

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И.Носова

# **ЛИТЕЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ**

Межрегиональный сборник научных трудов

Под редакцией В.М. Колокольцева

Выпуск 14

Магнитогорск  
2015

Редакционная коллегия:

**В.М. Колокольцев** – *гл. научный редактор*, проф., д-р техн. наук (ФГБОУ ВПО «МГТУ»);

**Л.Б. Долгополова** – *научный редактор*, доц., канд. техн. наук (ФГБОУ ВПО «МГТУ»);

**К.Н. Вдовин** – проф., д-р техн. наук (ФГБОУ ВПО «МГТУ»);

**А.Н. Емелюшин** – проф., д-р техн. наук (ФГБОУ ВПО «МГТУ»);

**Б.А. Кулаков** – проф., д-р техн. наук (ФГБОУ ВПО «ЮургУ»);

**Р.К. Мысик** – проф., д-р техн. наук (ФГБОУ ВПО «УГТУ-УПИ»);

**Е.В. Петроченко** – д-р техн. наук (ФГБОУ ВПО «МГТУ»);

**А.Б. Сычков** – д-р техн. наук (ФГБОУ ВПО «МГТУ»);

**С.В. Цыбров** – д-р техн. наук (ЗАО «МЗПВ»);

**В.П. Чернов** – проф., д-р техн. наук (ФГБОУ ВПО «МГТУ»);

**Хосен Ри** – проф., д-р техн. наук (ФГБОУ ВПО «ТГТУ»)

**Литейные процессы:** межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М.Колокольцева. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2015. – Вып. 14. – 137 с.

ISBN 978-5-9967-0782-9

В сборнике представлены результаты теоретических, экспериментальных и промышленных научно-исследовательских работ специалистов в области литейного производства.

ISBN 978-5-9967-0782-9

© Магнитогорский государственный  
технический университет  
им. Г.И. Носова, 2015

---

---

## ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ГЛАВНОГО НАУЧНОГО РЕДАКТОРА

*Вашему вниманию представлен четырнадцатый выпуск сборника научных трудов «Литейные процессы». В статьях представлены материалы научных исследований ученых из России, Казахстана и Белоруссии, в которых рассмотрены актуальные вопросы литейного производства: процессы плавки и обработки литейных сплавов, металловедение и термообработка сплавов и отливок, специальные способы литья, САПР в литейном производстве, вопросы экологии и экономики в литейном производстве.*

*Ректор МГТУ им. Г.И. Носова  
Колокольцев В.М.*

---

---

## Раздел 1

### ПРОЦЕССЫ ПЛАВКИ И ОБРАБОТКИ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ

УДК 621.001.76

**И.М. Ячиков, К.Н. Вдовин, Т.П. Ларина**

Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

#### ПОВЕДЕНИЕ СРЕДНИХ ЛОКАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИЛ ПО ДЛИНЕ ДУГИ В ТРЕХФАЗНОЙ ДУГОВОЙ ПЕЧИ

В работе [1] приведена математическая модель для оценки среднеинтегрального действия основных электромагнитных сил, действующих на дугу в трехфазной дуговой печи переменного тока, а также оценка порядка всех сил и их направление в зависимости от геометрических параметров дуг и электродов. Установлено, что наиболее существенное влияние на поведение электрической дуги в ванне трехфазной дуговой печи оказывают силы взаимодействия между токами дуг и электродов, силы взаимодействия с токами, протекающими через жидкий металл, и выпрямляющая сила. Показано, что на расстоянии, сопоставимом с длиной дуги, наибольшее влияние имеет сила взаимодействия между дугами. При расстояниях, превышающих несколько длин дуг, большее влияние на форму дуги оказывает сила взаимодействия с токами, протекающими через жидкий металл.

Однако реальная дуга представляет собой легкоподвижный гибкий проводник, который меняет форму под действием не только среднеинтегральных, но и даже относительно небольших локальных электромагнитных сил. Эти силы изменяются как по длине дуги, так и с течением времени. Они во многом определяют форму дуги, ее движение в пространстве и во времени.

Целью данной работы является анализ поведения среднеинтегрального действия основных электромагнитных сил на элементы дуги в трехфазной дуговой печи.

При расчете электромагнитной силы, действующей на столб дуги от токов, протекающих через жидкий металл, в трехфазной

дуговой печи переменного тока принимали, что оси дуг горят перпендикулярно поверхности металлической ванны (оси совпадают с осями электродов) и действующее значение линейных токов одинаковое. Считали также, что электрическая ось токопроводящего слоя между дугами расположена на глубине  $\Delta$  от поверхности металла [2]. Для жидкой стали эту величину можно принять примерно равной половине глубине проникновения поля промышленной частоты  $\Delta \approx \Delta_0 / 2 = 3,2-3,6$  см, где  $\Delta_0 = \sqrt{\rho / (\pi \mu_0 \nu)}$ ,  $\rho$  - удельное электросопротивление жидкой стали;  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  (В с)/(А м) - магнитная постоянная;  $\nu = 50$  Гц - промышленная частота.

В работах [1, 2] получено уравнение для полной силы, действующей на дугу длиной  $l_d$  через которую протекает ток  $i_0$ , со стороны тока, протекающего через металл  $i_1$ .

$$F = \frac{\mu_0 i_1 i_0}{4\pi} \ln \left[ \frac{(\sqrt{l^2 + \Delta^2} + l)(\Delta + l_d)}{\Delta(\sqrt{(l_d + \Delta)^2 + l^2} + l)} \right],$$

где  $l$  - расстояние между осями дуг.

Сила, действующая на элемент дуги  $dl$ , совпадает с направлением тока  $i_1$ , и модуль ее определяется как  $dF = \mu_0 i_0 dl \times H$ . Можно легко получить локальную электромагнитную силу, действующую на единицу длины дуги на расстоянии  $z$  от поверхности металла  $\frac{dF}{dl} = f_m = \frac{i_1 i_0 \mu_0}{4\pi(\Delta + z)} \frac{l}{\sqrt{l^2 + (\Delta + z)^2}}$ .

Эта зависимость совпадает с формулой, полученной Ю.М. Миرونвым в работе [3].

Для нахождения токов, протекающих через жидкий металл в трехфазной дуговой печи переменного тока, использовали электрическую схему замещения, в которой фазные сопротивления одинаковые  $Z_{AB} = Z_{BC} = Z_{CA}$  и соединены по схеме «треугольник». Тогда напряжение на каждой фазе равно линейному напряжению  $U_{л} = U_{\phi}$ , но фазные и линейные токи не равны между собой.

При заданном напряжении и одинаковом сопротивлении фаз нагрузки фазные токи можно определить как:

$$i_{AB} = \frac{U_{AB}}{Z_{AB}} = I \sin(\omega t), \quad i_{BC} = \frac{U_{BC}}{Z_{BC}} = I \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}),$$

$$i_{CA} = \frac{U_{CA}}{Z_{CA}} = I \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}), \text{ где } I - \text{ амплитудное значение фазно-}$$

го тока. Соответственно линейные токи:  $i_A = i_{AB} - i_{CA}$ ;  $i_B = i_{BC} - i_{AB}$ ;  $i_C = i_{CA} - i_{BC}$ . Например, линейная сила тока, проходящая через фазу  $A$ :  $i_A = i_{AB} - i_{CA} = I\sqrt{3} \sin(\omega t - \frac{\pi}{6})$ .

Рассмотрим электромагнитную силу, действующую на элемент дуги с током  $i_0 = i_A$  со стороны трех фазных токов  $i_{AB}$ ,  $i_{BC}$ ,  $i_{CA}$ , протекающих через металл. Результирующая сила есть векторная сумма трех сил  $f_{AB}$ ,  $f_{BC}$ ,  $f_{CA}$ , зависящих от времени, среднее значение каждой из которых зависит от среднего за период  $T$  значения произведения токов:

$$f_{AB} \sim \frac{1}{T} \int_0^T i_{AB} i_A dt = \frac{3}{4} I^2, \quad f_{CA} \sim \frac{1}{T} \int_0^T i_{CA} i_A dt = -\frac{3}{4} I^2,$$

$$f_{BC} \sim \frac{1}{T} \int_0^T i_{BC} i_A dt = 0.$$

Последнее выражение говорит о том, что на дугу фазы  $A$  действуют среднеинтегральные силы только со стороны фазных токов  $i_{AB}$  и  $i_{CA}$ . Направление средних локальных сил на единицу длины и их равнодействующая показаны на рис. 1.

Видно, что векторы образуют равносторонний треугольник, поэтому  $|\vec{f}_{CA}| = |\vec{f}_{AB}| = |\vec{f}_M|$ . С учетом выражения для определения действующего значения линейного тока  $I_{дл} = \sqrt{3}I / \sqrt{2}$ , зная амплитудное значение фазного тока  $I$ , получим среднеинтегральное значение силы, действующей на дугу:

$$F_M = \frac{\mu_0 I_{дл}^2}{8\pi} \ln \left[ \frac{(\sqrt{l^2 + \Delta^2} + l)(\Delta + l_d)}{\Delta(\sqrt{(l_d + \Delta)^2 + l^2} + l)} \right],$$

и локальное среднее значение электромагнитной силы, действующей на единицу длины дуги:

$$f_m(z) = \frac{\mu_0 I_{\text{дл}}^2}{8\pi} \frac{1}{(\Delta + z)} \frac{l}{\sqrt{l^2 + (\Delta + z)^2}}. \quad (1)$$

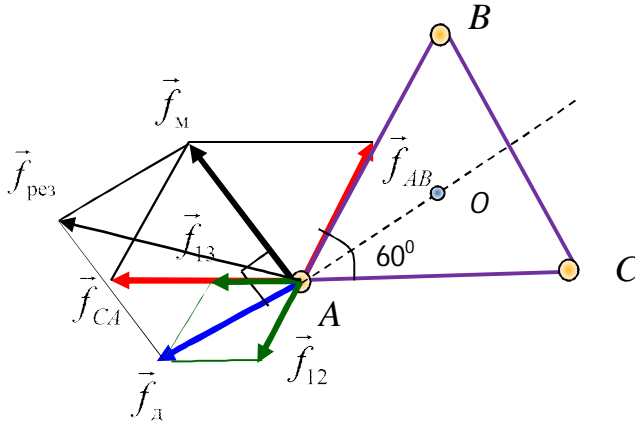


Рис. 1. Направление локальных электромагнитных сил, действующих со стороны фазных токов  $\vec{f}_M$ , со стороны линейных токов  $\vec{f}_д$ , и равнодействующей силы  $\vec{f}_{рез}$  на элемент электрической дуги

Рассмотрим вторую электромагнитную силу, действующую на столб дуги, – силу электромагнитного взаимодействия с другими дугами и токами, протекающими через графитированные электроды.

Сила, действующая на элемент дуги  $dl$  со стороны параллельной дуги, перпендикулярна направлению токов  $i_0, i_1$  и ее модуль определяется как  $dF = \mu_0 i_0 dl \times H$ . Локальная электромагнитная сила, действующая на единицу длины дуги [1]

$$\frac{dF}{dl} = f_d(z) = \frac{i_0 \mu_0}{4\pi l} \left( \frac{z}{\sqrt{l^2 + z^2}} + \frac{l_0 + l_{00} - z}{\sqrt{l^2 + (l_0 + l_{00} - z)^2}} \right), \text{ и суммар-}$$

$$\text{ная сила на дугу } l_{\partial} \quad F_{\text{д}} = \frac{\mu_0 i_1 i_0}{4\pi l} \int_0^{l_{\partial}} \left( \frac{z}{\sqrt{l^2 + z^2}} + \frac{l_{\partial} + l_{\partial\partial} - z}{\sqrt{l^2 + (l_{\partial} + l_{\partial\partial} - z)^2}} \right) dz,$$

где  $l_{\partial\partial}$  - длина графитированного электрода, по которому протекает линейный ток дуги.

Найдем силу на дугу от двух других параллельных токов в трехфазной дуговой печи переменного тока. Линейные токи, протекающие по дугам и соответствующим графитированным электродам:  $i_1 = I_0 \sin(\omega t)$ ,  $i_2 = I_0 \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$ ,  $i_3 = I_0 \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$ ,

где  $I_0$  - амплитудное значение линейного тока.

Результирующая сила, действующая на элемент дуги с током  $i_1$  со стороны второго  $i_2$  и третьего  $i_3$  токов, есть векторная сумма двух сил  $\vec{f}_{\text{д}} = \vec{f}_{12} + \vec{f}_{13}$ . Среднее значение каждой из них зависит от среднего за период  $T$  значения произведения токов

$$f_{12} \sim \frac{1}{T} \int_0^T i_1 i_2 dt = -\frac{I^2}{2} \quad \text{и} \quad f_{13} \sim \frac{1}{T} \int_0^T i_1 i_3 dt = -\frac{I^2}{2}.$$

Силы  $\vec{f}_{12}$  и  $\vec{f}_{13}$  направлены под углом  $60^\circ$ , поэтому векторная сумма этих сил  $\vec{f}_{\text{д}}$

пропорциональна  $\frac{\sqrt{3}I_0^2}{2}$  (см. рис. 1). С учетом действующего значения

линейного тока  $I_{\text{дл}} = I_0 / \sqrt{2}$  получим результирующую силу на дугу

$$F_{\text{д}} = \frac{\sqrt{3}\mu_0 I_{\text{дл}}^2}{4\pi l} \left( \sqrt{l^2 + l_{\partial}^2} - l - \sqrt{l^2 + l_{\partial\partial}^2} + \sqrt{l^2 + (l_{\partial} + l_{\partial\partial})^2} \right)$$

и локальную электромагнитную силу, действующую на единицу длины дуги

$$f_{\text{д}}(z) = \frac{\sqrt{3}\mu_0 I_{\text{дл}}^2}{4\pi l} \left( \frac{z}{\sqrt{l^2 + z^2}} + \frac{l_{\partial} + l_{\partial\partial} - z}{\sqrt{l^2 + (l_{\partial} + l_{\partial\partial} - z)^2}} \right). \quad (2)$$

Из рис. 1 видно, что векторы  $\vec{f}_{\text{м}}$  и  $\vec{f}_{\text{д}}$  расположены под прямым углом, поэтому модуль результирующей силы



$f_{\text{рез}} = \sqrt{f_{\text{м}}^2 + f_{\text{д}}^2}$ . Она направлена под углом  $\varphi = \text{arctg}(f_{\text{м}}/f_{\text{д}})$  к прямой, проходящей через центр распада электродов и ось электрода (направление вектора  $\vec{f}_{\text{д}}$ ).

При отклонении формы дуги от прямой линии возникает третья электромагнитная сила взаимодействия тока дуги с собственным магнитным полем, которая старается выпрямить дугу и направлена противоположно результирующей силе  $\vec{f}_{\text{рез}}$ , уравновешивая ее [1, 4]. Пусть усредненное во времени положение дуги находится в одной плоскости, в которой расположена система координат  $xOy$  с началом координат в точке привязки оси дуги на графитированном электроде, ось  $Ox$  совпадает с осью графитированного электрода. Примем, что форма дуги приближенно описывается параболой  $y = a \cdot x^2 / l_0^2$ , где  $a$  - максимальное отклонение дуги от вертикальной оси (при  $x = l_0$ ).

В этом случае элементарная сила, действующая на элемент тока дуги  $dl$ , находится в плоскости  $xOy$  и направлена перпендикулярно  $d\vec{l}$ , а ее модуль равен  $dF = i\mu_0 dl \times H$ .

При линейном токе, протекающем по дуге  $i = I_0 \sin(\omega t)$ , среднеинтегральная по периоду выпрямляющая сила взаимодействия пропорциональна  $\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt = \frac{I_0^2}{2} = I_{\text{дл}}^2$ . В этом случае локальную электромагнитную силу, действующую на единицу длины дуги, в точке  $x=x_0$  можно определить как

$$f_c(x_0) = \frac{I_{\text{дл}}^2 \mu_0 a l_0}{4\pi l_0^2} \int_0^{l_0} \frac{(x_0 - x)^2}{\left( (x_0 - x)^2 + \left( \frac{a}{l_0^2} |x_0^2 - x^2| + \bar{y}_0 \right)^2 \right)^{3/2}} dx,$$

где  $\bar{y}_0 = 0,778 \cdot r_0$  - среднее геометрическое расстояние площади сечения дуги в ее цилиндрической части от самой себя;  $r_0$  — радиус дуги в цилиндрической части столба.

В выражениях (1)-(2) ось Oz направлена противоположно оси Ox, принимая во внимание, что  $x_0 = l_\delta - z$ , можно все удельные силы привести к одной системе координат. Выражение для локальной выпрямляющей силы, действующей на единицу длины, будет иметь следующий вид:

$$f_c(z) = \frac{I_{\text{дл}}^2 \mu_0 a l_\delta}{4\pi l_\delta^2} \int_0^{l_\delta} \frac{(l_\delta - z - x)^2}{\left( (l_\delta - z - x)^2 + \left( \frac{a}{l_\delta^2} |(l_\delta - z)^2 - x^2| + \bar{y}_0 \right)^2 \right)^{3/2}} dx. \quad (3)$$

Таким образом, соотношения (1)-(3) дают математическую модель для определения основных локальных электромагнитных сил, действующих на единицу длины дуги.

В выражениях (1)-(2) все геометрические параметры можно представить в безразмерном виде:  $l_* = \frac{l}{l_\delta}$ ,  $z_* = \frac{z}{l_\delta}$ ,  $\Delta_* = \frac{\Delta}{l_\delta}$ ,

$l_{\text{эо}^*} = \frac{l_{\text{эо}}}{l_\delta}$ . Кроме этого, все описанные электромагнитные силы

пропорциональны квадрату действующего значения тока, поэтому для анализа характера зависимостей сил от длины дуги выберем комплекс  $f/I_{\text{дл}}^2$ . В результате этих преобразований получим

$$\frac{f_{\text{м}}(z_*)}{I_{\text{дл}}^2} = \frac{\mu_0}{8\pi} \cdot \frac{1}{l_\delta (\Delta_* + z_*)} \cdot \frac{l_*}{\sqrt{l_*^2 + (\Delta_* + z_*)^2}}, \quad (4)$$

$$\frac{f_{\text{д}}(z_*)}{I_{\text{дл}}^2} = \frac{\sqrt{3}\mu_0}{4\pi l_* l_\delta} \left( \frac{z_*}{\sqrt{l_*^2 + z_*^2}} + \frac{1 + l_{\text{эо}^*} - z_*}{\sqrt{l_*^2 + (1 + l_{\text{эо}^*} - z_*)^2}} \right). \quad (5)$$

С использованием этих зависимостей проведено моделирование поведения этих сил от геометрии дуг и электродов. На рис. 2 показана зависимость комплекса  $f_{\text{м}}/I_{\text{дл}}^2$  от безразмерного расстояния между дугами. Видно, что локальная электромагнитная сила, действующая на дугу, растет с увеличением расстояния между дугами до  $l_* \approx 5$ . Эта сила слабо зависит от  $l_\delta$ , она максимальна у поверхности металла и по высоте дуги снижается в 5–10 раз.

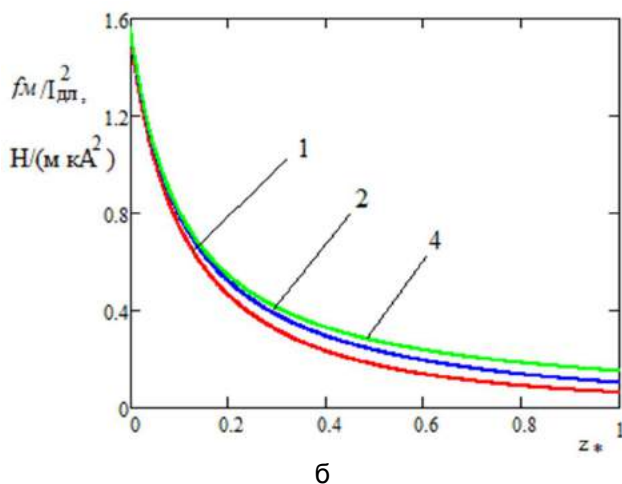
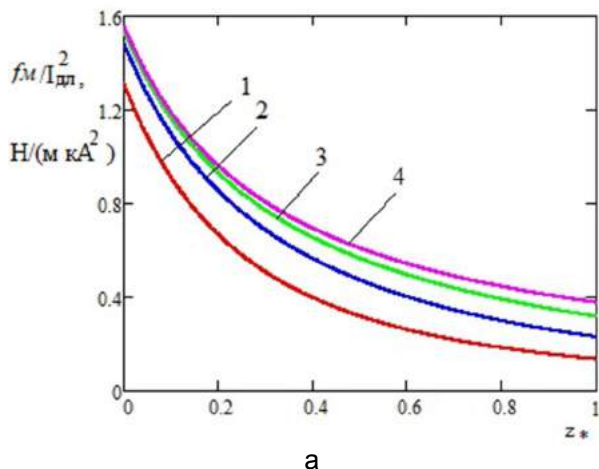


Рис. 2. Зависимость средней локальной силы  $f_M(z_*)/I_{дл}^2$  по безразмерной высоте дуги при ее длине: а -  $l_0=0,1$  м; б -  $l_0=0,3$  м; 1 -  $l_*=0,5$ ; 2 -  $l_*=1$ ; 3 -  $l_*=2$ ; 4 -  $l_*=10$

На рис. 3 показана зависимость средней локальной силы  $f_d(z_*)/I_{дл}^2$  по безразмерной высоте дуги при ее длине  $l_0=0,1$  м. Эта сила довольно быстро уменьшается при увеличении расстоя-

ния между дугами. При расстояниях  $l \leq l_0$  и  $l_{\text{э}0^*} = 0$  максимум силы приходится на середину дуги. На эту силу существенно влияет длина графитированных электродов (по которой протекают линейные токи дуги) сравнимых с длиной дуги ( $l_{\text{э}0} \leq l_0$ ). При разной длине дуги характер этой силы вдоль самой дуги не меняется, а количественное значение обратно пропорционально длине дуги.

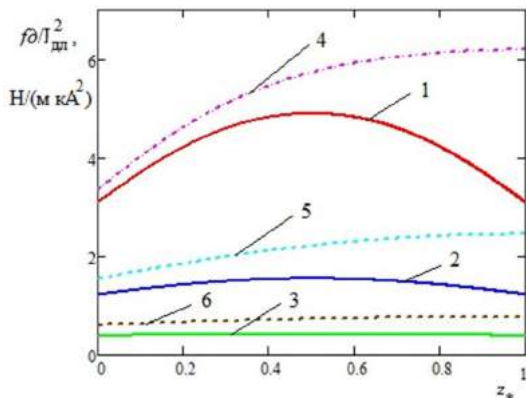


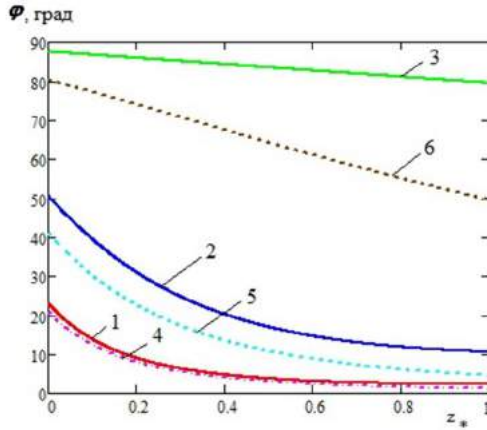
Рис. 3. Зависимость средней локальной силы  $f_d(z_*)/I_{\text{дл}}^2$

по безразмерной высоте дуги ( $l_0=0,1$  м) при:

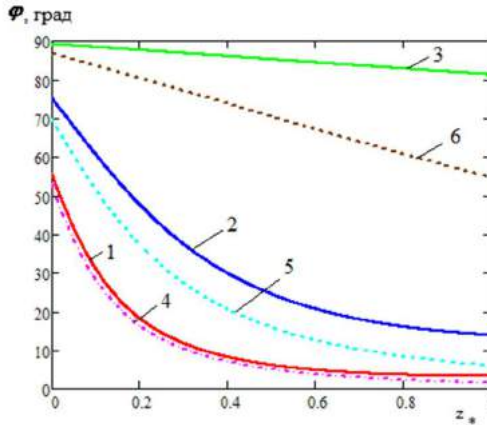
1 -  $l_* = 0,5$ ,  $l_{\text{э}0^*} = 0$ ; 2 -  $l_* = 1$ ,  $l_{\text{э}0^*} = 0$ ; 3 -  $l_* = 2$ ,  $l_{\text{э}0^*} = 0$ ;

4 -  $l_* = 0,5$ ,  $l_{\text{э}0^*} = 1$ ; 5 -  $l_* = 1$ ,  $l_{\text{э}0^*} = 1$ ; 6 -  $l_* = 2$ ,  $l_{\text{э}0^*} = 1$

Получена зависимость угла  $\varphi$  между средним значением локальной результирующей силы и прямой, проходящей через центр распада электродов и ось электрода, от длины дуги (рис. 4). Видно, что этот угол, определяющий направление равнодействующей силы на разных концах дуги, может отличаться до  $40^\circ$ , а годограф силы представляет собой пространственную кривую в виде элемента спирали, причем наибольшая кривизна и кручение этой спирали наблюдается вблизи поверхности металла. Поэтому считать дугу расположенной в одной плоскости в общем случае не совсем корректно, это возможно только при модельном упрощении реального поведения дуги.



а



б

Рис. 4. Зависимость угла  $\varphi$  между средним значением локальной результирующей силы и прямой, проходящей через центр распада электродов и ось электрода от безразмерной высоты дуги

при ее длине: а -  $l_d = 0,1$  м; б -  $l_d = 0,3$  м;

- |                               |                             |                             |
|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1 - $l_* = 0,5, l_{эд*} = 0;$ | 2 - $l_* = 1, l_{эд*} = 0;$ | 3 - $l_* = 5, l_{эд*} = 0;$ |
| 4 - $l_* = 0,5, l_{эд*} = 5;$ | 5 - $l_* = 1, l_{эд*} = 5;$ | 6 - $l_* = 5, l_{эд*} = 5$  |

Таким образом, рассмотрены основные локальные электромагнитные силы, действующие на дугу в условиях трехфазной ду-

говой печи. Показано направление векторов основных локальных электромагнитных сил и приведена оценка их средних значений по длине дуги в зависимости от геометрических параметров дуг и электродов. Форма дуг и характер движения элементов в трехфазной дуговой печи в основном зависит от расстояния между графитированными электродами и длины графитированных электродов, по которым протекают линейные токи, в меньшей степени - от длины и тока дуги. Установлено, что годограф вектора локальной равнодействующей силы по длине дуги представляет собой пространственную кривую в виде элемента спирали с переменной кривизной и кручением.

#### Список литературы

1. Ячиков И.М., Вдовин К.Н., Костылева Е.М. Анализ основных электромагнитных сил, действующих на дугу в трехфазной дуговой печи // Теория и технология металлургического производства. 2014. № 2 (15). С. 70-76.
2. Егоров А.В. Электроплавильные печи черной металлургии. М.: Металлургия, 1985. 280 с.
3. Миронов Ю.М. Электрическая дуга в электротехнологических установках: монография. Чебоксары: Изд-во Чуваш.ун-та, 2013. 238 с.
4. Ячиков И.М., Костылева Е.М. Математическое моделирование формы дуг при их электромагнитном взаимодействии. Сообщение 1. Форма двух дуг постоянного тока, горящих между катодами и токопроводящей поверхностью // Изв. вузов. Черная металлургия. 2014. № 1. С. 59-64.

УДК 621.762

**В.Г. Щербаков**

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

**ОПЛАВЛЕНИЕ ДИФфуЗИОННО-ЛЕГИРОВАННЫХ СПЛАВОВ  
ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДИСКРЕТНЫХ МЕТАЛЛОУХОДОВ  
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ТВЧ****Введение**

Исследовательские работы, связанные с получением наплавочных сплавов из металлических отходов производства с помощью диффузионного легирования (ДЛ), активно ведутся на протяжении 20 лет. Авторами [1–4] подробно описаны технологии получения ДЛ сплавов для формирования защитных покрытий из металлических дискретных материалов различными методами. В работах [1–4] исследованы технологии получения защитных покрытий (ЗП) из ДЛ сплавов с помощью высококонцентрированных источников энергии (напыление, лазерное оплавление и т.д.). Для данных методов получения ЗП обязательным является ряд технологических свойств, предъявляемых к наносимому материалу: текучесть, насыпная плотность и содержание легирующих элементов. В работах [5, 6] рассмотрены методы и технологии получения защитных покрытий из ДЛ сплавов индукционной наплавкой. К ДЛ сплавам, используемым для получения ЗП индукционной наплавкой, дополнительно предъявляются требования к температуре плавления, так как при формировании ЗП на детали из-за наличия тугоплавкой боридной оболочки на ДЛ сплаве возникает необходимость в циклическом нагреве и/или добавлении в шихту дополнительных легкоплавких присадок для предотвращения перегрева, а тем более пережога основного металла, что негативно влияет на технологические и эксплуатационные свойства ЗП и упрочняемой детали.

При высокотемпературных способах получения ЗП из ДЛ сплавов температуры формирования покрытия составляют порядка 2000–13000°C, а это значит, что тугоплавкость боридной оболочки не является критичной. Однако для более низкотемпературных процессов формирования ЗП температуру плавления ДЛ сплава необходимо снижать. Для исследования путей решения

проблемы высокой температуры плавления ДЛ сплавов для индукционной наплавки автором были выбраны два варианта возможных направлений изысканий в данной области:

– Материаловедческие направления, заключающиеся в легировании элементами образующими легкоплавкие эвтектики и снижающие температуры плавления ДЛ сплавов для индукционной наплавки.

– Технологические направления, состоящие в исследовании процессов контактного эвтектического плавления и исследования режимов индукционной наплавки ДЛ сплавов.

Так как ДЛ сплав для индукционной наплавки является готовым материалом, то введение легирующих элементов, образующих легкоплавкие эвтектики и снижающих температуру плавления, затруднительно, что обуславливает исследование реализации предварительного оплавления ДЛ сплавов непосредственно перед индукционной наплавкой. Исследовательских работ, посвященных предварительному оплавлению ДЛ сплавов для индукционной наплавки, крайне мало. Автором ранее исследовалось предварительное оплавление ДЛ-сплавов из отходов дробы ИЧХ28Н2 в плазмотроне УПУ-3Д и ДЛ-сплавов из отходов дробы ДЧЛ 08, ИЧХ28Н2 и стружки Р6М5 на установке дуговой сварки в среде аргона с вольфрамовым электродом [7–10]. Установлено, что при предварительном оплавлении распределение микротвердости по сечению ДЛ сплава изменилось относительно исходного. В поверхностном слое наблюдалось резкое снижение значений микротвердости с 10000–12000 МПа до 8000–9000 МПа. Автор предполагает, что при кратковременном воздействии концентрированным потоком энергии на ДЛ сплав произошло частичное оплавление боридного слоя в системе FeB – Fe<sub>2</sub>B и образование сплава эвтектического состава, что, в свою очередь, повлекло за собой снижение микротвердости в приповерхностном слое ДЛ сплава.

Кратковременная обработка ДЛ сплавов на установке с вольфрамовым электродом приводит к снижению микротвердости в приповерхностных слоях ДЛ сплавов, что обуславливается подплавлением тугоплавкой боридной оболочки и образованием эвтектических композиций сплавов. Микроструктура оплавленного ДЛ сплава по слоям представляет следующее [7–10]:

– стекловидный фрагментарный слой оксида бора на поверхности частицы, образовавшийся вследствие испарения бора в процессе оплавления;



- высокобористая эвтектика, возникшая вследствие оплавления боридного слоя на поверхности частицы;
- неоплавленный частично сохранившийся боридный слой;
- низкобористая эвтектика, полученная при контактном эвтектическом плавлении боридного слоя и металлического ядра;
- металлическое ядро.

Анализируя поверхность ликвидус части системы Fe–B–C, построенной различными исследователями [2], можно предположить, что оплавление ДЛ сплава приводит к образованию эвтектики, температура плавления которой 1000–1100°C. Образование эвтектических композиций в предварительно оплавленном ДЛ сплаве перед непосредственным нанесением на деталь с помощью ТВЧ приведет к повышению качества получаемого индукционной наплавкой защитного покрытия с сохранением заданных необходимых эксплуатационных характеристик покрытия.

Таким образом, исследование предварительного оплавления ДЛ сплавов, полученных из металлических отходов производства для индукционной наплавки ЗП, является весьма актуальной задачей, позволяющей существенно снизить энергозатраты при восстановлении и упрочнении деталей машин, работающих в условиях интенсивного абразивного износа. **Цель данной работы** заключалась в исследовании влияния предварительной кратковременной высокотемпературной обработки диффузионнолегированного сплава из металлических отходов производства в виде дроби и стружки в подвижной порошковой среде на микроструктуру и микротвердость сплава для получения защитных покрытий с помощью индукционной наплавки.

