

## ПРИБОР И МЕТОДИКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ РАСПЛАВА

**Мартюшев Н.В.**

*ГФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск, Россия (634050, г. Томск, пр. Ленина, 30), e-mail:martjushev@tpu.ru*

В статье приведены кривые охлаждения расплава свинцово-оловянной бронзы БрОС10-10, залитой в формы с разной теплопроводностью: массивный чугунный кокиль (отношение массы отливки к массе формы 1:8) и в графитовую форму. Кривые строились для литейных форм, нагретых до температур 20; 200; 400; 600; 800 °С. Построение кривых охлаждения велось с помощью прибора «Термограф», разработанного в Томском политехническом университете. Прибор регистрирует значения термо-ЭДС хромель-алюмелевой термопары и переводит его в значения температуры. По кривым охлаждения определены скорости охлаждения расплава в интервале температур, включающем интервал кристаллизации. Показано, что скорость охлаждения при литье в чугунную форму на 30–40% выше, чем при литье в графитовую форму при сходных условиях. Приведенные в статье данные говорят о том, что предварительный подогрев литейной формы позволяет значительно снизить скорость охлаждения отливки и увеличить время нахождения расплава в жидком состоянии. Стоит отметить, что наиболее сильно значения скоростей охлаждения у нагретых и ненагретых литейных форм наблюдаются в начальные моменты времени после заливки расплава. При снижении охлаждения отливки до температур 300–400 °С скорости охлаждения становятся близки по значениям. В статье приводятся численные данные скоростей охлаждения для различных температур нагрева литейной формы.

Ключевые слова: скорость охлаждения, кривые охлаждения, свинцовистая бронза, температура кристаллизации, литейные формы.

## THE DEVICE AND TECHNIQUE FOR MELT COOLING SPEED DETERMINATION

**Martyushev N.V.**

*Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia (634050, Tomsk, Lenin Avenue, 30), e-mail:martjushev@tpu.ru*

Melt curve coolings of lead-tin bronze filled in forms with different heat conductivity: massive iron form (the relation of weight of casting to mass of a form 1:8) and in a graphite form are given in article. Curves were under construction for the casting molds which have been heated up to temperatures 20; 200; 400; 600; 800 °C. Plotting of cooling was conducted by means of the «Thermograph» device developed in Tomsk polytechnical university. The device registers values termo-EDS of chromel-alumel thermocouple and transfers it to values of temperature. Cooling speeds are determined by melt cooling curves in the range of the temperatures, including a crystallization interval. It is shown that speed of cooling when molding in a iron form on 30...40 % higher, than when molding in a graphite form under similar conditions. The data provided in article say that the preliminary heating of a casting mold allows to reduce considerably speed of casting cooling and to increase melt stay time in a liquid state. It should be noted that most strongly values of cooling speeds at warm and not warm casting molds are observed during the initial moments of time after melt filling. At decrease temperatures to 300-400 °C - cooling speed become close on values. Numerical data of cooling speeds are provided in article for various temperatures of casting mold heating.

Key words: speed of cooling, curve coolings, lead bronze, temperature of crystallization, foundry forms.

### Введение

Значительное количество научных исследований в материаловедении посвящено проблемам формирования структуры и свойств материалов в процессе кристаллизации. Один из наиболее часто изучаемых параметров – это скорость охлаждения. Скорость охлаждения достаточно просто изменить путем изменения материала литейной формы,

нагрева или охлаждения литейной формы. При этом влияние, оказываемое на структуру и свойства этого фактора, зачастую оказывается весьма значительно. Например, для антифрикционных марок бронз (свинцовистых, свинцово-оловянистых) изменение скорости охлаждения в процессе кристаллизации приводит к изменению формы свинцовых включений, величины зерна и параметров дендритной ячейки матрицы, количества твердого эвтектоида. Все эти изменения сказываются на свойствах отливок [5]. Среди уже проведенных исследований имеется множество работ, посвященных свойствам, получаемым отливками в литейные формы из различных материалов, но при этом количественные значения скоростей охлаждения при этом, как правило, не приводятся.

