



**В. В. Предеин**  
**V. V. Predein**

**ОСОБЕННОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ТЕРМОВРЕМЕННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ПРИ АЛЮМОТЕРМИТНОМ ПОЛУЧЕНИИ РАСПЛАВА**

**THERMAL CHARACTERISTICS REGISTRATION WHEN ALUMINOTHERMY MELT  
OBTAINING**

**Предеин Валерий Викторович** – младший научный сотрудник Института машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения Российской академии наук (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681005, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Metallургов, 1; тел.: +7 (4217) 54-95-39. E-mail: predein3@mail.ru.

**Mr. Valery V. Predein** – Junior researcher, Institute of Machinery and Metallurgy, Far-Eastern Branch of Russian Academy of Sciences (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681005, Khabarovsk region, Komsomolsk-on-Amur, 1 Metallurgists' str.; tel.: +7 (4217) 54-95-39. E-mail: predein3@mail.ru.

**Аннотация.** Применение алюмотермических процессов в производстве позволяет в значительной степени экономить ресурсы, сокращать время технологического цикла получения или обработки металлоизделий, улучшать результат производственных операций и, в ряде случаев, в зависимости от применяемых материалов, эффективно перерабатывать металлоотходы машиностроительных и металлургических предприятий. В литературе исследованы различные направления применения термитных смесей, однако есть вопросы, которые сдерживают более широкое распространение алюмотермии на производстве. Одним из таких вопросов является контроль температур продуктов экзотермической реакции как непосредственно в процессе её прохождения, так и в процессе выдержки, разливки сплавов и заливки форм. В работе рассматриваются практические аспекты осуществления контроля температур косвенным методом, с поверхности тигля и формы.

**Summary.** The use of aluminothermy processes in production allows significantly saving resources, shortening the time of the technological cycle for obtaining or processing metal products, improving the result of production operations and, in some cases, depending on the materials used, efficiently processing metal waste of machine-building and metallurgical enterprises. In the scientific research works, various applications of thermit mixture have been investigated, but there are issues that hamper the wider distribution of aluminothermy in production. One of such issues is the temperature control of the products of the exothermic reaction both during its passage, and during alloy holding and casting, and pouring molds. The aspects of temperature control by indirect methods, from the surface of the crucible and the shape are considered in the work.

**Ключевые слова:** алюмотермия, термитная смесь, тигель, форма, температура, металлоотходы, контроль, экзотермическая реакция.

**Key words:** aluminothermy, thermit mixture, crucible, form, temperature, metal waste, control, exothermic reaction.

УДК 669.094.2-926.62

**Введение**

Применение алюмотермии для получения изделий целиком из железоуглеродистых сплавов, образующихся в результате экзотермических реакций в термитных смесях, требует тщательного контроля факторов, влияющих на химический состав и свойства литых заготовок [1 – 5]. Контроль температур продуктов, образующихся в ходе экзотермической реакции на стадиях выдержки металла, его разливки и заливки в формы, позволяет обеспечить необходимые свойства сплавов. Регистрация температурных параметров процесса является одной из сложных задач при получении литых заготовок из расплавов, образующихся в результате алюмотермии. Экзотермические реакции характеризуются высокими температурами (выше 2500 °С), что делает невозмож-

ным напрямую использовать контактные методы замера реальных температур термопарами (предел измерения которых для самых термостойких, как, например, вольфрамрениевых, кратко-временно ограничивается 2500 °С) [6; 7]. Не дают адекватных результатов и косвенные методы оценки температуры, например, пирометрами с поверхности расплава или термопарами с поверхности тигля вследствие покрытия металла толстым слоем шлака, а также быстрого изменения температуры в зоне горения. Отмеченные проблемы обуславливают необходимость проведения экспериментов без контроля температуры в тигле при соблюдении прочих равных параметров. Свойства получаемых образцов констатируются по факту влияния начальных температурных параметров шихты и формы перед заливкой и не связываются с температурами реакции и разлива [8; 9; 10].

#### **Цели и задачи исследования**

Целью работы является изучение возможности косвенной регистрации температур с поверхности тигля и формы при изменяющихся их начальных температурах. Для реализации цели решалась задача проведения измерений температур на поверхности тигля и формы в ходе экзотермической реакции при изменении температуры предварительного нагрева системы «тигель с термитной смесью – форма».

