

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Э. В. ПОЛЯК и С. В. СЕРГЕЕВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОСТИ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ
ОЛОВО — ВИСМУТ**

(Представлено академиком А. А. Бочваром 5 II 1947)

В сообщениях ⁽¹⁾ мы опубликовали результаты исследований вязкости расплавленного алюминия и его сплавов. Эти данные показали, что при низких температурах, близких к линии ликвидуса, наблюдаются аномально резкие изменения вязкости, связанные, повидимому, с появлением некоторого структурирования в жидкой фазе металла.

Вопрос о связи между вязкостью сплава и его составом и строением до настоящего времени остается неясным. Имеющиеся в литературе данные Плюсса ⁽²⁾ и Зауэрвальда ⁽³⁾ противоречивы. Однако исследования вязкости сплавов эвтектических систем алюминий — кремний, алюминий — медь и олово — висмут, проведенные в лаборатории физики металлов ВИАМ, позволили сделать некоторые обобщения и наметить связь между изотермой вязкости и диаграммой состояния.

На сплавах алюминий — кремний впервые было установлено наличие особых точек на кривой вязкость — состав. В области малых концентраций второго компонента наблюдалось значительное повышение вязкости. По мере приближения к эвтектическому составу вязкость уменьшалась, приближаясь к значению вязкости чистого компонента. Результаты измерения вязкости сплавов алюминий — медь являются несомненным подтверждением тех же закономерностей. В развитие этих наблюдений была изучена вязкость типичной эвтектической легкоплавкой системы сплавов олово — висмут во всем интервале концентраций.

Физические свойства, в том числе и вязкость сплавов системы олово — висмут, неоднократно изучались различными исследователями. Однако все предыдущие исследования, как например Зауэрвальда ⁽³⁾, Н. Ф. Голубева и В. А. Петрова ⁽⁴⁾, характеризуются тем, что изотермы вязкости измерялись лишь при значительных перегревах над температурой плавления. Поэтому полученные кривые имеют прямой ход и не обнаруживают особых точек.

Попытки определения вязкости жидких металлов в точке плавления были произведены в работах Андраде ⁽⁵⁾. Исходя из предположения, что частота вибраций молекул в жидком состоянии в точке плавления равна частоте в твердом состоянии, Андраде пришел к следующему выражению для вязкости в точке плавления:

$$\eta_m = 5,1 \cdot 10^{-4} \frac{(AT_m)^{3/2}}{v_A^{1/2}},$$

где v_A — объем грамм-атома вещества при температуре плавления T_m . Справедливость этого выражения он оценивал путем сравнения с опытными данными, причем в качестве таковых были использованы результаты Зауэрвальда, экстраполированные по экспоненциальной формуле $\eta = Ae^{C/RT}$. Однако результаты настоящего исследования показали, что правильная оценка вязкости в точке плавления не может быть получена путем экстраполяции данных при высоких температурах, так как вязкость жидких металлов вблизи точки кристаллизации возрастает гораздо более резко, чем это следует из экспоненциального закона. Методика и аппаратура, примененные в настоящем исследовании, дали возможность измерить вязкость расплавленных металлов при температуре, приближающейся к точке кристаллизации, что позволило сделать ряд новых представляющих интерес наблюдений.

