

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 1 (2023)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**
выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ51VPY00036165

выдано

Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/10.48081/UAET1531>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,342

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Богомоллов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Кажыбаева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

Зарубежные члены редакционной коллегии:

Waigang Sun – профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Magin Laruerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

Ю. И. Шадрин¹, *А. В. Богомолов²

¹ТОО «Вектор», Республика Казахстан, г. Павлодар;

²Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;

*e-mail: bogomolov71@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧЕЙ ПРИ ПЛАВКЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В УСЛОВИЯХ ТОО «ВЕКТОР»

Представлены особенности технологии приготовления сплава для литых алюминиевых дисков в условиях ТОО «Вектор». Подробно описан процесс подготовки шихты и состав шихтовых материалов для плавки алюминиевых сплавов в индукционных тигельных печах.

Приведены результаты проведенных промышленных экспериментов по нейтрализации простоев печи, связанных с ожиданием слива металла. Была поставлена задача определения оптимальной технологии шихтовки и выплавки металла. По результатам эксперимента разработана технология непрерывной и эффективной работы индукционных тигельных печей.

Проведена также серия экспериментальных плавов с целью выявления разницы производительности печей по разным технологиям шихтовки и плавления.

В условиях производства предприятия ТОО «Вектор» с помощью внесения изменения в технологию шихтовки и выплавки металла в индукционных печах было достигнуто повышение производительности на 1.2 тонн за сутки. Также были сведены к минимуму простои печей по причине ожидания слива металла. При работе, согласно штатной технологии, производительность двух индукционных печей не превышала 28 тонн. После внедрения экспериментальной технологии производительность двух индукционных тигельных печей за сутки повысилась до 30 тонн жидкого металла.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, литые диски, плавка, индукционная печь, производительность.

Введение

На некоторых металлургических производствах лимитирующим звеном производственных мощностей является плавильный участок, который не всегда может обеспечить литейный участок требуемым количеством жидкого сплава. Причиной могут служить несколько факторов: относительно малый объем плавильных печей; увеличенное время приготовления сплава; выход из строя плавильных агрегатов по причине износа футеровки и др.

Время, затрачиваемое на приготовления сплава, зависит от характеристик плавильных агрегатов, а также от вида шихтовых материалов. Важными являются

следующие характеристики шихтовых материалов: плотность и химический состав.

Плотность шихты напрямую влияет на скорость плавления, а химический состав способен в значительной мере повлиять на длительность приготовления сплава. Если использовать шихту, химический состав которой полностью совпадает с требуемым сплавом, то длительность приготовления сплава будет минимальной, а если химический состав подразумевает полное несоответствие требуемому составу, то длительность приготовления сплава возрастает в разы.

Существует множество способов повысить производительность плавильных агрегатов за счёт внесения изменений в технологию приготовления сплава. Далее представлены несколько экспериментально подтверждённых способов повышения производительности индукционных печей в условиях предприятия ТОО «Вектор».

Материалы и методы

На данный момент в работе используются две индукционные тигельные печи ёмкостью 600 кг [1]. При стандартной шихтовке (180 кг стружки и 420 кг бракованных автомобильных дисков) длительность плавки составляет 1 час и 15 минут, без необходимости корректировки химического состава. При таком режиме работы печи способны обеспечивать металлом три литейные машины ёмкостью 700 кг с периодичностью заливки один раз в два часа. При этом, если запустить в работу четвёртую литейную машину, то металла будет недостаточно в виду того, что в среднем каждая литейная машина вырабатывает около 200–350 кг (в зависимости от диаметра и исполнения диска) жидкого сплава за один час. Учитывая особенности строения литейных машин низкого давления, в нагревательных камерах всегда должен поддерживаться неснижаемый уровень металла, составляющий около 250 кг, что предотвращает оголение металлоподающей трубы и последующий забор воздуха [2].

При внесении изменений в режим работы плавильных печей и корректировки шихтовки можно значительно повысить производительность, которая позволит одновременно запустить в работу четыре литейных машины.