#### **Материалы и методика исследований**

В качестве исходных материалов были выбраны отходы чугуной дроби ДЧЛ 08 (0,5–0,63 мм), ГОСТ 11964–81; отходы дроби ИЧХ28Н2 (0,5–0,63 мм), ГОСТ 7769–82; стружка Р6М5 (0,5–1,0 мм), ГОСТ 19265–73 и наплавочный ферросплав ФБХ-6-2 (0,4–0,5 мм), ГОСТ 21448–75. Диффузионное легирование (насыщение бором) проводили во вращающейся электрической печи [11]. Насыщающая смесь – карбид бора с активатором, время обработки 1 ч, температура – 950°C. Сепарацию осуществляли ситовым способом. Оплавление ДЛ сплавов из отходов проводили на специальной установке для обработки металлического порошка [12]. Толщину боридных слоев, особенности структуры и морфологию исследовали с помощью металлографических микроскопов МИМ-7, ММУ-ЗУ42, МИ-1, Planar 1М. Микродюрметрические исследова-

ния проводили на приборе ПМТ-3 согласно ГОСТ 2999–75. Химический состав борированной дроби оценивали микрорентгеноспектральным анализом на сканирующем электронном микроскопе VEGA II LMU с микроанализатором INCA energy 350 (фирма Oxford Instruments, Англия).

### **Обсуждение результатов**

Микроанализ ДЛ сплавов из металлических отходов дроби ДЧЛ 08 и ИЧХ28Н2 после оплавления выявил практически полное расплавление тугоплавкой боридной оболочки с образованием эвтектического сплава и частичное оплавление боридного слоя на ДЛ сплавах из отходов стружки Р6М5 и ферросплава ФБХ-6-2 [7–8].

Установлено существенное изменение значений микротвердости в ДЛ сплавах по сечению до и после высокотемпературной обработки. Максимальная микротвердость в приповерхностных слоях в ДЛ сплавах на основе ДЧЛ 08и ИЧХ28Н2 снизилась с 12000–14000 до 8000–10000 МПа, а в ДЛ сплавах на основе Р6М5 и ФБХ-6-2 с 10000–12000 до 6000–8000 МПа. Микроструктура ДЛ сплавов из отходов дроби ДЧЛ 08, ИЧХ28Н2, стружки Р6М5 и ферросплава ФБХ-6-2, а также распределение значений микротвердости по сечению до и после оплавления показаны на рис. 1–4.

Тугоплавкие слои FeB и Fe<sub>2</sub>B, образовавшиеся на поверхности ДЛ сплава, на основе дроби ДЧЛ 08 и ИЧХ28Н2 в процессе кратковременного высокотемпературного воздействия полностью расплавились. Пористость ДЛ сплава в диффузионных слоях из-за микропластических деформаций во время ДЛ после оплавления снизилась с 8–9 до 1–3%. Из биметаллической структуры, образованной при ДЛ, микроструктура ДЛ сплава на основе дроби ДЧЛ 08 и ИЧХ28Н2 после оплавления представляет эвтектический сплав, что свидетельствует о полном расплавлении тугоплавкой оболочки с последующей кристаллизацией [8, 10].

В ДЛ сплаве на основе дроби ИЧХ28Н2 минимальное содержание Cr составляет 3,44%, максимальное 24,14%, среднее 15,46%. Содержание Ni минимальное 0,02%, максимальное 1,35%, среднее 0,37% [7–8, 10]. Предварительное оплавление ДЛ сплава на основе дроби ИЧХ28Н2 существенно влияет на характер распределения легирующих элементов. Минимальное значение Cr в ДЛ сплаве на основе дроби ИЧХ28Н2 после оплавления составляет 5,69%, максимальное 20,68%, среднее 10,65%. Минимальное значение Ni в ДЛ–сплаве на основе дроби ИЧХ28Н2 после оплавления составляет 0,03%, максимальное 0,40%, среднее 0,26%. Повышенное содержание Cr и Ni на границе диффузионный слой-

металлическая основа и в ядре обусловлено диффузией элементов к центру в процессе насыщения бором при ДЛ. Более равномерное распределение Cr и Ni по сечению ДЛ сплава на основе дробы ИЧХ28Н2 после высокотемпературной обработки косвенно подтверждает полное расплавление ДЛ сплава с последующей кристаллизацией. Снижение среднего значения Cr и Ni в обработанном ДЛ сплаве на основе дробы ИЧХ28Н2 после оплавления объясняется частичным испарением химических элементов при кристаллизации расплавленного ДЛ сплава [7–9].

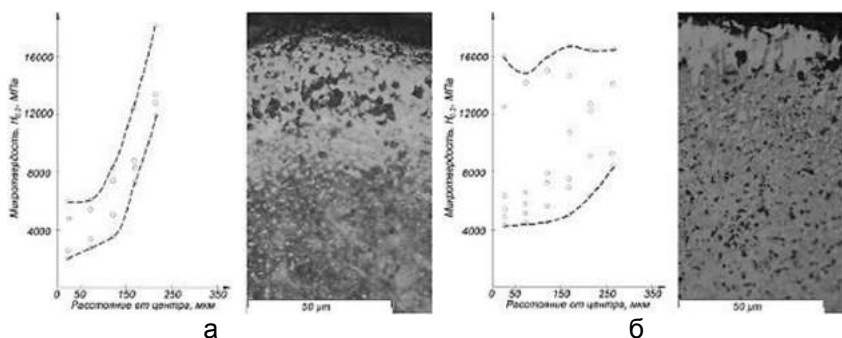


Рис. 1. Микроструктура и распределение микротвердости ДЛ отходов дробы ДЧЛ 08:  
а – ДЧЛ 08 до оплавления; б – ДЧЛ 08 после оплавления

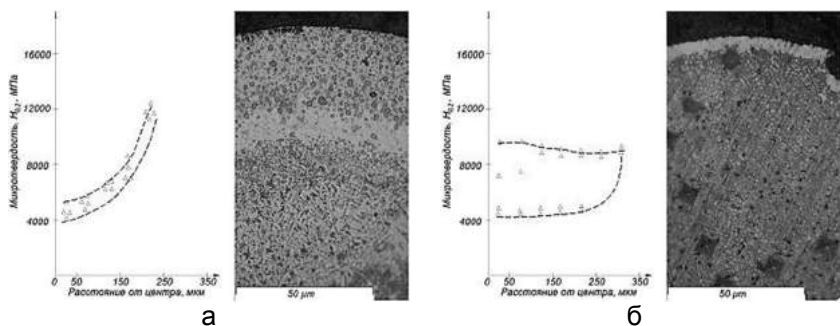


Рис. 2. Микроструктура и распределение микротвердости ДЛ отходов дробы ИЧХ28Н2:  
а – ИЧХ28Н2 до оплавления; б – ИЧХ28Н2 после оплавления

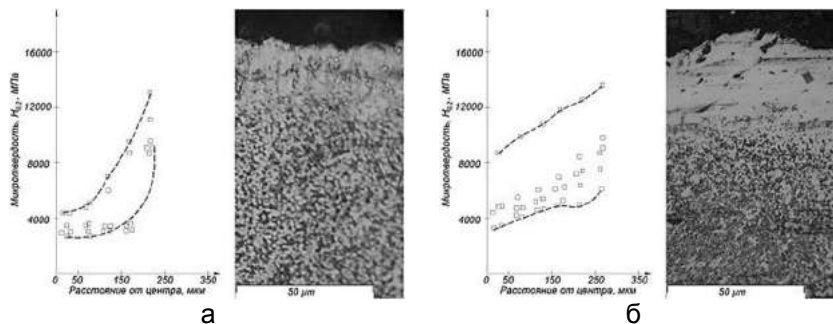


Рис. 3. Микроструктура и распределение микротвердости ДЛ отходов стружки Р6М5:  
а – Р6М5 до оплавления; б – Р6М5 после оплавления

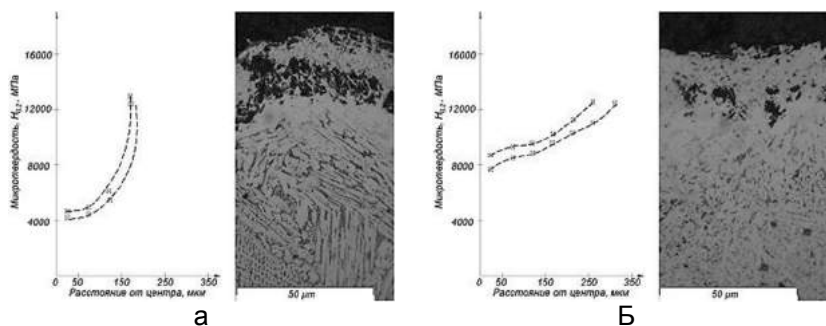


Рис. 4. Микроструктура и распределение микротвердости ДЛ ферросплава ФБХ-6-2:  
а – ФБХ-6-2 до оплавления; б – ФБХ-6-2 после оплавления

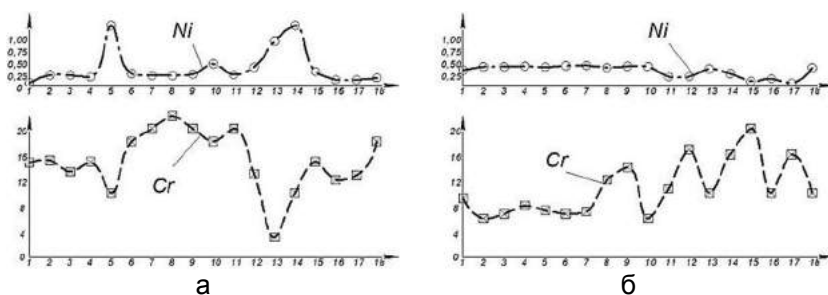


Рис. 5. Распределение Ni и Cr в ДЛ дроби ИЧХ28Н2:  
а – ИЧХ28Н2 до оплавления; б – ИЧХ28Н2 после оплавления

Проведен приближенный расчет энергетических затрат при получении ЗП из ДЛ сплавов на основе отходов дробы ДЧЛ08 и ИЧХ28Н2 без оплавления и с предварительным оплавлением [10]. Суммарные энергозатраты на получение 1 кг ДЛ сплава для индукционной наплавки складываются из затрат на изготовление ДЛ сплава из отходов дробы ДЧЛ08 или ИЧХ28Н2, непосредственно затраты на предварительное оплавление ДЛ сплава и затраты на получение ЗП индукционной наплавкой оплавленного ДЛ сплава. Стоит отметить, что за счет наличия широкого диапазона регулировки температурно-временных параметров получения ДЛ сплавов и их предварительного оплавления энергозатраты на установках [11–12] могут изменяться в широких диапазонах. Для анализа общих энергозатрат производительность установок для получения ДЛ сплава и для его предварительного оплавления выбрана равной 1 кг/ч. Энергозатраты при получении ДЛ сплавов для индукционной наплавки из отходов дробы ДЧЛ08 и ИЧХ28Н2 во вращающейся электрической печи [11] составляет порядка 10 кВт/кг. Энергозатраты на предварительное оплавление ДЛ сплава из отходов дробы ДЧЛ08 и ИЧХ28Н2 на установке для обработки металлического порошка [12] со скоростью 2 и 4 г/с составляют порядка 0,46–0,92 кВт/кг [10].

Установлено, что суммарное значение затраченной энергии при получении ЗП из 1 кг ДЛ сплава на основе дробы ДЧЛ08 и ИЧХ28Н2 без предварительного оплавления составляет 16,67 кВт, а с предварительным оплавлением 15,46–15,92 кВт, что на 4,5–7,2% ниже. Таким образом, энергозатраты, использованные для предварительного оплавления ДЛ сплавов из отходов дробы ДЧЛ08 и ИЧХ28Н2, снижают общие энергозатраты при получении ЗП из 1 кг ДЛ сплава индукционной наплавкой.

### **Выводы**

При кратковременном высокотемпературном воздействии на ДЛ сплавы для индукционной наплавки, полученные диффузионным легированием металлических отходов производства, происходит полное (для ДЛ сплава на основе ДЧЛ 08 и ИЧХ28Н2) или частичное (для ДЛ сплава на основе Р6М5 и ферросплава ФБХ-6-2) расплавление тугоплавкой боридной оболочки с последующей кристаллизацией и образованием гомогенного ДЛ сплава эвтектического состава. Предварительное оплавление ДЛ сплава для индукционной наплавки в экспериментальной установке является одним из эффективных способов снижения температуры плавления ДЛ сплавов. За счет оригинальной конструкции на данной установке можно об-

рабатывать ДЛ сплав для индукционной наплавки из диффузионно-легированных металлических отходов производства размерами 200–630 мкм и более. Целесообразность предварительного оплавления ДЛ сплавов для индукционной наплавки подтверждается приближенным экономическим расчетом. Установлено, что суммарное снижение энергозатрат при получении защитного покрытия из 1 кг предварительно обработанного ДЛ сплава индукционной наплавкой может составлять от 4,5 до 7,2%.

#### Список литературы

1. Пантелеенко Ф.И. Самофлюсующиеся диффузионно-легированные порошки на железной основе и защитные покрытия на них. Мн.: УП «Технопринт», 2001. 300 с.
2. Ворошнин Л.Г., Пантелеенко Ф.И., Константинов В.М. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО. 2-е изд., перераб. и доп. Минск: ФТИ; Новополоцк: ПГУ, 2001. 148 с.
3. Константинов В.М. Диффузионно-легированные сплавы для защитных покрытий: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.01 / В.М. Константинов. Минск, 2008. 400 с.
4. Современные перспективные материалы / под ред. В.В. Клубовича. Витебск: Изд-вл УО «ВГТУ», 2011. 562 с.
5. Пантелеенко Е.Ф., Щербаков В.Г. Исследование диффузионно-легированных отходов стальной и чугунной дроби для получения защитных покрытий // Литье и металлургия. 2009. №1. С. 176-181.
6. Щербаков В.Г. Некоторые аспекты использования отходов металлургического производства в качестве основы для получения наплавочных материалов // Металлургия: Республиканский межведомственный сборник научных трудов: в 2 ч. / БНТУ. Минск, 2011. Ч. 2. С. 200-212.
7. Щербаков В.Г. Снижение температуры плавления диффузионно-легированных сплавов для индукционной наплавки // Литье и металлургия. 2014. №1. С. 97-100.
8. Щербаков В.Г. Получение диффузионно-легированных сплавов в подвижных порошковых средах из металлических отходов производства для индукционной наплавки и пути повышения их технологических свойств // Литейные процессы. 2014. №13. С.90–98.
9. Щербаков В.Г. Снижение температуры плавления диффузионно-легированных металлических отходов производства, ис-

- пользуемых для получения износостойких покрытий с помощью индукционной наплавки // *Металлургия: Республ. межвед. сб. науч. трудов.* Минск: БНТУ, 2014. Вып 35. С. 207-215.
10. Щербаков В.Г. Предварительная высокотемпературная обработка диффузионно-легированных сплавов для индукционной наплавки // *Современные методы и технологии создания и обработки материалов: сб. науч. трудов. В 3 кн. Кн. 2. Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки / редколлегия: С.А. Астапчик (гл. ред.) [и др.].* Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2015. С.341–348.
  11. Вращающаяся электрическая печь для химико-термической обработки сыпучего материала : пат. 15412 Респ. Беларусь, МПК7 F27B 7/14 / В.М. Константинов, О.П. Штемпель, В.Г. Щербаков ; заявитель Белорусский национальный технический университет. - № а 20091415 ; заявл. 05.10.09 ; опубл. 28.02.12 // *Афіцыйны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці.* 2012. № 1. С. 143.
  12. Установка для обработки металлического порошка: пат. 10051 Респ. Беларусь, МПК В 22F 1/00 / В.М. Константинов, В.Г. Дашкевич, В.Г. Щербаков; заявитель Белорусский национальный технический университет. № и 20130804; заявл. 08.10.2013; опубл. 30.04.2014 // *Афіцыйны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці.* 2014. № 2. С. 136.

УДК 669.243.881

**В.А. Бигеев, М.В. Потапова, М.Г. Потапов**  
Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

### **К ВОПРОСУ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРОНИКЕЛЯ СЕЛЕКТИВНЫМ ВОССТАНОВЛЕНИЕМ БЕДНЫХ ЖЕЛЕЗОХРОМОНИКЕЛЕВЫХ РУД**

Одним из важнейших металлов, применяемых для выплавки легированных сталей, является никель. В России для выплавки высококачественных никелевых сталей в основном использу-

ется металлический никель (~99% Ni), высокая цена которого не способствует развитию производства никельсодержащих марок стали. В то же время в нашей стране ощущается дефицит относительно дешевых никелевых ферросплавов с содержанием никеля 10–20%.

Серьезным дополнительным источником для увеличения производства ферроникеля могут служить железохромоникелевые руды Халиловского месторождения (Оренбургская обл.), запасы которых значительны. Переработка этих руд существующими способами не нашла широкого применения ввиду их бедности как по никелю (~ 0,4–0,8%), так и по железу (~30–35%).

Подобное сырье предлагается перерабатывать методом селективного (избирательного) восстановления, который основан на предварительном извлечении никеля и части железа из рудного сырья и дальнейшего восстановления оставшегося оксидного расплава с получением чугуна.

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

Эксперименты по восстановлению проводились в лаборатории кафедры литейного производства и материаловедения Магнитогорского государственного технического университета на однофазной установке УЭШП-6 [1]. В качестве шихтовых материалов в опытных плавках использовались:

- обожженная железохромоникелевая руда Халиловского месторождения;
- коксовая мелочь.

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

Таблица 1

Химический состав проб железохромоникелевой руды, %

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



Таблица 2

## Химический состав коксовой мелочи

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

Масса плавки составляла 1 кг руды. Количество восстановителя варьировалось в зависимости от требуемой степени восстановления железа. Расход восстановителя на частичное восстановление руды с целью получения черного ферроникеля определяется из выражения [2]

$$g_{\text{yz}}^{\text{вос}} = \sum \left( M_{(E_x O_y)^{\text{вос}}} \cdot \frac{\xi_E}{100} \cdot \frac{K \cdot \mu_C}{\mu_{E_x O_y}} \right) \cdot \frac{100}{C_{\text{yz}}},$$

где  $M_{(E_x O_y)^{\text{вос}}}$  – количество соответствующего оксида в расплавленной руде, кг;

$K$  – стехиометрический коэффициент в реакциях восстановления элементов;

$\mu_C$  и  $\mu_{E_x O_y}$  – молярные массы углерода и оксида, содержащегося в руде, кг;

$\xi_E$  – степень восстановления элемента, %;

$C_{\text{yz}}$  – содержание углерода в восстановителе, %.

Степени восстановления железа никеля фосфора и хрома принимались 10, 90, 15 и 0,1 соответственно.

Расчетные расходы восстановителя по плавкам представлены в табл. 3.

Таблица 3

## Расход восстановителя

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

Всего было проведено 24 плавки (по три плавки с каждым расчетным расходом восстановителя). В общей сложности было проплавлено 25 кг руды. Ниже, в табл. 4 и 5, приводится химический анализ ферроникеля и шлака по выпускам.

Таблица 4

Химический анализ проб металла опытных плавов

Расход коксика, кг/100 кг	Номер плавки	Массовая доля химических элементов, %					Извлечение, %		
		Ni	C	Si	Mn	S	P	Ni	Fe
0,32	1	64,35	0,01	Сл.	Сл.	0,09	0,68	73,5	0,75
	2	57,73	0,01	Сл.	Сл.	0,076	0,59	70,5	0,95
	3	65,05	0,03	Сл.	Сл.	0,06	0,58	80,4	0,70
0,47	1	33,91	0,01	Сл.	Сл.	0,069	0,54	77,3	2,70
	2	47,48	0,02	Сл.	Сл.	0,056	0,58	76,3	1,49
	3	39,89	0,01	Сл.	Сл.	0,07	0,43	70,1	2,08
0,62	1	32,3	0,03	Сл.	Сл.	0,035	0,57	85,2	2,95
	2	30,76	0,01	Сл.	Сл.	0,086	0,68	92,5	3,15
	3	28,14	0,01	Сл.	Сл.	0,061	0,56	83,7	3,64
0,76	1	22,98	0,01	Сл.	Сл.	0,092	0,56	93,5	4,77
	2	21,45	0,03	Сл.	Сл.	0,09	0,54	89,8	5,12
	3	23,59	0,01	Сл.	Сл.	0,077	0,52	94,4	5,20
0,91	1	20,31	0,02	Сл.	Сл.	0,09	0,51	97,0	5,55
	2	18,42	0,02	Сл.	Сл.	0,084	0,41	87,6	6,30
	3	17,92	0,01	Сл.	Сл.	0,101	0,52	89,3	6,52
1,64	1	10,96	0,24	Сл.	Сл.	0,06	0,37	99,2	11,68
	2	8,63	0,06	Сл.	Сл.	0,096	0,42	88,8	15,10
	3	12,76	0,03	Сл.	Сл.	0,087	0,38	95,6	9,83
2,38	1	8,01	0,08	0,05	Сл.	0,105	0,40	98,7	15,26
	2	7,51	0,13	0,02	Сл.	0,14	0,36	94,5	17,11
	3	6,33	0,03	0,05	Сл.	0,089	0,34	91,9	20,03
3,11	1	3,55	0,14	0,14	Сл.	0,175	0,33	97,3	18,63
	2	5,18	0,059	0,04	Сл.	0,082	0,31	99,5	22,8
	3	2,98	0,19	0,54	Сл.	0,183	0,38	98,5	24,06

Таблица 5

Химический анализ шлака опытных плавов

Расход коксика, кг/100 кг	Номер плавки	Массовая доля химических элементов, %								
		SiO <sub>2</sub>	MnO	NiO	Fe <sub>общ</sub>	S	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
0,32	1	25,13	0,69	0,192	43,73	0,023	0,161	2,23	25,82	2,01
	2	24,68	0,61	0,128	43,75	0,021	0,172	2,22	27,97	2,67
	3	25,76	0,71	0,172	43,96	0,023	0,164	2,14	26,95	2,26
0,47	1	25,18	0,69	0,128	43,44	0,023	0,161	2,15	26,74	3,14
	2	24,98	0,58	0,155	43,61	0,023	0,158	2,17	27,24	3,16
	3	25,67	0,68	0,196	42,48	0,024	0,160	2,18	27,33	3,28
0,62	1	25,47	0,70	0,097	43,35	0,024	0,160	2,19	27,51	3,18
	2	26,03	0,75	0,049	43,33	0,024	0,161	2,11	26,48	3,18
	3	27,05	0,81	0,108	43,21	0,024	0,160	2,04	25,59	3,05
0,76	1	25,75	0,71	0,047	43,01	0,024	0,156	2,16	27,08	3,22
	2	25,85	0,68	0,068	42,83	0,023	0,158	2,17	27,34	3,17
	3	25,96	0,66	0,037	42,95	0,025	0,161	2,15	26,85	3,26

Окончание табл. 5

Расход коксика, кг/100 кг	Номер плавки	Массовая доля химических элементов, %								
		SiO <sub>2</sub>	MnO	NiO	Fe <sub>общ</sub>	S	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
0,91	1	25,88	0,73	0,020	41,58	0,024	0,158	2,28	28,59	3,02
	2	25,98	0,71	0,083	42,68	0,024	0,157	2,16	27,12	3,24
	3	26,02	0,72	0,072	40,79	0,024	0,057	2,32	29,07	3,25
1,64	1	26,85	0,74	0,006	42,54	0,25	0,153	2,08	26,11	3,35
	2	27,40	0,75	0,079	40,79	0,25	0,150	2,16	27,27	3,42
	3	28,27	0,78	0,059	39,64	0,024	0,146	2,20	27,55	3,53
2,38	1	27,44	0,75	0,009	40,78	0,027	0,150	2,18	27,36	3,52
	2	27,75	0,76	0,039	40,30	0,026	0,149	2,47	25,63	3,43
	3	28,27	0,77	0,058	39,64	0,026	0,146	2,36	28,16	3,47
3,11	1	32,09	0,882	0,012	34,54	0,03	0,127	2,28	28,58	3,74
	2	29,37	0,807	0,004	38,21	0,027	0,141	2,17	27,29	4,15
	3	34,19	0,94	0,013	40,81	0,032	0,017	1,58	19,78	4,22

В полученном ферроникеле содержание Ni с увеличением расхода восстановителя уменьшалось с 65 до 3%, P – с 0,68 до 0,38%, S – с 0,19 до 0,10%. Степень извлечения никеля при степени восстановления железа 1% составила всего 50%, при 5% – 65–75%, при 20% – 95%. Содержание оксидов железа в частично восстановленном расплаве с увеличением расхода коксика снизилось с 61 до 53%, а NiO – с 0,192 до 0,010%.

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

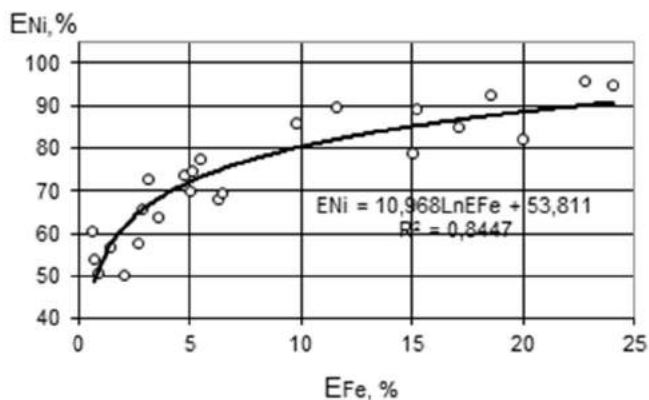


Рис.1. Зависимость степени извлечения никеля  $E_{Ni}$  из рудного сырья от степени восстановления железа  $E_{Fe}$

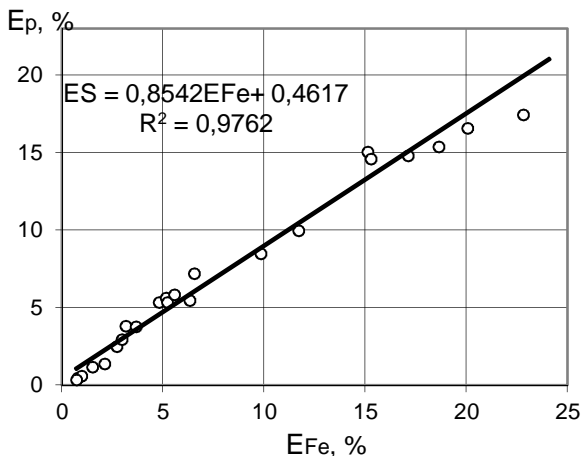


Рис.2. Зависимость степени перехода фосфора в металл  $E_p$  от степени восстановления железа из рудного сырья  $E_{Fe}$

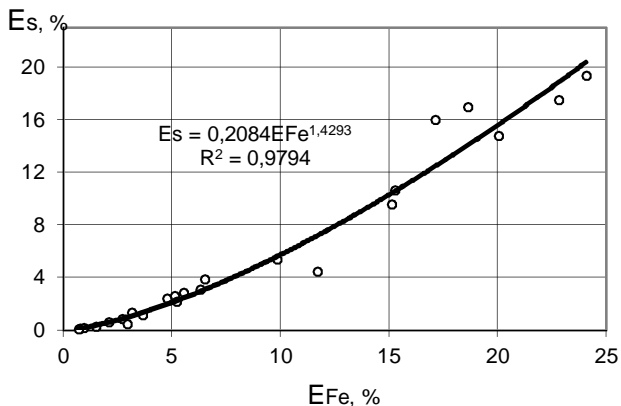


Рис.3. Зависимость степени перехода серы в металл  $E_s$  от степени восстановления железа из рудного сырья  $E_{Fe}$

**Заклучение.** Результаты проведенных экспериментов показывают принципиальную возможность получения ферроникеля с очень высоким содержанием никеля (50–60%), но при таких концентрациях степень его извлечения достаточно низкая (50–60%), а содержание фосфора превышает 0,6%. Из полученных зависимо-

стей следует, что восстанавливать менее 5% железа нецелесообразно из-за низкой степени извлечения никеля (менее 70%). Рациональная степень восстановления железа из рудного сырья – 5–10%, что соответствует содержанию никеля в получаемом ферросплаве Ni~10–20%, фосфора – P~0,3–0,5%, серы – S~0,08–0,09%. Очевидно, что получаемый черновой ферроникель нуждается в рафинировании, прежде всего в дефосфорации [3].

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

#### Список литературы

1. Выбор и определение расхода восстановителя при получении ферроникеля частичным восстановлением металлургических шлаков ОАО «Уфалейникель» / Бигеев В.А., Потапова М.В., Гаряева Я.С. // Наука и производство Урала. 2012. № 8. С. 40-43.
2. Пат. 2310694 RUS. Способ получения ферроникеля / Степашин А.М., Бигеев А.М., Потапова М.В., Бигеев В.А., Арсланов В.Г., Горбунов В.В.

УДК 621.746.628.4:669.14.018.29

**К.Н. Вдовин, Н.А. Феоктистов, Д.А. Горленко,  
Д.А. Дерябин, И.Б. Хренов, И.С. Кондратьев**  
Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ СТАЛИ МАРКИ 110Г13Л НА ЕЁ СВОЙСТВА\***

Формирование потребительских свойств отливок из различных сплавов происходит в основном на стадии кристаллизации отливок в литейной форме. Основными факторами, которые суще-

---

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 15-19-10020.

© Вдовин К.Н., Феоктистов Н.А., Горленко Д.А., Дерябин Д.А.,  
Хренов И.Б., Кондратьев И.С., 2015

ственно влияют на процесс кристаллизации металла в литейной форме, являются теплофизические свойства формы и сплава (теплоаккумулирующая способность, теплоёмкость, теплопроводность). Совокупность проявления этих свойств находит прямое отражение в изменении температуры сплава, залитого в литейную форму, во времени [1, 2].

Количественную оценку процесса кристаллизации сплава можно проводить при помощи кривой охлаждения, построенной в координатах температура – время.

Для изучения процесса кристаллизации марганцовистой стали марки 110Г13Л, а также его влияния на потребительские свойства отливок, изготовленных из этой стали, была проведена серия экспериментов, в которой сплав заливали в литейные формы с различной теплоаккумулирующей способностью.

Химический состав исследуемой стали представлен в таблице.

Химический состав исследуемой стали

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Al
1,2	0,9	12,3	0,024	0,033	0,8	0,12	0,06

Для реализации широкого интервала скоростей охлаждения использованы различные формы – сухая и сырая песчано-глинистая, кокиль. Масса отливок составляла от 0,05 до 0,5 кг. Регистрация изменения температуры металла проведена с помощью заформованной вольфрам-рениевой термопары, запись результатов проведена на приборе LA-50USB с частотой 50 Гц на каждый канал с возможностью одновременной записи по 4 каналам. Температурные интервалы кристаллизации и выделения избыточных карбидов определены по изменению угла наклона кривой охлаждения относительно осей.

Металлографический анализ проводили на оптическом микроскопе Meiji с помощью программы Ticsomet Standart Pro, а также на растровом электронном микроскопе JEOL JSM-6490 LV.

Некоторые варианты кривых охлаждения сплава в литейной форме, полученные в ходе проведения экспериментов, представлены на рис. 1.

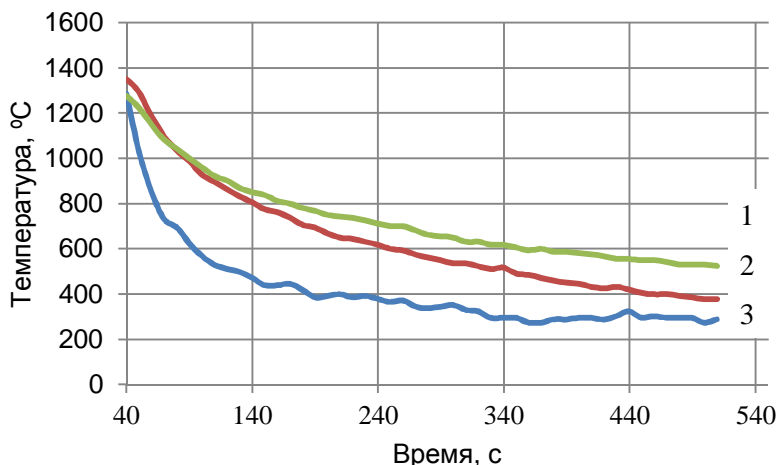


Рис. 1. Кривые охлаждения стали марки 110Г13Л в литейных формах с различными теплоаккумулирующими способностями: 1 – сухая ПГФ; 2 – сырая ПГФ; 3 – кокиль

В ходе проведения экспериментов были получены скорости охлаждения марганцовистой стали в литейной форме от 1,1 до 25 °C/с в температурном интервале кристаллизации, а в интервале выделения вторичных фаз – от 14,4 до 327,6 °C/мин.

После построения графической зависимости скорости охлаждения в интервале выделения избыточной фазы от скорости охлаждения сплава в интервале кристаллизации, полученных с одной кривой охлаждения, было установлено, что эта зависимость имеет линейный характер (рис. 2).

Анализируя полученную зависимость, можно сделать вывод, что процесс отвода тепла от сплава подчиняется одному и тому же закону теплопередачи вне зависимости от температурного интервала сплавов – интервала кристаллизации или выделения избыточных фаз.

Исследуя полученные образцы, установили, что скорость охлаждения сплава в интервале кристаллизации оказывает влияние на размер зерна аустенита. При увеличении скорости охлаждения происходит уменьшение размера зерна, а наиболее интенсивное снижение (более чем на один балл) наблюдается при увеличении скорости охлаждения с 1,1 до 5 °C/с. Дальнейшее увеличение скорости охлаждения не приводит к существенному измене-

нию размера зерна, т.е. оно изменяется менее чем на один балл. Наиболее равномерная структура по размеру зерна аустенита наблюдается при скорости охлаждения сплава в интервале кристаллизации в 4,5 °С/с [3, 4].

