



# ВЕСТНИК

**ЮЖНО-УРАЛЬСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
УНИВЕРСИТЕТА**

**2016  
Т. 16, № 4**

ISSN 1990-8482 (Print)  
ISSN 2411-0906 (Online)

**СЕРИЯ**

**«МЕТАЛЛУРГИЯ»**

Решением ВАК России включен в Перечень рецензируемых научных изданий

**Учредитель – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»**

В журнале публикуются статьи в области физической химии металлургических систем, физики металлов, металловедения и термической обработки металлов и сплавов, теории и технологии процессов производства металлов и сплавов, устройства металлургических агрегатов, литейного производства, металлургической теплотехники, обработки металлов давлением, а также родственных областей науки и техники.

**Редакционная коллегия:**

**Корягин Ю.Д.**, д.т.н., профессор;  
**Кулаков Б.А.**, д.т.н., профессор;  
**Михайлов Г.Г.**, д.т.н., профессор  
(ответственный редактор);  
**Окишев К.Ю.**, д.ф.-м.н.  
(ответственный секретарь);  
**Шеркунов В.Г.**, д.т.н., профессор.

**Редакционный совет:**

**Белов В.Д.**, д.т.н., профессор (Москва);  
**Бескачко В.П.**, д.ф.-м.н.;  
**Вдовин К.Н.**, д.т.н., профессор  
(Магнитогорск);  
**Выдрин А.В.**, д.т.н. (Челябинск);  
**Дрозин А.Д.**, д.т.н., профессор;  
**Дубровин В.К.**, д.т.н., профессор;

**Еланский Г.Н.**, д.т.н., профессор (Москва);  
**Иванов М.А.**, к.т.н., доцент;  
**Знаменский Л.Г.**, д.т.н., профессор;  
**Кулагин Н.М.**, к.х.н., профессор  
(Новокузнецк);  
**Лыкасов А.А.**, д.х.н., профессор  
(председатель);  
**Мысик Р.К.**, д.т.н., профессор  
(Екатеринбург);  
**Найзабеков А.Б.**, д.т.н., профессор  
(Рудный, Казахстан);  
**Рощин В.Е.**, д.т.н., профессор;  
**Фраге Наум**, профессор (Беэр-Шева,  
Израиль);  
**Чуманов И.В.**, д.т.н., профессор;  
**Шао Вэньчжу**, профессор (Харбин, КНР);  
**Яковлева И.Л.**, д.т.н. (Екатеринбург).



# BULLETIN

OF THE SOUTH URAL  
STATE UNIVERSITY

SERIES

2016

Vol. 16, no. 4

“METALLURGY”

ISSN 1990-8482 (Print)  
ISSN 2411-0906 (Online)

---

Vestnik Yuzhno-Ural'skogo Gosudarstvennogo Universiteta.  
Seriya “Metallurgiya”

---

## South Ural State University

The journal publishes papers in the fields of physical chemistry of metallurgical systems, metal physics and physical metallurgy, heat treatment of metals and alloys, theory and technology of production processes of metals and alloys, metallurgical equipment, metal casting, metallurgical heat engineering, metal forming as well as related areas of science and technology.

### Editorial Board:

**Koryagin Yu.D.**, Dr. of Sci. (Eng.), Prof., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation;  
**Kulakov B.A.**, Dr. of Sci. (Eng.), Prof., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation;  
**Mikhailov G.G.**, Dr. of Sci. (Eng.), Prof. (*executive editor*), South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation;  
**Okishev K.Yu.**, Dr. of Sci. (Phys. and Math.) (*executive secretary*), South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation;  
**Sherkunov V.G.**, Dr. of Sci. (Eng.), Prof., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation.

