

Г.А. АРУТЮНЯН, Г.Б. БАГДАСАРЯН

## О ДИСЛОКАЦИОННЫХ ЯВЛЕНИЯХ ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ

Изучены зона стружкообразования и поверхностный слой детали. Определены микротвердости, касательные напряжения и плотность дислокаций на верхней границе зоны стружкообразования, а также показатели наклепа поверхности по глубине наклепа. Установлено, что касательные напряжения имеют постоянные значения, а плотность дислокаций достигает критического значения, в результате которого элемент снимаемого слоя отделяется и образует стружку. Определен предел текучести от размера зерна обрабатываемого металла.

**Ключевые слова:** микротвердость, плотность дислокаций, касательные напряжения.

Известно, что деформационное упрочнение кристаллических материалов трактуется с позиций дислокационной теории. Поверхностный слой детали, который формируется при обработке резанием, в большинстве случаев также подвергается деформационному упрочнению (наклепу), показателями которого являются степень и глубина наклепа, остаточные микро- и макронапряжения, плотность дислокаций, размеры субзерен, их взаимная ориентация и т. д.

Явления, происходящие в зоне стружкообразования, оказывают большое влияние на показатели наклепа и точность механической обработки. В свою очередь, механизм стружкообразования зависит от физического строения и дефектов структуры обрабатываемого материала. В этой связи изучение явлений, происходящих в зоне стружкообразования и за линией среза с позиций дислокационной теории, позволяет вскрыть новые закономерности стружкообразования и формирования поверхностного слоя детали.

В свете вышеизложенного, нами изучен предрезцовый слой, т. е. зона стружкообразования, и слой, лежащий под резцом, т. е. за линией среза.

Опыты проводились при точении. Исследованию подвергалось железо Армко, выбор которого диктовался тем, что оно в основном состоит из феррита и дает незначительный разброс при оценке показателей наклепа методом микротвердости. Определено влияние скорости резания при постоянных значениях остальных условий резания ( $t=1\text{ мм}$ ,  $S=0,52\text{ мм/об}$ ,  $\gamma=+10^\circ$ ,  $\phi=60^\circ$ ,  $\alpha=\alpha_1=6^\circ$ ,  $\phi_1=10^\circ$ ).

Для фиксации предрезцовой зоны применялось специальное приспособление, способное вывести резец из контакта со скоростью, значительно превосходящей скорость резания. После фиксации и получения корней стружек изготавливались шлифы с целью измерения микротвердости на приборе ПМТ-3. В табл. 1 приведены значения всех исследуемых параметров, полученных при различных скоростях резания, а также величины относительного сдвига  $\epsilon$ . По

измеренным средним значениям микротвердостей (Н) на верхней границе зоны стружкообразования определены касательные напряжения  $\tau$  и плотность дислокаций  $\rho$

В табл. 2 при двух значениях скорости резания приведены значения микротвердостей, измеренных на косых шлифах, и плотности дислокаций на различных горизонтах поверхностного слоя, т. е. по глубине наклепа  $h$ . Помимо расчета, плотность дислокаций поверхностного слоя и на различных расстояниях от него по глубине определялась рентгеноструктурным методом [3]. Для удаления слоя от поверхности применялось электрополирование.

Таблица 1

V, м/мин	20	36	47	60	75	155	195
H, кг/мм <sup>2</sup>	251	245	242	240	236	224	216
$\tau$ , кг/мм <sup>2</sup>	53,7	52,4	51,8	51,4	50,5	47,9	46,1
$\rho \cdot 10^{12}$ , см <sup>-2</sup>	2,8	2,7	2,6	2,58	2,5	2,3	2,05
$\epsilon$	4,61	4,62	4,54	4,0	3,9	3,2	3,1

Таблица 2

$h_i$ , мм	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	V, м/мин
H, кг/мм <sup>2</sup>	230	182	160	142	121	112	105	96	95	95	20
$\rho \cdot 10^{10}$ , см <sup>-2</sup> расч.	24,4	15,2	11,8	9,2	6,7	5,8	5,0	4,1	4,1	4,1	
$\rho \cdot 10^{10}$ , см <sup>-2</sup> эсп.	7,0	4,5	4,1	3,7	3,3	3,1	2,9	2,8	2,6	2,6	
H, кг/мм <sup>2</sup>	200	165	139	121	107	96	95	95	94	95	155
$\rho \cdot 10^{10}$ , см <sup>-2</sup> расч.	14	8,7	6,5	4,8	4,2	4,1	4,1	4,1	4,0	4,1	
$\rho \cdot 10^{10}$ , см <sup>-2</sup> эсп.	5,1	4,0	3,7	3,2	3,0	2,8	2,8	2,7	2,6	2,6	

Касательные напряжения в плоскости сдвига определены зависимостью (условие Мизеса)

$$\tau = \sigma / \sqrt{3}. \quad (1)$$

Интенсивность напряжений  $\sigma$  и микротвердость связаны известной зависимостью:

$$\sigma = 0,37 H. \quad (2)$$

Для определения плотности дислокаций использована зависимость [1]

$$\tau = Gb\sqrt{\rho} / 2\pi, \quad (3)$$

которая справедлива при параболической стадии упрочнения и наблюдается для поликристаллических материалов. Из (3) плотность дислокаций равна

$$\rho = \frac{4\tau^2\pi^2}{G^2b^2} \text{ см}^{-2}, \quad (4)$$

где  $G$  – модуль сдвига ( $G=8(10^5 \text{ кг/см}^2)$ );  $b$  – вектор Бюргерса ( $b=2,5 \cdot 10^{-8} \text{ см}$ ).

