

В. В. ХЛЫНОВ, Э. Л. БОКСЕР, О. А. ЕСИН

ОСОБЕННОСТИ СМАЧИВАНИЯ ТВЕРДОГО МЕТАЛЛА ОКСИДНЫМ РАСПЛАВОМ

(Представлено академиком А. Н. Фрумкиным 2 II 1972)

При смачивании жидкостью плоской поверхности вертикальная составляющая поверхностного натяжения не уравнивается поверхностными силами. Это вызывает упругие или в ряде случаев эластические деформации твердого тела вблизи периметра смачивания (¹⁻³). Плоская поверхность равновесна с каплей, только когда неподвижны частицы, т. е. у идеально недеформируемого тела (³). Обычно при комнатных температурах поверхностные силы вызывают упругие деформации, которые невелики и макроскопически не обнаруживаются. При высоких температурах можно было исследовать среды с большими значениями поверхностного натяжения. Силовые поля, появляющиеся при смачивании в поверхностном слое твердого тела, здесь на порядок выше. Возросшая подвижность частиц увеличивает возможность деформации твердого тела. Напряжения, возникающие при смачивании, приводят к направленной диффузии и изменению неравновесной формы поверхности (в частности, плоской) (⁴).

Искажения поверхности твердых окислов алюминия и магния при смачивании их железом и золотом отмечались ранее (⁵). В этих случаях поверхностная энергия жидкого металла была выше, чем твердого окисла. Было интересно исследовать обратный случай, а именно: возникают ли деформации поверхности твердого металла (техническое железо с натяжением $\sigma_m = 1200$ мдж/м²) при смачивании оксидным расплавом (боросиликатом натрия с $\sigma_0 = 300-400$ мдж/м²).

При 1040—1400°С в атмосфере очищенного гелия металлическая пластинка контактировалась с верхней частью капли боросиликата. Присутствующие в расплаве пузырьки всплывали и прилипали к поверхности пластинки. После выдержки (до 20 мин.) и охлаждения каплю отделяли от металла. Разделение происходило по межфазной границе, так как особенности структуры металлической поверхности (зерна, межзеренные участки, включения) оставили на капле отпечатки, видимые в микроскоп.

С помощью металлографического микроскопа на поверхности металла было обнаружено образование колец, окаймляющих место «посадки» пузырька. Ширина колец, соответствующих разным пузырькам различалась, по-видимому, вследствие неодинаковой продолжительности их контакта с металлом. Структура последнего по обе стороны кольца осталась неизменной. Пересекая зерна и границы, кольцо не изменяло их формы. Оценить размеры колец в направлении, перпендикулярном плоскости пластинки, путем изменения фокусировки микроскопа удалось лишь при таких искажениях поверхности, когда кольцо было смещено относительно плоскости не менее чем на 2—3 μ . При увеличении 900 $\times$ было обнаружено, что внешняя и внутренняя по отношению к кольцу поверхности металла находятся на разных уровнях.

Полученная на микроскопе Линника интерферограмма участка поверхности металла, контактировавшего с расплавом и газом в течение 20 мин. при 1040°, приведена на рис. 1а. Видно, что с внешней стороны периметра, на расстоянии 0,03 мм, на поверхности металла начинается пологое углуб-

ление, увеличивающееся по мере приближения к периметру смачивания. Его максимальная глубина (возле периметра) достигает $0,4\mu$, угол спуска поверхности можно оценить приблизительно в $0,5^\circ$. Далее происходит сравнительно резкий подъем поверхности на величину $0,8\mu$. Угол подъема составляет примерно 8° . Затем внутри кольца наблюдается весьма пологий спуск с углом наклона $0,3^\circ$. При 1400° за то же время выдержки деформация поверхности увеличилась (рис. 16).

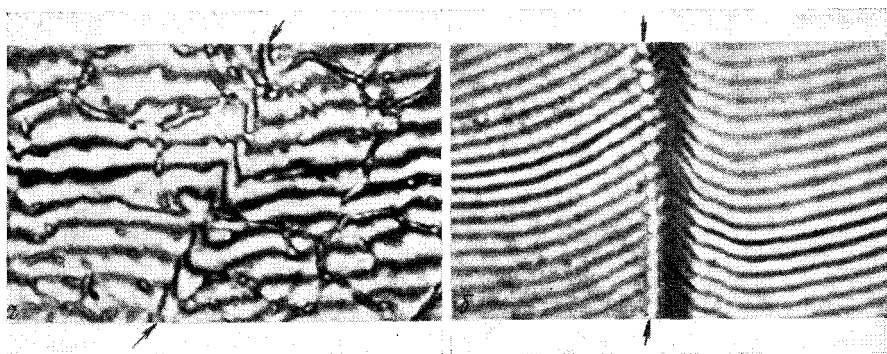


Рис. 1. Интерферограммы поверхности металла в области периметра смачивания боросиликатом натрия после выдержки в течение 20 мин. а — при 1040°C , $1150\times$, б — при 1400°C , $1250\times$. Граница раздела отмечена стрелками

Приведенные данные свидетельствуют, что в результате деформации поверхности металла условия на периметре приближаются к необходимым для равновесия трех фаз, угол в пределах металла становится равным 172° . Действительно, как показали опыты с жидким железом, находящимся в контакте с оксидным расплавом при 1530° , углы в пределах окисла, газа и металла равны $\theta_o = 36^\circ$, $\theta_r = 153^\circ$, $\theta_m = 171^\circ$, а величина $\sigma_{mo} = 940\text{ мдж/м}^2$.

Соотношение между величиной выступа над исходной плоскостью и углубления изменяется со временем контакта пузырька. При сравнительно малых выдержках порядка 1 мин. углубление меньше выступа; при больших временах контакта они становятся соизмеримы. Приближенная оценка показала, что высота выступа h увеличивается со временем τ по закону, близкому к $h^4 = k\tau$. Это свидетельствует о преобладании диффузионного механизма деформации ⁽⁶⁾. Образование же углубления подчиняется закону, близкому к $h = k\tau$. Здесь существенную роль играют процессы растворения металла в окисле, которым способствует ослабление металлической решетки вследствие увеличения концентрации вакансий под действием растягивающих напряжений.

Уральский политехнический институт
им. С. М. Кирова
Свердловск

Поступило
2 II 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ J. J. Bikerman, Contributions to Thermodynamics of Surfaces, Cambr., Mass., 1961. ² A. J. Bailey, Discussion, II Intern. Congr. of Surf. Activity, 3, N. Y., 1957, p. 189. ³ J. J. Bikerman, J. Phys. Chem., 63, № 10, 1658 (1959). ⁴ Я. Е. Гегузин, Н. Н. Овчаренко, УФН, 76, 283 (1962). ⁵ В. В. Хлынов, О. А. Есин, А. Б. Куткин, ДАН, 197, № 5, 1116 (1971). ⁶ П. Шьюмон, Диффузия в твердых телах, М., 1966.