### Editorial Council:

**Belov V.D.**, Dr. of Sci. (Eng.), Prof., National University of Science and Technology «MISIS», Moscow, Russian Federation;  
**Beskachko V.P.**, Dr. of Sci. (Phys. and Math.), South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation;  
**Vdovin K.N.**, Dr. of Sci. (Eng.), Prof., Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation;  
**Vydrin A.V.**, Dr. of Sci. (Eng.), Russian Research Institute of the Tube and Pipe Industries, Chelyabinsk, Russian Federation;  
**Drozin A.D.**, Dr. of Sci. (Eng.), Prof., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation;  
**Dubrovin V.K.**, Dr. of Sci. (Eng.), South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation;  
**Elanskii G.N.**, Dr. of Sci. (Eng.), Prof., Moscow State University of Mechanical Engineering (MAMI), Moscow, Russian Federation;  
**Ivanov M.A.**, Cand. of Sci. (Eng.), Ass. Prof., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation;  
**Znamenskii L.G.**, Dr. of Sci. (Eng.), Prof., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation;  
**Kulagin N.M.**, Cand. of Sci. (Chem.), Prof., Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russian Federation;  
**Lykasov A.A.**, Dr. of Sci. (Chem.), Prof. (*chairman*), South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation;  
**Mysik R.K.**, Dr. of Sci. (Eng.), Prof., Ural Federal University, Ekaterinburg, Russian Federation;  
**Naizabekov A.B.**, Dr. of Sci. (Eng.), Prof., Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan;  
**Roshchin V.E.**, Dr. of Sci. (Eng.), Prof., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation;  
**Frage N.**, Prof., Ben-Gurion University of the Negev, Beer Sheva, Israel;  
**Chumanov I.V.**, Dr. of Sci. (Eng.), Prof., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation;  
**Shao Wenzhu**, Prof., Harbin Institute of Technology, Harbin, China;  
**Yakovleva I.L.**, Dr. of Sci. (Eng.), M.N. Mikheev Institute of Metal Physics, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation.

## СОДЕРЖАНИЕ

### Физическая химия и физика металлургических систем

ЧЕРНУХА А.С., КУЗНЕЦОВ Ю.С., КАЧУРИНА О.И. Равновесные параметры газовых смесей $H_2-H_2O-CO-CO_2-CH_4$ в отсутствии и присутствии углерода .....	5
ТЯГУНОВ А.Г. Структурные изменения расплавов жаропрочных никелевых сплавов .....	16
BARKOV L.A., SAMODUROVA M.N., EKK E.V., LATFULINA Yu.S. New Method of Crystal Material Heterogeneity Examination .....	23
РОЩИН В.Е., РОЩИН А.В. Физическая интерпретация теории восстановления/окисления металлов ..	29
МИРЗАЕВ Д.А., МИРЗОЕВ А.А., РАКИТИН М.С. Влияние легирования на термодинамические характеристики водорода в ОЦК-железе .....	40
ДРОЗИН А.Д., ЯПАРОВА Н.М., ГОЛЬДШТЕЙН В.Я. Математическая модель кинетики фазового перехода при нагреве поверхности цилиндрического тела .....	54
ДРОЗИН А.Д. Математическая модель кинетики движения двухфазной зоны при нагреве цилиндрического тела из двухкомпонентного сплава .....	67

### Металлургия чёрных, цветных и редких металлов

РОЩИН В.Е., САЛИХОВ С.П., ПОВОЛОЦКИЙ А.Д. Твердофазное предвосстановление железа – основа безотходных технологий переработки комплексных руд и техногенных отходов .....	78
--	----

### Литейное производство

ЗНАМЕНСКИЙ Л.Г., ИВОЧКИНА О.В., ВАРЛАМОВ А.С., ЮЖАКОВА А.А. Ресурсосберегающая технология формообразования для литья жаропрочных сплавов .....	87
--	----

### Металловедение и термическая обработка

ЧУКИН М.В., ПОЛЕЦКОВ П.П., АЛЕКСЕЕВ Д.Ю., БЕРЕЖНАЯ Г.А., ГУЩИНА М.С. Влияние плазменной резки на микроструктуру и твердость высокопрочной стали .....	92
ПАСТУХОВ В.И., АВЕРИН С.А., ДАНИЛОВ С.В., ЗОРИНА М.А., РУСАКОВ Г.М., МАКАРОВА Е.А., ЛОБАНОВ М.Л. Текстура деформированного и отожженного листового молибдена .....	101
РУЩИЦ С.В., АХМЕДЬЯНОВ А.М., СМЕРНОВ М.А., ЛАПИНА И.В., ГОЛЬДШТЕЙН В.Я. Деформационное поведение коррозионностойкой супермартенситной стали в условиях горячей осадки .....	109
ШАБУРОВА Н.А., ШЕВЧЕНКО А.А. Исследование причин разрушения жаропрочных литых поддонов .....	117
МАКОВЕЦКИЙ А.Н., МИРЗАЕВ Д.А., ВАСИЛЬЕВ Е.Н. Влияние структурных и фазовых изменений при термической обработке трубных сталей на скорость общей коррозии .....	122