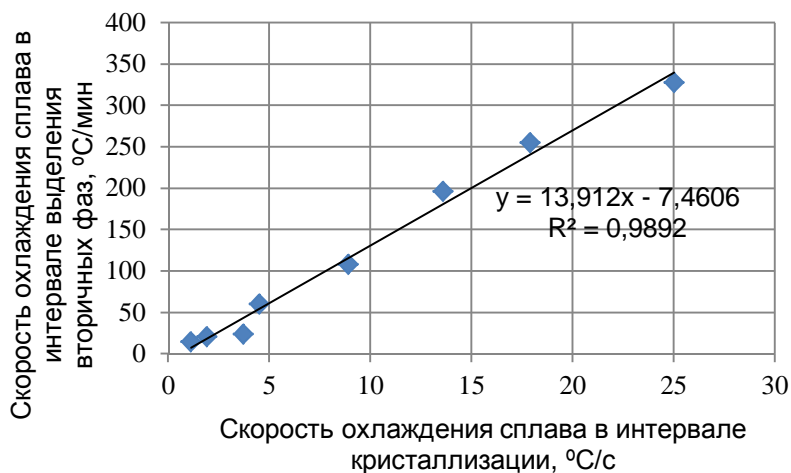


Рис. 2. Соотношение скоростей охлаждения марганцовистой стали при кристаллизации в различных температурных интервалах

Размер зерна аустенита формируется в температурном интервале кристаллизации сплава и во многом зависит от соотношения скоростей образования и роста центров кристаллизации.

В температурном интервале выделения вторичных фаз происходит выделение карбидной фазы, которая, в свою очередь, предопределяет уровень механических и эксплуатационных свойств сплава. Установлено, что при увеличении скорости охлаждения в интервале выделения вторичных фаз с 14,4 до 60 °С/мин происходит уменьшение количества карбидной фазы с 14,8 до 2,1%, толщина карбидов уменьшается с 30 до 1 мкм. При дальнейшем увеличении скорости охлаждения, особенно свыше 300 °С/мин, происходит уменьшение толщины карбидов до 0,3 мкм, а также нарушение целостности карбидной сетки по границам зёрен.

Результат такого влияния скорости охлаждения на количество и морфологию карбидной фазы находит отражение в количественных показателях твёрдости сплава, микротвёрдости его



структурных составляющих и коэффициенте износостойкости (рис. 3–5).

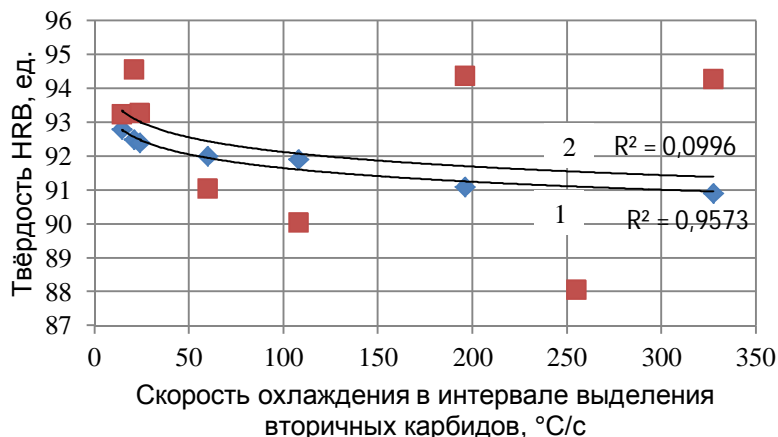


Рис. 3. Влияние скорости охлаждения сплава в интервале выделения избыточных фаз: 1 – до закалки; 2 – после закалки

Незначительное снижение твердости по шкале Бринеля обусловлено уменьшением количества карбидной фазы по границам и внутри зерна аустенита. После закалки образцов характер зависимости сохраняется.

Несколько иная картина наблюдается для показателей микротвердости зёрен аустенита (см. рис. 4).

Увеличение скорости охлаждения марганцовистой стали в интервале выделения вторичных фаз способствует снижению количества карбидной фазы. Результатом этого может быть сокращение времени протекания диффузионных процессов внутри зерна аустенита в процессе охлаждения отливки в форме, что способствует пересыщению зерен аустенита марганцем [2]. Как следствие, наблюдается повышение его средней микротвердости с 2700 до 3147 МПа.

После закалки аналогично литому состоянию наблюдается повышение микротвердости аустенита в зависимости от скорости охлаждения, но общий уровень микротвердости снижен, что, вероятно, связано с гомогенизацией аустенита и равномерным распределением марганца по объёму зерна в процессе изотермической выдержки. В целом можно констатировать тот факт, что после

термической обработки сохраняется характер зависимости микротвёрдости аустенита от скорости охлаждения в интервале выделения избыточных фаз.

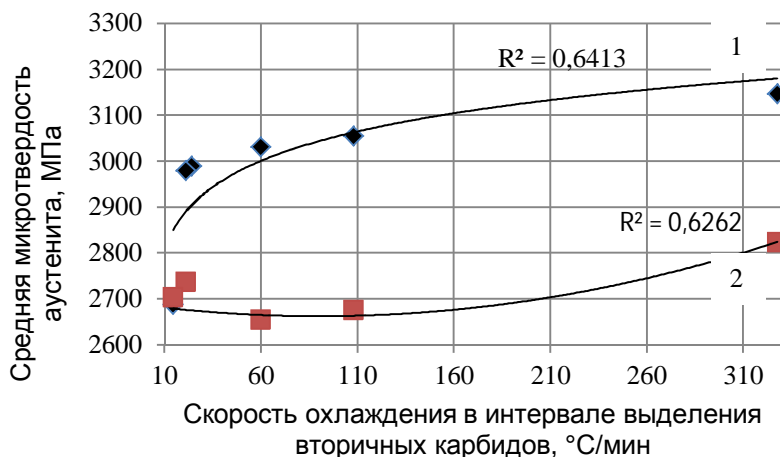


Рис. 4. Влияние скорости охлаждения в интервале выделения вторичных карбидов на микротвёрдость аустенита:  
1 – до закалки; 2 – после закалки

Влияние скорости охлаждения марганцовистой стали в литейной форме на коэффициент износостойкости осуществляется через параметры макро- и микроструктуры, получаемые при соотношении тех или иных температурно-временных факторах [5]. Зависимость коэффициента износостойкости от скорости охлаждения представлена на рис. 5.

Литые образцы стали марки 110Г13Л, закристаллизовавшиеся в форме с минимальными скоростями охлаждения (до 50 °С/мин), имеют более высокий коэффициент износостойкости (> 1 ед.). Таким же значением коэффициента обладают образцы, закристаллизовавшиеся при скоростях охлаждения более 250 °С/мин. При промежуточных скоростях охлаждения сплава в литейной форме наблюдается коэффициент износостойкости менее одной единицы.

Характер зависимости сохраняется и после термической обработки.

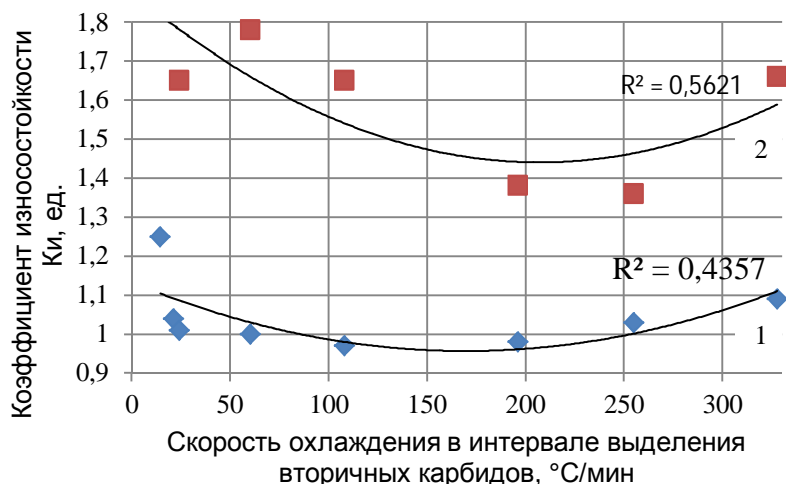


Рис. 5. Влияние скорости охлаждения марганцовистой стали в интервале выделения вторичных карбидов на коэффициент износостойкости: 1 – до закалки; 2 – после закалки

#### Выводы:

- скорость охлаждения марганцовистой стали в литейной форме существенно влияет на параметры макро- и микроструктуры;
- скорость охлаждения марганцовистой стали в температурном интервале кристаллизации влияет на размер зерна аустенита, в то время как скорость охлаждения в интервале выделения вторичных фаз влияет на количество и морфологию карбидной фазы;
- существенное влияние скорости охлаждения сплава в литейной форме оказывает на твёрдость сплава, микротвёрдость аустенита и коэффициент износостойкости.
- характер влияния температурно-временного фактора при кристаллизации марганцовистой стали сохраняется после термической обработки.

#### Список литературы

1. Совершенствование технологии и повышение эксплуатации броней мельницы МПСИ – 70х23: отчет о НИР / К.Н. Вдовин, Н.А. Феоктистов, М.А. Лисовская. № 21/127 – 2013.

2. Технологический процесс изготовления брони из стали марки 110Г13Л в условиях ООО «Ремонтно-механический завод» / К.Н. Вдовин, Н.А. Феоктистов, Ш.М. Хабибуллин // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. Вып. 14. С. 51–52.
3. Исследование влияния скорости охлаждения при кристаллизации на размер аустенитного зерна литой стали 110Г13Л / К.Н. Вдовин, Д.А. Горленко, О.А. Никитенко, Н.А. Феоктистов // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 10 (41). С. 28–31.
4. Изучение качественных параметров литой структуры отливки «Зуб ковша экскаватора» / К.Н. Вдовин, Н.А. Феоктистов, Д.А. Горленко, И.Б. Хренов, Д.А. Дерябин // Труды 12 Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство». 2015. Т. 2. С. 60–65.
5. Производство стальных отливок: учебник для студ. вузов / В.М. Колокольцев, Л.Я. Козлов, К.Н. Вдовин и др. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2011. 352 с.

УДК 621.74.047

**С.В. Дидович, А.М. Столяров**

Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

**В.В. Мошкунов**

Магнитогорский металлургический комбинат

## **КАЧЕСТВО НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ СЛЯБОВ ПРИ РАЗЛИВКЕ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЫ РАЗНОЙ ВЫСОТЫ**

Современные слябовые МНЛЗ оборудуются укороченными кристаллизаторами, имеющими высоту 900-950 мм [1-4]. В ККЦ ОАО «ММК» на МНЛЗ №1 криволинейного типа проведена модернизация радиальных кристаллизаторов. Кристаллизаторы высотой

1200 мм [5–7] заменены на кристаллизаторы высотой 950 мм с одним рядом роликов на раме кристаллизатора для поддержки каждой широкой грани сляба и двумя роликами для поддержки каждой узкой грани отливаемой заготовки (рис. 1).

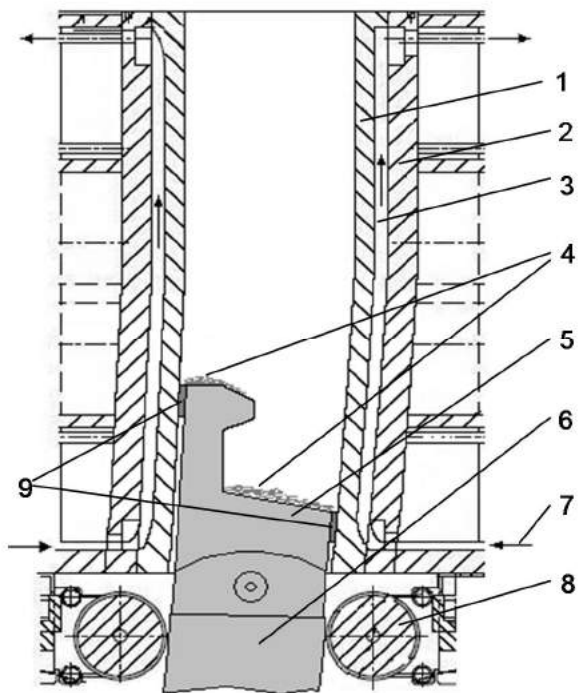


Рис. 1. Схема укороченного кристаллизатора криволинейной МНЛЗ с введенной затравкой:

- 1 – медная плита сборного кристаллизатора;
- 2 – стальная плита;
- 3 – канал для охлаждающей воды;
- 4 – «холодильники»;
- 5 – головка затравки;
- 6 – тело затравки;
- 7 – подача воды;
- 8 – поддерживающий ролик на раме кристаллизатора;
- 9 – забивка из асбеста

При этом изменена система охлаждения сляба в зоне «подбоя». Применение укороченных кристаллизаторов с тонкими медными плитами позволило существенно сократить затраты на рас-

ходуемые материалы. Однако очень важным моментом является оценка влияния проведенной модернизации оборудования на качества отливаемых слябов, так как укорочение кристаллизатора с учетом поддержки вызывает уменьшение толщины слоя затвердевшего металла в среднем на 2 мм (0,8% от толщины заготовки). В настоящей работе производится сравнение качества литого металла и листового проката при разливке стали в высокие и укороченные кристаллизаторы.

Непрерывнолитые слябы толщиной 250 мм отливались из низкоуглеродистой нелегированной (качественной и рядовой) и низколегированной стали. Средняя скорость вытягивания заготовок из кристаллизаторов разной высоты была одинаковой и составляла 0,7 м/мин. Для оценки качества макроструктуры и поверхности заготовок отбирались поперечные осевые темплеты. Результаты оценки качества макроструктуры литого металла 556 темплетов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Усредненные результаты оценки качества  
непрерывнолитых слябов

Параметр	Высота кристаллизатора МНЛЗ, мм	
	1200	950
Количество изученных темплетов, шт.	346	210
Степень развития дефекта (баллы):		
осевая рыхлость (ОР)	1,49	1,48
осевая химическая неоднородность (ОХН)	1,56	1,54
осевые трещины (ОТ)	0,10	0,18
трещины, перпендикулярные граням (ТП)	1,04	1,05
трещины гнездообразные (ТГ)	0,29	0,22
точечная неоднородность (ТН)	1,07	1,01

Усредненные данные степени развития всех дефектов макроструктуры слябов, отлитых в кристаллизаторах различной высоты, практически не отличаются друг от друга, что свидетельствует об отсутствии влияния длины кристаллизатора на внутреннее строение заготовок.

Качество поверхности отлитых заготовок оценивалось по представительному массиву данных из 2926 темплетов.

В табл. 2 и на рис. 2 приведены результаты оценки качества поверхности исследованных темплетов.

Таблица 2  
Качество поверхности темплетов из слябов толщиной 250 мм

Параметр	Высота кристаллизатора МНЛЗ, мм	
	1200	950
Количество исследованных темплетов, шт.	1695	1221
Количество темплетов (шт.) с поверхностными дефектами в виде:		
продольных трещин	1	1
поперечных трещин	25	5
паукообразных трещин	1	1

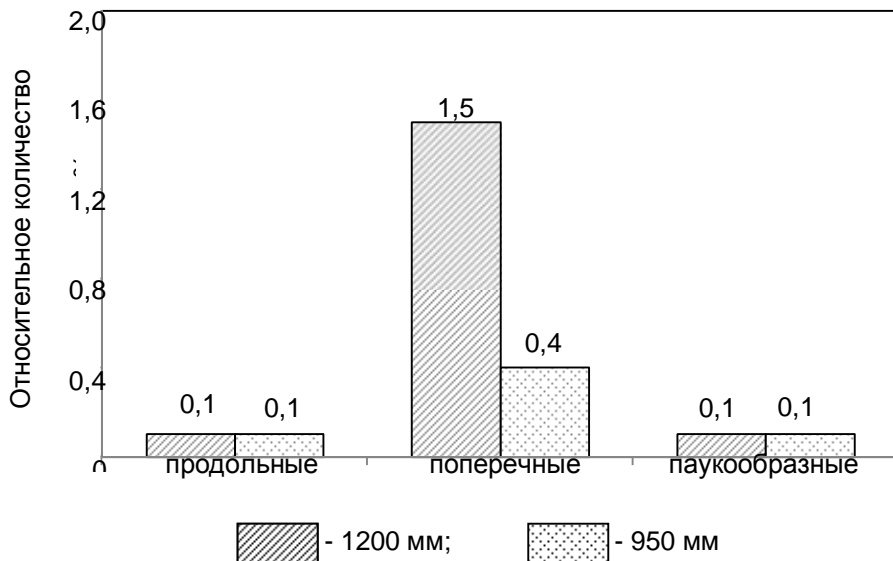


Рис. 2. Относительное количество темплетов с поверхностными дефектами при разливке стали в кристаллизаторы разной высоты

Из полученных данных видно, что использование укороченного кристаллизатора привело к снижению относительного количества темплетов с поперечными трещинами в 3,75 раза. Общее количество слябовых темплетов с поверхностными трещинами уменьшилось на 1,0% (с 1,59 до 0,57%).

Улучшение качества поверхности непрерывнолитых слябов явилось причиной снижения отсортировки горячекатаного листа толщиной 1,5-3,0 мм по поверхностным дефектам в два раза (рис. 3).

Таким образом, модернизация кристаллизаторов криволинейной МНЛЗ путем замены толстых длинных плит на тонкие укороченные позволила улучшить качество поверхности непрерывнолитых слябов толщиной 250 мм и горячекатаных листов.

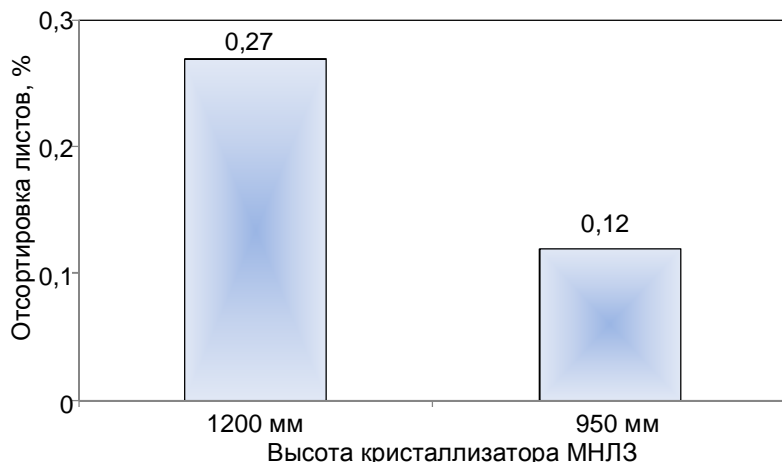


Рис. 3. Данные об отсортировке горячекатаных листов из слябов, отлитых в кристаллизаторы различной высоты

#### Список литературы

1. Паршин В.М., Буланов Л.В. Непрерывная разливка стали. Липецк: ОАО «НЛМК», 2011. 221 с.
2. Опыт эксплуатации новой одноручьевого слябовой МНЛЗ с вертикальным участком / С.В. Прохоров, Б.А. Сарычев, А.С. Казаков, В.В. Мошкунов, А.М. Столяров // Сталь. 2012. №7. С. 9–11.
3. Столяров А.М., Мошкунов В.В., Казаков А.С. Мягкое обжатие слябов при разливке трубной стали на криволинейной МНЛЗ с



- вертикальным участком. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. 116 с.
4. Шаповалов А.Н., Шевченко Е.А., Столяров А.М. Рациональная длина поддерживающей системы узких граней непрерывнолитого сляба для условий ОАО «Уральская сталь» // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2013. №1. С. 38–41.
  5. Усовершенствование режима вторичного охлаждения непрерывнолитых слябов / В.Н. Селиванов, А.М. Столяров, Б.А. Буданов и др. // Труды V конгресс сталеплавильщиков. 1998. С. 411-412.
  6. Определение оптимальных режимов вторичного охлаждения непрерывнолитых слябов / Р.С. Тахаутдинов, Ю.А. Бодяев, В.Н. Селиванов, А.М. Столяров и др. // Труды VII Международного конгресса сталеплавильщиков. 2003. С. 564–566.
  7. Столяров А.М., Юречко Д.В., Селиванов В.Н. Формирование переходного участка непрерывнолитого сляба из стали разных марок. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. 94 с.

УДК 691.791.927. 91.55

**М.Н. Гатитулин**

ООО «Рота Тех»

**А.Н. Емелюшин, Н.Ю. Абарович**

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

### **РОТАЦИОННЫЙ ИНСТРУМЕНТ ИЗ ХРОМИСТОГО ЧУГУНА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ**

Для получения многих современных материалов методами порошковой металлургии используют порошки и волокна. Разнообразие требований, предъявляемых к порошкам, а также свойства исходных материалов объясняют существование большого количества методов их производства. Измельчение дроблением, размолотом или истиранием являются старейшими методами перевода твердых веществ в порошкообразное состояние. В то же время получение мелкодисперсных порошков представляет опре-

деленные трудности. Как показано в [1,2], порошки можно изготавливать резанием, получая мелкодисперсную стружку. Однако для образования порошков как товарной продукции использование традиционного твердосплавного режущего инструмента является неэффективным вследствие низкой производительности. Повышение скорости резания приводит к повышению температуры в зоне резания, ухудшению свойств порошков и повышенному расходу инструмента. Увеличения производительности по сравнению с обычными способами можно добиться, применяя ротационный режущий инструмент, при котором осуществляется непрерывное обновление трущихся поверхностей в режиме качения с проскальзыванием.

Ротационная торцовая фреза (рис. 1) выполнена в виде корпуса с подшипниковыми узлами, закрепленными на торце. Режущие чашки из легированного хромистого чугуна имеют по два режущих лезвия.

Фреза крепится на шпинделе станка. При вращении шпинделя и подаче заготовки режущие чашки производят ее фрезерование, вращаясь совместно со шпинделем; под действием сил резания чашки одновременно самовращаются в подшипниковых узлах.

Ротационная фреза может содержать механический привод на каждую чашку, что обеспечивает ее принудительное планетарное вращение и в рабочем, и в холостом режимах.

Обновление режущего лезвия уменьшает скорость скольжения по заготовке независимо от окружной скорости лезвия совместно с корпусом фрезы.

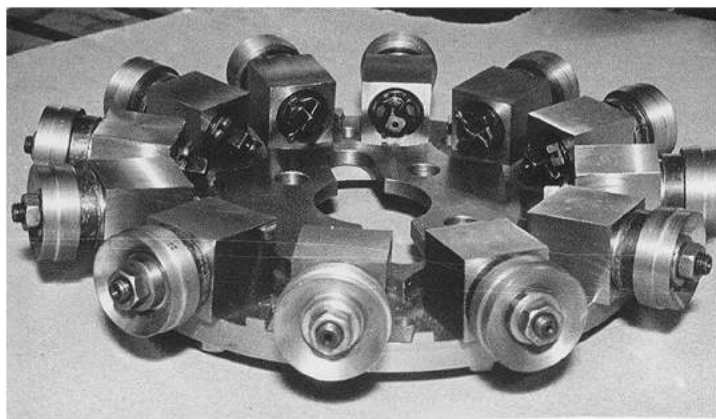


Рис. 1. Ротационная торцовая фреза

Режим такого обновления осуществим при любых скоростях резания, что приводит к качественному изменению протекания самого процесса резания: значительно снижается температура в зоне резания, процесс износа рабочих поверхностей инструмента многократно уменьшается, снижается энергоемкость процесса обработки резанием. Для реализации этого процесса разработаны и изготовлены опытные образцы ротационного инструмента, с использованием которых в лабораторных условиях на фрезерном станке получены волокна алюминия, стали, магния, бронзы с размерами сечения от 10 до 500 мкм и длиной от 60 мкм до 10 мм, а также порошки размерами до 1 мкм (рис. 2).

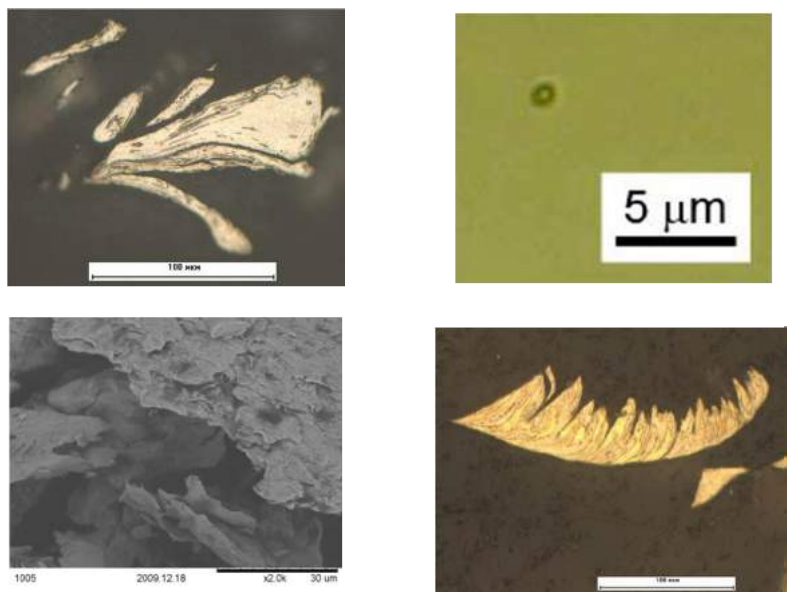


Рис. 2. Характерные фотографии порошка

Для стабильного получения мелкодисперсной стружки уровень относительных колебаний между режущей кромкой инструмента и обрабатываемой поверхностью заготовки должен быть менее 10 мкм. Поэтому необходимо использовать специальное оборудование.

Микростружка, полученная резанием, в отличие от других способов получения, имеет характерную форму стружки, т.е. одна сторона волокна гладкая, а другая имеет ярко выраженные пило-

образные зазубрины. Данная форма обеспечивает меньшую насыпную плотность, чем гладкая. В то же время при использовании волокон в качестве армирующих элементов их лучшая сцепляемость между собой обеспечит конкурентные преимущества конечной продукции, в частности при изготовлении сетчатых фильтров.

Низкие температуры при ротационном резании расширяют возможности применения нетрадиционных инструментальных материалов. В [3–5] разработаны составы износостойких сплавов из легированных хромистых чугунов, из которых можно изготавливать литой режущий инструмент, и способы их упрочнения. Режущий инструмент из этих сплавов имеет существенные преимущества перед твердосплавным инструментом в случае, когда температура в зоне резания не превышает 300–500°C, а износ имеет абразивный характер [3]. Легированные хромистые чугуны могут применяться и как наплавочный материал для изготовления режущего инструмента [4]. Использование данных сплавов для изготовления режущих элементов ротационных инструментов позволит повысить их стойкость при резании неметаллических материалов, а также производительность процесса.

Дальнейшее развитие технологий по измельчению материалов необходимо проводить путем создания ротационных измельчителей барабанного типа, оснащенных ротационными режущими узлами, которые востребованы при переработке шлаковых отвалов, отходов сырьевых материалов и др. В некоторых случаях использование ротационных измельчителей исключает операцию плавления вторичных цветных металлов, что позволяет измельчать шихтовые материалы определенного химического состава для конкретных вариантов использования, например для производства порошкового ферроалюминия.

#### Список литературы

1. Ротационное резание как инновационный способ измельчения материалов / М.Н. Гатитулин, С.Д. Сметанин, В.Г. Шаламов // Вестник ТулГУ. Сер.: Инструментальные и метрологические системы. Тула: Изд-во ТулГУ, 2008. С. 169–171.
2. Гатитулин М.Н. Количественные и качественные критерии развития инструментов ротационного резания // Научные проблемы современного мира и их решения: сб. науч. тр. Липецк: ВОИР, 2013. С. 12–16.

3. Влияние ориентировки и дисперсности карбидов на износостойкость литого инструмента из хромистых чугунов / А.Н. Емелюшин, Н.М. Мирзаева, Д.А. Мирзаев // Изв. вузов. Черная металлургия. 1983. № 4. С. 72–75.
4. Сравнение структуры и свойств литых и наплавленных износостойких материалов / А.Н. Емелюшин, Е.В. Петроченко, С.П. Нефедьев // Литейные процессы. 2012. № 11. С. 141–145.
5. Формирование структуры и свойств зоны сплавления при плазменно-порошковой наплавке покрытия типа 250X15Г20С / А.Н. Емелюшин, Е.В. Петроченко, С.П. Нефедьев, А.Н. Морозов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. № 3. С. 70–73.

УДК 621.74.047

**Т.С. Ибраев, А.М. Столяров**

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

## **ИЗУЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ТОНКИХ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ СЛЯБОВ**

В ЗАО «ММК-Metalurji» (г. Искендерун, Турция) низкоуглеродистая сталь выплавлялась в сверхмощной 250-тонной электродуговой печи скрап-процессом с последующей ковшевой обработкой на агрегате «ковш-печь». Разливка металла производилась на тонкослябовой МНЛЗ фирмы «Danieli» [1, 2] (табл. 1).

Отличительными особенностями МНЛЗ являются: специальная конструкция кристаллизатора с воронкообразным расширением в центре верхней части и постепенным сужением книзу, обжатие заготовки с жидкой сердцевиной (*LCR-liquid core reduction*), использование более сложных систем качания кристаллизатора и вторичного охлаждения отливаемой заготовки. Толщина слябов, равная 50,5–80,5 мм, в несколько раз меньше по сравнению с заготовками, отливаемыми на МНЛЗ, например в ОАО «ММК» [3–7].

Таблица 1

Техническая характеристика тонкослябовой МНЛЗ

Параметр	Значение
Тип МНЛЗ	Криволинейная с вертикальным участком
Количество ручьев, шт.	2
Годовая производительность, млн т слябов	2,39
Вместимость сталеразливочного ковша, т	250
Вместимость промежуточного ковша, т	52(58)
Базовый радиус машины, м	5
Металлургическая длина, м	12
Размеры отливаемых слябов (мм): – толщина – ширина – длина максимальная	50,5–80,5 800–1570 42000
Рабочая скорость вытягивания слябов из кристаллизатора, м/мин	3,0–6,0
Тип кристаллизатора	H <sup>2</sup>
Длина кристаллизатора, мм	1200
Толщина никелевого покрытия, мм	1,0
Контроль уровня металла в кристаллизаторе	Радиоизотопный / электромагнитный
Количество поддерживающих роликов на раме кристаллизатора, шт.	8 (в два ряда)
Привод качания	Гидравлический
Амплитуда качания кристаллизатора, мм	До 40
Частота качания кристаллизатора, кач./мин	До 450
Количество роликовых секций, шт.	7
Количество независимых контуров: – охлаждение водой – охлаждение водовоздушной смесью	3 8
Система обжатия	Динамическая
Тип затравки	Гибкая цепная
Механизм порезки слябов	Маятниковые ножницы

В работе изучено качество 45 тонких слябов. Химический состав разлитого металла приведен в табл. 2.

Таблица 2

## Химический состав металла

Химический элемент	Содержание химического элемента в металле, %		
	минимальное	максимальное	среднее
Углерод	0,04	0,15	0,07
Кремний	0,01	0,04	0,03
Марганец	0,36	0,80	0,50
Сера	0,001	0,011	0,005
Фосфор	0,004	0,008	0,006
Хром	0,03	0,06	0,05
Никель	0,08	0,09	0,09
Медь	0,26	0,39	0,32
Алюминий	0,02	0,06	0,03
Азот	0,004	0,015	0,009

Из табл. 2 видно, что электросталь имела повышенное содержание меди и азота. Основные параметры разливки металла представлены в табл. 3.

Таблица 3

## Параметры разливки металла

Параметр	Значение параметра	
	минимальное	максимальное
Толщина сляба, мм	55	71
Ширина сляба, мм	1025	1545
Температура металла в промежуточном ковше, °С	1551	1565
Величина перегрева металла над температурой ликвидус, °С	24	33
Скорость вытягивания сляба из кристаллизатора, м/мин	3,5	4,0

Результаты оценки качества макроструктуры слябов по шкале Маннесмана приведены в табл. 4.

Таблица 4

## Качество макроструктуры тонких слябов

Дефект	Степень развития дефекта, баллы		
	минимальная	максимальная	средняя
Осевая трещина	1	2	1,6
Угловая трещина	1	2	1,7
Осевая химическая неоднородность	2	2,5	2,2
Точечная неоднородность	1	2	1,5
Трещины, перпендикулярные узким граням	1	2	1,2
Трещины, перпендикулярные широким граням	1	2	1,4

С помощью корреляционно-регрессионного анализа оценено влияние содержания каждого химического элемента, параметров температурно-скоростного режима разливки стали на степень развития дефектов макроструктуры: осевых трещин (ОТ), угловых трещин (УТ), точечной неоднородности (ТН), трещин, перпендикулярных узким (ТПу) и широким граням (ТПш).

Установлено, что статистически значимо существуют две линейные зависимости: степени развития точечной неоднородности от содержания азота в металле и степени развития угловых трещин от содержания меди в расплаве. Данные зависимости описываются следующими уравнениями:

$$ТН = 55,436 [N] + 0,8335 \quad r = 0,400; \quad (1)$$

$$УТ = 7,973 [Cu] - 1,014 \quad r = 0,642. \quad (2)$$

Из рис. 1 видно, что с увеличением содержания азота в разлитой стали степень развития точечной неоднородности возрастает вследствие роста количества нитридных неметаллических включений.

Возрастание содержания меди в металле, являющейся поверхностноактивным химическим элементом, вызывает увеличение степени развития угловых трещин в тонком слябе (рис. 2).



