛОДНОЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ ПРОГРЕССИВНЫХ ВИДОВ КРЕПЕЖНЫХ

Аннотация. Рассмотрен метод поперечного выдавливания для получения холодной объемной штамповкой прогрессивных крепежных изделий. Проведен сравнительный анализ традиционной высадки и поперечного выдавливания. Представлены результаты компьютерного моделирования технологии изготовления некоторых видов крепежных изделий методом поперечного выдавливания (закладной болт, винт с внутренним шестигранником).

Ключевые слова: поперечное выдавливание, высадка, самонарезающие винты, закладной болт, винт с внутренним шестигранником, устойчивость, интенсивность напряжений, интенсивность деформаций.

С развитием машиностроения, автомобилестроения и строительства все чаще возникает потребность в крепежных изделиях более сложной усовершенствованной конструкции, позволяющих создавать прочные, высокоэффективные, надежные и долговечные разъемные соединения. К таким крепежным изделиям можно отнести фланцевый крепеж, самосверлящие, резьбовыдавливающие и самонарезающие винты, их применение существенно упрощает и ускоряет выполнение монтажных и сборочных работ (рис. 1).

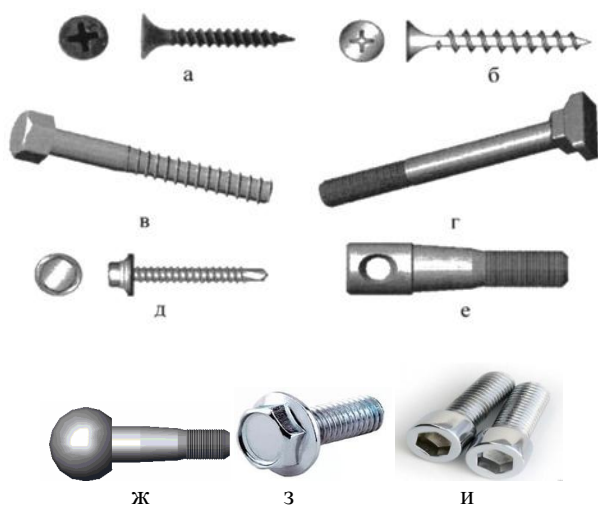


Рис. 1. Прогрессивные виды крепежных изделий: а, б – самонарезающие винты; в – путевой шуруп с шестигранной головкой; г – закладной болт; д – кровельный саморез; е – штепсель для электротяговых соединителей; ж – сферический шаровой палец; з – болт с фланцем; и – винт с внутренним шестигранником

Данные крепежные изделия по своей конструкции, а значит, и по технологии изготовления значительно сложнее обычных стандартных болтов, винтов, шурупов, заклепок. Общим во всех перечисленных изделиях является сложная форма

головки, для получения которой требуется большой объем металла.

Крепежные изделия изготавливаются методом холодной объемной штамповки на многопозиционных автоматах. Одним из факторов, ограничивающих высадку головки за один переход, является продольная устойчивость стержня, которая в значительной мере определяет стабильность технологических процессов и их точность.

Конструктивными элементами подобных деталей являются стержень в виде конуса, цилиндра или их сочетания и увеличенная головка в виде сферы, полусферы, усеченного конуса, цилиндра, шестигранника.

Особенностью таких изделий является удлиненный конический участок длиной $\geq 0,25L_{\text{изд}}$, где $L_{\text{изд}}$ – длина изделия и увеличенная головка. Для формирования такой головки применяют заготовку с отношением $l_0/d_0 \geq 2,5$, где l_0 – длина заготовки под высадку головки, d_0 – диаметр заготовки под высадку головки.

Для предварительной высадки головки с отношением $\frac{l_0}{d_0} > 2,5$ применяют специальные штампы

для поперечного выдавливания [1]. Штампы для поперечного выдавливания имеют конструкцию, обеспечивающую жесткое защемление участка заготовки. Формирование головки происходит в закрытом объеме поперечным выдавливанием.

Форма предварительной головки может быть различной (рис. 2) и зависит от того, где формируется головка: в пуансоне (а), матрице (б) или частично в пуансоне и частично в матрице (в). Важную роль играет высота полости в инструменте h , так как этот размер определяет свободно осаживаемую часть заготовки, не защемляемую в начале процесса высадки.

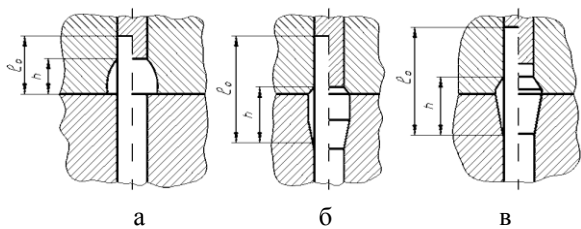


Рис. 2. Схемы предварительной высадки головки а – в пуансоне; б – в матрице; в – в пуансоне и матрице

Схемы деформирования при предварительной осадке должны предупреждать продольный изгиб на первой операции, при этом в рабочей полости пуансона не должно быть резких переходов, которые могут привести к образованию кольцевых складок.

Существенным преимуществом деформации в штампе для поперечного выдавливания является то, что длина свободной, не защемляемой части, высаживаемого участка относительно мала, и таким образом, при отношении длины заготовки к ее диаметру свыше 2.5 не возникает опасности изгиба. Такая конструкция штампа позволяет высаживать головки с большим объемом металла или головки сложной конфигурации. Кинематика течения металла в вышеуказанном штампе и силовой режим отличаются от обычной высадки. Формирование головки происходит в закрытом объеме и делится на две стадии [2,3]. На первой стадии в начале процесса деформации большая часть длины высаживаемой части заготовки, идущей на формирование головки, находится в канале пуансона, полностью заполняя его. После приложения деформирующей силы течение металла заготовки относительно боковых стенок пуансона происходит в направлении, совпадающим с направлением движения скользящего сердечника. Первая стадия процесса обеспечивает направление металла в канале подпружиненного пуансона, без потери продольной устойчивости и изгиба заготовки. На второй стадии металл, осаживаясь, заполняет пространство в корпусе пуансона или матрицы под углом к направлению движения пуансона, принимая предварительную форму головки.

Ввиду постоянно возрастающих требований в отношении гибкости производственного оборудования и качества продукции при новых технологических разработках возникает необходимость улучшения возможностей опробования и варьирования процессов обработки металлов давлением. С целью сокращения сроков разработки и внедрения новых видов крепёжных изделий применяются системы автоматизированного проектирования и моделирования, позволяющие промоделировать несколько вариантов предполагаемой технологии и выбрать наиболее оптимальный [4-6].

Рассмотрим применение компьютерного моделирования при разработке технологии изготовления некоторых видов крепёжных изделий методом попе-

речного выдавливания (закладной болт, заклёпка с увеличенной головкой и винт с внутренним шестигранником).

Закладные болты (рис. 3) используются в качестве скрепления для железобетонных опор.

