

Труды XII Российской конференции «Строение и свойства металлических и шлаковых расплавов». Т. 2. Экспериментальное изучение жидких и аморфных металлических систем и их взаимосвязь с кристаллическим состоянием. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. – 310 с.
ISBN 5-7691-1988-8

Труды XII 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 (2004 г.).

Доклады сборника печатаются в соответствии с авторскими оригиналами.

Конференция проводится при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 08-03-06065.

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ВЯЗКОСТИ РАСПЛАВОВ Al-Ni-Y

*С.Г. Меньшикова**, *А.Л. Бельтюков***, *В.И. Ладьянов***, *В.В. Маслов****

**УдГУ, НИИ Термофизики новых материалов, г. Ижевск, E-mail: svetlmensh@mail.ru*

***Физико-Технический Институт УрО РАН, г. Ижевск, E-mail: las@pti.udm.ru*

****Институт металлофизики им. Г.В.Курдюмова НАН Украины,
г. Киев, E-mail: maslov@imp.kiev.ua*

Алюминий образует устойчивые интерметаллические соединения с переходными (ПМ) и редкоземельными металлами (РЗМ), которые в ряде случаев используются в качестве упрочняющих фаз в металлических сплавах, находящихся в кристаллическом состоянии. Большой интерес в последние годы привлекают сплавы на основе алюминия (80-90 ат.% Al) с ПМ и РЗМ металлами в аморфном или аморфно-кристаллическом состояниях, эксплуатационные свойства (прочность, пластичность, сопротивление коррозии) которых выше свойств их кристаллических аналогов [1]. Одним из основных методов получения аморфных сплавов является сверхбыстрая закалка расплава, температурно-временная обработка (ТВО) которого позволяет дополнительно улучшать служебные свойства. При выборе оптимальных условий ТВО расплава часто используются данные о температурных и временных зависимостях их структурно-чувствительных свойств, в частности, вязкости. В работах [2,3] нами была изучена вязкость ряда жидких сплавов системы Al-ПМ-РЗМ, в частности, $\text{Al}_{86}\text{Ni}_8(\text{La/Ce})_6$, $\text{Al}_{86}\text{Ni}_6\text{Co}_2\text{Gd}_4(\text{Tb/Y})_2$ и обнаружены ее необратимые немонотонные изменения, обусловленные распадом неравновесного микронеоднородного состояния расплавов, унаследованного от многофазного твердого образца.

В настоящей работе методом затухающих крутильных колебаний исследованы температурные, временные и концентрационные зависимости кинематической вязкости (ν) расплавов бинарных систем Al-Ni и Al-Y с содержанием второго элемента до 10 ат.%, а также модельного стеклообразующего сплава $\text{Al}_{87}\text{Ni}_8\text{Y}_5$. Бинарные системы Al-Ni и Al-Y в области богатой алюминием имеют эвтектическую диаграмму фазовых равновесий (эвтектический состав 2,7 и 3,0 ат.% Ni и Y соответственно), что может приводить к появлению особенностей на изотермах их структурно-чувствительных свойств.

Измерения вязкости проводили на автоматизированной установке [4] методом затухающих крутильных колебаний. Общая среднеквадратичная ошибка измерения ν не превышает 4% при ошибке единичного измерения не более 2,5 %. Перед проведением измерений сплавы переплавляли непосредственно в вискозиметре в течение 1 часа при температуре на 300-400°C превышающей их температуры плавления. Все измерения проводили в атмосфере высокочистого гелия в цилиндрических тиглях из Al_2O_3 внутренним диаметром 16 мм и высотой 40 мм. С целью исключения неконтролируемого влияния образующейся на поверхности сплава оксидной пленки в тигель поверх образца помещали крышку из Al_2O_3 , выполняющую роль второй торцевой поверхности. Конструкция крышки позволяла ей свободно двигаться вдоль вертикальной оси тигля и при совершении крутильных колебаний вращаться вместе с ним.

На рис.1. приведена температурная зависимость вязкости расплава $\text{Al}_{87}\text{Ni}_8\text{Y}_5$, полученная в режимах нагрева и последующего охлаждения после изотермических выдержек на каждой температуре в течение 20 мин. На политерме вязкости, полученной в режиме нагрева, на фоне относительно резкого снижения значений ν в интервале от t_L до 1000°C наблюдается максимум вблизи 950°C. При охлаждении расплава наблюдается гистерезис вязкости ниже 1050°C, который сохраняется вплоть до его кристаллизации. На политерме в режиме охлаждения особенностей не обнаружено и вязкость изменяется экспоненциально.

