

## АВТОМАТИЧЕСКИЙ ПРИБОР ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТЕЙ ОХЛАЖДЕНИЯ

Семенков И.В.

Томский политехнический университет  
semenkov@tpu.ru

В настоящее время в машиностроении большое количество деталей изготавливается из медных сплавов - бронз. Там где от таких сплавов требуются повышенные прочностные характеристики, применяется никелевая бронза. Однако из-за её высокой дороговизны количество применяемых в промышленности марок никелевых бронзы крайне ограничено, а сами никелевые бронзы слабо исследованы. Вместе с тем высокий предел прочности на разрыв и хорошие триботехнические характеристики делают эти сплавы в ряде случаев просто незаменимыми.

Сотрудниками кафедры МТМ ТПУ проводятся экспериментальные работы по выявлению закономерностей влияния условий кристаллизации на структуру и свойства таких никелевых бронз. В ходе проводимых исследований, было показано, что скорость охлаждения влияет на структуру и свойства таких бронз. Кроме того, скорость охлаждения не постоянна по всему сечению отливки, что дает различную структуру по сечению. Уже имеющиеся данные в литературе содержат лишь качественные данные об этом. В результате появилась задача количественной оценки влияния скорости охлаждения.

Для решения поставленной задачи сотрудниками кафедр ПМЭ и МТМ ТПУ был создан прибор для построения зависимостей температуры охлаждаемой отливки от времени – «Термограф» (Рис. 1).

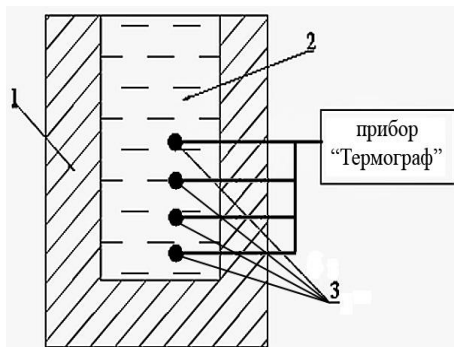


Рис. 1. Внешний вид прибора «Термограф».

Прибор имеет 8 хромель-алюмелевых термопар. Регистрация значений термо-э.д.с. термопар ведется с помощью высокоскоростного прибора «Термограф». Значение термо-э.д.с. преобразуется с помощью аналогово-цифрового преобразователя и записывается в память прибора. Прибор способен регистрировать до 40 значений термо-э.д.с. в секунду. Далее обработка результатов и построение графических зависимостей осуществляется на

персональном компьютере при помощи программы «ТетмоХр».

Таким образом, в данной работе изучалось неравномерность охлаждения отливок, а так же определялись скорости охлаждения материала в различных сечениях отливки. Исследуемые бронзы выплавляли в высокочастотной индукционной тигельной печи ВЧГ2-100/0,66 из технически чистых компонентов в тигле из графита. Состав шихты исследуемой бронзы приведен в таблице 1.

Таблица 1. Содержание элементов % масс.

| Марка бронзы | Содержание элементов, % масс |    |      |              |
|--------------|------------------------------|----|------|--------------|
|              | Sn                           | Ni | Cu   | Раскислитель |
| БрОН10-20    | 10                           | 20 | 69.5 | 0,5          |

Раскисление проводилось фосфористой медью перед закладкой никеля и олова в расплав. Температуру заливки исследуемой бронзы составляла 1170°C и контролировалась быстродействующим оптическим пирометром ТПТ-90 с лазерным наведением по графитовой таблетке на поверхности расплава.

Бронзу БрОН10-20 заливали в графитовую литейную форму с соотношением массы отливки к массе формы 1:2,5. После заливки в холодные графитовые формы при температуре 25°C, они охлаждались на воздухе. Отливка представляла собой цилиндр с диаметром 18 мм и высотой 70 мм.

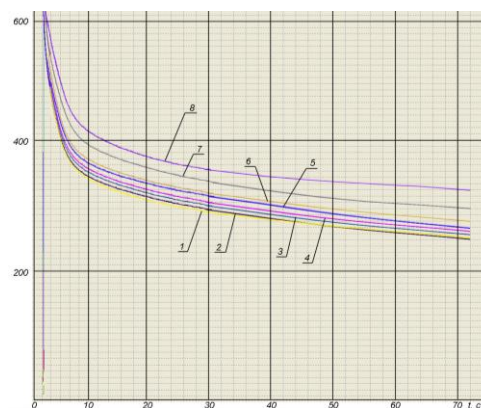


Рис.2. Зависимости температуры отливки от времени.

