

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор

Б. Е. Патон

С. В. Ахонин, Г. М. Григоренко (зам. гл. ред.),
Д. М. Дяченко (отв. секр.), И. В. Кривцун,
Л. Б. Медовар, Б. А. Мовчан, А. С. Письменный,
А. И. Устинов, В. А. Шаповалов
(ИЭС им. Е. О. Патона, Киев, Украина),
М. И. Гасик (НМетАУ, Днепропетровск, Украина),
О. М. Ивасишин (Ин-т металлофизики, Киев),
П. И. Лобода (НТУУ «КПИ», Киев, Украина),
А. Н. Петрунько (ГП «ГНИП Институт титана»,
Запорожье, Украина),
А. А. Троянский (ДонНТУ, Украина)

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Д. Аблизер

(Ун-т Лотарингии, Нанси, Франция),

Г. М. Григоренко

(ИЭС им. Е. О. Патона, Киев, Украина),

К. В. Григорович

(МИСиС, Москва, РФ),

А. А. Ильин

(МАТИ-РГТУ, Москва, РФ),

Б. Короушич

(Ин-т металлов и технол., Любляна, Словения),

С. Ф. Медина

(Нац. центр металлург. исслед., Мадрид, Испания),

А. Митчелл

(Ун-т Британской Колумбии, Канада),

Б. Е. Патон

(ИЭС им. Е. О. Патона, Киев, Украина),

Ц. В. Рашев

(Ин-т металловед. и технол. металлов,
София, Болгария),

Ж. Фокт

(Науч.-технол. ун-т Лилля, Франция),

Цоуха Джанг

Северо-Восточный ун-т, Шеньян, Китай

Учредители

Национальная академия наук Украины
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАНУ
Международная ассоциация «Сварка» (издатель)

Адрес редакции

Украина, 03680, г. Киев-150,
ул. Казимира Малевича, 11
Институт электросварки
им. Е. О. Патона НАН Украины
Тел./факс: (38044) 200 82 77; 200 54 84
Тел.: (38044) 205 22 07
E-mail: journal@paton.kiev.ua
www.patonpublishinghouse.com

Редакторы

Д. М. Дяченко, Н. А. Притула

Электронная верстка

Л. Н. Герасименко, Т. Ю. Снегирева, А. И. Сулима

Свидетельство о государственной регистрации

КВ 6185 от 31.05.2002

ISSN 2415-8445

Журнал входит в перечень утвержденных МОН

Украины изданий для публикации трудов

соискателей ученых степеней

При перепечатке материалов ссылка на журнал
обязательна. За содержание рекламных материалов
редакция журнала ответственности не несет

Цена договорная

СОДЕРЖАНИЕ

К 100-летию со дня рождения Б.И. Медовара 3

ЭЛЕКТРОШЛАКОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

**Медовар Л.Б., Стовпченко А.П., Кайда П.Н., Полишко А.А.,
Моцный В.В., Гладиллин С.Ю.** Новый подход к улучшению качества
заготовки для производства высокопрочных рельсов 7

**Биктагиров Ф.К., Шаповалов В.А., Гнатушенко А.В.,
Игнатов А.П., Грищенко Т.И.** Электрошлаковая наплавка меди 16

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫЕ ПРОЦЕССЫ

**Григоренко Г.М., Ахонин С.В., Лобода П.И., Григоренко С.Г.,
Северин А.Ю., Березос В.А., Богомол Ю.И.** Структура и свойства
титанового сплава, легированного бором, полученного способом
электронно-лучевого переплава 21

**Микитчик А.В., Рудой Ю.Э., Грушецкий И.В., Ахтырский А.О.,
Романенко С.М.** Влияние многослойных конденсационных
покрытий на характеристики демпфирования титанового
сплава ВТ-6 26

ПЛАЗМЕННО-ДУГОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Шейко И.В., Григоренко Г.М., Шаповалов В.А. Легирование
сталей и сплавов азотом из дуговой плазмы: теория и практика
(Обзор. Часть 1) 32

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МЕТАЛЛУРГИИ

Григоренко Г.М., Шейко И.В., Козин Р.В., Помарин Ю.М.
Взаимодействие двухатомных газов с медью в условиях
плазменного нагрева 38

ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ И ФЕРРОСПЛАВОВ

Дубоделов В.И., Смирнов А.Н., Куберский С.В., Горюк М.С.
Инновационные подходы и гибкие решения для разлива металла
на металлургических микро-заводах 44

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Устинов А.И., Фесюн Е.В., Мельниченко Т.В., Хохлова Ю.А.
Деформационное поведение вакуумных конденсатов меди и никеля
в наноструктурированном состоянии 51

ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

**Богаченко А.Г., Мищенко Д.Д., Брагинец В.И., Галинич В.И.,
Нейло И.А., Лютый А.П., Фридман М.А.** Экономия электро-
энергии на дуговых сталеплавильных печах постоянного тока с
графитированными фитильными электродами 58

ИНФОРМАЦИЯ

Волченков Е.А. 6-я Международная конференция по
моделированию металлургических процессов в производстве
стали «SteelSim-2015» 65

Памяти Г.А. Бойко 68

*Журнал переиздается в полном объеме на английском языке под названием
«Advances in Electrometallurgy» (ISSN 1810-0384)
издательством «Cambridge International Science Publishing», Великобритания
www.cisp-publishing.com*