### Обработка металлов давлением. Технологии и машины обработки давлением

ВОЛКОВ А.Е. Деформация сдвигом методом кручения, осадки и прессования .....	129
СТРУГОВ С.С., ИВАНОВ В.А., ШЕРКУНОВ В.Г. Сравнение методов оценки напряженно-деформированного состояния при осадке цилиндрической заготовки .....	140

### Порошковая металлургия, композиционные материалы и покрытия

ШТИН С.В., ГАБИДУЛИН В.В., ЮСУПОВА Л.И. Исследование состава и структуры цинк-никелевых покрытий, осажденных из слабокислого электролита на железный подслои .....	147
--	-----

## CONTENTS

### Physical Chemistry and Physics of Metallurgical Systems

CHERNUKHA A.S., KUZNETSOV Yu.S., KACHURINA O.I. Equilibrium Parameters of Gas Mixtures $H_2-H_2O-CO-CO_2-CH_4$ in the Absence and Presence of Carbon .....	5
TYAGUNOV A.G. Structural Changes in Melts of Heat-Resistant Nickel Alloys .....	16
BARKOV L.A., SAMODUROVA M.N., EKK E.V., LATFULINA Yu.S. New Method of Crystal Material Heterogeneity Examination .....	23
ROSHCHIN V.E., ROSHCHIN A.V. Physical Interpretation of the Theory of Reduction / Oxidation of Metals .....	29
MIRZAEV D.A., MIRZOEV A.A., RAKITIN M.S. Alloying Effects on Thermodynamic Characteristics of Hydrogen in BCC Iron .....	40
DROZIN A.D., YAPAROVA N.M., GOL'DSHTEYN V.Ya. Mathematical Model of the Kinetics of Phase Transitions at the Heating of the Surface of a Cylindrical Object .....	54
DROZIN A.D. Mathematical Model of the Two-Phase Zone Motion During Heating of the Two-Component Cylindrical Object .....	67

### Metallurgy of Ferrous, Non-Ferrous and Rare Metals

ROSHCHIN V.E., SALIKHOV S.P., POVOLOTSKIY A.D. Solid-Phase Pre-Reduction of Iron as a Basis of Non-Waste Technologies of Processing Complex Ores and Industrial Waste .....	78
---	----

### Casting

ZNAMENSKII L.G., IVOCHKINA O.V., VARLAMOV A.S., YUZHAKOVA A.A. Resource-Saving Technologies of Forming Process for Casting Superalloys .....	87
--	----

### Physical Metallurgy and Heat Treatment

CHUKIN M.V., POLETSKOV P.P., ALEKSEEV D.Yu., BEREZHNYAYA G.A., GUSHCHINA M.S. The Influence of Plasma-Arc Cutting on the Microstructure and Hardness of High-Strength Steel .....	92
PASTUKHOV V.I., AVERIN S.A., DANILOV S.V., ZORINA M.A., RUSAKOV G.M., MAKAROVA E.A., LOBANOV M.L. The Texture of Deformed and Annealed Molybdenum Sheet .....	101
RUSHCHITS S.V., AKHMED'YANOV A.M., SMIRNOV M.A., LAPINA I.V., GOL'DSHTEYN V.Ya. Deformation Behavior of Supermartensitic Stainless Steel in Hot Compression Tests .....	109
SHABUROVA N.A., SHEVCHENKO A.A. Investigation of the Causes of Destruction of Heat-Resistant Molded Pallets .....	117
MAKOVETSKII A.N., MIRZAEV D.A., VASIL'EV E.N. Effect of Structural and Phase Changes in Heat Treatment of Pipeline Steels on the Rate of General Corrosion .....	122

### Metal Forming. Technology and Equipment of Metal Forming

VOLKOV A.E. Shear Deformation by Torsion, Upsetting and Press Forming Method .....	129
STRUGOV S.S., IVANOV V.A., SHERKUNOV V.G. Comparison of Methods of Stress-Strain State Estimation in the Upset of a Cylindrical Workpiece .....	140

### Powder Metallurgy, Composite Materials and Coatings

SHTIN S.V., GABIDULIN V.V., YUSUPOVA L.I. Study of the Composition and Structure of Zinc-Nickel Coatings Deposited from Weakly Acidic Electrolytes at Iron Sublayer .....	147
---	-----