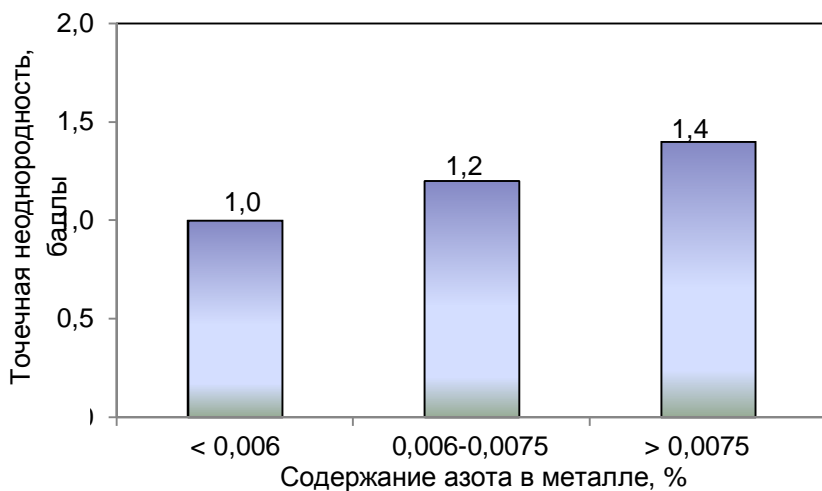


Рис. 1. Гистограмма степени развития точечной неоднородности тонкого сляба от содержания азота в металле

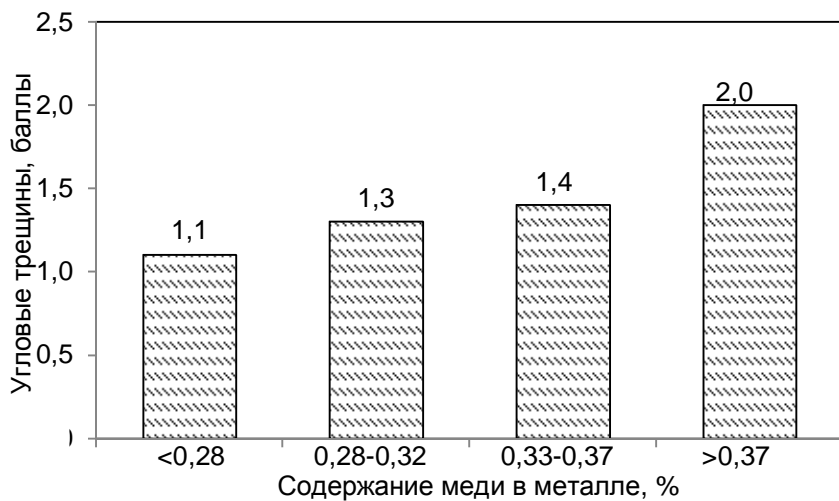


Рис. 2. Гистограмма степени развития угловых трещин в тонком слябе от содержания меди в металле



5. Столяров А.М., Селиванов В.Н. Непрерывная разливка стали. Ч. 1. Конструкция и оборудование МНЛЗ: учеб. пособие. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. 154 с.
6. Столяров А.М., Селиванов В.Н. Технология непрерывной разливки стали: учеб. пособие. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. 78 с.
7. Опыт эксплуатации новой одноручьевой слябовой МНЛЗ с вертикальным участком / С.В. Прохоров, Б.А. Сарычев, А.С. Казаков, В.В. Мошкунов, А.М. Столяров // Сталь. 2012. №7. С. 9–11.

УДК 691.791.927. 91.55

**М.Н. Гатитулин**  
ООО «Рота Тех»

### **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ КРЕПЕЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТОРЦОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДУГОВЫХ ПЕЧЕЙ**

Торцовое соединение цилиндрических деталей применяется в разных отраслях промышленности: электроды дуговых печей в металлургии, соединение отдельных труб в колонны при обустройстве скважин в нефтяной промышленности, запорная арматура в строительстве.

Традиционным способом соединения торцовых элементов является резьбовое соединение (рис. 1). При этом работа конструкции осуществляется в тяжелых условиях и к качеству соединения предъявляются высокие требования.

Разработаны методики обработки и контроля соединения с высокой точностью, однако проблема нарушения соединения элементов остается актуальной (обрыв электродов в расплав или обрыв колонны в шахту).

Опираясь на данные патентного обзора можно сделать вывод, что резьбовое соединение на сегодняшний день исчерпало возможности по конструктивному совершенствованию элементов.

В качестве альтернативы резьбовому соединению разработано соединение «ласточкин хвост», показанное на рис. 2 [1].



Рис. 1. Ниппельное соединение графитированных электродов

Сборка такой конструкции значительно облегчается за счет отсутствия вращательного движения – секция, имеющая пазы в форме ласточкиного хвоста, задвигается в смежный элемент.

Данное соединение должно обеспечивать работоспособность соединения как при обычной температуре, так и при температурной деформации соединения: минимальное контактное электросопротивление, прочность «свечи» на разрыв, устойчивость к вибронагрузкам в процессе плавки и изгибающим нагрузкам при сливе металла.

Даже небольшие погрешности в геометрии соединения значительно снижают его электропроводность в процессе работы.



Рис. 2. Безнипельное соединение электродов

Для серийного изготовления предложенного соединения разработана технология и конструкция специальной технологической оснастки [2, 3]. Предложено производить обработку пазов в 2 этапа: первый этап – это черновое фрезерование в 2–3 прохода, второй этап – чистовое протягивание.

В то же время интенсивный износ режущего инструмента при протягивании не позволяет получить необходимую точность и шероховатость за один проход. Требование по обеспечению точности и шероховатости обеспечивается путем чистового протягивания.

Разработаны специальные протяжки для работы с абразивными материалами. Особенностью таких протяжек является то, что их режущие элементы изготовлены из легированного ванадиевого или хромистого чугуна [6, 7].

Как показано в [7, 11], применение специальных способов получения отливок и их термической обработки позволяет получить стойкость литого или наплавленного инструмента, приближающуюся к стойкости твердосплавного инструмента.

#### Список литературы

1. Гатитулин М.Н., Дубовикова С.К. Технологические особенности изготовления безнипельного соединения электродов дуговых печей // Наука ЮУрГУ: материалы 60-й юбилейной научной конференции. Секции технических наук. Челябинск: изд-во ЮУрГУ, 2008. Т.1.
2. Рогов А.А. Исследование процесса протягивания изделий из графитированного материала: дис. ... канд. техн. наук / ЧПИ. Челябинск, 1974.
3. Пат. 78716 РФ. Устройство для обработки торцов цилиндрических заготовок / Гатитулин М.Н., Дубовикова С.К.
4. Формирование структуры и свойств ванадиевых чугунов при их затвердевании в различных формах / В.М. Колокольцев, Е.В. Петроченко, А.Н. Емелюшин, М.Г. Потапов // Изв. вузов. Черная металлургия. 2005. № 4. С. 41-43.
5. Емелюшин А.Н., Петроченко Е.В. Повышение стойкости оснастки прессформ для прессования периклазового кирпича // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2003. № 3. С. 56–59.
6. Емелюшин А.Н., Петроченко Е.В., Нефедьев С.П. Сравнение структуры и свойств литых и наплавленных износостойких материалов // Литейные процессы: межрегион. сб. науч. трудов /

- под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. С. 141–145.
7. Емелюшин А.Н., Мирзаева Н.М., Мирзаев Д.А. Влияние ориентировки и дисперсности карбидов на износостойкость литого инструмента из хромистых чугунов // Изв. вузов. Черная металлургия. 1983. № 4. С. 72–75.

УДК 628. 344. 4

**В.А. Некит, М.В. Шалашова, И.М. Хамитов,  
Е.С. Галиуллина, С.В. Бигеева**

Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

### **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОКАТКИ ТОНКИХ ПОЛОС НА СТАНЕ ЛИТЕЙНО-ПРОКАТНОГО АГРЕГАТА**

На рынке металлопродукции широким спросом пользуется прокат толщиной менее 2 мм. Металл толщиной 1,2–1,9 мм называют тонким, толщиной менее 1,2 мм – сверхтонким [7].

Литейно-прокатные агрегаты (ЛПА) осуществляют принцип непрерывного производства металлургической продукции от расплава стали до готового проката.

В настоящее время в мире насчитывается более 60 цехов с литейно-прокатными модулями (ЛПМ), которые производят около 100 млн т листа в год, в том числе в Российской Федерации существуют 2 литейно-прокатных модуля.

Для получения листового металла применяют ЛПА с тонкослябовой машиной непрерывного литья заготовки [7,8].

Пилотный проект фирмы Danieli литейно-прокатного агрегата работает на заводе в Турции на дочернем предприятии «ММК Металлурджи».

Стан высококачественной прокатки производительностью 2 млн т в год горячекатаных рулонов с одноручьевым МНЛЗ. Литейный комплекс позволяет получать слябы толщиной 50–80 мм, шириной до 1570 мм и массой в 30 т. В соответствии с проектными характеристиками подобный агрегат предназначен для

прокатки полос до 1 мм. Прокатный стан состоит из двух групп: черновая двухклетевая группа и чистовая пятиклетевая группа.

Схема расположения оборудования представлена на рис. 1.

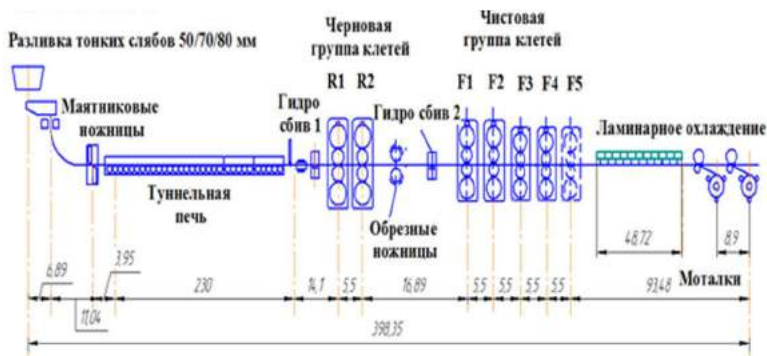


Рис. 1. Схема литейно-прокатного агрегата «Металлурджи»

Целью настоящей работы является исследование энергосиловых параметров горячей прокатки на литейно-прокатном агрегате.

В настоящей работе представлены результаты расчета технологических параметров прокатки стали толщиной 0,8–1,2 мм. Расчет производился по методике А.И. Целикова [1–6, 9–11].

Она включает расчет усилия, момента прокатки и мощности электродвигателей. Методика рассчитана на коэффициенты, определяющие влияние нескольких факторов: трения, условия захвата, натяжения свободных концов полосы, механических свойств прокатываемой полосы [6]. Для определения усилия прокатки  $P$ , момента прокатки  $M$ , мощности прокатки  $N$  использовались зависимости:

$$P = p \cdot B \cdot l, \quad (1)$$

где  $p$  – среднее давление на поверхности контакта;

$B$  – длина полосы;

$l$  – длина очага деформации.

$$M = P \cdot \psi, \quad (2)$$

где  $\psi$  – плечо момента.

$$N = M \cdot \frac{v}{R}, \quad (3)$$

где  $v$  – скорость прокатки;  
 $R$  – радиус вала.

Для прокатки полосы толщиной в 1 мм сляб толщиной 50 мм может быть неприемлемым по величине энергосиловых параметров прокатки сверхтонкой полосы. Поэтому в работе для начального исследования был принят литой сляб толщиной 30 мм.

Результаты расчета технологических параметров полосы представлены на графиках (рис. 2–4).



Рис. 2. Распределение усилия прокатки по клетям

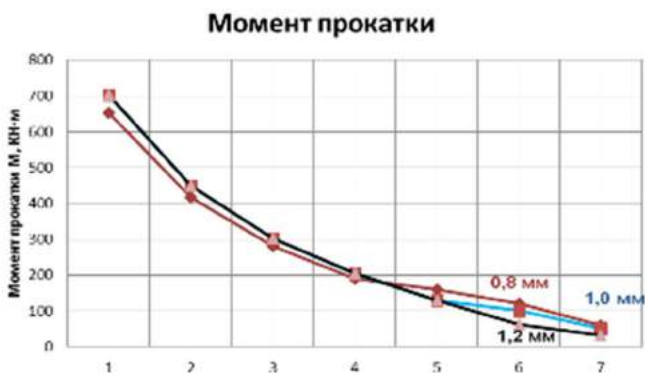


Рис. 3. Распределение момента прокатки по клетям





Рис. 4. Распределение мощности прокатки по клетям

Результаты расчета позволяют заключить, что энергосиловые параметры прокатки на клетях литейно-прокатного агрегата находятся на пределе допустимых величин прочности уже при прокатке сляба толщиной 30 мм. Дальнейшее увеличение толщины может оказать влияние на производительность агрегата и свойства получаемой продукции.

#### Список литературы

1. Некит В.А. Механическая модель процесса прокатки-волочения тонких полос // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением. сб науч. тр./ под ред. В.М. Салганика. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. С. 114-118.
2. Некит В.А. О положении нейтрального сечения в очаге пластической деформации при прокатке полос // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением. сб науч. тр. / под ред. В.М. Салганика. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. С. 137-138.
3. Некит В.А. Условия трения и упругого сжатия валков при холодной прокатке листов и полос // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением. сб науч. тр. / под ред. В.М. Салганика. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2009. С. 101-104.

4. Некит В.А. Теоретическое обоснование условия захвата при установившемся процессе холодной листовой прокатки // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: сб. науч. тр. Вып. 19 / под ред. В.М. Салганика. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. С.72-75.
5. Экспериментальное исследование опережения и отставания при прокатке / В.А. Некит, С.И. Платов, И.А. Курбаков, Голев А.Д. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. № 1. С. 52-54.
6. Некит В.А., Шалашова М.В., Хамитов И.М. Технологические основы прокатки сверхтонких полос на стане горячей прокатки // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 71-й научно-технической конференции / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. С.382-383.
7. Тонкослябовые литейно-прокатные агрегаты для производства стальных полос / Салганик В.М., Гун И.Г., Карандаев А.С. и др. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. 506 с.
8. Зиновьев А.В. Технология прокатки и смотки тонких полос на литейно-прокатном агрегате // Новости черной металлургии за рубежом. 2006. №2. С. 49-52.
9. Способ оптимизации технологии производства проката: пат. 2207204 / Морозов С.А., Урцев В.Н., Хабибулин Д.М., Капцан А.В. Опубл. в БИПМ. 2003. № 19.
10. Некит В.А., Губадеев Н.А. Перспективные тенденции развития технологии и оборудования для производства горячекатаного листового металла // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: сб. науч. тр. Вып. 19 / под ред. В.М. Салганика. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. С. 146-148.
11. Направление совершенствования технологии и оборудования ускоренного охлаждения на широкополосных станах горячей прокатки / А.Р. Гареев, С.А. Муриков, В.Н. Урцев, А.В. Шамаков // Производство проката. 2015. №3. С.14-21.

---

УДК 669.162.261.3

**С.К. Сибгатуллин, А.С. Харченко, Е.О. Харченко,  
М.В. Сидоров, М.И. Сибгатуллина, С.Р. Миникаев**

Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

**М.А. Семенюк**

Магнитогорский металлургический комбинат

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ РАСХОДА ОКАТЫШЕЙ НА СТОЙКОСТЬ ФУТЕРОВКИ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ**

Применение в составе шихты доменных печей ОАО «ММК» неофлюсованных окатышей обусловлено нехваткой местного агломерата. В среднем их доля колеблется от 30 до 35% [1,2]. В некоторых случаях, например в периоды ремонта аглофабрик, доля окатышей достигает 50% и выше. Длительное использование повышенного расхода неофлюсованных окатышей отрицательно сказывается на стойкости гарнисажа и футеровки печи. Так, на доменных печах ОАО «ММК» в 1972 г. переход от офлюсованных доломитом окатышей к неофлюсованным привел к массовому выходу из строя холодильников шахты, распара и моратора [3,4]. Причиной ускоренного износа футеровки и холодильников печи считали возросшее боковое давление материалов в нижней половине шахты вследствие улучшения газопроницаемости верхней части столба шихты [5]. Вынесли рекомендации по устранению негативного влияния неофлюсованных окатышей на стойкость футеровки, заключающиеся в изменении проектного профиля и поддержании верхнего частного перепада давления газа достаточным для уравнивания 40–45% массы шихты [6].

В современных условиях при работе доменных печей ОАО «ММК» при повышении доли окатышей наблюдаются такие же проблемы, как и 40 лет назад. В связи с этим на доменной печи № 2 ОАО «ММК», оснащенной компактным бесконусным загрузочным устройством лоткового типа, проанализировали стойкость настыли и футеровки при повышении доли окатышей в составе шихты от 35 до 65%.

Исследовали 7 периодов длительностью 5–8 сут, отличающиеся долей окатышей от железорудной части шихты. В периоде 1 доля окатышей составляла 36%, в периоде 2 увеличили до 49%, в периоде 3 долю окатышей довели до 62%, затем в периоде 4 снизили до 55%.

В исследуемых периодах доля материалов, поступающих на станции углового положения лотка во всем цикле матрицы, была следующей, %:

Номер станции	кокс										
	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Период № 1	0,0	0,0	0,0	14,3	21,4	21,4	19,0	14,3	4,8	4,8	0,0
Период № 2	0,0	0,0	3,8	14,3	17,6	19,5	17,1	16,2	4,8	6,7	0,0
Период № 3	0,0	0,0	5,1	14,3	16,7	20,8	14,9	16,4	4,8	7,1	0,0
Период № 4	0,0	0,0	8,2	30,1	20,7	16,4	10,9	8,2	0,0	5,5	0,0
Номер станции	руда										
	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Период № 1	0,0	0,0	19,4	19,4	19,4	16,7	19,4	5,6	0,0	0,0	0,0
Период № 2	0,0	2,8	17,8	19,4	19,4	20,6	16,7	3,3	0,0	0,0	0,0
Период № 3	0,0	0,7	14,6	21,5	21,5	22,2	16,7	2,8	0,0	0,0	0,0
Период № 4	0,0	0,0	23,8	19,0	14,3	19,0	4,8	9,5	4,8	4,8	0,0

В периоде 1 производительность печи составляла 2536 т чугуна/сут. Удельный расход кокса – 506 кг/т чугуна. Низкий уровень показателей работы доменной печи является результатом образовавшихся настывлей в шахте доменной печи, которые не позволяли увеличить расход дутья более 2700 м<sup>3</sup>/мин и природного газа более 9000 м<sup>3</sup>/ч. При таких дутьевых показателях верхний перепад давления газа составлял 19 кПа при уровне засыпи, равном 2,73 м. Содержание кремния в чугуне поддерживали на уровне 0,91%.

В периоде 2 увеличили долю окатышей от 36 до 49% с целью истирания образовавшихся настывлей. Данное мероприятие сопровождалось повышением рудной нагрузки в периферийной зоне печи на станциях 9–11 углового положения лотка, в рудном гребне на станциях 6–8 и понижением в центральной части печи. В целом по печи рудная нагрузка увеличилась от 3,3 до 3,4. Это сопровождалось снижением газодинамической напряженности в верхней части печи и увеличением предельно допустимой величины потерь напора газа. Улучшение газопроницаемости шихты верхней части печи позволило понизить уровень засыпи до 2 м и

повысить расход дутья до 2735 м<sup>3</sup>/мин при понижении расхода природного газа до 8000 м<sup>3</sup>/ч. Величина верхнего перепада давления газа увеличилась до 22,8 кПа.

Повышение доли окатышей до 49% совместно с повышением рудной нагрузки в периферийной зоне колошника в периоде 2.2 сопровождалось понижением радиальных температур в периферийной зоне от 218 до 190<sup>0</sup>С, рудном гребне от 182 до 158<sup>0</sup>С и центральной части печи от 445 до 428<sup>0</sup>С, несмотря на повышение доли кокса от 4,8 до 6,7% на станцию углового положения лотка № 2. Понизилась средняя температура периферийного газа под газотводами от 184 до 149<sup>0</sup>С и температура колошникового газа от 208 до 191<sup>0</sup>С. При этом температура периферийных газов в шахте печи увеличилась в среднем на 186<sup>0</sup>С, от 362 до 548<sup>0</sup>С. Повышение произошло по всей окружности печи. Минимальное увеличение, равное 110<sup>0</sup>С, наблюдали в месте замера температуры № 2. Максимальный рост температуры был в месте ее отбора № 5. Температура повысилась на 294<sup>0</sup>С. Градиент температур в периоде 2 по сравнению периодом 1 увеличился на 88<sup>0</sup>С, от 277 до 365<sup>0</sup>С.

Увеличение доли окатышей от 36 до 49% в периоде 2 сопровождалось повышением средних температур тела холодильников шахты в 4-м ряду от 58 до 61<sup>0</sup>С. На уровне 1-го, 3-го и 6-го рядов холодильников средняя температура понижалась на 1<sup>0</sup>С, соответственно от 52, 55 и 48 до 51, 54 и 47<sup>0</sup>С. Интервал варьирования температур в большей степени колебался в районе 3-го и 4-го рядов холодильников соответственно от 46 и 40 до 87 и 89<sup>0</sup>С. При этом в районе над фурмами № 13-14 на уровне 3-го и 4-го рядов холодильников наблюдали максимальное повышение температуры, над фурмой №15 – максимальное понижение. В местах замера температуры № 10, 11 3-го ряда холодильников шахты над фурменными приборами № 13 и 14 температура увеличилась от 65 до 76<sup>0</sup>С, в зоне замеряемой термопарой 12 над фурмой № 15 температура снизилась от 82 до 73<sup>0</sup>С. В 4-м ряду холодильников шахты температура, замеряемая соответствующими термопарами по высоте печи, повысилась над фурмами № 13, 14 от 59 до 74<sup>0</sup>С и понизилась от 82 до 73<sup>0</sup>С над фурмой № 15. Это сопровождалось увеличением величины градиента температур в 3-м и 4-м рядах холодильников шахты соответственно от 34 и 42 до 35 и 43<sup>0</sup>С, тогда как градиент температур в зоне 1-го и 4-го рядов холодильников шахты снизился соответственно от 27 и 24 до 20 и 19<sup>0</sup>С.

Согласно данным замеров плотности теплового потока по внутренним виткам холодильников, проводимых за 5 месяцев предшествующих исследуемым периодам, в зонах 3-го и 4-го рядов холодильников печи наблюдали повышенную его величину. В районе 3-го ряда холодильников шахты над фурменными приборами № 17–19 она равнялась 17,8 тыс. ккал/(м<sup>2</sup>·ч). В районе 4-го ряда холодильников шахты над фурмами № 17,18 величина теплового потока составляла 13,9 тыс. ккал/(м<sup>2</sup>·ч), над фурмами № 19–20 – 22,7 тыс. ккал/(м<sup>2</sup>·ч), тогда как в оставшихся зонах печи величина тепловой нагрузки не превышала 5 тыс. ккал/(м<sup>2</sup>·ч). В результате спустя 2 месяца заглушили внутренний виток холодильника маратора над фурменным прибором № 20.

В районе 5–8-го рядов шахты величина тепловых потоков по окружности была различна. В районе 5-го ряда холодильников максимальные величины (рис. 1), равные 4–5 тыс. ккал/(м<sup>2</sup>·ч), были в районе над фурмами № 1,5,6,17-20. В районе других фурм величина теплового потока варьировала от 1 до 3 тыс. ккал/(м<sup>2</sup>·ч). В районе 6-го ряда холодильников шахты максимальная величина развивалась в зоне над фурменными приборами 1–6, 17–20 (рис. 2). Интервал варьирования между минимальной и максимальной величинами составлял 0,66–1,47 тыс. ккал/(м<sup>2</sup>·ч). В районе 7,8-го рядов холодильников повышенные величины тепловой нагрузки, изменяющиеся по окружности от 1 до 1,4 тыс. ккал/(м<sup>2</sup>·ч), наблюдали в зоне над фурмами № 12–20. В зоне над фурменными приборами № 2–11 величина теплового потока изменялась от 0,46 до 1 тыс. ккал/(м<sup>2</sup>·ч).

Данные замеров плотности теплового потока по внутренним виткам холодильников, проводимых в конце периода № 2, показывают, что над фурмами 17–20 в 3-м и 4-м рядах холодильников шахты величина теплового потока понизилась до 5 тыс. ккал/(м<sup>2</sup>·ч). Над фурмами № 5,6 в районе 3–5-го рядов величина теплового потока была максимальной и находилась в интервале от 13,7 до 15,6 тыс. ккал/(м<sup>2</sup>·ч). В 7 и 8-м рядах холодильников шахты максимальную величину теплового потока наблюдали над фурмами № 10–19. Над разными фурмами она колебалась от 0,7–0,9 тыс. ккал/(м<sup>2</sup>·ч) при том, что минимальная величина теплового потока над оставшимися фурмами колебалась в интервале от 0,1–0,2 тыс. ккал/(м<sup>2</sup>·ч).

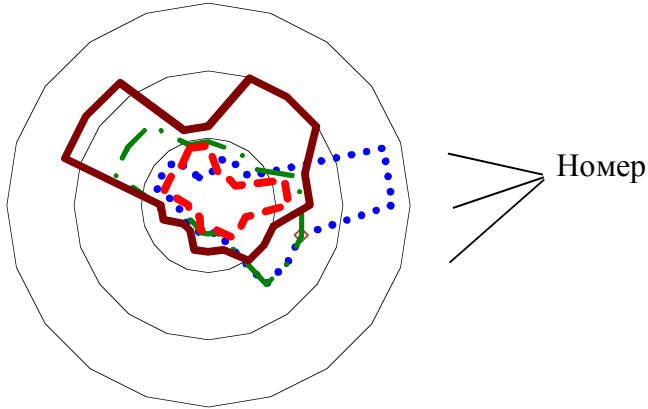


Рис. 1. Плотность теплового потока по внутренним виткам холодильников 5-го ряда шахты, тыс. ккал/(м<sup>2</sup>\*ч) при доле окатышей в интервале 45–50% (●●●●), 60–65% (— — —), 55–60% (—) и в предшествующие 5 месяцев (— — —)

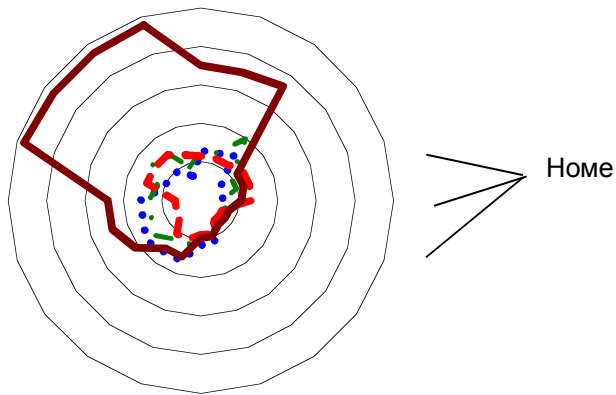


Рис. 2. Плотность теплового потока по внутренним виткам холодильников 6-го ряда шахты, тыс. ккал/(м<sup>2</sup>\*ч) при доле окатышей в интервале 45–50% (●●●●), 60–65% (— — —), 55–60% (—) и в предшествующие 5 месяцев (— — —)

По высоте печи максимальный градиент в периодах 1 и 2 наблюдали в месте замера температуры разгара шахты №13, расположенного над фурмой № 16. Ее величина при увеличении доли окатышей выросла от 42 до 48<sup>0</sup>С. Средняя величина градиентов температур по высоте печи не изменилась и была равной 17<sup>0</sup>С. Минимальные значения градиентов температур в обоих периодах наблюдали над фурмами № 1–9. Их величина колебалась от 3 до 14<sup>0</sup>С. В целом по печи увеличение доли окатышей до 49% сопровождалось постоянством средней температуры холодильников шахты, равной 52<sup>0</sup>С.

В периоде 3 довели долю окатышей до 62%. При этом величину рудной нагрузки в периферийной зоне колошника снизили. Уменьшили долю руды, поступающей на станции № 9 и 10 углового положения лотка, соответственно от 17,8 и 2,8 до 14,6 и 0,7% от общего расхода железорудной части шихты. Долю кокса, поступающего на станцию № 9, увеличили от 3,8 до 5,1%. Долю руды и кокса, поступающей в зону рудного гребня, увеличили с повышением рудной нагрузки. В центральной части печи величина рудной нагрузки снизилась. В целом для печи ее величину уменьшили от 3,4 до 3,3. Уровень засыпи повысили от 2 до 2,23 м. Снижение газодинамической напряженности в верхней части печи позволило увеличить расход дутья от 2735 до 2897 м<sup>3</sup>/мин при снижении верхнего перепада давления газов от 22,8 до 22,4 кПа. Расход природного газа оставался на прежнем уровне, равном 8000 м<sup>3</sup>/ч. Содержание кремния в чугуна понизилось от 0,91 в периоде 2 до 0,85%. Производительность печи увеличилась от 2527 до 2591 т чугуна в сутки при увеличении удельного расхода кокса от 498 до 524 кг/т чугуна.

Повышение доли окатышей до 62% совместно с уменьшением рудной нагрузки в периферийной зоне сопровождалось повышением температур газа на периферии. Температура радиального газа в местах отбора № 1,12 увеличилась от 190 до 204<sup>0</sup>С, температура периферийного газа под газоотводами и периферийного газа в шахте печи увеличились соответственно от 149 и 548 до 159 и 587<sup>0</sup>С. Градиент температуры периферийного газа увеличился от 365 до 441<sup>0</sup>С.

Температура в рудном гребне, замеряемая термопарами радиальной балки, увеличилась от 158 до 169<sup>0</sup>С. В центральной зоне колошника температура уменьшилась от 428 до 420<sup>0</sup>С. Температура колошникового газа увеличилась от 181 до 188<sup>0</sup>С.



Повышение доли окатышей до 62% сопровождалось увеличением средней температуры, замеряющих разгар кладки, по всей высоте печи. В районе 1-го ряда холодильников увеличение составило  $1^{\circ}\text{C}$ , от  $51$  до  $52^{\circ}\text{C}$ , в районе 3-го ряда холодильников шахты –  $3^{\circ}\text{C}$ , от  $54$  до  $57^{\circ}\text{C}$ , в районе 4-го ряда холодильников шахты –  $4^{\circ}\text{C}$ , от  $56$  до  $60^{\circ}\text{C}$ , в районе 6-го ряда холодильников –  $2^{\circ}\text{C}$ , от  $48$  до  $49^{\circ}\text{C}$ .

Максимальные температуры в районе 3-го и 4-го и 6-го рядов соответственно увеличились от  $80$ ,  $85$ ,  $56$  до  $86$ ,  $94$ ,  $66^{\circ}\text{C}$ , что сопровождалось повышением градиентов температур соответственно на  $4$ ,  $11$  и  $11^{\circ}\text{C}$ .

По высоте печи в месте замера температуры разгара шахты №13, располагающегося над фурмой № 16, температура холодильника выросла от  $48$  до  $58^{\circ}\text{C}$ . Средняя величина градиентов температур по высоте печи увеличилась от  $17$  до  $20^{\circ}\text{C}$ . Над фурмами № 1–9 минимальные значения градиентов температур повысились в среднем на  $2^{\circ}\text{C}$  и колебались в интервале от  $4$  до  $16^{\circ}\text{C}$ .

Из анализа данных замеров тепловых нагрузок, проводимых в конце периодов 2 и 3, следует, что в некоторых местах печи по окружности величина тепловых нагрузок увеличилась, в других уменьшилась. Над фурмами № 5,6 величина тепловой нагрузки снизилась от  $15,6$  до  $8,2$  тыс. ккал/( $\text{m}^2\cdot\text{ч}$ ) в районе 3-го ряда холодильников шахты, от  $15,4$  до  $11,8$  тыс. ккал/( $\text{m}^2\cdot\text{ч}$ ) в районе 4-го ряда холодильников шахты над фурмами 5-9, от  $14$  до  $7,3$  в районе 5-го ряда над фурмами № 5,6.

В районе 3-го ряда холодильников шахты над фурмами № 1,2 тепловая нагрузка увеличилась от  $4,6$  до  $11$  тыс. ккал/( $\text{m}^2\cdot\text{ч}$ ). Над оставшимися фурмами тепловая нагрузка колебалась от  $0,7$  до  $6$  тыс. ккал/( $\text{m}^2\cdot\text{ч}$ ).

В 4-ом ряду холодильников тепловая нагрузка увеличилась от  $4,4$  до  $18,5$  тыс. ккал/( $\text{m}^2\cdot\text{ч}$ ) над фурмами № 19–20. Над фурмами № 10-18 величина тепловой нагрузки не превышала  $3$  тыс. ккал/( $\text{m}^2\cdot\text{ч}$ ).

В 5-м и 7-м рядах тепловая нагрузка увеличилась соответственно от  $4,1$  и  $0,82$  до  $7,4$  и  $1,5$  тыс. ккал/( $\text{m}^2\cdot\text{ч}$ ) над фурмами № 17–19. Над оставшимися фурмами тепловая нагрузка колебалась соответственно от  $1,7$  и  $0,3$  до  $4,5$  и  $0,92$  тыс. ккал/( $\text{m}^2\cdot\text{ч}$ ).

В 8-м ряду наблюдали повышенную тепловую нагрузку над фурмами № 14–16. Она увеличилась от  $0,83$  до  $1,2$  тыс. ккал/( $\text{m}^2\cdot\text{ч}$ ) по сравнению с периодом 2.