#### **Методы и материалы**

Экзотермические реакции проводили в огнеупорных тиглях, выполненных из материала графитированного электрода марки ЭГ15. После прохождения реакции и выдержки расплава в тигле в течение 10 секунд для обеспечения разделения металла и шлака металл сливается в форму. Перед проведением экспериментов огнеупорная оснастка нагревается до значения температуры, равного 150 °С, и покрывается противопопригарной краской.

В качестве восстановителя использовали смесь алюминиевых сплавов, применяемых в авиастроении в виде крупки фракции 0,2...1,5 мм следующего химического состава: Al = 89,443 %; Mn = 0,304 %; Si = 1,097 %; Cr = 0,062 %; Ni = 0,008 %; Cu = 2,040 %; Fe = 0,166 %; Mg = 3,917 %; Zn = 2,961 %. Окалина применялась также в виде крупки фракции 0,2...1,5 мм и имела следующий химический состав: C = 0,150 %; Mn = 1,188 %; Si = 2,960 %; S = 0,030 %; P = 0,030 %; Fe = 71,500 %; Al = 0,697 %; Ni = 0,188 %; Cr = 0,173 %; Cu = 0,444 %; O<sub>2</sub> = 22,639 %.

Регистрация температуры на поверхности тигля и формы осуществлялась при помощи прибора Термодат-29М5 с контроллером температур на 24 выхода и комплекта термопар ТП.ХА(К)-К12.Н.1,2-1-2.

#### **Основная часть**

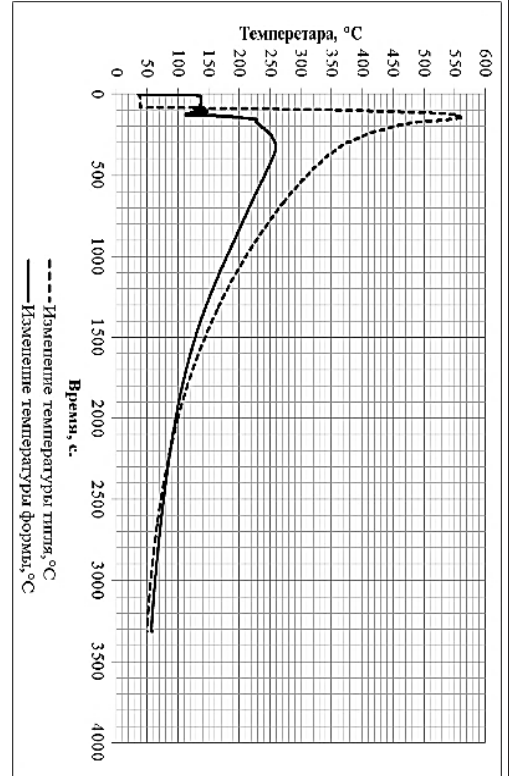
Температуры образующихся продуктов реакций зависят от свойств исходных компонентов термитных смесей, качества их подготовки и свойств огнеупорной оснастки. Начальная температура тигля со смесью влияет на выход расплава, интенсивность прохождения реакции, химический состав металла. Таким образом, при изменении начальных температур формы и шихты меняется соотношение шлаковой и металлической фаз, химический состав и выход железоуглеродистого сплава.

Экспериментами установлено, что максимум температур на поверхности тигля достигается после прохождения реакции выдержки и слива расплава в форму [11; 12]. На задержку регистрации температурных максимумов оказывают влияние теплофизические свойства материалов тигля, они же позволяют определить температурный пик внутри реактора. В большинстве случаев предельная температура на поверхности обеспечивается не всем объемом продуктов реакции, а лишь частью оставшегося шлака. В ряде случаев шлак сливается частично, или металл может оставаться в тигле, что оказывает влияние на температуру поверхности тигля. Интенсивность реакции также влияет на формирование температурных пиков. Чем выше интенсивность, тем меньше время контакта продуктов реакции и огнеупорной оснастки. Это влияет на снижение пика температур на поверхности тигля. Однако температура продуктов реакции может быть выше.

