Релаксация напряжений после деформации «сдвиг под давлением». Оценка энергии активации процесса и активационного объема.

Суппес В.Г.

КузГПА, Новокузнецк, Россия

Методика эксперимента.

Установка для проведения эксперимента представляет собой гидравлический пресс со встроенными встречными пуансонами Бриджмена [1-15], один из которых можно вращать с различной скоростью. Образец помещался между пуансонами, сжимался, а затем деформировался при повороте одного из пуансонов. При достижении некоторой величины пластичной деформации, вращение пуансона прекращалось и проводилось наблюдение за изменением напряжения сдвига.

Расчеты

Изменение вращающего момента определяется выражением:

$$dM = R_M \cdot dF_{ñä} = tdS \cdot r = t \cdot 2pr^2 dr$$

$$M = R_M \cdot F = \int_0^r t \cdot 2pr^2 dr = 2pt \cdot \frac{r^3}{3}$$

$t = \frac{3F_{ñä}R_M}{2pr^3}$, где F – сила сдвига, R_M – радиус шестерни,

r – радиус пуансона (образца) =3мм.

Расчет энергии активации и активационного объема.

$$dt = -tcdt; \quad \frac{dt}{t} = -cdt, \quad \ln t = -ct + C, \; C_{t\to 0} = \ln t_0$$

$$\ln t = -ct + \ln t_0$$

$$\ln(\frac{t}{t_0}) = -ct, \; t = t_0 e^{-ct}.$$

Примем: $c = \frac{U}{kT}$, где U – энергия активации процесса при данных условиях проведения эксперимента, – постоянная Больцмана,T – температура, при которой проводится эксперимент.

$$t = t_0 \cdot e^{-\frac{U}{kt}\cdot t}$$

Расчет проводится в предположении, что V не зависят от сжимающего напряжения.

$$\ln(\frac{t}{t_0}) = -\frac{U}{kT}\cdot t \;, \qquad \ln(\frac{t}{t_0})kT = -Ut, \qquad U = -\frac{\left[\ln(\frac{t}{t_0})\right]}{t}kT$$

Аналогичным образом проводим оценочные расчеты активационного объема. При этом расчет проводим для двух давлений, незначительно отличающихся друг от друга, чтобы условия протекания процессов при деформации были близки по параметрам.

$$\ln(\frac{t_2}{t_{02}}) = -\frac{E - P_2V}{kT}t; \quad kT\ln(\frac{t_2}{t_{02}}) = -Et + P_2Vt; \quad E = -\frac{P_2Vt - kT\ln(\frac{t_2}{t_{02}})}{t}$$

$$\ln(\frac{t_1}{t_{01}}) = -\frac{Et + P_1Vt}{kT} = -\frac{t\left[-\frac{P_2Vt - kT\ln(\frac{t_2}{t_{02}})}{t}\right] + P_1Vt}{kT}$$; где E-энергия активации при P=0

$$\ln(\frac{t_1}{t_{01}})kT = t\frac{\left[P_2Vt - kT\ln(\frac{t_2}{t_{02}})\right] - P_1Vt}{t} = P_2Vt - kT\ln(\frac{t_2}{t_{02}}) - P_1Vt$$

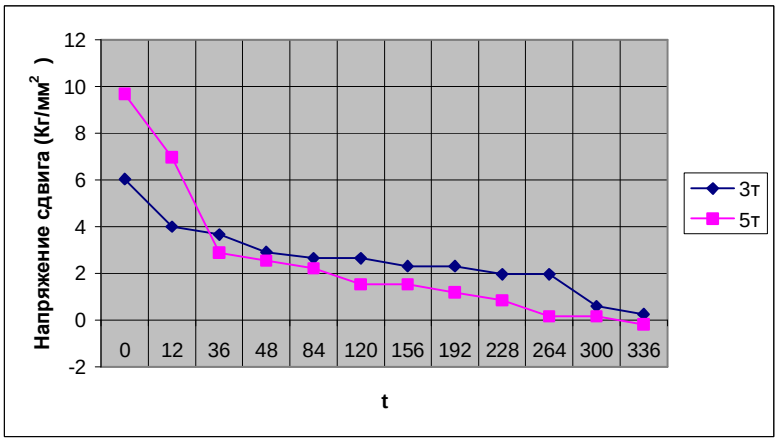
$$\ln(\frac{t_1}{t_{01}})kT + kT\ln(\frac{t_2}{t_{02}}) = V(P_2t - P_1t)$$