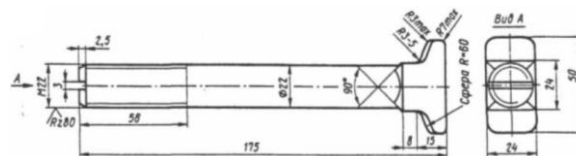


Рис. 3. Закладной болт по ГОСТ 16017-79

При выполнении расчетов в качестве входных данных принимались следующие параметры: диаметр исходной заготовки 20 мм; длина заготовки 232 мм; материал заготовки – сталь 20; начальная температура 20°C; режим деформирования на первой стадии (согласно технологической схеме, представленной на рис. 6.б), сведен в табл.1.

Таблица 1

Режим деформирования на первой стадии при поперечном выдавливании металла для изготовления закладных болтов по ГОСТ 16017-79 на автомате-комбайне КА-74

Номер операции	Формообразующая матрица			Ход пуансона, мм
	Высота H, мм	Длина L, мм	Ширина B, мм	
1	3	3	23	30

Для моделирования процесса поперечного выдавливания использовалась схема расположения деформирующего инструмента и заготовки, показанная в разрезе (рис. 4).

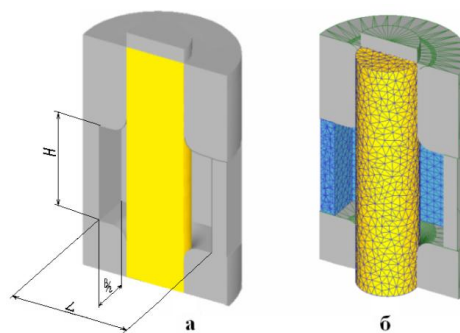


Рис. 4. Геометрическая интерпретация математической модели (а) и объемная сетка конечных элементов (б) на начальной стадии деформирования

Описание процесса деформирования металла в рабочей области штампа является наиболее сложным при объемной штамповке стержневых изделий с головками увеличенного размера. Это обусловлено как сложной формой самой головки, так и конструктивными особенностями рабочего инструмента. Данный процесс предотвращает продольный изгиб заготовки, что отличает его от свободной высадки. Равномер-

ность деформации обеспечивается за счет двойного защемления заготовки.

Результатом решения при помощи конечно-элементной модели является ряд характеристик НДС металла в процессе поперечного выдавливания. К основным из них относятся интенсивности напряжений, деформаций и скоростей деформаций. Распределение интенсивностей напряжений на поверхности и в продольном сечении головки болта представлены на рис. 5.

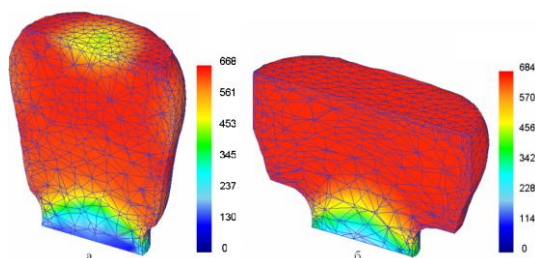


Рис. 5. Поля интенсивностей напряжений по объему головки болта:
а – конец первой операции; б – конец второй операции

Следует отметить, что практически по всему объему головки болта наблюдаются самые высокие значения интенсивностей напряжений, достигающие 668 МПа в конце первой стадии и 684 МПа – в конце второй. Увеличение данного параметра объясняется

упрочнением материала в процессе пластической деформации. При переходе к стержню значения рассматриваемого параметра плавно снижаются вплоть до нуля.

Рассмотрим, как изменяются при переходе с первой стадии процесса на вторую интенсивности деформаций. Распределение исследуемого параметра на поверхности и в продольном сечении головки болта показаны на рис. 6.

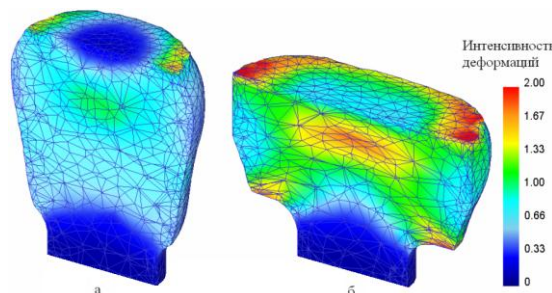


Рис. 6. Поля интенсивностей деформаций по объему головки болта:
а – конец первой операции; б – конец второй операции

В результате моделирования разработан технологический процесс изготовления закладных болтов (рис. 7).

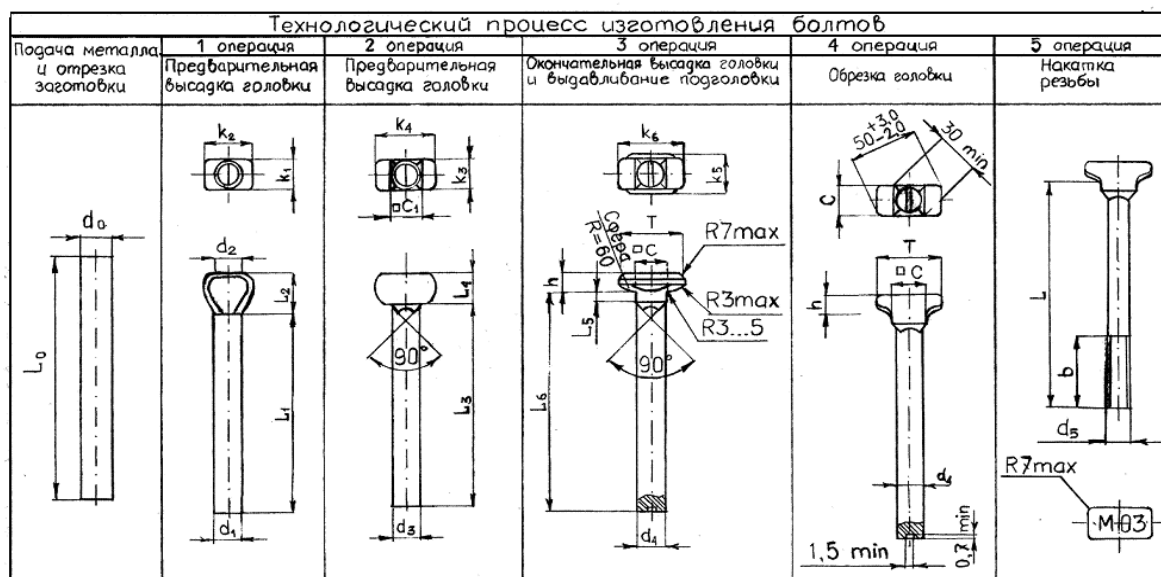


Рис. 7. Технологический процесс изготовления болтов по ГОСТ 16017-79

Рассмотрим применение компьютерного моделирования при разработке технологии изготовления винтов с цилиндрической головкой и шестигранным углублением под ключ M8x40 по ГОСТ Р ИСО 4762-2012 (аналог DIN 912) (рис. 8).

Исходным сырьем является прокат горячекатаный из стали марки 20Г2Р. Подготовка металла к вы-

садке состоит из следующих операций: травление, известкование, волочение, отжиг, травление, фосфатирование, волочение. Для хорошего течения металла при штамповке и необходимой стойкости инструмента временное сопротивление готового калиброванного металла должно быть не более 750 Н/мм² [2].