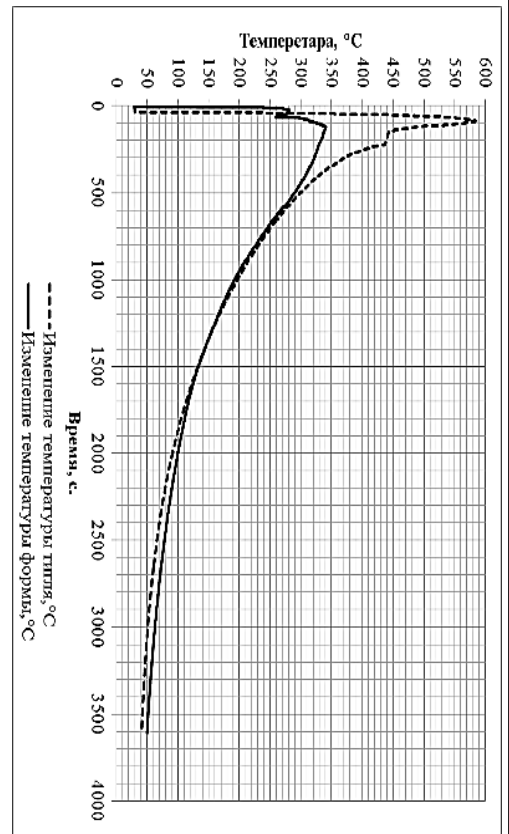
На рис. 1 представлены зависимости изменения температур тиглей и форм в местах установки термопар при проведении экзотермических реакций с использованием смесей при соответствующих температурах оснастки. Кривые, характеризующие изменение температур поверхности

тигля, имеют схожую динамику и максимальные показатели значений температур, равных 540...580 °С и не зависят от начальной температуры шихты.

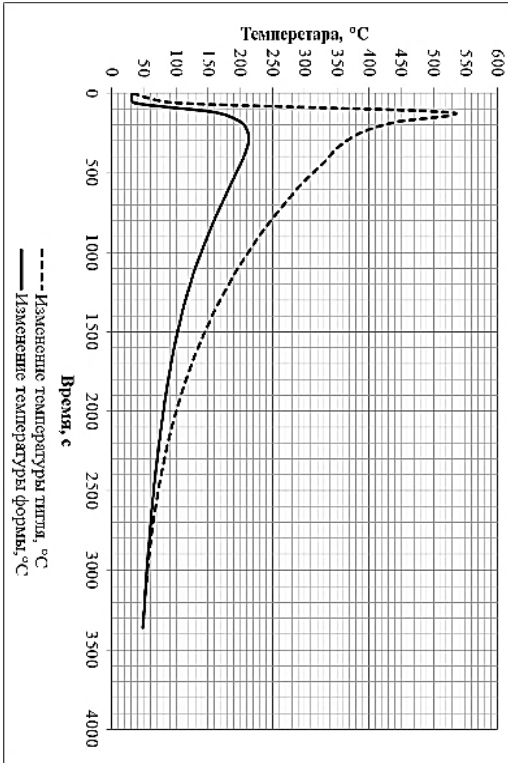
а)



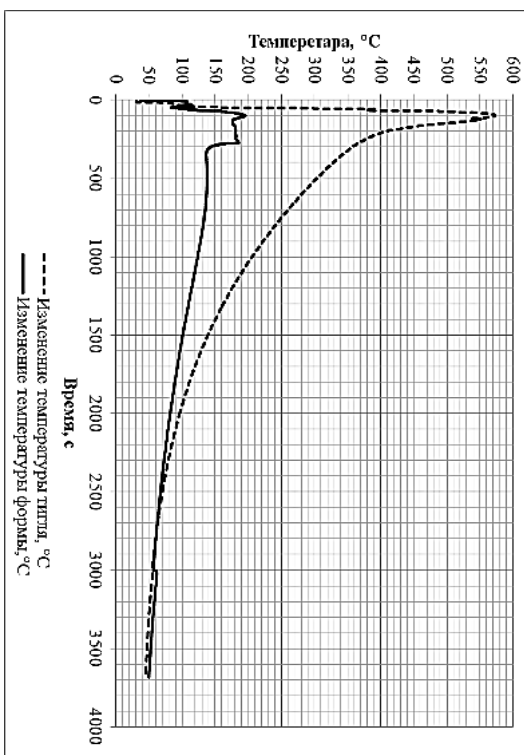
б)



в)



г)



