ISSN 0024-449X

Литейное производство

5 2022

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ • ИЗДАЕТСЯ С 1930 г.

FAT

Литейное оборудование для ХТС-процессов из Германии

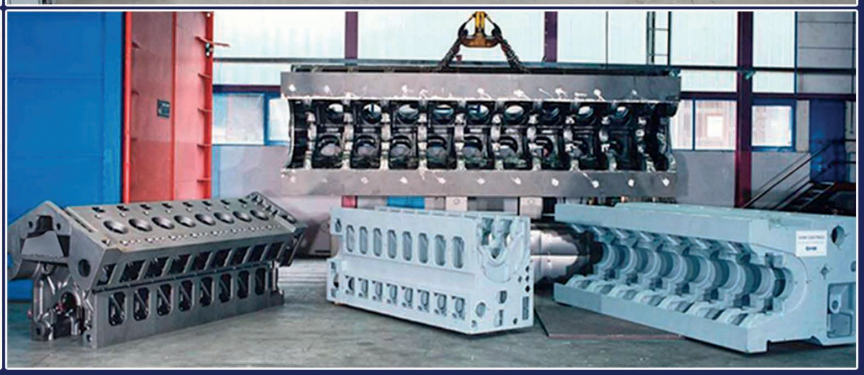
Know-How from Germany

Высококачественное оборудование из одних рук:

- Смесители. Формовочные линии. Пневмотранспорт.
- Системы регенерации, сепарация хромитового песка.
- Устройства окраски, сушки полуформ. Кантователи.
- Автоматы сборки форм. Линии заливки и охлаждения.
- Учет и контроль производственных процессов.
- Регенерация до уровня качества свежего песка.

Фирма FAT в России и СНГ
Тел.: +7(499) 904-3544,
+7(499) 907-5290;
Факс: +7(499) 907-2150;
E-mail: fat@nln.ru;
www.f-a-t.de

Монтажный цех FAT
г. Нидерфишбах, Германия



Отливки любой сложности и назначения

FOUNDRY. TECHNOLOGY & EQUIPMENT

100 СЛОВ ОБ УРАЛХИМПЛАСТ-ХЮТТЕНЕС АЛЬБЕРТУС

НОМЕР ОДИН
СОЛИДНАЯ РЕПУТАЦИЯ
КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ
СТРЕМЛЕНИЕ СТАТЬ ЛУЧШЕ
ПОМОЩЬ С ДЕФЕКТАМИ ЛИТЬЯ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬ
СОТРУДНИЧЕСТВО
РОСТ
ВЫСОКОЕ КАЧЕСТВО
ТЕХНИЧЕСКИЙ АУДИТ
УДОБНАЯ ФАСОВКА
НАДЕЖНЫЕ
УВЕРЕННОСТЬ ПОЗИТИВНЫЕ ОПЕРАТИВНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ ПОД УЗКИЕ ТРЕБОВАНИЯ
РАЗВИТИЕ
КОМАНДА
КАЧЕСТВО
ПАРТНЕР
ОБУЧЕНИЕ
ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ
ШИРОЧАЙШИЙ АССОРТИМЕНТ
СИСТЕМА КАЧЕСТВА ISO
ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ ОТЗЫВЫ
ВНЕДРЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВО
ДОВЕРИЕ ЛИТЕЙНЫХ ЗАВОДОВ
ХАРИЗМАТИЧНЫЕ ЛИДЕРЫ РЫНКА
НОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО
СВОЕВРЕМЕННАЯ ПОСТАВКА
ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ПОВЫШЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ
МОДЕРНИЗАЦИЯ
СТАБИЛЬНОСТЬ
СОБСТВЕННЫЙ ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ
ВИЗИТЫ ИНОСТРАННЫХ ТЕХНОЛОГОВ
РАБОТА С ОТСРОЧКОЙ ПЛАТЕЖА
СОБСТВЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО
ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА
НЕМЕЦКИЕ ТЕХНОЛОГИИ
УНИКАЛЬНЫЕ ПРОДУКТЫ
СЕРЬЕЗНАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ БАЗА
МЕЖДУНАРОДНЫЕ
ЭКСПЕРТЫ В ЛИТЬЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ
СЕТЬ СКЛАДОВ
МИРОВОЙ БРЕНД
УДОБНО
КВАЛИФИЦИРОВАННЫЕ КОНСУЛЬТАЦИИ
ГРАМОТНЫЕ СПЕЦИАЛИСТЫ

Тел.: +7 (3435) 34 60 07
E-mail: ucp-ha@ucp.ru
Http://ucp-ha.ru

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ИЗДАЕТСЯ С 1930 г.

Литейное производство

№5 2022

Редакционно-издательский совет

ПОДДУБНЫЙ А.Н.
Главный редактор

АФОНАСКИН А.В.

БАСТ Ю.

БУДАНОВ Е.Н.

КИДАЛОВ Н.А.

КОРОТЧЕНКО А.Ю.

МАРУКОВИЧ Е.И.

МАСАЛОВ А.К.

НУРАЛИЕВ Ф.А.

ПАНФИЛОВ Э.В.

ПИИРАЙНЕН В.Ю.

ПОПОВ А.

ТКАЧЕНКО С.С.

ШАТУЛЬСКИЙ А.А.

Издательский дом «ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО» объявляет подписку на электронные версии журналов «ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО», «МЕТАЛЛУРГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ» (подробнее www.foundrymag.ru)

СОДЕРЖАНИЕ • CONTENTS

Литье в песчаные формы

2 **Илларионов И.Е., Жирков Е.Н., Янюшкин А.Р., Садетдинов Ш.В.** Разработка магнийборфосфатных связующих и смесей для стального литья • **Illarionov I.E., Zhirkov E.N., Yanyushkin A.R., Sadetdinov Sh.V.** Development of magnesium borphosphate binders and mixtures for steel castings

7 **Ермоленко А.А., Знаменский Л.Г., Ткаченко С.С., Морозов А.О., Прокопенко А.В.** Применение энергии физических полей в технологии литейной формы • **Ermolenko A.A., Znamensky L.G., Tkachenko S.S., Morozov A.O., Prokopenko A.V.** Application of energy of physical fields in mold technology

Специальные способы литья

15 **Коротченко А.Ю., Хилков Д.Э., Тверской М.В.** Новые составы термопластичных шликеров и литейные формы для их инжекционного литья • **Korotchenko A.Yu., Khilkov D.E., Tverskoy M.V.** New compositions of thermoplastic slurry and molds for their injection molding

19 **Лившиц В.Б., Кушнир А.П.** Влияние давления на формирование отливок из сплава АК7ч • **Livshits V.B., Kushnir A.P.** An influence of pressure on the formation of AK7ch alloy castings

22 **Нарский А.Р., Дейнега Г.И., Кузьмина И.Г.** Применение модификатора – алюмината кобальта при литье лопаток газотурбинных двигателей. Часть 2 • **Narsky A.R., Deynega G.I., Kuzmina I.G.** Application of cobalt aluminate modifier for equiaxed casting of gas turbine engine blades. Part 2

Литейное оборудование

26 **Попов А.** Опыт Laempe по внедрению технологий «Индустрия 4.0» в мировой литейной промышленности • **Popov A.** Laempe experience of implementation of technologies “Industry 4.0” in the global foundry industry

Экология. Охрана труда

30 **Лазаренков А.М., Садоха М.А.** Исследование вибробезопасности труда в литейном производстве • **Lazarenkov A.M., Sadokha M.A.** Study of vibration safety of labor in the foundry

Информация. Хроника

36 **Ко Дню Победы.** Памятники литературным и киногероям из фильмов о Великой Отечественной войне

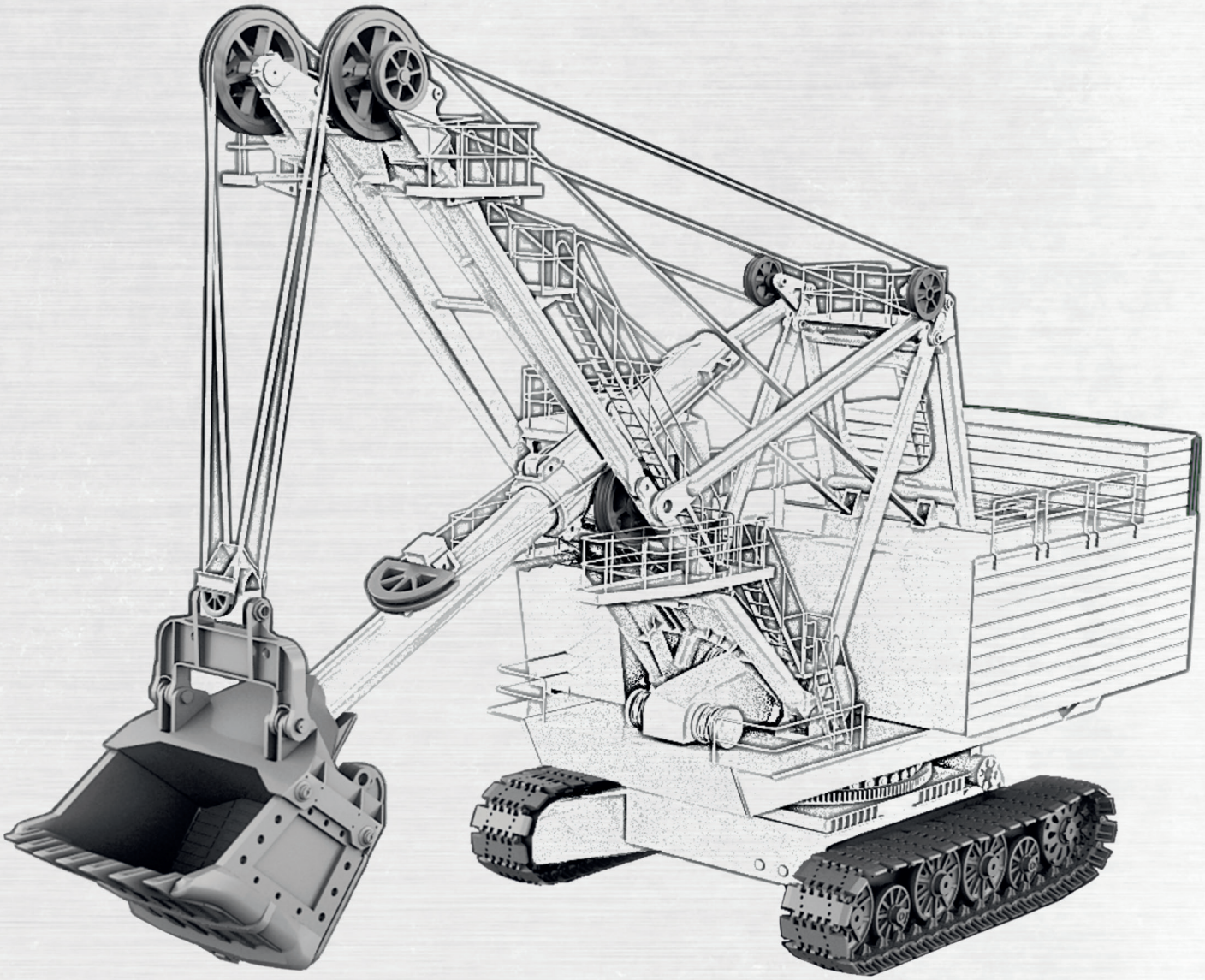
37 **Косников Геннадий Александрович.** *К 85-летию со дня рождения*

38 **Верин А.С.** Ответ Гельмгольц центру (KIEL). *Письмо в редакцию*

40 Владимир Леонтьевич Найдек (1937...2022 гг.)

Мировое качество от первого российского производителя

Тысячи единиц карьерной техники комплектуются узлами, произведенными с применением экзотермических вставок компании «ВОЛОКНИСТЫЕ ОГНЕУПОРЫ»



МАСТЕРМ

ВОЛОКНИСТЫЕ ОГНЕУПОРЫ

Российская Федерация, Самарская область, город Тольятти
Тел./факс: +7 (8482) 37-93-99, 55-72-77
e-mail: info@masterm-vo.ru
www.masterm-vo.ru

УДК 621.742

I.E. Illarionov,
E.N. Zhirkov,
A.R. Yanyushkin,
Sh.V. Sadetdinov

Разработка магний-борфосфатных связующих и смесей для стального литья

Development of magnesium borphosphate binders and mixtures for steel casting

И.Е. Илларионов, Е.Н. Жирков, А.Р. Янюшкин, Ш.В. Садетдинов

Аннотация

Представлены результаты исследования поверхностного натяжения, краевого угла смачивания, плотности, вязкости и связующей способности фосфатборатных связующих на основе дигидрофосфата магния, тетрабората натрия, гексабората кальция и гексабората магния. Исследования плотности, вязкости, поверхности натяжения, краевого угла смачивания, связующей способности магнийборфосфатных композиций позволяют научно обосновывать выбор связующего, исходя из адгезионно-когезионной способности, для получения формовочных и стержневых смесей, отверждаемых в холодной оснастке. Разработаны холоднотвердеющие смеси состава: 80% кварцевый песок 1К02А ГОСТ 2138-91; 5% глина ПЗ ГОСТ 3226-93 и 15% магнийборфосфатное связующее (МБФС). Разработанные связующие и смеси отвечают требованиям практики литейного производства по физико-механическим свойствам. Их можно рекомендовать для изготовления формовочных и стержневых смесей, отверждаемых в холодной оснастке, при производстве стальных отливок.

Ключевые слова

Магнийборфосфатное связующее, поверхностное натяжение, краевой угол смачивания, плотность, вязкость, связующая способность, формовочные и стержневые смеси, отливки, живучесть, осыпаемость, формуемость, прочность, работа выбивки.

Summary

The results of the study of surface tension, wetting angle, density, viscosity and binding strength of boratephosphate binders based on magnesium dihydrophosphate, sodium tetraborate, calcium hexaborate and magnesium hexaborate are presented. Studies of the density, viscosity, tension surface, wetting angle, and binding strength of magnesium boronphosphate compositions make it possible to substantiate scientifically the choice of the binder proceeding from its adhesive-cohesive ability to obtain molding and core sands cured in cold tooling. Cold-hardening mixtures having the following composition: 80% quartz sand 1K02A GOST 2138-91; 5% clay PZ GOST 3226-93 and 15% magnesium boronphosphate binder have been developed. The developed binders and mixtures meet the requirements of foundry production in terms of physical and mechanical properties. They can be recommended for the production of molding and core sands hardened in cold tooling for the production of steel castings.

Key words

Magnesium boronphosphate binder, surface tension, wetting angle, density, viscosity, binding strength, molding and core sands, castings, durability, friability, shapeability, strength, shake-out work.

Известно, что химизация позволяет ускорить темпы развития технологических процессов изготовления форм и стержней в литейном производстве. В настоящее время при массовом производстве отливок для изготовления форм и стержней в качестве связующих, отверждаемых при тепловой обработке и в холодной оснастке, применяются синтетические смолы и различные их отвердители. Однако они являются концерогенными и токсичными веществами с высокой газотворной способностью, что ухудшает санитарно-гигиенические условия труда рабочих [1, 2]. Для устранения подобных проблем в области охраны труда и окружающей среды необходимо создавать природосберегающие технологии литейного производства, а также искать альтернативные решения применению синтетических смол. Одним из решений этой задачи является разработка формовочных и стержневых смесей на основе неорганических связующих и отвердителей [3].

Из неорганических материалов, проявляющих достаточные для литейного производства вяжущие свойства, хорошо изучены металлофосфатные соединения. Их водные растворы характеризуются высокой вязкостью, адгезией к различным материалам, способностью образовывать прочные структуры, которые сохраняются при нагревании [4]. Их недостатки: непродолжительный срок хранения, невысокая скорость твердения и относительно высокие, не удовлетворяющие требованиям практики, показатели остаточной прочности и работы выбивки [5]. Одним из вариантов устранения указанных недостатков металлофосфатных связующих и их смесей является модифицирование боратными соединениями. Известно, что бораты являются многофункциональными присадками, и применение их в качестве модификаторов улучшает физико-механические характеристики связующих и смесей [6, 7]. Также известно, что бораты образуют с фосфатами сополимеры – борофосфаты [8], а гексабораты кальция и магния являются отходами борного производства [9].

Цель работы – разработка эффективных МБФС и смесей для изготовления форм и стержней при стальном литье.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- исследование влияния тетрабората натрия (ТБН) $Na_2B_4O_7 \times 10H_2O$, гексабората кальция (ГБК) $CaB_6O_{10} \times 5H_2O$ и гексабората магния (ГБМ) $MgB_6O_{10} \times 5H_2O$ на связующие свойства дигидрофосфата магния (ДГФМ) $Mg(H_2PO_4)_2$;
- разработка на основе МБФС формовочных и стержневых смесей и изучение их физико-механических свойств.

Для приготовления связующих композиций использовали следующие материалы: тетраборат натрия (регистрационный номер CAS 1303-96-4); гексабораты кальция и магния, синтезированные согласно описанию в литературе [10]; дигидрофосфат магния (регистрационный номер CAS NO 13092-66-5). МБФС готовили смешиванием 36%-ного раствора ДГФМ с ТБН, ГБК и ГБМ, в отдельности. Содержание боратных соединений в составе испытуемых связующих композиций соответствовало 5% от массы связующего. Составы испытуемых связующих подобраны в соответствии с данными работы [11].

Экспериментальные данные плотности, вязкости, коэффициента поверхностного натяжения и краевой угол смачивания связующих композиций на основе ДГФМ с ТБН, ГБК и ГБМ, полученные по методике [11], приведены в **табл. 1**. Видно, что добавки тетрабората натрия, гексабората

Таблица 1

Состав	Содержание компонентов связующего, %					Физико-химические свойства связующих			
	Дигидрофосфат магния	Тетраборат натрия	Гексаборат кальция	Гексаборат магния	Вода	Плотность ρ, г/см³	Вязкость по ВЗ-4 при 293К, с	Коэффициент поверхностного натяжения, σ, н/м·10⁻³	Краевой угол смачивания, θ, град
1	36	–	–	–	64,0	1,876	18	88,6	32
2	36	1,8	–	–	62,2	1,812	29	80,7	20
3	36	–	1,8	–	62,2	1,834	32	82,4	24
4	36	–	–	1,8	62,2	1,860	36	83,8	25

Таблица 2

№ п/п	Наименование связующего	Масса агрегатов наполнителей, г			
		Кварцевый песок 1К02А ГОСТ 2138-91	Кварцевый песок обогащенный Об1К02А ГОСТ 2138-91	Смесь песка Об1К02А с 2% глины ПЗ	Огнеупорная глина ПЗ ГОСТ 3226-93
1	ДГФМ	0,3192	0,4650	0,4452	0,1148
2	ДГФМ + ТБН	0,6038	0,5258	0,5080	0,1589
3	ДГФМ + ГБК	0,5820	0,5132	0,4975	0,1518
4	ДГФМ + ГБМ	0,5412	0,5018	0,4821	0,1467

кальция и гексабората магния уменьшают поверхностное натяжение и краевой угол смачивания дигидрофосфата магния и тем самым улучшают его адгезионно-когезионные свойства. Показатели плотности и вязкости магнийборфосфатных связующих композиций не превышают требования практики литейного производства, например, вязкость жидкой композиции для непрерывных смесителей не должна превышать 100…150 с по ВЗ, что позволяет заключить о пригодности их на практике.

Экспериментальные данные по связующим свойствам испытуемых композиций приведены в **табл. 2** (связующая способность композиций на основе ДГФМ с ТБН, ГБК и ГБМ по массе агрегатов наполнителей).

