

## СПОСОБ ОЦЕНКИ УГАРА И ЛИКВАЦИИ СВИНЦА ПРИ ВЫПЛАВКЕ СВИНЦОВИСТЫХ БРОНЗ

Дроздов Ю.Ю.

Томский политехнический университет

yud@tpu.ru

Двухфазные свинцовистые бронзы используются в машиностроении для изготовления изделий с высокими антифрикционными и противозадирными свойствами, например, подшипников скольжения. Однако такие бронзы обладают низкими механическими характеристиками из-за большого количества свинца. Свинец практически не растворяется в меди и образует включения, значительно снижающие прочностные характеристики бронзы. Количество свинца введенного в расплав, а так же потерянного при ведении плавки и в процессе затвердевания будет оказывать значительное влияние на механические и триботехнические свойства отливок.

На кафедре Материаловедения и технологии металлов МСФ ТПУ уже несколько лет ведутся работы по изучению свинцовистых, свинцово-оловянистых и многокомпонентных бронз. Основываясь на данных исследователей и собственных исследовательских работах было выполнено достаточно много исследований по этой теме. В работах использовались новые методы изучения гетерофазного строения, опубликованные в работах [1,2] с помощью разработанной на кафедре компьютерной программы “Система КОИ”. Целью настоящей работы является оценка угара и ликвации свинца при выплавке свинцовистых бронз.

Необходимость проведения настоящих исследований вызвана несколькими причинами. Во-первых, несмотря на простой химический состав бинарных свинцовистых бронз в литературе присутствуют разногласия по поводу возможности растворения свинца в меди и меди в свинце. Так большинство авторов придерживается мнения, что небольшой процент свинца теряемого при плавке бронз уходит в угар, однако другими авторами утверждается, что небольшой процент свинца в определенных случаях может быть растворен в меди. Во-вторых, в литературе присутствуют некоторые разногласия по вопросу прямой и обратной ликвации в свинцовистых бронзах, недостаточно данных о количественных характеристиках процесса и о конкретных скоростях охлаждения.

В ходе экспериментов были получены образцы из бронзы марки БрС10. Плавка велась в высокочастотной индукционной тигельной печи ВЧГ2-100/0,066 из технически чистых компонентов в тигле из силицированного графита. Раскисление проводилось фосфористой медью перед закладкой свинца в расплав. Температура заливки составляла 1150°C и контролировалась быстродействующим

оптическим пирометром ТПТ-90 с лазерным наведением. Скорости охлаждения измерялись с помощью разработанного на кафедре МТМ ТПУ прибора “Термограф” по методике описанной в [3]. Для полученных образцов были проведены рентгено-флуоресцентный (РФА) и металлографический анализы. Следует заметить, что влияние наследственности шихтовых материалов не учитывалось в настоящих исследованиях.

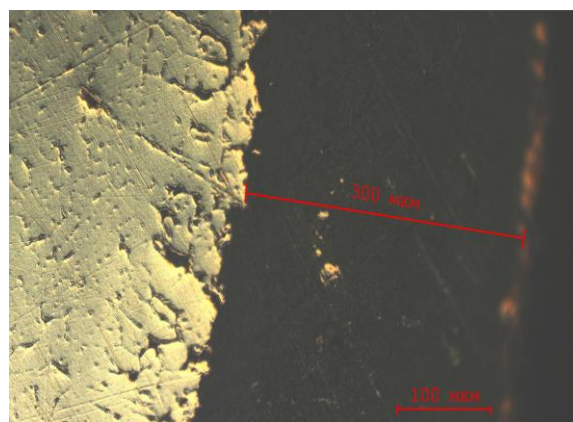


Рис. 1. Размеры ликвационного слоя.

Результаты проведенного рентгено-флуоресцентного анализа (РФА) свидетельствуют о малом угаре свинца, не более 0,5%. Для образцов заливаемых в холодную форму имеет место явление обратной ликвации, когда значительное количество легкоплавкой фазы выделяется на поверхности отливки в виде тонкого поверхностного слоя. Измерение скорости охлаждения показало, что это происходит при скоростях охлаждения ~90-100°/с (в интервале от температуры заливки до 800°C). На поверхности выделяется по данным РФА около 15% свинца (от всей его массы), что согласуется с его расчетной массой выделившегося на поверхности. На фотографиях микроструктуры толщина поверхностного слоя выделившегося свинца составляет около 0,27мм (среднее значение по результатам более чем 10 измерений). Таким образом, расчетное количество свинца выделившегося на поверхности по расчетам ~19,7% (от его общего количества по массе) несколько превышает данные РФА анализа ~15%. Расхождение объясняется неравномерностью распределения свинца по сечению отливки. Диаметр рентгеновского пучка, излучаемого родиевой трубкой, составляет 34 мм и захватывает только центральные части отливки. Проведенный анализ распределения свинца по сечению отливки с помощью программы “Система КОИ” показывает, что

наибольшее количество свинца располагается в центральной части отливки (8,8-8,9% по массе) и в небольшом поверхностном слое (до 10% по массе). Срединный слой получается обедненным по свинцу (7-8% по массе). Таким образом, промежуточный слой отливки, обедненный легкоплавкой составляющей, оказывается частично исключенным из расчета, чем и объясняются меньшие потери, показанные РФА анализом. Расчет, произведенный с помощью программы “Система КОИ” совпал с данными расчетов с точностью 3%.

Такое распределение легкоплавкой фазы объясняется следующим: создаваемая усадкой внешних слоев давлением свинцовая фаза, находящаяся в жидком состоянии, просачивается по межзеренным промежуткам (как показали проведенные металлографические исследования) и, выходя наружу, упирается в литейную форму и растекается ровным слоем по поверхности отливки. В момент окончательной кристаллизации поверхностного слоя не успевшие выделиться на поверхность скопления свинца оказываются зажаты между кристаллами меди. С удалением от края скорость охлаждения снижается, в результате снижается разность усадки слоев бронзы и сила выталкивающая свинец на периферию. Получается, что из промежуточного слоя часть свинца выделилась в поверхностные слои и на поверхность, а из центральной зоны в промежуточную ликвация шла более медленными темпами. В результате этого промежуточный слой получился обедненным легкоплавкой фазой, а в центральной зоне её содержание осталось на одном уровне и более равномерно распределено.

Таким образом, получены данные соответствуют положениям опубликованным в работе [4] по механизму обратной ликвации. Близость результатов полученных тремя различными методами РФА, компьютерным анализом и математическим расчетом говорит о достоверности полученных результатов. Полученные данные говорят о ликвации легкоплавкой фазы в случаях быстрого охлаждения, в будущем планируется изучить её распределение в условиях медленного охлаждения.

#### 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 нанокompозитного 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.
11. Мартюшев Н.В. Триботехнические свойства свинцовосодержащих бронз // *Известия высших учебных заведений. Физика*. 2012. Т. 55. № 5-2. С. 201-204.
12. Мартюшев Н.В., Петренко Ю.Н., Петренко С.А. Параметры дендритной структуры заготовок сегментных колец компрессоров ядерной промышленности / *Цветные металлы*. 2012. № 10. С. 100-103.
13. Мартюшев Н.В., Мельников А.Г., Веселов С.В., Терентьев Д.С., Семенов И.В. Режимы активации порошков меди и оксида алюминия в шаровой мельнице // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. 2012. № 3. С. 103-106.