

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СЕКЦИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ОСНОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НАУЧНОГО
СОВЕТА ПО МЕТАЛЛУРГИИ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЮ РАН
ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН
ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН

**ТРУДЫ
XIII РОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И ШЛАКОВЫХ
РАСПЛАВОВ»**



**Том 2
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЖИДКИХ И
АМОРФНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Екатеринбург
2011

УДК 669.01

Труды XIII Российской конференции «Строение и свойства металлических и шлаковых расплавов». Т.2. Экспериментальное изучение жидких и аморфных металлических систем. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – 213 с.

ISBN 978-5-7691-2241-5

Труды XIII Российской конференции дают представление о работах в области физикохимии металлических, полупроводниковых и шлаковых расплавов, металлических систем, квазикристаллов, а также о новых способах обработки расплавов и материалов, выполненных в России и странах СНГ со времени последней Российской конференции по данной тематике (2008 г.).

Доклады сборника печатаются в соответствии с авторскими оригиналами.

Конференция проводится при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 11-03-06060-г.

ISBN 978-5-7691-2241-5

© ИМЕТ УрО РАН, 2011

ВЯЗКОСТЬ РАСПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА С БОРОМ И КРЕМНИЕМ

А.И. Шимарин, А.Л. Бельтюков

Физико-технический институт, г. Ижевск, E-mail: las@pti.udm.ru

Сплавы на основе железа с бором и кремнием являются основой промышленного производства аморфных и нанокристаллических сплавов. Вязкость расплава является важным технологическим параметром, определяющим гидродинамические особенности процесса сверхбыстрой закалки. Кроме этого вязкость, как структурно-чувствительное свойство, часто используется при изучении микронеоднородного строения жидких сплавов.

Вязкость расплавов бинарной системы Fe-B подробно изучена в работе [1]. На концентрационной зависимости вязкости обнаружены максимумы вблизи 20 и 32 ат.%В, связанные с реализацией в этих областях концентраций ближнего порядка с химическим упорядочением по типу Fe₄B и Fe₂B соответственно.

В настоящей работе исследованы температурные и концентрационные зависимости кинематической вязкости (ν) расплавов бинарной системы Fe-Si с содержанием кремния от 3 до 45 ат.% и тройной системы Fe₈₀BXSi(20-X) ($x=0\div20$).

Вязкость расплавов определяли методом затухающих крутильных колебаний цилиндрического тигля с расплавом [2]. Измерения проводили в атмосфере очищенного гелия. С целью исключения влияния на процесс измерения образующейся на поверхности сплава оксидной пленки в тигель поверх образца помещали крышку, выполняющую роль второй торцевой поверхности. Крышка свободно перемещается вдоль вертикальной оси тигля и движется вместе с ним при совершении крутильных колебаний.

Температурные зависимости вязкости жидких сплавов Fe-Si имеют монотонный характер и хорошо описываются уравнением Аррениуса. Значения ν , полученные в режимах нагрева и последующего охлаждения, совпадают во всем исследованном интервале температур в пределах погрешности определения значений вязкости, т. е. гистерезис отсутствует.

На концентрационных зависимостях ν в интервале от 5 до 20 ат.%Si наблюдается возрастание значений вязкости, а в интервале от 30 до 45 ат.%Si – их убывание (рис.1). В интервале от 20 до 30 ат.%Si вязкость расплава максимальна. Энергия активации вязкого течения E_v , рассчитанная по уравнению Аррениуса, также максимальна в области 20-30 ат.%Si (рис.2). Кроме того, при малых концентрациях кремния (до 5 ат.%) наблюдается уменьшение значений вязкости и энергии активации вязкого течения расплава.