Из **табл. 2** видно, что связующие свойства по отношению к наполнителям у МБФС выше, чем у ДГФМ. При этом связующие свойства исследуемых композиций увеличиваются в ряду боратных добавок ГБМ < ГБК < < ТБН. Наибольшей связующей способностью по отношению к наполнителям обладает ДГФМ + ТБН композиция. Связующие композиции составов (см. **табл. 2**) применяли для приготовления холоднотвердеющих смесей по следующей технологии. В смесителе периодического действия мод. 018М перемешивали 80% песка 1К02А и 5% глины ПЗ в течение 2 мин. Затем вводили 20%-ный раствор связующего и перемешивали до однородной массы (~ 2 мин).

Таблица 3

Свойства МБФС	Состав и показатели свойств смесей			
	№1 (КП + ОГ + ДГФМ)	№2 (КП + ОГ + ДГФМ + + ТБН)	№3 (КП + ОГ + ДГФМ + ГБК)	№4 (КП + ОГ + ДГФМ + + ГБМ)
Живучесть, мин	7	14	16	17
Осыпаемость через 24 ч выдержки, %	1,19	0,32	0,42	0,56
Формуемость, %	79,6	94,5	90,8	87,2
Прочность на сжатие, МПа, через:				
4 ч	0,24	1,33	1,17	0,80
8 ч	0,50	1,95	1,76	1,40
12 ч	0,73	2,37	2,14	1,69
16 ч	0,90	2,69	2,36	1,94
20 ч	1,08	2,87	2,53	2,10
24 ч	1,20	2,96	2,67	2,25

Приготовленные смеси испытывали на живучесть, осыпаемость, формуемость и прочность. Живучесть смесей оценивали по времени выдержки с момента приготовления смеси до изготовления образца, прочность которого снижается на 30% по сравнению с максимальным показателем ее прочности.

Осыпаемость и формуемость смесей изучали по стандартным методикам на цилиндрических образцах после выдержки их на воздухе в течение 24 ч (ГОСТ 23409.6-78 и ГОСТ 23409.15-78).

Прочность смесей на сжатие испытывали на машине LRu стандартных образцов-цилиндров через 4; 8; 12; 16; 20 и 24 ч. Результаты исследований физико-механических свойства МБФС приведены в **табл. 3**, где КП – кварцевый песок, ОГ – огнеупорная глина.

Из данных **табл. 3** видно, что введение в состав ДГФМ тетрабората натрия, гексабората кальция и гексабората магния улучшает физико-механические свойства смесей. Полученные характеристики свойств составов *2*, *3* и *4* сопоставимы с показателями свойств холоднотвердеющих смесей на основе модифицированного торфа [12] и соответствуют требованиям практики литейного производства по изготовлению стержневых и формовочных смесей, отверждаемых в холодной оснастке.

Согласно полученным результатам прочность испытуемой смеси состава *1* нарастает постепенно, достигая предельной прочности через 24 ч. Введение в состав *1* боратных добавок резко увеличивает прочность смеси в течение первых четырех часов (составы *2*, *3* и *4*). Наибольший показатель предела прочности достигается при использовании состава *2*, также через 24 ч, а достигнутые предельные значения прочности сохраняются в течение 6…7 дней.

Установлено, что введение в состав ДГФМ тетрабората натрия, гексабората кальция и гексабората магния обеспечивает хорошую выбиваемость отливок. Экспериментальные исследования остаточной прочности и работы выбивки смесей составов *2*, *3* и *4* по методу Жанколь и Виролле [13] позволяют характеризовать их как легко выбиваемые, когда смесь рассыпается через 5…6 легких ударов.

Известно, что металлоборфосфатные связующие после формирования отливки и при следующем охлаждении распадаются на B_2O_3 и P_2O_5, что вызывает эффект разупрочнения форм и улучшение условий удаления из них отливок [14].

Выводы

- Исследования плотности, вязкости, поверхности натяжения, краевого угла смачивания, связующей способности связующих композиций на основе дигидрофосфата магния, тетрабората натрия, гексабората кальция и гексабората магния, позволяют научно обосновывать выбор связующего, исходя из адгезионно-когезионной способности, для получения стержневых и формовочных смесей, отверждаемых в холодной оснастке.
- Разработаны магнийборфосфатные связующие и смеси, которые отвечают требованиям практики литейного производства по физико-механическим свойствам, и могут быть рекомендованы для изготовления формовочных и стержневых смесей, отверждаемых в холодной оснастке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Жуковский С.С.** Холоднотвердеющие связующие и смеси для литейных стержней и форм. – М.: Машиностроение. 2010. – 256 с.
2. **Илларионов И.Е., Пестряева Л.Ш., Садетдинов Ш.В., Стрельников И.А., Жирков Е.Н.** Разработка теплоизоляционных смесей для прибылей стальных отливок с применением фосфатборатов // Черные металлы. – 2020. – №7. – С. 28–33.
3. **Неглинский О.И., Mateo-Iarrauri (Loramendi) J.** Развитие и перспективы технологии производства песчаных стержней с неорганическими связующими // Литейщик России. – 2019. – №1. – С. 21–24.
4. **Илларионов И.Е., Садетдинов Ш.В., Стрельников И.А., Пестряев Д.А.** Модифицирование металлофосфатных связующих и смесей кислородными соединениями бора // Литейное производство. – 2020. – №6. – С. 14–17.
5. **Стрельников И.А., Пестряев Д.А., Садетдинов Ш.В.** Влияние глицероборатных соединений на физико-механические свойства алюмофосфатного связующего и смесей // Литейщик России. – 2021. – №2. – С. 24–27.
6. **Стрельников И.А., Пестряева Л.Ш., Садетдинов Ш.В.** Модифицирование лигносульфонатов метаборатами лития, натрия и калия // Заготовительные производства в машиностроении. – 2021. – Т. 19. – №8. – С. 339–342.
7. **Стрельников И.А., Пестряева Л.Ш., Садетдинов Ш.В.** Влияние тиокарбамидборатного модификатора на прочность формовочной смеси

и качество отливок из магниевых сплавов // Литейное производство. – 2021. – № 4. – С. 12–15.

8. **Илларионов И.Е., Садетдинов Ш.В., Моисеева О.В., Жирков Е.Н.** Влияние борной, борофосфорной и борофосфористой кислот на свойства фосфатных холоднотвердеющих смесей // Черные металлы. – 2019. – № 10. – С. 27–32.

9. **Балапанова Б.С., Жаймина Р.Е., Серазетдинов Д.З.** О переработке маточного раствора борного производства // Химия и технология удобрений и минералов: Сб. науч. тр. – Алматы, 2004. – С. 51–53.

10. **Годе Г.К.** Бораты щелочноземельных металлов. – Рига: Зинатне. 1986. – 167 с.

11. **Илларионов И.Е.** Применение технологии получения металлофосфатных связующих, стержневых и формовочных смесей на их основе // Черные металлы. – 2018. – №4. – С. 13–19.

12. **Стрельников И.А., Пестряева Л.Ш., Садетдинов Ш.В.** Свойства торфосодержащих теплоизоляционных смесей для прибылей стальных отливок // Литейное производство. – 2021. – № 7. – С. 16–19.

13. **Медведев Я.И., Валисовский И.В.** Технологические испытания формовочных материалов. – М.: Машиностроение, 1973. – 312 с.

14. **Ермоленко А.А., Ткаченко С.С., Колодий Г.А., Знаменский Л.Г.** Холоднотвердеющие смеси на алюмоборфосфатном концентрате. Состояние и перспективы развития (неорганика против органики) // Литейное производство. – 2021. – №1. – С. 16–20.

Сведения об авторах

Илларионов Илья Егорович – д-р. техн. наук, проф. кафедры материаловедения и металлургических процессов Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова.

Жирков Евгений Николаевич – аспирант той же кафедры.

Садетдинов Шейиздан Вазыхович – д-р хим. наук, проф. той же кафедры. E-mail: avgustaf@list.ru

Янюшкин Андрей Романович – инженер-конструктор Чебоксарского электроаппаратного завода.

К АВТОРАМ!

- Статьи должны быть с рецензиями, экспертным заключением.
- Желательно, чтобы статьи содержали УДК.
- К статье обязательно прилагается **краткая аннотация** и **ключевые слова** на русском и желательно английском языках.
- Текст статьи, который должен содержать заголовок на русском и желательно английском языке, сохраняйте в редакторе MS Word.
- Все единицы измерения даются в Международной системе единиц (Си).
- Статья должна содержать ссылки на все рисунки и таблицы, а также подписи к ним.
- Все рисунки, эскизы, фрагментарные чертежи, диаграммы, графики, схемы должны быть четкими (с разрешением, как минимум, 300 dpi) и присланы отдельными файлами со стандартным графическим расширением *tif (растровые) *eps (векторные), в цветовой модели – CMYK (с отдельным приложением используемых шрифтов, если они нестандартные).
- Формулы и буквенные обозначения набирайте четко, крупно.
- В тексте ссылка на литературу дается порядковым номером в квадратных скобках; список литературы составляется в порядке цитирования работ; для статей обязательно указывать название журнала, сборника и т.п., в которых они опубликованы, год издания, том, начальную страницу; ссылки на неопубликованные труды не допускаются.
- Объем статьи – не более 8 страниц, рисунков – не более 4.
- Статья должна быть подписана всеми авторами.
- Необходимы **сведения об авторах**: фамилии, имена, отчества, ученая степень, должность, место работы, электронные адреса и телефоны.

ИНТЕМА

КАЧЕСТВО ЗА РАЗУМНУЮ ЦЕНУ

ALPHA-SET-ПРОЦЕСС
ФУРАН-ПРОЦЕСС
CRONING-ПРОЦЕСС
РЕЗОЛ CO2
COLD-BOX-AMINE-ПРОЦЕСС
ОТВЕРДИТЕЛИ ДЛЯ ЖС-СМЕСЕЙ
ПРОТИВОПРИГАРНЫЕ ПОКРЫТИЯ
РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ
ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Свяжитесь с нами и получите подробную информацию

e-mail: info@intema.su
тел: +7 (495) 357-25-50

УДК 621.742

A.A. Ermolenko,
L.G. Znamensky,
S.S. Tkachenko,
A.O. Morozov,
A.V. Prokopenko

Применение энергии физических полей в технологии литейной формы

Application of energy of physical fields in mold technology

А.А. Ермоленко, Л.Г. Знаменский, С.С. Ткаченко, А.О. Морозов, А.В. Прокопенко

Аннотация

Приведен обзор технологий формообразования при диэлектрическом нагреве (ДЭН) токами высокой частоты (ТВЧ) и энергией электромагнитного поля сверхвысокочастотного диапазона. Выполнено исследование по воздействию на смесь волн сверхвысокой частоты (СВЧ). Результаты подтверждают предположение о возможности массового производства форм и стержней со связующим «Неорганика». Промышленное внедрение технологии ДЭН СВЧ-энергией с использованием безопасных неорганических связующих способно улучшить технико-экономические показатели, освободив производство от рисков, связанных с охраной труда и окружающей среды.

Ключевые слова

Литейная форма, холоднотвердеющая смесь, синтетические смолы, ТВЧ, СВЧ, электромагнитное излучение, магнетрон, связующее «Неорганика».

Summary

A review of metal-forming technologies at dielectric heating by high frequency current and by the energy of electromagnetic field of ultrahigh frequency range is given. The study was carried out to determine the effect of ultrahigh frequency waves on the sand mixture. The results confirm the assumption about the feasibility of mass production of molds and cores with the "Neorganica" binder. The industrial implementation of the dielectric heating by ultrahigh frequency energy and using the undangerous inorganic binders can improve technical and economic indices and eliminate risks associated with labor and environmental protection.

Key words

Casting mould, cold-hardening sand, synthetic resins, high frequency current, ultrahigh frequency, electromagnetic radiation, magnetron, "Neorganica" binder.

В статье [1] приведен обзор технологий формообразования и показано, что универсальных формовочных смесей не существует и всегда преимущества процессов приобретались с их неустранимыми недостатками. Сравнивались предназначенная для массового литья небольших изделий смесь по Cold box amin-процессу со смесью на основе связующего «Неорганика». В первом случае неустранимая опасность ядовитых органических смол предотвращается дорогостоящей технологией с высокими требованиями к ее организации. В случае с «Неорганикой» за экологическую безопасность платить не надо в силу ее химической природы. Последняя же не позволяет использовать ее в крупносерийном и массовом производствах.

Цель работы – разработка быстротвердеющей, пригодной для массового производства смеси, совмещающей массовость Cold box amin-процесса с безопасностью и простотой «Неорганики».

Очевидно, что возвращение к традиционной конвективной тепловой сушке не оправдано. Форма в таком процессе не может быть быстротвердеющей. Не может быть использована сушка инфракрасными лучами, которую целесообразно применять для тонких материалов, покрытий, пленок и т.д. Ранее инфракрасные лучи применяли для сушки облицовочного слоя формы толщиной 10...12 мм при продолжительности 20...30 мин и наибольшей глубине полости – 300...400 мм [2...4].

Диэлектрический нагрев (ДЭН)

В промышленности для нагрева различных непроводящих и слабопроводящих материалов широко используют высокочастотные электротермические процессы. В них энергия переменного электрического тока или переменного электромагнитного поля преобразуется в теплоту за счет релаксационных потерь при поляризации или проводимости материала. Разновидностью таких процессов является ДЭН ТВЧ, основанный на поглощении электромагнитной энергии помещенными в электрическое поле материалами. Установки нагрева ТВЧ работают в области частот 10...100 МГц, а диэлектрики нагреваются между пластинами конденсаторов, к которым подведено напряжение в несколько сотен или тысяч вольт.

ДЭН имеет существенные преимущества по сравнению с другими видами нагрева, так как имеет объемный характер. Под действием электрического поля высокой частоты ионы и электроны меняют направление движения одновременно с изменением знака заряда пластин конденсаторов. Процессы сопровождаются трением и приводят к выделению теплоты. Тепловая энергия выделяется внутри нагреваемого материала, а не подводится к нему извне конвективными или кондуктивными методами. Нагрев ТВЧ позволяет сосредоточивать большие мощности в малых объемах материала, получать интенсивный равномерный нагрев материала с низкой теплопроводностью, легко управлять заданным температурным режимом и осуществить более полную механизацию и автоматизацию технологических процессов. ДЭН применяют для сушки толстослойных материалов, когда необходимо регулировать температуру и влажность не только на поверхности, но и в глубине материала. По сравнению с конвективной сушкой значительно ускоряется испарение влаги из материала. Высокочастотная энергия – удобный источник тепла. При его использовании отсутствуют какие-либо продукты сгорания и, как следствие, нагрузка на атмосферу рабочих мест и окружающую среду [4, 5, 12].

Нагрев ТВЧ в технологии литейной формы

Возможность сушки стержней и форм ТВЧ и ее промышленное освоение были проверены и осуществлены в СССР в 50-х годах прошлого века. Отказ от сушил в пользу ТВЧ сократил ее продолжительность в 10–12 раз. В работе [6], посвященной основам создания установок ТВЧ, прикладные вопросы подробно не рассмотрены. Поэтому в отношении стержней и форм отсутствует сведения, о каких процессах идет речь: удаления влаги или отверждения связующего. Но существенное улучшение санитарно-гигиенических условий труда и технико-экономических показателей без внимания не оставлено. Прочность стержней, отвержденных ТВЧ, была значительно выше, чем после сушки в сушилах. Сообщалось, что в поле ТВЧ возможно осуществление конвейерной сушки [2, 15].

В работе [7] нагреву литейных стержней ТВЧ отведен отдельный раздел и уточнено, что под сушкой понимается не только удаление влаги, но и отверждение связующих в смесях разной теплопроводности. Для необходимой интенсивности нагрева предложено использование частот коротковолнового диапазона – 13,56 и 27,12 МГц. Изучены нагрев и твердение смесей на различных связующих с добавками. Отмечено, что не все смеси могут быть высушены в поле ТВЧ: предпочтительны безводные связующие, твердеющие при низких температурах.

Нагрев формовочных и стержневых смесей ТВЧ происходит по всему объему, причем температура внутри стержня даже выше, чем снаружи. Последнее подразумевает отсутствие на поверхности стержня корки, препятствующей удалению влаги. Время отверждения смесей – 0,5...1,5 мин; по сравнению с горячими газами скорость сушки увеличилась в 20–90 раз. Смеси нагреваются до 130...180°С. Дополнительной выдержки для достижения необходимой прочности не требуется.

Очевидно, что результат твердения ТВЧ превосходит показатели Cold box amin-процесса. Без подготовительных операций продолжительность последнего складывается из практически мгновенной продувки (1,5...2,0 мин), после которой

набирается манипуляторная прочность (50...60% рабочей прочности), и выдержки на воздухе в течение 8...24 ч до достижения рабочей прочности.

Недостаток сушки ТВЧ – высокий расход энергии, сложность и высокая стоимость оборудования и технологии. Сушка ТВЧ применяется в сочетании с конвективной сушкой. Воздух в камере необходимо предварительно нагревать независимым источником теплоты до 120...180°С, а сушильные плиты до 30...50°С. Камера должна быть теплоизолированной. Кроме этого, для обеспечения достаточно быстрого и равномерного нагрева литейных стержней сложной формы требовалось значительно повышать напряжение на конденсаторе. Однако увеличение напряженности электрического поля ограничено свойствами материалов. Существует предел, после которого происходит электрический пробой и повреждение материала [17]. Для большинства материалов сушка ТВЧ в 60-е годы прошлого века была в 3–5 раз дороже конвективной сушки.

Широкого распространения нагрев ТВЧ не получил. Его использование было ограничено лабораторными или полупромышленными исследованиями. К 1980 г. относятся сведения о применении нагрева ТВЧ для выплавления модельных масс из керамических литейных форм в технологии ЛВМ. К 1990 г. – описание И.Е. Илларионовым опытов по нагреву ТВЧ смесей на фосфатных связующих. Приводилась схема ТВЧ-установки [2, 3, 5, 8, 9, 10, 13].

Сверхвысокая частота

Проверенным преимуществом диэлектрического нагрева является возможность произвести быстрый и равномерный прогрев всего объема вещества. А эффективность преобразования энергии электрического поля в тепло увеличивается пропорционально рабочей частоте и квадрату напряженности поля. Последняя же не может быть увеличена выше известных пределов. Единственно возможным путем увеличения удельной энергии преобразования является увеличение рабочей частоты. Ограничивала возможность применения высоких частот малая выходная мощность источников – металлокерамических ламп. В 30-е годы прошлого века был описан новый тип ламп – магнетрон, представляющий собой автогенераторный электровакуумный диод, в котором движение электронов происходит в скрещенных электрическом и магнитном полях. Такая конструкция позволяет излучать электромагнитные волны частотой от 300 МГц до 300 ГГц и длиной 0,1…10 см, средней мощности от 0,01 Вт до 100 кВт. Это – микроволновое или сверхвысокочастотное (СВЧ) излучение. В годы второй мировой войны магнетроны использовались в качестве импульсного генератора в радиолокации. Позже были открыты новые области их использования – диэлектрический нагрев, в частности. СВЧ-волны широко представлены в домашних хозяйствах бытовыми приборами для размораживания, разогрева и приготовления пищи – микроволновыми печами. Более производительные агрегаты такого же назначения используются в общепите.