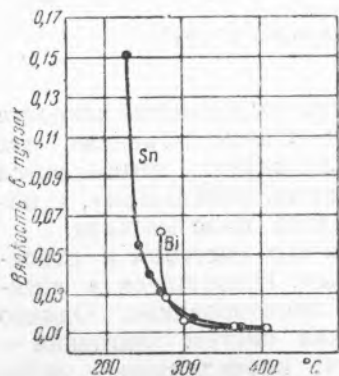


Рис. 1. Вязкость расплавленного олова и висмута в зависимости от температуры

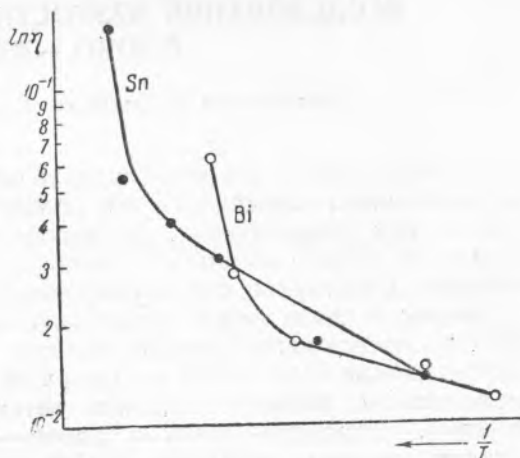


Рис. 2. Зависимость логарифма вязкости от температуры

Зависимость вязкости олова, висмута и их сплавов от температуры. Система сплавов олово — висмут была подробно изучена в исследовании во всем интервале концентраций. При этом были измерены кривые зависимости вязкости от температуры для чистых металлов — олова, висмута — и 9 промежуточных сплавов. Результаты измерений зависимости вязкости от температуры для олова и висмута представлены на рис. 1. Эти данные являются ярким подтверждением ранее наблюдаемого на алюминии и силумине реального повышения вязкости вблизи точки плавления. Данные настоящего исследования показывают, что экспоненциальный закон изменения вязкости с температурой, согласно которому зависимость $\ln \eta$ от $1/T$ должна изображаться прямой линией, подтверждается в значительном интервале температур. Однако вблизи точки плавления обнаружены резкие отклонения от экспоненциального закона (см. рис. 2).

Измерения вязкости исследованных нами металлов, а именно: алюминия, силумина, олова, висмута и их сплавов, показали, что отношение абсолютной температуры начала резкого повышения вязкости к абсолютной температуре плавления представляет собой постоянную величину, равную приблизительно 1,04 — 1,06, как это следует из табл. 1.

Так, например, вязкость алюминия и эвтектического силумина резко возрастает при перегреве над температурой плавления в 50—60°С, а вязкость олова и висмута — при перегреве в 25—30°С. Эти результаты представляют интерес не только как новые данные по вязкости ряда металлов при низких температурах, но и как данные, свидетельствующие о глубоких физико-химических изменениях состояния жидких металлов в предкристаллизационный период. В работах П. А. Ребиндера (6), Александер и др. указано, что металл при переходе из жидкого в твердое состояние проходит через коллоидную стадию, т. е. каждый металл в начале процесса кристаллизации представляет собой коллоидно-дисперсную систему. Аномально резкое повышение вязкости металла вблизи точки плавления в известной мере подтверждает эти гипотезы и показывает, что процесс формирования структуры в металле, по видимому, имеет свое начало еще в жидкой фазе.

Зависимость вязкости сплавов олово—висмут от концентрации. Изменение вязкости бинарных металлических сплавов в зависимости от концентрации мало изучено.

Ввиду недостаточности экспериментального материала в настоящее время невозможно делать широкие обобщения о соотношении между кривыми вязкости сплавов и диаграммой состояния.

Таблица 1

Металл	Абсолютная температура начала отклонения T_1	Абсолютная температура плавления T_2 , °K	T_1/T_2
Алюминий	933	931	1,064
Al—Si	850	850	1,058
Висмут	573	545	1,051
Олово	530	505	1,050

Результаты данного исследования систем сплавов алюминий—кремний, алюминий—медь и олово—висмут показали, что имеется некоторая общность в изотермах зависимости вязкости эвтектических систем от состава сплава. На рис. 3 приведены данные по вязкости сплавов олово—висмут, измеренной при температурах 400, 350, 320, 270, 235 и 200°С. Эти изотермы подтверждают наблюдаемое ранее на других системах повышение вязкости сплавов с малой концентрацией второго компонента, причем это явление гораздо более ярко выражено у сплавов, богатых висмутом. По мере повышения температуры максимумы сглаживаются и имеют тенденцию к исчезновению. В соответствии с этим изотермы вязкости сплавов олово—висмут в работах Голубева и Петрова (4) при высоких температурах, а именно 600 и 1000°С, и Зауэрвальда при 450, 600 и 750°С протекают плавно и не обнаруживают особых точек на кривых вязкость—состав. При изучении вязкости сплавов олово—висмут наблюдалось новое явление, состоящее в том, что вязкость эвтектического сплава сильно