Технологический процесс изготовления вин-

тов, например на четырехпозиционном четырёхударном автомате АВ 1920, состоит из следующих операций (рис.9):

- подача металла и отрезка заготовки;
- предварительная высадка головки;
- окончательная высадка головки;
- редуцирование стержня;
- накатка резьбы.

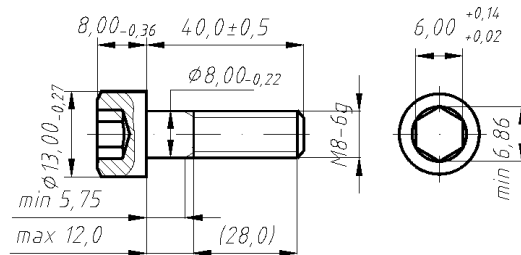


Рис. 8. Винт с цилиндрической головкой и шестигранным углублением под ключ

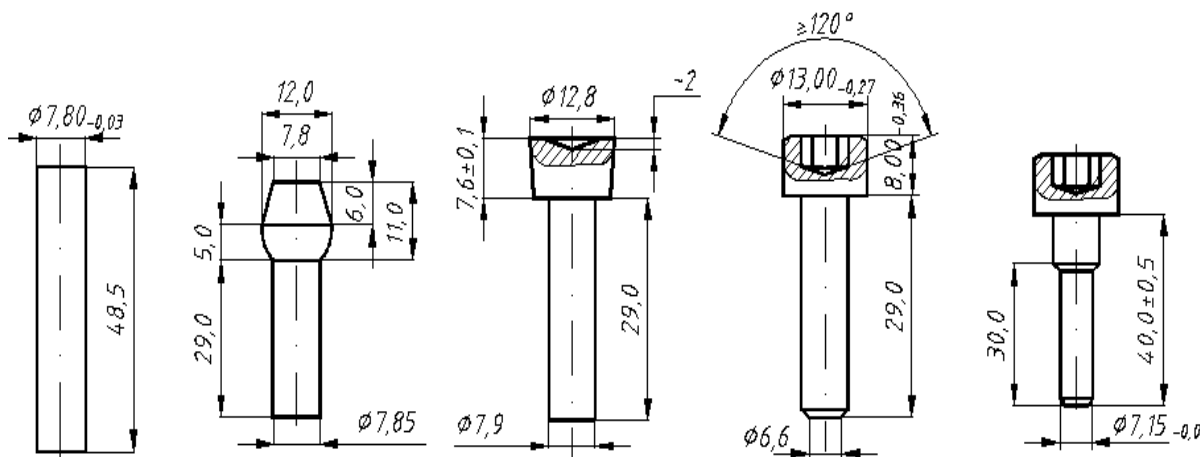
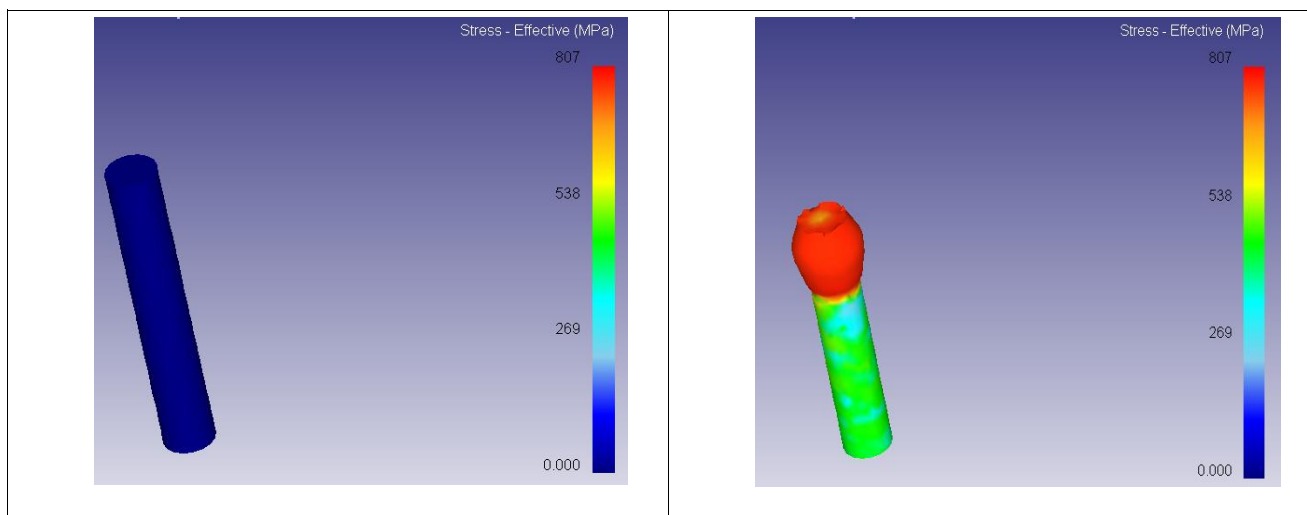


Рис. 9. Технологические переходы штамповки винта на автомате АВ 1920

Моделирование этого процесса в программном комплексе DEFORM 3D позволило оценить устойчивость заготовки при формировании головки, отсутствие изгиба в процессе деформирования и выбрать наиболее оптимальный вариант. Программа позволяет

моделировать пластическое течение материала, оценивать качество формоизменения по операциям и определять энергосиловые параметры процесса штамповки. На рис. 10 представлены результаты моделирования.



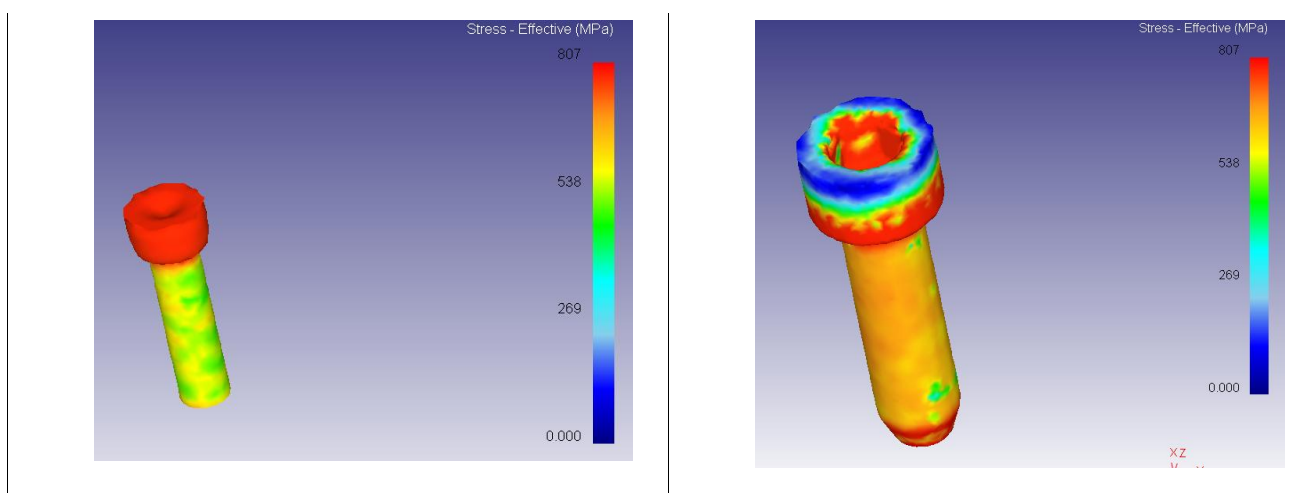


Рис. 10. Распределение полей интенсивности напряжений при формировании головки винта за три операции

Результаты показали, что технология формирования головки за три операции позволяет получить более равномерное распределение нагрузки и течение металла по операциям, что сказывается на работе автомата и стойкости высадочного инструмента, а также получить изделие с более оформленными контурами.