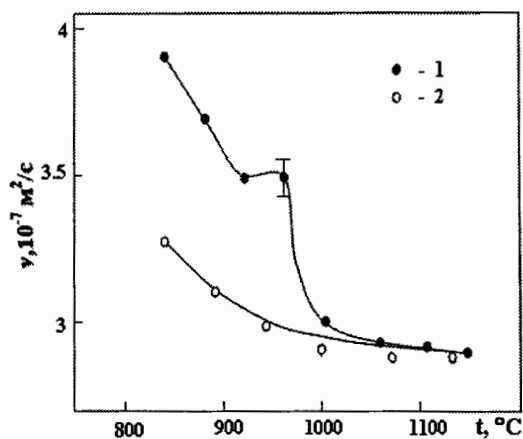


Рис.1. Температурные зависимости вязкости расплава $\text{Al}_{87}\text{Ni}_8\text{Y}_5$: 1 – нагрев; 2 – охлаждение

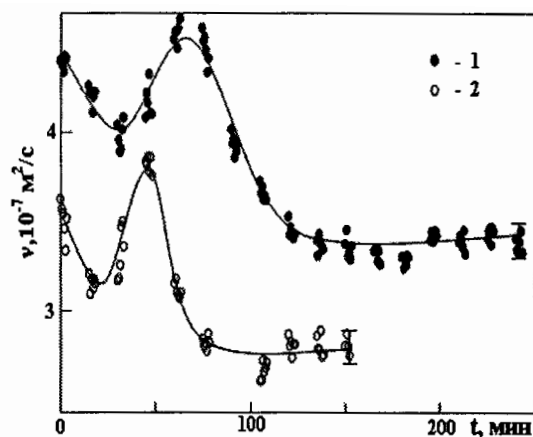


Рис.2. Временные зависимости вязкости расплава $\text{Al}_{87}\text{Ni}_8\text{Y}_5$ при температурах 1050°C (1) и 1200°C (2)

Для выяснения причин гистерезиса вязкости были проведены исследования временных зависимостей η расплавов при различных перегревах над температурой ликвидуса в течение длительных изотермических выдержек после нагрева от комнатной температуры со скоростью 30-40 град/мин. Типичные временные зависимости вязкости расплава $\text{Al}_{87}\text{Ni}_8\text{Y}_5$ представлены на рис.2. Из рис.2 видно, что временные зависимости вязкости имеют немонотонный характер и время установления стабильных значений вязкости составляет ~120 минут при 1050°C и ~70 минут при 1200°C. Аналогичный характер имеют температурные и временные зависимости вязкости расплавов системы Al-ПМ-РЗМ, исследованных нами ранее [2,3].

Типичные политермы вязкости расплавов бинарных систем Al-Ni и Al-Y приведены на рис.3 и рис.4.

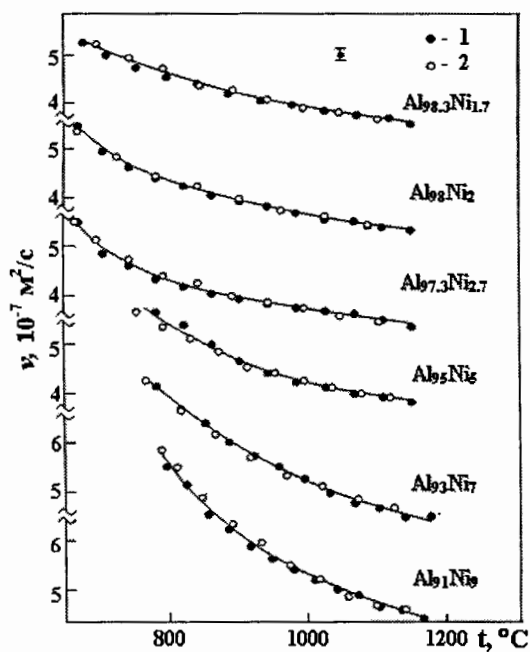


Рис.3. Типичные политермы вязкости расплавов Al-Ni: 1-нагрев, 2-охлаждение

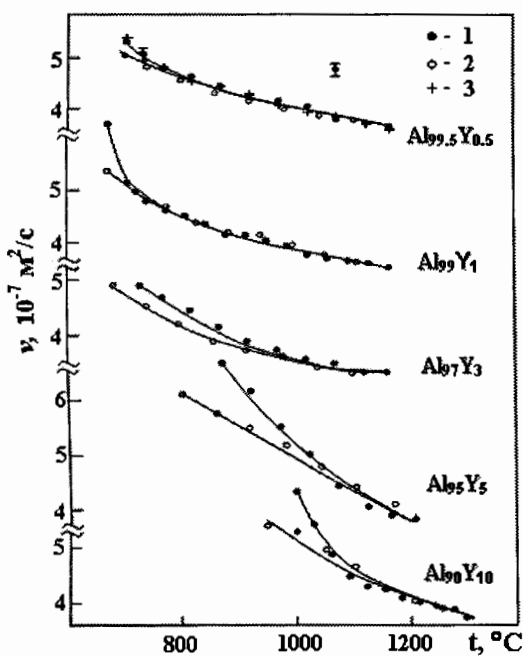


Рис.4. Типичные политермы вязкости расплавов Al-Y: 1-нагрев, 2-охлаждение, 3-повторный нагрев после кристаллизации