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief

B. E. Paton

S.V. Akhonin, G. M. Grigorenko (vice-chief ed.),
D. M. Dyachenko (exec. secr.), I. V. Krivtsun,
L. B. Medovar, B. A. Movchan, A. S. Pismenny,
A. I. Ustinov, V. A. Shapovalov
(PWI of the NASU, Kyiv, Ukraine),
M. I. Gasik (NMetAU, Dnipropetrovsk),
O. M. Ivasishin (Institute of Metal Physics, Kyiv, Ukraine),
P. I. Loboda (NTUU «KPI», Kyiv, Ukraine),
A. N. Petrunko (Institute of the Titan,
Zaporozhye, Ukraine),
A. A. Troyansky (DonNTU, Donetsk, Ukraine)

THE INTERNATIONAL EDITORIAL COUNCIL

D. Ablitzer

(Universite de Lorraine, Nansy, France),

G. M. Grigorenko

(PWI of the NASU, Kyiv, Ukraine),

K. V. Grigorovich

(MISIS, Moscow, Russia),

A. A. Iljin

(MATI, Moscow, Russia),

B. Koroushich

(IMT, Ljubljana, Slovenia),

S. F. Medina

(CENIM, Madrid, Spain),

A. Mitchell

(University of British Columbia, Canada),

B. E. Paton

(PWI of the NASU, Kyiv, Ukraine),

Ts. V. Rashev

(Institute of Metals Science, Sofia, Bulgaria),

J. Foct

(Universite de Lille, France),

Zhouhua Jiang

North-Eastern University, Shenyang, China

Founders

The National Academy of Sciences of Ukraine
The E. O. Paton Electric Welding Institute
International Association «Welding» (Publisher)

Address

The E. O. Paton Electric Welding Institute, NASU,
11, Kazimir Malevich Str., 03680, Kyiv, Ukraine
Tel./Fax: (38044) 200 82 77; 200 54 84
Tel.: (38044) 205 22 07
E-mail: journal@paton.kiev.ua
www.patonpublishinghouse.com

Editors

D. M. Dyachenko, N. A. Pritula

Electron galley

L. N. Gerasimenko, T. Yu. Snegiryova, A. I. Sulima

State Registration Certificate

KV 6185 of 31.05.2002

ISSN 2415-8445

All rights reserved.

This publication and each of the articles contained here in
are protected by copyright

Permission to reproduce material contained in this journal
must be obtained in writing from the Publisher

CONTENTS

To the 100th birthday anniversary of B.I. Medovar 3

ELECTROSLAG TECHNOLOGY

Medovar L.B., Stovpchenko A.P., Kaida P.N., Polishko A.A., Motsnyi V.V., Gladilin S.Yu. New approach to the improvement of quality of billets for manufacture of high-strength rails 7

Biktagirov F.K., Shapovalov V.A., Gnatushenko A.V., Ignatov A.P., Grishchenko T.I. Electroslag surfacing of copper 16

ELECTRON BEAM PROCESSES

Grigorenko G.M., Akhonin S.V., Loboda P.I., Grigorenko S.G., Severin A.Yu., Berezos V.A., Bogomol Yu.I. Structure and properties of titanium alloy, alloyed with boron, produced by the method of electron beam remelting 21

Mikitchik A.V., Rudoy Yu.E., Grushetsky I.V., Akhtyrsky A.O., Romanenko C.M. Effect of multi-layer condensation coatings on characteristics of titanium alloy VT-6 damping 26

PLASMA-ARC TECHNOLOGY

Sheiko I.V., Grigorenko G.M., Shapovalov V.A. Alloying of steels and alloys with nitrogen from the arc plasma. Theory and practice (Review. Part 1) 32

GENERAL PROBLEMS OF METALLURGY

Grigorenko G.M., Sheiko I.V., Kozin R.V., Pomarin Yu.M. Interaction of two-atom gases with copper under conditions of plasma heating 38

ELECTROMETALLURGY OF STEEL AND FERROALLOYS

Dubodelov V.I., Smirnov A.N., Kubersky S.V., Goryuk M.S. Innovation approaches and flexible solutions for metal pouring at the metallurgical micro-plants 44

NEW MATERIALS

Ustinov A.I., Fesyun E.V., Melnichenko T.V., Khokhlova Yu.A. Deformation behavior of vacuum condensates of copper and nickel in nanostructured state 51

ENERGY-RESOURCES SAVING

Bogachenko A.G., Mishchenko D.D., Braginets V.I., Galinich V.I., Neilo I.A., Lyutyi A.P., Fridman M.A. Saving of electric power at the arc steel melting furnaces of direct current with graphitized cored electrodes 58

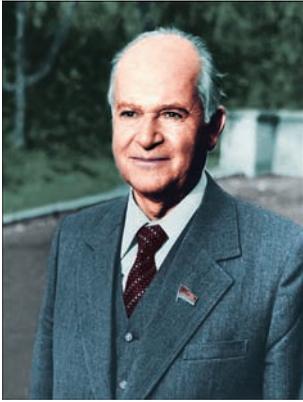
INFORMATION

Volchenkov E.A. VI International Conference on modeling of metallurgical processes in steel production «SteelSim-2015» 65

In memory of Boiko G.A. 68

«Sovremennaya Elektrometallurgiya» journal (*Electrometallurgy Today*)
is published in English under the title of «*Advances in Electrometallurgy*»
by Cambridge International Science Publishing, United Kingdom
www.cisp-publishing.com

К 100-летию СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ Б.И. МЕДОВАРА



29 марта 2016 г. исполняется сто лет со дня рождения украинского ученого-металлурга, пионера современного электрошлакового переплава академика НАН Украины Бориса Израилевича Медовара.