Таким образом, моделирование технологических процессов холодной объёмной штамповки позволяет быстро и с высокой точностью провести исследование нескольких вариантов схем деформирования и на стадии проектирования выбрать наиболее оптимальную технологию, тем самым сэкономить ресурсы и время.

Список литературы.

1. Белан А.К., Малышева М.С., Белан О.А. Холодная штамповка головок стержневых изделий методом поперечного выдавливания: монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. 176 с.
2. Белан А.К., Малышева М.С., Белан О.А. Совершенствование процесса поперечного выдавливания на основе математического моделирования // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2008. №8. С. 19 – 25.
3. Белан А.К., Белан О.А. Механика и энергосиловые параметры процесса поперечного выдавливания// Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2011. №2. С. 21 – 24.
4. Белан А.К., Моторыгин М.Е., Белан О.А. Прикладная механика устойчивости при обработке металлов давлением: монография: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. 218 с.
5. Белан А.К., Белан О.А. Конструкция самонарезающих винтов и технология их производства// Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2015. №9. С. 20 – 25.
6. Белан А.К., Картунов А.Д., Белан О.А. Разработка конструкции и технологии производства самонарезающих винтов повышенной прочности в условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ» // 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, 2016. С.150-157.

Сведения об авторах

Белан Анатолий Кириллович - канд. техн. наук, профессор кафедры механики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: akbelan@yandex.ru

Белан Ольга Анатольевна - канд. техн. наук, доцент кафедры механики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: oabelan@mmkmetiz.ru

MODELING AND DEVELOPMENT OF COLD FORGING PROGRESSIVE TYPES OF FASTENERS TECHNOLOGY

Belan Anatoliy Kirillovich – Ph.D. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: akbelan@yandex.ru

Belan Olga Anatolyevna – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: belan.oa@mmk-metiz.ru

***Abstract.** The method of transverse squeezing to obtain a cold forging progressive fasteners is described in the paper. The comparative analysis of traditional forming and transverse squeezing is shown. The results of computer modeling of manufacturing technology of some types of fasteners by transverse squeezing extrusion (inserted bolt for rail track fastenings and a screw with internal hexagon) are presented.*

***Keywords:** Transverse squeezing, die forging, self-tapping screws, bolt, screw with internal hexagon, stability, stress intensity, strain intensity.*

Ссылка на статью:

Белан А.К., Белан О.А. Моделирование и разработка технологии процесса холодной объёмной штамповки прогрессивных видов крепёжных изделий// Теория и технология металлургического производства. 2018. №2(25). С. 27-32.

Belan A.K., Belan O.A. Modeling and development of cold forging progressive types of fasteners technology, *Teoria i tehnologija metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2018, vol. 25, no. 2, pp. 27-32.

УДК 621.771.237

Румянцев М.И.

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗА УСИЛИЯ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ

Аннотация. Разработана модель для прогноза усилия холодной прокатки с учетом упругих деформаций валка и полосы, непостоянства напряжения текучести в очаге деформации и раздельного влияния заднего и переднего натяжений. В сочетании с уточненной методикой расчета коэффициента контактного трения модель позволяет определять усилие прокатки с относительной погрешностью от -16,67 до +9,85 %.

Ключевые слова: холодная прокатка, непостоянство напряжения текучести, упругие деформации валка и полосы, натяжение, коэффициент контактного трения, усилие холодной прокатки.

Введение

Несмотря на значительное развитие программных средств математического моделирования процессов обработки металлов давлением, остается актуальной задача создания относительно простых моделей прогнозирования энергосиловых параметров прокатки в режиме реального времени. Для создания таких моделей необходимо разработать или выбрать из известных формулы, которые обеспечат достаточную точность прогноза при реализации относительно простых вычислительных процедур.

Одними из первых вопросы обоснованного выбора модели для расчета усилия холодной прокатки рассмотрели Г.Л.Химич и М.Б.Цалок [1]. Из аналитических решений они рекомендовали формулы М.Стоуна и А.И.Целикова. Впоследствии А.П. Долматов, В.Н. Скороходов, В.П. Настич и А.Е. Чеглов [2] сравнили методики А.И.Целикова, Блэнда - Форда - Эллиса, М.Д.Стоуна, В.М.Луговского и В.Робертса применительно к прокатке электротехнической стали различных марок на четырехклетевом стане 1400. По их данным, при одинаковых исходных показателях уравнения Л.И.Целикова, Блэнда-Форда-Эллиса и М.Д.Стоуна проявляют примерно одинаковую погрешность (от -21,7 до 39,4 %). Модели В.М.Луговского в большинстве случаев занижают, а модели В.Робертса завышают расчетное усилие прокатки. В целом ошибка прогноза усилия прокатки находится в пределах от -21,7 до +75,8 %. Наибольшая погрешность (от -21,7 до +56,7 %) наблюдается для первой клетки и в дальнейшем снижается до -17,9 ... +36,4 % в четвертой. Я.Д.Василёв и М.М.Сафьян отмечали [3], что указанная тенденция обусловлена усреднением сопротивления деформации по длине очага, в то время как в первых клетях (проходах) происходит интенсивное упрочнение материала полосы. В работах, выполненных под руководством Э.А. Гарбера [4-5], показана возможность снижения погрешности расчета усилия холодной прокатки за счет учета упругих зон в очаге деформации.

Вместе с тем известна формула А.В. Третьяко-

ва [6], которая получена с учетом параболического характера изменения напряжения текучести в очаге деформации от σ_{S0} на входе до σ_{S1} на выходе, а также отображает раздельное влияние переднего и заднего натяжения. Однако в ней не учтено влияние упругих деформаций полосы на входе в очаг деформации и на выходе из него. Поэтому представляет интерес построение и оценка модели для прогноза усилия холодной прокатки на базе формулы А.В. Третьякова с учетом упругих деформаций полосы.

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИ ПРОГНОЗА УСИЛИЯ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ НА ОСНОВЕ ФОРМУЛЫ А.В. ТРЕТЬЯКОВА

Рассмотрим следующую схему очага деформации (рис. 1).