### **Материал и методы исследования**

Данная работа посвящена созданию и апробированию методики определения скоростей охлаждения в процессе кристаллизации свинцово-оловянистых бронз. Из существующих способов влияния на скорость охлаждения было выбрано два: использование форм различной теплопроводности и нагрев литейной формы до различных температур [2]. Сочетание двух этих способов дает возможность получать скорости охлаждения отливки в широком интервале и вместе с тем не требует значительных затрат времени и средств на их реализацию.

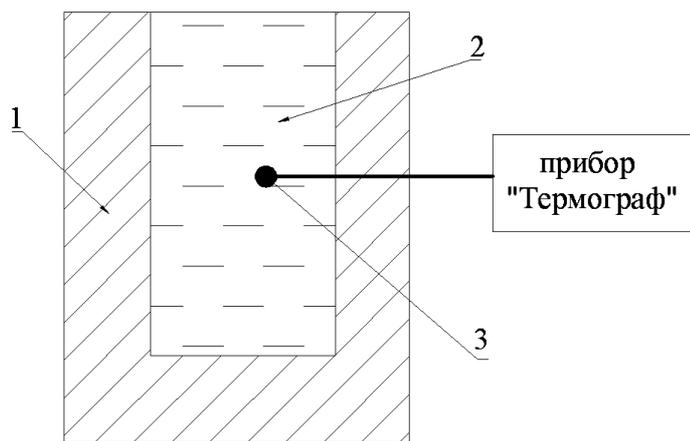
С помощью прибора «Термограф», разработанного на кафедре ПМЭ Томского политехнического университета, строились зависимости температуры залитого расплава от времени. По построенным зависимостям в интервале от температуры заливки до 800 °С (включающем кристаллизацию медной матрицы расплава) определялась средняя скорость охлаждения.

Построение зависимостей температуры отливки от времени охлаждения проводилось по одинаковым схемам как для форм, нагретых до различных температур, так и для форм с нанесенными обмазками различных составов.

В качестве материала, заливаемого в литейную форму, была выбрана бронза марки БрОС10-10. Эта бронза состоит из 10% свинца, 10% олова и 80% меди.

Для определения скоростей охлаждения расплава бронзу заливали в формы с разной теплопроводностью: массивный чугунный кокиль (отношение массы отливки к массе формы 1:8) и в графитовую форму. Формы нагревались до различных температур (20, 200, 400, 600, 800 °С) [3].

Хромель-алюмелевую термопару (диаметр проволок 0,3 мм) располагали на 1/2 глубины (рис. 1) в соответствии с рекомендациями [4].



**Рис. 1. Схема использования прибора «Термограф» в экспериментальных работах:**  
1 – литейная форма; 2 – расплав; 3 – хромель-алюмелевая термопара.

Отливка имела вид параллелепипеда с размерами 80×15×15 мм. Регистрация значений термоЭДС термопары велась с помощью высокоскоростного прибора «Термограф» [1], рис. 2. Прибор способен регистрировать до 40 значений термоЭДС за 1 с и вносить в память 1600 показаний, за одно исследование. Объем памяти прибора позволяет производить до 16 исследований без передачи данных на компьютер.