Б.И. Медовар — один из ярких представителей Патоновской науч-

ной школы, достойный ученик и соратник Евгения Оскаровича и Бориса Евгеньевича Патонов практически всю жизнь, за исключением двух военных лет Второй мировой войны, проработал в Институте электросварки им. Е.О. Патона Национальной академии наук Украины. Человек своего времени, он рос и развивался вместе с СССР, пережил его расцвет, затем распад, продолжал работать в независимом Украинском государстве, показывая новые научные результаты даже в последние годы своей жизни. В Интернете, энциклопедиях советского времени и независимой Украины подробно освещены основные достижения, награды и звания ученого, приведенные в конце статьи.

Попытаемся вспомнить незаурядную личность и, следуя собственным оценкам Б.И. Медовара, которые он неоднократно высказывал в кругу учеников и коллег, расскажем о его жизненном пути и достижениях, становлении ученого-сварщика, металловеда и металлурга.

Начинал Б.И. Медовар в Институте электросварки как исследователь сварочных процессов. Фронтовик–танкист, он гордился тем, что сварка наклонным электродом и соответствующие термины из уставов бронетанковых войск о построении машин «углом вперед» и «углом назад» введены в сварочную и технику и терминологию с его подачи. После войны ученый трудился над созданием оборудования и технологии сварки газопроводных труб большого диаметра на Харцызском трубном заводе. Эта работа в 1950 г. отмечена Сталинской премией. Специалистам-«трубникам» хорошо известно, что и сегодня сварка труб большого диаметра осуществляется на принципах, разработанных Б.И. Медоваром в середине прошлого века. Отдельной яркой страницей его творческой

жизни были изыскания в области сварки аустенитных сталей и сплавов. Его монография «Сварка жаропрочных аустенитных сталей и сплавов» переиздавалась три раза и по признанию многих сварщиков, особенно связанных с атомной энергетикой, служила им повседневным настольным пособием. Весьма поучительной и широко известной в кругах сварщиков и металлургов стала история о защите Б.И. Медоваром докторской диссертации. В 1960 г. в качестве диссертации он защищал второе издание упомянутой книги. Неожиданно в Ученый Совет потоком пошли резко отрицательные отзывы, в которых утверждалось, что соискатель должен быть лишен кандидатской степени, а уж о докторской и подавно говорить нельзя. Нынешним соискателям ученых степеней, обычно защищающим диссертации без «черных» шаров, трудно представить себе, когда почти треть Совета голосует против, а положительный результат решает всего один голос. Во всяком случае, после этого случая ни сварщики, ни металлурги не защищали докторские диссертации на основании книг.

Железный характер Бориса Израилевича в полной мере проявился в это время. Вспоминая его академик неоднократно подчеркивал, что выстоять ему помогли коллеги и, прежде всего, директор Института — друг и учитель Борис Евгеньевич Патон.

Непрост был переход от сварки к металлургии. Долгие годы Б.И. Медовар продолжал вести параллельно исследования как сварщик, так и металлург, создавая неизвестный к тому времени металлургический процесс — электрошлаковый переплав (ЭШП). И все-таки стремление к новому, возможность создавать абсолютно прогрессивные технологии и оборудование победили. Шаг за шагом ученый сокращал работы над сварочными проблемами и все больше сосредотачивал свои поиски и усилия учеников на создании и развитии ЭШП. Сегодня трудно себе представить, но современный ЭШП был рожден именно в г. Киеве в Институте электросварки и начал свое победное шествие по миру. В 1958 г. на Запорожском электрометаллургическом заводе «Днепроспецсталь» и Краматорском заводе тяжелого машиностроения «НКМЗ» заработали первые в мире печи ЭШП, а в 1963 г. продана во Францию ли-



На Кавказском фронте, 1942 г.

страны восточной Европы. По оценкам Бориса Израилевича вершиной успеха для него и его учеников была уникальная печь для получения 40-тонных листовых слитков ЭШП, построенная в Японии по лицензии ИЭС.

Следует отметить, что ЭШП стал металлургической базой для создания мощного подводного флота в СССР. Ничего подобного не имели США и другие страны. Немало иных применений военного назначения нашел ЭШП и дома и за границей, в частности, для производства танковых пушек. Интересно, что в 1991 г. в Киев приехал американский журналист, чтобы сфотографировать Б.И. Медовара на фоне танка Т-34 во дворе первого корпуса Института. Этот танк — памятник Патоновцам, создавшим с Е.О. Патоновым их производство в годы Отечественной войны. Но американец в короткой заметке подчеркнул то, что благодаря купленной в Институте электросварки лицензии на технологию ЭШП полых слитков американские танки не уступали советским.

Шли годы и, как это неоднократно происходило, лидерство удержать не удалось. Гонка вооружений и все большее сосредоточение усилий коллектива ИЭС на решении прикладных проблем военно-промышленного комплекса замедлили поисковые работы. В результате в независимой Украине в начале нового периода жизни и работы ученый и его соратники столкнулись с тем, что конкуренты продвинулись далеко вперед в создании новых шлаков, новых конструкций печей и источников питания, моделировании ЭШП. Тем не менее Б.И. Медовару удалось и в этот непростой период создать спектр новейших технологий ЭШП с прямой переработкой жидкого металла, разработать принципиально новое оборудование и реализовать его в промышленности.

