

**А.Я. Бабанин /д.т.н./**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» (Макеевка)

**М.Ю. Ткачев /к.т.н./**

ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

**В.В. Белоусов /д.т.н./**

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет» (Донецк)

**Н.В. Паламарчук /д.т.н./**

ГОО ВПО «Донецкий институт железнодорожного транспорта» (Донецк)

## **ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ТРАЙБ-АППАРАТА ДЛЯ ПОДАЧИ ПОРОШКОВОЙ ЛЕНТЫ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ И МЕХАНИЗАЦИИ АРМИРОВАНИЯ БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ**

*Методом математического моделирования выполнен сравнительный анализ динамики растворения порошковой проволоки и ленты в расплаве. Разработана конструкция, выполнен проект и изготовлен трайб-аппарат для обработки расплавов порошковой лентой с высокоактивными реагентами в условиях литейного производства машиностроительных и ремонтно-механических предприятий применительно к производству агрегатов, машин и оборудования повышенного качества. Проведены промышленные испытания трайб-аппарата и разработаны технологии обработки порошковой лентой с алюминиевой стружкой и силикокальцием.*

**Ключевые слова:** трайб-аппарат, порошковая лента, высокоактивный реагент, литейное производство, детали агрегатов и машин, машиностроительные и ремонтно-механические заводы.

### **Постановка проблемы**

В настоящее время вопросам оптимизации производственного процесса уделяется значительно больше внимания, чем в недавнем прошлом. Так, если в программах развития производства приоритетная задача определяется в снижении себестоимости выпускаемой продукции и непродуктивного расхода материалов, а также в увеличении ассортимента выпускаемой продукции для расширения ее рынка сбыта, то на практике это означает большее вовлечение механизированного современного оборудования в производственный процесс.

Уже значительное время в большой металлургии для внепечной обработки жидкого металла применяют механизированное оборудование – так называемый трайб-аппарат. Это специальный аппарат, с помощью которого в расплав вводят порошковую проволоку (ПП) с высокоактивными реагентами. При этом обеспечивается решение следующей задачи: доставка высокоактивного реагента с заданным расходом на заданную глубину металла, что достигается заданной скоростью ввода ПП, определяющей единичную массу вводимого реагента, и диаметром ПП, который определяет величину единичной массы доставки [1-5].

Эффективность данной технологии обеспечивается доставкой вводимого компонента вглубь расплава, где он взаимодействует с последним без контакта с воздухом и шлаком. Как правило, ввод ПП осуществляется в разливочные ковши с глубиной металла 3-4 м. При этом продолжительность расплавления оболочки ПП диаметром 13 мм с силикокальцием марки СК-15 при скорости ввода 2-5 м/с и температуре стали 1600-1650 °С составляет 1,5-2,5 с, а переход наполнителя в расплав происходит на глубине 2-4 м [6].

Данные режимы ввода высокоактивных реагентов большой металлургии являются неприемлемыми для литейного производства. Поэтому создание оборудования для обработки малых объемов жидкого металла для условий литейного производства является решением актуальной проблемы.

Кроме того, в последнее время при производстве бетонных изделий применяется арматура, поставляемая со скоростных прокатных станков преимущественно в виде бухт. Это имеет существенные преимущества при доставке, так как бухты компактны, в отличие от заготовок арматуры с мерной длиной порядка 6,0-12,0 м, и легко транспортируемы в закрытых транспорт-

ных средствах, что исключает влияние окружающей среды. Однако применение арматуры в виде бухт обуславливает необходимость создания механического оборудования для ее выравнивания и порезки на мерные длины.

Механическое оборудование для решения данных задач по техническим характеристикам аналогично трайб-аппаратам для ввода порошковой ленты в литейном производстве, что и обуславливает необходимость создания универсальных машин, применяемых как в литейных цехах машиностроительных предприятий, так и при изготовлении железобетонных изделий.

#### **Анализ последних исследований и публикаций**

Известно, что ввод порошковой проволоки в малые емкости даже при скоростях 0,2-0,5 м/с приводит к прохождению ею в нерастворенном состоянии всей глубины расплава и достижению дна. Это создает дополнительное сопротивление вводу и может остановить процесс обработки, а также привести к изменению направления движения проволоки, растворению ее в верхних слоях расплава и снижению степени усвоения вводимого компонента [7-8].

