

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Т. А. АМФИТЕАТРОВА и Б. Я. ЯМПОЛЬСКИЙ

**ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ (МИКРОСТРУКТУРЫ) МЕТАЛЛА  
НА ЕГО ПЛАСТИЧЕСКОЕ ТЕЧЕНИЕ В АКТИВНЫХ СРЕДАХ**

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 8 XII 1951)

Физические свойства поликристаллических металлов в значительной мере определяются их микроструктурой, т. е. средним размером зерен, составляющих металл. Известно, что металлы с мелкокристаллической структурой обладают высокой сопротивляемостью внешним деформирующим усилиям, тогда как монокристаллы наиболее пластичны<sup>(1-3)</sup>.

Обнаруженный П. А. Ребиндером и подробно исследованный П. А. Ребиндером, В. И. Лихтманом и их сотрудниками адсорбционный эффект облегчения деформаций (пластического течения) металлов изучался до сих пор, главным образом, на монокристаллах<sup>(4-6)</sup>.

В данной работе этот эффект исследован при пластическом течении поликристаллических металлов и установлено влияние микроструктуры металла на его механические свойства при ползучести в адсорбционно-активной среде.

За основной был принят метод изучения ползучести металлических образцов при одноосном растяжении под действием малых постоянных напряжений. Этот метод обладает тем преимуществом, что при постоянном напряжении развитие деформации зависит только от свойств самого образца и окружающей среды, что дает возможность определить основные механические характеристики деформируемого металла и их изменения в различных условиях опыта.

В качестве объектов исследования были выбраны поликристаллические медь и алюминий. Опыты проведены с образцами медной проволоки диаметром 0,50 и 2,0 мм из электролитической меди с содержанием 99,98% Cu и образцами алюминиевой проволоки диаметром 1,0 и 1,3 мм, содержавшей 99,95% Al. Начальная длина образцов составляла 180 мм. Путем соответствующей термообработки\* были получены поликристаллические образцы различной дисперсности со средней величиной зерна от 0,20 до 0,0050 мм для меди и от 0,22 до 0,060 мм для алюминия.

Перед опытом образцы протравливались и тщательно промывались. Травление проводилось для образования устойчивой окисной пленки достаточно малой толщины. Такое травление, как было выяснено контрольными опытами, обеспечивает хорошую воспроизводимость результатов.

\* Обработка заключалась в предварительном пластическом деформировании образцов и отжиге без доступа кислорода в течение 2—3 час. при температурах от 300 до 850° для Cu и от 200 до 600° для Al. Для каждой группы образцов определенного режима отжига изготавливалось до 10 шлифов и с помощью микроскопа промерялся наибольший диаметр нескольких сотен зерен. Затем строились кривые распределения размеров зерен по фракциям и определялся средний диаметр наибольшей по числу зерен фракции. Этой величиной и характеризовалась дисперсность образцов.

Специальные опыты, проведенные в последнее время в нашей лаборатории, показали, что на восстановленной поверхности металла адсорбционный эффект является наибольшим, а в случае окисных пленок значительной толщины адсорбционный эффект практически отсутствует.

Образцы подвергались также предварительному растяжению (на 3% начальной длины) для придания им однородного первоначального упрочнения. Кривые течения снимались с помощью специального прибора, схема которого дана на рис. 1, при различных, но для данного опыта постоянных напряжениях. Растяжение проволоки производилось на воздухе, в неполярном растворителе (керосине, очищенном от полярных примесей) и в растворах поверхностно-активных веществ различных концентраций.