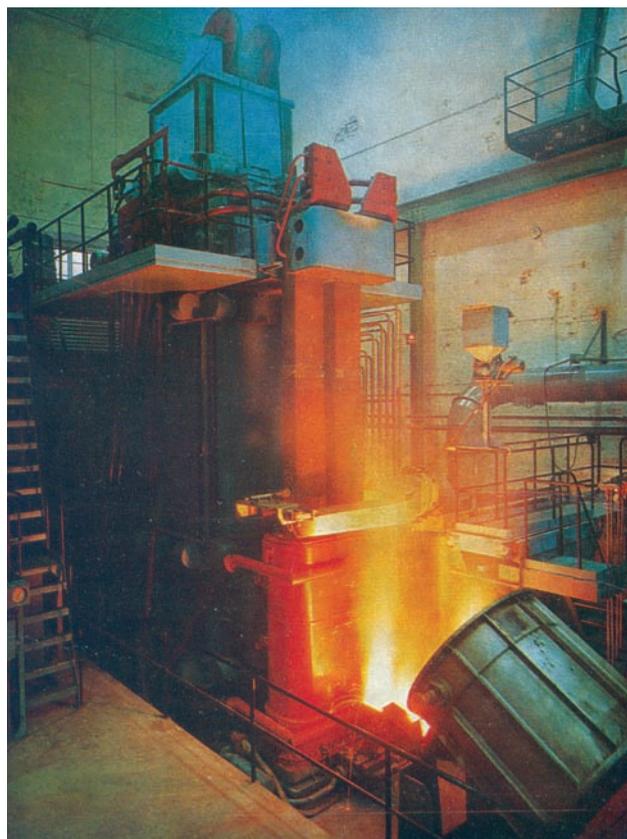
Особенности характера Бориса Израилевича проявлялись при общении как со знакомыми, так и незнакомыми, с подчиненными и вовсе независимыми от него людьми. Он был человеком увле-

цензия на использование отечественной технологии. Долгие годы Институт электросварки и коллектив, руководимый Б.И. Медоваром, были в мире лидерами в этой области металлургии. Печи ЭШП, созданные на основании их последующих разработок, проданы в США, Швецию, Германию, Японию и

кающимся, иной раз не очень выбирал выражения, но всегда старался поддерживать людей. Именно поэтому он воспитал десятки кандидатов и докторов наук. Желание и готовность помогать людям, как неоднократно подчеркивал сам Б.И. Медовар, он перенял у Патонов. Особенно эта черта характера проявилась в те годы, когда он как депутат Верховного Совета Украины, вел прием избирателей и старался помочь людям в их борьбе с бюрократической машиной советского государства.

О многом говорит и такой факт. Готовясь к первому своему выступлению в США на симпозиуме по ЭШП (1967 г.), он часами репетировал свой доклад и с помощью магнитофона корректировал произношение английского языка, выученного по самоучителю. Интересно, что он мог читать и общаться без переводчиков с коллегами не только в англоязычных странах, но и в Германии и во Франции, читал в подлинниках зарубежные научные статьи. Постоянное и целеустремленное самообучение было еще одной характерной чертой Медовара. Уже будучи признанным ученым он не стеснялся учиться у молодых, никогда не скрывал, если не знал чего-либо.

Борис Израилевич неоднократно подчеркивал, что его самым близким другом и помощником всю жизнь была жена — Фрида Львовна, с которой они прожили вместе с 1938 г.



Печь У-436М для производства листовых слитков массой до 9 т на шведской фирме «Авеста», Швеция, 1970 г.



Б.И. Медовар (третий слева) со своими учениками и японскими металлургами компании «Ниппон Стил» стоят на первом в мире листовом 40-тонном слитке ЭШП (Япония, г. Явата, 1974 г.)

Учеников и соратников академика не раз поражала его интуиция и способность, что называется «на кончике пера», находить решения сложнейших проблем. Например, уже в последнюю четверть своей жизни он создал за своим рабочим столом низкоуглеродистую броневую сталь, смело понизив почти вдвое содержание углерода по сравнению с общепринятым уровнем 0,35...0,4 %, предложил состав нового шлака для наплавки валков и решился на считавшуюся невозможной закалку с отпуском низкоуглеродистой стали типа 09Г2С. Во всех этих случаях практика блестяще подтвердила смелые догадки ученого.

Нельзя не отметить вклад Б.И. Медовара в издательскую деятельность. Он оставил потомкам десятки книг, сотни статей, более тысячи патентов. Был инициатором создания в 1975 г. сборника «Проблемы специальной электрометаллургии», впоследствии (1985 г.) преобразованного в журнал, который сейчас издается под названием «Современная электрометаллургия». Многие годы

Б.И. Медовар был заместителем главного редактора этого журнала.

В заключение отметим, что и сегодня ряд разработок Б.И. Медовара и его учеников еще не превзойдены никем в мире. Это, прежде всего, технология ЭШП полых слитков, обеспечивающая получение литого металла с физико-механическими свойствами на уровне кованого металла. Не имеет и сегодня равных технология ЭШП листовых слитков для прокатки особо толстого листа из высокопрочных сталей. Дело ученого живет и развивается во всем мире. Несмотря на хорошо понятные трудности нынешнего времени продолжают исследования электрошлаковых процессов и в Институте электро-сварки. В частности, созданная еще при жизни Б.И. Медовара технология двухконтурного ЭШП нашла применение при производстве биметаллов и получении слитков жаропрочных сплавов без пятнистой ликвации, а его давняя идея ЭШП рельсовой стали спустя десятилетия пробивает себе дорогу в промышленное производство Украины.