Поэтому целесообразно использовать в таких условиях более пластичную порошковую ленту (ПЛ), что позволяет вводить ее с большей скоростью, уменьшить габариты подающих механизмов, снизить мощность приводных двигателей, а также использовать для изготовления имеющиеся малогабаритные станы сварочного производства. Так, в условиях Западно-Сибирского металлургического комбината обработку стали в промежуточном ковше МНЛЗ с глубиной 0,8 м проводят порошковой лентой с силикокальцием [9]. Однако это применимо к большой металлургии, но не к литейному производству машиностроительных и ремонтно-механических предприятий.

Анализ последних исследований и публикаций [10-12] показывает, что известные технические решения по вводу порошковой проволоки и порошковой ленты в расплав имеют существенные недостатки, касающиеся формы профилей роликов, непосредственно реализующих их перемещение и ввод в емкости с жидкой сталью или чугуном. С целью устранения проскальзывания вводимой проволоки или ленты относительно роликов известны попытки установки на внешней поверхности последних бандажей из сетки. Однако, как показывает опыт промышленной эксплуатации трайб-аппаратов, предпринимаемые мероприятия не обеспечивают ожидаемого эффекта.

Также в ходе ознакомления с открытыми источниками научно-технической информации не были выявлены сведения, касающиеся возможности применения устройств, подобных трайб-аппаратам, для выравнивания арматуры и деления ее на мерные длины.

Следует отметить, что разработка машин с резервированием в их конструкции возможности дальнейшей модернизации, повышения производительности, а также возможности применения по второму назначению является одним из основополагающих принципов рационального конструирования [13].

#### **Цель (задачи) исследования**

Возрастающие требования к качеству продукции машиностроительных и ремонтно-механических предприятий предполагают применение технологии обработки литейных расплавов (литейных чугунов и сталей) в разливочных ковшах малой емкости с глубиной расплава 0,6-1,2 м для производства деталей агрегатов, машин и оборудования более высокого качества.

Результаты исследований по динамике растворения порошковой проволоки (ленты) в жидкой стали, представленные в работе [6], свидетельствуют о том, что применительно к условиям литейного производства машиностроительных предприятий обработку расплавов высокоактивными реагентами необходимо производить порошковой лентой плоского сечения с малыми скоростями подачи. Это позволит обеспечить доставку высокоактивного реагента в нижние слои металла, чем обеспечить высокую эффективность его использования, и исключить всплывание нерастворившегося реагента на поверхность расплава, снизить его потери и не допустить ухудшения экологической обстановки в цехе. Наряду с тем, что трайб-аппарат для ввода порошковой проволоки/ленты выполняет две основные функции, ее выравнивание также целесообразно.

Использование данных технологий в литейном производстве, то есть обеспечение устойчивой подачи порошковой ленты на малых скоростях ввода, обуславливает необходимость создания соответствующего технологического оборудования. В целом это составляет в настоящее время актуальную научно-техническую задачу. А разработка конструкции трайб-аппарата, которая позволит устранить недостатки известных прототипов и аналогов, а также могла бы быть применима для выравнивания арматуры при изготовлении бетонных изделий, является целью настоящего исследования.

**Основной материал исследования**

Для исследования процессов расплавления порошковой ленты в расплаве ранее сформулированная математическая модель поведения порошковой проволоки, основанная на уравнениях Навье-Стокса, неразрывности, теплопереноса, а также теплофизических процессов в наполнителе и оболочке, была адаптирована к исследованиям поведения порошковой ленты для определения необходимой скорости ее ввода в ковши малой емкости.

Для описания теплофизических процессов, происходящих при вводе порошковой ленты в расплав, предварительно из решения уравнений движения, теплопереноса и граничных условий получены поля скоростей и температур в прилегающей области контакта расплава и порошковой ленты. Процессы, происходящие в ленте и прилегающем слое расплава, описываются следующей системой уравнений:

$$c_{эф} \frac{\partial \theta}{\partial Fo} + (1 - \xi) \frac{\partial \psi}{\partial y} \frac{\partial \theta}{\partial x} - (1 - \xi) \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{\partial \theta}{\partial y} = \lambda_{эф} \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right);$$

в оболочке ленты и наполнителе:

$$c_{эф} \frac{\partial \theta}{\partial Fo} = \lambda_{эф} \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right); \quad (2)$$

где  $\omega$  и  $\psi$  – вихрь и функция тока, соответственно;  $x, y$  – текущие координаты;  $\lambda_{эф}$  – коэффициент теплопроводности расплава;  $\theta = \frac{T}{T_0}$  – безразмерная температура;  $Fo$  – критерий Фурье.