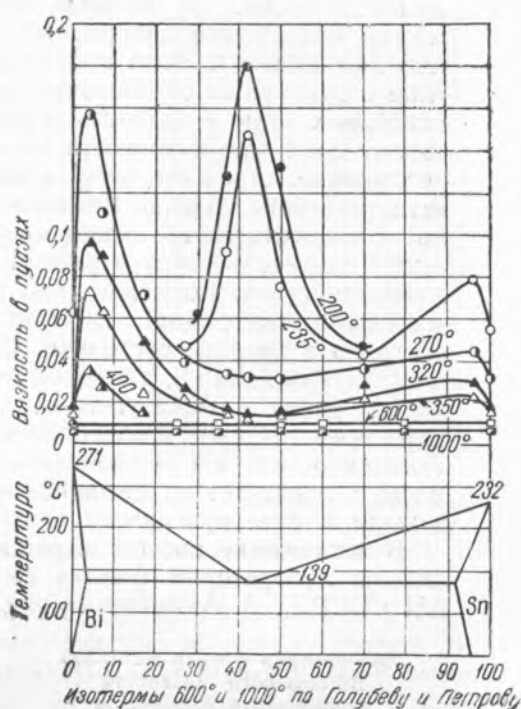


Рис. 3. Вязкость сплавов олово — висмут

возрастает при низких температурах (235°C и ниже) и показывает резкий максимум на изотерме вязкость — состав. Решение вопроса о том, специфично ли это наблюдение только для данной эвтектической системы или оно распространяется и на другие эвтектические сплавы при низких температурах, требует дополнительного накопления данных.

Результаты измерения вязкости эвтектических систем сплавов представляют интерес с точки зрения вопроса о природе эвтектики. Обсуждение этого вопроса дано в работе А. А. Бочвара (⁷), посвященной исследованию механизма и кинетики в кристаллизации эвтектических сплавов.

Изучая кристаллизацию эвтектики азобензол — пиперонал, А. А. Бочвар наблюдал, что при значительных переохлаждениях ($5-13^{\circ}$) в медленно охлажденной эвтектической жидкости уже имеются отдельные кристаллики обеих фаз.

Однако собственно эвтектическая кристаллизация начинается с момента соприкосновения кристалликов обеих фаз. Следовательно, начальным условием эвтектической кристаллизации сплава является существование в эвтектической жидкости обособленных зародышевых кристаллических образований, состоящих из чистых компонентов. В. И. Данилов и И. В. Радченко (⁹) считают, что структурирование жидких сплавов определяется, очевидно, характером межмолекулярного взаимодействия. В жидком эвтектическом сплаве энергия связи между молекулами однородных компонентов выше, чем у разнородных компонентов. Этим и обусловлено существование в жидкой эвтектике структурных образований из атомов чистых металлов. В соответствии с этим и вязкость жидких эвтектических сплавов близка по своему значению к вязкости чистого компонента. Это сопоставление, несомненно, отражает связь между вязкостью и структурой жидкого эвтектического сплава. Возникновение максимума на изотерме вязкости эвтектического сплава олово — висмут при низких температурах также свидетельствует о резком возрастании сил межмолекулярного взаимодействия. Возможно, что последнее связано с известными аномальными свойствами висмута, проявляющимися при переходе из жидкого в твердое состояние. Следует также заметить, что, по данным Зауэрвальда (⁸), тепловой эффект образования эвтектики олово — висмут равен $+160$ кал/г-атом, тогда как теплота смешения всех других эвтектических систем колеблется в пределах от 0 до -2000 кал/г-атом. Возможно, что эта исключительность эвтектического сплава олово — висмут указывает на химическое взаимодействие компонентов системы в жидкой фазе при низких температурах.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность руководителю лаборатории физики металлов ВИАМ члену-корреспонденту АН СССР Г. В. Акимову за ряд ценных советов и указаний в работе.

Лаборатория физики металлов
Всесоюзного института
авиационных материалов

Поступило
5 II 1947

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Э. В. Поляки и С. В. Сергеев, ДАН, 30, № 2 (1941); 33, № 3 (1941); Совещ. по вязкости жидкостей и коллоидных растворов, 3, 1945. ² M. Plüss, Z. anorg. Chem., 1, 93 (1913). ³ F. Sauerwald, Z. anorg. Chem., 135, 255 (1924). ⁴ А. Ф. Голубев и В. А. Петров, Зав. лаборатория, 7, 816 (1938). ⁵ E. N. da Andrade, Phil. Mag., 17, 698 (1934); Proc. Phys. Soc., 52, 294 (1940). ⁶ П. А. Ребиндер и Э. С. Липман, Физико-химические основы модификации металлов, 1936. ⁷ А. А. Бочвар, Исследование механизма и кинетики кристаллизации сплавов эвтектического типа, 1935. ⁸ F. Sauerwald, Z. Metallkunde, 31, 5 (1943). ⁹ В. И. Данилов и И. В. Радченко, ЖЭТФ, 7, 9—10 (1937).