Уменьшение значений вязкости и энергии активации вязкого течения жидких сплавов Fe-Si (до 5 ат.%) по сравнению с чистым жидким железом связано, по-видимому, с ослаблением связей между атомами железа в результате внедрения (растворения) атомов кремния, что согласуется с результатами работ [3,4]. Исходя из характера концентрационной зависимости вязкости, мы предполагаем, что в расплавах системы Fe-Si реализуются микрогруппировки на основе железа и микрогруппировки с ближним упорядочением по типу Fe₃Si. При этом достаточно слабый характер зависимости говорит о том, что изменение концентрации кремния при постоянной температуре приводит лишь к изменению относительной доли микрогруппировок разного типа, т.е. доля микрогруппировок на основе железа убывает, а доля микрогруппировок типа Fe₃Si увеличивается. По-видимому, в области 25-30 ат.% Si структура расплава имеет наибольшее количество микрогруппировок типа Fe₃Si (наибольшую степень порядка), что находится в хорошем согласии с данными о магнитной восприимчивости расплавов системы Fe-Si [5] и результатами рентгенодифракционных исследований [6] жидких

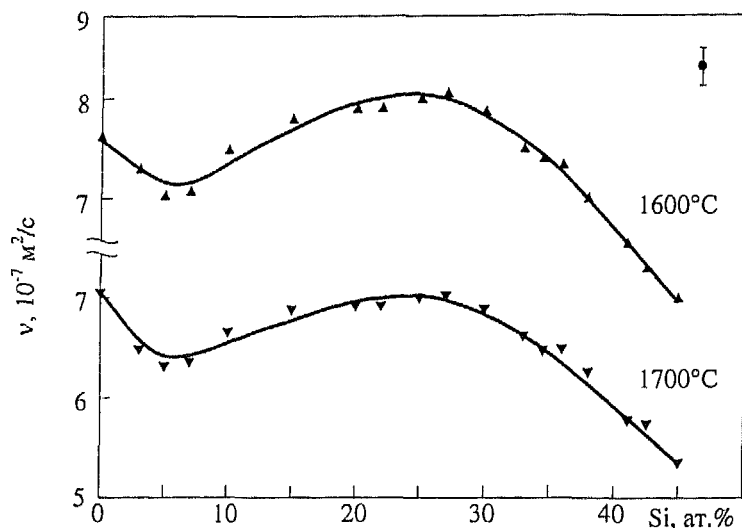


Рисунок 1 – Концентрационная зависимость вязкости расплавов системы Fe-Si при 1600°C (▲) и 1700°C (▼).

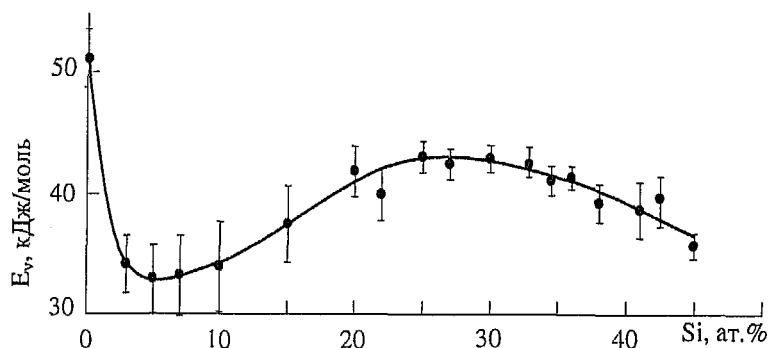


Рисунок 2 – Концентрационная зависимость энергии активации вязкого течения расплавов бинарной системы Fe-Si.

сплавов железо-кремний. Принимая во внимание литературные данные о том, что в жидких сплавах связи между атомами Fe и Si носят в значительной мере направленный (ковалентный) характер [7,8], можно полагать, что вблизи 25-30 ат.% Si реализуется “одноструктурное” состояние расплава. При этом энергия межатомного взаимодействия увеличивается, что обуславливает рост энергии активации вязкого течения и, соответственно, вязкости. Дальнейшее увеличение содержания кремния приводит к появлению в расплаве, помимо существующих микрогруппировок типа Fe_3Si , микрогруппировок с ближним упорядочением по типу FeSi. По-видимому, они слабо связаны как друг с другом, так и с микрогруппировками Fe_3Si . Следствием этого является снижение энергии активации вязкого течения и достаточно резкое уменьшение значений вязкости.

При исследовании вязкости расплавов $\text{Fe}_{80}\text{B}_x\text{Si}_{(20-x)}$ было установлено, что полимеры вязкости исследованных жидких сплавов, полученные в режимах нагрева и последующего охлаждения, совпадают и имеют монотонный характер. При этом для жидких трехкомпонентных сплавов наблюдается отклонение политерм вязкости от уравнения Аррениуса вблизи температуры ликвидуса и особенно в переохлажденной области.