$$\xi(y) = 1 - \left( 1 + \frac{c}{W} (T_1 - T_s) \right) \times \left[ 1 - \left( \frac{T_1 - T}{T_1 - T_s} \right)^{2/3} \right] + \frac{c}{W} (T_1 - T_s) \quad (3)$$

где  $T$  – текущая температура расплава;

$$c = \frac{1 - W}{c_{ж} T_0} \frac{\partial \xi}{\partial T} - \text{эффективная теплоемкость [2]; } c_{ж}$$

– теплоемкость в жидкой фазе расплава;  $W$  – скрытая теплота кристаллизации;  $\xi$  – доля твердой фазы, которая определяется из правила неравновесного рычага [6],  $T_1$  – температура ликвидус;  $T_s$  – температура солидус.

Такая математическая модель оправдана тем, что размеры ковша несоизмеримо больше размеров ленты, поэтому значительного влияния последней на распределение температуры и скорости в ковше не будет.

Система уравнений (1)-(3), замыкается крайними условиями, как в работе [14].

Результаты математического моделирования растворения ПЛ размером 3,8×18 мм в сравнении с ПП диаметром 13 мм, имеющих толщину оболочки 0,4 мм из стали марки 08 КП и заполненных алюминиевой стружкой, в стали, содержащей 0,3 % С при 1560 °С в неподвижном состоянии (I) и при движении расплава со скоростью 0,6 м/с при скорости ввода 0,5 м/с (II), представлены в табл. 1.

Анализ полученных результатов свидетельствует, что при аналогичных условиях порошковая лента растворяется быстрее, чем порошковая проволока, на 35-38 %, а движение расплава снижает время растворения как проволоки, так и ленты в среднем на 10-15 %.

На основании анализа выполненных исследований скорости растворения порошковой ленты, а также результатов по изучению условий работы литейных цехов машиностроительных и ремонтно-механических заводов Донбасса применительно к их производству было разработано техническое задание на проектирование трайб-аппарата, в котором определены следующие основные характеристики оборудования:

- небольшие скорости подачи проволоки и ленты;
- компактная конструкция и малая производственная площадь при их установке;
- устойчивая (без пробуксовок) подача проволоки и ленты на малых скоростях с плавной регулировкой и реверсом направления движения;

Табл. 1. Основные параметры растворения порошковой проволоки и ленты с алюминиевой стружкой в жидкой стали

Параметр	I		II	
	ПП	ПЛ	ПП	ПЛ
Время образования «намороженного» слоя, с	0,90	0,53	0,80	0,53
Толщина «намороженного» слоя, мм	1,40	0,10	1,50	0,2
Время расплавления «намороженного» слоя, с	1,60	1,15	1,50	1,50
Время расплавления оболочки, с	4,60	2,92	3,90	2,66
Время расплавления наполнителя, с	2,40	1,50	2,10	1,33

– выравнивание проволоки и ленты в тянущей клетки.

Трайб-аппарат должен обеспечивать следующие технические параметры:

– размеры порошковой ленты – 16,0-18,0×3,8 мм;

– скорость подачи порошковой ленты – 0,1-1,0 м/с;

– размеры бухты порошковой ленты: диаметр внутренний – 380-390 мм; диаметр наружный – 980 мм;

– масса порошковой ленты в бухте – 50-65 кг;

– источник энергии: переменный ток – 50 Гц; напряжение – 380 В.

По разработанному техническому заданию выполнен проект трайб-аппарата с детализацией, для чего предварительно были проведены необходимые расчеты его энергосиловых параметров, а также проверены на прочность наиболее ответственные узлы и детали. Трайб-аппарат, согласно проекту, состоит из следующих элементов: разматывающее устройство (индивидуальное для размеров существующих бухт порошковой ленты); подающее устройство (механическое, обеспечивающее стабильную подачу порошковой ленты), которое состоит из механизма подачи ленты, прижимного механизма, узла ввода ленты, электрического и механического приводов, счетчика скорости и длины подаваемой ленты; направляющее устройство (система трубопроводов от трайб-аппарата до ввода ленты в расплав) и пульт управления. Одной из главных отличительных особенностей предло-

женной конструкции от известных решений является наличие зубчатых венцов на ведущих роликах, позволяющих устранить проскальзывание вводимой порошковой проволоки или ленты во время их ввода.