Механизм нагрева при СВЧ и ТВЧ одинаков. Но при СВЧ в роли нагревательных устройств применяются не конденсаторы, а антенные, волноводные и резонаторные рабочие камеры. Использование СВЧ для нагрева диэлектриков позволяет получать достаточно высокие удельные мощности при значительно меньших значениях напряженности электрического поля в материале. Для целей диэлектрического нагрева с учетом ограничений в разных странах выделены частоты 433; 915; 2375; 2450 МГц [9, 13]. В работе [11] уточняется, что в США сверх этого для тех же целей установлены частоты в 5850; 10600 и 18000 МГц. Такие волны могут излучаться источником небольшого размера и направляться к объекту через пространство.

Благодаря многократному взаимодействию электронов в магнетроне КПД прибора может достигать 90%. Волны СВЧ позволили сохранить все преимущества ТВЧ и совершить качественный скачок в технологии диэлектрического нагрева. Переход от коротковолнового диапазона к сантиметровому привел к высокой эффективности поглощения энергии электрического поля даже теми материалами, которые трудно нагреть в поле ТВЧ. Легкость, с которой энергия СВЧ преобразуется в тепло, позволяет получить очень высокие скорости нагрева, при этом в материале не возникает разрушающих термомеханических напряжений. Также при нагреве СВЧ менее строгие требования к конфигурации и однородности продукта. Оборудование СВЧ имеет меньшие линейные размеры, полностью электронное управление и работает практически безынерционно, благодаря чему уровень мощности СВЧ и момент ее подачи можно мгновенно изменять [12]. Следует отметить, что гражданское применение энергии СВЧ не ограничивается пищевой промышленностью. К 1963 г. относится описание твердения бетона под воздействием нагрева СВЧ. В конце 80-х – начале

90-х годов появились первые результаты по спеканию порошка с целью получения керамики с улучшенными характеристиками. Возникла отрасль высокотемпературной (до 3000°С) СВЧ-энергетики.

Требование времени

В технологии литейной формы к диэлектрическому нагреву смесей не возвращались до начала нового тысячелетия. В основном, видимо, из-за успешного развития холодного твердения смесей. Однако условное совершенство высокоопасных синтетических смол не могло долго оставаться без внимания профессиональной среды. Отнесение экологической безопасности смесей к числу важнейших показателей их оценки побудило производителей обратиться к неорганическим материалам [19]. К тому же, диэлектрический нагрев энергией электромагнитных полей СВЧ диапазона к этому времени получил широкое распространение.

На GIFA 2007 вниманию участников среди прочих безопасных процессов был предложен AWB-процесс (Minelco GmbH). Стержни из смеси на основе модифицированного жидкого стекла после предварительного упрочнения до манипуляторной прочности в горячем ящике извлекали из него и на 1…3 мин помещали под действие СВЧ излучения [1]. В 2020 г. описаны опыты по сушке в области стоячих волн СВЧ стержней и форм на основе жидкостекольной смеси [14]. Enerzi Microwave Systems Pvt., Ltd (Индия) предлагает системы СВЧ для сушки противопригарного покрытия. В соответствии с заданием компания готова спроектировать и изготовить оборудование для объемной сушки форм и стержней [1].

Оборудование для СВЧ нагрева смесей со связующим «Неорганика»

В работе [15] отмечено, что утверждение об одновременном и равномерном повышении температуры во всем объеме материала справедливо только для частот 0,3…300 МГц. При повышении частоты до 3000…30000 МГц (сантиметровый диапазон) нагревается только поверхность. Возможность применения частот > 10000 МГц ограничивается малой выходной мощностью таких генераторов и экономически нецелесообразна. Наиболее широкое применение нашли частоты 2450 и 915 МГц, магнетронные генераторы для которых выпускаются промышленностью. Самым массовым генератором СВЧ является магнетрон на частоте 2450 МГц и мощностью < 1,0 кВт. На его основе выпускаются все современные бытовые микроволновые печи [13], которые возможно использовать также и для первоначальных исследований различных процессов.

На профессиональном оборудовании чаще всего используются магнетроны мощностью от 50 кВт с частотой 915 МГц. Низкочастотный магнетрон отличается высокой стоимостью, но он обеспечивает увеличенную глубину проникновения энергии СВЧ, равномерность прогрева и высокий КПД процесса передачи энергии. Единственный в мире магнетрон на частоте 433 МГц (мощностью 50 кВт) использовался для разупрочнения грунта в Якутии. Столь низкая рабочая частота обеспечивает требуемую глубину проникновения микроволн в промерзшие породы [12].

В работе [1] представлены результаты оценочных опытов нагрева смеси со связующим «Неорганика» в бытовой микроволновой печи Samsung CE2738NR. Показано, что при наибольшей установленной мощности излучения СВЧ 750 Вт достаточная прочность достигалась через 3 мин, наибольшая – через 6 мин. При меньших значениях мощности – через 4…50 мин. Т.е. с увеличением установленной мощности агрегата смеси твердели быстрее. Предварительного теплового упрочнения, как в AWB-процессе, при этом не проводили. *Таким образом, возможности отверждения смеси на связующем «Неорганика» волнами СВЧ существенно превосходят показатели органики.*

Тем не менее, полезно оценить возможность мгновенного твердения под воздействием волн СВЧ. Не исключено, что это происходит в области промышленных значений мощности (> 1,0 кВт). Для проведения дальнейших работ с целью изучения возможности масштабирования обнаруженного эффекта использовали СВЧ печи большей мощности производства компании ЗАО «НПП «Магратеп», являющейся единственным производителем в РФ и сопредельных странах мощных магнетронов непрерывного действия и оборудования на их основе. Рабочие характеристики всех установок приведены в **табл. 1**.

Нагрев смеси волнами СВЧ высокой мощности

Формовочные материалы, их соотношение и условия приготовления смеси полностью соответствуют описанному в работе [1]. Смесь массой 860 г помещали в силиконовую и керамическую оснастку. Скорость твердения определяли

[1] www.enerzi.co, Microwave Core Drier (enerzi.co)

твердомером мод. 04412А. Температуру смеси контролировали тепловизором Flir E60 со шкалой измерения до 150°С и электронным термометром с наконечником – иглой со шкалой до 100°С. Результаты испытаний твердения смеси в СВЧ-дефростере «Гелиос» – в **табл. 2**.

Полученные результаты не продолжили представленную в статье [1] зависимость. Несмотря на то, что сравнение не вполне оправданно (в случае с бытовым прибором измеряли прочность на сжатие, с профессиональным – твердость), говорить о том, что ожидаемый результат получен не был, можно. Прямой связи между твердостью и прочностью не существует, однако косвенным показателем свойств смеси она является. Твердость описывает промежуток времени, в течение которого смесь приобретает первичную (манипуляторную) прочность на растяжение (~ 0,15 МПа), достаточную для извлечения образцов из оснастки. Значение этой прочности соответствует показаниям твердомера 90 ед.

Скорость нагрева и связанный с ней набор прочности зависят от КПД передачи мощности образцу, который в печах СВЧ связан с многими факторами и находится в пределах 0,2…0,9. От установленной мощности КПД не зависит. Он повышается с увеличением массы нагреваемого образца и тангенса угла его диэлектрических потерь – количественной меры склонности материала к диэлектрическому нагреву. Чем выше тангенс, тем больше нагревается материал.

В связи с этим были проведены опыты по нагреву в «Гелиосе» и «ДМК-10.00» наибольше возможной массы смеси – 4,2 кг.

Таблица 1

Показатель	СВЧ-прибор		
	Samsung CE2738NR	Профессиональные дефростеры	
		«Гелиос»	«ДМК-10.00»
Частота магнетрона, МГц	2450	915	915
Наибольшая установленная мощность, кВт	0,75	3,0	9,0
Объем камеры, дм^3	17	37	4500

Результаты нагрева приведены в **табл. 3**.

Улучшения кинетики твердения не было. В обоих случаях смесь была оставлена вне СВЧ-воздействия. В течение получаса замеряли твердость образцов (**табл. 4**). Из **таблиц 3** и **4** видно, что ни увеличение массы, ни повышение установленной мощности до 9 кВт не позволили улучшить кинетику твердения. Отсутствие зависимости скорости твердения от мощности в области ее промышленных значений связано, во-первых, с нестрогими условиями опытов: для разных пределов мощности их проводили в разных установках. Следствием их разной геометрии (в «Гелиосе» и «ДМК- 10.00» размер камер больше, чем в Samsung CE2738NR – см. **табл. 1**) является различие в плотности мощности СВЧ. Очевидно, существует приемлемое соотношение между установленной мощностью, геометрией камер и массой нагреваемого образца. На кинетику твердения и прочностные показатели могут влиять температура прогрева и ее равномерность.

Значение температуры прогрева

Для проверки этого предположения была проведена серия

Таблица 2

Установленная мощность, кВт	Время СВЧ-воздействия, мин	Температура, °С		Твердость по твердомеру, ед.
		по Flir E60	по игле – наконечнику	
1,0	1	–	47	Не затвердела
	2	–	84	13
	3	–	71…92	14
	5	124	>100	48
Через 30 мин после СВЧ		–	–	89
2,0	2	–	70…80	33
	3	–	90	35
3,0	2	92	>100	47
	3	–	>100	56

Таблица 3

Установленная мощность, кВт	Время СВЧ-воздействия, мин	Температура, °С		Твердость по твердомеру, ед.
		по Flir E60	по игле – наконечнику	
2,0 «Гелиос»	2	103…104	>100	14
	3	110…115	>100	34
9,0 «ДМК-10.00»	1	80…90	100	18
	2	130	>100	10

опытов по нагреву в Samsung CE2738NR образцов разной масс сы при постоянных мощности и продолжительности (750 Вт, 3 мин). Состав смеси и условия ее приготовления аналогичны предыдущим опытам. Температуру смеси измеряли электронным термометром с наконечником – иглой TP 300 и шкалой от –50 до +300°С. Образцы массой до 1000 г изготовляли в оснастке из тонкого (0,3…0,5 мм) картона, от 1000 г – из картона толщиной 3 мм. Оснастку подбирали так, чтобы ее масса была минимальна, либо мала по сравнению с массой смеси. Этим предотвращалось захолаживание смеси массивной или теплопроводящей оснасткой и связанные с этим отличия в результатах. Диэлектрик оснастки проницаем для поля СВЧ и почти не нагревается им. Он нагревается только за счет кондуктивной теплопроводности от нагретой формовочной смеси. Результаты опытов приведены в **табл. 5**.

Следует отметить, что образцы, прогретые до температуры ~ 100°С, через какое-то время отсыревали. Образцы, нагретые до более высоких температур, не отсыревали. Для Samsung CE2738NR величина приемлемой массы 150…350 г.

Исследовали, как глубина прогрева соотносится с прочностью. Нагревали образцы разной массы. Для образцов массой 150 г использовали картонную оснастку (опыт *1*, **табл. 6**); для 200 г – керамические тигли (опыты *2.1* и *2.2*); для 340 г – силиконовую оснастку (опыт *3*); 438 г – в двух керамических тиглях, одновременно помещенных в камеру (опыт *4*). Замеряли температуру прогрева и прочность смеси на сжатие. Результаты – в **табл. 6**.

Особенностью опытов с тиглями была затрудненность извлечения очень горячего образца из оснастки – имела место повышенная адгезия. В опыте *2.2* образец был оставлен на трое суток. В *2.1* и *4* образцы были извлечены разрушением оснастки. Т.е. для этих опытов показано время, через которое прочность удалось измерить. Различие в наибольшей прочности для опытов *1* и *3* (более прогретая смесь опыта *1* имеет меньшую прочность) можно объяснить сложностью уплотнения в картонной оснастке. Это подтверждается и опытом *4*, когда температура была ниже, чем в опыте *6*, но прочность хорошо уплотненного образца в керамическом тигле, по сравнению с эластичной силиконовой, выше. В картонной оснастке смесь уплотнить почти невозможно, в силиконовой уплотнение более-менее удовлетворительное, а в керамическом тигле – наиболее полное.

Ранее было установлено, что для получения прочных и малогигроскопичных форм и стержней на основе смеси с алюмофосфатным связующим необходима их тепловая сушка до 230°С [16]. Настоящая работа призвана расширить возможности применения связующего «Неорганика» до схемы *«формовка – немедленная заливка»*, исключив хранение вообще. Тем не менее, пренебрегать гигроскопичностью недостаточно прогретой смеси нельзя. Необходимы исследования по ее определению для разных режимов нагрева СВЧ. При определенных условиях даже в камере бытового прибора можно получить температуру > 300°С.

Таким образом, время достижения рабочей прочности формовочной смеси под воздействием волн СВЧ является функцией ее прогрева, которая

Таблица 4

Установленная мощность, кВт	Общее время СВЧ- воздействия, мин	Время после СВЧ-воздействия, мин. Твердость по твердомеру, ед.					
		5	10	15	20	25	30
2,0 «Гелиос»	3	78	94	95	–	–	–
9,0 «ДМК-10.00»	2	32	69	77	90	92	93

Таблица 5

Масса, г	25	53	100	135	150	341	455	616	742	1000	2000	4000
T, °C	103,5	129	142,5	120,3	194,7	184,7	159,1	146,0	118,5	103,5	70,7	58,4

количественно выражается скоростью роста температуры. Добиться ее увеличения возможно выбором оптимального сочетания электрофизических характеристик установки и массы нагреваемого материала.

Сверхбыстрый нагрев СВЧ

Определенный научный интерес представляют вопросы, связанные с увеличением скорости нагрева смеси, что может привести к значительному ускорению ее твердения. В бытовых приборах средняя скорость нагрева 0,3…0,5, в установках «Гелиос» и «ДМК-10,0» – 1…2°С/с. Известен сверхбыстрый СВЧ-нагрев – режим со скоростью роста температуры > 30°С/с.

Для смеси на основе «Неорганики» возможность сверхбыстрого нагрева была проверена на установке в виде согласованной волноводной нагрузки. В ЗАО «НПП «Магратеп» последняя выполнена в виде закороченного отрезка прямоугольного волновода сечением 90×45 мм, по центру которого размещался П-образный переход для увеличения напряженности электрического поля в месте расположения нагреваемого вещества. Регулируемая короткозамыкаюшая стенка позволяет разместить нагреваемое вещество в максимуме электрического поля и подстроиться на минимальное значение коэффициента стоячей волны в нагрузке (КСВН). В случае согласования нагрузки с КСВН, равным 1,1, коэффициент передачи СВЧ мощности нагреваемому веществу составит 0,95. Нагрузка питалась от «бытового» магнетрона мощностью 900 Вт и частотой 2450 МГц. По центру широкой стенки размещался отрезок круглого запредельного волновода ∅ 24 мм и длиной 95 мм для размещения и извлечения нагреваемого образца, а также предотвращения выхода СВЧ-излучения в свободное пространство.

В установку помещали образец массой 20 г в оснастке из фторопласта ∅ 21 мм. Время нагрева – 60 с. Уже через 15 с после включения установки началось обильное выделение пара, температура по пирометру Flir E60 превышала 150°С. Образец твердел в течение 1 мин. Следовательно, высокая скорость прогрева возможна при сосредоточенном излучении СВЧ небольшой установленной мощности.

Сверхбыстрый нагрев СВЧ – редкая и дорогая технология, но для изготовления литейных стержней и форм она не нужна. Предположительно, достаточна скорость 5°С/с. Возможности сверхбыстрого нагрева и связанный с ними потенциал массовости технологии отверждения позволяют обойти отмеченное выше ограничение в использовании волн СВЧ по сравнению с ТВЧ – невысокую глубину проникновения в материал. При массовом производстве оправдано изготовление большого количества изделий небольших размеров и массы, которые могут быть полностью прогреты волнами СВЧ. Осуществляться такой нагрев может в непрерывном режиме конвейера. В практике нагрева СВЧ это широко распространено.

Выводы

- Использование энергии электромагнитного поля СВЧ в технологии литейной формы со связующим «Неорганика» позволит совместить в одном процессе преимущества материалов различной

Таблица 6

Опыт	Масса, г	*T*, °C	Время после СВЧ-воздействия, мин						
			5	10	20	30	60	120	72 ч
1	155	153	1,5	1,5	2,4	1,8	2,0	–	–
2.1	200	171,4	–	4,2	–	–	–	–	–
2.2	200	161,9	–	–	–	–	–	–	4,2
3	340	137	0,6	1,9	–	3,0	3,7	2,1	–
4	438	125,3	–	–	4,2	–	–	–	–

химической природы: массовость высоко опасных синтетических смол и безопасность неорганических связующих.

- Смесь на основе связующего «Неорганика» достигает рабочей прочности после непродолжительного (3 мин) воздействия волн СВЧ невысокой мощности (до 1 кВт) в течение 10…20 мин.
- Быстрое (до 1 мин) отверждение смесей на основе связующего «Неорганика» волнами СВЧ невысокой мощности возможно за счет специальной конструкции установки нагрева, сосредоточивающей всю энергию СВЧ на нагреваемом материале. В увеличении мощности для ускорения твердения смеси нет необходимости.
- В обоих случаях кинетические показатели твердения смеси на связующем «Неорганика» превосходят процессы на синтетических смолах.
- В РФ имеется научно-производственный потенциал в области промышленного использования энергии СВЧ, который трудно переоценить. Обращение к нему позволит создать безопасную формовочную технологию высокого уровня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ермоленко А.А., Знаменский Л.Г., Ткаченко С.С.** Прогрессивные процессы формообразования на неорганических связующих // Литейное производство. – 2021 – №11.
2. **Справочник литейщика** / Под общей редакцией Н. Н. Рубцова. – М.: Машгиз, 1962. – 524 с.
3. **Технология** литейного производства: Литье в песчаные формы / Под ред. А.П. Трухова. – М.: «Академия», 2005. – 528 с.
4. **Дытнерский Ю.И.** Процессы и аппараты химической технологии: Ч. 2. – М.: Химия, 1995. – 368 с.
5. **Высокочастотная** электротермия. Справочник / Под ред. А.В. Донского. – М.-Л.: Машиностроение, 1965. – 564 с.
6. **Нетушил А.В. и др.** Высокочастотный нагрев диэлектриков и полупроводников. – М.: Госэнергоиздат, 1959. – 480 с.
7. **Глуханов Н.П., Федорова И.Г.** Высокочастотный нагрев диэлектрических материалов в машиностроении. – Л.: Машиностроение, 1972. – 160 с.
8. **Лыков А.В.** Теория сушки. – М.: «Энергия», 1962.
9. **Установки** индукционного нагрева / Под ред. А.Е. Слухоцкого. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 328 с.
10. **Илларионов И.Е.** Влияние физико-химической активации на свойства фосфатных смесей // Литейное производство. – 1990. – № 11.
11. **Харвей А.Ф.** Техника сверхвысоких частот. – М.: «Советское радио», 1965.
12. **Промышленное применение** СВЧ-нагрева / О. Морозов, А. Каргин, Г. Савенко, В. Требух, И. Воробьев // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2010. – № 3.
13. **Княжевская Г.С., Фирсова М.Г.** Высокочастотный нагрев диэлектрических материалов. – Л.: Машиностроение, 1980. – 71 с.
14. **Солоненко Л.И.** Некоторые особенности сушки литейных форм и стержней в области стоячих волн сверхвысокочастотного излучения // Металл и литье Украины. – 2020. – Т. 28. – №1(320).
15. **Брицын Н.Л.** Нагрев в электрическом поле высокой частоты. – Л.: Машиностроение, 1965. – 96 с.
16. **Семирханова Н.Б., Малахов А.И.** Фосфаты алюминия как связующие материалы // Литейное производство. – 1970. – № 6.
17. **Фогель А.А.** Промышленное применение токов высокой частоты. – М.-Л.: Машгиз, 1952.
18. **Электроимпульсная** и ультразвуковая обработка материалов в точном литье: монография / Л.Г. Знаменский, О.В. Ивочкина, Б.А. Кулаков, В.В. Крымский. – Челябинск: изд. центр ЮУрГУ, 2010. – 259 с.
19. **Процессы** ускоренного формообразования в литье по выплавляемым моделям: монография / Л.Г. Знаменский, А.С. Варламов. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2014. – 216 с.

