

П. Д. НОВОКРЕЩЕНОВ, Н. Е. МАРКОВА и академик П. А. РЕБИНДЕР

АДСОРБЦИОННЫЙ ЭФФЕКТ ПРИ ЗНАКОПЕРЕМЕННОМ КРУЧЕНИИ В СВЯЗИ С ПРОБЛЕМОЙ УСТАЛОСТИ МЕТАЛЛОВ

В ряде работ П. А. Ребиндера и его сотрудников⁽¹⁾ было установлено облегчение деформации твердых тел, включая поликристаллические и монокристаллические металлы⁽²⁾, под влиянием адсорбции поверхностно-активных веществ из окружающей среды.

В дальнейшем было установлено, что этот адсорбционный эффект облегчения деформаций приобретает важное значение в проблеме усталостной прочности. Можно было предположить, что в определенных условиях структура металла под влиянием знакопеременных усилий „расшатывается“ значительно быстрее в адсорбционно-активных средах и что некоторые явления коррозионной усталости связаны с этим эффектом.

Экспериментальные исследования^(3,4) подтвердили эти предположения, однако оставались неясными закономерности адсорбционного эффекта при знакопеременном кручении, особенно в области малых частот и достаточно больших амплитуд.

Нами проведено подробное исследование деформации кручения олова в виде поли- и монокристаллических проволок. Исследование проводилось на приборе⁽⁵⁾ с высокочувствительным электродинамометром как при одностороннем, так и при многократном знакопеременном кручении.

При одностороннем кручении проволок из чистого олова (диаметр 1 мм, длина 10 мм) с одновременным действием растягивающей нагрузки 119 Г наблюдалось значительное понижение крутящего момента $M = f(\varphi)$, соответствующего заданной угловой деформации φ , под влиянием адсорбции олеиновой кислоты из неполярной углеводородной жидкости (чистого вазелинового масла). Эффект был обнаружен при малых скоростях кручения ($d\varphi/d\tau = \dot{\varphi} = \text{const}$ в течение всего процесса снятия полной диаграммы $M = f(\varphi)$ до разрыва) порядка 0,045 об. мин.⁻¹. В табл. 1 эти эффекты выражены в относительном понижении крутящего момента $\left(\frac{M_0 - M_1}{M_0} 100 \right)$ в зависимости от деформации до разрыва.

Эти данные показывают, что, как и следовало ожидать, адсорбционный эффект возрастает с увеличением деформации, достигая вблизи разрыва очень высоких значений — понижение крутящего момента доходит до 94%. Разрыв наступает в неактивной среде, например в воздухе, при $\varphi \approx 6,0$ оборотов, а в адсорбционно-активной среде (0,2% растворе олеиновой кислоты в вазелиновом масле) при $\varphi \approx 4,8$ оборотов. В активной среде предельное удлинение образцов Δl_m и скорость удлинения $d\Delta l/d\varphi$ заметно больше, чем в неактивной среде.

Таблица 1

φ , угол закручивания в оборотах	Крутящий момент $\Gamma \cdot \text{см}$		$\frac{M_0 - M_A}{M_0} \cdot 100\%$
	в инактивной среде M_0	в активной среде M_A	
0,23	16,8	16,4	2,3
0,83	21,6	20,8	3,6
1,70	24,8	23,6	4,8
3,00	25,6	23,8	7,0
4,00	24,4	19,2	21
4,66	23,2	4,0	83
4,80	22,0	1,2	94
6,00	5,2	—	—

При больших скоростях (5 об. мин.^{-1}) адсорбционный эффект проявляется только в непосредственной близости к разрыву. При средних скоростях ($1\text{--}2 \text{ об. мин.}^{-1}$) кривые $M = f(\varphi)$, соответствующие инактивной и активной среде, разделяются уже в пластической области.