По данному проекту на ОАО «Торезтвердосплав» был изготовлен трайб-аппарат (рис. 1).

На основании выполненных расчетов для обеспечения устойчивой работы кинематической схемы данной конструкции, обеспечивающей устойчивую подачу порошковой ленты на расстоянии 5-7 м от трайб-аппарата до ввода в расплав со скоростью 0,1-1,0 м/с, были разработаны и введены следующие основные конструктивные элементы:

– электродвигатель постоянного тока со встроенным тахогенератором (380 В, 7,5 кВт, 1500 об/мин), позволяющий реализовать плавную регулировку частоты вращения на малых скоростях подачи ленты;

– цепная передача (цепь ПР-25,4-5670 по ГОСТ 13568-75), обеспечивающая устойчивую подачу ленты (без пробуксовок) на малых скоростях ввода;

– подающий механизм двухклетьевого (межклетьевое расстояние гарантирует выравнивание ленты);

– ролик ведущий (диаметр – 155 мм, материал – сталь 45 по ГОСТ 1050-88, число зубьев по венцу  $z=153$ ,  $m=1$  мм, нарезка червячной фрезой, термообработка венца – ТВЧ  $h=0,8-1,2$ ; 40...46 HRC), исключающий пробуксовку при подаче ленты;

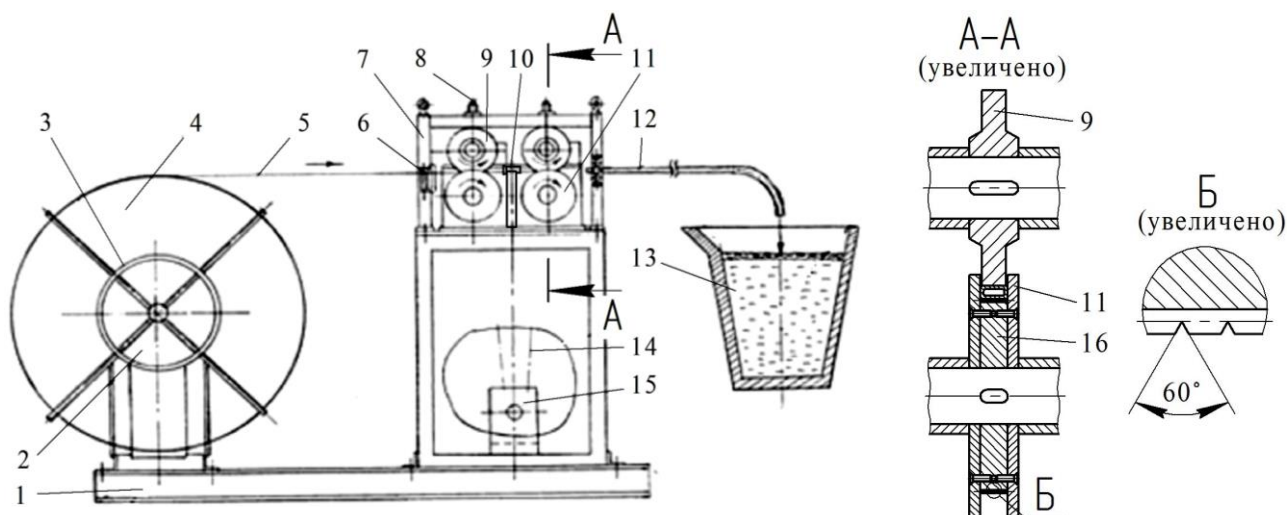


Рис. 1. Конструкция трайб-аппарата ТА-003 (производство ОАО «Торезтвердосплав»):

- 1 – станина; 2 – разматыватель; 3 – упорное кольцо; 4 – кассета с порошковым раскислителем; 5 – порошковый раскислитель; 6 – направляющая фильера; 7 – тянущая клеть;
- 8 – регулировочные винты прижатия роликов; 9 – прижимной ролик;
- 10 – труба для выравнивания; 11 – направляющий фланец; 12 – направляющая труба;
- 13 – разливочный ковш с металлом; 14 – цепная передача; 15 – электродвигатель;
- 16 – ведущий ролик