Основные даты жизни и деятельности академика НАН Украины Б.И. Медовара

Борис Израилевич Медовар родился 29 марта 1916 г. в г. Киеве.

1935–1940 гг. Студент механического факультета Киевского индустриального института (НТУУ «КПИ»).

1940–1941 гг. Инженер-технолог сварочного цеха на станкостроительном заводе «Коммунар» в г. Лубны Полтавской области.

1941 г. Сотрудник Института электросварки АН УССР.

1941–1943 гг. Участник Великой Отечественной войны.

1943 г. Вступил в ряды КПСС. Отозван для работы в тылу по сварке в бронекорпусном производстве.

1944 г. Награжден медалью «За оборону Кавказа».

1944–1947 гг. Секретарь партийного бюро Института электросварки им. Е.О. Патона АН УССР.

1944–1951 гг. Ученый секретарь Института электросварки АН УССР.

1945 г. Награжден медалями «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.» и «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.».

1946 г. Присуждена ученая степень кандидата технических наук.

1950 г. Присуждена Государственная премия СССР.

1950 г. Член редколлегии журнала «Автоматическая сварка».

1958 г. Член Координационного совета по сварке Института электросварки им. Е.О. Патона АН УССР.

1959 г. Руководитель отдела физико-металлургических процессов сварки и рафинирования аустенитных сталей и сплавов Института электросварки им. Е.О. Патона АН УССР.

1959 г. Присуждена премия им. Д.К. Чернова.

1959 г. Награжден Почетной грамотой НТО «Машпром» за работу «Механизация и автоматизация сварочного производства», отмеченную первой премией на Всесоюзном конкурсе сварки.

1960 г. Защитил докторскую диссертацию по монографии «Сварка аустенитных сталей и сплавов».

1963 г. Член Научного совета Государственного комитета СССР по науке и технике по проблеме «Новые процессы сварки и сварные конструкции».

1963 г. Присуждена Ленинская премия.

1965 г. Председатель секции «Металлургические методы улучшения металлов и сплавов» Научного совета АН УССР по проблеме «Новые процессы получения и обработки металлических материалов».

1965 г. Награжден Дипломом почета ВДНХ СССР за достижения в области электрошлаковой технологии.

1965 г. Награжден медалью «XX лет Победы над Германией».

1969 г. Избран членом-корреспондентом Академии наук УССР.

1970 г. Награжден медалью «За доблестный труд. В ознаменование 100-летия со дня рождения Владимира Ильича Ленина».

1973 г. Избран действительным членом АН УССР. Член комиссии «Черная металлургия» Научного совета Государственного комитета СССР по науке и технике и Президиума АН СССР по проблеме научно-технического и социально-экономического прогнозирования.

1974–1980 гг. Сопредседатель советско-американской группы по ЭШП в рамках советско-американского сотрудничества по специальной электрометаллургии.

1974 г. Награжден почетной грамотой японской металлургической компании «Ниппон стил» («Синнихон сейтецу»).

1975 г. Награжден медалью «XXX лет Победы в Великой Отечественной войне».

1976 г. Награжден орденом Трудового Красного Знамени.

1978 г. Присуждена государственная премия УССР.

1978 г. Награжден почетным знаком корпорации «Вестингхауз электрик» (отделение атомной энергетики).

1978 г. Присвоено звание почетного члена Исследовательского института Университета Карнеги-Меллона в г. Питтсбурге, США.

1980 г. Избран депутатом Верховного Совета Украинской ССР 10-го созыва. Член постоянной комиссии Верховного Совета Украинской ССР по тяжелой промышленности.

1980 г. Награжден Почетной Ленинской грамотой.

1980 г. Награжден орденом Трудового Красного Знамени.

1982 г. Член Научного совета Государственного комитета СССР по науке и технике по проблеме «Малоотходные технологические процессы производства точных заготовок и деталей машиностроения».

1982 г. Награжден медалью «В память 1500-летия Кива».

1982 г. Награжден Почетным знаком «Заслуженный работник» I степени, Почетным дипломом завода Польди СОНП в г. Кладно (ЧССР), Почетным знаком I степени Общества чехословацко-советской дружбы.

1984 г. Присуждена премия Совета Министров СССР.

1985 г. Избран депутатом Верховного Совета Украинской ССР 11-го созыва.

1985 г. Награжден орденом Отечественной войны II степени и медалью «XL лет Победы над Германией».

1985 г. Указом Государственного Совета НРБ награжден медалью «40 лет победы над гитлеровским фашизмом».

1989 г. Премія ім. Е.О. Патона НАН України.

2004 г. Державна премія України (посмертно).

6-я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТАЛИ «SteelSim 2015»

23–25 сентября 2015 г. в г. Бардолино (Италия) состоялась 6-я Международная конференция, посвященная моделированию металлургических процессов в производстве стали «SteelSim 2015».

Конференция организована Итальянским обществом металлургии (Associazione Italiana di Metallurgia (AIM)) при поддержке компаний Ecotre Valente (Италия), JMatPro (Великобритания), Thermo-Calc Software AB (Швеция), Transvalor S.A. (Франция) и TES (Италия). Председатели конференции — президент AIM проф. Карло Мапелли (Италия) и проф. Бруно Бэкмайр (Австрия). В состав научного комитета конференции вошли представители Германии, Италии, Канады, Чехии, Австрии, Франции.