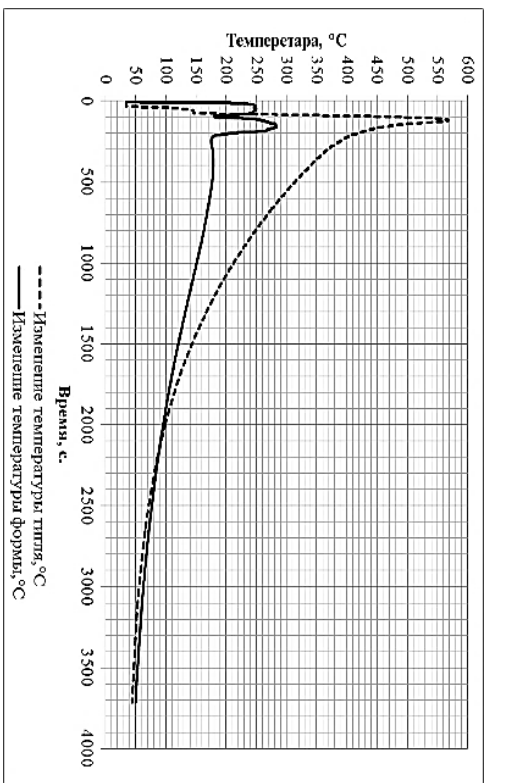
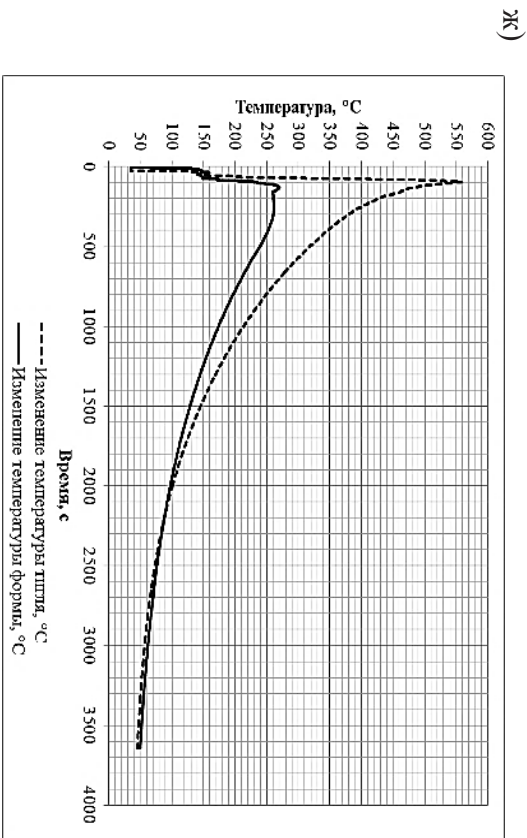
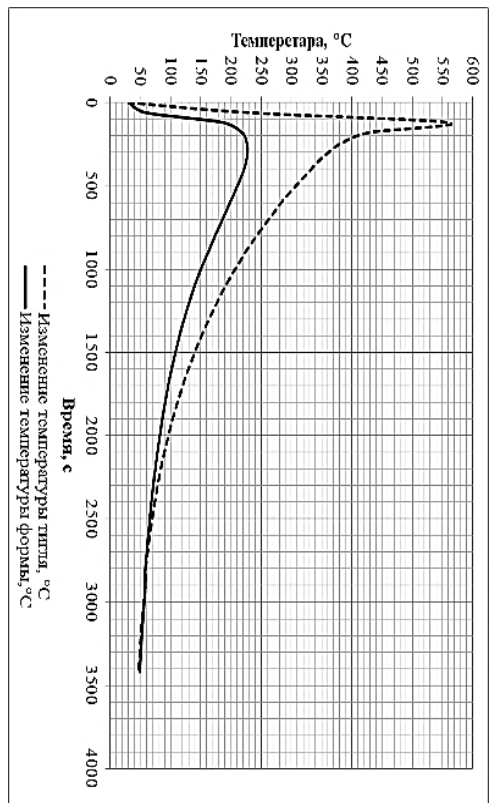
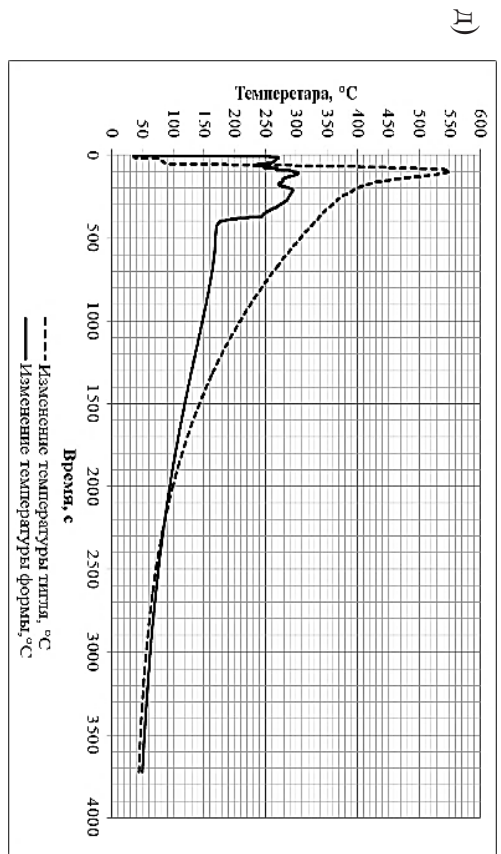