В целом по печи увеличение доли окатышей до 62% сопровождалось повышением средней температуры холодильников шахты от 52 до 54<sup>0</sup>С.

В периоде 4 долю окатышей снизили до 55%. Рудную нагрузку на периферии увеличили, в рудном гребне понизили. На станции углового положения лотка № 2,3 добавили 9,6% рудной составляющей шихты от ее расхода. В целом рудная нагрузка уменьшилась от 3,3 до 3,2. Уровень засыпи понизили от 2,22 до 2,11. Данный режим загрузки сопровождался увеличением расхода природного газа от 8000 до 10000 м<sup>3</sup>/ч. Повышение расхода дутья от 2897 до 3061 м<sup>3</sup>/мин, что наряду с увеличением в нем содержания кислорода от 24,8 до 25,4% обеспечило рост производительности печи от 2591 до 2935 т чугуна/сут. Повышение удельного расхода кокса от 524 до 536 кг/т чугуна обеспечивало увеличение содержание кремния в чугуне от 0,78 до 0,94%.

Данный режим загрузки сопровождался понижением периферийных температур в шахте от 587 до 542<sup>0</sup>С, уменьшением ее величины в центральной части на 41<sup>0</sup>С, рудном гребне на 37<sup>0</sup>С и периферийной зоне на 45<sup>0</sup>С, замеряемой термомпарами радиальной балки. Температура колошникового газа снизилась от 188 до 148<sup>0</sup>С.

Данные замеров тепловых нагрузок в конце периода 4 свидетельствуют об интенсивном истирании футеровки шахты доменной печи. Тепловая нагрузка увеличилась по всей высоте печи. В 3-м ряду шахты над фурмами № 17–19 она достигла 9,13 тыс. ккал/(м<sup>2</sup>·ч) против 5,1 в периоде 3.2. Над фурмами № 5,6 она увеличилась от 8,2 до 11,4 тыс. ккал/(м<sup>2</sup>·ч). В 4-м ряду холодильников шахты тепловая нагрузка повысилась над фурмами № 1–9, 17–18 и в некоторых местах достигала величины, равной 15,4 тыс. ккал/(м<sup>2</sup>·ч). В районе 5-го ряда холодильников шахты тепловая нагрузка увеличилась по всей окружности. Максимального значения достигала над фурмами № 17–19, равной 11,2 тыс. ккал/(м<sup>2</sup>·ч). В районе 6-го ряда холодильников величина тепловой нагрузки увеличилась над фурмами № 1–3, 17–20 от 1,5 до 4,8 тыс. ккал/(м<sup>2</sup>·ч). В районе 7-го и 8-го рядов повышенные тепловые нагрузки наблюдали в северо-западной части печи.

Таким образом, рост на 1 % доли окатышей сопровождался повышением температуры холодильников шахты в среднем на 1,1<sup>0</sup>С. Нарушения в службе холодильников начинались через 3–6 месяцев после превышения доли окатышей 60%. Причиной тому являлось отсутствие условий для формирования гарнисажа.

## Список литературы

1. Сибатуллин С.К., Харченко А.С. Выявление рациональной последовательности набора компонентов сырья в бункер БЗУ лоткового типа физическим моделированием // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. №3. С. 28–34.
2. Сибатуллин С.К., Теплых Е.О., Харченко А.С. Влияние последовательности шихты в бункер БЗУ на равномерность их поступления в колошниковое пространство доменной печи // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2011. Вып.11. С. 12–16.
3. О некоторых вопросах применения окатышей в существующих условиях доменной плавки / А.В. Дидевич, Н.И. Храпко, З.И. Либерова и др. // Донбасс-2020: наука и техника – производству: материалы IV научно-практической конференции, Донецк, 03-04 февраля 2004. Донецк, 2004. С. 227–231.
4. Марсуверский Б.А. Исследование поведения окатышей в шахте доменной печи: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск, 1980.
5. Яковлев Ю.В., Бабарыкин Н.Н., Марсуверский Б.А. Опыт применения окатышей для выплавки чугуна на ММК в 1965-1980 гг. // Сталь. 1982. №1. С. 4–10.

---

---

## Раздел 2

### МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМООБРАБОТКА СПЛАВОВ И ОТЛИВОК

УДК 621.771.252:621.78; 621.771.261:004.5

**А.Ю. Столяров**

ООО «Спецтехнологии»

**А.Б. Сычков, А.А. Шахватов, А.А. Евстигнеев,**

**С.О. Малашкин, Г.Я. Камалова**

Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ БОРТОВОЙ ПРОВОЛОКИ И ПРОВОЛОЧНОЙ ЗАГОТОВКИ ПОД МЕТАЛЛОКОРД

Процессы термической обработки при производстве бортовой проволоки и конструкций металлокорда для армирования автомобильных шин непосредственно влияют на формирование структуры и свойств готовых изделий, их эксплуатационные характеристики. Однако существует необходимость в совершенствовании таких процессов. Поэтому математическое и физическое моделирование термической обработки весьма актуально [1-3].

#### *1. Моделирование в программной среде DEFORM 2D режимов отжига первого рода высокопрочной бортовой проволоки в различных нагревательных средах*

В настоящее время при производстве бортовой проволоки для армирования автомобильных шин применяется ее термическая обработка – отжиг первого рода для снятия наклепа – упрочнения этой проволоки после интенсивной холодной пластической деформации – волочения с целью обеспечения наилучших эксплуатационных свойств такой проволоки в шине. Известно, что для проведения нагрева и охлаждения металла во время термической

обработки применяются различные среды. До сих пор идут споры об эффективности таких сред [3–7].

В данной работе проводилось математическое моделирование процессов нагрева для отжига первого рода в программной среде Deform 2D наиболее востребованных диаметров бортовой проволоки: 0,89; 0,965; 1,6; 1,85 мм, проводимых в условиях ООО «СпецТехнологии» в различных средах (воздух, кипящий слой, свинец, селитра натриевая). При этом исследовалось распределение температуры по сечению проволоки во время отжига и скорости ее нагрева в средах. Работа выполнялась с целью выявления «узких мест», их устранения, а также в общем усовершенствовании технологии (табл. 1).

Таблица 1

Преимущества и недостатки каждого типа нагрева

Характеристики	Нагревательная среда – тип нагревательного устройства		
	Электродпечь	Кипящий слой	Печи-ванны
Преимущества	Безопасность процесса для человека и окружающей среды. Простота исполнения	Безопасность процесса для человека и окружающей среды. Отсутствие дополнительного оборудования. Высокая конвективная составляющая теплопередачи	Быстрота процесса нагрева. Небольшие габариты оборудования
Недостатки	Длительность нагрева. Большие габариты оборудования	Длительность нагрева. Большие габариты оборудования	Опасность и вредность для человека и окружающей среды. Наличие дополнительного оборудования. Низкая конвективная теплопередача свинца. Высокая воспламеняемость селитры уже при 520°С

Интерфейс программы Deform 2D представлен на рис. 1.

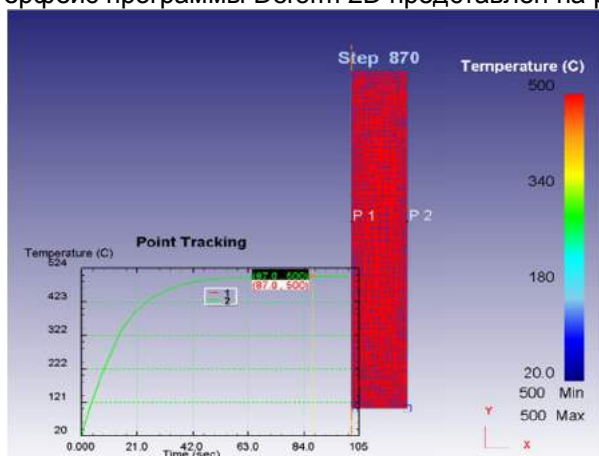


Рис. 1. График зависимости температуры проволоки от времени нагрева бортовой проволоки диаметром 0,89 мм в среде печного нагрева. В печи проволока нагревалась до температуры 500°С. Время нагрева до заданной температуры 87 с

Результаты моделирования приведены в сводной табл. 2.

Таблица 2

Оптимальные скорости прохождения проволоки через печи

диаметр мм	Электропечь			Печь кипящего слоя			Печи-ванны		
	время нагрева, мин (сек)	скорость нагрева град/сек	оптималь- ная скорость прохож- дения м/мин	время нагрева, мин (сек)	скорость нагрева град/сек	оптималь- ная скорость прохож- дения м/мин	время нагрева, мин (сек)	скорость нагрева град/сек	оптималь- ная скорость прохож- дения м/мин
0,89	1,45 (87)	7,75	18,62	0,17 (10)	50,00	58,8	0,017 (1)	500,00	470,6
0,965	1,6 (94)	5,32	16,86	0,18 (11)	45,45	55,5	0,017 (1)	500,00	470,6
1,6	2,6 (156)	3,21	10,38	0,3 (18)	27,78	33,3	0,017 (1)	500,00	470,6
1,85	3,02 (181)	2,76	8,94	0,35 (21)	23,81	28,6	0,017 (1)	500,00	470,6

В ООО «СпецТехнологии» отсутствуют печи-ванны, поэтому металлографический анализ проводился только для нагрева в электропечи СЗП-1,6-24/6-И и печи кипящего слоя СПОК 1,8.20.

Ниже, на рис. 2 и 3, приведены структуры проволоки после отжига в каждой из печей, а также в табл. 3 – их механические свойства.



Рис. 2. Структура проволоки после отжига первого рода в печи кипящего слоя СПОК 1,8.20. Количество перлита первого балла 80–85%

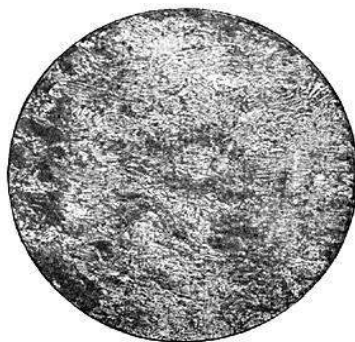


Рис. 3. Структура проволоки после отжига первого рода в электропечи СЗП-1,6-24/6-И. Количество перлита первого балла 75–79%

Таблица 3  
Механические свойства бортовой проволоки после отжига

Электропечь			Печь кипящего слоя		
Диаметр, мм	Временное сопротивление разрыву, Н/мм <sup>2</sup>	Разрывное усилие, Н	Диаметр, мм	Временное сопротивление разрыву, Н/мм <sup>2</sup>	Разрывное усилие, Н
0,89	2201	1350	0,89	2214	1405
0,965	2123	1546	0,965	2334	1623
1,6	1950	3900	1,6	2187	42217
1,85	2019	5062	1,85	2128	5935

Результаты испытаний полностью удовлетворяют требованиям нормативной документации.

Основываясь на результатах моделирования, можно с уверенностью подчеркнуть, что в качестве среды для отжига первого рода наиболее эффективными являются свинец и селитра, однако

следует отметить, что свинец и селитра очень вредны для здоровья человека и экологии. Свинец отнесен к веществам 1 класса опасности, это сильнейший яд, наряду с мышьяком, ртутью и т.п. Опасность этого вещества для организма заключается в поражении большинства органов и систем. Свинец вызывает гибель клеток крови, что приводит к тяжелым анемиям, вмешивается в физико-химические механизмы работы сердца, поражает почки и печень, но наиболее характерны изменения со стороны нервной системы. К тому же свинец – тяжелый металл, теплотехнически инертен – сложно изменить температурный режим и сложно выдерживать температуру металла в ванне постоянной для разных марок стали и диаметров катанки и проволоки – ванна долго нагревается и остывает. В свинцовой ванне низка конвективная составляющая теплопередачи, наиболее эффективная при проведении отжига.

Вред селитры ( $\text{NaNO}_3$ ) заключается в следующем: чрезмерное содержание нитратов или нитритов в крови может привести к острой метгемоглобинемии – опасному для здоровья состоянию. Гемоглобин в крови переносит кислород от легких к тканям и переносит углекислый газ обратно к легким. Нормальный гемоглобин содержит железо в состоянии  $\text{Fe}_2+$  (черный оксид). Чрезмерное количество нитратов переводит его в состояние  $\text{Fe}_3+$  (красно-коричневый оксид), что является аномальной формой для гемоглобина, поскольку он теряет способность снабжать ткани организма кислородом (гипоксия). Метгемоглобинемия может вызвать цианоз (посинение кожи) конечностей/туловища, слабость и учащенное сердцебиение. Прогрессирующая метгемоглобинемия приводит к угнетению центральной нервной системы, вызывает головные боли, головокружение, хроническую усталость, затрудненное дыхание и тошноту. Тяжелая форма метгемоглобинемии приводит к хронической сонливости, кратковременным потерям сознания, нарушению сердечного ритма, шокам, судорогам, коме и, в крайнем случае, к смертельному исходу. Селитра также имеет технологический недостаток, а именно ее температуру нельзя держать выше  $520^\circ\text{C}$  из-за склонности к воспламенению, в то время как для высокоуглеродистого металла наиболее эффективной температурой патентирования является температура  $550\text{--}560^\circ\text{C}$  [4, 6, 7].



## 2. Математическое моделирование и экспериментальное исследование процесса термодиффузионной обработки медно-цинкового покрытия на заготовке под металлокорд

В настоящее время при производстве металлокорда для армирования автомобильных шин применяется латунирование проволоочной заготовки перед тонким мокрым волочением с целью обеспечения наилучших эксплуатационных свойств шины.

Для спекания латунного (медно-цинкового) покрытия можно использовать электроконтактный, печной, индукционный нагрев [8, 9], кипящий слой (рис. 4).



Рис. 4. Диффузионный нагрев медно-цинкового покрытия на проволоке

На предприятии ООО «Спецтехнологии» для спекания покрытия используют электроконтактную термодиффузионную установку (ЭКТДУ), которая предназначена для нагрева проволоки с целью получения латунного диффузионного сплава на поверхности проволоки из предварительно нанесенных на проволоку слоев меди и цинка.

На рис. 5–8 приведены температурные кривые индукционного нагрева, созданные путём моделирования в программной среде Deform 2D, на первом и втором графиках видно, что нагрев до необходимой температуры осуществляется за 4 с, в третьем случае нагрев осуществляется за 3 с и в четвёртом – за 1 с.

Преимуществом электроконтактного нагрева [8, 9] является простота в обслуживании.

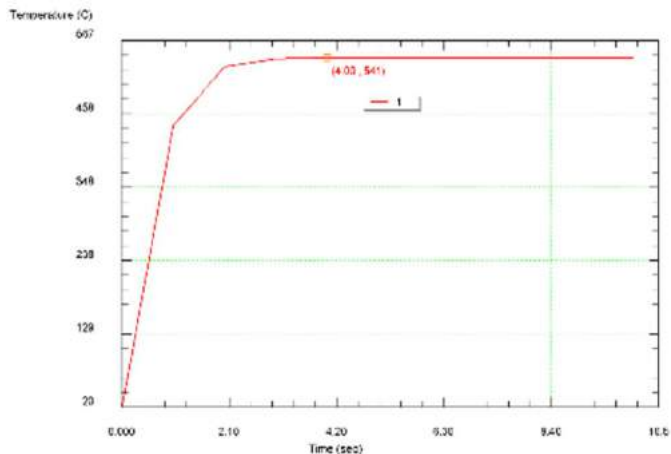


Рис. 5. Зависимость температуры от времени нагрева латунированной проволоки диаметром 1,70 мм при частоте, равной 33 кГц, и мощности 5 кВт, скорость нагрева 135 °C/c

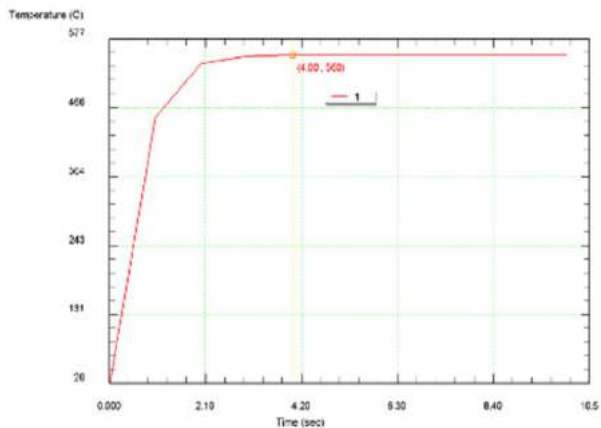


Рис. 6. Зависимость температуры от времени нагрева латунированной проволоки диаметром 1,70 мм при частоте, равной 31,5 кГц, и мощности 6 кВт, скорость нагрева 138 °C/c

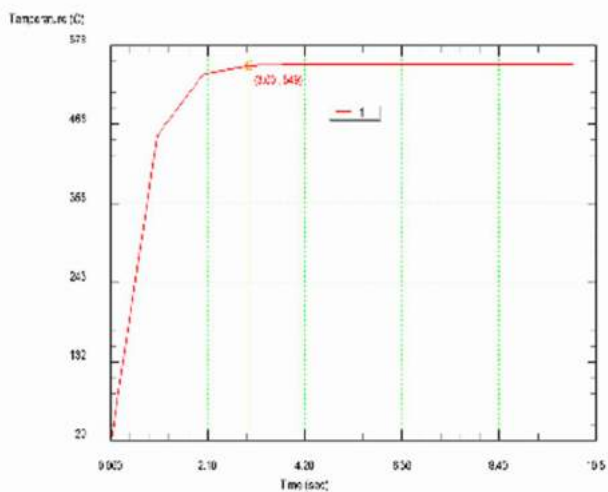


Рис. 7. Зависимость температуры от времени нагрева латунированной проволоки диаметром 1,70 мм при частоте, равной 30,3 кГц, и мощности 7 кВт, скорость нагрева 183 °C/с

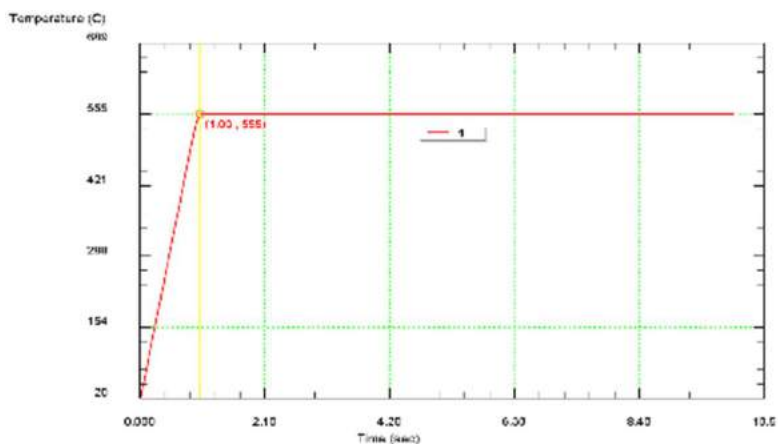


Рис. 8. Зависимость температуры от времени нагрева латунированной проволоки диаметром 1,70 мм при частоте, равной 29,2 кГц, и мощности 8 кВт, скорость нагрева 555 °C/с

Недостатки электроконтактного нагрева:

- нагрев проволоки проходит по всему сечению, что приводит к снижению прочности;
- наличие точек касания проволоки, что может привести к травмированию (нарушению сплошности) покрытия;
- искрение из-за наличия контакта и, как следствие, прижоги на проволоке;
- необходимость замены барабанов, щёточных узлов;
- нестабильность нагрева.

Преимущества индукционного нагрева:

- высокоскоростной нагрев материала;
- нагрев через стенки защитной камеры, нагревается только электропроводящий материал — металл;
- отсутствует загрязнение заготовки продуктами горения;
- легко провести местный и избирательный нагрев;
- разогрев идет в тонких верхних слоях заготовки, а нижележащие слои прогреваются более медленно.

Недостатки индукционного нагрева:

- повышенная сложность оборудования, необходим квалифицированный персонал для настройки и ремонта;
- требуется мощный источник электроэнергии для питания установки индукционного нагрева, а также необходимо охлаждение для индуктора.

Главным недостатком электроконтактного метода является, то, что нагрев осуществляется по всему сечению проволоки, так же как и при печном нагреве или нагреве в кипящем слое.

В индукционном методе разогрев идет в тонких верхних слоях заготовки, а нижележащие слои прогреваются более медленно, что позволяет снизить разупрочнение.

На рис. 9 показана индукционная установка.



Рис. 9. Индукционная установка

Проволока с предварительно нанесённым медно-цинковым покрытием пропускается через индукционную установку, которая состоит из керамической трубки и индуктирующего провода, с помощью которого создаётся переменное магнитное поле.

В табл. 4 показаны данные для испытания. В табл. 5 приведены результаты лабораторных испытаний, полученные в ходе испытания.

Таблица 4  
Данные для испытания индукционного нагрева

Вариант	Скорость движения проволоки (м/мин)	Время нагрева, с	Температура, °C/c	Скорость нагрева (°C/c)	Параметры индукционной установки
1	30	4	539	135	$f=33$ кГц, $P=5$ кВт
2	35	3,4	546	161	$f=31,5$ кГц, $P=6$ кВт
3	40	3	557	186	$f=30,1$ кГц, $P=7$ кВт
4	40	3	675	225	$f=29,2$ кГц, $P=8$ кВт

Таблица 5  
Результаты лабораторных испытаний

Вариант	Разрывная нагрузка, Н	Временное сопротивление разрыву $\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup> – опыт	Фазовый состав $\beta$ латуни, %	Падение прочности. Н/мм <sup>2</sup>
1	2880	1269	39	11
2	2860	1276	28	4
3	2820	1258	23	22
4	2820	1258	16	22

Требования к латунированной проволоке:

- временное сопротивление разрыву,  $1280 \pm 50$  Н/мм<sup>2</sup>;
- фазовый состав  $\beta$  латуни, 10–25%;
- потеря предела прочности при термодиффузии, не более 45 Н/мм<sup>2</sup>.

**Выводы:**

1. Использование свинца и селитры для отжига первого рода не столь совершенно, как может показаться на первый взгляд. Применение, как нагревательной среды, электрокорунда (кипящий слой) более приемлемо с точки зрения экологии, техники безопас-

ности и цены, средняя цена за тонну свинца, на 25.10.2014 г., на рынке равняется 88000 руб., цена за тонну натриевой селитры равна 38000 руб., в то время как средняя цена за тонну электрокорунда равна 24500 руб.

2. Кипящий слой значительно быстрее нагревает проволоку, относительно печного нагрева, безопаснее для человека и экологии и значительно дешевле по сравнению с печами-ваннами.

3. Печи-ванны также применимы, но требуют дополнительного оборудования, такого как вытяжки, фильтры, моечные машины и так далее, что значительно удорожает производство за счет обслуживания данного оборудования и выноса вместе с проволокой частиц нагревательной среды. Еще следует учитывать, что свинец при температуре выше 500°C начинает значительно испаряться.

4. При использовании селитры ( $\text{NaNO}_3$ ) следует принять во внимание ее повышенную взрыво- и пожароопасность по достижении 520°C.

5. В ходе испытания индукционного нагрева на полупромышленной установке было установлено, что при частоте 30,3 кГц, мощности, равной 7 кВт, скорости 40 м/мин и температуре 557°C латунированная проволока диаметром 1,70 мм, предназначенная под металлокорд, соответствует всем требованиям, предъявляемым к латунированной заготовке: количество  $\beta$ -фазы составило 23% при норме 10–25%, временное сопротивление разрыву 1258 при норме  $1280 \pm 50$  Н/мм<sup>2</sup>.

6. После проведения испытаний на индукционной установке и моделирования индукционного нагрева можно утверждать, что замена электроконтактного нагрева индукционным является целесообразной задачей. Падение прочности при спекании медно-цинкового покрытия в ходе испытания составило от 4 до 22 Н/мм<sup>2</sup>, что является допустимым значением согласно требованиям, предъявляемым к латунированной заготовке.

#### Список литературы

1. *Металлургические и металловедческие аспекты производства высокоуглеродистой катанки: монография* / А.Б. Сычков, М.А. Жигарев, А.Ю. Столяров, М.А. Шекшеев, С.Ю. Жукова, С.О. Малашкин. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. 257 с.

2. Формирование оптимальной структуры в высокоуглеродистой катанке / В.В. Парусов, А.Б. Сычков, М.А. Жигарев, А.В. Перчаткин // *Сталь*. 2005. № 1. С. 82-85.
3. Парусов В.В., Сычков А.Б., Парусов Э.В. Теоретические и технологические основы производства высокоэффективных видов катанки: монография. Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2012. 372 с.
4. Алексеев Ю.Г., Кувалдин Н.А. Металлокорд для автошин: монография. М.: Металлургия, 1992. 192 с.
5. Белалов Х.Н. Формирование свойств канатной проволоки // *Стальные канаты: сб. науч. трудов*. Одесса: Астропринт, 2001. С. 105–116.
6. Красильников Л.А. Цинкование, лужение и латунирование стальной проволоки: монография. М.: Металлургия, 1967. 212 с.
7. Савенок А.Н., Веденеев А.В. Новые направления развития производства металлокорда // *Сталь*. 2004. №10. С. 60–61.
8. Романов Д.И. Электроконтактный нагрев металлов. 2 изд. М.: Машиностроение, 1981. 168 с.
9. Бабат Г.И. Индукционный нагрев металлов и его промышленное применение. 2 изд. М.; Л., 1965. 552 с.

УДК 621.791.927.55

**А.Н. Емелюшин, С.П. Нефедьев, М.А. Шекшеев, Н.Ю. Абарович**  
Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

### **ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВАЯ НАПЛАВКА ПОКРЫТИЯ ИЗ ХРОМИСТОГО ЧУГУНА**

Упрочняющая наплавка деталей горных машин и металлургического оборудования сопряжена с определёнными технологическими трудностями. В первую очередь это связано с чрезмерной склонностью наплавленных изделий к трещинообразованию из-за высоких напряжений, возникающих в высоколегированном наплавленном металле и зоне сплавления с металлом основы. Стремясь избежать трещинообразования, наплавку проводят при повышенных значениях силы тока и, соответственно, при максимальном

проплавлении металла основы. Часто это позволяет уменьшить градиент химического состава в зоне сплавления и за счёт этого снизить опасность возникновения трещин. Однако это приводит к сильному подмешиванию металла основы в наплавленный металл и снижению эксплуатационных свойств наплавленного покрытия.

Плазменно-порошковая наплавка износостойких покрытий двухдуговым плазмотроном позволяет исключить вероятность трещинообразования наплавленного покрытия благодаря эффективному расходованию мощности плазменной дуги на образование сварочной ванны, при минимальном проплавлении подложки, что обеспечивает заданный состав наплавленного металла уже в первом наплавленном слое [1]. Формирование аустенитной прослойки в зоне сплавления приводит к образованию слоистого композиционного покрытия [2], что способствует повышению механических свойств зоны сплавления. Однако минимальное подмешивание основного металла в наплавленный даже на оптимальных режимах наплавки всё же неизбежно [3], что приводит к образованию в узкой промежуточной зоне нового переходного сплава усреднённого состава в соответствии с долей участия основного и присадочного материалов.

В данной работе плазменно-порошковую наплавку производили двухдуговым плазмотроном с максимальной силой тока косвенной дуги 40 А. Присадочным материалом являлись порошки типа 250X15Г20С и 250X18ФЗ [4]. Такие составы были выбраны потому, что легированные хромистые чугуны имеют высокие эксплуатационные свойства в условиях абразивного изнашивания [5-8].

Наплавку производили на образцы из стали 45 с силой тока импульса 120 и 180 А.

Согласно [4, 5] при повышении силы тока с 120 до 180 А, при прочих равных параметрах наплавки, доля участия основного металла в наплавленном повышается с 3 до 12%. При этом зона сплавления является наиболее чувствительной к подмешиванию металла основы. Микроструктура зоны сплавления наиболее чувствительна к режимам наплавки и дополнительным технологическим воздействиям и, как следствие, является показателем степени участия основного металла в наплавленном.

При наплавке порошка типа 315X19ФЗ при токе 120 А в средней части наплавленного металла формируется структура эвтектического типа (рис. 1).



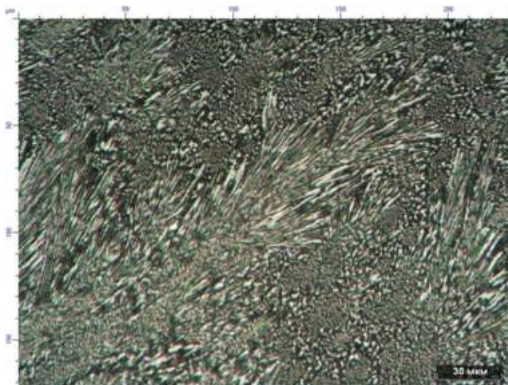


Рис. 1. Микроструктура покрытия, наплавленного на токе 120 А, x500

Наблюдающееся совпадение относительной интенсивности линий матрицы и табличных значений интенсивностей линий для  $\gamma$ -железа позволяет заключить, что матрица наплавленного металла представляет собой аустенит [9]. В объёме аустенитной матрицы равномерно распределена карбидная фаза. Присутствуют частицы характерной для первичного карбида хрома  $M_7C_3$  карандашной формы, а также веерообразная эвтектика на базе карбида  $M_7C_3$  микротвёрдостью 9400 МПа.

Данные металлографического анализа свидетельствуют о наличии светлых частиц скруглённой формы, располагающихся в зоне сплавления и нижней части средней зоны покрытия. Частицы, обладающие схожим строением, обнаруживаются и в металле подложки, расположены вдоль линии сплавления (рис. 2). Микротвёрдость частиц, расположенных в наплавленном металле, составляет 13000 МПа, а расположенных в металле подложки – 12200 МПа. Данные рентгеноструктурного анализа, измерения микротвёрдости и металлографические исследования позволяют заключить, что светлыми частицами округлой формы в зоне сплавления и нижней части средней зоны покрытия является цементит [6].

Можно предположить, что при проплавлении подложки дугой сварочная ванна образуется за счёт частиц присадочного порошка, а также ферритных и перлитных зёрен, находящихся вдоль линии сплавления. При этом цементитные пластинки перлита не успевают раствориться в жидкой фазе сварочной ванны, а лишь коагулируют и всплывают на некоторую высоту, оставаясь в наплавлен-

ном металле. Отсутствие металлографически различимых коагулированных частиц цементита в средней зоне наплавленного металла подтверждает предположение о попадании цементита в покрытие из металла подложки, так как высвободившийся из оплавленных перлитных зёрен цементит по мере перемешивания в средней части покрытия растворяется и становится металлографически неразличимым. Наличие цементита негативно сказывается на износостойкости и эксплуатационных свойствах покрытия, поэтому необходимо обеспечить режимы наплавки, при которых подмешивание металла подложки будет минимальным.



Рис. 2. Цементитные частицы в металле подложки,  $\times 1000$

Наплавка порошка типа 315Х19Ф3 при общем токе 180 А приводит к формированию доэвтектической структуры покрытия, взамен эвтектической, образующейся при наплавке на токе 120 А. Это объясняется как меньшими коэффициентами перехода [4] легирующих элементов, таких как углерод и хром, так и значительным перегревом сварочной ванны и меньшей скоростью её кристаллизации, вследствие чего кристаллизация покрытия сдвигается по тальвегу в сторону доэвтектических структур [7,8].

Повышение давления дуги при наплавке на токе 180 А приводит к сильному проплавлению металла основы и подмешиванию его в наплавленный металл. В результате в зоне сплавления со стороны наплавленного металла на расстоянии 2–4 мкм от подложки образуется прослойка мартенсита, расположенного на границах и в центре кристаллитов, имеющих дендритное строение. Наличие мартенсита в зоне сплавления предопределяет склонность такого покрытия к трещинообразованию. В центральной части наплавленного металла формируется структура доэвтектиче-

ского типа. Дендриты аустенита расположены хаотично, отсутствует общее направление роста, что свидетельствует о высокой степени перегрева центральной части сварочной ванны и низкой скорости её кристаллизации. В междендритном пространстве расположена аустенитно-карбидная эвтектика пластинчатого строения, образованная на базе карбида хрома типа  $M_7C_3$ .

#### Список литературы

1. Сидоров А.И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой. М.: Машиностроение, 1987. 192 с.
2. Тушинский Л.И., Плохов А.В. Исследование структуры и физико-химических свойств покрытий. Новосибирск: Наука, 1986. 324 с.
3. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / под ред. акад. Б.Е. Патона. М.: Машиностроение, 1974. 768 с.
4. Формирование структуры и свойств зоны сплавления при плазменно-порошковой наплавке покрытия типа 250X15Г20С / А.Н. Емелюшин, Е.В. Петроченко, С.П. Нефедьев, А.Н. Морозов // Вестник Магнитогорского технического университета им. Г.И. Носова. 2011. № 3. С. 70-73.
5. Исследование структуры и ударно-абразивной износостойкости покрытий системы Fe-C-Cr-Mn-Si, дополнительно легированных азотом / А.Н. Емелюшин, Е.В. Петроченко, С.П. Нефедьев // Сварочное производство. 2011. № 10. С. 18-22.
6. Сравнение структуры и свойств литых и наплавленных износостойких материалов / А.Н. Емелюшин, Е.В. Петроченко, С.П. Нефедьев // Литейные процессы: межрегион. сб. науч. трудов / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. С. 141–145.
7. Специальные чугуны. Литье, термическая обработка, механические свойства: учеб. пособие / В.М. Колокольцев, Е.В. Петроченко, В.П. Соловьев, С.В. Цибров; под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. 187 с.
8. Комплексно-легированные белые чугуны функционального назначения в литом и термообработанном состояниях / Э.Х. Ри, В.М. Колокольцев, Е.В. Петроченко и др. Владивосток. Дальнаука, 2006. 275 с.
9. Рентгенографический и электронно-оптический анализ / С.С. Горелик, Л.Н. Расторгуев, Ю.А. Скаков. М.: Машиностроение, 1991.