В работе конференции приняли участие представители не только университетов и научно-исследовательских центров (более 50 организаций), но и представители крупных промышленных компаний: Danieli (Италия), SMS Mevac (Германия), POSCO (Южная Корея), VoestAlpine Stahl (Австрия), ArcelorMittal (Франция), ThyssenKrupp Steel (Германия), VDEh (Германия), Mintek (ЮАР), TATA Steel (Нидерланды), Finkl Steel (Канада) и др.

В течение трех дней работали секции: внепечная обработка стали, разливка и затвердевание (5 докладов); затвердевание и прокатка (4); сталеплавильное производство и тепловые процессы в металлургии (7); прогнозирование микроструктуры (13); разливка и затвердевание (22); формоизменение и термомеханическая обработка металла (3). Также представлено 5 стендовых докладов. Всего заслушано и обсуждено 60 докладов представленных специалистами из 19 стран мира: Германии (14), Австрии (7), Великобритании (6), Польши (5), Италии (4), Швеции (3) и др.

Моделированию процессов специальной электрометаллургии посвящено 3 работы: одна по ЭШП [1] и две по ВДП [2, 3].

Проф. Б. Бэкмайр (Montanuniversitaet Leoben, Австрия) в своем вступительном докладе отметил, что вычислительная техника в сталеплавильном производстве применяется уже почти 60 лет и пионером в этой области в 1957 г. стала британская ассоциация BISRA.

Большой интерес среди участников конференции вызвал доклад компании Danieli (Италия), посвященный созданию искусственной нейронной сети для отслеживания и прогнозирования температуры металлической ванны при ДСП [4]. В среде MatLab создана нейронная сеть, которую обучили на основе 1240 реальных плавов. Статистическая проверка сети показала, что средняя ошибка прогнозирования температуры составила 4,2 °С, а регрессия находится на уровне 0,86. Такой результат разработчики сочли удачным и внедрили модель на заводе Acciaierie Bertoli Safau (Италия). В течение 236 плавов был проведен еще один цикл обучения и адаптации, после чего сеть активно работала на протяжении 547 плавов. Благодаря использованию нейронной сети удалось добиться снижения температуры ванны на 10 °С и снизить энергозатраты на плавку.

Наибольшее число докладов (22) было представлено в секции «Разливка и затвердевание».

Представитель TATA Steel (Нидерланды) Д. Ван Одик показал результаты исследования влияния технологических параметров разливки на характер движения потоков металла в кристаллизаторе при непрерывной разливке слябовых заготовок 225×1300/1500/1700 мм на МНЛЗ № 21 завода TATA Steel Ijmuiden [5]. Он отметил, что опыт TATA Steel Ijmuiden позволяет утверждать, что особенности движения металла вблизи мениска прямо влияют на образование поверхностных дефектов в непрерывно литой заготовке, а организация движения металла с двойным завихрением обеспечивает снижение дефектности. В работе исследованы влияние на движение металла в кристаллизаторе электромагнитного торможения (устройства торможения расположены в верхней и нижней частях кристаллизатора), ширины кристаллизатора (1300, 1500 и 1700 мм) и скорости разливки (1,85, 1,60 и 1,45 м/мин соответственно для обеспечения одинаковой производительности). Рассмотрены три варианта работы устройств электромагнитного торможения: торможение отключено; включено; включено только нижнее тормозящее устройство, а верхнее отключено. При отключенном торможении имеет место глубокое проникновение струи жидкой стали в кристалли-

затор, что негативно влияет на рост твердой корочки и увеличивает риск захватывания неметаллических включений. Включение верхнего и нижнего устройств торможения резко уменьшает глубину проникновения струи, однако не способствует развитию вторичных завихрений. Включение только нижнего устройства торможения не только снижает скорость струи, но и способствует образованию двойных завихрений с небольшой циркуляцией вблизи мениска. Интересно, что большая часть сортамента на Ijmuiden CC21 сегодня разливается с использованием верхнего и нижнего устройств торможения, поэтому результаты данной работы наверняка станут основанием для проведения более глубоких исследований и, возможно, позволят решить проблему поверхностных дефектов в непрерывно литых заготовках.

Проф. Д. Шариари (ETS, Канада) представил результаты работы по исследованию влияния технологических параметров разливки на время затвердевания слитка [6]. В программе Transvalor TherCast моделировали затвердевание 40-тонных слитков из низколегированной стали 25CrMo4 и нержавеющей стали 25-20. Для изучения влияния температуры подогрева изложницы, времени (скорости) и температуры разливки провели серию из 54 численных экспериментов с использованием канадского суперкомпьютера. Установлено, что скорость заливки незначительно влияет на время затвердевания: при увеличении скорости в 1,5 раза продолжительность затвердевания увеличивается на 10 мин (1,2 %). Продолжительность затвердевания слитка можно уменьшить почти на 1,6 ч (12 %), если одновременно снизить температуру разливки и уменьшить подогрев изложницы. Время затвердевания слитка увеличивается при повышении температуры подогрева изложницы с 13,01 ч до 13,79 ч при увеличении температуры подогрева до 350 °С и температуре разливки 1570 °С. Интересно, что при дальнейшем повышении температуры изложницы до 550 °С время затвердевания слитка уменьшается и составляет 13,34 ч. Для проверки результатов моделирования на заводе компании Finkl Steel отлили 40-тонный слиток из стали 25CrMo4, однако технологические параметры, выбранные для отливки такого слитка, авторы не раскрывают. Во время заливки и во время затвердевания измеряли температуру изложницы. Расчетные данные хорошо согласуются с результатами реального эксперимента, расхождение между измеренной и рассчитанной температурой изложницы составило менее 4 %.