Табл. 2. Степень усвоения алюминия из порошковой ленты

Скорость ввода ленты, м/с	Расход ленты, м	Содержание алюминия в стали, %		Степень усвоения алюминия, %
		до ввода ПЛ	после ввода ПЛ	
0,1	12	0,001	0,046	59,9
0,1	9	0,001	0,035	60,3
0,2	10	0,001	0,053	72,4
0,3	8	0,001	0,044	74,8
0,4	14	0,003	0,069	75,2
Среднее значение	10,6	0,0014	0,049	68,5

Табл. 3. Микротвердость сравнительных и опытных образцов чугуна

Удельный расход кальция, кг/т	Микротвердость чугуна, Н/мм <sup>2</sup>		Повышение микротвердости чугуна, Н/мм <sup>2</sup>
	Сравнительный	Опытный	
0,06	1893	1942	49
0,08	2247	2354	108
0,13	2060	2570	510

– ролик прижимной с двумя направляющими фланцами (диаметр – 160 мм, материал – сталь 45 по ГОСТ 1050-88, термообработка венца – ТВЧ  $h=0,8-1,2$ ; 40...46 HRC), в совокупности с ведущим роликом также исключаящий пробуксовку при подаче ленты;

– внутренний диаметр направляющих трубопроводов – 3-32 мм.

Электрическая часть трайб-аппарата состоит из шкафа и пульта управления.

Шкаф управления имеет в составе:

- блок тиристорного управления БТУ – 3601;
- схемы возбуждения двигателя;
- вводный автоматический выключатель;
- схемы включения и остановки электропривода;

– стабилизатор к счетчику оборотов.

Пульт дистанционного управления имеет в составе:

- индикатор оборотов;
- регулятор оборотов;
- схемы пуска и остановки.

Испытание и применение изготовленного трайб-аппарата модели ТА-003 проводили в условиях литейного цеха ОАО «Запорожсталь» при выплавке стали в мартеновской печи емкостью 25 тонн, а также в литейном цехе ООО «Востоксталь» на специально созданном стенде внепеч-

ной обработки расплавов (СВОР), предназначенном для обработки литейной стали и чугуна порошковой лентой с высокоактивными реагентами в разливочных ковшах малой емкости. Ковш с расплавом на СВОР подавали краном и удерживали на весу во время внепечной обработки. Для обработки литейного чугуна и стали использовали порошковую ленту геометрических размеров 16,5×3,8 мм с различными наполнителями производства ОАО «Горезтвёрдосплав».

В результате применения данного трайб-аппарата была разработана и внедрена технология раскисления литейной стали порошковой лентой с алюминиевой стружкой в разливочных ковшах емкостью 0,6-0,7 тонны. Опытными промышленными плавками подтверждено, что рациональная скорость ввода порошковой ленты составляет 0,2-0,4 м/с. Это обеспечивает устойчивую степень усвоения алюминия 72-75 % (табл. 2) и исключает пыле-, газовыделения на поверхности металла.

Отсутствие пироэффекта и газовых выделений свидетельствует, что растворение оболочки и переход алюминия в сталь происходит в нижних слоях расплава, исключив его угар от взаимодействия со шлаком и кислородом воздуха. Степень усвоения алюминия из порошкового раскислителя при его вводе в разливочный ковш емкостью 600 кг со скоростью 0,2-0,5 м/с находится в диапазоне 60-75 % при среднем значении 68 %. Раскисление стали порошковым раскислителем при обеспечении заданного содержания алюминия приводит к уменьшению усадочной рыхлости и снижению в ней количества грубых шлаковых включений. Количество в стали, раскисленной порошковым раскислителем, единичных алюминатов значительно меньше, чем в раскисленной первичным алюминием. Снижение затрат на раскисление 1 тонны литейной стали составляет 1,0-1,2 грн/т [15].

Разработана и внедрена технология обработки литейного чугуна порошковой лентой с силикокальцием. Увеличение удельного расхода кальция на обработку чугуна приводит к увеличению количества графита, перешедшего из пластинчатой формы в вермикулярную, и повышению его микротвердости. Причем с увеличением удельного расхода микротвердость увеличивается, и при среднем удельном расходе кальция 0,13 кг/т увеличение микротвердости составляет 491-540 Н/мм<sup>2</sup> (табл. 3).

В сравнительных образцах чугуна включения графита имеют значительные размеры и неравномерно распределены по площади образца с образованием междендритных колоний. В опытном металле наблюдается более равномерное распределение включений графита как по площади

образца, так и по площади дендритов и уменьшение их длины с 25-50 до 1,5-3,0 мкм. Наиболее характерные распределения включений графита в сером чугуна марок СЧ20-25 (ГОСТ 1412-85) с увеличением в 200 и 75 крат представлены на рис. 2.