В первую очередь необходимо увеличить количество шихты с повышенной плотностью, загружаемой в начале и середине плавки [3]. В роли такой шихты выступает измельчённая и просушенная алюминиевая стружка, которая является результатом отходов обрабатывающих станков. Оптимальным будет увеличение доли стружки от общего объёма шихты в два раза, а именно со 180 кг до 360 кг [4]. Связано это с тем, что до уровня выше половины тигеля печи, вихревые токи, создаваемые индуктором, имеют максимальную эффективность [5]. За счёт этого более плотная шихта будет расплавляться максимально эффективно. Выше этого уровня вихревые токи теряют свою мощность и плавление происходит уже за счёт нагрева жидкого металла в тигеле печи, тогда производится загрузка менее плотной шихты для предотвращения замерзания зеркала металла. В качестве менее плотной шихты прекрасно подходит бракованная продукция автомобильных дисков [6].

После наполнения печи и достижения температуры в 710–720°C производится отбор пробы с целью определения химического состава сплава. После отбора пробы металл в печи продолжает нагреваться до температуры 800–850 °С. Данная температура необходима для ликвидации тепловых потерь в следствии последующих манипуляций, связанных с повышением производительности.

При следовании данной технологии выплавки, металл готов к выпуску в разливочный ковш уже через 60–65 минут, однако в связи с необходимостью нагрева до температур 800–850 °С сэкономленные 10–15 минут затрачиваются на нагрев металла.

Результаты и обсуждение

Перед началом экспериментальной плавки в разливочный ковш были помещены бракованные диски общей массой 50 кг. На момент выпуска металла из печи температура дисков и футеровки внутри ковша составляла около 110–130 °С [7]. Выпуск металла производился в следующем порядке:

Производится выпуск металла массой 306 кг с индукционной печи № 1 в разливочный ковш, где находились бракованные диски массой 50 кг. После выпуска металла, в первую печь было дополнительно загружено 100 кг бракованных дисков, после чего печь была включена на полную мощность. Сразу после выпуска разливочный ковш переставляется под печь № 2, после чего операции повторяются. Заливщик при помощи вилочного погрузчика транспортирует разливочный ковш с металлом (656 кг) на участок дегазации сплава.

Через 15 минут заливщик заканчивает дегазацию металла и отправляется на литейный участок для наполнения литейных печей. В течении всего этого времени на плавильном участке производится расплав дополнительных 100 кг в каждой печи и нагрев металла до температуры 740–750 °С. Заливка литейных печей в среднем занимает от 10 до 15 минут. По окончанию разливки металла по литейным печам, заливщик вновь загружает в ковш 50 кг дисков и устанавливает ковш под печь №1 для выпуска металла. Второй выпуск производится «насухо» с обеих печей.

Таким образом общая масса жидкого сплава составила 1,5 тонны при максимальной ёмкости двух печей всего 1,2 тонны. Данные эксперимента на момент первого выпуска представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Данные эксперимента первого выпуска металла

Масса слива, кг	Масса в ковше, кг	Температура слива, °С	Температура в ковше, °С	Потери тепла, °С
Слив металла с печи №1				
306	50	850	110	180
Слив металла с печи №2				
300	356	850	670	98
Итого				
Масса в ковше, кг	656	Температура в ковше, °С	752	

После обработки металла на участке дегазации конечная температура составила 707 °С, что является оптимальной температурой для литья, так как диапазон рекомендуемых температур составляет 695–705 °С.

За счёт высокой температуры в печах (850 °С) расплавление дополнительно загруженных 100 кг дисков и нагрев до температур 750–760 °С займёт 25–30 минут. После загрузки дополнительных 100 кг в печь температура понизится с 850 °С до 646 °С, однако за счёт индукции металл будет постоянно нагреваться со скоростью около 4–6 °С/мин. Таким образом за 25–30 минут температура металла составит 740–750 °С, что позволит произвести повторный выпуск металла с двух печей. Данные на момент второго выпуска представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Данные эксперимента второго выпуска металла