## Раздел 3

## СПЕЦИАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ ЛИТЬЯ

УДК 621.74, 669.1

**Е. Ф. Шайхутдинова, Р. М. Янбаев**

Казанский национальный исследовательский  
технический университет им. А. Н. Туполева – КАИ

**Р. Х. Храмченкова, А. Г. Ситдинов, А. В. Беляев**

Институт археологии им. А. Х. Халикова Академии наук  
Республики Татарстан

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО ИЗЛОМА ОБРАЗЦОВ  
ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗДЕЛИЙ  
ЧУГУНОЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА  
ВОЛЖСКОЙ БУЛГАРИИ (14–15 вв.)**

Территория Среднего Поволжья начала II тысячелетия характеризовалась высокой концентрацией заселенности. Об интенсивности развития экономики того периода свидетельствуют многочисленные археологические находки. Основой экономики того времени, наряду с земледелием и животноводством, составляло ремесленное производство. К числу основных его видов можно отнести металлургию и металлообработку [1].

Исследованные археологические артефакты служат доказательством того, что многие изделия были произведены на месте их обнаружения. Однако открытым остается вопрос об рудных источниках и процессе технологического производства. Поэтому основной нерешенной научной проблемой остается выявление сырьевых источников и реконструкция технологии чугунолитейного производства.

Все объекты обнаружены в результате археологических раскопок на территории Болгарского государственного историко-архитектурного музея-заповедника (Болгар, Республика Татарстан, Россия). Чугунные котлы, с которых был взяты образцы на анализ,

относятся к позднезолотоордынскому периоду, 30-е годы 14 в. до 1431 г.

Образцы представляют собой кусочки металла примерно 2,0×1,0 см, полученные путем отлома от исходных стенок котла. Толщина образцов варьируется от 0,5 до 2,0 см.

Исследования проводились на изломе образца с помощью сканирующей автоэмиссионной электронной микроскопии Merlin в Междисциплинарном центре «Аналитическая микроскопия» Казанского (Приволжского) федерального университета.

Проведенные исследования показали, что все образцы содержат избыточное количество углерода, что свидетельствует о его передельном характере чугуна. Причем содержание углерода сильно варьируется по площади исследования. Например, в образце № 33 диапазон его содержания от 4,40 до 15,79% (см. таблицу).

Распределение углерода в образце №33

Участок образца	Содержание С, %
33-1	13,07
33-2	15,13
33-3	4,40
33-4	4,61
33-5	15,79

Структура чугуна на всех образцах не однородна и содержит: белый чугун эвтектического и заэвтектического типа (рис. 1); избыточный углерод и серый чугун с пластинчатым графитом (рис. 2).

Наблюдается сильная ликвация микропримесей чугуна. Практически во всех образцах присутствует алюминий и кремний. Содержание фосфора и серы также варьируется в широких пределах. Кроме этого, в корродированной части образцов найдены такие химические элементы, как кислород, калий, натрий, кальций и хлор.

Выявлена как мелкокристаллическая, так и дендритная структура. Зерна имеют пластинчатую, игольчатую и сферическую форму. На отдельных образцах обнаружены пустые каналы, имеющие вероятно графитовую природу образования.

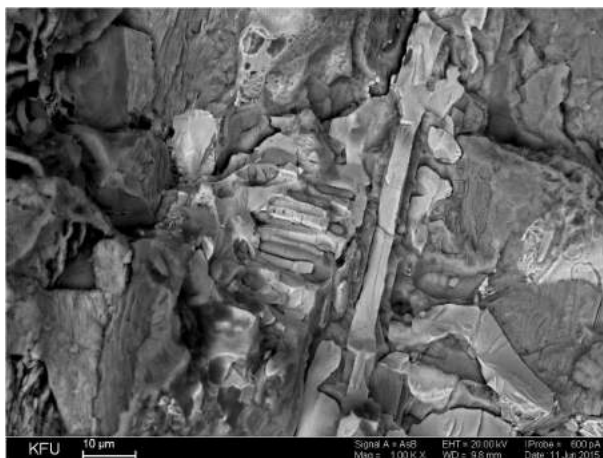


Рис. 1. Общий снимок микроструктуры излома образца №33

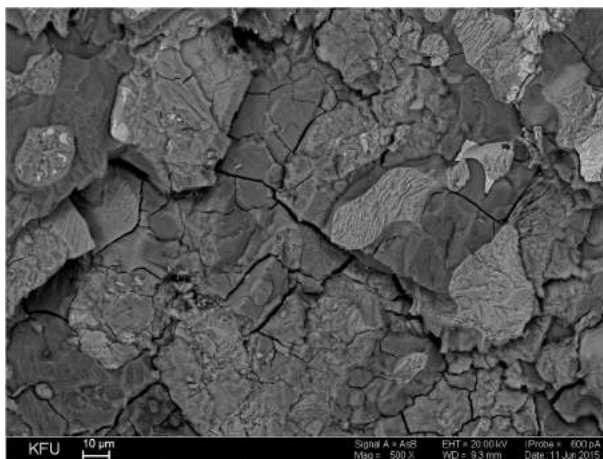


Рис. 2. Общий снимок микроструктуры излома образца №33

Исследование морфологии поверхности излома выявило 2 типа растрескивания образцов: радиальное распространение трещин и образование трещин на границах зерен.

На изломе образца №42 обнаружено большое скопление газовой пористости (рис. 3). Почти на всех образцах наблюдаются усадочные поры или следы усадочных процессов.



Рис. 3. Пористость в образце №42 (макроснимок)

Образцы имеют разную степень коррозии и механизмы ее распространения.

В отличие от чугунной посуды, найденной на территории Юга России и Южного Урала [2], болгарские котлы имеют большое содержание углерода и соответственно большое количество графитовых образований в структуре. Структура котлов с Болгарского городища характеризуется большим содержанием феррита и меньшим содержанием цементита и перлита. Также отличительной особенностью данных котлов является содержание алюминия в химическом составе.

Вероятнее всего заливка расплавленного металла производилась в глину с крупнозернистым наполнителем. Возможно, формовка производилась по определенному шаблону из неизвестного материала. На рис. 4 приведен эскиз реконструкции литейной формы [2].

Все исследованные образцы имеют явный химический состав и структуру передельного чугуна. Крупные сферообразные образования, выявленные на изломе, могут свидетельствовать об эндогенной природе кристаллизации. Наблюдается сильная ликвация химического состава чугуна. Структура имеет хаотический характер. Все это свидетельствует о явно несовершенной технологии производства чугуна и отливок из него. Котлы из данного материала вероятно были очень хрупкими. Что косвенно подтвер-

ждается большим объемом осколков в общей массе найденных артефактов из чугуна.

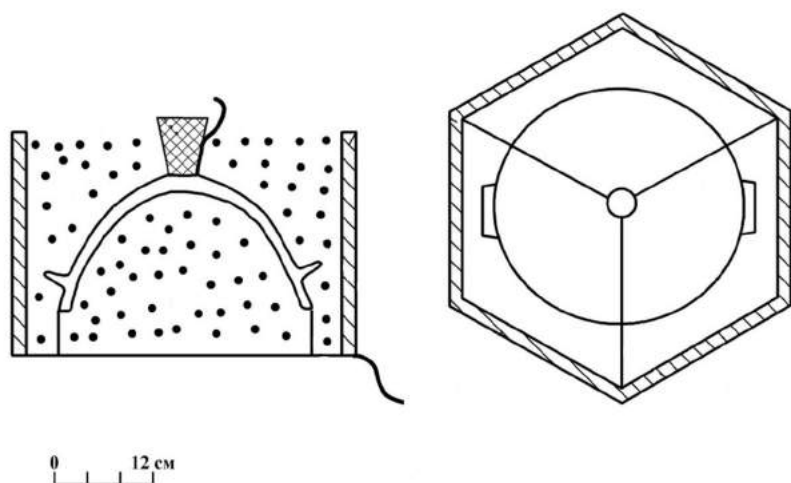


Рис. 4. Реконструкция литейной формы для отливки котла болгарского типа

Присутствие алюминия и кремния подтверждает догадку археологов об использовании местной железосодержащей руды – глинистых железняков. Помимо этого, присутствие данных элементов можно объяснить использованием алюмосиликатов в качестве флюсов. Содержание в отдельных образцах микроэлементов титана, марганца, магния, никеля, вероятно, обусловлено тем, что в руду или при переплаве сырцового железа добавлялся стальной или чугунный лом.

Значительное растрескивание радиального характера нескольких образцов свидетельствует о длительных значительных термопеременных нагрузках, которые могли сопровождаться отжигоподобными фазовыми превращениями. Вероятно, эти образцы являлись донной частью котла. Это также подтверждается тем, что в этих образцах обнаружены пустые графитовые каналы.

Таким образом, чугунолитейное производство Волжской Булгарии на рубеже 14–15 вв. находилось в начальной стадии и, вероятно, развивалось отдельно от остальных государств, входящих в Золотую Орду.



---

---

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

#### Список литературы

1. Город Болгар: Ремесло металлургов, кузнецов, литейщиков. Казань, 1996. 300 с.
2. Рязанов С.В. Чугунолитейное ремесло в Золотой Орде // Известия Алтайского государственного университета. 2008. № 4/2. С. 159-168.

## Раздел 4

## САПР В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

УДК 621.882.64:001.891.57

**К.Н. Вдовин, Н.А. Феоктистов, М.В. Овчинникова**Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова**МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ НАПРЯЖЕНИЙ  
АНКЕРНОГО СКРЕПЛЕНИЯ РЕЛЬС**

Анкерные рельсовые крепления предназначены для использования на бесстыковом пути грузонапряженных линий железных дорог, в том числе высокоскоростных магистралях и метрополитенах.

Для стабильной работы и безопасности движения поездов анкерные рельсовые крепления практически не нуждаются в дополнительном обслуживании на всем протяжении срока службы и обеспечивают необходимую силу прижатия подошвы рельса к основанию.

Анкер устанавливается в железобетонную анкерную шпалу и служит для прикрепления подошвы рельса в узле крепления. От качества и надежности рельсовых креплений и их элементов во многом зависит устойчивость рельсовой колеи, особенно в условиях движения поездов с высокими осевыми нагрузками и скоростями [1, 2].

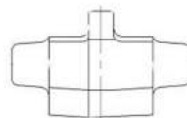
Все крепление состоит из трех деталей (рис. 1–3).



Рис. 1. Анкер



Рис. 2. Клемма

Рис. 3. Монорегулятор  
пружинная

**Нижняя часть анкера заливается бетонной смесью в шпалу. В верхней части устанавливаются по клемме и монорегулятору с каждой стороны.** Усилие прижатия подошвы рельса, передаваемое монорегулятором на клемму, а соответственно и на рельс, зависит от позиции установки монорегулятора, который создает контактное давление величиной 5 кН в анкере. Поэтому анкер и монорегулятор нужно изготавливать из высокопрочных сплавов, чтобы избежать деформаций при установке крепления, от которого зависит надежность рельсовой колеи при действующих на нее нагрузках.

ANSYS — универсальная программная система конечно-элементного анализа, служит для решения линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твёрдого тела и механики конструкций, включая нестационарные геометрически и физически нелинейные задачи контактного взаимодействия элементов конструкций, задач механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, а также механики связанных полей. Моделирование и анализ в некоторых областях промышленности позволяет избежать дорогостоящих и длительных циклов разработки типа «проектирование – изготовление – испытания». Многоцелевая направленность программы позволяет использовать одну и ту же модель для решения таких связанных задач.

В этой программе промоделируем составные части крепления – анкер и монорегулятор из высокопрочных сплавов стали марки 20 Г и чугуна марки Вч – 40.

В программном модуле Statis Structural импортируем модели анкера и монорегулятора, в модуле Workbench строим сеточные модели деталей, с помощью которых будет производиться расчет напряжений на интересующих нас поверхностях данных деталей.

На железной дороге принято использовать детали, производимые из марок стали, преимущественно Ст 20 Г, которая не является дешевой. Предел прочности этой стали 390 МПа. Вполне возможно в анкере и монорегуляторе использовать более дешевый материал, например ВЧ – 40, который не только имеет предел прочности 400 МПа, но некоторое относительное удлинение 15%. Чтобы убедиться в возможности применения этого чугуна, проведем расчет с помощью программы ANSYS. Для сохранения идентичности методики расчета сначала проведем их на Ст 20 Г, а затем на чугуне.

Результаты расчетов напряженного состояния анкера и монорегулятора, производимых из марки высокопрочной стали Ст 20 Г, приведены на рис. 4, 5.

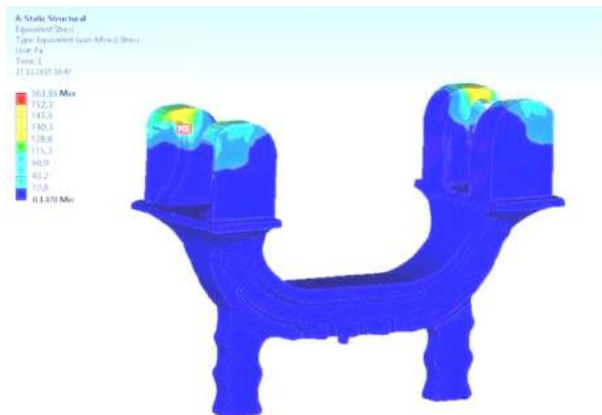


Рис. 4. Результаты расчета напряжений анкера из Ст 20 Г

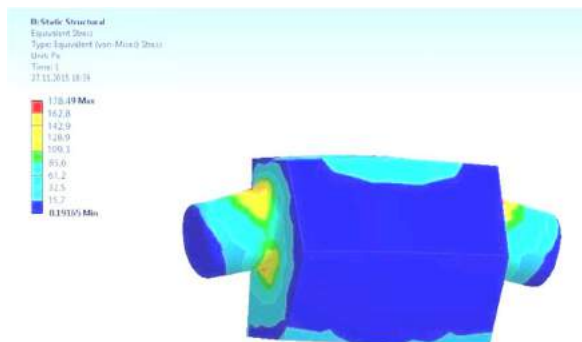


Рис. 5. Результаты расчета напряжений монорегулятора из Ст 20 Г

По полученным данным видно, каким образом нарастают напряжения в анкере и монорегуляторе за счет данных по шкале напряжений. Так как предел прочности высокопрочной стали намного выше результата максимума по шкале, то вполне допустимо изготовление анкера и монорегулятора из такой марки стали.

Далее рассчитаем такое же напряженное состояние деталей, производимых из высокопрочного чугуна марки ВЧ - 40 (рис. 6, 7).

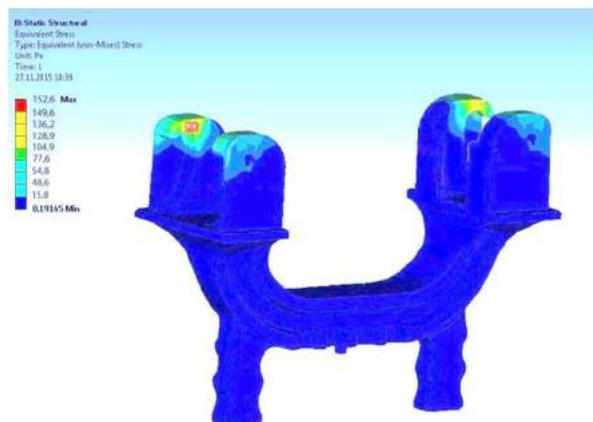


Рис. 6. Результаты расчета напряжений анкера из ВЧ – 40

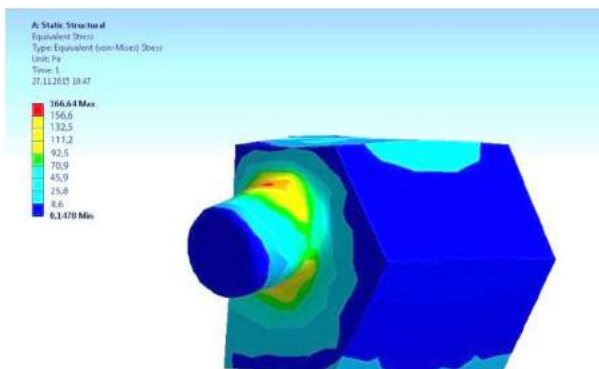


Рис. 7. Результаты расчета напряжений монорегулятора из ВЧ – 40

Расчет показывает, что целесообразно изготовление деталей крепления из высокопрочного чугуна. На максимуме напряжений не произойдет надломов и трещин деталей, потому что механическое свойство – предел прочности на разрыв у сплава ВЧ – 40 равен 400 МПа.

Программа ANSYS также допускает построение графиков результатов расчета напряжений. Там, где на анкере и монорегуляторе находятся максимумы напряжений, проводится линия, на которую результаты по эквивалентным напряжениям интерполируются с ближайших узлов сеточной модели. Таким образом, получаем график распределения напряжений (рис. 8, 9).

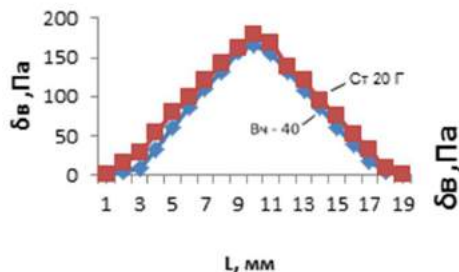


Рис. 8. График зависимости напряжений монорегулятора от длины линии

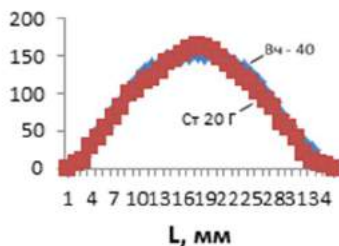


Рис. 9. График зависимости напряжений анкера от длины линии

Предел прочности высокопрочной стали марки Ст 20 Г и чугуна марки Вч – 40 сходны, можем сделать вывод, что целесообразно изготавливать детали скрепления из высокопрочного чугуна, так как стоимость стали намного выше.

#### Список литературы

1. Вдовин К.Н., Овчинникова М.В. Технология литья анкерного скрепления рельс // Литейные процессы. 2014. № 13. С. 62–67.
2. Вдовин К.Н., Феоктистов Н.А., Овчинникова М.В. Моделирование литейной технологии производства отливки «анкер» // Технология металлургического производства. 2015. С.15-18.

---

---

УДК 621.74

**С.О. Матвеева**

Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИТЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

Основной проблемой получения качественных литейных изделий является грубая литейная технология. Количество бракованных отливок на стадии отработки литейной технологии варьируется от 10 до 90%. Процент брака зависит от метода литья и сложности получаемого изделия. Эта проблема решается с помощью систем компьютерного моделирования литейных процессов.

Использование математического моделирования в литейном производстве привело к созданию большого числа программ, с помощью которых решаются некоторые из поставленных перед литейщиками задач. Российские специалисты в основном используют зарубежные программы Magmasoft, SolidCast, Procast и отечественные разработки «Полигон» и LVWFlow. Российские программы находят применение на предприятиях нашей страны. Данные программы ограничены существенными упрощениями и несколькими частными случаями. Специалисты из других стран работают с программами, которые указаны в таблице.

Важной проблемой при выборе той или иной программы моделирования для отечественного использования является отсутствие достоверной информации о принципе работы с программой и отсутствие молодых специалистов в стране. Кроме того, стоимость программы также становится важным аспектом при выборе. Зарубежные программные продукты не получили большого распространения в России по причинам, указанным выше.

Программы, используемые в России, в основном отличаются по нескольким показателям:

- степень полноты факторов, учитываемых при моделировании;
- стоимость;
- методы получения;
- математические методы для решения разностных уравнений.

## Программы для моделирования литейных процессов

Название программы	Страна разработчик
Magmasoft	Германия
WinCast	Германия
Procast	Франция
QulkCast	Франция
PAM-CAST	Франция
CalcoSoft	Франция
Flow3D	США
PowerCast	США
SolidCast (AFSolid)	США
CAPCast	США
RAPID/CAST	США
AnyCasting	Корея
Vulcan	Испания
CastCAE	Финляндия
JSCast	Япония
LVMFlow (NovaFlow)	Россия, г. Ижевск
Poligon	Россия, г. Санкт-Петербург
FlowVision	Россия, г. Москва
Mavis-Flow	Англия
InteCast	Китай
AutoCAST	Индия
Castflow, Casttherm	Австралия

**Основные моменты, на которые необходимо обратить внимание при выборе программы.**

Литейные предприятия можно поделить на две группы:

- обычное литье;
- отечественное литье (детали для авиакосмической промышленности и т.д.).

Основная проблема в первом случае - неправильная технология, основанная на методе «проб и ошибок». Здесь технологу нужно определять места образования усадочных дефектов, выявлять причины их образования и т.д. Все литейные программы могут выполнять такие задачи. Единственное требование – большая производительность, потому что решать поставленные задачи необходимо в короткие сроки (1–2 дня).

При изготовлении отечественных отливок необходимо устранить незначительные усадочные пористости, которые видно



только на рентгеновских снимках. С такими задачами справляются лишь некоторые программы. Технологию необходима не одна неделя для получения качественной отливки.

Рассмотрим принципиальное отличие программ – математический метод для решения разностных уравнений. Есть несколько методов, к ним относится метод конечных разностей, метод конечных элементов, метод контрольных объемов.

*Метод конечных разностей* применяется в следующих программах: Magmasoft, SolidCast, CastCAE, JSCAST, AnyCasting и др. Этот метод позволяет в короткие сроки получить распределение усадочных дефектов в разрабатываемой отливке и исправить технологию в нужное время.

Данный математический метод не справляется в случае тонкостенных отливок, поэтому такие программы не подходят для устранения усадочной пористости в отливках отечественного назначения. Тонкостенные отливки – отливки, у которых толщина стенок сравнима с шагом сетки. Разбиение начальной геометрической модели осуществляется с помощью наложения прямоугольной сетки с одинаковым шагом, что приводит к быстрому увеличению числа расчетных ячеек при получении тонкостенных отливок больших габаритных размеров. Современные ЭВМ легко и быстро работают даже с очень «мелким разбиением» и могут использовать такие программы.

*Метод конечных элементов*, используемый в таких программах, как Полигон, ProCast, WinCast т.д., позволяет максимально учесть геометрию отливки и обнаружить самые небольшие дефекты. Сложность применения метода конечных элементов заключается в подготовке начальных данных для проведения компьютерного моделирования, которая занимает несколько дней или недель на один расчет. Связано это с разбиением исходной геометрической модели отливки на конечные элементы (обычно тетраэдры). Встроенные генераторы сеточной модели в программах делают большие погрешности. Проблема устраняется использованием внешнего генератора сетки конечных элементов, из-за чего и дорожает приобретаемое программное обеспечение, увеличивается время работы, а также требует от персонала высокой квалификации. По этой причине массовое распространение литейные программы, использующие МКЭ, в России не получили.

*Метод контрольных объемов* применяется в программах Flow-3D, LVMFlow), сочетает в себе простоту и факторизацию МКР, хорошую аппроксимацию границ между разными материала-

ми и различными фазами. Что в свою очередь помогает проводить моделирование быстро, не потеряв при этом точность расчетов. LVMFlow – единственная полноценная литейная программа, использующая данный метод. Ее отличительной чертой является возможность моделирования заполнения полости формы расплавом. Программу можно использовать для моделирования литья по выплавляемым моделям, литье под давлением и т.д. В ней предусмотрено моделирование многократного применения формы. Flow-3D также использует метод контрольных объемов и является лидером для расчета гидродинамических задач. Однако данная программа изначально не является литейной, поэтому редко применяется при решении литейных задач.

Уровень цен на такие программы колеблется от 10 до 120 тыс. долл. за 1 рабочее место. Кроме этого необходима подписка на обновления, которая может стоить до 20% от стоимости программы. В каждой программе есть база данных теплофизических свойств материалов и сплавов. Эти базы отличаются у зарубежных и отечественных программ, что затрудняет производство.

Наиболее подходящими для использования на отечественном производстве являются корейская программа AnyCasting, американская SolidCast и российская LVMFlow версии 2.92. LVMFlow побеждает все указанные программы по возможностям, так как у нее русский интерфейс и отечественная база данных. Кроме того, LVMFlow в несколько раз дешевле зарубежных программ. Основные преимущества LVMFlow:

- простота в использовании;
- отечественная разработка;
- высочайшая скорость моделирования;
- учтены пожелания отечественных производителей;
- большой спектр возможностей;
- низкая стоимость.

Для получения оптимального результата, хорошей скорости производства и точности получаемых результатов необходимо использовать комплекс программ либо отечественную программу LVMFlow.

#### Список литературы

1. Вольнов И.Н. Системы автоматизированного моделирования литейных процессов – состояние, проблемы, перспективы // Литейщик России. 2007. №6. С.14-17.

2. [http://ironcast.ru/chugun/modelirovanie\\_litejnih\\_processov\\_na\\_jevm\\_v\\_celjah\\_otrabotki\\_tehnologii](http://ironcast.ru/chugun/modelirovanie_litejnih_processov_na_jevm_v_celjah_otrabotki_tehnologii)
3. <http://www.ruscastings.ru/work/168/2130/2984/6158>
4. <http://www.castsoft.ru/Articles/A08.htm>

УДК 621.74

**Л.Б. Долгополова**

Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

**И.Х. Тухватулин**

ОАО «Кушвинский завод прокатных валков»

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Литейное производство – сложный многофункциональный процесс, на конечный результат которого влияет много факторов. Большое значение имеет прогнозирование физико-механических свойств отливки в зависимости от изменения химического состава сплава и поиск оптимального химического состава при заданных механических свойствах. С целью достижения решений заданных задач эффективным решением является использование для прогнозирования программных имитаторов нейронных сетей. Нейросетевой метод – примитивный аналог биологических нейронных сетей. Используя этот метод, можно прогнозировать свойства сплава по заданному химическому составу и оптимизировать состав сплава по свойствам и, что немаловажно в настоящее время, по стоимости.

Для решения поставленных задач можно использовать несколько различных нейросетевых алгоритмов. Наиболее эффективными и чаще всего используемыми являются методы самостоятельной адаптации [1–4], которые могут приспосабливаться к изменяющимся сложным системам.

Для литейного производства наиболее перспективен алгоритм обратного распространения ошибки, или двойственного

функционирования [5–7]. Этот алгоритм показал хорошие результаты в решении задач на прогнозирование, и программное обеспечение на базе этого алгоритма достаточно доступно.

Нейросети, использующие алгоритм двойственного функционирования, как правило, многослойны (между первым и последним слоями нейронов находятся скрытые), и при обучении информация последовательно пропускается через слои. Полученные на выходе ошибки «прогоняются» через нейросеть в обратном направлении и выходные сигналы корректируются [5, 8].

Достоинство идеи обратного распространения состоит в том, что она позволяет оценить ошибки для нейронов скрытых слоев. Известные ошибки, делаемые нейронами выходного слоя, возникают вследствие неизвестных пока ошибок нейронов скрытых слоев. Чем больше значение синаптической связи между нейроном скрытого слоя и выходным нейроном, тем сильнее ошибка первого влияет на ошибку второго. Следовательно, оценку ошибки элементов скрытых слоев можно получить, как взвешенную сумму ошибок последующих слоев. При обучении информация распространяется от низших слоев к высшим, а оценки ошибок, делаемые сетью, – в обратном направлении, что и отражено в названии метода [8].

Алгоритм двойственного функционирования описывают следующие уравнения [20]:

Функционирование нейронов нейросети

$$\alpha_i^{k+1} = \rho_i^k / (a + |\rho_i^k|), \quad \rho_i^k = \sum_j x_{ij} \alpha_j^k + A_i^k,$$

где  $\alpha_i$  – состояние выходных нейронов (выходные данные);

$k$  – номер такта функционирования нейросети;

$i$  – номер нейрона;

$a$  – константа;

$\alpha_j$  – состояния других нейронов;

$x_{ij}$  – веса межнейронных связей;

$A_i$  – состояние входов нейросети (исходные данные);

$j$  – номер входа нейрона.

Правило модификации весов связей при обучении сети

$$x_{ij}^{m+1} = x_{ij}^m + \Delta x_{ij}^m \Delta t,$$

где  $m$  – номер цикла адаптации;

$\Delta t$  – шаг модификации;

$$\Delta x_{ij}^m = - \sum_{k=0}^P \Delta_i^k \alpha_j^k,$$

где  $\Delta_i$  для всех  $k$  вычисляется как

$$\Delta_i^{k-1} = \left( \sum_j x_{ji} \Delta_j^k + \frac{\partial H}{\partial \alpha_i^k} \right) \left( 1 - |\alpha_i^k| \right)^2 / a.$$

Целевая функция для нейронной сети

$$H = \frac{1}{2} \sum_{i,k} (\alpha_i^k - \delta_i^k)^2,$$

где  $\delta_i^k$  – требуемое состояние нейрона.

Описанная процедура является итерационной и прекращается по достижении требуемой точности решения задачи или по истечении времени, выделенного на обучение нейросети.

Для построения нейросетевой аналитической модели сплава, которая включала бы в себя химический состав, комплекс заданных свойств и стоимостную оценку получения металла, необходима база данных, которая формируется на основе своих экспериментальных данных или выбирается из базы других исследователей с привязкой к исследуемым условиям. По базе строится нейросетевая аналитическая модель, далее по прогнозам можно построить графики, например, влияния химических свойств на различные физико-механические свойства. По модели возможна оптимизация сплава по свойствам или по стоимости.

Рассмотрим использование нейросетевого метода анализа при исследовании стали комплекса С-Mn-Ni-Cr-Ti-Mo-V. Для проведения исследований был спланирован дробный факторный эксперимент  $2^{7-4}$ . Условия планирования и матрица планирования эксперимента приведены в табл. 1, 2.

Полученные составы были выплавлены и испытаны на износостойкость (табл. 3).

Таблица 1

## Условия планирования эксперимента

Уровень	Факторы						
	C	Mn	Cr	Ni	Ti	V	Mo
Основной	0,95	8,0	2,0	3,0	0,15	0,15	0,35
Интервал варьирования	0,25	2,0	1,0	1,0	0,05	0,05	0,15
Верхний	1,20	10,0	3,0	4,0	0,20	0,20	0,50
Нижний	0,70	6,0	1,0	2,0	0,10	0,10	0,20

Таблица 2

Матрица планирования ДФЭ 2<sup>7-4</sup>

Номер опыта	Интервалы варьирования, для факторов						
	C (X <sub>1</sub> )	Mn (X <sub>2</sub> )	Cr (X <sub>3</sub> )	Ni (X <sub>4</sub> )	Ti (X <sub>5</sub> )	V (X <sub>6</sub> )	Mo (X <sub>7</sub> )
1	0,7 (-1)	6,0 (-1)	3,0 (+1)	4,0 (+1)	0,1 (-1)	0,1 (-1)	0,5 (+1)
2	0,7 (-1)	10,0 (+1)	3,0 (+1)	2,0 (-1)	0,1 (-1)	0,2 (+1)	0,2 (-1)
3	1,2 (+1)	10,0 (+1)	3,0 (+1)	4,0 (+1)	0,2 (+1)	0,2 (+1)	0,5 (+1)
4	1,2 (+1)	6,0 (-1)	3,0 (+1)	2,0 (-1)	0,2 (+1)	0,1 (-1)	0,2 (-1)
5	0,7 (-1)	6,0 (-1)	1,0 (-1)	4,0 (+1)	0,2 (+1)	0,2 (+1)	0,2 (-1)
6	0,7 (-1)	10,0 (+1)	1,0 (-1)	2,0 (-1)	0,2 (+1)	0,1 (-1)	0,5 (+1)
7	1,2 (+1)	10,0 (+1)	1,0 (-1)	4,0 (+1)	0,1 (-1)	0,1 (-1)	0,2 (-1)
8	1,2 (+1)	6,0 (-1)	1,0 (-1)	2,0 (-1)	0,1 (-1)	0,2 (+1)	0,5 (+1)

Таблица 3

## Результаты эксперимента

Номер опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
$K_{и}$	1,30	1,40	2,00	1,60	1,50	1,40	1,30	1,35

Для оценки степени влияния химических элементов на свойства стали были выбраны уравнения

$$y = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + \dots + a_n \cdot X_n,$$

где  $y$  – описываемое свойство;

$X_1, X_2, \dots, X_n$  – химические элементы;

$a_0, a_1, \dots, a_n$  – коэффициенты уравнения.

При обработке результатов эксперимента была получена зависимость

$$K_{и} = 1,48 + 0,08 \cdot X_1 + 0,04 \cdot X_2 + 0,09 \cdot X_3 + 0,04 \cdot X_4 + 0,14 \cdot X_5 + 0,08 \cdot X_6 + 0,03 \cdot X_7.$$

Полученные коэффициенты позволяют оценить степень влияния легирующих элементов в исследованных пределах на износостойкость (табл. 4).

Таблица 4

Степень влияния легирующих элементов на износостойкость

Свойство	Легирующий элемент						
	C	Mn	Cr	Ni	Ti	V	Mo
$K_{и}$	++	+	++	+	+++	++	+

Наряду с регрессионным анализом данных проведена нейросетевая обработка, погрешность которой находится в допустимых пределах.