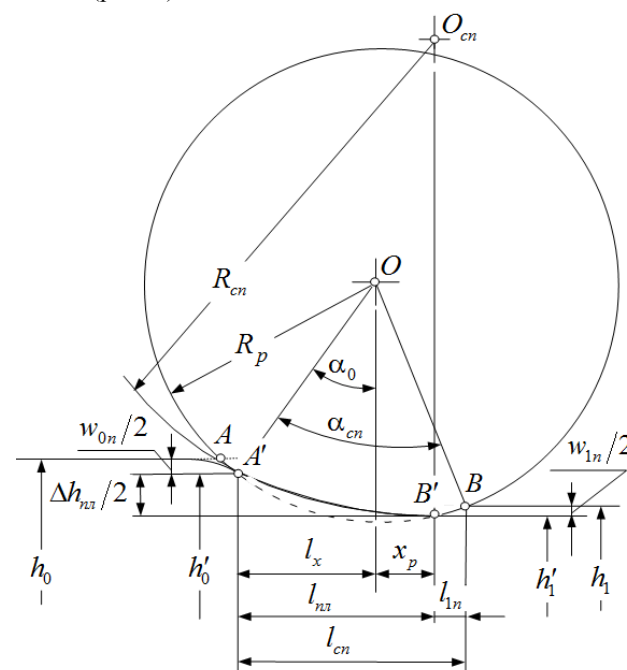


Рис.1. Схема очага деформации, принятая в модели прогноза параметров взаимодействия валков и полосы при холодной прокатке

©Румянцев М.И., 2018

Перед входом в очаг, в результате внеконтактной деформации, толщина полосы h_0 упруго уменьшается на величину w_{0n} до $h'_0 = h_0 - w_{1n}$. В пластической зоне длиной l_{nl} происходит необратимое обжатие от h'_0 до h'_1 ($\Delta h_{nl} = h'_0 - h'_1$). На выходе очага, в зоне разгрузки длиной l_{1n} происходит упругое восстановление толщины полосы на величину w_{1n} до толщины $h_1 = h'_1 + w_{1n}$. Величину упругих деформаций полосы и протяженность зоны разгрузки рассчитываем на основании рекомендаций В.К. Белосевича [7-8]: $w_{0n} = h_0 K_0 / E_n$; $w_{1n} = h_1 K_1 / E_n$; $l_{1n} = \sqrt{R_{cn} w_{1n}}$, где E_n - модуль Юнга материала полосы.

Длину пластической области, а также радиус деформированной дуги контакта R_{cn} рассчитываем по известным формулам:

$$l_{nl} = \sqrt{R \Delta h_{nl} + x_p^2} + x_p; \quad (1)$$

$$R_{cn} = R_p (1 + C_p P_1 / \Delta h_{nl}), \quad (2)$$

где x_p - приращение длины дуги контакта за счет сплющивания рабочего вала,

$$x_p = C_p R_p \bar{p}; \quad (3)$$

C_p - коэффициент податливости материала рабочего вала

$$C_p = 8 \left[(1 - \nu_p^2) / (\pi E_p) \right]; \quad (4)$$

ν_p и E_p - коэффициент Пуассона и модуль Юнга материала рабочего вала.

Общая длина очага деформации

$$l_{cn} = \sqrt{R \Delta h_{nl} + x_p^2} + x_p + l_{1n}. \quad (5)$$

Формула А.В. Третьякова с учетом принятой схемы очага деформации

$$P_1 = \frac{l_{nl}}{\Delta h} \left[C_1 \left(\frac{h_\gamma^{2+\delta}}{h_1^{1+\delta}} - h'_1 \right) + C_2 \left(h'_0 - \frac{h_\gamma^{2-\delta}}{h_0^{1-\delta}} \right) + \frac{A}{3} C_3 + \frac{A h'_1}{\delta} C_4 \right] + \frac{K_1 l_{1n}}{2}. \quad (6)$$

В (6) последнее слагаемое представляет собой составляющую нагрузки, которая обусловлена контактными напряжениями в области упругого восстановления толщины полосы на выходе из валков (рис. 2.).

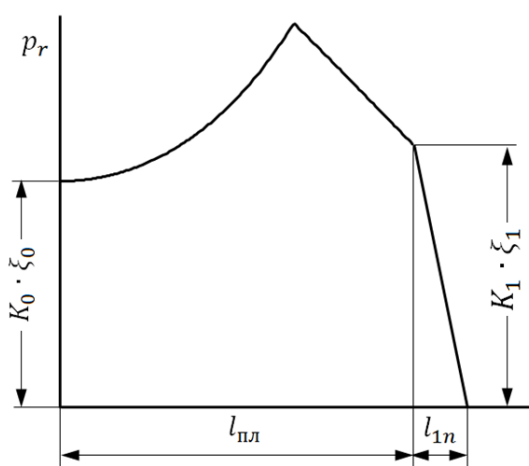


Рис.2. Эпюра контактных давлений (схематично)

Другие обозначения имеют следующий смысл.

A - характеристика приращения сопротивления деформации по длине очага

$$A = 2 \frac{K_1 - K_0}{\Delta h_{nl}^2}; \quad (7)$$

$K_0 = 1,15 \sigma_{s0}$ и $K_1 = 1,15 \sigma_{s1}$ - сопротивление деформации в сечениях входа и выхода очага; h_γ - толщина полосы в нейтральном сечении

$$h_\gamma = h'_1 \left\{ \frac{1 + \sqrt{1 + (\delta^2 - 1)(h'_0/h'_1)^\delta}}{\delta + 1} \right\}^{1/\delta}; \quad (8)$$

δ - фактор условий контактного трения

$$\delta = 2\mu_y \frac{l_{nl}}{\Delta h_{nl}}; \quad (9)$$

C_1, C_2, C_3 и C_4 - множители, которые рассчитываются по формулам:

$$C_1 = \frac{K_1 \xi_1}{2 + \delta} - A \frac{h_1'^2}{\delta(\delta - 1)(2 + \delta)}; \quad (10)$$

$$C_2 = \frac{K_0 \xi_0}{2 - \delta} + A h_0' \left(\frac{h'_0}{\delta + 1} - \frac{h'_1}{\delta} \right) \frac{1}{2 - \delta}; \quad (11)$$

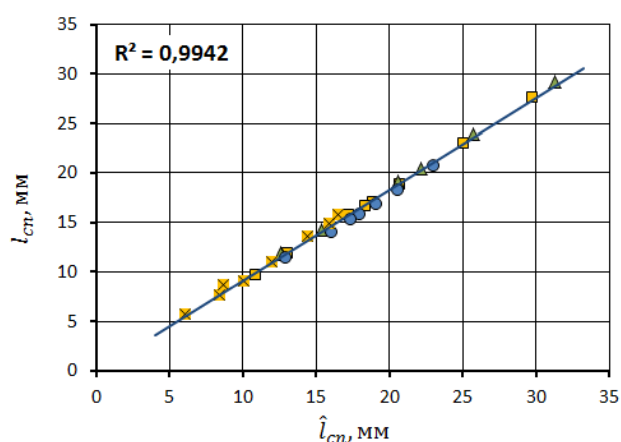
$$C_3 = \frac{2\delta}{\delta^2 - 1} h_\gamma^3 - \frac{1}{\delta - 1} h_1^3 - \frac{1}{\delta + 1} h_0^3; \quad (12)$$

$$C_4 = \left(\frac{h_0'^2 + h_1'^2}{2} - h_\gamma'^2 \right); \quad (13)$$

$\xi_0 = 1 - q_0/K_0$ и $\xi_1 = 1 - q_1/K_1$ - коэффициенты влияния заднего q_0 и переднего q_1 натяжения.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ РАЗРАБОТАННОЙ МОДЕЛИ

Предварительную оценку предлагаемой модели усилия прокатки произвели по экспериментальным данным, представленным А.В. Третьяковым в работе



[6]. Здесь рассмотрены 34 случая прокатки валками диаметром 500-650 мм полос исходной толщины 0,5-12 мм из стали 08, а также алюминия и его сплавов.

