

## ОТЗЫВ

официального оппонента Коршунова Игоря Георгиевича о диссертации А.Р. Курочкина «Объемные свойства расплавов медь-алюминий по результатам исследования методом проникающего гамма-излучения», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника

Диссертация А.Р. Курочкина посвящена экспериментальному исследованию объемных свойств сплавов медь-алюминий, широко применяемых в современной металлургии, в жидком и кристаллическом состояниях. Данные об этих свойствах требуются как для развития наших представлений о строении жидкометаллических систем, так и для оптимизации технологических режимов их выплавки. Поэтому тема диссертационного исследования представляется мне весьма актуальной.

Диссертант использовал один из наиболее точных и чувствительных методов высокотемпературной денситометрии - метод проникающего гамма-излучения. В абсолютном варианте он уже около 40 лет успешно используется в научно-исследовательском центре «Расплав» Уральского государственного педагогического университета. За это время сотрудники Центра отработали методику тщательного учета многочисленных погрешностей, которые могут сопровождать его применение. В результате этой работы к настоящему времени метод включен в Государственную систему стандартных справочных данных, что подтверждено соответствующими документами. Специфика исследования А.Р. Курочкина состоит в том, что его объектами были сплавы меди с алюминием, образованные компонентами, в несколько раз различающимися по поглощению гамма-квантов. Диссертанту удалось нащупать слабое звено в оценке погрешности измерений, существенное именно для контрастных компонентов, и скорректирована методика оценки погрешности для этого случая. После указанной корректировки приведенная им величина абсолютной погрешности (около 0.2%) представляется обоснованной. Отметим, что до постановки данной работы точность приводимых в литературе данных по плотности расплавов этой системы не превышала 1.5%. К тому же ранее было исследовано примерно вдвое меньше составов, причем они не были привязаны к диаграмме состояния. Поэтому вполне обоснована и рекомендация диссертанта об использовании полученных им результатов в качестве справочных данных.

В первой из «содержательных» глав диссертации исследуются условия перехода расплавов медь-алюминий из метастабильного микрогетерогенного состояния, унаследованного от исходного слитка, в термодинамически устойчивое состояние истинного раствора. Диссертант обоснованно связывает отмеченное им расхождение температурных зависимостей плотности при нагреве богатых алюминием образцов после их плавления и при последующем охлаждении с осаждением метастабильных частиц, обогащенных медью. Ясно, что в этих условиях состав

просвечиваемой зоны расплава, расположенной в нижней части образца, может существенно отличаться от задаваемого при шихтовке. А.Р. Курочкин и не считает полученные при нагреве температурные зависимости реальными политермами плотности: он использует эти результаты только для определения температур, при которых ослабление пучка при нагреве начинает совпадать с политермами охлаждения, рассматривая их как температуры гомогенизации системы. Интересно, что эти температуры в большинстве сплавов близки к  $1300^{\circ}\text{C}$ , т.е. лежат выше точки плавления наиболее тугоплавкого интерметаллида данной системы  $\text{SiAl}_3$ . Поэтому вполне обоснованно решение диссертанта считать «правильными» температурными зависимостями плотности гомогенных расплавов  $\text{Si-Al}$  кривые, полученные при их охлаждении от  $1400^{\circ}\text{C}$ .

Нетривиальным результатом работы является обнаружение ярко выраженного гистерезиса ослабления пучка не только в расплавах, полученных из слитков с гетерогенной структурой, но и в образцах, соответствующих соединениям  $\text{CuAl}$  и  $\text{Si}_2\text{Al}$ . Эти соединения гомогенны в кристаллическом состоянии, поэтому происхождение данного эффекта нельзя объяснить сохранением в расплаве метастабильных частиц, унаследованных от исходных кристаллических образцов. Диссертант, следуя работам Л.Д. Сона и Р.Е. Рыльцева, предполагает, что в этом случае возможен усложненный механизм плавления с образованием дисперсных частиц тугоплавкого соединения  $\text{Si}_2\text{Al}_3$ . *По мнению оппонента, такой экзотический механизм плавления соединений требует для своего обоснования дальнейшего изучения.* Кроме того, *из текста диссертации не ясно, с чем связывает автор законопеременный характер расхождения температурных зависимостей плотности при нагреве и охлаждении, зафиксированный для расплава эквимолярного состава (рис. 14)?*