Масса слива, кг	Масса в ковше, кг	Температура слива, °С	Температура в ковше, °С	Потери тепла, °С
Слив металла с печи №1				
394	50	742	312	11
Слив металла с печи №2				
400	444	740	729	6
Итого				
Масса в ковше, кг	794	Температура в ковше, °С	734	

Учитывая то, что ковш хорошо прогрет металлом, потери тепла существенно сократились по сравнению с первым выпуском металла. После обработки металла на участке дегазации температура сплава составила 699 °С. Таким образом, получена увеличенную производительность печей за счёт их непрерывной работы. По старой технологии, печи поочерёдно сливались «насухо», в результате чего печь № 2 простаивала в ожидании всё то время, которое было затрачено на заливку литейных машин.

Согласно полученным данным, за 6 часов 45 минут по новой и старой технологии достигнута разная производительность. За данный промежуток времени по старой технологии было выплавлено 6 плавок с общей массой металла равной 7200 кг. Производительность новой технологии превосходит старую технологию на 300 кг жидкого сплава за пять плавок. Несмотря на несущественный прирост производительности, этого достаточно для запуска одновременно четырёх литейных машин [8–10].

Выводы

1 Приведены результаты проведенных экспериментальных плавок алюминиевых сплавов в индукционных печах по усовершенствованной технологии.

2 Использование изменённой технологии эксплуатации индукционных печей позволяет повысить общую производительность плавильных агрегатов путём ликвидации простоев печей, связанных с ожиданием выпуска металла.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Галевский, Г. В.** *Металлургия алюминия: мировое и отечеств. пр-во: оценка, тенденции, прогнозы* [Текст] // учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению «Металлургия» / Г. В. Галевский, Н. М. Кулагин, М. Я. Минцис. – М. : Флинта, 2004. – 277 с.

2 **Денисов, В. М.** / *Алюминий и его сплавы в жидком состоянии* [Текст] // В. М. Денисов [и др.; отв. ред. Э. А. Пастухов]; Рос. акад. наук, Урал. отд-ние, Ин-т металлургии. – Екатеринбург: [УрО РАН], 2005. – 224 с.

3 **Абалымов, В. Р.** *Безотходное производство автомобильных дисков из алюминиевых сплавов* / В. Р. Абалымов, В. П. Жереб, Ю. А. Клейменов [Текст] // *Цветные металлы и минералы – 2017 : Сборник докладов Девятого международного конгресса, Красноярск, 11–15 сентября 2017 года.* – Красноярск: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-инновационный центр», 2017. – с. 561–564.

4 **Goulart, P. R., Spinelli J. E., Osorio W. R. and Garcia A.** *Mechanical properties as a function of microstructure and solidification thermal variables of Al—Si castings.* [Text]. // *Materials Science and Engineering A*, 2006, v. 421, p. 245–253.

5 **Фролов, Р. А.** *Формирование структуры и свойств литых деталей из сплава АК7ч с использованием комплексной обработки* / Р. А. Фролов, И. П. Волчок, А. А. Митяев, В. В. Лукинов [Текст] // *Металознавство та термічна обробка металів.* – 2019. – № 2(85). – с. 62–66. – DOI 10.30838/J.PMNTM.2413.230419.61.295.

6 **Ferguson, J. B.** *Correlation vs. Causation : The Effects of Ultrasonic Melt Treatment on Cast Metal Grain Size* / J. B. Ferguson, Benjamin F. Schultz, Kyu Cho, Pradeep K. Rohatgi [Text]. // *Metals.* – 2014. – № 4. – P. 477–489.

7 **Волчок, И. П., Митяев А. А., Фролов Р. А.** *Комплексная технология повышения качества вторичных алюминиевых сплавов* / И. П. Волчок, А. А. Митяев, Р. А. Фролов [Текст] // *Литьё и металлургия.* – 2018. – № 4 (93). – с. 19–23.

8 **Богданова Т. А.** *Современные технологии изготовления дисков автомобильных колес* / Т. А. Богданова, Н. Н. Довженко, Т. Р. Гильманшина [и др.] [Текст] // *Современные проблемы науки и образования.* – 2014. – № 5. – с. 226.