$$V = \frac{kT\left[\ln(\frac{t_1}{t_{01}}) + \ln(\frac{t_2}{t_{02}})\right]}{P_2t - P_1t}$$

Величина сжимающего напряжения (давления) P определялась по формуле

$$P = \frac{F}{S} = \frac{F}{p \cdot r^2}$$

Результаты эксперимента



Получены следующие оценки энергии активации: для $F = 3 \cdot 10^4$ Н $U = 9.5 \cdot 10^{-3}$ эВ. Для $F = 5 \cdot 10^4$ Н $U = 7.9 \cdot 10^{-3}$ эВ.

$V = 2.05811729 \times 10^{-12}$ $м^3$.

Расчеты проведены при времени выдержки после остановки вращения одного из пуансонов- t=12 с.

В данном случае зависимость энергии активации и соответственно активационного объема от времени выдержки свидетельствует о том, что происходит последовательная смена релаксации различных дефектов, накопленных в результате пластической деформации.

Литература.

1. Брэдли К. Применение техники высокого давления при исследовании твердого тела. - М.: Мир, 1972.- 231с.
2. Бриджмен П. Исследование больших пластических деформаций и разрыва. - М.: Иностранная литература, 1955.- 444с.
3. Бриджмен П.В. Физика высоких давлений. - М – Л.: ОНТИ, 1935.- 402с.
4. Бриджмен П.В. Новейшие работы в области высоких давлений. - М.: Изд-во иностранной литературы, 1948.- 299с.
5. Войнберг Ф. Приборы и методы физического металловедения. - М.: Мир, 1973.- Т.1,2.
6. Верещагин Л.Ф. Твердое тело при высоких давлениях. - М.: Наука, 1981.- 206с.
7. Верещагин Л.Ф. Синтетические алмазы и гидроэкструзия. - М.: Наука, 1982.- 328с.
8. Верещагин Л.Ф., Шапочкин В.А. Влияние гидростатического давления на сопротивление сдвигу в твердых телах// ФММ.- 1960.- Т.9.- С.258-264.
9. Верещагин Л.Ф., Кабалкина С.С. Рентгеноструктурные исследования при высоком давлении.- М.: Наука, 1979.- 173с.
10. Верещагин Л.Ф., Шапочкин В.А., Пирогов Л.Б. Об остаточной прочности при сдвиге под давлением // ФММ. – 1960.- Т.10. – Вып.5.- С.783-785.
11. Верещагин Л.Ф., Зубова Е.В. Зависимость силы сдвига элементов от порядкового номера при больших давлениях // ФММ.- 1957.- Т.5.- Вып.1.- С.171-173.

Формат: Список

12. Верещагин Л.Ф., Шапочкин В.А. Исследование силы сдвига материалов при гидростатическом давлении до $17 \cdot 10^3$кг/см^2 и выше.// ФММ.- 1959.- Т.7.- Вып.3.- С.479.
13. Верещагин Л.Ф., Зубова Е.В. Измерение напряжения сдвига ряда вещества при давлении до 100000атм. //ДАН СССР.- 1960.- 134.- М 4.- 787с.
14. Верещагин Л.Ф., Зубова Е.В., Бургина К.П. Получение плотных модификаций германия и кремния в условиях одновременного действия высокого давления и напряжения сдвига. // ДАН СССР.- 1966.- № 2.- С.314-315.
15. Верещагин Л.Ф., Зубова Е.В., Бургина К.П. Поведение окислов при действии высокого давления с одновременным приложением сдвига.// ДАН СССР.- 1971.- Т.196.- №4.- С.817.