Сведения об авторах

Ермоленко Андрей Александрович – ведущий специалист Завода специальной химии. Тел.: +79222291700. E-mail; neorganica@neorganica.ru

Знаменский Леонид Геннадьевич – д-р техн. наук, проф. кафедры пирометаллургических и литейных технологий ФГАОУ ВО ЮУрГУ (НИУ).

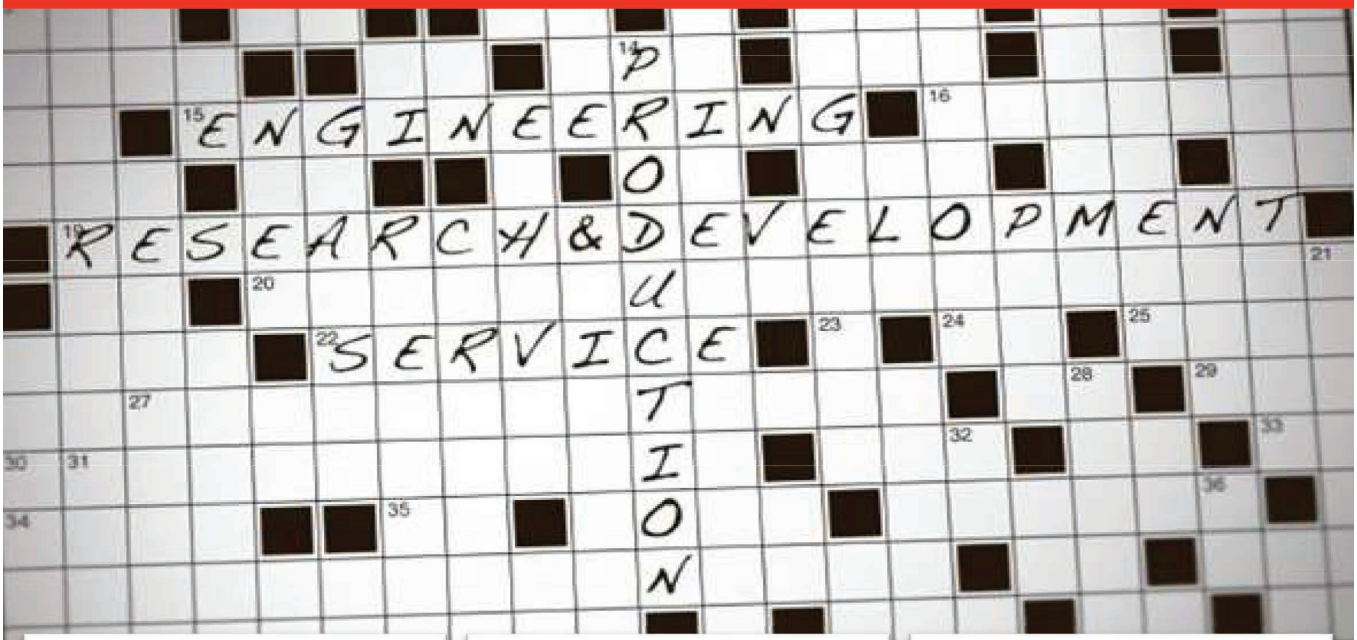
Ткаченко Станислав Степанович – д-р техн. наук, проф., Ассоциация литейщиков С.-Петербурга и Ленинградской обл. Тел.: +79110051187. E-mail: spblenal@mail.ru

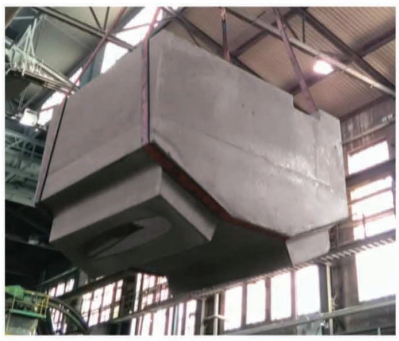
Морозов Александр Олегович – начальник отдела создания гражданской продукции ЗАО «НПП «Магратеп».

Прокопенко Александр Валерьевич – канд. техн. наук, доц. кафедры «Электрофизические установки» НИЯУ МИФИ.

ИЩЕТЕ РЕШЕНИЕ ПРОДВИНУТОГО УРОВНЯ?

У НАС ЕСТЬ ЭТО РЕШЕНИЕ!





С 1945 года к вашим услугам специалисты по огнеупорам.

Eredi Scabini обеспечивает высококачественное и полностью интегрированное производство монолитных изделий, предварительно отлитых форм и композитов с керамической матрицей.

Специализированные технические специалисты из отдела исследований и разработок предлагают индивидуальные и высокопроизводительные решения для удовлетворения любых потребностей, простые и быстрые в установке, гарантирующие более длительный срок службы и более высокую производительность, чем у обычных футеровок, а также значительное сокращение времени обслуживания и простоев производства.

Более 70 лет Eredi Scabini предоставляет полный спектр инженерных услуг и решений своим клиентам по всему миру, обслуживая литейную промышленность.

EREDI SCABINI

ADVANCED REFRACTORY SOLUTIONS

ЭТНА

etna-ltd.ru etna.info@yandex.ru @ooo_etna +7 (473) 261-84-24

ООО «ЭТНА»

ООО «Этна» является официальным представителем производителя материалов для литейных предприятий Jodovit Srl (Италия).

Jodovit Chemical Group

1. Экзотермические и изоляционные прибыли, маты и порошки
2. Огнеупорные покрытия
3. Флюсы и дегазаторы
4. Материалы для литейных форм и изложниц
5. Промышленные смазки и СОЖи

Jodovit Srl с 1958 года осуществляет разработку продуктов для обработки жидкого металла в литейном производстве и металлургии. **Постоянные инвестиции в научные исследования и расширение производства** обеспечивает Jodovit прочные позиции на международных рынках.
С начала 2000-х годов Jodovit развивал и расширял использование экологических биорастворимых волокон в производстве прибылей для литейной промышленности и в результате совсем отказался от применения небиорастворимых канцерогенных базальтовых волокон. Это решение позволило повысить **экологическую безопасность и безвредность использования прибылей.** Компания имеет международные сертификаты качества ISO-9001 и ISO-14001.

Jodovit имеет собственные научно-исследовательские лаборатории и производит прямо в Италии весь спектр своих материалов, что дает нашим клиентам следующие преимущества:

- высокая эффективность продукции
- оптимизация затрат
- разработка продуктов по индивидуальному заказу

ООО «Этна» является официальным представителем производителя изотермических материалов ISO-tech (Бельгия).

ISO-tech

1. Миканиты для литейных заводов
2. Нагревательные элементы
3. Оболочки для огнестойких кабелей
4. Изоляционные трубки для крепежа

ISO-tech Belgium была создана в 2003 году командой молодых и квалифицированных специалистов, каждый из которых имел более чем 20-летний опыт работы в производстве изоляционных изделий из слюды. Компания производит **большой ассортимент изоляционного материала на основе слюды** и предлагает эффективное решение для самых сложных задач. **Гарантированное качество продукции**, контролируется европейскими стандартами и подтверждено международным **сертификатом ISO-9001.**

Миканиты используются в индукционных печах в качестве скользящей поверхности для предотвращения просачивания металла и повреждения индуктора. Барьер, создаваемый миканитом ISO-tech, защищает индуктор от расширения и сжатия, вызванных тепловыми перепадами. Гладкая поверхность миканита облегчает выталкивание и предотвращает повреждение тигля, а высокое содержание слюды обеспечивает эффективную диэлектрическую проницаемостью.

На 100% не токсичный материал.

CERTIFIED ISO 9001:2015

КОНТАКТЫ:

394074, г. Воронеж,
ул. Солнечная, 12В, оф.34А
www.etna-ltd.ru
etna.info@yandex.ru
+7(473)261-84-24

УДК 621.74.043

A.Yu. Korotchenko,
D.E. Khilkov,
M.V. Tverskoy

Новые составы термопластичных шликеров и литейные формы для их инжекционного литья

New compositions of thermoplastic slurry and molds for their injection molding

А.Ю. Коротченко, Д.Э. Хилков, М.В. Тверской

Аннотация

В работе показано применение в литейном производстве технологии инжекционного литья термопластичных шликеров (MIM-технология). Для снижения себестоимости производства деталей по данной технологии предложено использовать литейные формы, которые обычно используются при литье по выплавляемым моделям (ЛВМ). Прежде всего, это формы, изготовленные из различных марок резины, пластика и гипса. Использование таких литейных форм позволяет значительно снизить себестоимость изготовления литых заготовок по MIM-технологии, так как отпадает необходимость изготовления металлических пресс-форм.

Ключевые слова
MIM-технология, термопластичный шликер (фидсток), литейные формы, литье по выплавляемым моделям.

Summary

The paper shows the application of injection molding technology of metal powder mixtures (MIM-technology) in the foundry. To reduce the cost of production of parts, it is proposed to use casting molds, which are usually used in casting by smelted models (LVM). First of all, these are molds made of various brands of rubber, plastic and gypsum. The use of these molds can significantly reduce the cost of manufacturing cast blanks using MIM technology, since there is no need to manufacture metal molds.

Key words
Metal injection molding, thermoplastic slurry (feedstock), casting molds; casting by smelted models.

С помощью инжекционного литья термопластичных шликеров (MIM-технология) получают детали из жаропрочных и нержавеющих сталей, низколегированных и углеродистых сталей, сплавов на основе титана, сплавов железа с никелем. Кроме того, MIM-технология позволяет изготовз лять тонкостенные, малого развеса детали с высокими механическими свойствами и чистовой поверхностью[1].

Данная технология становится рентабельной при массовом изготовлении партий деталей. При мелкосерийном производстве себестоимость деталей резко возрастает, и связано это в первую очередь, с высокой стоимостью металлических пресс-форм на этапе изготовления литых заготовок на термопластавтоматах.

Использование именно металлических пресс-форм связано, прежде всего, с высокими давлениями прессования, значения которых может доходить до 200…300 МПа. Такие высокие значения зависят, в свою очередь, от реологических свойств

[1] **Коротченко А.Ю., Турунтаев И.В., Тверской М.В., Хилков Д.Э.** Развитие специальных способов литья // Литейное производство. – 2017. – №2. – С. 21–25.

термопластичных шликеров (фидстоков), среди которых определяющим свойством является их вязкость.

В ряде работ как отечественных, так и зарубежных авторов приводятся значения вязкости фидстоков, которые на несколько порядков превышают вязкость расплавов литейных сплавов. Кроме того, вязкость фидстоков не является постоянной величиной, а зависит от величины действующих напряжений сдвига. Величина вязкости фидстоков определяется в основном свойствами связующего и соотношением доли связующего и металлического порошка.

По величине прикладываемого давления прессования фидстоки можно разделить, на сегодняшний день, на две группы – группы высокого и низкого давления прессования.

К *первой группе* относятся фидстоки, для прессования которых используются давления, превышающие 80 МПа. К представителям данной группы можно отнести фидстоки, разработанные фирмой BASF. Основу связующего этих фидстоков составляет полиацеталь (POM). Согласно рекомендациям этой фирмы, для изготовления деталей из фидстока марки Catamold 316L рекомендуются давления прессования не ниже 90 МПа. Однако, как показала практика, для сложных по конфигурации деталей давление прессования может доходить до 200…300 МПа. Такие высокие давления прессования реализуются на дорогостоящих термопластавтоматах с горизонтальной камерой прессования.

Ко *второй группе* относятся фидстоки, для прессования которых используются давления, не превышающие 60…80 МПа. Основу связующего для этих фидстоков составляет парафиновый воск (PW). Одна из главных задач при добавлении PW в состав связующего – это значительно уменьшить вязкость фидстока. Для изготовления литых заготовок этой группы используются в основном термопластавтоматы с вертикальной камерой прессования. Стоимость этих термопластавтоматов гораздо ниже, чем стоимость термопластавтоматов с горизонтальной камерой прессования.

Рис. 1. Лабораторный двухшнековый смеситель

Но даже снижение давления прессования до величины 60 МПа не позволяет отказаться от металлических пресс-форм на этапе изготовления литых заготовок на термопластавтоматах. Для более существенного снижения давления прессования, при котором появится возможность использовать неметаллические пресс-формы, необходимо разрабатывать новые составы фидстоков, обладающих более высокой текучестью, по сравнению с теми, которые используются в настоящее время.

Цель статьи – разработка состава фидстока стали марки 316L с повышенной текучестью и оценка возможности использования неметаллических пресс-форм для изготовления литых заготовок.

Исходные данные и эксперимент

Для разработки состава нового фидстока был выбран порошок стали 316L фирмы Höganäs. Типичный химсостав деталей после спекания, %: C – 0,02; Cr – 17; Ni – 12; Mn – 1,5; Mo – 2,5; Si – 0,8; Fe – Balance.

Главная особенность выбранного порошка в том, что он предназначен для использования в аддитивных технологиях, в основном для методов селективного лазерного спекания. Гранулометрический состав порошка был получен с помощью лазерного анализатора HORIBA LA-350. Размеры частиц порошка составили: d_{10} = 27 мкм, d_{50} = 39 мкм и d_{90} = 57 мкм.

Повысить текучесть фидстока можно двумя способами. Первый способ – уменьшать долю порошка в объеме фидстока. Второй – изменять массовые соотношения компонентов, использующихся в связующем для приготовления фидстока.

Анализ многочисленных работ, посвященных выбору оптимального соотношения в фидстоке долей металлического порошка и связующего, показал следующее. Все исследователи дают приблизительно одинаковое соотношение порошка к связующему на уровне 60% к 40% по объему. Такое соотношение в пересчете на массу дает в фидстоке порядка 90% порошка, и именно это соотношение было принято в настоящей работе. Снижение доли

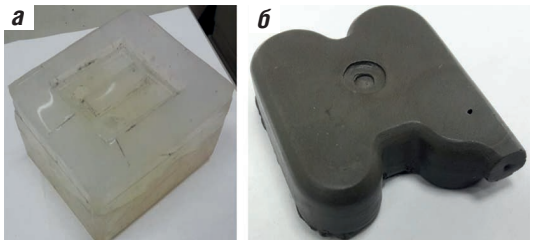


Рис. 2. Вид литейной формы (***а***) и литой заготовки (***б***)

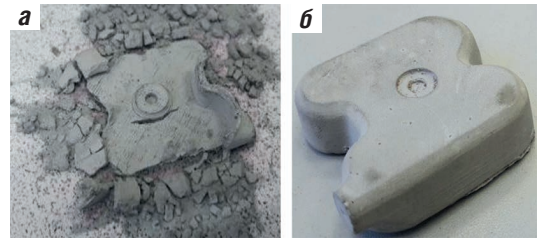


Рис. 3. Вид деталей, изготовленных из фидстока типа А (***а***) и типа В (***б***) после спекания

порошка в составе фидстока не желательно, так как при этом увеличивается усадка деталей при спекании порошка и, как следствие, уменьшение размерной точности.

Как правило, при изготовлении фидстоков используются трехкомпонентные составы связующих. В качестве основы для фидстока был выбран парафиновый воск (PW), в качестве поддержки – полиэтилен низкой плотности (LDPE), а для лучшей смачиваемости частиц порошка, использовалась стеариновая кислота (SA).

В экспериментах была поставлена задача – найти такое соотношение PW/LDPE/SA, которое позволит увеличить текучесть фидстока и сохранить достаточную прочность заготовок после удаления связующего.

При выборе соотношения компонентов в связующем, как показал анализ ряда работ, указывается процент содержания PW на уровне 50…70%. Для снижения вязкости фидстока было принято решение увеличить в связующем долю PW до 80…90%.

Состав фидстока	PW, % (wt)	LDPE, % (wt)
Тип А	90	10
Тип В	85	15

В результате, для исследований были изготовлены два состава фидстоков, различающихся разным соотношением PW и LDPE. Соотношения компонентов в связующем приведены в **таблице**.

Для смешивания компонентов связующего и порошка при изготовлении фидстока использовался лабораторный двухшнековый смеситель (**рис. 1**).

Режим смешивания был следующий. Сначала смешивался порошок со стеариновой кислотой в течение 20 мин при температуре 80°С. Затем добавлялись PW и LDPE и смешивались в течение 120 мин при 170°С.

Результаты экспериментов. Обсуждение

Расплавленный фидсток запрессовывался в форму, изготовленную из силикона, с помощью ручного шприца (в экспериментах давление в ручном шприце не превышало 0,05 МПа). Вид на силиконовую форму и изготовленная литая заготовка показаны на **рис. 2**.

Размеры литой заготовки 50×50×8 мм, толщина стенки 1 мм, температура фидстока при прессовании 160°С, температура формы 60°С. Согласно **рис. 2**, литая заготовка имеет четкие контуры, дефекты поверхности отсутствуют.

На следующем этапе проходило удаление связующего из литой заготовки в растворе гептана при 42°С в течение 240 мин. После удаления связующего детали спекались в вакуумной печи при 1380°С и выдержкой 180 мин.

Результаты спекания образцов, изготовленных из двух разных типов связующего, показали следующее. Детали, изготовленные из фидстока типа А, после спекания не сохранили свою форму и разрушились. Детали, изготовленные из фидстока типа В, после спекания сохранили свою конфигурацию (**рис. 3**). Как показали дальнейшие испытания, детали, изготовленные из фидстока типа В, сохранили не только свою геометрию, но и требуемый уровень служебных свойств, прежде всего герметичность. С помощью разработанного состава фидстока

Рис. 4. Детали после спекания

был изготовлен целый ряд деталей самого разного назначения, часть из которых показана на **рис. 4**. Для получения литых заготовок этих деталей применялись не силиконовые, а гипсовые формы.

Таким образом, подобранное соотношение компонентов связующего позволило отказаться от применения высокого давления прессования и использовать недорогие литейные формы.

Выводы

• Применение фидстоков с высокой текучестью на стадии изготовления литых заготовок по MIM-технологии позволяет перейти к малым давлениям прессования, а в ряде случаев использовать гравитационную заливку фидстока в литейную форму.

• Применение фидстоков с высокой текучестью позволяет снизить себестоимость изготовления деталей по MIM-технологии за счет использования литейных форм, изготовленных из более дешевых материалов (силикон, пластик, гипс и т.п.).

Сведения об авторах

Коротченко А.Ю. – д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Литейных технологий» МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kor_15@mail.ru

Хилков Д.Э. – ст. препод. той же кафедры

Тверской М.В. – аспирант той же кафедры

Внимание!

Чугун является наиболее массовым литейным материалом, умение управлять структурой которого позволяет творить в нём всё новые и новые уникальные свойства. Однако практика изготовления чугунных изделий сопровождается рядом проблем, над решением которых трудится всё меньше и меньше учёных. Последние результаты труда отечественных и мировых учёных целесообразно собирать, обсуждать и доводить до отечественных производств и вузов. С этой целью, начиная с 2017 г., в Набережных Челнах регулярно проводятся узкопрофессиональные мероприятия, посвящённые всем аспектам чугунных изделий.