Вязкость расплава $\text{Fe}_{80}(\text{Si},\text{B})_{20}$ при замене атомов кремния атомами бора немонотонно возрастает (рис.3). Относительно быстрый рост значений вязкости наблюдается в интервале составов от $\text{Fe}_{80}\text{Si}_{20}$ до $\text{Fe}_{80}\text{Si}_{15}\text{B}_5$. В области от $\text{Fe}_{80}\text{Si}_{15}\text{B}_5$ до $\text{Fe}_{80}\text{Si}_{10}\text{B}_{10}$ вязкость расплава практически не меняется. Дальнейшее увеличение содержания бора и уменьшение содержания кремния в сплаве приводит к небольшому росту значений вязкости расплава. На концентрационной зависимости η квазибинарной системы (рис.3) приведены значения вязкости расплавов $\text{Fe}_{80}\text{B}_{20}$ и $\text{Fe}_{80}\text{Si}_6\text{B}_{14}$, полученные в работах [1,9], соответственно. Абсолютные значения вязкости этих расплавов хорошо согласуются со значениями, полученными в данной работе.

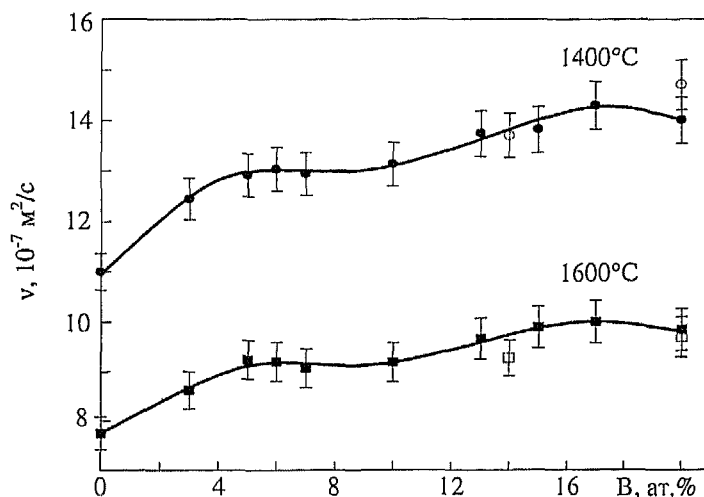


Рисунок 3 – Концентрационная зависимость вязкости квазибинарной системы $\text{Fe}_{80}\text{B}_{20} - \text{Fe}_{80}\text{Si}_{20}$ при температурах 1400°C (●) и 1600°C (■). Штриховой линией обозначены значения вязкости расплавов $\text{Fe}_{80}\text{B}_{20}$ и $\text{Fe}_{80}\text{Si}_6\text{B}_{14}$, полученные в [1] и [9].

1. Ладьянов В.И., Бельтюков А.Л., Шишмарин А.И. Расплавы, 2005, №4, с.34-40.
2. Швидковский Е.Г. Некоторые вопросы вязкости жидких металлов. М.: Гостехиздат, 1955. - 208 с.
3. Романов А.А., Кочегаров В.Г. ФММ, 1964, т.17, с.300-303.
4. Каплун А.Б., Крутько М.Ф. Металлы, 1979, №3, с. 78-80.
5. Вертман А.А., Самарин А.М., ДАН СССР, 1958, **120**, с.309-310.
6. Il'inskii A., Slyusarenko S., Slukhovskii O., Kaban I., Hoyer W. J. Non-Cryst. Solids, 2002, v.306, p.90-98.
7. Гельд П.В., Гертман Ю.М. ФММ, 1960, т.10, с. 793-794.
8. Гельд П.В., Баум Б.А., Петрушевский М.С. Расплавы ферросплавного производства (жидкие сплавы 3d – переходных металлов с кремнием и углеродом). М.: Металлургия, 1973. - 288 с.
9. Lad'yanov V.I., Bel'tyukov A.L., Maslov V.V., and all. Journal of Non-Crystalline Solids, 2007, v. 353, pp. 3264-3268.