Кроме того, данный трайб-аппарат модели ТА-003 прошел промышленные испытания в рамках установки для выравнивания и деления арматуры на мерные длины класса А-11 из стали марки Ст 5 сп диаметром 6,0-8,0 мм производства Макеевского металлургического завода. Работы были проведены в условиях ООО «Востокуглемаш» при выполнении бетонных работ и изготовлении бетонных изделий для нужд предприятия.

Установлено, что данная конструкция трайб-аппарата позволяет выравнивать арматуру диаметром 6,0-8,0 мм, смотанную в бухты, с мерным ее делением на заданную длину протяжкой через тянущую клеть. Трайб-аппарат работает устойчиво, без пробуксовок. Результаты свидетельствуют, что данная конструкция трайб-аппарата может быть использована для подачи монолитной алюминиевой проволоки для внепечной обработки литейной стали.

### Выводы

Применительно к условиям работы литейного производства машиностроительных и ремонтно-механических предприятий выполнен

проект и изготовлен трайб-аппарат для обработки литейной стали и чугуна порошковой лентой с высокоактивными реагентами в разливных ковшах малой емкости. Особенности данной конструкции трайб-аппарата, обеспечивающего устойчивую подачу порошковой ленты на малых скоростях ввода (без ее пробуксовки), является применение двухклетьевого механизма подачи ленты с механизмом прижима и зубчатыми ведущими роликами, цепной передачи крутящего момента, электродвигателя с плавной регулировкой скорости вращения и реверсом. Трайб-аппарат позволяет производить подачу порошковой ленты со скоростью 0,1-1,0 м/с на расстоянии 5-7 м, контролировать скорость ввода и длину порошковой ленты, управляется дистанционно и стационарно и соответствует мировому уровню данного оборудования. Трайб-аппарат модели ТА-003 изготовлен на ОАО «Торезтвердосплав», прошел промышленные испытания и применялся в литейном производстве ООО «Востокуглемаш» для осуществления следующих технологических процессов:

- раскисление литейной стали порошковой лентой с отсевами алюминиевой стружки (технология прямой регенерации алюминия из вторичного сырья непосредственно в жидкую сталь), что позволяет обеспечить степень усвоения алюминия в 2-2,5 раза выше, чем при использовании чушкового алюминия, и снижает материальные затраты на 30-50 %;

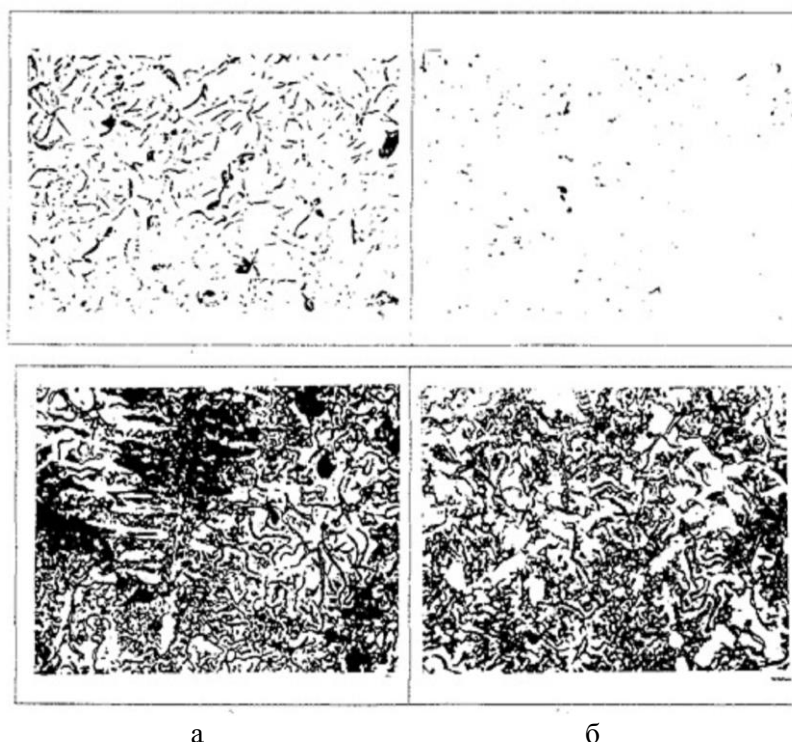


Рис. 2. Характерный вид распределения включений графита (верхнее фото,  $\times 75$ ) и микроструктура (нижнее фото,  $\times 200$ ) сравнительного – а и опытного – б образцов чугуна