Температурные зависимости вязкости расплавов с содержанием никеля менее 2,5 ат.% и от 6 до 9 ат.% (рис.3) хорошо описываются уравнением Аррениуса [10] во всем исследованном интервале температур как в режиме нагрева, так и охлаждения. На политермах ν жидких сплавов с содержанием никеля от 2,7 до 5 ат.% отмечено отклонение температурной зависимости вязкости от экспоненциальной. При этом значения вязкости и характер зависимости $\nu(t)$, полученные в режимах нагрева и охлаждения, совпадают (гистерезис отсутствует) и хорошо воспроизводятся при повторном нагреве после кристаллизации образца. Стабильные значения вязкости в расплавах этой системы для каждой выбранной температуры устанавливаются достаточно быстро (5-10 минут).

На температурных зависимостях вязкости всех исследованных расплавов системы Al-Y (рис.4) наблюдается гистерезис: значения вязкости, полученные в режиме нагрева, выше значений, полученных при последующем охлаждении. Температура начала гистерезиса повышается с увеличением содержания Y в сплаве. На рис.5. приведены временные зависимости вязкости расплавов с содержанием иттрия 1 и 5 ат.% при различных температурах. Все временные зависимости имеют немонотонный характер. Равновесие в расплавах устанавливается в течение длительного времени, которое уменьшается с увеличением температуры расплава.

На рис.6 на фоне фрагмента равновесной диаграммы состояния приведены концентрационные зависимости вязкости расплавов системы Al-Ni при температуре 800°C (рис.6а) и при температурах перегрева над ликвидусом 100°C и 300°C (рис.6б). Увеличение концентрации никеля до 1,5 ат.% приводит к возрастанию значений вязкости. В области 1,5 - 2,5 ат.% Ni наблюдается ее уменьшение и затем дальнейший рост. Минимум вязкости близок к эвтектической концентрации (2,7 ат.% Ni [5]).

Концентрационные зависимости вязкости расплавов системы Al-Y, построенные по политермам охлаждения, приведены на рис.7. Концентрационные кривые и кривые равного перегрева также имеют немонотонный характер: минимум значений вязкости близок к эвтектическому составу (~3 ат. %Y [5]).

С учетом микронеоднородного строения жидкости можно полагать, что немонотонное изменение вязкости в расплавах бинарной системы Al-Y и тройного сплава $Al_{87}Ni_8Y_5$ вызвано изменением концентрации оставшихся в расплаве после плавления неравновесных микрогетерогенных атомных группировок на основе тугоплавких химических соединений (в частности, Al_3Y) которые распадаются под действием температуры и времени выдержки. Это изменение определяется двумя различными процессами: диспергированием (измельчением) крупных кластеров, которое приводит к увеличению концентрации всех кластеров, и растворением (диссоциацией) наиболее мелких, что приводит, соответственно, к уменьшению их концентрации. Конкурирующее влияние двух этих процессов и проявляется в виде максимума на временных зависимостях вязкости.

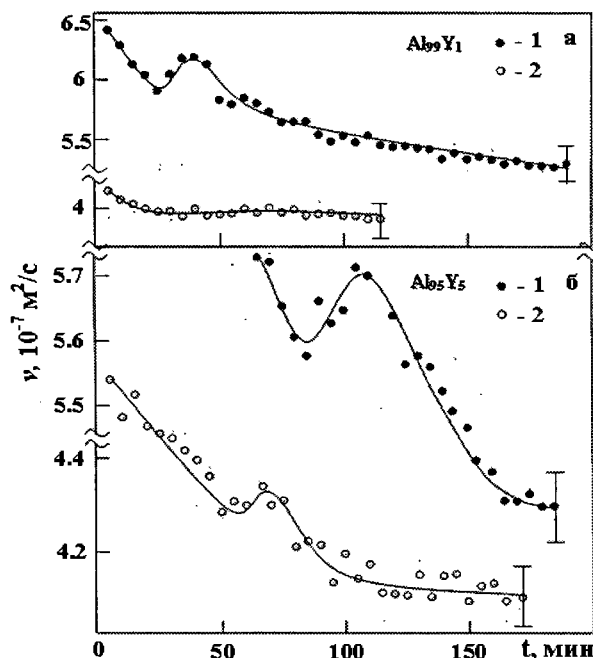


Рис.5. Временные зависимости вязкости расплавов $Al_{99}Y_1$ при 700°C (1а), 900°C (2а) и $Al_{95}Y_5$ при 870°C (1б), 1070°C (2б)