17…20 октября состоится очередной международный научно-практический форум **«ДНИ ЧУГУНА В ЧЕЛНАХ – 2022»**, программа которого включает:

• международную научно-техническую конференцию «Наука и технологии модифицирования чугуна» (МНТК НиТМЧ-IV, ключевые темы 2022 г.: модифицирование чугуна, чугун с вермикулярным графитом, изотермическая закалка чугуна);

• семинары поставщиков материалов, технологий, оборудования и программного обеспечения;

• выставку достижений чугунного производства;

• курсы повышения квалификации;

• конкурс материаловедов чугуна.

Формат форума – смешанный с приоритетом очного и частичным онлайн участием. Участие докладчиков конференции и конкурсантов бесплатное. Для решения о включении докладов в программу конференции необходимо до 15.03.2022 г. прислать тезисы докладов по электронной почте panov.ag@mail.ru

По всем вопросам, предложениям и за дополнительной информацией следует обращаться к Панову Алексею Геннадьевичу: +79172703043, panov.ag@mail.ru, либо на сайт www.modificator.ru

ЗАВОД АКС

КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЛИТЕЙНЫХ ПРОИЗВОДСТВ
ТЕХНОЛОГИЯ ЛИТЬЯ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ
И ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

ИСКУССТВО ТОЧНОГО ЛИТЬЯ

ОТЛИВКИ | МОДЕЛИ | ПРЕСС-ФОРМЫ | ФИНИШНАЯ ОБРАБОТКА

г. Санкт-Петербург,
ул. Михайлова, д. 11

+7 812 324 85 55
mail@zavodaks.com
www.aksspb.com

УДК 621.74.043.2:
669.715

V.B. Livshits.
A.P. Kushnir

Влияние давления на формирование отливок из сплава АК7ч

An influence of pressure on the formation of AK7ch alloy castings

В.Б. Лившиц (РТУ МИРЭА), **А.П. Кушнир** (Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН)

Аннотация

В работе исследовали влияние давления на структуру и свойства отливок из сплава АК7ч. Отливки изготовляли литьем с противодавлением (ЛПрД), литьем под низким давлением (ЛНД) и литьем в кокиль (ЛК). Приведены результаты изготовления опытной партии отливок *корпус насоса*.

Ключевые слова
Литье с противодавлением, структура, отливка, зоны кристаллизации, неметаллические включения, кокиль.

Summary

An influence of pressure on the structure and properties of AK7ch alloy castings was studied in this work. Castings were made by pressure casting with counter-pressure, low pressure casting, and chill casting. The results of manufacturing of an experimental batch of pump housing castings are presented.

Key words
Pressure, structure, casting, crystallization zones, non-metallic inclusions, coquille, low pressure.

При литье с применением давления абсолютная величина последнего не всегда является определяющим параметром влияния на процесс формирования отливки. Большое значение при этом имеет способ приложения давления. Так, при литье с кристаллизацией под давлением (поршневое прессование) большая величина давления расходуется на смятие твердой корки, растущей от рабочей поверхности матрицы, а при ЛНД практически все приложенное давление передается затвердевающей отливке изнутри – через жидкую фазу [1].

Осуществить воздействие давления на формирующуюся отливку, начиная с момента поступления в полость литейной формы первых порций расплава, позволяет процесс ЛПрД. Эффект достигается благодаря тому, что давление, создаваемое одновременно в камере с тиглем и полости литейной формы, воздействует на расплав в тигле до начала его движения вверх по металлопроводу, что приводит к улучшению физико-механических свойств отливок.

Цель работы – исследование эффективности воздействия давления на формирование цилиндрических отливок ∅ 160 мм и высотой 300 мм из сплава АК7ч. Последний плавили в индукционной печи МГП-52 с графитовым тиглем, рафинировали гексахлорэтаном и переливали ручным ковшом в тигель установки ВП-400, где поддерживали его температуру в пределах 690...700°С, и затем заливали в чугунную неокрашенную пресс-форму. При ЛК применяли верхнюю песчаную прибыль ∅ 160 мм и высотой 100 мм. Расплав заливали

в кокиль ковшом через прибыль. Технологические режимы для каждого способа литья приведены в **табл. 1**.

Кинетику затвердевания отливок изучали методом термического анализа с помощью хромель-алюмелевых термопар с незащищенным спаем (диаметр термоэлектродов 0,3 мм). Показания термопар записывали на осциллографе Н-700 [2].

На основе кривых охлаждения построены диаграммы кинетики затвердевания отливок (**рисунки 1...3**). Изотермы, выделенные на кинетических диаграммах, соответствуют температуре ликвидус, началу и окончанию эвтектической кристаллизации сплава. Поэтому можно выделить три области-зоны: *I* – жидкого состояния, *II* – дендритной кристаллизации, *IIa* – затруднённой фильтрации, *III* – эвтектической кристаллизации, *IV* – твердого состояния.

Анализ полученных результатов показывает, что время затвердевания отливок при ЛПрД, по сравнению с ЛК, значительно сокращается. При ЛПрД оно равно 144 с, при ЛНД – 200 с, а при ЛК – 288 с, т.е. соотношение времени затвердевания отливок составляет 1/1,4/1,9. Средняя скорость затвердевания в исследуемых точках при ЛПрД составляет ~ 1 мм/с, ЛНД – 0,55 мм/с, ЛК – 0,45 мм/с. Следует отметить, что при ЛПрД и ЛНД, по сравнению с ЛК, резко интенсифицируется дендритная кристаллизация, в результате быстрее достигается пересыщение остаточной жидкой фазы кремнием до эвтектического состава и начинается эвтектическая кристаллизация.

Таблица 1

Способ литья	Скорость заполнения формы *м*, см/с	Рабочее давление *p*, МПа	Перепад давления Δ*p*, МПа	Температура, °С,	
				расплава	металлопровода
ЛПрД	2	0,4	0,1	690…700	500
ЛНД	2	0,1	0,1	690…700	500
ЛК	2	–	–	690…700	–

Влияние давления при исследуемых способах литья непосредственно на эвтектическую кристаллизацию менее значительно, поскольку ее длительность практически остается постоянной как при ЛНД, так и при ЛПрД. При ЛК длительность эвтектической кристаллизации наибольшая.

Увеличение скорости затвердевания способствует измельчению структуры отливки: при ЛК число зерен на 1 см^2 площади шлифа – 18 шт., при ЛПрД – 24...25 шт., при ЛНД – 22 шт. [3]. Измельчение структуры привело к повышению прочности отливок: при ЛПрД $\sigma_в$ = 160...165 МПа, при ЛК – 140...145 МПа.

Однако повышение прочности обусловлено не только измельчением структуры, но и рядом других положительных эффектов влияния давления на качество отливок. Необходимо отметить интенсификацию процесса питания мест расплавом.

Исследование реологических свойств сплава АК7ч в интервале температур кристаллизации позволило установить температуру

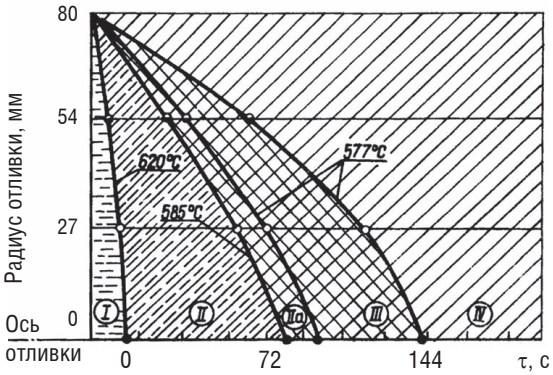


Рис. 1. Диаграмма кинетики затвердевания отливки при ЛПрД

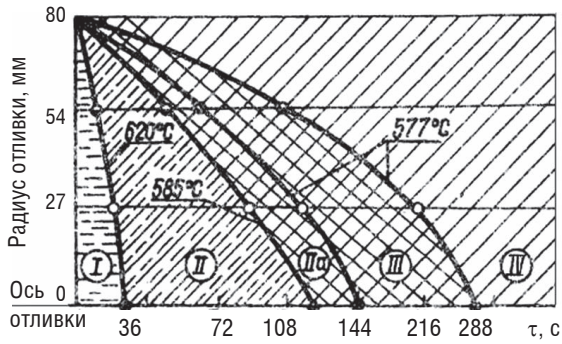


Рис. 2. Диаграмма кинетики затвердевания отливки при ЛНД

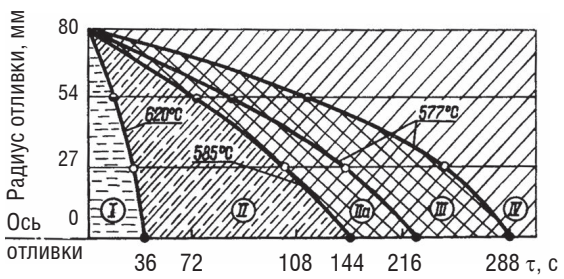


Рис. 3. Диаграмма кинетики затвердевания отливки при ЛК

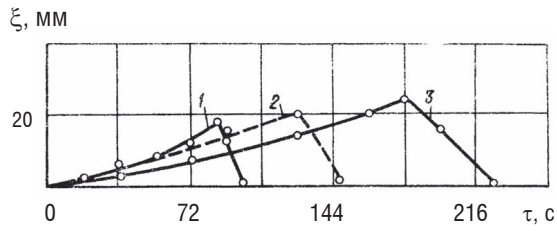


Рис. 4. Протяженность зоны затруднённого питания отливки при ЛПрД (*1*), ЛНД (*2*) и ЛК (*3*)

образования непрерывного каркаса твердой фазы, соответствующую началу этапа фильтрационного питания [4], а также температуру, соответствующую началу затрудненного фильтрационного питания. Установлена также проницаемость каркаса твердой фазы сплава АК7ч в интервале температур кристаллизации. Расходные характеристики питания прямо пропорциональны действующему на жидкую фазу давлению и обратно пропорциональны ширине зоны затрудненной фильтрации.

Для сплава АК7ч зона затрудненной фильтрации расположена в интервале между температурами начала затрудненной фильтрации (580...585°С) и начала эвтектической кристаллизации (577°С). Поскольку затвердевание эвтектики протекает с некоторым увеличением объема, то не требуется значительного расхода расплава на компенсацию усадки. При ЛНД и ЛПрД давление в 10–40 раз превышает величину металлостатического напора при ЛК, а протяженность зоны затрудненного фильтрационного питания в 1,5–2,2 раза меньше (**рис. 4**). В результате этого повышаются плотность отливок и однородность прочностных свойств в различных их сечениях.

Для проверки эффективности способа ЛПрД и эксплуатационных свойств отливок проведены работы по отработке технологии изготовления *корпусов насоса*. Требования по герметичности и прочности, предъявляемые к деталям, достаточно высокие. Режимы стендовых испытаний этих деталей: максимальное давление масла – 3 МПа; минимальное давление – 0,2...0,3 МПа; частота пульсации 15 Гц. Критерием окончания испытаний были сквозная трещина *корпуса насоса* и течь масла.

Анализ результатов испытаний показал, что опытные *корпуса*, полученные ЛПрД, имеют примерно такую же среднюю долговечность, как и серийные *корпуса*, отлитые в кокиль. Рекомендуется сочетать способы литья с применением давления с эффективными методами рафинирования расплава от примесей и неметаллических включений.

Выводы

- ЛПрД (0,4 МПа) позволяет сократить время затвердевания отливок в 1,9 раза, по сравнению с ЛК.
- В результате интенсификации процесса затвердевания под давлением отмечено измельчение структуры, улучшение условий питания и повышение плотности отливок.
- Применение давления сокращает зону затрудненного питания и повышает эффективность фильтрации жидкой фазы к участкам отливки, претерпевающим объемную усадку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Шумилин В.К., Лившиц В.Б., Бобкова Е.С.** Охрана труда и охрана окружающей среды в технологиях художественного литья. – М.: Юрайт, 2017. – 404 с.

2. **Бидуля П.Н., Лившиц В.П., Белый Д.И.** К вопросу о скорости охлаждения в процессе прессования жидкой стали при кристаллизации / Производство стали и стального литья. Сб. трудов МВМИ. Вып. VI. – М.: Металлургия, 1968. – С. 150–153.

3. **Лившиц В.Б., Кушнир А.П.** Исследование структуры и свойств отливок из силуминов // Литейное производство. – 2021. – №4. – С. 19–22.

4. **Чернышов Е.А., Евстигнеев А.И.** Теоретические основы литейного производства. Теория формирования отливки: учебник – М.: Машиностроение, 2015. – 480 с.

НОВЫЕ РОССИЙСКИЕ СПЕКТРОМЕТРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ

Настольные универсальные спектрометры MCAII-V5 для точного анализа состава любых черных и цветных металлов при выплавке металлов, входном контроле:

- 500-мм оптическая система в спектрометре для обеспечения лучших аналитических возможностей, в том числе точного определения C, S, P;
- возможность работы в реальных цеховых условиях с нестабильным электропитанием и температурой;
- до 60 аналитических каналов одновременно;
- контроллер аргона, обеспечивающий минимальное потребление;
- модификация **с воздушным столиком** для анализа сыпучих проб и проб произвольной геометрии;
- опция **«гибрид»** – стационарный спектрометр с обычным штативом + пистолет на гибком кабеле **для анализа больших деталей, отливок.**

Мобильный универсальный спектрометр «Минилаб СЛ» с пистолетом на гибком кабеле для быстрого определения химсостава, включая C, Si, Al, Mg и другие элементы, независимо от их атомного веса, металлических деталей при производстве, входном контроле изделий, деталей, приемке металла на месте в цеху, на складе без отрезания образца, с автоматическим подбором марки стали, автономной системой электропитания.

«Эпишур-А СЛ» – **серия установок для очистки аргона** и других технических газов; Семиступенчатая система газоочистки обеспечивает последовательное удаление всех вредных примесей и глубокую очистку газа до уровня менее 0,5 ppm.

ООО «Спектральная лаборатория», 195009, Санкт- Петербург, а/я 115. E-mail in@spectr-lab.ru http://www.spectr-lab.ru
тел. (812)385-14-53, (812) 331-76-57, моб .+7-921- 960-76-64

УДК 621.74.045:
669.245

A.R. Narsky,
G.I. Deynega,
I.G. Kuzmina

Применение модификатора – алюмината кобальта при литье лопаток газотурбинных двигателей. Часть 2

Application of cobalt aluminate modifier for equiaxed casting of gas turbine engine blades. Part 2

А.Р. Нарский, Г.И. Дейнега, И.Г. Кузьмина
(НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ)

Аннотация

Алюминат кобальта (АК) широко используется при равноосном литье лопаток газотурбинных двигателей (ГТД) из жаропрочных никелевых сплавов. В рамках импортозамещения рассмотрена технология изготовления литейных форм с использованием АК на основе отечественного сырья.
Вторая часть статьи посвящена изготовлению керамических форм, плавке и литью лопаток с равноосной структурой. Сделан вывод о возможности применения оксида кобальта отечественных производителей при изготовлении модификатора – АК марок АК-1, АК-2, АК-3.

Ключевые слова
Лопатки газотурбинных двигателей, алюминат кобальта, поверхностное модифицирование, суспензия, керамические формы.

Summary

Cobalt aluminate is widely used in the equiaxial casting of gas turbine engine blades (GTE) from nickel superalloys. Within the framework of import substitution, the technology of manufacturing molds using cobalt aluminate based on domestic raw materials is considered.
The second part of the article is devoted to the manufacture of ceramic molds, melting and casting of blades with an equiaxed structure. The conclusion is made about the possibility of using cobalt oxide of domestic manufacturers in the manufacture of a modifier – AK brands AK-1, AK-2, AK-3.

Key words
Blades of gas turbine engines, cobalt aluminate, surface modification, suspension, ceramic molds.

Надежность ГТД определяется работоспособностью лопаток турбины, изготовляемых из литейных жаропрочных сплавов и испытывающих в работе статические, динамические и циклические нагрузки в условиях агрессивной газовой среды и высокой температуры. Это требует постоянного совершенствования уровня и стабильности всего комплекса служебных характеристик материала лопаток и, в первую очередь, предела выносливости, длительной прочности и термостойкости, что во многом определяется структурным состоянием сплава и условиями технологического процесса

Рис. 1. Общий вид модельного блока

изготовления лопаток ГТД. Основное назначение АК – поверхностное модифицирование (ПМ) жаропрочных никелевых сплавов, а, следовательно, получение регламентированной равноосной структуры деталей. НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ на протяжении нескольких десятилетий занимается изготовлением АК марок АК-1, АК-2, АК-3, различающихся величиной удельной поверхности.

Поскольку на отечественном рынке имеется несколько производителей оксида кобальта (ООО «УНИХИМ», ООО НПФ «Балтийская мануфактура»), то было проведено опробование модификатора, полученного из отечественного сырья.

В первой части статьи [1] рассмотрена отработка технологических параметров изготовления модификатора АК, показавшая соответствие синтезированного материала требованиям технических условий ТУ 1-595-1-495-2002 «Модификатор – алюминат кобальта марок АК-1, АК-2, АК-3» как по величине удельной поверхности, так и по содержанию свободного кобальта.

В ходе следующего этапа исследований были изготовлены керамические формы на основе водных связующих с добавлением АК и изучено качество лицевого слоя форм; затем проведены плавки с получением лопаток с равноосной структурой.

Для изготовления керамических форм в настоящее время широкое применение находят кремнезоли [2, 3]. Кремнезоль – это водный коллоидный раствор оксида кремния (IV), стабилизированный ионами натрия. Связующие свойства кремнезолей обеспечиваются путем поликонденсации силанольных групп за счет удаления воды из раствора, что сопровождается образованием прочных силоксановых связей. Кремнезоли относятся к числу готовых связующих. Благодаря целому ряду преимуществ: значительная продолжительность жизни водной керамической суспензии (~ 6 мес.), седиментационная устойчивость суспензий, высокая прочность получаемых керамических форм, экологическая безопасность, – они находят все более широкое применение при литье по выплавляемым моделям [4, 5].

В работе применяли кремнезоли «Армосил KS» и «Армосил AM» (ТУ 2145-011-61801487). Первое из них – связующее для лицевого слоя, обеспечивающее высокий класс чистоты поверхности отливок, снижающее вероятность пригара и обладающее хорошими смачивающими свойствами, высокой адгезией к модельным составам. Низкое содержание натрия в его составе повышает температурные характеристики керамических оболочек, что позволяет использовать их при литье жаропрочных никелевых сплавов. Второе – универсальное связующее, применяющееся для последующих слоев оболочковой формы и позволяющее получить высокие прочностные характеристики керамики.

В качестве наполнительного материала суспензии использовали керамическую шихту из смеси микропорошков электрокорунда определенного фракционного состава. Также при изготовлении нескольких вариантов суспензий добавляли модификатор – АК марки АК-3, изготовленный на основе оксида кобальта как финского (Freeport Cobalt Oy), так и отечественного производства (ООО НПФ «Балтийская мануфактура», ООО «УНИХИМ»).

Общий вид модельного блока с литниково-питающей системой представлен на **рис. 1**.

После погружения в суспензию и обсыпки каждого слоя модельного блока шлифпорошком керамическое покрытие сушили

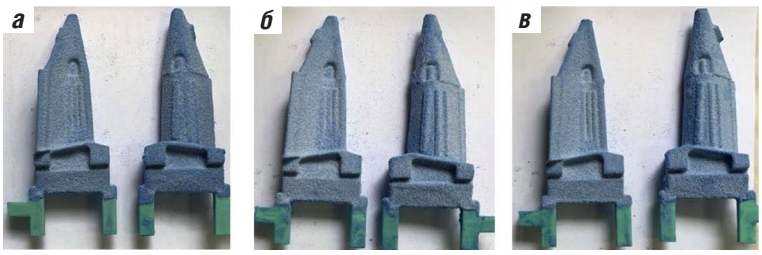


Рис. 2. Качество первого слоя керамического покрытия

Производитель оксида кобальта	Прочность, МПа, при изгибе при 20°С образцов	
	Без прокалки	После прокалки
ООО НПФ «Балтийская мануфактура»	4,10	16,3
ООО «УНИХИМ»	4,20	16,0
Freeport Cobalt Oy (Финляндия)	4,05	13,7
Требования ТУ	> 2,0	> 3,5

на воздухе в условиях обдува вентилятором, а закрепляющий слой – на воздухе без обдува.