При построении кривых, хромель-алюмелевые термопары (с диаметром проволок 0,3 мм) располагали на расстоянии 6 мм от стенки формы в соответствии с рекомендацией, данными в работе [1]. По высоте термопары располагались – первая на расстоянии 3 мм от дна отливки, остальные на расстоянии 3 мм друг от друга (рис. 2) Погрешность при измерении и преобразовании сигнала в цифровой вид, при использовании хро-

мель-алюмелевых термопар составляет при температурах выше 500°C менее 1°C [2]. На рис. 3 представлены кривые охлаждения никелевой бронзы при отливке в графитовый кокиль, построенные с помощью прибора «Термограф» и компьютерной программы «ТермоХр». Номер кривых указывает на их удаленность от дна отливки (рис. 2). Так кривая 1 соответствует положению термопары на расстоянии 3мм от дна, кривая 2 – 6 мм, кривая 3 – 9мм и так далее.

По построенным зависимостям в интервале от температуры заливки (1170°C) до 800°C, (включая кристаллизацию), определили среднюю скорость охлаждения (табл. 2). Такой выбор интервала обусловлен близкой к линейной зависимостью температуры отливки от времени в нем.

Анализируя полученные результаты можно увидеть, что удаление от края отливки в осевом направлении, в соответствии с классическими представлениями о кристаллизации слитка, приводит к падению скорости охлаждения. Из таблицы 2 видно, что в приповерхностной зоне скорость охлаждения максимальна и составляет 160°C/с. С удалением от донной части отливки скорость снижается.

**Таблица 2.** Скорости охлаждения отливки в различных её сечениях.

| Номер термопары | Удаление от нижней части отливки, мм | Скорость охлаждения, °C/с |
|-----------------|--------------------------------------|---------------------------|
| 1               | 3                                    | 160                       |
| 2               | 9                                    | 158                       |
| 3               | 12                                   | 154                       |
| 4               | 15                                   | 150                       |
| 5               | 18                                   | 146                       |
| 6               | 21                                   | 143                       |
| 7               | 24                                   | 138                       |
| 8               | 27                                   | 134                       |

По итогам проделанной работы можно сделать следующие выводы и заключения:

1. Отработана методика определения скоростей охлаждения сплавов с использованием разработанного прибора. Показано что для никелевых бронз оптимальным является измерение скорости охлаждения в интервале от температуры заливки (50-70°C) выше линии ликвидуса до 800°C.

2. Определены численные значения скоростей охлаждения в различных сечениях отливки из никелевой бронзы при литье в графитовую литейную форму. Показано, что разность скоростей охлаждения в приповерхностных и центральных слоях в данном случае может достигать 15-17%.

## Литература

1. Мартюшев Н.В. ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ НА КАФЕДРЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ ТПУ // Фундаментальные исследования. 2012. № 6-1. С. 39-43.
2. Мартюшев Н.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕТЕВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ // Фундаментальные исследования. 2012. № 6-3. С. 596-600.
3. // Мартюшев Н.В. РАЗРУШЕНИЕ ОТЛИВОК ИЗ БИНАРНЫХ СВИНЦОВИСТЫХ БРОНЗ Народное хозяйство. Вопросы инновационного развития. 2012. № 1. С. 225-229.
4. Мельников А.Г., Некрасова Т.В., Мартюшев Н.В. ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КЕРАМИЧЕСКОГО НАНОКОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА Известия высших учебных заведений. Физика. 2011. Т. 54. № 11 (3). С. 233-237.
5. Мартюшев Н.В. ФАЗОВЫЙ СОСТАВ БРОНЗЫ БРОС10-10 ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СКОРОСТЯХ ОХЛАЖДЕНИЯ ОТЛИВОК И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА // Известия высших учебных заведений. Физика. 2011. Т. 54. № 11 (3). С. 225-228.
6. Мартюшев Н.В., Петренко Ю.Н., Петренко С.А. ДЕФЕКТЫ ЦЕНТРОБЕЖНОЛИТЫХ БРОНЗОВЫХ ЗАГОТОВОК ДЛЯ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ КОЛЕЦ НАСОСОВ И КОМПРЕССОРОВ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И СПОСОБЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ // Цветные металлы. 2012. № 1. С. 79-81.
7. Мартюшев Н.В. ЛЕГИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ОТЛИВОК С ПОМОЩЬЮ ОБМАЗОК ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2008. № 3. С. 19-23.
8. Мартюшев Н.В., Егоров Ю.П. ПОТЕРИ ЛЕГКОПЛАВКОЙ ФАЗЫ ПРИ ВЫПЛАВКЕ И ЗАТВЕРДЕВАНИИ СВИНЦОВИСТЫХ БРОНЗ // Литейное производство. 2008. № 5. С. 10-11.
9. Ивашутенко А.С., Видяев И.Г., Мартюшев Н.В. АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5. С. 68.
10. Видяев И.Г., Ивашутенко А.С., Мартюшев Н.В. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5. С. 403.