Расчеты показали, что для условий эксперимента $l_{1n} = 0,59-2,47$ мм, а общая расчетная длина очага деформации находится в пределах от 6,04 до 31,22 мм при экспериментально полученных значениях 5,79-29,26 мм. Относительная погрешность расчета составляет 0,08-14,9 %. При этом А.В. Третьяков указывает, что экспериментальные значения найдены им пересчетом по измеренному усилию прокатки, а действительные значения больше на 12-22%. Диаграмма соответствия [9] рассчитанных и экспериментальных значений длины очага деформации приведена на рис. 3, а.

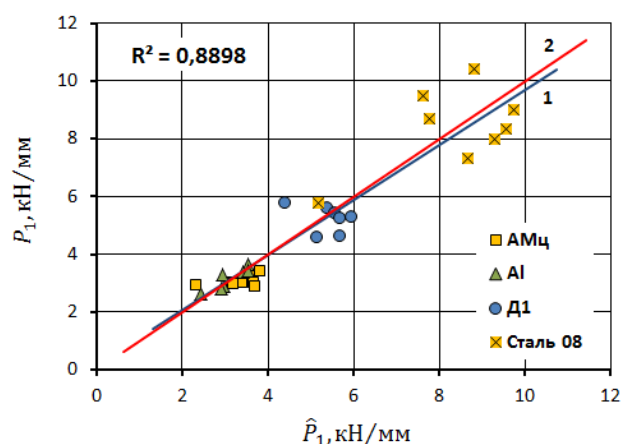


Рис.3. Диаграммы соответствия прогнозируемых и экспериментальных значений длины очага деформации (а) и погонного усилия прокатки (б):
1 – фактический тренд соответствия; 2 – идеальный тренд соответствия

Диаграмма соответствия прогнозируемых и экспериментальных значений погонного усилия прокатки приведена на рис. 3, б. Рассчитанные значения погонного усилия 2,3-9,7 кН/мм при экспериментальных от 2,6 до 10,4 кН/мм. Абсолютная погрешность прогноза находится в пределах от -0,19 до +0,14 кН/мм, относительная – от -23,2 до 27,2 %. При уровне ошибки до 20 % действенность [9] разработанной модели усилия прокатки 87,1 %.

Также протестировали модель на массиве данных из работы А.П. Долматова, В.Н. Скороходова и др. [2]. Как уже указывалось выше, здесь рассмотрена прокатка электротехнической стали различных марок на непрерывном стане 1400. Обжатие с толщины 2,08-2,45 до 0,49-0,70 мм осуществляется последовательно в четырех клетях валками диаметром 430-440 мм. Предел текучести металла в исходном состоянии 300-560 МПа. Коэффициент трения 0,034-0,128. При указанных условиях наблюдались погонные усилия прокатки 8,1-14,9 кН/мм. Расчетами по рас-

считываемой модели были получены значения 9,5-15,7 кН/мм (рис. 4).

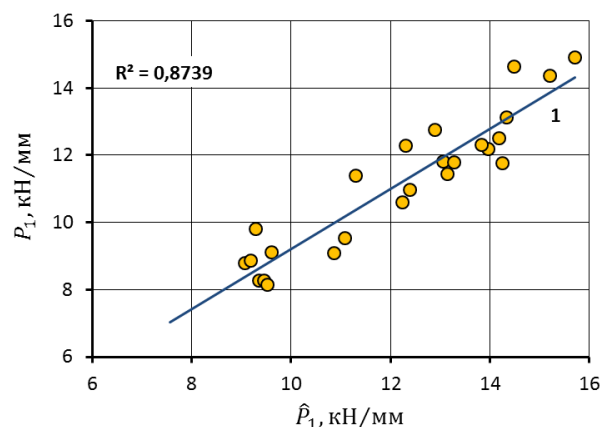


Рис. 4. Диаграмма соответствия прогноза усилия прокатки и данных работы [2]
Абсолютная погрешность результатов модели-

рования от -1,0 до +4,5 кН/мм, относительная от -10,0 до +38,2 %. При уровне ошибки до 20 % действенность разработанной модели усилия прокатки 80,8 %.

ПОВЫШЕНИЕ ДЕЙСТВЕННОСТИ МОДЕЛИ ПРОГНОЗА УСИЛИЯ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ

Одним из существенных источников погрешности расчёта энергосиловых параметров является методика расчёта коэффициента контактного трения μ . В отечественных исследованиях [2, 10-12] и, в частности, работе [13] отмечается, что в большинстве случаев величина коэффициента трения при установленном процессе холодной прокатки с технологическими смазками составляет 0,03-0,15. Дж. Леонард [14] считает, что на промышленных станах при прокатке с эмульсиям коэффициент трения находится в пределах 0,06-0,15. В. Робертс теоретически показал [15], что при холодной прокатке с эффективными смазочными веществами в кляжах кварто может наблюдаться коэффициент трения 0,025 и менее. Экспериментальное исследование на реверсивном стане кварто с рабочими валками 215-245 мм [16] подтвердило такую возможность. На основании измеренных усилий прокатки и опережения пересчетом по формулам Р. Хилла было получено значение коэффициента трения 0,027.

Комплекс факторов, определяющих коэффициент трения при холодной прокатке, достаточно полно учтен в методике А.П. Грудева [13, 17], в соответствии с которой можно записать $\mu = k_{cm} k_v k_n$ (здесь k_{cm}, k_v, k_n – соответственно коэффициенты влияния характеристики смазки, скорости прокатки и особенностей взаимодействия поверхностей валка и полосы). Исследование на промышленном стане [18] показало, что расчеты по методике А.П. Грудева дают значения $\mu = 0,042-0,054$, соответствующие области действительных значений коэффициента трения, но диапазон их варьирования уже диапазона действительных значений. При этом действительные значения μ определяли методом пересчета изложенной выше модели.

С целью повышения точности прогноза коэффициента трения методику А.П. Грудева дополнили корректирующим множителем k_k . С учетом результатов известных исследований [19-21]

$$k_k = f(\varepsilon, v, \bar{\sigma}_s, [\Delta h / (2R a_\varepsilon)], R/h_0, \alpha)$$

где $\bar{\sigma}_s = (\sigma_{s0} + 2\sigma_{s1})/3$ – среднее в очаге деформации напряжение текучести; $\Delta h / (2R a_\varepsilon)$ – от-

ношение половины абсолютного обжатия ($\Delta h/2$, мкм) к параметру шероховатости бочки рабочего вала; ε – относительное обжатие за проход, %; v – скорость прокатки; R – радиус бочки рабочего вала; α – угол захвата.

Множественным регрессионным анализом в программной среде STATISTICA с применением процедуры Nonlinear Estimation были получены аппроксимации корректирующего множителя в диапазонах скорости прокатки $v \leq 5$ м/с и $v > 5$ м/с.