Внешний вид моделей после нанесения лицевого слоя показан на **рис. 2**, где в суспензии присутствовал АК, изготовленный с использованием оксида кобальта производства: ***а*** – Freeport Cobalt Oy (Финляндия), ***б*** – ООО НПФ «Балтийская мануфактура», ***в*** – ООО «УНИХИМ» (ниже эти обозначения будут использованы на **рисунках 3** и **4**).

Керамическое покрытие формировалось без подтеков, ровным слоем. Для изучения основных физико-механических свойств керамических форм были изготовлены пластины с двенадцатью образцами-свидетелями размером 40×20×6 мм (результаты испытаний на прочность при изгибе при 20°С керамических образцов без прокалки и после прокалки представлены в **таблице**).

После удаления в бойлерклаве модельной композиции проведен визуальный контроль качества керамических форм, показавший отсутствие дефектов в виде трещин и отслоений.

Высокотемпературный обжиг керамических форм проводили в электрических печах с заданными скоростью нагрева и продолжительностью выдержки при максимальной температуре; формы охлаждали с печью. Дефектов на керамических формах после обжига не выявлено (**рис. 3**).

Следующим этапом стало проведение плавки лопаток с равноосной структурой. Необходимо отметить, что ранее проведенные в ВИАМе сравнительные исследования показали следующее [6]. Макроструктура отлитых с ПМ образцов сплава ЖС6У – однородная, мелкозернистая. При ПМ в процессе затвердевания отливки на поверхности формы находится большое количество готовых искусственных центров кристаллизации – частицы АК. В результате зарождение и рост кристаллов происходят одновременно по всей поверхности отливки. Каждое зерно модифицированного сплава ЖС6У представляет собой дендрит с осью первого порядка, рост дендритов идет преимущественно в направлении, противоположном теплоотводу, а оси второго порядка для своего развития не имеют пространства и вырождаются из-за высокой плотности стабильных зародышей кристаллизации на единице поверхности литейной формы. *Таким образом, установлено положительное влияние ПМ на повышение уровня служебных характеристик сплава ЖС6У: предела выносливости, термостойкости, длительной прочности* [6].

Формы заливали в плавильно-заливочной установке УППФ-У сплавом ЖС6У-ВИ. Химсостав сплава соответствовал

Рис. 3. Качество керамических форм после обжига

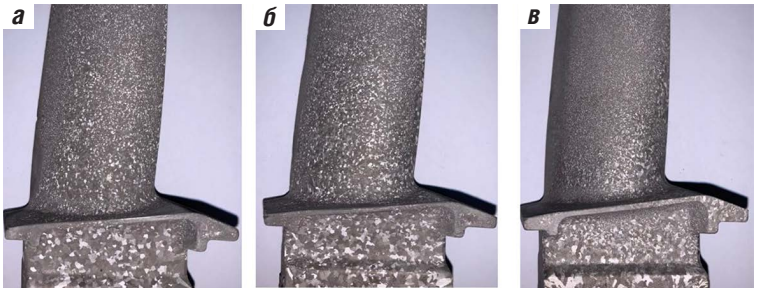


Рис. 4. Макроструктура поверхностей лопаток из модифицированного сплава ЖС6У-ВИ

требованиям ОСТ 1-90126-85, в частности, содержание углерода составило: 0,13…0,20%; серы ≤ 0,010%; кислорода и азота ≤ 0,003% (каждого элемента).

Результаты исследования предела прочности сплава ЖС6У-ВИ при растяжении при температуре 20°С и длительной прочности (на базе 40 ч) показали также полное соответствие ОСТ.

После пескоструйной обработки отливки лопаток были протравлены для выявления макроструктуры. Проведен визуальный контроль с определением ориентировочного размера макрозерна, по результатам которого выявлено, что на всех лопатках макроструктура разнозернистая с ориентировочным размером макрозерна от 0,5 до 5 мм (**рис. 4**). Наиболее крупнозернистая макроструктура наблюдается на замковой части лопатки и при переходе замка в полку хвостовика.

По результатам исследования разработана технологическая инструкция «Изготовление керамических форм с применением модификатора алюмината кобальта для литья отливок с равноосной структурой».

Выводы

- Отработаны технологические параметры изготовления модификатора АК из отечественных материалов.
- По полученным физико-механическим свойствам модификатор соответствует ТУ 1-595-1-495-2002: массовая доля свободного кобальта в АК марок АК-1, АК-2, АК-3 – не более 2%; удельная поверхность: АК-1 – 4500…6500, АК-2 – 8000…10000, АК-3 – 10000…12000 см^2/г, соответственно.
- Изготовлены керамические формы с применением АК и экологически чистых связующих на водной основе – «Армосил KS» и «Армосил AM». Прочность керамических форм (на образцах-свидетелях) соответствовала требованиям технического задания: не менее 2,0 МПа – при 20°С (непрокаленные образцы); не менее 3,5 МПа при 20°С (прокаленные образцы).
- Живучесть суспензии с применением водных связующих и АК – не менее 6 мес.
- Визуальный контроль отлитых лопаток с определением ориентировочного размера макрозерна показал, что на всех лопатках макроструктура разнозернистая с размерами макрозерен 0,5...5 мм. Полученная макроструктура является характерной для литья по выплавляемым моделям.
- Анализ полученных характеристик модификатора позволил сделать вывод о полном соответствии АК, изготовленного на основе отечественных исходных материалов, техническим условиям.
- Внедрение результатов данной работы по импортозамещению в малотоннажное производство АК, организованное в НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ, привело к снижению себестоимости продукции.

Работа выполнена с использованием оборудования Климатического центра коллективного пользования НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Нарский А.Р., Дейнега Г.И., Кузьмина И.Г.** Применение модификатора – алюмината кобальта при литье лопаток газотурбинных двигателей. Ч. 1 // Литейное производство. – 2022. – №3. – С. 15–19.

2. **Никифоров С.А., Никифоров П.А., Закиров Ф.А.** Отечественные кремнезоли для литейного производства // Литейное производство. – 2001. – №1. – С. 27–28.

3. **Пат. 2274510 С1 РФ**. Суспензия для изготовления керамических форм по выплавляемым моделям / Ю.И. Фоломейкин, Е.Н. Каблов, И.М. Демонис, Н.В. Миронова. – № 2004130772/02; заявл. 21.10.2004; опубл.: 20.04.2006. – Бюл. №11. – 6 с.

4. **Емельянов В.О., Мартынов К.В., Мутилов В.Н. и др.** Водный раствор кремнезоля как альтернатива этилсиликату в ЛВМ // Литейное производство. – 2012. – № 3. – С. 30–31.

5. **Миронова Н.В., Фоломейкин Ю.И., Каблов Е.Н.** Влияние вида кремнезольного связующего на основные свойства керамических форм для литья крупногабаритных лопаток ГТД / Конференция молодых ученых и специалистов «Авиационные материалы и технологии»: Тезисы докладов. – М.: ВИАМ, 2004. – С. 16–18.

6. **Литые лопатки** газотурбинных двигателей: сплавы, технологии, покрытия; под ред. Е.Н. Каблова. – М.: Наука, 2006. – 632 с.

УДК 681.3: 621.74: 339.97

A. Popov

Опыт Laempe по внедрению технологий «Индустрия 4.0» в мировой литейной промышленности

Laempe experience of implementation of technologies “Industry 4.0” in the global foundry industry

Dr. A. Popov (Laempe Mössner Sinto GmbH, Германия)

Аннотация

В статье приводится описание современных информационных и компьютерных технологий, применяемых в литейном производстве и, в частности, при изготовлении стержней. Описаны различные возможности инструментов «Индустрия 4.0» для решения задач сбора и обработки данных, контроля состояния оборудования и комплексной автоматизации процесса изготовления стержней и стержневых форм.

Ключевые слова

Модернизация производства, стержневые комплексы, автоматизация процессов, компьютерные технологии, прототипирование стержней.

Summary

The article provides a description of modern information and computer technologies used in foundry production and in particular for core-making. The various capabilities of the Industry 4.0 tools for solving the problems of collecting and processing data, monitoring the condition of equipment and complex automation of core-making process are described.

Key words

Modernization of production, core-making equipment, automation of processes, computer technologies, prototyping of cores.

Промышленные революции – краткая историческая справка

История развития различных типов промышленного производства – сложный эволюционный процесс, который не подлежит упрощенной категоризации. Различные уровни не могут быть четко разграничены. И тем не менее, можно разграничить четыре основных «революционных» этапа развития промышленного производства.

- **«Индустрия 1.0»**

Первая промышленная революция началась в конце XVIII в., когда заработали первые машины с помощью пара и воды, заменяя тяжелый человеческий труд. Это имело далеко идущие существенные последствия для всего общества, потому что мир труда кардинально изменился. Рабочие массово покидали сельскохозяйственную работу и ремесла в поисках работы на заводах и фабриках, где они могли рассчитывать на регулярную и более высокую заработную плату.

- **«Индустрия 2.0»**

Следующим большим шагом в развитии промышленного производства, начиная с 70-х годов XIX в., стали электричество и двигатели. Благодаря

им технологические процессы стали независимыми от воды и пара для привода машин, а в результате этого – гораздо более гибкими. Изобретение Г. Фордом сборочной линии в производстве автомобилей обеспечило значительное повышение эффективности производства. За счет серийного производства продукция выпускалась в еще более короткие сроки и в еще больших количествах. Это было началом массового производства. Теперь гораздо более широкие слои населения могли покупать продукцию на фабриках, потому что ее можно было производить более дешево.

- **«Индустрия 3.0»**

Переход к следующей промышленной революции стал возможным благодаря развитию компьютеров. Поскольку электронные компоненты были готовы к использованию в промышленных средах в 1970-х годах, автоматизация с использованием электроники, информационных технологий и программируемых логических контроллеров получила широкое распространение в производстве. Технологическими процессами можно было управлять более эффективно, а вмешательство человека можно было свести к минимуму. Это революционное развитие по сравнению с серийным производством, при котором машины не могли работать независимо. Развитие электроники быстро продвигалось, так что системы управления становились все более мощными и компактными. Все больше и больше устройств можно было оснастить собственным интеллектом. В ходе этого становилось доступным все больше и больше данных, которые можно было записать с помощью средств автоматизации. Однако анализ собранных данных отнимал существенную часть времени и человеческих ресурсов, что означало активное воздействие на процесс автоматизации с опозданием.

- **«Индустрия 4.0»**

Четвертая промышленная революция сейчас развивается, поскольку интеллектуальные устройства автоматизации и все другие системы, задействованные в производстве, объединены в сеть наилучшим образом. Сетевое взаимодействие создает революционные возможности для координации отдельных систем друг с другом. Каждая система может в любое время получить информацию, необходимую для оптимальной работы, а также предоставить свои собственные данные.

В «Индустрии 4.0» это создает возможность для самооптимизации производства и, следовательно, для создания «интеллектуального завода». Отдельные машины могут делиться своим статусом с другими производственными системами, которые, в свою очередь, могут реагировать своевременно на получаемые сигналы. Все это служит не только для увеличения производительности, но и для улучшения контроля качества производимой продукции в реальном масштабе времени. Понятие «Индустрия 4.0» было впервые озвучено в 2011 г. на Ганноверской ярмарке в Германии и с тех пор является основным инструментом для ускорения промышленного производства в США, ЕС и Японии после мирового финансового кризиса 2007...2009 гг. (известного как кризис 2008) [1…5].

Внедрение технологий «Индустрия 4.0» в литейной промышленности – актуальное состояние и перспективы развития

«Индустрия 4.0» в литейном производстве означает онлайн сбор производственных данных от всех участвующих в производственном процессе единиц оборудования, их анализ подходящими математическими моделями с целью своевременного опознавания возможных неполадок и предотвращения их отрицательного влияния на конечные продукты производственного процесса. Необходимые условия для этого – наличие современного производственного оборудования с микропроцессорными блоками управления, а также максимально высокий уровень автоматизации производственных процессов. Из этого следует, что технологии «Индустрия 4.0» предназначены скорее всего для литейных заводов, на которых происходит серийное производство отливок.

Опыт Laempe по внедрению технологий «Индустрия 4.0» в мировой литейной промышленности

За последнее десятилетие Laempe накопила значительный опыт по разработке и внедрению технологий «Индустрия 4.0» для специфических потребностей своих клиентов.

Основная тематика этих разработок:

- онлайн контроль состояния пескострельных автоматов;
- онлайн контроль качества производимых стержней;
- комплексная автоматизация процесса обработки и сборки стержней;
- 3D-печать песчаных стержней.

Laempe Digital Cockpit представляет собой современный вариант системы накопления и

Рис. 1. Примерный вариант исполнения системы Laempe DIGITAL COCKPIT для анализа производственных данных и онлайн контроля состояния пескострельных автоматов

статистической обработки производственных данных, поступающих от блоков управления отдельными пескострельными автоматами и другими вспомогательными единицами периферийного оборудования с целью их анализа, визуализации, архивирования и дальнейшей передачи. Разработанное Laempe программное обеспечение «превентивного обслуживания» (Apps Preventive Maintenance) дает возможность своевременно проанализировать состояние оборудования и предупредить оператора о необходимости проведения ремонта или замены основных узлов по причине предельного уровня их износа. Дополнительный эффект в результате применения этих программ – постоянный анализ расхода электроэнергии и простоев оборудования.

Laempe Digital Cockpit является предпосылкой для цифрового управления не только отдельными пескострельными автоматами, но и комплексными производственными линиями и участками (**рис. 1**). Интернет-связь дает возможность осуществлять дистанционную диагностику состояния оборудования в реальном режиме его работы, а также значительно ускоряет процесс общения между специалистами литейного завода и между литейным заводом и производителем литейного оборудования, т.е. создаются условия для стратегического планирования – одна из важнейших целей «Индустрии 4.0».

Онлайн контроль качества производимых стержней – необходимое условие для автоматизации процесса производства стержней на современных пескострельных автоматах (**рис. 2**).

Laempe Vision System состоит из подходящего для решения специфической технологической задачи Клиента оборудования, при помощи которого заснимаются производимые стержни, а также из электронной системы для анализа получаемых в онлайн режиме работы пескострельного автомата фотографий и видеофайлов. В случае несоответствия «визуального» результата с референтными образцами продукции, система автоматически включает соответствующую сигнализацию (световую и/или звуковую), предупреждая оператора о необходимости перепроверки качества стержней. Робот со стержнями перемещает захват в удобную для оператора позицию, после чего оператор визуально проверяет продукцию и подает роботу или разрешающий сигнал о ее дальнейшем применении или запрещающий сигнал, после получения которого робот удаляет дефектные стержни из потока годной продукции. В случае применения многогнездных захватов возможна выборочная браковка отдельных стержней.

Laempe Vision System является отличным инструментом при реализации проектов с высоким уровнем автоматизации, когда в комплексную линию совмещены не только пескострельные автоматы, но и конвейерные системы, окрасочное оборудование, сушильные печи, роботы для сборки стержней в пакет, автоматизированные склады и т.д. (**рис. 3**).

3D-печать песчаных стержней

Внедрение последних достижений информационной

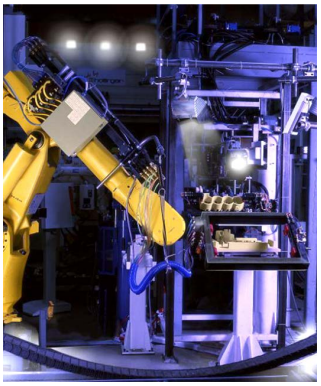


Рис. 2. Общий вид автоматизированной системы Laempe контроля качества производимых стержней

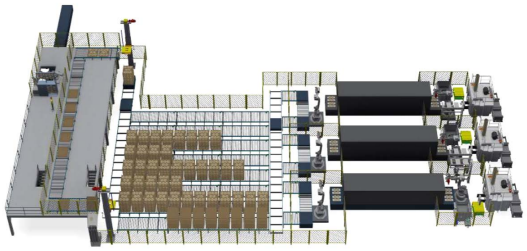


Рис. 3. Пример комплексного автоматизированного стержневого участка Laempe производства стержней для отливок тормозных дисков грузовых а/м на новейшем чугунолитейном заводе крупного немецкого литейного технологического концерна в США

Рис. 4. Общий вид комплексного участка Laempe 3D-печати стержней на литейном заводе крупного немецкого автомобильного концерна

и компьютерной техники в литейное производство имеет свое идеальное выражение в т.н. *технологиях «прототипирования» стержней*. В настоящее время это самый короткий путь от 3D-чертежа до конечного стержня (стержневой формы) и, соответственно, до отливки. Большое преимущество технологий прототипирования – существенное ускорение времени разработки конструктивно «новой» отливки и, соответственно, новой литейной формы. Поэтому применение этих технологий в мировой литейной промышленности в настоящее время ограничено, в основном, разработкой новых изделий для авиакосмической, оборонной и автомобильной отрасли. По окончании процесса «освоения» отливки методами прототипирования, 3D-модель литейной формы (стержневого пакета) передается литейщикам-технологам и модельщикам, которые разрабатывают технологию и модельно-стержневую оснастку для серийного производства стержней или стержневых форм на современных стержневых автоматах.

В отличие от стандартных технологий 3D-печати стержней, которая основана на применении фурановых или полифенольных смол, Laempe разработала собственную технологию послойной 3D-печати стержней на базе модифицированного жидкого стекла. Напечатанные стержни на базе этой неорганической системы имеют такие технологические преимущества, как например, высокую размерную точность, достаточную манипуляционную прочность, отсутствие газовыделения, а также максимальную экологичность по причине отсутствия продуктов пиролиза органики.

В 2021 г. Laempe реализовала свой первый крупный проект в этой области, поставив на завод немецкого автомобильного гиганта комплексный автоматизированный участок 3D-печати стержней для алюминиевых отливок (**рис. 4**). Максимальная производительность данной линии составляет 5400 кг стержней в час, что в зависимости от размеров производимых стержней соответствует количеству 1450...2100 стержней в день при трехсменном режиме работы.

Выводы

Современные стержневые технологии являются результатом внедрения последних достижений литейной химии и информационных технологий в литейном производстве. В настоящее время литейщики имеют возможность значительно ускорить процесс создания новой отливки от чертежа до конечного изделия, применяя технологии прототипирования. Процесс перехода от технологий прототипирования к традиционным технологиям для серийного производства разовых песчаных стержней непрерывно связан со сферой деятельности фирмы Laempe, которая уже десятилетиями успешно внедряет новейшие стержневые технологии в мировую литейную промышленность, в том числе и актуальный тренд ее развития, а именно «Индустрия 4.0».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Staab Ph.** Atlas der Globalisierung, 2019, 88...89.
2. **Lücking M.** Giesse-rei, 2015, H11, S. 54…58.
3. **Volk W.** Giesserei-Spezial, 2016, H1, S. 30…37.
4. **Scharf St.** Giesserei-Spezial, 2019, H1, S. 78…85.
5. **Spichartz M.** Giesserei, 2020, H3, S. 46…49.