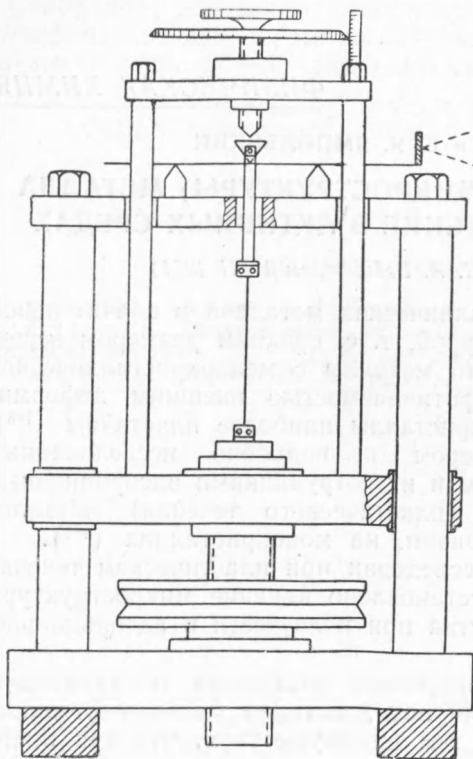


Рис. 1. Схема прибора

По кривым кинетики деформации определялись относительное удлинение образцов  $\varepsilon = \Delta l/l_0 \cdot 100\%$  и скорость относительного удлинения  $V = \frac{d\varepsilon}{d\tau} = \frac{1}{l_0} \frac{d\Delta l}{d\tau}$ ; затем, на основе теории ползучести металлов, развитой В. И. Лихтманом (6), вычислялись предел ползучести  $P_0$ , коэффициент упрочнения  $\lambda$  и вязкость  $\eta$ .

Предварительные опыты на образцах с некоторой средней величиной зерна (около 0,1 мм для меди и около 0,15 мм для алюминия) показали, что при деформировании их в активной среде скорость течения значительно возрастает в сравнении со средой инактивной — воздухом или неполярным керосином, в которых скорость течения металла оказалась одинаковой (см. рис. 2); следовательно, и на поликристаллических металлах наблюдается адсорбционный эффект облегчения их пластического течения, причем имеет место резко выраженная зависимость от концентрации поверхностно-активного вещества. Были установлены оптимальные концентрации этих веществ в керосине (в моль/л): для бутилового спирта 2,25, гексилового 0,75, октилового 0,30, цетилового 0,020, олеиновой кислоты 0,020 и диоктилсульфосукцината натрия

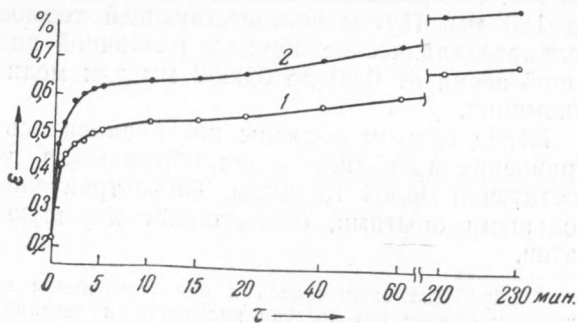


Рис. 2. Кривые течения медных образцов с средним размером зерна 0,08 мм при постоянном напряжении  $P = 9,15 \text{ кг/мм}^2$  в неполярном растворителе (1) и 0,02 моль/л растворе цетилового спирта (2)

0,010. За меру адсорбционного эффекта облегчения деформации металла было принято относительное увеличение скорости течения образцов при растяжении в активной среде в сравнении с неактивной. Определение разности скоростей течения производилось при равных степенях удлинения образца.

При деформировании в активной среде (при оптимальной концентрации) как медных, так и алюминиевых образцов снижается предел ползучести, уменьшается коэффициент упрочнения на 10—12%, вязкость уменьшается примерно в два раза (табл. 1).

Таблица 1

Медь ( $P = 9,15$  кг/мм<sup>2</sup>,  $\delta = 0,080$  мм,  $t = 20^\circ$ )

Среда	$P_0$ , кг·мм <sup>-2</sup>	$V_0 \cdot 10^5$ , сек. <sup>-1</sup>	$\eta \cdot 10^{-11}$ , пуаз	$\lambda$ , кг·мм <sup>-2</sup>
В воздухе и в неполярном растворителе (керосине) . . . . .	8,68	16	2,99	590
В р-ре 2,25 моль/л бутилового спирта . . . . .	8,26	53	1,58	535
В р-ре 0,75 моль/л гексилового спирта . . . . .	8,28	57	1,53	540
В р-ре 0,30 моль/л октилового спирта . . . . .	8,32	51	1,63	533
В р-ре 0,020 моль/л цетилового спирта . . . . .	8,30	49	1,73	540
В р-ре 0,020 моль/л олеиновой кислоты . . . . .	8,30	49	1,73	545
В р-ре 0,010 моль/л диоктилсульфосукцината Na . . . . .	8,26	56	1,52	530

Затем были проведены опыты на образцах с различной дисперсностью, которые деформировались в растворах цетилового спирта (при оптимальной концентрации 0,02 моль/л) и в неполярном керосине.