Знак влияния каждого из элементов на свойства установлен путем изменения его содержания при постоянных концентрациях других элементов. Элементы выстроены в следующие ряды влияния на каждое свойство (в порядке усиления влияния):

$$K_{и}: \quad Mo \rightarrow Mn \rightarrow Ni \rightarrow C \rightarrow V \rightarrow Cr \rightarrow Ti \\ 0,024 \quad 0,0434 \quad 0,0435 \quad 0,140 \quad 0,141 \quad 0,185 \quad 0,424$$

Результаты нейросетевой обработки по влиянию элементов на свойства стали полностью совпадают с результатами регрессионного анализа.

В то же время нейросеть позволяет более дифференцированно оценивать степень влияния элементов на свойства и расставлять их в ряды влияния. Эти ряды можно использовать для выбора легирующего комплекса при разработке сплавов. Например, как видно по построенным рядам, для получения износостойкой стали следует выбрать комплекс Ti–Cr–V–C.

#### Список литературы

1. Басканова Т.Ф., Ланкин Ю.П. Алгоритмы самостоятельной адаптации для нейронных сетей. Препринт ТО № 5 Института биофизики СО РАН. Теоротдел. Красноярск, 1998. 14 с.
2. Ланкин Ю.П. Самоадаптирующиеся нейронные сети. Препринт ТО № 3 Института биофизики СО РАН. Теоротдел. Красноярск, 1997. 21 с.
3. Ланкин Ю.П. Адаптивные сети с самостоятельной адаптацией. Препринт ТО № 4 Института биофизики СО РАН. Теоротдел. Красноярск, 1998. 17 с.
4. Ланкин Ю.П., Хлебопрос Р.Г. Нейроинформатика: самоадаптирующиеся нейронные сети в экологии (возможности сетей с поисковым поведением) // Инженерная экология. 1999. №2. С. 28-37.
5. Bartsev S. I., Okhonin V. A. Variation principle and the algorithm of dual functioning: examples of applications // Neurocomputers and attention II: connectionism and neurocomputers. Manchester and New York, 1991. P.453-458.
6. Bartsev S. I., Okhonin V. A. A self-learning neural networks playing «two coins» // Neurocomputers and attention II: connectionism and neurocomputers. Manchester and New York, 1991. P.453-458.
7. Применение нейросетей для анализа влияния химического состава на износостойкость сплавов / Тухватулин И.Х., Колокольцев В.М., Долгополова Л.Б., Ланкин Ю.П. // Междунар. науч.-практ. конференция «Прогрессивные литейные технологии»: тез. докл. М.: МГИСиС, 2000. С.187-188.
8. Оптимизация состава износостойких сплавов с помощью нейросетей / И.Х. Тухватулин, Л.Б. Долгополова, В.М. Колокольцев, Ю.П. Ланкин // Литейные процессы: межрегион. сб. науч. тр. Магнитогорск: МГТУ, 2000. С. 40-43.
9. Выбор легирующих комплексов для разработки износостойких сталей с помощью нейросетей / Миляев А.Ф., Тухватулин И.Х., Долгополова Л.Б., Ланкин Ю.П. // Теория и технология метал-



- лургического производства. Вып. 2: межрегион. сб. науч. тр. Магнитогорск: МГТУ, 2001. С. 188-196.
10. Тухватулин И.Х., Долгополова Л.Б., Ланкин Ю.П. Применение нейросетей для изучения влияния механических свойств сталей на износостойкость // Теория и технология металлургического производства. Вып. 1: межрегион. сб. науч. тр. Магнитогорск: МГТУ, 2001. С. 118-120.
  11. Разработка сплавов с заданными свойствами с помощью нейросетевой экспертной системы / И.Х. Тухватулин, Ю.П. Ланкин, В.М. Колокольцев, Л.Б. Долгополова // Материалы 15-й Ежегодной Международной научно-технической конференции «Прогрессивные технологии в машиностроении». Киев, 2000. С. 251-252.
  12. Металловедческая нейросетевая экспертная система для оценки свойств сплавов и выдачи практических рекомендаций / Тухватулин И.Х., Колокольцев В.М., Долгополова Л.Б., Ланкин Ю.П. // Литейное производство, 2000. № 3. С. 6-8.
  13. Решение обратной металлургической задачи прогноза химического состава сплавов на нейросетевой экспертной системе / Ланкин Ю.П., Тухватулин И.Х., Колокольцев В.М., Долгополова Л.Б. // VII Всероссийская конференция «Нейрокомпьютеры и их применение» с международным участием "НКП-2001". М.: ИПРЖР, 2001. С. 334-337.
  14. Миляев А.Ф., Тухватулин И.Х., Долгополова Л.Б. Моделирование и разработка составов сплавов с помощью нейросетей // Наука и производство: сб. докл. 60-й науч.-техн. конф. МГТУ-ММК по итогам научно-исследовательских работ 2000-2001 гг. Магнитогорск: МГТУ, 2001. С. 48-54.
  15. Тухватулин И.Х. Моделирование и разработка составов литейных износостойких сталей нейросетевым методом: дис. ... канд.техн.наук. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2002. 170 с.

---

---

## Раздел 5

### ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ И ЭКОНОМИКИ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

УДК 658.58:657.471

**Н.Т. Баскакова, Е.К. Чумичев, А.А. Масева**  
Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

#### К ВОПРОСУ ОРГАНИЗАЦИИ РЕМОНТНОГО ХОЗЯЙСТВА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Аутсорсинг как новая концепция построения бизнеса формирует принципиально новый взгляд на будущее не только отдельных фирм, но и предпринимательства в целом. Успех менеджмента состоит в постоянном совершенствовании компании, гибкости и адаптивности, предпринимательской инициативе и компетенции. Конкуренция на открытом рынке, где определенную роль играют уже не только соотношение цены и качества продукции, а и возможности наилучшего удовлетворения потребностей клиентов, спектр предоставляемых сопутствующих услуг, сокращение времени выхода на рынок новых товаров, обладание интеллектуальной собственностью и другие преимущества компании, заставляют менеджеров использовать новые концепции управления, которые охватывают такие понятия, как всеобщий менеджмент качества (total quality management – TQM), реинжиниринг бизнес-процессов (business reengineering – BPR), построение рациональных «тонких структур управления» (Lean management), стройное производство (Lean production), управление человеческими ресурсами (human resources management), сокращение (downsizing) и децентрализация (decentralization).

*В настоящее время* аутсорсинг рассматривается как современная методология создания высокоэффективных и конкурентоспособных организаций в условиях жесткой конкуренции трех эко-

номических центров, сложившихся к началу XXI в. в мире – США, Японии, Европы.

Основой и главной движущей силой аутсорсинга является конкуренция. В других странах предприниматели все еще не могут строить свои планы, рассчитывая на доступность сырья, материалов и/или дешевой рабочей силы. В данной ситуации не приходится уделять должного внимания снижению затрат и повышению качества обслуживания. Конкурентное преимущество достигается за счет знаний, умений и творческих решений. Эти преимущества быстро распространяются среди конкурентов.

Аутсорсинг – продукт современных тенденций развития мировой экономики, противоположных тенденциям монополизации. Это методология адаптации управления организацией к условиям рынка, позволяющая быстро входить в новый бизнес, используя все имеющиеся возможности внешней среды и ресурсы конкурентов.

Среда современного бизнеса характеризуется следующими факторами:

- ускорение изменений во внешней среде;
- изменение ожиданий потребителя;
- рост конкуренции за ресурсы;
- ускорение научно-технического прогресса;
- интернационализация и интеграция бизнеса;
- развитие и совершенствование информационных сетей и др.

Руководство предприятий все больше сталкивается с выбором между собственным производством и приобретениями со стороны («make or buy» – производить или покупать?). Этот выбор становится все более и более актуальным.

Такой подход побуждает руководство предприятия делать выбор стратегических ориентиров развития предприятия на «стратегию концентрированного роста» и «стратегию интегрированного роста». Такая философия бизнеса уже приводит к существенному разукрупнению предприятий и расширила сферу снабжения с использованием проектов аутсорсинга.

В сфере производства высокотехнологичной продукции традиционно реализуется цепочка:

ODM (original design manufacturer – разработчик изделия и/или дизайна) – OEM (original equipment manufacturer – производитель изделия, имеющего торговую марку или бренд) – SEM

(contract equipment manufacturer – контрактный производитель изделия под торговой маркой заказчика OEM).

По мнению аналитиков, аутсорсинг, в некоторой степени, синоним сокращению бизнеса, когда все усилия направлены не на развитие компетенций в каждой функции управления, а на сокращение непрофильных активов с целью удержания основных показателей деловой активности, подтверждаемой конечными финансовыми результатами и высоким уровнем рентабельности производственно- хозяйственной деятельности организации.

По данным исследования журнала Industry Week Census on Manufacturing, 54,9% американских компаний используют аутсорсинг в производстве и 43,8% – в обслуживании оборудования. В российской практике эти цифры гораздо ниже: только 10% компаний применяют аутсорсинг в целях обеспечения технического обслуживания и ремонта (ТОиР) оборудования.

Рассмотрим теоретические аспекты использования аутсорсинга при проведении ремонтных работ на металлургических предприятиях.

Сложная, многофункциональная структура металлургического предприятия или любой промышленной структуры является одной из причин для внедрения принципов аутсорсинга. Практическая реализация ремонтных работ оборудования децентрализованным методом или собственными силами путем создания ремонтных цехов и служб в самом предприятии приводит к нарушению его функционирования, увеличению штата управленческого аппарата, снижению рентабельности, уровня доходности, а значит, и конкурентоспособности организации.

**Основные цели и задачи аутсорсинга ремонтных работ на металлургических предприятиях** сводятся к следующему:

- 1) исключить непрофильный бизнес, повысить капитализацию и прозрачность ресурсов;
- 2) оптимизировать затраты на ремонтные программы;
- 3) повысить эффективность использования ресурсов (запасных частей и расходных материалов);
- 4) решить проблемы дефицита квалифицированных кадров.

Аутсорсинг позволяет предприятию-заказчику сократить издержки и значительно снизить трудоёмкость и затраты на содержание ремонтных служб, сконцентрироваться на основных бизнес-процессах предприятия, не отвлекаясь на вспомогательные бизнес-процессы.

**Основные достоинства** использования аутсорсинга ремонтных работ для предприятия-заказчика:

- оптимизация затрат на ремонтную программу;
- сокращение простоев (увеличение производительности оборудования);
- сокращение численности персонала;
- наличие гарантийных обязательств со стороны подрядчика;
- повышение качества продукции (снижение брака и беззаказной продукции из-за ненадлежащей работы оборудования);
- повышение оперативности и качества оказываемых услуг;
- индивидуальный подход к каждому сервисному объекту

**Недостатки и слабые места аутсорсинга:**

1) уровень профессионализма сотрудников аутсорсинговой компании – аутсорсера (как исполнителя, так и его руководителя) может оказаться недостаточным для выполнения работ или оказания услуг на должном уровне;

2) минимизация рычагов управляющего воздействия на ремонтный персонал может привести к снижению эффективности процессов и увеличению затрат на обслуживание;

3) наличие рисков нарушения сохранности имущества, безопасности и утечки сведений конфиденциального характера, в результате предоставления нерегулируемого доступа к документам, данным и материальным ценностям предприятия;

4) увеличение времени решения проблем в аварийных ситуациях, связанное с лишним передаточным звеном и согласованиями;

5) невысокое качество подбора работников кадровыми агентствами;

6) большая текучесть персонала;

7) выявление внештатными сотрудниками в основном только «шаблонных» ошибок, которые являются менее существенными и действенными (штатный сотрудник, за счёт рабочего общения с коллегами, способен своевременно выявлять некоторые ошибки (как ошибка в получателе корреспонденции), а иногда проинформировать клиента о новинках, при том, что внештатный обычно выявляет только «шаблонные» ошибки, которые являются менее критичными).

Переход на аутсорсинг – это не просто вывод обслуживающего персонала из структуры металлургического предприятия. Это смена философии ТО, переход на компьютерные методы контроля

состояния оборудования, планирования всех задач при осуществлении ТО и ремонтов.

Одним из наиболее ответственных моментов в процессе перехода на современную систему организации ТОиР является мониторинг оборудования и внедрение экспертных систем, позволяющих не только зафиксировать неисправность, но и предсказать возможность ее появления, а также составить прогноз развития неисправности.

**Основная идея концепции** – профессиональная поддержка на протяжении всего срока службы оборудования, включающая монтаж и ввод в эксплуатацию, компьютерный каталог запасных частей, диагностику, обучение, модернизацию и реконструкцию из одних рук.

**Бюджет сервисной службы** формируется следующим образом:

- во-первых, как годовая абонентская плата (за постоянное обслуживание оборудования), которая может корректироваться с помощью либо бонуса за хорошую работу, либо штрафа в случае увеличения простоев по вине аутсорсинговой компании.

Абонентская плата включает заработную плату сотрудников и затраты на проведение текущего техобслуживания;

- во-вторых, как плата за проведение ремонтов, величина которой зависит от сложности и объема работ. В нее также входят заработная плата сотрудников и стоимость капитальных ремонтов и запасных частей.

Текущее техобслуживание осуществляется работниками сервисной службы. В снижении затрат на ремонт играют большую роль:

1) приспособления, облегчающие выполнение физически трудных работ — передвижные краны, рольганги, приспособления для монтажа и демонтажа тяжеловесных деталей;

2) приспособления-станки, позволяющие заменить ручную обработку при ремонте нетранспортабельных деталей или таких деталей, для обработки которых нет оборудования; сюда относятся станки для обработки плоскостей, растачивания отверстий и многие другие;

3) вспомогательные приспособления, обеспечивающие удобство выполнения отдельных операций;

4) применение клеев, акрипластов, резко снижающих трудоемкость ряда работ;

5) наличие инструмента и вспомогательного инвентаря (ин-

струментальных стационарных и переносных ящиков, стеллажей, сборных стеллажей, шкафов, верстаков, сумок для инструмента при работе на высоте и т.д.);

б) наличие в цехе универсальных и универсально-сборных приспособлений, обеспечивающих быстрое выполнение попутных в процессе ремонта операций по обработке деталей.

Ремонт оборудования по возможности следует выполнять не среди действующих машин, а в ремонтных цехах или на ремонтных участках, где условия для выполнения работ более благоприятные. Ремонтные участки в цехах, не говоря уже о центральном ремонтном цехе, должны быть оборудованы производственной мебелью и оргтехоснасткой в соответствии с требованием выполняемой работы. При ремонте следует обращать внимание на узлы, создающие шум во время работы

Общий объем всех ремонтных работ, которые необходимо выполнить для восстановления технических качеств парка оборудования, зависит от многих факторов, которые могут быть объединены в следующие пять групп.

**Первая группа** объединяет факторы, относящиеся к условиям работы оборудования. К этой группе относятся:

- режимы, на которых производится обработка на нем деталей;

- размеры деталей;
- материал деталей;
- конфигурация деталей;
- твердость;
- точность обработки, требуемая от станков;
- квалификация станочников;
- качество ухода за оборудованием;
- состояние воздушной среды.

**Вторая группа** объединяет факторы, оказывающие влияние на объем ремонтных работ, которые условно можно назвать ремонтные особенности оборудования. К ним относятся:

- конструктивная и кинематическая сложность оборудования;
- класс его точности;
- особенности сборки и разборки оборудования;
- габаритные размеры и масса деталей, снимаемых и устанавливаемых при ремонте;
- общая площадь поверхностей, подвергающихся при ремонте шабрению для исправления геометрической формы или восстановления взаимного положения механизмов и деталей.

**Третью группу** составляют факторы, от которых зависит качество ремонтов и технического обслуживания оборудования. Таковыми являются:

- качество деталей, используемых для замены изношенных;
- применение при ремонте упрочняющей технологии;
- уровень технологических процессов ремонта;
- оснащенность ремонтной службы специализированным оборудованием, специальным инструментом, контрольно-поверочными и технологическими приспособлениями, способствующими высокому качеству ремонтных работ;
- квалификация ремонтного персонала;
- организация технического контроля;
- своевременность устранения дефектов оборудования (возникающих при эксплуатации), зависящая от организации технического обслуживания и применения стимулирующих повышение качества ремонтов форм оплаты труда ремонтных рабочих.

**К четвертой группе** относятся такие влияющие на объемы ремонтных работ факторы, как степень использования оборудования, т.е. сменность его работы и коэффициент загрузки.

Обобщающим показателем указанного является время, отработанное оборудованием с момента последнего ремонта, т.е. число часов, отработанное оборудованием без ремонта.

**Пятая группа** складывается из факторов, определяющих уровень производительности труда ремонтных рабочих. Таковыми являются:

- техническая вооруженность ремонтной службы;
- наличие в ремонтно-механическом цехе полного технологического комплекта оборудования;
- обеспеченность специальным инструментом, технологическими и контрольно-поверочными приспособлениями, упрощающими выполнение работ;
- степень механизации труда ремонтных рабочих;
- замена ручных ремонтных операций механической обработкой;
- применение прогрессивных технологических процессов ремонтных работ;
- уровень специализации на ремонтных работах;
- оснащенность ремонтных работ грузоподъемными механизмами и транспортными средствами;
- организация рабочего места ремонтных рабочих;
- применение рационального производственного инвентаря и оснастки;



- качество конструкторской и материальной подготовки плановых ремонтов;
- организация парка запасных частей
- применение стимулирующих форм оплаты труда ремонтных рабочих, способствующих повышению производительности труда на ремонтных работах.

Поскольку эти пять групп включают практически все факторы, влияющие на объем ремонтных работ, можно считать, что для любого парка оборудования объем ремонтных работ, которые необходимо произвести в каждый данный момент для ликвидации износа, возникающего в результате эксплуатации, определяется:

- условиями работы оборудования;
- его ремонтными особенностям;
- качеством выполнявшихся ремонтных работ и технического обслуживания;
- числом часов, отработанных каждой единицей оборудования без ремонт;
- уровнем производительности труда ремонтных рабочих.

Эта зависимость представляет собой первое основное положение, на котором базируется система периодических ремонтов оборудования. Являясь функцией указанных факторов, объем ремонтных работ подвергается изменению, т. е. может увеличиваться или уменьшаться в результате их влияния. Но характер и степень влияния приведенных факторов на величину объема ремонтных работ весьма различны. Изменение объема ремонтных работ под влиянием факторов, относящихся к условиям работы оборудования, не должно и практически не может быть сколько-нибудь значительным.

Система технического обслуживания и ремонта по фактическому техническому состоянию основывается на проведении профилактических, восстановительных и диагностических работ через интервалы времени (наработки), определенные по фактическим показателям надежности, результатам предыдущих диагностических контролей, значениям параметров оценки работоспособного состояния данного вида оборудования с учетом срока службы каждой единицы оборудования.

В системе технического обслуживания и ремонта по фактическому техническому состоянию для анализируемого предприятия производятся:

- техническое обслуживание;
- диагностический контроль, в том числе

- оперативный,
- плановый,
- неплановый;

- ремонт по фактическому состоянию в объеме текущего, среднего и капитального ремонта;  
- регламентные остановки.

Продолжительность и структура ремонтного цикла, а также периодичность ТО, диагностических контролей и ремонтов для каждого вида оборудования определяются применительно к конкретному виду оборудования.

Для технического обслуживания и ремонта по фактическому техническому состоянию по техническому состоянию обязательными являются:

- проведение диагностических обследований с оценкой работоспособности оборудования и прогнозированием дальнейшей эксплуатации;

- выполнение ремонтных работ по результатам диагностических обследований;

- ведение нормативной, исполнительной, оперативной (эксплуатационной), диагностической баз данных, формирование периодических сводок по наработке оборудования, ведение базы данных отказов, хранение в электронном виде документации по организации и выполнению ремонтных работ.

С целью выделения основных объектов, подвергаемых первоочередному обязательному контролю, диагностическому обследованию и ремонту, на анализируемом предприятии все механо-технологическое оборудование разделено на три условные категории:

**Первая категория** – оборудование, которое с точки зрения безопасной эксплуатации и по экономических показателям не может быть допущено к эксплуатации до отказа, а следовательно, переводится на систему ТОиР по техническому состоянию, включая: основное технологическое оборудование; основное энергооборудование; а также такое, как основное насосное оборудование; трубопроводы и трубопроводная арматура; системы маслоснабжения, охлаждения; системы приточной вентиляции; системы откачки утечек; система пожаротушения; промышленная канализация; при их наличии и др.

**Вторая категория** – оборудование, которое по экономическим показателям переводится на систему ТОиР по техническому состоянию по мере необходимости, например: станочное оборудо-

вание; система водоснабжения и фекальной канализации, очистные сооружения; котлы и котельно-вспомогательное оборудование, тепловые сети; компрессоры; и др.

**Третья категория** – оборудование, которое по экономическим показателям нецелесообразно переводить на систему ТОиР по техническому состоянию: емкости подземные, здания и сооружения, при обязательных обходах; водоснабжение, в случае наличия резервных емкостей запаса воды.

Как показывает опыт внедрения и использования системы технического ремонта и обслуживания по фактическому состоянию, определяемому с помощью средств диагностики, это позволяет экономить 15–30% на текущих затратах технических обслуживаний и ремонтов, в том числе за счет:

- сокращения простоев оборудования – до 20%;
- экономии затрат на материалы – до 19%;
- сокращение текущих запасов запчастей – до 17%;
- снижения количества авральных ремонтов и закупок – до 30%;
- продление срока эксплуатации оборудования на 10%.

Предлагаемый подход позволит реализовать принципы приоритетности по типам оборудования и видам работ и повысит эффективность ремонтной.

#### Список литературы

1. Филиппов А., Шакирзянов Р. Дорогие ремонты (Затраты на ТОиР оборудования в металлургии) // Металлоснабжение и сбыт. 2010. №10. С.82-85.
2. Лапун Д.П., Лускатова О.В. Оценка эффективности ТОиР // Техническое Обслуживание и Ремонт. 2014. №3. С. 5-9.
3. Совершенствование управления инновационным развитием производственных предприятий России: монография / Баскакова Н.Т., Симаков Д.Б., Пимонова Т.К., Баландина Т.А., Якобсон З.В. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. 163 с.
4. Баскакова Н.Т., Песин И.А. Совершенствование системы планирования ремонтов на основе теории ограничений // Литейные процессы. 2011. №10. С.129-135.
5. Баскакова Н.Т., Дорман В.Н. Стратегия планирования ремонтов металлургического оборудования на основе его состояния // Экономический анализ: теория и практика. 2013. №6(309). С.22-28).

6. Баскакова Н.Т., Жемчуева М.А., Куликов С.В. // Сталь. 2008. №2. С.82-84.
7. Баскакова Н.Т., Песин И.А. Концептуальные подходы в оптимизационном планировании ремонтов оборудования на металлургическом предприятии // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №1(41). С.93-96.

УДК 658.58:657.471

**Н.Т. Баскакова, Е.К. Чумичев, А.А. Масева**  
Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова

### **К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РЕМОНТНОЙ СЛУЖБЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

Весь комплекс работ, связанных с надлежащим и своевременным обслуживанием, надзором и осуществлением ремонтов оборудования, обеспечивает ремонтное хозяйство предприятия. Систематическое осуществление профилактических мероприятий ремонтного характера и проведение различных видов ремонта оборудования имеют целью поддержание его в работоспособном состоянии, отвечающем установленному уровню его производительности в заданном режиме работы.

Отсюда главной комплексной задачей ремонтного хозяйства является обеспечение эффективной и безаварийной работы производственного оборудования при наименьших затрат времени, труда и средств на выполнение операций ремонта и обслуживания. Выполнение этой задачи должно базироваться на высоком техническом уровне материальной базы ремонтного хозяйства и рациональных формах и методах организации его функционирования.

От организации процесса управления ремонтным и техническим обслуживанием оборудования в значительной степени зависит эффективность производственной системы в целом. Простой оборудования из-за ремонта и неисправности, нарушая производ-

ственный процесс, ухудшают все экономические и финансовые показатели его деятельности, а снижение точности отрицательно сказывается на качестве выпускаемой продукции. К сожалению, достижение научно-технического прогресса в основном производстве, усложнение его техники и технологии, насыщение предприятий дорогостоящим оборудованием не внесли существенных изменений в организацию ремонта и технического обслуживания на отечественных предприятиях. Затраты на ремонт основных фондов по-прежнему составляют в себестоимости продукции от 6 до 14%. В сфере ремонта занято более трети станочного парка страны. Средства, затрачиваемые на ремонт оборудования за время его эксплуатации, превышают стоимость нового оборудования более чем в 6 раз.

В экономической литературе вопросам органичного сочетания развития основного и ремонтного производства, повышению научного уровня обоснованности межремонтного обслуживания оборудования, снижению затрат на замену физически изношенных частей и устранению поломок в процессе эксплуатации уделяется серьезное внимание еще с середины 60-х годов прошлого века. Практически во всех работах обсуждались в основном две проблемы: выбор наиболее рациональной формы управления ремонтным и техническим обслуживанием оборудования и обоснования целесообразности капитальных ремонтов. В современных условиях эти проблемы не только не потеряли актуальности, но и приобрели еще большее значение.

Существуют *три формы управления ремонтным и техническим обслуживанием*: децентрализованная, смешанная и централизованная. Каждая из них имеет свои достоинства и недостатки.

**При децентрализованной форме** весь объем ремонтных работ выполняется цеховыми ремонтными базами, которые, как показала практика, не оснащены комплектом современного оборудования и инструмента для обеспечения необходимого качества ремонта. Работе ремонтных бригад при такой форме обслуживания придается второстепенное значение, что приводит к низкому уровню их организации и неэффективному использованию кадров. Однако эта форма имеет немаловажное преимущество – затраты на все виды ремонтов включаются в себестоимость по месту их выполнения, что позволяет проводить анализ этих работ в аспекте материальных и трудовых затрат.

**Смешанная форма управления**, при которой текущий ремонт и техническое обслуживание осуществляются цеховыми ремонтными базами, а капитальный – ремонтно-механическим цехом, не устраняет недостатки децентрализованной формы. Ремонтные ресурсы предприятия рассредоточены между ремонтно-механическим цехом и цеховыми ремонтными базами, что исключает возможность маневренного использования и материальных, и трудовых ресурсов. Практически исключается возможность целесообразной специализации ремонтных работ как по видам оборудования и ремонтов, так и по составу работ (механические, электротехнические, теплотехнические). При такой организационной структуре затраты на ремонт, выполняемый цеховыми ремонтными базами, включаются в себестоимость работ цеха, а расходы ремонтно-механического цеха оформляются в виде услуг. Это затрудняет организацию управления затратами ремонтного обслуживания в целом.

**При централизованной структуре** управления все виды ремонта и технического обслуживания технологического оборудования и оборудования вспомогательных подразделений осуществляет централизованная ремонтная служба. Недостатком такой структуры является то, что ремонт электрической, теплотехнической и других частей оборудования выполняется соответствующими подразделениями завода, что зачастую приводит к простоям из-за несогласованности действий отдельных руководителей. При всей очевидности преимуществ централизованной организационной структуры ее создание вызвало резкое противодействие со стороны руководителей подразделений основного производства. Это объясняется тем, что плановая директивная система управления предприятием, принятая в советское время, главной целью ставила выполнение установленных заданий. Механики цехов, находясь в прямом подчинении начальникам цехов основного производства, не всегда могли остановить оборудование на ремонт, предусмотренный графиком планово-предупредительного ремонта (ППР) из-за угрозы срыва выполнения плана по объему производства. В странах же с развитой рыночной экономикой применяется только централизованная форма управления ремонтом оборудования. В современных условиях перехода к рыночной экономике не вызывает сомнений целесообразность создания централизованной структуры управления ремонтным обслуживанием, так как финансовая устойчивость предприятия зависит от эффективности каждой службы предприятия. Только в рамках централизованной

структуры управления ремонтным обслуживанием можно проводить единую техническую и экономическую политику. Что касается экономической политики, то ее основными целями становятся сокращение затрат на ремонт, проведение регулярного контроля за соблюдением их нормативных значений, установленных в рамках планируемых смет на проведение ремонтных работ (ремонтного фонда, включаемого в себестоимость продукции). Под технической политикой подразумевается индустриализация ремонта, использование узловых методов ремонта, применение передовых методов восстановления изношенных деталей и другие мероприятия. Несмотря на то, что в создании типовой системы технического обслуживания и ремонта принимали участие отраслевые научно-исследовательские институты, можно выделить следующие недостатки типовой системы планово-предупредительного ремонта:

1. Жесткая регламентированность межремонтных периодов, что не позволяет гибко планировать вывод оборудования в ремонт.

2. Обязательность планового проведения капитального ремонта без составления экономического обоснования и определения его целесообразности.

3. Отсутствие эффективных методов и средств технической диагностики оборудования для уточнения сроков вывода оборудования в капремонт.

Однако полностью отказываться от системы ППР не следует. Изучение зарубежного опыта показывает, что в странах с развитой рыночной экономикой тоже используются элементы системы ППР. Так, на большинстве предприятий США применяется система планово-предупредительного обслуживания. Этой системой охватывается не все оборудование, а только наиболее высокопроизводительное и важное для производства, а для оборудования, имеющего дублеров, использовать систему ППР считается невыгодно.

Только при объединении служб, выполняющих ремонт механической, электротехнической, теплотехнической и электронной частей оборудования, можно говорить об ответственном подходе к организации ремонта и его проведению. Централизованная система позволит реализовать все функции управления службой ремонта оборудования: организацию, планирование, координацию, учет и мотивацию. Вывод цеховых механиков из-под подчинения руководителям цехов основного производства создаст условия для осуществления единой технической политики в области ремонта оборудования: использования индустриальных методов ремонт-

ных работ, специализации ремонтных бригад, применения передовых методов организации труда и его оплаты.

Система технического обслуживания и ремонта (ТОиР) основана на применении ГОСТ 18322-78 «Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения». (Equipment maintenance and repair system. Terms and definitions).

Система технического обслуживания и ремонта представляет собой совокупность взаимосвязанных средств, документации технического обслуживания и ремонта и исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления качества изделий, входящих в эту систему.

Существует следующая классификация систем технического обслуживания и ремонта:

- реагирующее (реактивное) обслуживание (РАО);
- плановое обслуживание;
- проактивное обслуживание (ПАО).

**Реагирующее (реактивное) обслуживание** или обслуживание после отказа основано на выполнении ремонтов после выхода из строя оборудования.

**Плановое обслуживание** или регламентированное обслуживание включает в себя систему планово-предупредительных ремонтов (ППР) и обслуживание по фактическому состоянию (ОФС).

**Система ППР** – система принудительных ремонтов. В соответствии с рекомендациями эксплуатационной и ремонтной документации периодически и с учетом опыта эксплуатации производится ревизия механизма, назначается ремонт или замена узлов, деталей, смазка и т.д. Система ППР построена на методологической основе, которая предусматривает превентивный характер ремонтов и технического обслуживания (ТО), достаточно хорошо развита, позволяет поддерживать заданный уровень исправности и работоспособности оборудования.

**Обслуживание по фактическому состоянию** исключает вероятность аварийных отказов и связанных с ним внеплановых простоев оборудования, позволяет прогнозировать объемы технического обслуживания и производить ремонты исключительно дефектного оборудования.

**Проактивное обслуживание** или обслуживание, ориентированное на увеличение межремонтного интервала, основано на следующих положениях:



а) идентификация и устранение источников повторяющихся проблем, приводящих к сокращению межремонтного интервала;

б) устранение или сокращение факторов, отрицательно влияющих на межремонтный интервал или срок эксплуатации оборудования;

в) распознавание нового и восстановленного оборудования с целью проверки отсутствия признаков дефектов, уменьшающих межремонтный интервал;

г) увеличение межремонтного интервала и срока эксплуатации за счет проведения монтажных, наладочных и ремонтных работ в точном соответствии с требованиями ремонтной документации (РД), ТУ и регламента.

Существуют следующие подходы по вариантам стратегии организации ремонтов [1]:

- бездействие, когда не устраняется поломка оборудования из-за отсутствия средств согласно выделенному бюджету. Стратегия нереагирования предполагает отсутствие каких-либо действий, связанных с ремонтом оборудования. Такая стратегия возможна у малобюджетных предприятий или при наличии резервного оборудования;

- обслуживание «по событию» или по факту поломки, когда устраняется поломка оборудования. Такой подход используется при относительно низких затратах на ремонт. Стратегия технического обслуживания и ремонтов (ТОиР) «по событию» имеет право на существование, если себестоимость ремонта относительно низкая, а брак продукции, полученный в результате поломки оборудования, невысок и не повлияет на непрерывность производственного цикла и выполнение обязательств перед заказчиками;

- регламентное или плановое обслуживание проводится вне зависимости от состояния оборудования, имеет самую высокую надежность, но и самую высокую стоимость ремонта, так как реальное состояние оборудования может и не требовать ремонта. Стратегия планового (регламентного) обслуживания и ремонта оборудования дает самый высокий процент готовности оборудования, но затраты на данный вид обслуживания очень высоки и часто необоснованны;

- обслуживание «по фактическому состоянию» предполагает оценку состояния оборудования и прогноз вывода оборудования на ТОиР, не только предупреждает проблемы, но и совершенствует оборудование;

- обслуживание «мирового класса» означает выявление и устранение дефектов, которые снижают производительность предприятия, увеличивают объем промышленных отходов и создают угрозу аварий, сопровождающихся загрязнениями окружающей среды (рис.1).