УДК 621.74:
658.382

A.M. Lazarenkov,
M.A. Sadokha

Исследование вибробезопасности труда в литейном производстве

Study of vibration safety of labor in the foundry

А.М. Лазаренков, М.А. Садоха
(Белорусский национальный технический университет, Минск)

Аннотация

Представлены результаты исследований влияния вибрации на работающих в литейном производстве. Показаны основные источники вибрации. Выполнена оценка вибробезопасности различных профессий литейного цеха. Даны рекомендации по оценке и учету вибрации при проектировании новых и реконструкции действующих литейных цехов.

Ключевые слова
Литейное производство, условия труда, безопасность труда, литейный цех, вибрация, виброболезнь.

Summary

The results of studies of the impact of vibration on workers in the foundry industry are presented. The main sources of vibration are shown. The assessment of vibration safety of various professions of the foundry shop was carried out. Recommendations are given for assessing and accounting for vibration in the design of new and reconstruction of existing foundries.

Key words
Foundry, working conditions, labor safety, foundry shop, vibration, vibration sickness.

Одним из вредных производственных факторов, определяющих условия труда в литейных цехах и неблагоприятно воздействующих на работающих, является *вибрация*, которая при длительном воздействии на организм человека может привести к патологическим изменениям и профессиональному заболеванию – вибрационной болезни (ВБ).

Литейщики в основном подвергаются воздействию локальной вибрации (на верхние конечности – кисти, руки, плечевой пояс), которая воспринимается всеми тканями организма, но основную нагрузку несет нервная и костная системы. Последняя служит хорошим проводником и резонатором вибрации. Наиболее чувствительными к воздействию вибрации оказываются нервные окончания и, прежде всего, рецепторы кожного покрова нижних отделов рук. Часто работающие, подвергнутые вибрационному воздействию, жалуются на ноющие, тянущие боли в конечностях, приступы побеления пальцев, повышенную их зябкость, общее недомогание, головные боли, плохой сон, раздражительность. Боли возникают самопроизвольно, больше беспокоят по утрам, ночью или после работы.

Наиболее характерны жалобы на приступы побеления пальцев. Возникают они внезапно без видимой причины или при общем охлаждении, мытье рук холодной водой или при механическом раздражении кожи. Это вызвано спазмами сосудов

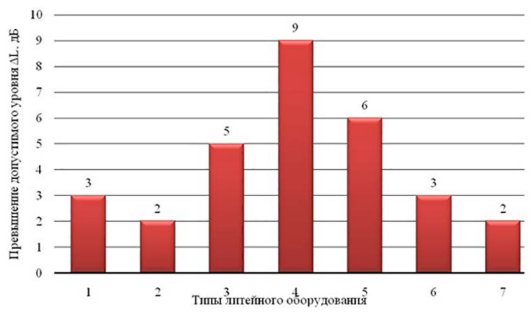


Рис. 1. Превышения допустимого уровня общей технологической вибрации различных типов литейного оборудования: *1* – дробилка, *2* – бегуны смешивающие, *3* – машина формовочная встряхивающая; *4*, *5* и *6* – решетки выбивные для крупных, средних и мелких отливок, соответственно; *7* – барабан галтовочный

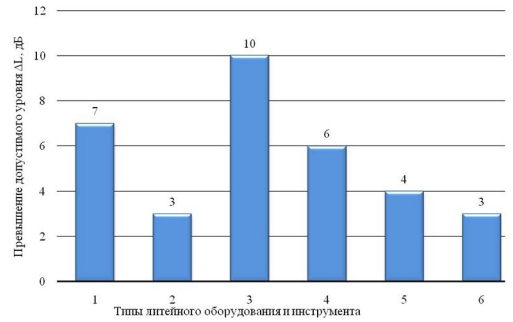


Рис. 2. Превышения допустимого уровня локальной вибрации различных типов литейного оборудования и инструмента: *1* – пневмотрамбовка ручная, *2* – пескомет (ручное управление), *3* – молоток рубильный, *4* – станок обдирочный, *5* – пневмонаждак подвесной, *6* – пневмомашинка ручная

и продолжается от нескольких секунд или минут до двух часов и сменяется ярко-розовой или застойной окраской. При этом в нервной, сердечно-сосудистой и костно-мышечной системах наблюдаются определенные изменения, которые дают те или иные клинические проявления вибрационной болезни.

Производственной вибрации обычно сопутствуют другие вредные производственные факторы: шум, охлаждающий микроклимат, физические нагрузки. Они усугубляют клиническое течение ВБ.

Вибрационная патология занимает ведущее место в структуре профессиональной заболеваемости литейщиков. Это обусловлено широким использованием в литейном производстве вибрационных технологий и процессов, соответствующих машин и агрегатов. Кроме этого, работающие в литейных цехах (особенно обрубщики и чистильщики отливок) помимо значительных физических нагрузок выполняют работы в вынужденно напряженных позах, подвергаются большим тепловым нагрузкам и охлаждению, что дополнительно способствует развитию ВБ [1...4]. В такой ситуации реализация разовых или эпизодических мероприятий не решает проблемы вибробезопасности труда.

Гигиеническую оценку как общей, так и локальной вибрации, воздействующей на человека на рабочем месте, производят следующими методами [5, 6]:

- частотным (спектральным) анализом нормируемого параметра;
- интегральной оценкой по частоте нормируемого параметра;
- интегральной оценкой с учетом времени вибрационного воздействия по частоте и уровню нормируемого параметра.

Основным методом, характеризующим вибрационное воздействие на работающих, является *частотный анализ*. Установлено, что локальная и общая вибрация на различных частотах по-разному воздействуют на человека. Вибрация низких частот менее вредна, чем высокочастотная вибрация. Поэтому в качестве физического критерия для оценки действия вибрации на организм принимают воздействующую на него энергию с учетом вредности вибраций различных частот, которая учитывается в виде коррекции.

Исходя из этого, для оценки уровней вибрации на рабочих местах литейных цехов, кроме частотного анализа, был принят метод *интегральной оценки*. При энергетическом сложении разностей между измеренными уровнями вибрации и коррекцией во всех октавных полосах получаем одним числом интегральную оценку вибрации. В результате расчета имеем *эквивалентные корректированные уровни* на рабочих местах, где имеются источники общей или локальной вибрации.

Сравнение вибрации расчетных и экспериментальных данных, полученных в результате исследований на участках литейных цехов, показало их хорошую сходимость. Однако эквивалентные уровни вибрации, полученные расчетным путем, имеют меньшие значения в сравнении с экспериментальными величинами, так как при замерах уровней вибрации на рабочих местах фиксируются только уровни работающего оборудования. А при

Таблица 1

Участок цеха	Значения показателя *K* по вибрационному фактору в цехах с характером производства		
	массовым	серийным	мелкосерийным
Смесеприготовительный	0,29	0,15	0,19
Стержневой	0,12	0,09	0,08
Формовочный	0,34	0,23	0,18
Выбивной	0,35	0,27	0,21
Обрубочно-очистной	1,15	0,89	0,67
Среднее значение по цеху	0,45	0,33	0,27

расчетах учитывается еще и временной фактор, что особенно важно для объективной оценки влияния вибрации на организм работающих при выборе литейного оборудования в проектируемых или реконструируемых литейных цехах. *Таким образом, объективную оценку вибрационной обстановки на участках литейных цехов можно осуществить только путем расчета параметров вибрации.*

Выполнены расчеты для построения диаграмм по определению превышения эквивалентных скорректированных уровней вибрации $\Delta L_{vэ}$ литейного оборудования допустимых значений в зависимости от его типа и инструмента (**рисунки 1** и **2**). При расчетах учитывали измеренные уровни вибрации и время контакта работающих с источниками вибрации за смену.

Результаты проведенных исследований вибрации применяемого литейного оборудования и ручного инструмента, проведенные за период с 2016 по 2020 гг., показали, что в литейных цехах большие превышения уровней общей вибрации наблюдаются в области средних и высоких частот 16; 31,5 и 63 Гц на рабочих местах формовщиков у встряхивающих машин и выбивальщиков отливок. Однако значительно большему воздействию локальной вибрации подвергаются литейщики, обслуживающие ручной формовочный инструмент, станки и инструмент для обрубки и очистки отливок [7]. При этом превышение допустимых значений отмечается практически во всем диапазоне частот (наибольшие превышения в области низких частот).

Это подтверждается и величиной показателя *K* (относительного показателя, по вибрационному фактору полученному расчетом (**табл. 1**) по нашей методике [8, 9]. Исходя из значений показателя *K*, это наиболее заметно для рабочих мест обрубочно-очистных участков литейных цехов с любым характером производства, на которых большинство работающих подвергаются длительному воздействию локальной вибрации.

Работающие в литейных цехах подвергаются наибольшему воздействию вибрации при выполнении различных операций там, где человек находится в зоне работы литейного оборудования ударного типа (при общей вибрации) или контактирует с источниками вибрации через руки (локальная вибрация). Причем, следует отметить, что источники локальной вибрации создают значительно большие уровни вибрации, чем источники общей вибрации. Поэтому при проектировании или реконструкции литейных цехов предпочтение следует отдавать технологическим процессам, где используется безударное оборудование, работающее в автоматизированном режиме. Также следует использовать формовочные и стержневые смеси, легко выбиваемые из опок и отливок и исключающие образование пригара на поверхности последних.

Изучение вибрационных режимов оборудования в литейных цехах с различным характером производства показало, что наибольшему воздействию вибрации подвергаются работающие в цехах массового производства (средние значения показателя *K* в 1,3–1,9 раза выше на смесеприготовительных, формовочных, выбивных и обрубочно-очистных участках, чем на аналогичных участках в литейных цехах серийного и мелкосерийного производства). Это можно объяснить тем, что в цехах массового производства более продолжительный контакт человека с источниками вибрации, несмотря на высокий (хотя и недостаточный) уровень механизации и автоматизации технологических процессов. При этом доля ручного труда и в цехах массового производства остается достаточно высокой, особенно на финишных операциях. А оборудование ударного действия на формовочных и выбивных участках создает дополнительные повышенные вибрационные нагрузки на работающих.

Следует при этом отметить ряд технологических процессов,

выполнение которых не сопровождается вибрационными нагрузками на работающих. Например, это изготовление стержней и форм из жидкостекольных и холоднотвердеющих смесей, выбивка форм прессованием.

Принимая во внимание характер технологических процессов в литейном производстве, необходимо внедрять высокопроизводительные автоматизированные и механизированные комплексы (включая промышленные роботы), позволяющие ликвидировать ручной труд и исключить контакт работающих с источниками вибрации. Учитывая, что создать полностью вибробезопасные условия труда в литейном цехе является трудноразрешимой задачей, необходимо внедрять физиологически обоснованные режимы труда и отдыха работающих.

Проанализирована заболеваемость по картам учета профессиональных болезней при периодических (ежегодных) медицинских осмотрах за десятилетний период (с 2011 по 2020 гг.). Такой период позволяет наиболее полно выявить профессиональные заболевания, характерные для каждого производства, и при снижении влияния случайных факторов.

В результате установлено, что в литейных цехах серийного и мелкосерийного производства, по сравнению с цехами массового производства, наблюдается несколько большее количество заболеваний вибрационной патологии (**табл. 2**, $P_{зв}$ – коэффициент заболеваемости – число случаев на 1000 работающих), несмотря на меньшие значения показателя *K* (см. **табл. 1**). Это можно объяснить тем, что в цехах массового производства, как правило, организация рабочих мест в большей степени соответствует требованиям безопасности труда и эргономики, чем в цехах серийного и особенно мелкосерийного производства. В последних работающие (особенно обрубщики и чистильщики отливок) выполняют работы (часто на плацу) в вынужденно напряженных позах и, кроме больших физических нагрузок, подвергаются существенным тепловым нагрузкам и воздействию охлаждающего микроклимата. Все это способствует развитию ВБ.

Таблица 2

Профессия	$P_{зв}$ в литейных цехах с характером производства			
	массовым	серийным	мелкосерийным	Среднее
Формовщик	2,53/0,32	1,78/0,46	1,27/0,53	1,86/0,44
Стерженщик	1,72/0,29	1,28/0,41	1,08/0,45	1,36/0,38
Обрубщик	5,42/1,78	4,88/2,24	3,94/2,81	4,25/2,28
Чистильщик отливок	3,41/0,78	2,88/1,29	2,63/1,73	2,97/1,27

Примечание. В числителе – общий, знаменателе – виброболезнь.

По результатам исследований получена корреляционная зависимость влияния локальной вибрации на коэффициент заболеваемости ВБ литейщиков $P_{зв}$, использующих виброопасный ручной инструмент (**рис. 3**).

Анализ полученных данных показывает наибольшее влияние вибрации на обрубщиков и формовщиков, достоверность которого подтверждается значениями показателя *K* по вибрационному фактору на участках литейных цехов (см. **табл. 1**).

Наибольшее число случаев профессиональных заболеваний в литейных цехах приходится на четыре профессиональные группы (**табл. 3**). При сравнительном анализе экспериментальных данных можно заметить, что наиболее неблагополучной по числу зарегистрированных случаев ВБ – профессия обрубщика. На долю этого заболевания приходится 52% всех случаев заболеваний обрубщиков. Кроме того, в группе обрубщиков зарегистрированы самые короткие сроки развития ВБ (10,8 года), что подтверждает значительное влияние условий труда на работающих.

Таблица 3

Профессия	Коэффициент заболеваемости (на 1000 работающих)	Средняя продолжительность развития болезни, лет
Стерженщик	0,33	18,6
Формовщик	0,46	17,7
Обрубщик	2,28	10,8
Чистильщик отливок	1,27	12,1

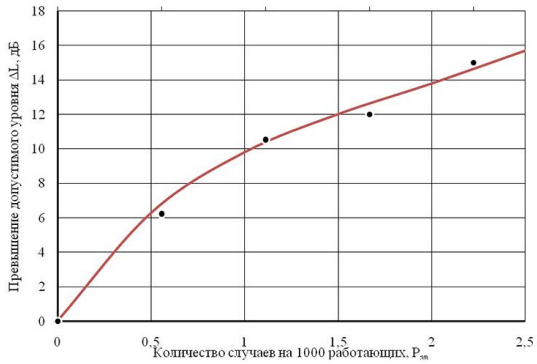


Рис. 3. Зависимость коэффициента заболеваемости ВБ от превышения допустимого уровня локальной вибрации литейного оборудования и инструментов

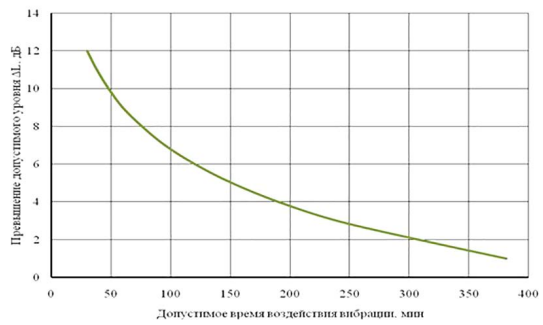


Рис. 4. Зависимость времени воздействия вибрации на работающих от величины превышения допустимого уровня воздействия вибрации

Значительные показатели регистрируются и в группе чистильщиков отливок (~ 29%). Это связано не только с высокими уровнями вибрации, воздействующими на рабочих этой группы, но и с ее спектральными характеристиками (вибрации средне- и высокочастотного диапазонов), представляющими наибольшую опасность, так как приводят к ангиоспастическим сосудистым расстройствам, являющимся одним из основных симптомов ВБ. Следует также отметить, что в этих профессиональных группах воздействие вибрации сочетается со значительными физическими усилиями при выполнении технологических операций, что существенно усугубляет ее неблагоприятное воздействие.

На формовщиков приходится ~ 10% всех случаев ВБ. Средние сроки развития заболеваний более продолжительные, что объясняется низкочастотной вибрацией пневматических трамбовок и встряхивающих формовочных машин. Известно, что воздействие локальной вибрации низкочастотного диапазона (8...16 Гц) не вызывает выраженного спазма сосудов кисти и значимых изменений в периферической нервной системе. Оно затрагивает главным образом опорно-двигательный аппарат, патологические изменения в котором развиваются более медленно. На **рис. 4** приведена зависимость времени воздействия вибрации на работающих от величины превышения допустимого уровня воздействия вибрации ΔL, которая позволяет определить время работы с оборудованием и инструментом (источниками вибрации).

Таким образом, вибрация оказывает большое влияние на работающих в литейных цехах, степень воздействия которого определяется применяемыми технологическими процессами и оборудованием для изготовления стержней и форм, выбивки, обрубки и очистки отливок, уровнем механизации и автоматизации, а также характером производства.

Основное мероприятие по предупреждению ВБ – недопущение к эксплуатации оборудования, которое создает вибрацию выше предельно допустимых уровней, а также соблюдение рационального режима труда и отдыха. Также необходимо организовать профилактику неблагоприятного действия вибрации для снятия спазма кровеносных сосудов. К ним следует отнести тепловые процедуры (ванночки для рук), воздушный обогрев с микромассажем рук. Все работники, подвергающиеся воздействию вибрации, при приеме на работу должны проходить предварительный медицинский осмотр и периодические ежегодные медосмотры.

Проблему сохранения здоровья литейщиков необходимо решать комплексно – с учетом всех факторов, определяющих условия труда, особенно на формовочных, плавильно-заливочных и обрубочно-очистных участках, на основе модернизации действующего и внедрении нового литейного оборудования, позволяющего исключить или сократить время нахождения работающих в зоне воздействия неблагоприятных факторов на здоровье работников, расширения сферы использования манипуляторов и роботов при выполнении тяжелых и опасных ручных операций, значительного улучшения условий труда, постоянного внимания организационным мероприятиям и строгого

профессионального отбора работников для литейного производства.

Профессиональная заболеваемость создает и экономические проблемы, поскольку наносит серьезный ущерб предприятиям. Существенные экономические потери предприятий вызывает и «скрытая» (вовремя не выявленная) профессиональная заболеваемость работающих, так как это приводит к снижению производительности труда, повышению брака в работе, способствует росту числа травм, случаев инвалидности и заболеваемости с временной утратой трудоспособности, повышению текучести кадров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лазаренков А.М.** Условия труда на рабочих местах обрубщиков литья // Литейное производство и металлургия. Труды 26-й международной НТК «Литейное производство и металлургия 2018. Беларусь». – Минск. – С. 164–166.
2. **Лазаренков А.М.** Условия труда на рабочих местах чистильщиков литья /Литейное производство и металлургия. Труды 26-й международной НТК «Литейное производство и металлургия 2018. Беларусь». – Минск. – С. 171–172.
3. **Лазаренков А.М., Хорева С.А., Мельниченко В.В.** Оценка влияния вибрации на работающих в литейном производстве // Литье и металлургия. – 2011. – №3(62) – С. 192–193.
4. **Лазаренков А.М.** О влиянии условий труда на работающих в литейных цехах // Литейное производство. – 2020. – № 3 – С. 33–36.
5. **ГОСТ 12.1.012-2004**. ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования. – М., Стандартинформ, 2010.
6. **Санитарные нормы и правила** «Требования к производственной вибрации, вибрации в жилых помещениях, помещениях административных и общественных зданий» (утв. постановлением Министерства здравоохранения Респ. Беларусь 26.12.2013 г. № 132) и Гигиенический норматив «Показатели безопасности и безвредности вибрационного воздействия на человека» (утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь 25.01.2021 № 37).
7. **Лазаренков А.М., Хорева С.А.** Влияние локальной вибрации на работающих в литейных цехах // Литье и металлургия. – 2016. – №3. – С. 128–130.
8. **Лазаренков А.М. Кот Т.П.** Методика комплексной оценки условий труда в литейном производстве // Литье и металлургия. – 2021. – №3 – С. 112–117.
9. **Лазаренков А.М.** Классификация производственных факторов литейного производства // Литье и металлургия. – 2021. – №3 – С. 118–122.