С учетом корректирующего множителя методика А.П. Грудева принимает вид $\mu = k_{cm} k_v k_n k_k$ и реализуется по алгоритму, изображенному на рис. 5. При расчете коэффициента k_v необходимо принимать следующие значения эмпирических коэффициентов: $C_{0v} = 0,07$ и $C_{1v} = 0,1$. В случае прокатки с современными смазочно-охлаждающими жидкостями Quakerol или Gerolub для расчета коэффициента k_{cm} вязкость при +50 °С $\nu_{50} = 35-47$ мм²/с и коэффициент рода смазки $k_{pc} = 1,4$.

Расчетами по методике А.П. Грудева, дополненной корректирующим коэффициентом k_k , были получены значения коэффициента трения 0,015-0,109, большинство которых лежит в пределах от 0,030 до 0,065. Такое распределение прогнозируемых значений μ фактически совпадает с распределением коэффициента трения, найденного пересчетом по усилию прокатки. Соответствие индивидуальных значений также достаточно высокое (рис. 6, а). Абсолютные ошибки прогноза коэффициента трения составляют от -0,013 до +0,014 при среднем значении 0,0003. Относительные ошибки $\delta_{min} = -28,36$ %, $\delta_{max} = 26,18$ %, $\bar{\delta} = 0,61$ %. При допустимой погрешности не более 15% действенность модели 88,4 %.

Контрольный расчет для 156 вариантов прокатки показал (рис. 6, б), что разработанная модель в сочетании с прогнозом коэффициента трения по методике А.П. Грудева, дополненной поправочным коэффициентом, позволяет определять усилие прокатки с относительной погрешностью от -16,67 до +9,85 % при абсолютных ошибках от -2,24 до +1,14 кН/мм.

При относительной ошибке не более 15% действенность модели составляет 84,6%.

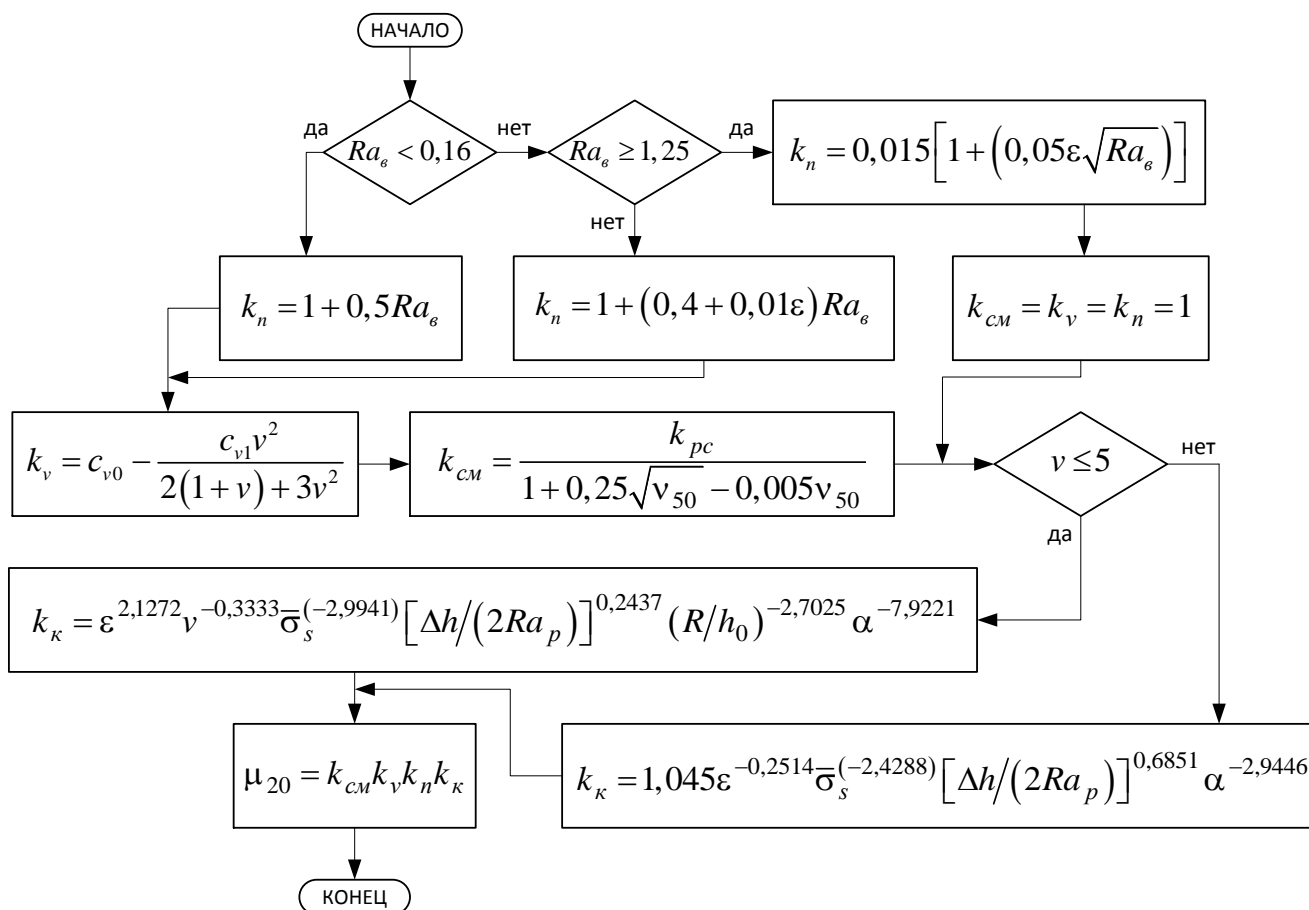
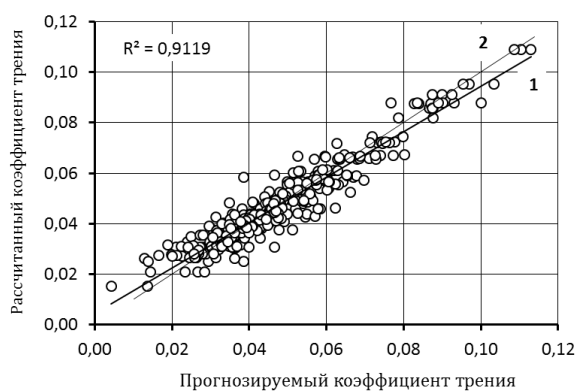
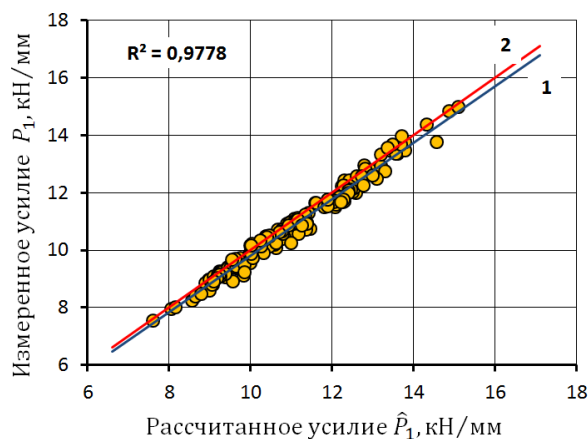


Рис. 5. Алгоритм прогноза коэффициента трения при холодной прокатке по методике А.П. Грудева с учетом коррекции по условиям прокатки (пояснения в тексте)



а



б

Рис. 6. Диаграммы соответствия коэффициента трения (а) и усилия прокатки (б): 1 и 2 – тренды фактического и идеального соответствия значений

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана модель для прогноза усилия холодной прокатки, в которой учтены параболический характер изменения напряжения текучести металла в очаге деформации, раздельное влияние переднего и

заднего натяжения, упругие деформации рабочих валков и полосы на входе в очаг деформации и на выходе из него.