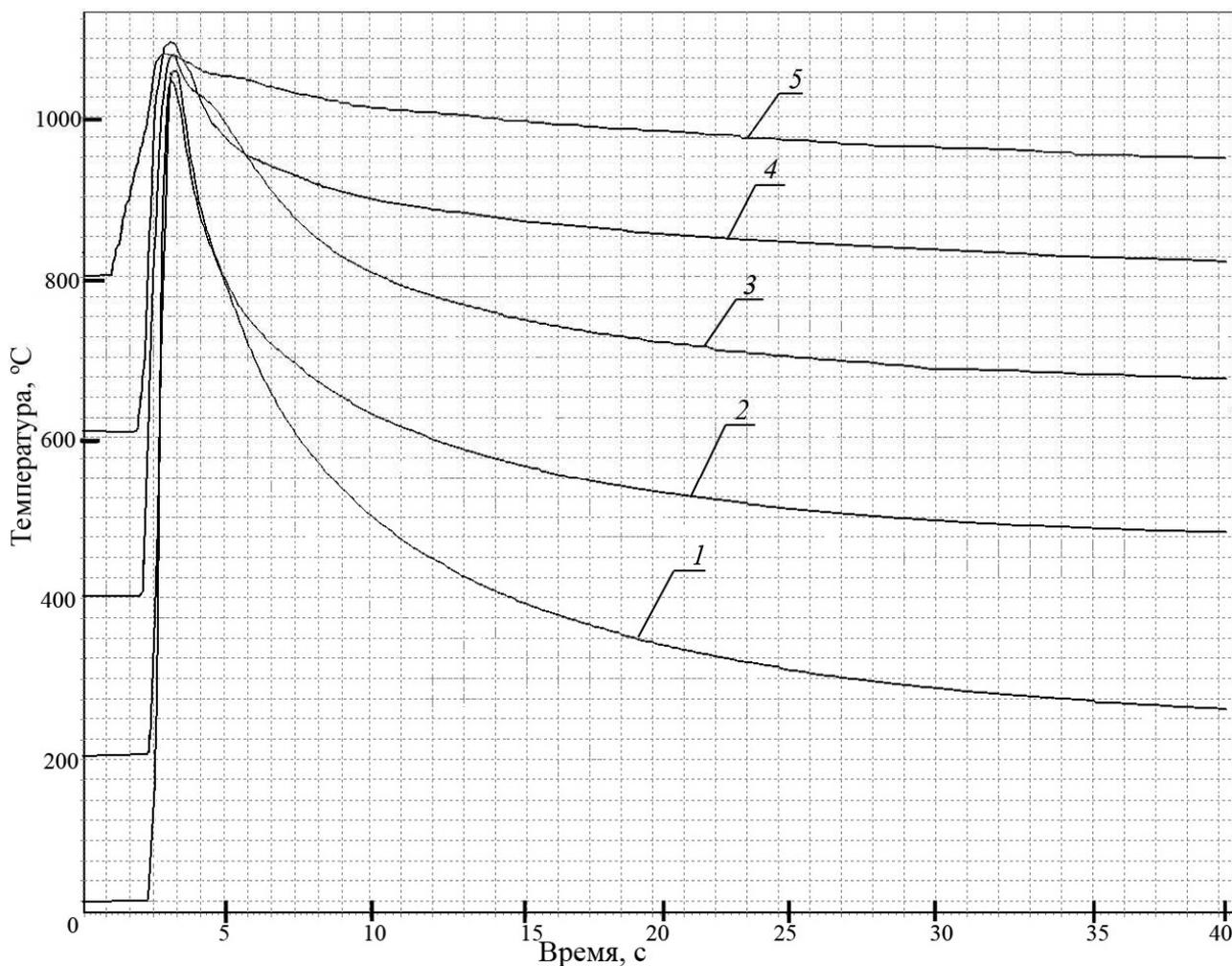
**Рис. 2. Внешний вид прибора «Термограф».**

Далее обработка результатов и построение графических зависимостей велись при помощи компьютерной программы «ТермоХр» [1].