На основе приведенных данных авторами работы построен график зависимости времени за-

твердевания слитка от температуры подогрева изложницы, который еще раз показывает, что при увеличении подогрева время затвердевания может уменьшаться. Авторы получили необычные результаты и, возможно, обнаружили новое интересное явление, однако никаких объяснений его в данном докладе приведено не было.

В работе конференции принимали участие представители компаний-разработчиков программного обеспечения для компьютерного моделирования, в том числе и для моделирования металлургических процессов (MAGMA, ANSYS Fluent, ProCAST, DeForm, Forge, Thercast, Thermo-Calc и др.).

Представитель MAGMA (Германия) И. Хан обратил внимание на то, что собственно моделирование достигло настолько высокого уровня, что расчет заливки и затвердевания слитка стал достаточно простой задачей. Поэтому необходимо перейти к оптимизации моделирования для повышения информативности результатов и уменьшения трудозатрат, необходимых для их получения [7]. Он отметил, что проведение и оптимизация цикла численных экспериментов позволяет определить наиболее важные технологические параметры процесса.

Интересно, что основная часть представленных в докладах результатов моделирования процессов затвердевания получена с использованием специализированного коммерческого программного обеспечения (TherCast, ProCAST, MAGMA и др.), гидродинамику при разливке стали моделировали с помощью мультифизических расчетных комплексов (ANSYS и Comsol), а для прогнозирования микроструктуры в основном использовали программы собственной разработки. Отметим, что для расчета термодинамических и механических свойств материалов повсеместно использовали программу Thermo-Calc.

Конференция «SteelSim 2015» еще раз показала, что современное высокотехнологичное металлургическое производство уже сложно представить без применения компьютерных программ и компьютерного моделирования. Более того, ряд физических и термодинамических явлений, а также технологических особенностей металлургических процессов можно изучить только с помощью компьютерных моделей.

Организаторы сообщили, что следующая 7-я конференция «SteelSim 2015» состоится в 2017 г. и будет проведена в Китае.

1. *Simulation of electrical and thermal phenomena at electroslag remelting on a three-phase circuit* / L. Medovar, Ye. Volchenkov, V. Petrenko et al. // Proc. of the 6th Intern. conf. on Modelling and Simulation of Metallurgical Processes in Steelmaking (SteelSim). — Bardolino, 2015.

2. *Modelling* the vacuum arc remelting process in rectangular geometries / C. Schubert, M. Eickhoff, A. Rueckert et al. // Там же.
3. *Measurement* of emission coefficients for Alloy 718 to improve numerical simulation of industrial scale VAR process / M. Eickhoff, A. Rueckert, H. Pfeifer et al. // Там же.
4. *Artificial* neural network approach for molten bath temperature tracking on EAF/VD / S. Guanin, V. Dimitrijevic, M. Picciotto et al. // Там же.
5. *Impact* of casting parameters on mould fluid flow in the IJmuiden CC21 / D. van Odyck, Mr. Singh, D. van der Plas, H. Wouters // Там же.
6. *3D numerical* simulation of solidification of large size ingots of high strength steels / D. Shahriari, A. Loucif, M. Jahazi et al. // Там же.
7. *Hahn I.*, Hepp E., Schneider M. From simulation to virtual optimization of ingot and continuous casting processes // Там же.

Е.А. Волченков

НИКОПОЛЬСКОМУ ЗАВОДУ ФЕРРОСПЛАВОВ 50 ЛЕТ

Флюсы для электрошлакового переплава стали

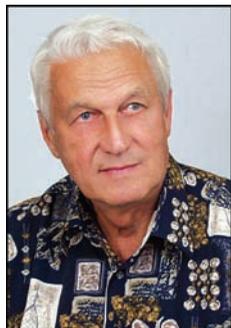
Марка	Содержание по техническим условиям, %										
	CaF ₂	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	C	S	P
	не более										
АНФ-1	≥ 90	≤ 3	≤ 5	≤ 2,5	–	0,5	–	–	0,1	0,05	0,02
АНФ-1-1	≥ 90	≤ 3	≤ 5	≤ 2,5	–	0,5	0,05	–	0,05	0,05	0,02
АНФ-1-3-0	≥ 85	≤ 8	≤ 8	≤ 1,0	–	0,5	0,05	–	0,03	0,05	0,02
АНФ-6	Основа	25–31	≤ 8	≤ 2,5	–	0,5	0,05	–	0,1	0,05	0,02
АНФ-6-1	Основа	25–31	≤ 8	≤ 2,5	–	0,5	0,05	–	0,05	0,05	0,02
АНФ-6-2	Основа	25–31	≤ 8	≤ 1,0	–	0,5	0,05	–	0,1	0,05	0,02
АНФ-6-3	Основа	25–31	≤ 8	≤ 1,0	–	0,5	0,05	–	0,05	0,05	0,02
АНФ-6-3-0	Основа	25–31	≤ 8	≤ 1,0	–	0,5	0,05	–	0,03	0,05	0,02
АН-295	11–17	49–56	46–31	≤ 2,5	–	0,5	0,05	6,0	0,1	0,05	0,02
АНФ-28	41–49	≤ 5	26–32	20–24	–	0,5	–	≤ 6	0,1	0,06	0,03
АНФ-29	37–45	13–17	24–30	11–15	–	0,5	–	2–6	0,1	0,06	0,03
АНФ-32	34–42	24–30	20–27	5–7	0,3–1,3	0,5	–	2–6	0,1	0,06	0,03
АНФ-35	24–30	28–32	20–26	4–8	–	0,5	–	12–16	0,1	0,06	0,03