9 **Shadrin, Yu. I.** *Features of aluminum disc production technology* / Yu. I. Shadrin [Текст] // *Наука и техника Казахстана.* – 2021. – № 3. – с. 50–56.

10 **Вуков, Р. О.** *Prospects for the development of production of aluminum castings* / Вуков Р. О., Yelyubayev Zh. B., Mukhamdyarov B. T. [Текст] // *Наука и техника Казахстана.* – 2014. – № 3–4. – с. 8–13.

REFERENCES

1 **Galevskij, G. V.** *Metallurgiya alyuminiya: mirovoe i otechestv. pr-vo: ocenka, tendencii, prognozy`* [Aluminum metallurgy: global and domestic production:

assessment, trends, forecasts] // G. V. Galevskij, N. M. Kulagin, M. Ya. Mincis. [Text]. – Moscow : Flinta, 2004. – 277 p.

2 **Denisov, V. M.** / Alyuminiy i ego splavy` v zhidkom sostoyanii [Aluminum and its alloys in liquid state] // V. M. Denisov. [Text]. – Ekaterinburg : [UrO RAN], 2005. – 224 p.

3 **Abaly`mov, V. R.** Bezotxodnoe proizvodstvo avtomobil`ny`x diskov iz alyuminiyevy`x splavov [Waste-free production of automobile discs made of aluminum alloys] / V. R. Abaly`mov, V. P. Zhreb, Yu. A. Klejmenov [Text] // Czvetny`e metally` i mineraly` – 2017 : Sbornik dokladov Devyatogo mezhdunarodnogo kongressa, – Krasnoyarsk : «Nauchno-innovacionny`j centr», 2017. – p. 561–564.

4 **Goulart, P. R., Spinelli, J. E., Osorio, W. R. and Garcia, A.** Mechanical properties as a function of microstructure and solidification thermal variables of Al—Si castings. [Text]. // Materials Science and Engineering A, 2006, v. 421, p. 245–253.

5 **Frolov, R. A.** Formirovanie struktury` i svojstv lity`x detalej iz splava AK7ch s ispol`zovaniem kompleksnoj obrabotki [Formation of the structure and properties of cast parts made of AK7ch alloy using complex treatment] / R. A. Frolov, I. P. Volchok, A. A. Mityaev, V. V. Lukinov [Text] // Metaloznavstvo ta termichna obrobka metaliv. – DOI 10.30838/J.PMHTM.2413.230419.61.295. 2019. – № 2(85). – p. 62–66.

6 **Ferguson, J. B.** Correlation vs. Causation: The Effects of Ultrasonic Melt Treatment on Cast Metal Grain Size / J. B. Ferguson, Benjamin F. Schultz, Kyu Cho, Pradeep K. Rohatgi [Text]. // Metals. – 2014. – № 4. – p. 477–489.

7 **Volchok, I. P., Mityaev A. A., Frolov R. A.** Kompleksnaya texnologiya povы`sheniya kachestva vtorichny`x alyuminiyevy`x splavov [Comprehensive technology for improving the quality of secondary aluminum alloys]. / I. P. Volchok, A. A. Mityaev, R. A. Frolov [Text] // Lit`yo i metallurgiya. – 2018. – № 4 (93). – p. 19–23.

8 **Bogdanova, T. A.** Sovremenny`e texnologii izgotovleniya diskov avtomobil`ny`x koles [Modern technologies for the manufacture of automobile wheel discs] / T. A. Bogdanova, N. N. Dovzhenko, T. R. Gil`manshina [Text] // Sovremenny`e problemy` nauki i obrazovaniya. – 2014. – № 5. – P. 226.

9 **Shadrin, Yu. I.** Features of aluminum disc production technology / Yu. I. Shadrin [Text] // Science and Technology of Kazakhstan. – 2021. – № 3. – p. 50–56.

10 **Bykov, P. O.** Prospects for the development of production of aluminum castings/ Bykov P. O., Yelyubayev Zh. B., Mukhamdyarov B. T. [Text] // Science and Technology of Kazakhstan. – 2014. – № 3–4. – P. 8–13.