Установлено, что величина адсорбционного эффекта облегчения пластического течения как меди, так и алюминия весьма существенно зависит от дисперсности (микроструктуры) металла. На мелкозернистых образцах эффект не наблюдается; он становится заметным, когда средняя величина зерна составляет около 4% диаметра образца. Затем эффект увеличивается с ростом размеров зерен и становится максимальным, когда средняя величина зерен составляет 20—25% диаметра образца. Так, для медной проволоки диаметром 0,5 мм измеримый эффект возникает лишь при величине зерна 0,020 мм; постепенно возрастая, он достигает максимума при зерне 0,080 мм и далее остается практически постоянным. На проволоке диаметром 2,0 мм адсорбционный эффект появляется в образцах с зерном 0,080 мм и увеличивается далее с ростом величины зерна до 0,20 мм. Примерно такая же зависимость была получена и на алюминиевых образцах.

На рис. 3 представлена зависимость величины адсорбционного облегчения деформации медных образцов, выраженной логарифмом отношения скорости течения металла в активной среде  $V_a$  к скорости течения в неполярном растворителе  $V_0$  от безразмерного параметра  $D = \delta/d$ , где  $\delta$  — средняя величина зерна,  $d$  — диаметр образца.

Полученную зависимость величины эффекта от дисперсности металла можно объяснить следующим образом:

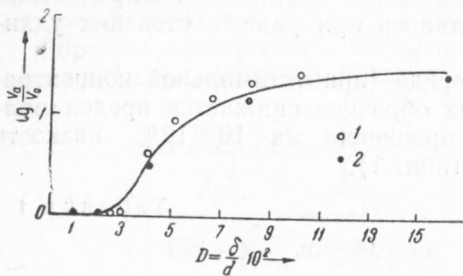


Рис. 3. Величина адсорбционного эффекта повышения скорости течения медной проволоки в зависимости от величины отношения размеров зерна к диаметру проволоки. 1 —  $d = 2,0$  мм, 2 —  $d = 0,50$  мм

поверхностно-активные вещества проникают в глубь отдельных, расположенных на поверхности зерен через микрощели, развивающиеся при деформировании (в процессе течения) и выходящие на внешнюю поверхность образца, что и приводит к облегчению деформации этих зерен. Проникновение же этих веществ в межкусталлическую прослойку если и происходит, то, повидимому, весьма медленно, так что их молекулы не успевают за время опыта достигнуть зерен, лежащих в глубине образца и удаленных от внешней поверхности. Очевидно, что чем

больше размеры зерен, тем большую часть поперечного сечения образца занимают зерна, выходящие на поверхность, тем глубже пронизывают образец развивающиеся с поверхности микрощели и тем в большей степени адсорбционный эффект в поверхностных зернах способствует облегчению деформаций образца в целом.

В мелкозернистых образцах адсорбционный эффект, имеющий место в зернах, находящихся на поверхности, блокируется межкусталлической прослойкой и внутренними зернами, в которые поверхностно-активные молекулы не проникают.

В этом случае адсорбционный эффект, даже если в отдельных зернах он достаточно велик, в целом не влияет или влияет весьма незначительно на пластическое течение металла.

Авторы приносят благодарность акад. П. А. Ребиндеру и В. И. Лихтману за ценные советы при выполнении этой работы.

Московский государственный университет  
им. М. В. Ломоносова

Поступило  
28 XI 1951

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Величина зерен в стали. Сборн. статей, 1935. <sup>2</sup> Mas ing u. M. Polanyi, Zs. f. Phys., 28, 169 (1924). <sup>3</sup> В. Д. Кузнецов и Л. А. Швирк, Журн. прикл. физ., 3, 165 (1926). <sup>4</sup> П. А. Ребиндер, Юбил. сборн. АН СССР к XXX-летию Октябрьской Революции, 1, 1947. <sup>5</sup> В. И. Лихтман, УФН, 39, 3, 371 (1949). <sup>6</sup> В. И. Лихтман, ДАН, 52, № 6 (1950).