– обработка литейной стали порошковой лентой с силикокальцием марки СК-30 позволяет обеспечить более глубокое ее раскисление, приводит к снижению пористости и микротрещин металла, что в совокупности способствует повышению механических свойств готовых изделий примерно на 10-15 % при остаточном содержании 0,0010 %;

– обработка литейного чугуна порошковой лентой с силикокальцием марки СК-30 при удельном расходе кальция 0,13 кг/т позволяет обеспечить степень десульфурации металла порядка 10 %, перевести включения графита на 60-80 % из пластинчатой формы в вермикулярную, уменьшить их размер, улучшить равномерность их распределения как по площади образца, так и по площади дендритов, повысить микротвердость на 50-55 кг/мм<sup>2</sup>.

Данный трайб-аппарат положительно прошел испытания на выравнивание арматурной проволоки диаметром 5,5-8,0 мм при производстве бетонных изделий.

#### Список литературы

1. Зинченко, В.Г. Внепечная обработка валковой стали комплексными модификаторами / В.Г. Зинченко, И.В. Судоргин // Современные проблемы электрометаллургии стали: материалы XII Межд. конф., 4-5 ноября, 2004 г., Челябинск.– Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – С. 127-128.
2. Современные методы ввода модификаторов в расплавы чугуна и стали / В.И. Жучков [и др.] // Литейный консилиум №1 «Модифицирование как эффективный метод повышения качества чугунов и сталей»: сб. докладов, 5-8 декабря, 2005. – Челябинск: ИЦМ, 2005. – С. 49-52.
3. Модифицирование расплавов стали порошковой проволокой с новыми наполнителями / В.Я. Гольдштейн [и др.] // Литейщик России. – 2016. – № 6. – С. 34-38.
4. Золотухин, В.И. Современное оборудование для производства порошковой проволоки и новые технические решения по ее вводу в расплав металла / В.И. Золотухин, А.Г. Головкин, Д.А. Провоторов // Черная металлургия. – 2015. – № 8. – С. 79-84.
5. Современные сталеразливочные системы для литейных и машиностроительных производств / В.И. Золотухин [и др.] // Литейщик России. – 2016. – № 9. – С. 15-17.
6. Дюдкин, Д.А. Динамика растворения порошковой проволоки (ленты) в жидкой стали / Д.А. Дюдкин, В.В. Паренчук, А.Я. Бабанин // Металлургия и горнорудная промышленность. – 2006. – № 1. – С. 24-25.
7. Дюдкин, Д.А. О перспективах повышения качества металла на Украине / Д.А. Дюдкин, В.С. Харахулах // Металл и литье Украины. – 1999. – № 13-14. – С. 5-7.
8. Особенности поведения порошковых проволок с различными наполнителями в металлургических расплавах / В.П. Онищук [и др.] // Металл и литье Украины. – 1999. – № 13-14. – С. 38-39.
9. Айзатулов, Р.С. Обработка стали порошковой лентой в промежуточном ковше МНЛЗ / Р.С. Айзатулов, И.Н. Слободинский // Сталь. – 1996. – № 4. – С. 30-31.
10. Patent 115561 USA, C21C1/10, C21C7/00, C22B9/10, F27B14/10, F27D3/00. Method and device for treating a metal or a molten metal alloy using an addition agent / T. Mourad, France. №201414896634; filed 06.06.2014; date of patent 28.04.2016. – 12 p.
11. Patent 106086304 China, C21C7/00, C21C7/10. Wire feeding device and wire feeding method for RH refining furnace / X. Huazhen, L. Dongsheng, Z. Zhijiang, P. Xudong, L. Hai, China. № 20161620440; filed 02.08.2016; date of patent 09.11.2016. – 5 p.
12. Patent 205803526 China, C21C7/00. Molten iron modification equipment / J. Yuanguai, L. Hong, L. Cheng, C. Sen, Z. Hu, China. № 20162627869; filed 23.06.2016; date of patent 14.12.2016. – 5 p.
13. Орлов, П.И. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие в 3-х книгах. Кн. 1. – Москва: Машиностроение, 1977. – 623 с.
14. Особенности растворения порошковой ленты с алюминиевой стружкой в жидкой стали / В.В. Паренчук [и др.] // Тепло-массообменные процессы в металлургических системах: материалы VI межд. научн.-техн. конф., 7-9 сентября, 2000 г., Мариуполь. – Мариуполь: Изд-во ПГТУ, 2000. – С. 214-217.
15. Бабанин, А.Я. Раскисление литейной стали порошковым раскислителем / А.Я. Бабанин, В.В. Паренчук, Л.А. Позняк // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2005. – № 1. – С. 26-28.