Основные научные результаты работы содержатся в 4-й главе диссертации. Здесь приведены температурные и концентрационные зависимости объемных свойств расплавов  $\text{Si-Al}$ , находящихся в термодинамически устойчивых гомогенных состояниях. Учитывая сложность диаграммы состояния данной системы, А.Р. Курочкин подобрал составы исследованных образцов таким образом, чтобы они существенно различались исходными кристаллическими структурами. Высокая точность измерений позволила обнаружить нетривиальный и весьма сложный вид концентрационных зависимостей плотности, ее температурного коэффициента, скачка плотности при плавлении, молярного объема и парциальных молярных объемов компонентов. Ранее в коллективе исследователей, в котором работал диссертант, исследовались системы с более простыми диаграммами состояния. Однако точность измерений в данном случае была достаточно высокой для того, чтобы считать полученные аномалии концентрационных зависимостей достоверным фактом. Разумеется, в итоге стало ясно, что *желательна большая подробность концентрационных зависимостей: в некоторых случаях экстремумы строились по одной-двум точкам.* В будущем диссертант планирует

восполнить денситометрические результаты по этой нетривиальной системе. Побочным, но весьма важным итогом проведенных исследований стала возможность существенного уточнения значений вязкости расплавов Си-А1, полученных ранее в центре «Расплав» и обработанных в условиях практически полного отсутствия данных по плотности. Проведенная в работе корректировка достигает 22%, что существенно превышает заявленную погрешность вискозиметрических результатов.

Пятая глава диссертации, на первый взгляд, не вписывается в общий рисунок работы: в ней речь идет о влиянии гомогенизирующей термообработки расплавов А1-Си, богатых алюминием, на кристаллические структуры, формирующиеся при их закалке со скоростью охлаждения порядка 10 К/с. Однако проведение подобного исследования является неотъемлемой частью работ, которые систематически выполняются в коллективе, представляемом диссертантом, поскольку оно непосредственно связано с возможностью практического использования полученных результатов для совершенствования металлургической технологии. Ранее Н.Ю. Константинова, опираясь на результаты своих вискозиметрических экспериментов, исследовала влияние гомогенизирующего перегрева расплавов Си-А1 на кристаллические структуры, которые формируются при их кристаллизации со скоростями порядка 1-10 К/с, характерными для большинства литейных процессов. Естественным выглядит желание диссертанта проследить, насколько отчетливее влияние гомогенизации расплава проявится при увеличении скорости охлаждения. Действительно, им выявлены некоторые дополнительные эффекты, связанные с увеличением скорости охлаждения.

А.Р. Курочкиным выполнено фундаментальное экспериментальное исследование плотности сплавов медь-алюминий в жидком и твердом состояниях, в ходе которого получен ряд важных новых результатов. Эти результаты представляются вполне достоверными, а выводы, сделанные автором, способствуют, по мнению оппонента, более глубокому пониманию явлений, протекающих при тепловых процессах в металлических расплавах.

Разумеется, рецензируемая работа не свободна от недостатков. Основные из них отмечены в тексте курсивом. Кроме того, при прочтении диссертации у оппонента возникли следующие вопросы:

1. Какова погрешность в значениях коэффициентов ослабления для меди и алюминия, взятых из литературных данных?
2. При градуировках использовался пустой тигель из используемой партии тиглей. Как отличается плотность материала этих тиглей, какова “индивидуальность” тиглей?
3. Как влияет на результаты измерений изменения скорости нагрева образцов? Можно ли с помощью разработанной методики изучать кинетику распада микронеоднородностей?

Диссертант показал себя грамотным и вдумчивым экспериментатором, владеющим как сложными методами высокотемпературного эксперимента, так и традиционными методами металлографии.

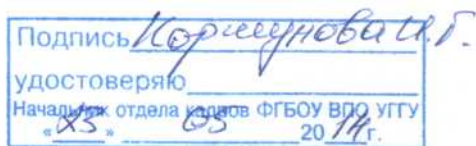
Полагаю, что по своему научному уровню, новизне и важности полученных результатов работа А.Р. Курочкина вполне удовлетворяет требованиям, предъявляемым, в соответствии с Положением о присуждении ученых степеней, к кандидатским диссертациям по специальности 01.04.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника, а ее автор заслуживает присуждения искомой степени.

Основные результаты достаточно полно отражены в автореферате и представлены в опубликованных работах, в том числе и в статьях в журналах, входящих в перечень ВАК.

Официальный оппонент, профессор, д.ф.-  
м.н., зав. кафедрой физики Уральского  
государственного горного университета  
620144, Свердловская область,  
г.Екатеринбург, ул. Куйбышева, д.30



Коршунов  
Игорь Георгиевич



В.Н. Чистяков