### Стратегии планирования ТОиР оборудования

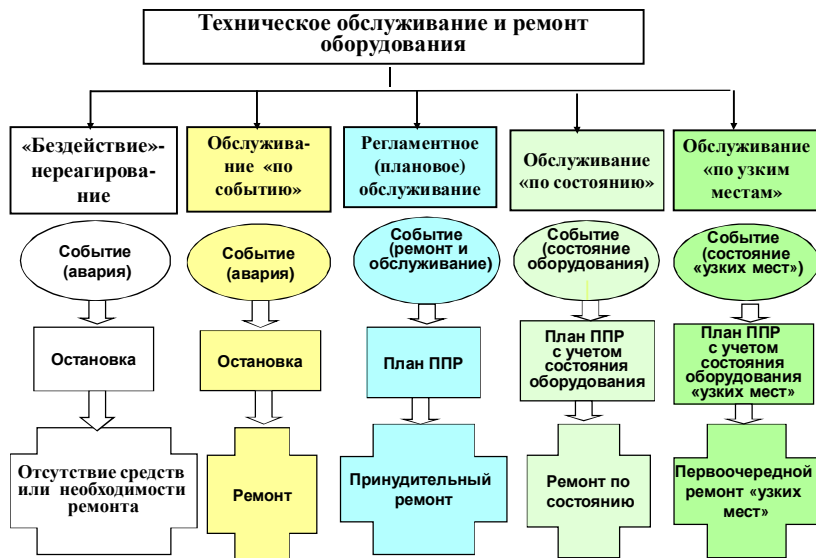


Рис. 1. Стратегии организации работ в системе ТОиР

Первые два подхода не учитывают реальное состояние оборудования, что приводит к созданию аварийных ситуаций, а следовательно, к внеплановым ремонтам оборудования и отсутствию системности планирования. Третий подход приводит к формированию излишних запасов запасных частей. Четвертый и пятый подходы требуют определения узких мест и детализации мероприятий по ТОиР, способных привести к необоснованным потерям и упущенной выгоде, а также к загрязнению окружающей среды.

Для крупных промышленных предприятий с непрерывным производственным циклом и с большим количеством производственного оборудования наиболее эффективной является стратегия ТОиР «концепция производственного планирования на основе эффективного использования ограничений», формируемая путем

оптимизации затрат на техническое обслуживание и ремонт основных производственных фондов (ОПФ) на основе определения узких мест и упущенной выгоды из-за их простоев.

При данной стратегии эксперты разрабатывают комплекс мероприятий по ТОиР на основе прогноза, а менеджеры управления главного механика (УГМ) или центра ТОиР (ЦТОиР), а также управления экономики (УЭ) корректируют его на основе управления рисками.

Несовершенство существующих систем планирования, учета и контроля затрат на ТОиР приводит к росту затрат на ремонты, повышению себестоимости продукции и, как следствие, тормозит развитие предприятия с точки зрения его конкурентоспособности. Необходим новый подход в планировании затрат на ремонтно-эксплуатационное обслуживание оборудования. И такой подход существует – это система обслуживания и ремонта «мирового класса» с использованием теории ограничений [2-7].

Рассмотрим эффективность перехода ремонтной службы ОАО «М» на проект аутсорсинга – металлургического предприятия на проект аутсорсинга дочерней структуры ООО «С».

Практика показывает, что в ОАО «М» при увеличении объемов производства с 2009 по 2011 г. количество ремонтов не увеличивается, а уменьшается. На рис.2 представлена динамика трудоемкости (количество выполненных ремонтов в чел.·ч) по механическому оборудованию за 2008- 2011 г.

В 2011 году количество ремонтов механического оборудования, выраженное показателем трудоемкости, уменьшилось на 64% по отношению к 2010 году. Трудозатраты (количество ремонтов, выраженное в трудоемкости) в 2010 году составляли 564942,3 чел.·ч, а в 2011 г. – 361982 чел.·ч (см. рис.2).

Уменьшение трудозатрат можно рассчитать по формуле

$$\Delta T_3 = T_3 / T_3_0 * 100\%, \quad (1)$$

где  $\Delta T_3$  – изменение трудозатрат, %;

$T_3_1$  – трудозатраты отчетного периода, чел.·ч;

$T_3_0$  – трудозатраты базового периода, чел.·ч.

$$\Delta T_3 = 361982 / 564942,3 * 100\% = 64\%$$

На рис.3 приведена динамика удельных трудозатрат на 1 т выпуска продукции. Данные, приведенные на графике, свидетель-

ствуют о снижении трудозатрат с 1,89 до 0,78 чел.-ч/т. Уменьшение удельных затрат характеризуется как положительная тенденция.

Анализ стоимости услуг ремонта оборудования ООО «С» (рис.4) говорит о резком росте стоимости чел.-ч: с 57,8 до 223 руб., что является отрицательной тенденцией в деятельности аутсорсинговой компании.

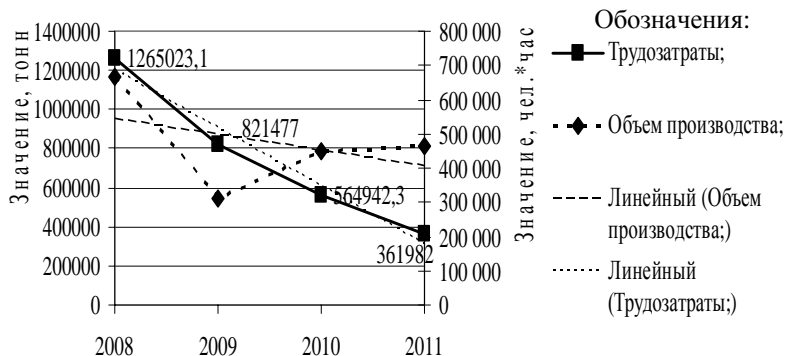


Рис. 2 Динамика объема производства и трудоемкости (количество ремонтов в чел.-ч) по механическому оборудованию ОАО «М» за 2008- 2011 гг.

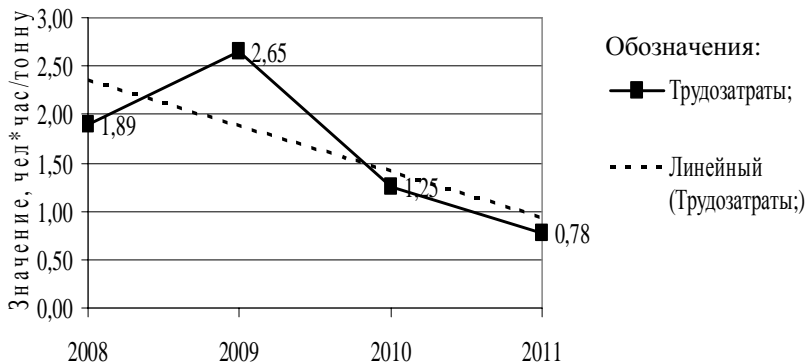


Рис. 3. Динамика удельных трудозатрат на 1 т выпуска продукции за 2008- 2011 гг.

Закономерность бюджета ремонтных работ имеет разнонаправленное изменение, а именно резкое снижение бюджетных затрат в первой части периода, а затем резкое их возрастание.

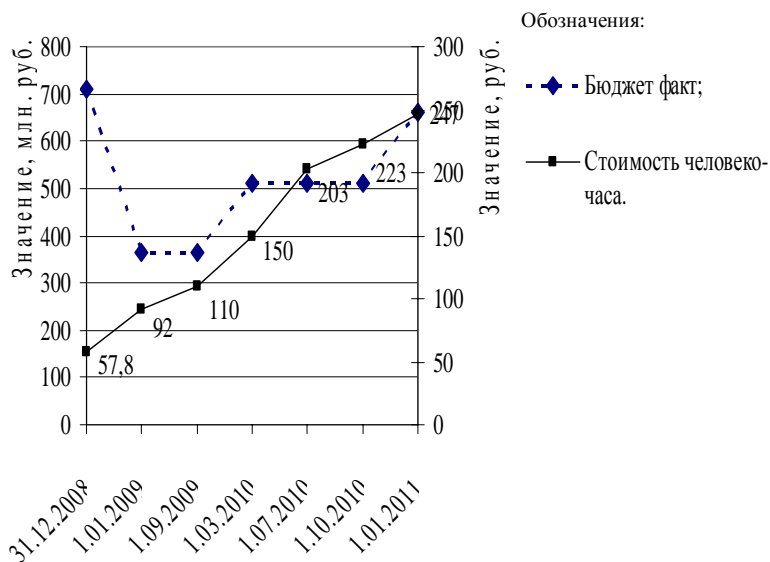


Рис. 4. Стоимость услуг ООО «С» за 2008- 2011 гг.

Анализ выполнения плана по затратам ООО «С» в трудовом и стоимостном выражении в 2011 году позволяет сделать вывод о фактическом превышении стоимости трудозатрат, что в свою очередь отражается на росте стоимости ремонтов для ОАО «М».

Основными направлениями оптимизации затрат на ремонт ОАО «М» являются: уменьшение стоимости человеко-часа за счет сокращения постоянных расходов ООО «С» и частичный переход от планово-предупредительных ремонтов к ремонтам по техническому состоянию оборудования (ОФС).

При переводе части оборудования на ОФС необходимо создание двух основных структурных подразделений, предназначенных для выполнения основополагающих функций: группа планирования ремонта (технического обслуживания) и группа обеспечения надежности (технической диагностики и мониторинга) в составе ОАО «М» и покупка диагностического оборудования, что по данным нескольких металлургических заводов принесет экономический эффект в виде сокращения затрат на ремонт от 15 до 30%.

## Список литературы

1. Лиде У., Монус П.А. Совершенствование без планового техобслуживания // Стандарты и качество. Деловое совершенство. 2006. №7. С.12 – 14.
2. Детмер У. Теория ограничений Голдретта: системный подход к непрерывному совершенствованию. Альпина Бизнес Букс, 2008. 443 с.
3. Совершенствование управления инновационным развитием производственных предприятий России: монография / Баскакова Н.Т., Симаков Д.Б., Пимонова Т.К., Баландина Т.А., Якобсон З.В. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос.техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2014. 163 с.
4. Баскакова Н.Т., Песин И.А. Совершенствование системы планирования ремонтов на основе теории ограничений // Литейные процессы. 2011.№10.С.129-135.
5. Баскакова Н.Т., Дорман В.Н. Стратегия планирования ремонтов металлургического оборудования на основе его состояния // Экономический анализ: теория и практика. 2013. №6(309). С.22-28.
6. Баскакова Н.Т., Жемчуева М.А., Куликов С.В. // Сталь. 2008. №2. С.82-84.
7. Баскакова Н.Т., Песин И.А..Концептуальные подходы в оптимизационном планировании ремонтов оборудования на металлургическом предприятии // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №1(41). С.93-96.

УДК 338.3+658.562

**Е.П. Фет**

Карагандинский государственный индустриальный университет,  
г. Темиртау, Казахстан

**ВМЕСТО ПРЕДУПРЕЖДАЮЩИХ ДЕЙСТВИЙ ПОДХОД,  
ОСНОВАННЫЙ НА РИСКАХ (изучая ISO/DIS 9001:2015)**

Международная организация по стандартизации (ISO – International Organization for Standardization) 15 сентября 2015 года

опубликовала официальную пятую редакцию стандарта на системы менеджмента качества – ISO 9001 [1].

Представитель ТК (технического комитета) № 176 в ISO Найджел Крофт отметил: «Мы изменили ISO 9001 ровно настолько, чтобы перенести его в 21 век. Первые версии ISO 9001 были достаточно предписывающими, с большим количеством требований по документированным процедурам и записям... Сейчас мы пошли еще дальше и сделали ISO 9001:2015 даже менее предписывающим, чем ISO 9001:2008. Вместо этого мы сосредоточились на деятельности. Нам удалось это реализовать, совместив процессный подход с мышлением, основанным на оценке рисков и распространив управленческий цикл PDCA на все уровни работы организации».

Следует отметить, что стандарт претерпел ряд значительных изменений, которые касаются и прежних требований, и ввода новых.

В рамках данной статьи остановимся на одном важном изменении – новая версия не включает отдельного раздела по предупреждающим действиям, так как, с точки зрения разработчиков стандарта, система менеджмента качества подразумевает выявление рисков и должна быть направлена на предупреждение несоответствий.

В новой версии стандарта дано следующее определение термина «риск»:

**3.09 Риск** – влияние неопределенности на ожидаемый результат.

*Примечание 1: Это влияние является отклонением от ожидаемого результата – положительным или отрицательным.*

*Примечание 2: Неопределенность – это состояние, даже частичное, недостатка информации (3.50), относящееся к пониманию или знанию (3.53) о событии, его последствиях или вероятности.*

*Примечание 3: Риск часто характеризуется как отношение потенциальных событий (Руководство ISO 73, 3.5.1.3) и последствий (Руководство ISO 73, 3.6.1.3) или их сочетание.*

*Примечание 4: Риск часто выражают как сочетание последствий события (с учетом изменений в определенных обстоятельствах) и соответствующей вероятностью (Руководство ISO 73, 3.6.1.1) их возникновения.*

*Примечание 5: Термин «риск» иногда используется, когда существует возможность только отрицательных воздействий [ИСТОЧНИК: ISO DIS 9000:2014, 3.7.4].*

На самом деле, идея принятия решений на основе рисков вообще-то всегда (правда, не столь открыто) присутствовала в тексте как ISO 9001, так и в ISO 9004. Например, в п.8.3.3 стандарта ISO 9004:2009 записано, что «проведение внутренних аудитов является результативным способом выявления проблем, **рисков** и несоответствий, а также мониторинга хода работ по устранению ранее выявленных несоответствий (с которыми следует разбираться на основе анализа коренных причин и разработки и реализации планов корректирующих и предупреждающих действий)», в п. 8.5 говорится о том, что «высшему руководству следует применять системный подход к изучению имеющейся информации и обеспечивать использование данной информации для принятия решений... с учетом результатов оценки **рисков**» [2].

Новая же версия международного стандарта делает принятие решений на основании рисков более очевидным: в п.0.5 «Мышление, основанное на рисках (риск-ориентированное мышление)» записано: «Настоящий международный стандарт делает риск-ориентированное мышление более ярко выраженным и включает его в требования, относящиеся к разработке, внедрению, обеспечению функционирования и постоянному улучшению системы менеджмента качества». Таким образом, требования по действиям с рисками являются принципиально новыми и включены в раздел 6. *Планирование СМК*. Требование заключается в том, что организации должны определить риски и возможности, которые могут повлиять на СМК.

Ниже приведены выдержки из ISO/DIS 9001:2015:

*6.1 Действия, необходимые для обращения с рисками и возможностями*

*6.1.1 При планировании системы менеджмента качества организация должна рассматривать аспекты, упомянутые в разделе 4.1, и требования, упомянутые в разделе 4.2, для определения рисков и возможностей, которые нуждаются в обращении для:*

- а) обеспечения уверенности, что система менеджмента качества может достичь намеченных результатов;*
- б) предотвратить или сократить нежелательный эффект; и*



с) достигнуть постоянного улучшения.

6.1.2 Организация должна планировать:

а) действия по обращению с рисками и возможностями; и

б) как:

1) внедрять и осуществлять действия в процессы системы менеджмента качества (см. 4.4); и

2) оценивать результативность этих действий.

Действия, предпринятые для обращения с рисками и возможностями, должны быть пропорциональны их потенциальному воздействию на продукцию и услуги.

**ПРИМЕЧАНИЕ.** Способы обращения с рисками и возможностями могут включать: уклонение от риска, принятие риска для реализации возможности, устранение источника риска, изменения вероятности или последствий, разделение риска, удержание риска посредством обоснованного решения [3].

(Курсивом приведены выдержки из ISO/DIS 9001:2015).

Если же организации требуется более широкий охват рисков, чем это отражено в ISO/DIS 9001:2015, то такие руководящие указания по формальному менеджменту рисков, которыми может воспользоваться любая организация, предоставляет ISO 31000 [5].

В частности, именно в этом документе определены принципы, которым должны следовать организации в целях эффективного управления риском:

а) риск-менеджмент создает и защищает ценность\*;

б) риск-менеджмент является неотъемлемой частью всех организационных процессов;

с) риск-менеджмент является частью процесса принятия решений;

д) риск-менеджмент явным образом связан с неопределенностью;

е) риск-менеджмент является систематическим, структурированным и своевременным;

ф) риск-менеджмент основывается на наилучшей доступной информации;

г) риск-менеджмент является адаптируемым;

h) риск-менеджмент учитывает человеческие и культурные факторы;

i) риск-менеджмент является прозрачным и учитывает интересы заинтересованных сторон;

j) риск-менеджмент является динамичным, итеративным и реагирующим на изменения;

к) риск-менеджмент способствует постоянному улучшению организации.

Естественно, что не все процессы системы менеджмента качества являются одинаковыми по уровню риска с точки зрения влияния на возможность организации стабильно функционировать. Следовательно, «Принятие решений, основанное на рисках», предполагает рассмотрение риска как количественно, так и качественно для планирования и управления системой менеджмента качества, в том числе и для элементарных составляющих ее процессов и функций, что, на наш взгляд, потребует еще более значительных усилий (по сравнению с ISO 9001:2008) для выполнения требований новой версии стандарта.

Также, на наш взгляд, отмена требования по предупреждающим действиям если не ошибочна, то точно не своевременна. По-мнению автора [5], при применении новых стандартов необходимо внедрять методологию оценки рисков на подсознательный уровень. Только реализовать это не так просто, и быстро не получится.

Давайте рассмотрим два таких фактора, которые могут угрожать стабильности функционирования организации, как появление на рынке нового конкурента и текучка кадров в организации. С позиции концепции ISO 9001:2008 появление на рынке нового конкурента к несоответствиям отнести трудно, а значит, и предупреждающие действия никто ни планировать, ни тем более осуществлять не будет. Однако с позиции концепции риск-менеджмента ISO 9001:2015 этот фактор очень точно определяется в соответствии с п. 4.1, как внешний фактор, влияющий на стабильную деятельность. В соответствии с требованиями стандарта (п.6.1.1 и 6.1.2) составим логическую цепочку действий по управлению рисками (рис. 1).

Как видно, с позиций концепции риск-менеджмента рассматриваемая проблема решается системно, логично, стройно и, надемся, результативно ☺.

Что же качается второго фактора – текучести кадров в организации, то здесь, наоборот, с точки зрения риск-менеджмента определить эту проблему сложнее, несоответствие относится к уже осуществляемой деятельности (и вообще есть опасность отнести его к проблеме, требующей корректирующего действия), а вот концепция предупреждающих действий может быть очень эффективной. В п. 8.5.3 ИСО 9001:2008 записано, что организация должна определять действия в целях устранения причин потенци-

альных несоответствий для предупреждения их появления [6]. Должна быть разработана документированная процедура по предупреждающим действиям, в которой описывается весь алгоритм. Составим соответствующую схему (рис. 2).

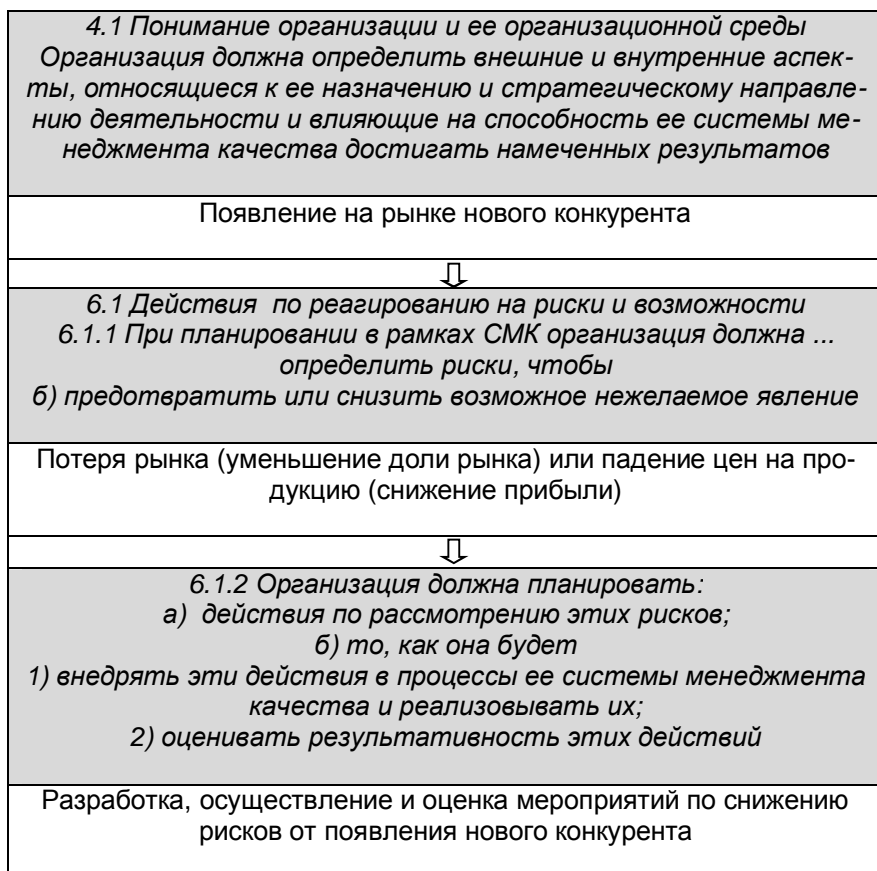


Рис. 1. Схема управления рисками при появлении на рынке нового конкурента

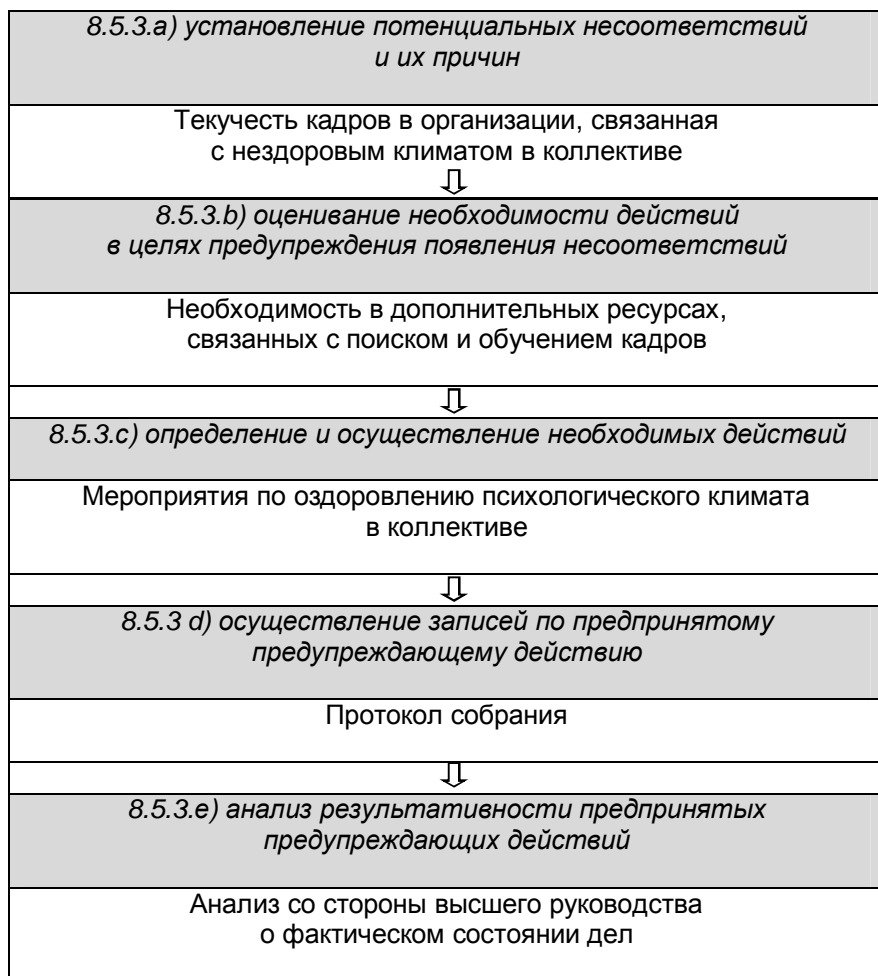


Рис. 2. Схема предупреждающих действий по снижению текущести кадров

Может возникнуть вопрос об отнесении несоответствия по текущести кадров к уже произошедшим негативным событиям, для устранения которых требуются корректирующие действия. Однако (и это важно) речь идет именно о потенциальном несоответствии, для предотвращения которого необходимо осуществление предупреждающего действия, так как, во-первых, несоответствие (теку-

честь кадров) определено на основании выявленной отрицательной тенденции; во-вторых, действия осуществляются для предотвращения текучести еще работающих кадров; в-третьих, как отмечено в [7], если несоответствие все же произошло еще раз, то проводится анализ с точки зрения правильности определения причины появления этого факта и эффективности разработанных предупреждающих мероприятий. В этом случае уже разрабатываются корректирующие действия.

Таким образом, приведенные примеры наглядно свидетельствуют о том, что концепция риск-менеджмента гораздо шире концепции предупреждающих действий, намного сложнее в осуществлении, не столь ясна для понимания, для ее эффективности требуется время на перестройку сознания, а также из-за ее «широты» существует опасность рассматривать риски только так называемого «глобального» масштаба. Тем не менее потенциальные несоответствия, выявленные при помощи риск-менеджмента, в любом случае, требуют планирования и осуществления предупреждающих действий.

#### Список литературы

1. [http://www.iso.org/iso/ru/home/store/catalogue\\_ics/catalogue\\_detail\\_ics.htm?csnumber=62085](http://www.iso.org/iso/ru/home/store/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?csnumber=62085)
2. ISO 9004:2009. Менеджмент в целях достижения устойчивого успеха организации. Подход на основе менеджмента качества.
3. [http://www.kpms.ru/Standart/ISO9001\\_2015\\_DIS.htm](http://www.kpms.ru/Standart/ISO9001_2015_DIS.htm)
4. <http://www.irca.org>.
5. Исаев С.В. Развитие процедуры внутреннего аудита на основе методики оценки рисков. URL: <http://www.icgrp.ru/docs/list/article/?action=showproduct&id=127>
6. ГОСТ Р ИСО 9001-2008. Системы менеджмента качества. Требования.
7. Фет Е.П. // Литейные процессы: сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. Вып. 13. С. 197–201 с.

---



---

**ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ**

- А**  
Абарович Н.Ю. .... 41, 79
- Б**  
Баскакова Н.Т. .... 106, 116  
Беляев А.В. .... 84  
Бигеев В.А. .... 23  
Бигеева С.В. .... 54
- В**  
Вдовин К.Н. .... 4, 29, 90
- Г**  
Галиуллина Е.С. .... 54  
Гатитулин М.Н. .... 41, 51  
Горленко Д.А. .... 29
- Д**  
Дерябин Д.А. .... 29  
Дидович С.В. .... 36  
Долгополова Л.Б. .... 99
- Е**  
Евстигнеев А.А. .... 68  
Емельюшин А.Н. .... 41, 79
- И**  
Ибраев Т.С. .... 45
- К**  
Камалова Г.Я. .... 68  
Кондратьев И.С. .... 29
- Л**  
Ларина Т.П. .... 4
- М**  
Малашкин С.О. .... 68  
Масева А.А. .... 106, 116  
Матвеева С.О. .... 95  
Миникаев С.Р. .... 59  
Мошкунов В.В. .... 36
- Н**  
Некит В.А. .... 54  
Нефедьев С.П. .... 79
- О**  
Овчинникова М.В. .... 90
- П**  
Потапов М.Г. .... 23  
Потапова М.В. .... 23
- С**  
Семенюк М.А. .... 59  
Сибэгатуллин С.К. .... 59  
Сибэгатуллина М.И. .... 59  
Сидоров М.В. .... 59  
Ситдиков А.Г. .... 84  
Столяров А.М. .... 36, 45  
Столяров А.Ю. .... 68  
Сычков А.Б. .... 68
- Т**  
Тухватулин И.Х. .... 99
- Ф**  
Феоктистов Н.А. .... 29, 90  
Фет Е.П. .... 126
- Х**  
Хамитов И.М. .... 54  
Харченко А.С. .... 59  
Харченко Е.О. .... 59  
Храмченкова Р.Х. .... 84  
Хренов И.Б. .... 29
- Ч**  
Чумичев Е.К. .... 106, 116
- Ш**  
Шайхутдинова Е.Ф. .... 84  
Шалашова М.В. .... 54  
Шахватов А.А. .... 68  
Шекшеев М.А. .... 79
- Щ**  
Щербаков В.Г. .... 15
- Я**  
Янбаев Р.М. .... 84  
Ячиков И.М. .... 4

---



---

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ГЛАВНОГО НАУЧНОГО РЕДАКТОРА.....</b>	<b>3</b>
---	----------

### Раздел 1

#### Процессы плавки и обработки литейных сплавов

<b>И.М. Ячиков, К.Н. Вдовин, Т.П. Ларина</b> Поведение средних локальных электромагнитных сил по длине дуги в трехфазной дуговой печи.....	4
<b>В.Г. Щербаков</b> Оплавление диффузионно-легированных сплавов из металлических дискретных металлоотходов для получения защитных покрытий ТВЧ.....	15
<b>В.А. Бигеев, М.В. Потапова, М.Г. Потапов</b> К вопросу получения ферроникеля селективным восстановлением бедных железохромоникелевых руд.....	23
<b>К.Н. Вдовин, Н.А. Феоктистов, Д.А. Горленко, Д.А. Дерябин, И.Б. Хренов, И.С. Кондратьев</b> Исследование влияния процесса кристаллизации стали марки 110Г13Л на её свойства.....	29
<b>С.В. Дидович, А.М. Столяров, В.В. Мошкунов</b> Качество непрерывнолитых слябов при разливке в кристаллизаторы разной высоты.....	36
<b>М.Н. Гатитулин, А.Н. Емелюшин, Н.Ю. Абарович</b> Ротационный инструмент из хромистого чугуна для получения мелкодисперсных порошков.....	41
<b>Т.С. Ибраев, А.М. Столяров</b> Изучение качества тонких непрерывнолитых слябов.....	45
<b>М.Н. Гатитулин</b> Технологические особенности обработки крепежных элементов торцовых соединений дуговых печей.....	51

---

**В.А. Некит, М.В. Шалашова, И.М. Хамитов,  
Е.С. Галиуллина, С.В. Бигеева**  
Технологические параметры прокатки тонких полос  
на стане литейно-прокатного агрегата .....54

**С.К. Сибгатуллин, А.С. Харченко, Е.О. Харченко,  
М.В. Сидоров, М.И. Сибгатуллина, С.Р. Миникаев,  
М.А. Семенюк**  
Исследование действия расхода окатышей на стойкость  
футеровки доменной печи .....59

## Раздел 2

### Металловедение и термообработка сплавов и отливок

**А.Ю. Столяров, А.Б. Сычков, А.А. Шахватов,  
А.А. Евстигнеев, С.О. Малашкин, Г.Я. Камалова**  
Математическое и экспериментальное исследование  
технологии термической обработки бортовой проволоки  
и проволоочной заготовки под металлокорд .....68

**А.Н. Емельюшин, С.П. Нефедьев, М.А. Шекшеев, Н.Ю. Абарович**  
Плазменно-порошковая наплавка покрытия  
из хромистого чугуна.....79

## Раздел 3

### Специальные способы литья

**Е.Ф. Шайхутдинова, Р.М. Янбаев, Р.Х.  
Храмченкова, А.Г. Ситдииков, А.В. Беляев**  
Исследование поперечного излома образцов для реконструкции  
технологических и эксплуатационных характеристик изделий  
чугунолитейного производства Волжской Булгарии (14–15 вв.).....84

## Раздел 4

### САПР в литейном производстве

**К.Н. Вдовин, Н.А. Феоктистов, М.В. Овчинникова**  
Моделирование и расчет напряжений анкерного  
скрепления рельс.....90

**С.О. Матвеева**  
Моделирование литейных процессов .....95



---

---

<b>Л.Б. Долгополова, И.Х. Тухватулин</b> Использование нейросетевой обработки данных в литейном производстве .....	99
--	----

## **Раздел 5**

### **Вопросы экологии и экономики в литейном производстве**

<b>Н.Т. Баскакова, Е.К. Чумичев, А.А. Масева</b> К вопросу организации ремонтного хозяйства металлургического предприятия .....	106
<b>Н.Т. Баскакова, Е.К. Чумичев, А.А. Масева</b> К определению эффективности деятельности ремонтной службы металлургического предприятия .....	116
<b>Е.П. Фет</b> Вместо предупреждающих действий подход, основанный на рисках (изучая ISO/DIS 9001:2015) .....	126
<b>ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ .....</b>	135

Научное издание

## **ЛИТЕЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ**

Межрегиональный сборник научных трудов

Под редакцией В.М.Колокольцева

Выпуск 14

Редактор Н.В. Кутекина

Оператор компьютерной правки Е.А. Назарова

Подписано в печать 30.12.2015. Рег. № 305-15. Формат 60x84/16. Бумага тип. № 1.

Плоская печать. Усл.печ.л. 8,75. Тираж 100 экз. Заказ 819.



Издательский центр ФГБОУ ВПО «МГТУ»  
455000, Магнитогорск, пр. Ленина, 38  
Полиграфический участок ФГБОУ ВПО «МГТУ»