Внимание!

22 июня в С.-Петербурге пройдет **Инженерное собрание России 2022**. Организатор мероприятия – НП «Кластер высоких технологий и инжиниринга СЗФО РФ «Креономика».

Инженерное Собрание России – это масштабный профессиональный форум определяющий перспективные тренды отечественного инжиниринга, основной целью которого является интеграция представителей бизнеса, науки, образования и власти, выработка совместных стратегических решений, направленных на эффективное развитие инженерии России и повышение конкурентоспособности промышленных предприятий в современных условиях. Будут освещены такие важны темы, как:

- *Цифровой инжиниринг:* создание цифровых фабрик, 3D имитационное моделирование и оптимизация производственно-логистических процессов, офлайн программирование роботов и управление цифровыми фабриками.
- *Индустриальный инжиниринг:* инновационная модернизация действующих производств, создание новых рациональных производств, внедрение Индустрии 4.0, промышленная роботизация и искусственный интеллект.

Место проведения: Научно-исследовательский корпус С.-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СпбПУ) «Технополис-Политех», С.-Петербург, ул. Политехническая д. 29, лит. АФ.

Контакты: Россия, 197046, С.-Петербург, Петроградская наб., д. 22.
Тел: +7 (812) 644-01-26; e-mail: info@creonomyca.spb.ru

Ко Дню Победы

Памятники литературным и киногероям из фильмов о Великой Отечественной войне

Рис. 1

Памятник А.Т. Твардовскому и Василию Тёркину (**рис. 1**) – одна из достопримечательностей Смоленска. Он расположен в центре города, на площади Победы. Скульптор А.Г. Сергеев запечатлел поэта-фронтовика А.Т. Твардовского и воспетого им солдата, неунывающего Василия Тёркина, на привале за дружеской беседой. Памятник отлит из бронзы. Это единственный памятник, изображающий автора и вымышленного героя вместе. Торжественное открытие памятника состоялось накануне 50-летия Великой Победы – 2 мая 1995 г. Тёркин изображен со своей гармошкой, а Твардовский внимательно слушает солдатские байки. На постаменте высечены строки из знаменитой поэмы, хорошо знакомые многим с детства.

В Москве на Фрунзенской набережной, у здания Министерства обороны находятся две скульптурные композиции из фильмов «Офицеры» и «Они сражались за Родину».

Памятник героям фильма «Офицеры» (**рис. 2**) был открыт 9 декабря 2013 г. Скульптура создана в студии военных художников им. Грекова. Главные герои фильма Иван Варавва и Алексей Трофимов в генеральских погонах стоят около лавочки, где сидит жена Алексея. Внук Трофимова в форме суворовского училища держит чемодан и отдает честь.

В 2016 г. установили памятник «Они сражались за Родину» (**рис. 3**) – за основу был взят фильм С. Бондарчука по одноименному роману М. Шолохова. Скульптура состоит из пяти идущих друг за другом солдат. следующих друг за другом по жесткой каменистой почве: Николая Стрельцова, Ивана Звягинцева, Петра Лопахина и Александра Копытовского, а также рядового Некрасова. Солдаты одеты в советскую военную форму и несут с собой оружие и боеприпасы. Стрельцов и Звягинцев молча идут вперед, Лопахин и Копытовский что-то обсуждают, ну а Некрасов остановился, обернувшись назад и словно оценивая пройденный путь. Памятник выполнен из бронзы.

Рис. 2

Рис. 3

К 85-летию
со дня рождения

Геннадий Александрович Косников

24 мая исполняется 85 лет профессору, доктору технических наук, заслуженному работнику Высшей школы РФ, профессору ВШФиТМ ИММИТ Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого **Геннадию Александровичу Косникову**.

После окончания в 1961 г. Ленинградского политехнического института Геннадий Александрович работал на Ленинградском машиностроительном объединении им. К. Маркса инженером-конструктором отдела главного металлурга, мастером участка машинной формовки, заместителем начальника литейного цеха завода им. К. Маркса, с 1965 по 1975 гг. – главным металлургом объединения. С 1975 г. Геннадий Александрович – доцент, профессор, а с 1995 по 2012 гг. – заведующий кафедрой Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, с 2012 г. – профессор кафедры (высшей школы) СПбПУ.

Круг его основных профессиональных интересов – разработка конструкционных материалов со специальными и повышенными эксплуатационными свойствами (аустемпированные и алюминиевые чугуны, чугуны для обожженных анодов, алюмоматричные композиционные сплавы с повышенными радиационно-защитными свойствами) и современные технологии их получения (магнитогидродинамическое, ультразвуковое, вибрационное воздействие на жидкий и кристаллизующийся сплав, тиксотехнологии, алюмотермия).

В качестве руководителя ЗАО «Сантокам» в содружестве с ОАО «КАМАЗ» и рядом ведущих НИИ являлся организатором комплексных исследований в области разработки и внедрения аустенитно-бейнитных чугунов в автомобилестроении. В качестве руководителя (ЗАО «ПТИпромлит») и главного специалиста (ООО «ПИПП «Вымпел») проектных организаций принимал участие в разработке проектов вновь строящихся и реконструируемых литейных цехов и заводов.

Под руководством и при участии Г.А. Косникова подготовлены и защищены 21 кандидатская и 4 докторских диссертации, опубликовано свыше 200 работ, получены 19 авторских свидетельств и патентов.

Геннадий Александрович является одаренным педагогом и воспитателем молодого поколения специалистов-литейщиков, активным участником международных, федеральных и региональных форумов литейщиков, его исследования и разработки отвечают высоким современным требованиям.

Редакция журнала, коллеги, друзья, ученики сердечно поздравляют Геннадия Александровича с юбилеем и желают здоровья, творческой активности, счастья на долгие годы.

Ответ Гельмгольц центру (KIEL)

(*Письмо в редакцию*)

Воспроизведение новых технологий и исследований в любой стране связано с многочисленными трудностями. Это можно отнести и к процессу дозированной направленной кристаллизации (ДНК) нелегированного интерметаллида Ni_3Al (Ni-12Al). Результаты воспроизведения характеристик этого материала в исследовательском центре Гельмгольц не дали сравнительных значений. Основой для проведения указанных исследований были опубликованные статьи по этой тематике в журнале «Литейное производство» (РФ) и за рубежом в количестве 11 изданий. Результаты исследований представлены на адрес-строке (Gloria Geomar research Helmholtz). Из короткого перевода этого материала можно предположить, что не были получены опубликованные прочностные характеристики. В связи с этим автору была представлена возможность привести в журнале некоторые основные проблемы, определяющие трудности получения стабильных прочностных результатов, длительная прочность которых у этого материала в температурном интервале 800…1200 находится на уровне современных никелевых жаропрочных сплавов. При вариации технологического процесса (ДНК) можно получать материал с различной структурой. Это неоднократно приводилось автором в статьях, изданных с 1994 по 2022 гг.

Действительно, получить заявленные автором структуры очень сложно. Это связано со многими проблемами, базирующимися на многочисленных особенностях процесса ДНК и уровня технологического оборудования. Определяющий момент при получении оптимальных структур и, соответственно, прочностных характеристик при дозировании – это высота твердожидкой зоны.

Чтобы рассчитать этот параметр и контролировать его, необходимо, как минимум, провести многочисленные опыты. Для стабилизации полученных характеристик в оптимальных структурных вариантах желательно применить операции математического моделирования и программирования. Это отражено в некоторых изданиях за указанный выше период публикаций. Автором был использован метод аппроксимации перепада атомов алюминия в твердожидкой зоне растущей отливки на базе интерполяционной формулы Лагранжа, формулы Лапласа и разностного дифференциального оператора $h^2 \nabla^2$.

В результате была повышена возможность получения стабильных микроструктурных характеристик и прочностных свойств материала. При анализе полученных данных было обнаружено, что наиболее прочный материал был получен на четко выраженной дендритной и ячеистой структурах. В этих структурах было замечено, что первичная γ-фаза в продольном направлении роста была представлена в виде тонковолокнистой сетки с ромбовидной формой ячейки, в которой кристаллизовалась эвтектика. Причем, чем больший объем имела эта составляющая по отношению к очаговой форме выделения, как бы, избыточной эвтектике, тем выше прочностные свойства. С этим же, видимо, было связано и проявление аномальной прочности. Эта микроструктура неоднократно приводилась в работах. При большем увеличении эта микроструктура показана в работе [1].

Было выдвинуто предположение, что аномальное увеличение прочности в середине температурного испытания образцов на растяжение (20…1200°С) связано с тем, что в изолированных включениях эвтектики в указанной сетке возникают напряжения сжатия. В результате чего дислокации начинают скользить в плоскости куба. Поэтому в материале создаются условия сопротивления разрушающей силе. Кроме того, было замечено, что не прерывается при температуре 750…800°С и продолжается в какой-то мере и при 1200°С. Это было замечено в образцах, где избыточная

[1] **Verin A.S.** Future secret of turbine blades Ni3Al-NiAl-base. 2015, Moscow, Tolmach, p. 219.

эвтектика, практически, отсутствовала. Естественно, для подтверждения этого процесса необходимы фундаментальные исследования. Такое предположение было сделано в результате обнаружения первичных очагов разрушения материала, которые были, в основном, в выделениях избыточной эвтектики и на границе ее с сеткой на образцах после разрушения при растяжении и испытания на ударную вязкость. Причем в микроструктуре на шлифах поперечного направления к росту отливки в нитях сетки просматривались многочисленные мелкодисперсные выделения вторичной γ-фазы (вторичная гамма штрих фаза).

Если в дальнейших исследованиях будут выявлены критерии образования кубического скольжения во всем температурном диапазоне, указанном выше, то, видимо, появится возможность разработки упрощенных технологических вариантов получения материала из нелегированного интерметаллида Ni-12Al (вес. %) с уникальными прочностными характеристиками на основе ДНК.

Выводы

- Понимание процесса появления и исчезновения кубического скольжения в указанном материале будет достигнуто, видимо, только при проведении капитальных научных исследований.
- В основании этих исследований могут лежать критерии понимания условий появления кубического скольжения и их стабилизации.
- В конечной стадии исследования, несомненно, появятся возможности упрощения технологии получения и широкого использования этого материала с аномальным поведением прочностных характеристик при высоких температурах.
- Не скоро, вероятно, будет разработан материал на указанной основе, упрочнение которого будет повышаться с ростом температуры в условиях растяжения в противоположность к существующим сплавам, прочность которых падает с повышением температуры.

А.С. Верин (канд. техн. наук)

Учредители
- КОЛЛЕКТИВ РЕДАКЦИИ
- АССОЦИАЦИЯ ЛИТЕЙЩИКОВ УКРАИНЫ
- БЕЛОРУССКАЯ АССОЦИАЦИЯ ЛИТЕЙЩИКОВ
- РОССИЙСКАЯ АССОЦИАЦИЯ ЛИТЕЙЩИКОВ
- СОЮЗ ЛИТЕЙЩИКОВ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА
- ОАО «КАМАЗ»
- АО «АВТОВАЗ»

Издатель
ООО «Литейное производство»

Главный редактор
Д-р техн. наук
А.Н. Поддубный

Журнал готовили
А.И. Батышев
Е.В. Трушина

Наш адрес:
111396, Москва,
Союзный пр-т, 14/9, 232

Телефон/факс
+7 (495) 303-85-81
e-mail: lp@niit.ru
Сайт www.foundrymag.ru

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале «Литейное производство», осуществляется только с разрешения редакции

Сдано в набор 01.04.2022
Подписано в печать 30.04.2022
Дата выхода в свет 10.05.2022
Формат 60x80 1/8
Печать цифровая
Отпечатано в типографии
ИП Симаков С.В.
142300, Московская обл, г. Чехов,
ул. Полиграфистов, д. 1
Цена договорная

Владимир Леонтьевич Найдек

(1937…2022 гг.)

На 85 году ушел из жизни Владимир Леонтьевич Найдек, выдающийся ученый в области материаловедения и металлургии, почетный директор Физико-технологического института металлов и сплавов НАН Украины, академик НАН Украины.

В.Л. Найдек родился в г. Васильевка Запорожской обл. После окончания в 1959 г. КПИ преподавал и в 1963 г. защитил кандидатскую диссертацию. С 1968 г. работал в Институте проблем литья АН УССР (сегодня ФТИМС НАН Украины). Созданная в институте группа создала, совместно с работниками Алчевского металлургического завода, уникальную установку для подачи жидкого кислорода в 600-т мартеновскую печь. В этот период сформировалось основное научное направление В.Л. Найдека – исследование термодинамики и тепломассообмена в жидкометаллических системах и создание на этой основе методов повышения качества сплавов, а также синтеза новых материалов.

В 1974 г. Владимир Леонтьевич возглавил лабораторию, а впоследствии – отдел плавки и рафинирования сплавов, в котором были выполнены исследования поведения примесей, неметаллических включений и газов в высокоуглеродистом расплаве, созданы теория и технология рафинирования и модифицирования чугуна; предложен метод повышения качества стали путем многократного использования регенерированных шлаков. Для повышения свойств цветных сплавов использовали процесс, базирующийся на введении плазменной дуги вглубь расплава.

Процесс и оборудование успешно реализованы на многих предприятиях, а результаты исследований обобщены Владимиром Леонтьевичем в его докторской диссертации, защищенной в 1986 г. В последующем В.Л. Найдек изучал процессы перераспределения легирующих элементов, изменения морфологии, размеров и характера размещения неметаллических включений в сталях под воздействием лазерного излучения, что нашло отражение в 300 публикациях и 108 авторских свидетельствах. Его ученики защитили пять докторских и 14 кандидатских диссертаций.

С 1979 г. В.Л. Найдек – заместитель, а с 1988 г. – директор института и, одновременно, руководитель отдела плавки и рафинирования сплавов. За эти годы он много сделал для укрепления материально-технического состояния института, расширения деловых связей с предприятиями, выхода на зарубежные фирмы, расширения сотрудничества с вузами, подготовки кандидатов и докторов наук. По его инициативе в 1990 г. создана Ассоциация литейщиков Украины, президентом которой он был длительное время. В годы СССР Найдек В.Л. входил в состав Экспертного совета ВАК СССР по металлургии, на протяжении многих лет был членом Редсовета журнала «Литейное производство», а потом и журнала «Металлургия машиностроения», главным редактором журнала «Процессы литья», входил в состав ряда экспертных комиссий НАН Украины. В 1988 г. был избран членом-корреспондентом, а в 1995 г. – академиком НАН Украины.

Владимир Леонтьевич – лауреат Государственной премии Украины в области науки и техники, премии им. З.И. Некрасова НАН Украины, награжден орденом «За заслуги» III степени, Почетной грамотой Президиума Верховного совета УССР. Ему было присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки техники Украины».

От имени членов Редсовета и редакции, авторов и читателей журнала приносим глубокие соболезнования родным и близким Владимира Леонтьевича.

ФОРМИРУЯ БУДУЩЕЕ

ИСПОЛЬЗУЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ ПРОДУКТЫ И МАТЕРИАЛЫ

ИННОВАЦИОННЫЕ

3D ТЕХНОЛОГИИ

Формируя будущее с помощью наших эффктивных 3D технологий.

Наши инновационные 3D технологии разработаны с учетом самых высоких ваших требований.

Технология 3D фильтрации обеспечивает защиту от обломков фильтра за счет использования специально спроектированной конструкции, способной принимать разнообразные формы. Оптимизированные структуры обеспечивают почти идеальные размеры пор фильтров. Теперь для обеспечения наиболее стабильных характеристик потока могут быть использованы даже поры нетрадиционные размеров.

Наше портфолио 3D связующих предлагает органические и неорганические решения для 3D печати стержней. Наша технология связующих обеспечивает одновременную совместимость с различными печатающими головками, размерную точность и производительность.

www.ask-chemicals.com

ASKCHEMICALS

sinto hws SINTOKOGIO GROUP

Тел.: +7 (499) 907-5000, 907-5255
e-mail: HWS-MOSCOW@NLN.RU

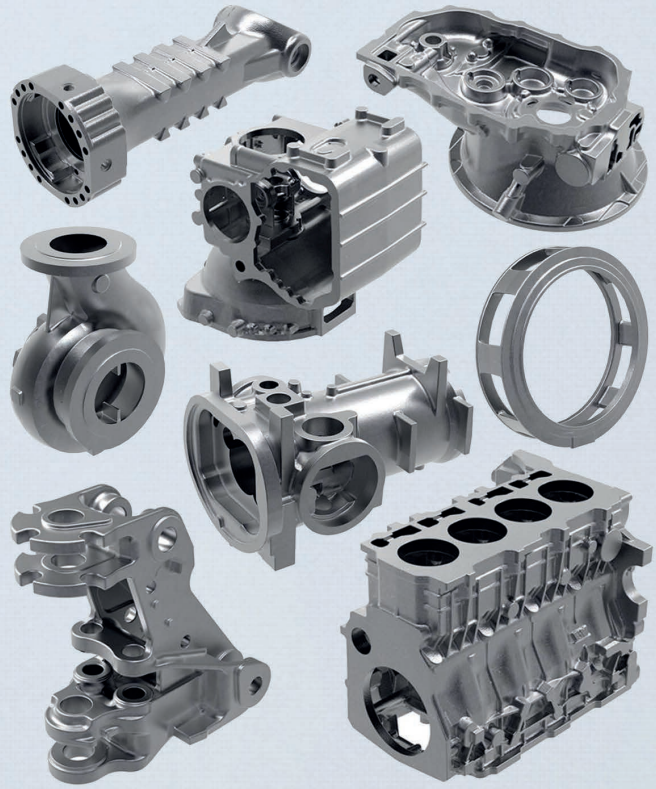
www.wagner-sinto.de

ОПОЧНЫЕ ЛИНИИ ПО СЕЙАТЦУ-ПРОЦЕССУ (ПГС) И ВАКУУМ-ПРОЦЕССУ (ВПФ)

АФЛ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ БЕЗОПОЧНЫХ ФОРМ - FBO. МОДЕРНИЗАЦИЯ. ЗАЛИВОЧНЫЕ АВТОМАТЫ

Примеры отливок
по ВПФ (Вакуум-процесс)

Примеры отливок
по ПГС (Сейатцу-процесс)

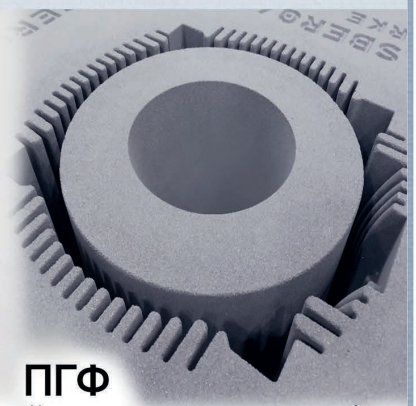


Sandvik, Швеция
Отливки по ВПФ -
вес до 12 тн (Mn сталь)

ВПФ

V-процесс (вакуумно-пленочная формовка) –
самые качественные и дешевые отливки

Olsberg, Германия
Отливки по ПГС -
“корпус” до 950 мм



ПГФ

Сейатцу (воздушный поток и прессование) –
гарантия высшего качества отливок по ПГС

ISSN 0024-449X. ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО. 2022. №5. 1–40. Индекс 70491