**A.Ya. Babanin /Dr. Sci. (Eng.)/**

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture (Makeyevka)*

**M.Yu. Tkachev /Cand. Sci. (Eng.)/**

*Donetsk National Technical University (Donetsk)*

**V.V. Belousov /Dr. Sci. (Eng.)/**

Donetsk National University (Donetsk)  
 N.V. Palamarchuk /Dr. Sci. (Eng.)/  
 Donetsk Railway Transport Institute (Donetsk)

**DESIGN FEATURES OF THE WIRE-FEEDING MACHINE FOR FEEDING  
 FILLER WIRE IN FOUNDRY AND MECHANIZATION  
 OF CONCRETE PRODUCTS REINFORCING**

**Background.** For ladle treatment of steel by cored wire with highly active reagents, the wire feeding machine designed and the production of cored wire with various fillers mastered. The cored wire input in casting ladles at great speed (2-5 m/s) and depth of metal (3-4 m), and the transition of filler into the melt, depending on the input speed and the temperature of the metal, occurs at a depth of 2-4 m. These input modes of highly active reagents are inappropriate for the foundry. The cored wire input into small containers even at speeds of 0.2-0.5 m/s went undissolved throughout the depth of the melt and reached the bottom. This creates additional resistance to the input and can stop the treatment process and change the direction of the wire, its dissolution in the upper layers of the melt and reduce the degree of assimilation of the input component. Therefore, the design of the wire-feeding machine is a topical scientific-technical task of engineering.

**Materials and/or methods.** For the comparative assessment of processes of melting of cored wire and filler wire in the melt, the previously formulated mathematical model of the behavior of cored wire adapted to the study of the behavior of filler wire. The major assemblies, components, and materials for the manufacture designed on the basis of the calculations with the application of fundamental provisions of theoretical mechanics, the theory of mechanisms and machines.

**Results.** Applied to the working conditions of the foundry designed and manufactured the wire-feeding machine for foundry steel and iron treatment by filler wire with highly active reagents in casting ladles of small capacity. The design features are the application of a two-cage feeder with a filler wire clamp mechanism and toothed guide rollers, chain drives, electric motor with continuously adjustable speed and reverse. The wire-feeding machine allows feeding the filler wire at a speed of 0.1-1.0 m/s and a distance of 5-7 m, controlling the input speed and the length of the filler wire, and remote and stationary control of feeding.

**Conclusion.** The results of the work allow filling the gap in domestic methodology for designing non-standard equipment and ensuring industrial application of the technology of ladle treatment of melts in foundries of mechanical engineering and repair plants. The proposed scheme of the wire-feeding machine ensures full mechanization and automation of ladle treatment of casting melts by a filler wire with highly active reagents. JSC "Toreztverdosplav" has mastered serial production of wire-feeding machines of this design.

**Keywords:** wire-feeding machine, filler wire, highly active reagent, foundries, parts of machines, machinery, mechanical engineering and repair plants.

**Сведения об авторах**

**А.Я. Бабанин**

Scopus ID: 25928278900  
 Телефон: +380 (62) 22-74-71  
 Эл. почта: Bay1957@mail.ua

**М.Ю. Ткачев**

SPIN-код: 9855-0447  
 Scopus ID: 57189358257  
 Orcid ID: 0000-0001-5795-9595  
 Телефон: +380 (62) 301-08-39  
 Эл. почта: mishel-tkachev@ya.ru

**В.В. Белоусов**

Scopus ID: 25928177100  
 Телефон: +380 (62) 302-92-88  
 Эл. почта: v.v.bilousov@gmail.com, fnpme@list.ru

**Н.В. Паламарчук**

Телефон: +380 (62) 319-21-76  
 Эл. почта: institut-transporta@mail.ru

Статья поступила 08.12.2017 г.

© А.Я. Бабанин, М.Ю. Ткачев, В.В. Белоусов, Н.В. Паламарчук, 2017  
 Рецензент д.т.н., доц. Н.А. Ченцов