### **Результаты исследования и их обсуждение**

В ходе проведенных экспериментальных работ были построены по описанной выше методике кривые охлаждения для антифрикционной бронзы марки БрС10. Из построенных кривых охлаждения для чугунного кокиля на рис. 3 видно, что на начальном этапе охлаждения (первые 5–6 с от момента заливки расплава в форму) для всех кривых

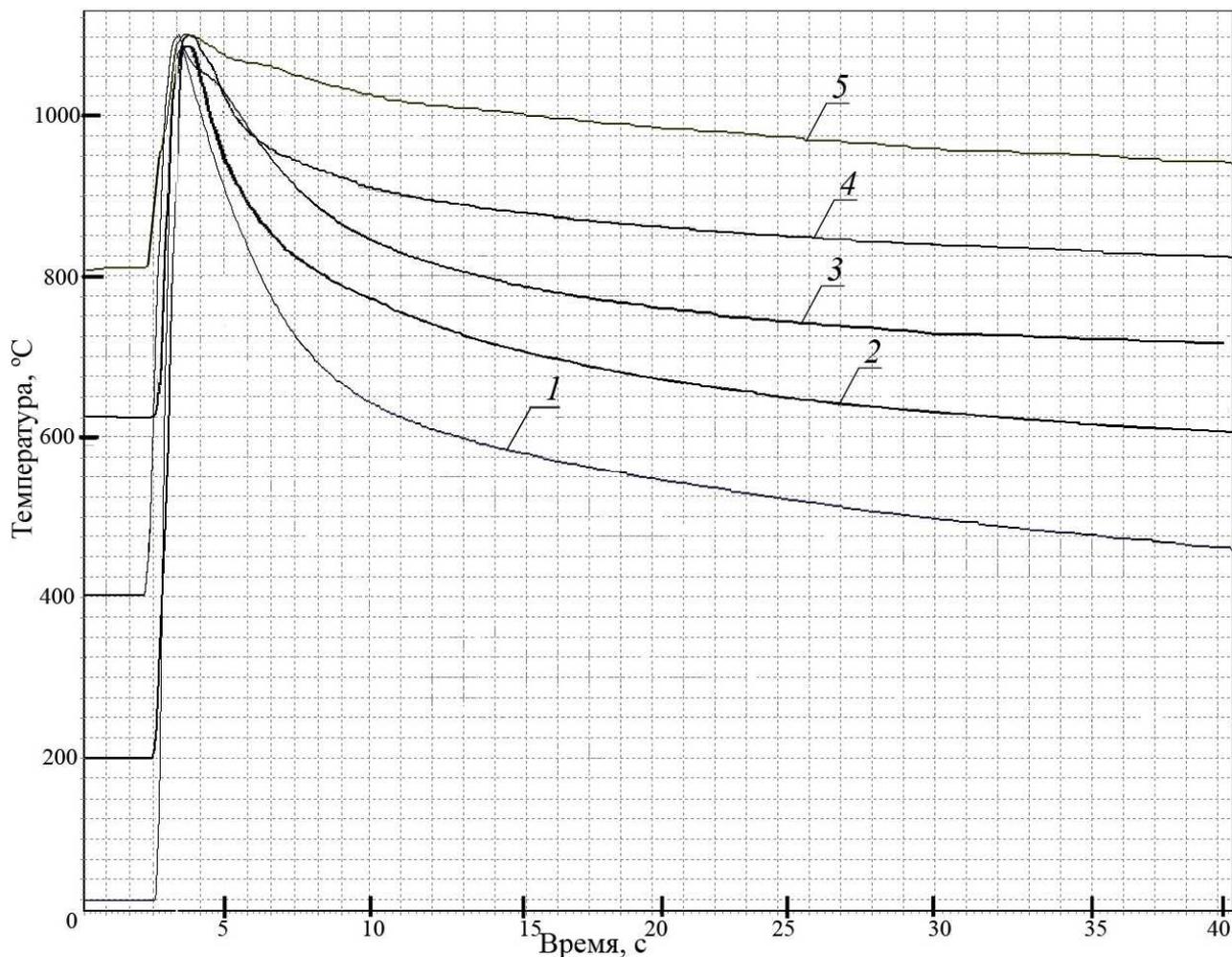
температура резко падает до определенной температуры (своя для каждой кривой). При достижении этой температуры наступает тепловой баланс между залитым расплавом и нагретой литейной формой, после чего идет постепенное охлаждение формы и заготовки на воздухе. Кривые охлаждения в это время (10–40 с от старта отсчета) практически параллельны.