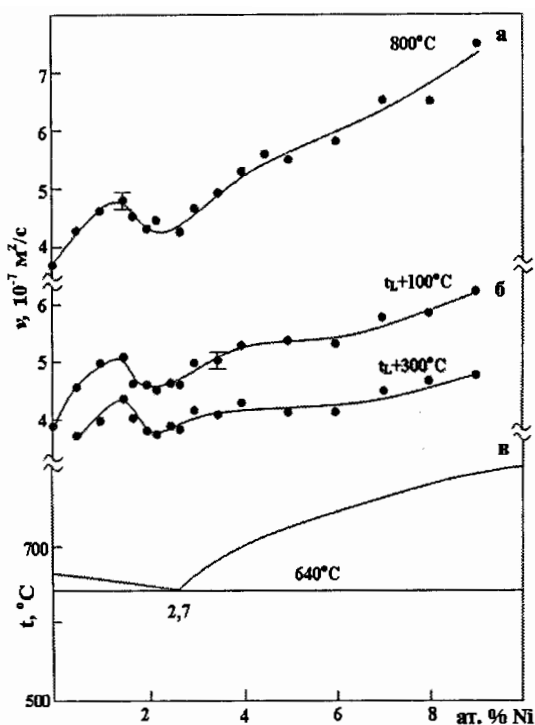


Рис.6. Концентрационная зависимость вязкости жидких сплавов при температуре 800°C (а), при температурах равного перегрева над ликвидусом (б) и диаграмма фазовых равновесий системы Al-Ni до 10 ат.% Ni (в)

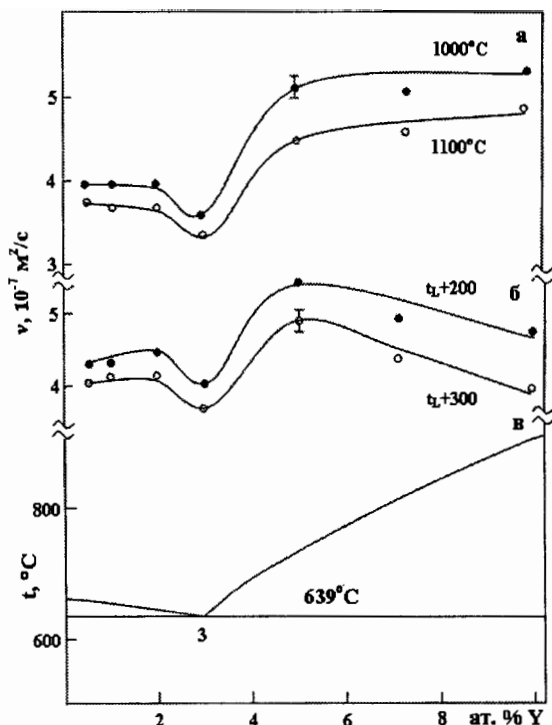


Рис.7. Концентрационная зависимость вязкости жидких сплавов при температурах 1000°C и 1100°C (а), при температурах равного перегрева над ликвидусом (б) и диаграмма фазовых равновесий системы Al-Y до 10 ат.% Y (в)

Немонотонность концентрационных зависимостей вязкости расплавов бинарных систем Al-Ni и Al-Y обусловлена, по-видимому, конкурирующим влиянием различных типов композиционного ближнего упорядочения в них при изменении состава. В области концентраций до 1,5 ат.% Ni и 2 ат.% Y никель и иттрий растворяются в жидком алюминии с образованием микрогруппировок (кластеров) типа твердого раствора на основе Al. При достижении некоторой «критической» концентрации примеси (1,5 ат.% Ni и 2 ат.% Y) в расплаве начинают формироваться микрогруппировки по типу химических соединений (предположительно Al_3Ni и Al_3Y). Дальнейшее увеличение содержания никеля и иттрия приводит к уменьшению микрогруппировок атомов с упорядочением на основе Al и увеличению доли микрогруппировок с упорядочением по типу интерметаллидов в расплаве.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 08-03-90415-Укр_а).

1. Higashi K., Mukai T., Tanimura S. et. al. Scr. Metall., 1992, v.26, p.191.
2. Ладьянов В.И., Бельтюков А.Л., Меньшикова С.Г., Волков В.А. МнТОМ, 2007, №5, с.26-29.
3. Lad'yanov V.I., Bel'tyukov A.L., Men'shikova S.G. et. al. Physics and Chemistry of Liquids, 2008, v.46, p.71-77.
4. Бельтюков А.Л., Ладьянов В.И. ПТЭ, 2008, №2, с.155-161.
5. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник: В 3 т.: Т.1 / Под общей ред. Н.П. Лякишева.-М.: Машиностроение, 1996.- 992с.