В сочетании с прогнозом коэффициента трения по методике А.П. Грудева, дополненной поправочным

коэффициентом, модель позволяет определять усилие прокатки с относительной погрешностью от -16,67 до +9,85 % при абсолютных ошибках от -2,24 до +1,14 кН/мм. При относительной ошибке не более 15% действенность модели составляет 84,6%.

Список литературы

1. Химич Г.Л., Цалюк М.Б. Оптимизация режимов холодной прокатки на ЭЦВМ. М.: Металлургия, 1973. 256 с.
2. Автоматизированное проектирование и реализация технологии холодной прокатки электротехнической стали / А. П. Долматов, В.Н. Скороходов, В. П. Настич, А. Е. Чеглов. М.: Наука и технологии. 2000. 448 с.
3. Василев Я. Д., Сафьян М. М. Производство полосовой и листовой стали. К.: Вища школа, 1975. 254 с.
4. Гарбер Э.А., Шадрунова И.А., Ганичев Р.Н.. Анализ контактных напряжений при холодной прокатке на основе упругопластической модели очага деформации // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2003. №9. С. 19-23.
5. Гарбер Э.А., Шадрунова И.А., Кузнецов В.В. Новые решения контактной задачи в очаге деформации при холодной прокатке тонких полос // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: межрегион. сб. науч. трудов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2002. С. 23-29.
6. Третьяков А.В. Теория, расчет и исследования станов холодной прокатки. М.: Металлургия, 1966. 250 с.
7. Белосевич В.К., Нетесов Н.П. Совершенствование процесса холодной прокатки. М.: Металлургия, 1971. 272 с.
8. Белосевич В. К. Трение, смазка, теплообмен при холодной прокатке листовой стали. М.: Металлургия, 1989. 255 с.
9. Румянцев М.И. Методы разработки и улучшения технологий производства проката для совершенствования листопрокатных технологических систем // Теория и технология металлургического производства. 2017. № 4 (23). С. 26-36.
10. Мазур В.Л. Производство листа с высококачественной поверхностью. К.:Техніка, 1982. 166 с.
11. Капланов В.И. Высокоскоростная холодная прокатка тонких полос. К.: Высшая школа, 1993. 254 с.
12. Определение коэффициента трения при холодной прокатке с эмульсиями / Гарбер Э.А., Гончарский А.А., Петров С.В., Кузнецов В.В. // Производство проката. 2000. №12.С. 2-3.
13. Грудев А.П. Внешнее трение при прокатке. М.: Металлургия, 1973. 288 с.
14. Lenard J.G. Friction During Flat Rolling of Metals // Friction & Flow Stress in Forming & Cutting. Kogan Page Limited, 2003. P.15-33.
15. Робертс В. Холодная прокатка стали: пер. с англ. М.: Металлургия, 1982. 544 с.
16. Byona S.M., Kimb S.I., Leec Y. A numerical approach to determine flow stress-strain curve of strip and friction coefficient in actual cold rolling mill // Journal of materials processing technology 201 (2008) 106-III. P. 108-111.
17. Грудев А.П., Зильберг Ю.В., Тилик В.Т. Трение и смазки при обработке металлов давлением. Справ. изд. М.: Металлургия, 1982. 312 с.
18. Румянцев М.И. Уточнение методики расчета коэффициента контактного трения при холодной прокатке на промышленных станах // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: междунар. сб. науч. тр. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. Вып. 23. С.25-30.
19. Ягудин И.В. Исследование закономерностей контактного трения в очаге деформации при холодной прокатке стальных полос для повышения эффективности работы широкополосных станов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Череповец, 2016. 24 с.
20. Уточнение методики определения коэффициента трения при прокатке нагартованного металла с малыми обжатиями / Румянцев М.И., Митасов В.С., Шубин И.Г., Горбунов А.В., Насонов В.В. // Производство проката. 2012. № 12. С. 2-5.
21. Управление качеством тонколистового проката/ В.Л. Мазур, А.М. Сафьян, И.Ю. Приходько, О.И. Яценко. К.: Техніка. 1997. 384 с.

Сведения об авторе

Румянцев Михаил Игоревич – канд. техн. наук, профессор кафедры технологий обработки материалов, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. ORCID 0000-0003-0608-0446.
E-mail: mikhail.rumyantsev54@bk.ru; mir@magtu.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

Rumyantsev M.I.

EXPERIENCE OF MODEL DEVELOPMENT FOR COLD ROLLING FORCE FORECASTING

Rumyantsev Mikhail Igorevich – Ph. D. (Eng.), Professor of Department of materials processing, Nosov Magnitogorsk State Technical University. ORCID 0000-0003-0608-0446.

E-mail: mikhail.rumyantsev54@bk.ru; mir@magtu.ru

Abstract. A model for prediction of cold rolling force which allows to define the rolling force with relative accuracy from -16.67 to + 9.85 % is developed.

Keywords: Cold rolling, variability of yield strength, elastic deformation of roll and strip, pull-up of strip, coefficient of contact friction, cold rolling force.

Ссылка на статью:

Румянцев М.И. Опыт разработки модели для прогноза усилия холодной прокатки // Теория и технология металлургического производства. 2018. №2(25). С. 33-39.

Rumyantsev M.I. Experience of model development for cold rolling force forecasting, *Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2018, vol. 25, no. 2, pp. 33-39.

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

ИНФОРМАЦИОННОЕ ПИСЬМО

Уважаемые коллеги!

Приглашаем Вас принять участие в издании научного журнала «*Теория и технология металлургического производства*» («*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. Подготовка сырьевых материалов к металлургическому переделу.
2. Металлургия чугуна.
3. Металлургия стали.
4. Электрометаллургия и производство ферросплавов.
5. Литейное производство.
6. Обработка металлов давлением.
7. Металлургическая теплотехника.
8. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.
9. Экология и охрана окружающей среды в металлургии.
10. Ресурсо- и энергосберегающие технологии в черной металлургии.
11. Автоматизация и САПР металлургического производства.
12. Общие вопросы металлургии.
13. Нанотехнологии и наноматериалы в металлургии.
14. Металлургия техногенных процессов.

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) 29-84-64, дирекция ИММиМ E-mail: ТТа-РЕоМР@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 – Arial 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, аннотация, 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.**

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.: 8(3519)298430, **либо по E-mail:** TТаPEoMP@mail.ru; ttmp@mail.ru