**Рис. 3. Кривые охлаждения бронзы БрС10 при заливке в чугунную форму, нагретую до температуры: 1 – 20 °C; 2 – 200 °C; 3 – 400 °C; 4 – 600 °C; 5 – 800 °C.**

На рис. 4 представлена зависимость температуры залитого в форму расплава от времени, прошедшего с момента заливки для графитовой литейной формы. Приведенные на рис. 3 зависимости имеют тот же характер, что и представленные на рис. 4. Так же наиболее интенсивное охлаждение отливки идет в первые 4–5 с от момента заливки. После этого идет постепенное охлаждение формы и заготовки. Вместе с этим наблюдаются отличия в скорости падения температуры в начальный момент охлаждения. Кроме того, значение температуры, при которой начинается плавное охлаждение отливки для

графитовой формы выше, чем для чугунной (для одинаковых температур нагрева литейной формы).



**Рис. 4. Кривые охлаждения бронзы БрС10 при заливке в графитовую форму, нагретую до температур: 1 – 20 °C; 2 – 200 °C; 3 – 400 °C; 4 – 600 °C; 5 – 800 °C.**

По построенным кривым на рис. 3 и 4 были измерены скорости охлаждения, их значения представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Скорости охлаждения бронзы БрОС10-10 в интервале температур 1050–800 °C, в зависимости от температуры нагрева формы**

Температура нагрева, °C	Скорость охлаждения для графитовой/чугунной форм, °C/с
20	158/180
200	137/165
400	43/55

600	25/40
800	10/15

Измерение скоростей проводилось в интервале температур 1050–800 °С, включающем диапазон кристаллизации расплава. Анализ значений, приведенных в таблице 1, показывает, что скорость охлаждения литейной формы комнатной температуры и нагретой до 800 °С отличается более чем в 10 раз. Весь используемый диапазон скоростей охлаждения расположен в пределах от 10 до 180 °С/с. Это дает возможность наиболее полно оценить влияние скорости охлаждения расплава в момент кристаллизации исследуемых бронз на микроструктуру и свойства.

### **Выводы**

Таким образом, скорость охлаждения при заливке расплава бронзы в чугунную литейную форму комнатной температуры для наиболее часто промышленно используемых отношений массы отливки к массе формы (1:5, 1:10) составляет ~150 °С/с. Скорости охлаждения при изготовлении отливки в чугунной форме и в графитовой форме отличаются на величину ~30–40%. Показано, что предварительный подогрев литейной формы позволяет значительно снизить скорость охлаждения отливки и увеличить время нахождения расплава в жидком состоянии. Из кривых охлаждения видно, что предварительный нагрев литейной формы до высоких температур 500–800 °С позволяет выявить площадку кристаллизации и тем самым определить температуру кристаллизации материала.

### **Список литературы**

1. Барановский Э.Ф., Севастьянов П.В. Идентификация теплообмена при литье металлов и сплавов. – Минск : Наука и техника, 1989. – 189 с.
2. Гини Э.Ч., Зарубин А.М., Рыбкин В.А. Специальные технологии литья. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 367 с.
3. Корчмит А.В., Егоров Ю.П. Методика определения скорости охлаждения бронзы Бр. ОСЦН 10-13-2-2 в формах с разной теплопроводностью // Обработка металлов. – 2005. – № 1. – С. 23–25.
4. Мартюшев Н.В. Расчет параметров структуры материалов с помощью программных средств // В мире научных открытий. Серия «Математика. Механика. Информатика». – 2011. – № 1. – С. 77–82.
5. Штремель М.А. Прочность сплавов. – М. : МИСИС, 1997. – 527 с.

## **Рецензенты**

Колубаев Александр Викторович, д.ф.-м.н., профессор, зав. лаб. физики упрочнения поверхности ИФПМ СО РАН, г. Томск.

Сизова Ольга Владимировна, д.т.н., профессор, в.н.с., ИФПМ СО РАН, г. Томск.