Рис. 1. Зависимость изменения температуры в местах установки термомпар на поверхности тигля и формы:  
 а – 25/200 °С; б – 25/400 °С; в – 200/25 °С; г – 200/200 °С; д – 200/400 °С; е – 400/25 °С; ж – 400/200 °С; з – 400/400 °С





### Выводы

Проведённые замеры температур на поверхности тигля и формы при интервале изменения начальных температур шихты и формы 25...400 °С показали следующее: изменение температур поверхности огнеупорной оснастки имеет схожие динамику и показатели в интервале 540...580 °С вне зависимости от начального значения температуры шихты. Это свидетельствует об отсутствии возможности провести корректно интерпретацию и сопоставление полученных данных. Представляется крайне затруднительным связать полученные данные со свойствами сплавов. Косвенно, в качестве сравнения, можно свойства сплавов «привязать» к пиковым значениям температур формы и продолжительности охлаждения до определённых температур. Однако при каждом режиме изменяются скорость прохождения реакции, химический состав и свойства сплавов, количество металлической фазы и скорость её разлива, температурные параметры продуктов реакции. При этом изменяются теплоёмкость и теплопроводность углеродных тиглей и форм, поэтому получаемые температурные зависимости не всегда будут корректно описывать процесс получения литых заготовок экспериментальным методом.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Специальные способы литья: справочник / В. А. Ефимов, Г. А. Анисович, В. Н. Бабич [и др.]; под общ. ред. В. А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991. – 436 с: ил.
2. Бигеев, А. М. Металлургия стали / А. М. Бигеев. – Челябинск: Металлургия: Челяб. отд-ние, 1988. – 480 с.
3. Борнацкий, И. И. Основы физической химии: учеб. для техникумов / И. И. Борнацкий. – М.: Металлургия, 1989. – 320 с.
4. Рабинович, В. А. Краткий химический справочник / В. А. Рабинович, З. Я. Хавин. – Л.: Химия, 1991. – 432 с.
5. Новохацкий, В. А. Малоотходная технология производства стальных отливок с экзотермическими прибылями / В. А. Новохацкий, А. А. Жуков, Ю. И. Макарычев. – М.: Машиностроение, 1986. – 64 с.
6. Использование алюминиевого сплава с высоким содержанием примесных элементов в качестве восстановителя для получения сортовых марок сталей при алюмотермии / В. В. Предеин, А. В. Попов, О. Н. Комаров, С. Г. Жилин, А. И. Евстигнеев // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2017. – № III-1(31). – С. 106-114.
7. ГОСТ 8.585-2001. Государственная система обеспечения единства измерений. Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования. – Введ. 2002-06-30. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – II, 81 с.
8. Влияние начальных температур шихты и формы на структуру и физико-механические свойства литых заготовок, получаемых при алюмотермитном переплаве / В. В. Предеин, О. Н. Комаров, А. В. Попов, С. Г. Жилин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2017. – Т. 19. – № 4. – С. 24-40.
9. Абашкин, Е. Е. Влияние упаковки компонентов термитного наполнителя порошковой проволоки на процессы электродугового переплава / Е. Е. Абашкин, С. Г. Жилин, О. Н. Комаров // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2018. – № I-1(33). – С. 96-104.
10. Получение слябовых заготовок из кипящей стали для прокатного производства методом металлотермии / О. Н. Комаров, С. Г. Жилин, В. В. Предеин, Е. Е. Абашкин, А. В. Попов // Заготовительные производства в машиностроении. – 2017. – Т. 15. – № 3. – С. 136-140.
11. Пат. 2637735 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> C21B15/02. Способ получения низкоуглеродистой кипящей стали / О. Н. Комаров, С. Г. Жилин, А. В. Попов, К. С. Бормотин; заявл. 13.05.2016; опубл. 06.12.2017. Бюл. № 34.
12. The influence of structure on the strength properties of casting steel obtained with the use of thermite materials / O. N. Komarov, S. G. Zhilin, D. A. Potianikhin, V. V. Predein, E. E. Abashkin, A. A. Sosnin, A. V. Popov // AIP Conference Proceedings Proceedings of the 10th International Conference on Mechanics, Resource and Diagnostics of Materials and Structures. – 2016. – P. 040027.