Флюсы сварочные

Марка	Содержание по стандарту, %					
	SiO ₂	MnO	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	CaF ₂
АН-60	42–46	36–41	≤ 10	≤ 3	≤ 6	5–9
АН-20С	19–24	≤ 0,5	3–9	9–13	27–32	25–33
АНФ-26С	29–33	2,5–4,0	4–8	15–18	19–23	20–24
АН-43	18–22	5–9	14–18	≤ 2	30–36	17–21
АН-47	28–33	11–18	13–17	6–10	9–13	8–13
АН-17М	18–22	≤ 3	14–18	8–12	24–29	21–25
ОСЦ-45М	38–44	38–44	≤ 10	≤ 3	≤ 6	6–9
АН-67Б	12–16	14–18	≤ 10	–	35–40	11–16
АН-68М	25–30	20–28	9–11	–	19–25	10–13
АН-348А	40–44	31–38	≤ 12	≤ 7	≤ 6	3–6
АН-348В	40–44	30–34	≤ 12	≤ 7	≤ 8	3–6

Марка	Содержание по стандарту, %						
	Fe ₂ O ₃	Ca ₂ O+Na ₂ O	ZrO ₂	TiO ₂	C	S	P
	не более						
АН-60	≤ 0,9	–	–	–	–	0,05	0,05
АН-20С	≤ 0,8	2,0–3,0	–	–	–	0,06	0,03
АНФ-26С	≤ 1,5	–	–	–	0,05	0,08	0,08
АН-43	2–5	–	–	–	–	0,05	0,05
АН-47	0,5–3,0	–	1,1–2,2	4–7	–	0,05	0,08
АН-17М	2,0–5,0	–	–	–	–	0,05	0,05
ОСЦ-45М	0,5–2,0	–	–	–	–	0,12	0,10
АН-67Б	≤ 1,0	0,5–2,5	–	4–7	0,1	0,05	0,05
АН-68М	≤ 1,2	≤ 2,5	–	1–6	0,05	0,05	0,05
АН-348А	0,5–2,0	–	–	–	–	0,12	0,12
АН-348В	0,5–2,0	–	–	0,5–0,6	–	0,12	0,13

ПАМЯТИ Г.А. БОЙКО



16 марта 2016 г. на 82-м году жизни скоропостижно скончался Георгий Александрович Бойко — известный украинский ученый в области металлургии и технологии металлов, доктор технических наук, профессор, лауреат Государственной премии УССР.

Г.А. Бойко родился 12 декабря 1934 г. в Киеве. Закончил в 1958 г. Киевский политехнический институт по специальности «Технология и оборудование сварочного производства». Научно-производственную деятельность начал после окончания КПИ в ИЭС им. Е.О. Патона. Занимал должности от инженера до руководителя отраслевой лаборатории. Первые его работы были посвящены разработке метода деформирования негабаритных обечаек цементных печей большого диаметра с целью возможности их транспортировки железной дорогой, эффективных конструкций штампосварных теплообменников и др.

Им было открыто и исследовано явление образования вакуума в герметичном зазоре между свариваемыми без расплавления основного металла металлическими поверхностями во время нагрева за счет растворения газов воздуха в зазоре, которое сопровождалось очищением поверхностей металла от оксидов, что облегчало соединение стальных деталей при небольших давлениях. Г.А. Бойко был одним из исследователей и разработчиков способов соединения под давлением разнородных сталей, таких как автовакуумная сварка давлением и прессовая сварка-пайка. Впервые связал явление переноса

углерода на границе соединения разнородных сталей с контактной разницей потенциалов.

В дальнейшем Г.А. Бойко занимался исследованиями и разработками в области специальной электрометаллургии. Созданные с его участием технологические процессы доказали преимущество литого металла по плотности структуры, чистоте от неметаллических включений, вязкости, пластичности, отсутствию анизотропии свойств по сравнению с деформированным металлом обычного производства. Эти результаты стали основой для создания промышленной технологии электрошлакового литья (ЕШЛ) в водоохлаждаемых литейных формах. Им разработаны и введены в производство технологические процессы ЕШЛ таких ответственных изделий, как коленчатые валы больших судовых дизелей, детали тяжелых промышленных тракторов и механических прессов, корпусов энергетической арматуры для атомных электростанций и т.п.

В последние годы Г.А. Бойко работал в Центральном научно-исследовательском институте вооружения и военной техники Вооруженных Сил Украины, являясь главным редактором периодического научно-технического журнала «Вооружение и военная техника».

Награжден медалями СССР, золотыми медалями ВДНХ СССР и Выставки передового опыта УССР. Автор более 400 печатных трудов, в том числе десяти монографий, четыре из которых переизданы в Англии, Японии и Китае и 140 авторских свидетельств. Подготовил четырех кандидатов наук.

Георгий Александрович был высокообразованным и доброжелательным человеком, которого уважали коллеги и друзья.

Подписано к печати 24.03.2016. Формат 60×84/8.
 Офсетная печать. Усл. печ. л. 7,8. Усл. кр.-отг. 8,1. Уч.-изд. л. 9,3
 Печать ООО «Фирма «Эссе».
 03142, г. Киев, пр. Акад. Вернадского, 34/1.