Материал поступил в редакцию 06.02.23.

Ю. И. Шадрин¹, *А. В. Богомолов²

¹«Вектор» ЖШС, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

²Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;

Материал 06.02.23.баспаға түсті.

«ВЕКТОР» ЖШС ЖАҒДАЙЫНДА АЛЮМИНИЙ ҚОРЫТПАЛАРЫН БАЛҚЫТУ КЕЗІНДЕ ИНДУКЦИЯЛЫҚ ПЕШТЕРДІҢ ӨНІМДІЛІГІН АРТТЫРУ

«Вектор» ЖШС жағдайында құйылған алюминий дискілері үшін қорытпаны дайындау технологиясының ерекшеліктері ұсынылған. Құйылған дискілерді өндіру үшін индукциялық тигель пештерін шихталау процесі толық сипатталған. Шихтаны дайындау процесі және алюминий қорытпаларын балқытуға арналған шихта материалдарының құрамы егжей тегжейлі сипатталған

Металды төгуді күтуге байланысты пештің тоқтап қалуын бейтараптандыру бойынша жүргізілген өнеркәсіптік эксперименттердің нәтижелері келтірілген. Бастапқыда металды балқыту мен шихталаудың оңтайлы технологиясын анықтау міндеті қойылды. Эксперимент нәтижелері бойынша индукциялық тигель пештерінің үздіксіз және тиімді жұмыс істеу технологиясы жасалды.

Сондай-ақ, әртүрлі шихталау және балқыту технологиялары бойынша пештер өнімділігінің айырмашылығын анықтау мақсатында эксперименттік балқытулар сериясы жүргізілді.

«Вектор» ЖШС кәсіпорнының өндіріс жағдайында индукциялық пештерде металды балқыту мен шихталау технологиясына өзгерістер енгізу арқылы тәулігіне қосымша 1,2 тонна көлемінде өнімділікті арттыруға қол жеткізілді. Сондай-ақ, металл төгілуін күту себебінен пештердің тоқтап қалуы азайтылды. Штаттық технологияға сәйкес жұмыс істеген кезде екі индукциялық пештің өнімділігі тәулігіне 28 тоннадан аспады. Эксперименттік технологияны енгізгеннен кейін екі индукциялық тигель пешінің өнімділігі тәулігіне 30 тонна сұйық металға дейін өсті.

Кілтті сөздер: алюминий қорытпалары, құйылған дискілер, балқыту, индукциялық пеш, өнімділік.

*Yu. I. Shadrin¹, *A. V. Bogomolov²*

¹Vector LLP, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

²Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Material received on 06.02.23.

INDUCTION FURNACES PRODUCTIVITY INCREASING DURING MELTING ALUMINUM ALLOYS IN THE CONDITIONS OF VECTOR LLP

The features alloy preparation technology for cast aluminium discs in the conditions of Vector LLP are presented. Mixing induction crucible furnaces process for the production of cast discs is described in detail.

Industrial experiments results of conducted to neutralize furnace downtime associated with the expectation of metal discharge are presented. The task was set to determine the optimal technology for mixing and smelting metal. Based on experiment results, the technology of continuous and efficient induction crucible furnaces operation has been developed.

A series of experimental melts was also carried out in order to identify the difference in furnace performance according to different charging and melting technologies. By making changes to the technology of charging and smelting metal in induction furnaces in the production conditions of the enterprise «Vector» LLP an increase in productivity by 1.2 tons per day was achieved.

Furnace downtime was also minimized due to the expectation of metal draining. When working according to standard technology, the productivity of two induction furnaces did not exceed 28 tons. After experimental technology introduction, the two induction crucible furnaces productivity increased to 30 tons of liquid metal per day.

Keywords: aluminium alloys, alloy wheels, melting, induction furnace, productivity.

Теруге 06.02.23 ж. жіберілді. Басуға 30.03.23 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Mb RAM

Шартты баспа табағы 1,09 Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 3998

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

nitk.tou.edu.kz