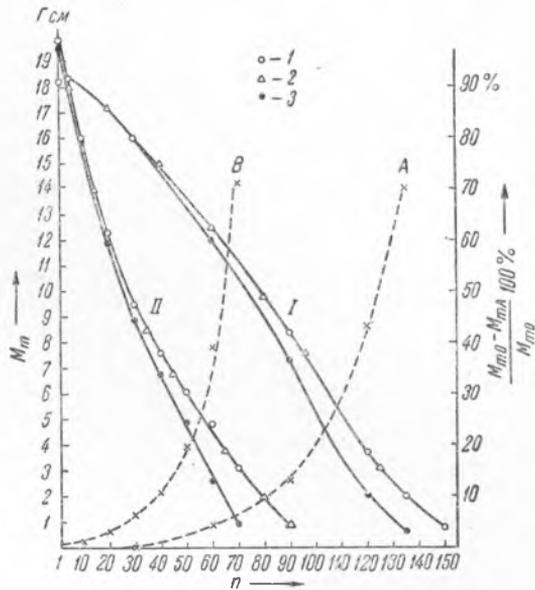


Рис. 1. Зависимость максимального крутящего момента M_m (сплошные кривые) и адсорбционного

эффекта понижения прочности $\frac{M_{m0} - M_{mA}}{M_{m0}} \cdot 100\%$

(пунктирные кривые A и B) от числа циклов n :
 I — для $\varphi_0 = \pm 46^\circ$, $\theta = 4 \text{ мин.}$, $P = 119 \text{ Г.}$
 II — для $\varphi_0 = \pm 120^\circ$, $\theta = 7 \text{ мин.}$, $P = 119 \text{ Г.}$
 I — воздух, 2 — вазелиновое масло, 3 — вазелиновое масло + 0,2% олеиновой кислоты

Эти результаты вполне соответствуют общим положениям адсорбционного эффекта облегчения деформаций (^{1,2}).

Далее мы перешли к знакопеременному кручению с одновременным растяжением статической нагрузкой, которое лежит в основе испытаний металлов на усталость. Оказалось, что при таких исследованиях с постоянной амплитудой φ_0 при синусоидальном законе изменения угла φ со временем τ адсорбционные эффекты проявляются

с достаточной резкостью в области сравнительно малых периодов цикла $\theta_0 = 4 \div 8,5$ мин. и характер этих эффектов различен при разных амплитудах φ_0 .

Зависимость максимального крутящего момента M_m в данном (n -м) цикле от числа, т. е. от порядкового номера цикла n , дана на рис. 1 в неактивной среде (воздухе или чистом вазелиновом масле) и в активной среде (0,2% растворе олеиновой кислоты в вазелиновом масле) для сравнительно малых амплитуд $\varphi_0 = \pm 46$ и 120° , а на рис. 2 — для больших амплитуд $\varphi_0 = \pm 200^\circ$ (для поликристаллической проволоки) и $\varphi_0 = \pm 360^\circ$ (для монокристалла олова).

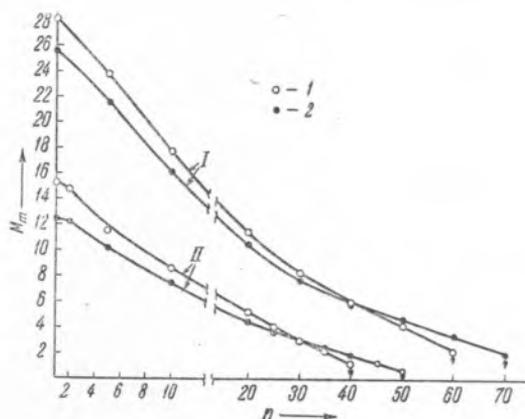


Рис. 2. Зависимость M_m от n : I — поликристалл олова, $\varphi_0 = \pm 200^\circ$, $\theta = 6,5$ мин., $P = 119$ Г; II — монокристалл олова, $\varphi_0 = \pm 360^\circ$, $\theta = 8,5$ мин., $P = 119$ Г. 1 — в неактивной среде (воздух), 2 — в активной среде (вазелиновое масло + 0,2% олеиновой кислоты)

Для небольших амплитуд введение адсорбционно-активной среды вызывает непрерывное падение M_m , особенно значительное перед разрушением (рис. 1). Разрушение наступает при меньшем числе циклов, что согласуется с данными Ш. Я. Коровского (4). При знакопеременном кручении с большими амплитудами на поликристаллических проволоках и на монокристаллах нами установлено явление инверсии адсорбционного эффекта. Значения $M = f(\varphi)$ в активной среде значительно ниже, чем в случае неактивной среды, уже в первой четверти первого цикла ($n = 1$), где достигается наибольшее расхождение кривых, после чего с увеличением числа циклов крутящий момент M_m медленнее уменьшается в активной среде, чем в неактивной, и при некотором n наступает явление инверсии. При последующем увеличении числа циклов кривые $M_m = f(n)$, соответствующие активной среде, идут выше, чем в неактивной среде.

Это явление объясняется тем, что в результате адсорбционного облегчения деформации максимальное напряжение в циклически скручиваемом образце уменьшается. Такое понижение прочности сопровождается тонким диспергированием поверхностного слоя образца, т. е. развитием большего числа сдвигов, что и понижает концентрацию напряжений (6) в микрощелях, возникающих при скручивании, и тем самым замедляет процесс разрушения по сравнению с деформацией образца в неактивной среде. Образец при этом как бы становится более пластическим и выдерживает большее число перемен деформаций до разрыва.

На рис. 3 представлены некоторые из последовательных циклов для монокристалла олова. На этом рисунке наглядно обнаруживается явление инверсии.

Однако следует иметь в виду, что при поверхностном периодическом деформировании поликристаллического металла (⁷) в активной

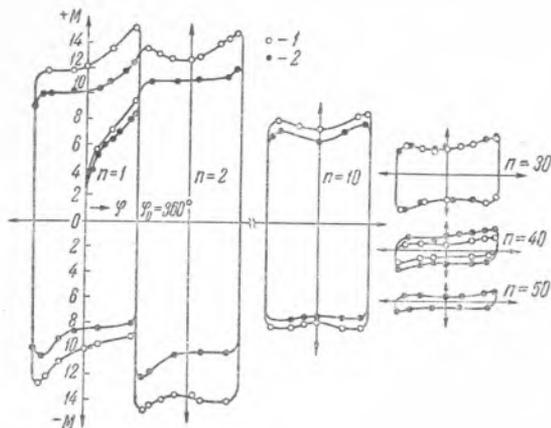


Рис. 3. Петли пластического гистерезиса монокристаллов олова, соответствующие 1, 2, 10, 30, 40 и 50 циклам, снятые при $\varphi_0 = \pm 360^\circ$, $\theta = 8,5$ мин., $P = 119$ Г. 1 — в инактивной среде (воздух), 2 — в активной среде (вазелиновое масло + 0,2% олеиновой кислоты)

среде наблюдается понижение твердости, при дальнейшем же периодическом деформировании твердость возрастает в большей степени в активной среде, чем в инактивной, вследствие образования более мелкозернистой структуры в деформируемой зоне, т. е. вследствие повышенного упрочнения.

Воронежский государственный университет и
Оддел дисперсных систем
Института физической химии
Академии наук СССР

Поступило
14 VII 1949

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ П. А. Ребиндер, Юбил. сб. АН СССР к 30-летию Октябрьской революции, ч. 1, М.—Л., 1947; П. А. Ребиндер с сотр., ЖТФ, 2, № 7—8, 726 (1932); Zs. f. Phys., 72, 91 (1931); ЖФХ, 5, 2—3 (1934); Изв. АН СССР, ОХН, 5, 636 (1936); П. А. Ребиндер, Л. А. Шрейнер и К. Ф. Жигац, Понижители твердости в бурении, изд. АН СССР, М.—Л., 1944. ² П. А. Ребиндер, В. И. Лихтман и Б. М. Масленников, ДАН, 32, № 2 (1941); В. И. Лихтман и П. А. Ребиндер, ДАН, 32, № 2 (1941); П. А. Ребиндер и В. И. Лихтман, ДАН, 56, № 7 (1947); В. И. Лихтман, П. А. Ребиндер и Л. П. Янова, ДАН, 56, № 8 (1947); В. И. Лихтман и П. А. Ребиндер, ДАН, 57, № 1 (1947). ³ Е. М. Зарецкий, ДАН, 58, № 4 (1947). ⁴ Ш. Я. Коровский, ДАН, 59, № 8 (1948). ⁵ П. Д. Новокрещенов и Н. Е. Маркова, Зав. лабор., № 7, 887 (1948). ⁶ В. И. Лихтман и Е. К. Венстрем, ДАН, 66, № 5 (1949). ⁷ Т. Ю. Любимова и П. А. Ребиндер, ДАН, 63, № 2 (1948); Т. Ю. Любимова, П. А. Ребиндер и Л. А. Шрейнер, ДАН, 63, № 3 (1948).