Проанализируем полученные результаты исследований. Как видно из табл. 1, увеличение скорости резания приводит к небольшому снижению микротвердости на верхней границе зоны стружкообразования. Соответственно, однако в меньшей степени, уменьшаются касательные напряжения, действующие на этой же границе, являющейся линией скольжения. По-видимому, на снижение этих двух показателей в большей степени сказывается температура, чем увеличение скорости деформации по мере возрастания скорости резания. Плотность дислокаций на верхней границе зоны стружкообразования с увеличением скорости изменяется от  $2,8 \cdot 10^{12}$  до  $2,05 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$ . Это предельное значение плотности дислокаций, поскольку при обычных условиях пластического деформирования дальнейшее увеличение плотности невозможно, так как наступает разрушение. Действительно, именно при таких значениях плотности элемент снимаемого слоя отделяется от основного металла и образует стружку. С другой стороны, учитывая, что критическая плотность дислокаций почти постоянна и равна  $10^{12} \text{ см}^{-2}$ , следует вывод, что действующие на верхней границе зоны касательные напряжения, под влиянием которых перемещаются дислокации, должны быть почти постоянными по всей длине границы. Это подтверждается также нашими данными. Уменьшение относительного сдвига  $\epsilon$  вполне закономерно, поскольку с увеличением скорости степень деформации уменьшается.

По данным табл. 2, на определенной глубине от поверхности, соответствующей глубине наклепа, значения микротвердости и плотности дислокаций стабилизируются. Не должно вызывать сомнения то, что на горизонтах, соответствующих исходному металлу, плотность дислокаций превосходит значения плотности, принятые в литературе (до  $10^8 \text{ см}^{-2}$ ). Дело в том, что такую плотность имеют отожженные металлы, а наши образцы обрабатывались в состоянии поставки, имеющей большую твердость, чем отожженные металлы.

Нами определено также напряжение течения на верхней границе зоны стружкообразования известным уравнением Петча-Холла [2]:

$$\sigma_y = \sigma_i + K_y d^{-n}, \quad (5)$$

где  $\sigma_i$  – напряжение, необходимое для движения дислокаций через кристаллическую решетку, равное напряжению от сил трения в решетке;  $K_y$  – постоянная, связанная с распространением деформации через границы зерен;  $d$  – средний диаметр зерна деформируемого металла. Показатель  $n$  равен 0,5 для металлов с ОЦК решеткой.

Уравнение (5) устанавливает зависимость напряжения течения, предела текучести или сопротивления отрыву (с учетом деформации, предшествующей разрушению) железа и малоуглеродистой стали от размера зерна  $d$ . Оба параметра ( $\sigma_i$  и  $K_y$ ) зависят от характеристик упрочнения материала, т. е. для данного

материала при данной температуре и скорости деформации являются постоянными величинами. Диаметр зерна железа Армко равен  $d=0,03$  мм, а параметр  $K_y$  определяли по  $K_y/G=0,15(10^{-3})$  [2]. В результате по (5) получили величину  $\sigma_y=37$  кг/мм<sup>2</sup>. Напряжение  $\sigma_y$  должно быть равным касательному напряжению по верхней границе зоны стружкообразования. Однако несовпадение  $\sigma_y$  со значением  $\tau$  по табл. 1, на наш взгляд, можно объяснить тем, что параметры  $\sigma_1$  и  $K_y$  определены при очень низкой скорости деформации ( $2(10^{-4} \text{ с}^{-1})$ ), между тем как при резании скорость деформации достигает  $10^3 \dots 10^6 \text{ с}^{-1}$ .

Тем не менее, установление предела текучести от размера зерна обрабатываемого металла при резании имеет большое значение, т. к. дает возможность оптимизировать режимы обработки по пределу текучести, являющемуся важным критерием конструкционной прочности материала детали.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физическое металловедение / Пер. с англ. - М., 1968.- Вып. 3.- 174 с.
2. Роль дислокаций в упрочнении и разрушении металлов / Отв. ред. В.С. Иванова - М.: Наука, 1965.- 179 с.
3. Арутюнян Г.А. О физической сущности упрочнения металла за линией среза // Физика резания металлов. - Ереван: Изд. АН АрмССР- 1975. - Вып. II. -118 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 24.05.2001.

### Հ.Հ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Հ. Բ. ԲԱԴԴԱՍԱՐՅԱՆ ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ԿՏՐՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՈՒՄ ԴԻՍԼՈՎԱՑԻՈՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ

Ուսումնասիրված են տաշեղագոյացման տիրույթը և դետալի մակերևութային շերտը: Տաշեղագոյացման վերին տիրույթում որոշված են միկրոկարծրությունները, շոշափող լարումները և դիսլոկացիաների խտությունը, ինչպես նաև մակերևութի կարծրության ցուցանիշները՝ կարծրության խտությամբ: Բացահայտված է, որ շոշափող լարումները հաստատուն են, իսկ դիսլոկացիաների խտությունը հասնում է կրիտիկական մեծության, ինչի արդյունքում հեռացվող շերտի տարրը անջատվում է՝ կազմավորելով տաշեղ: Որոշված է մշակվող նյութի հատիկի մեծությունից կախված հոսունության սահմանը:

### H.H. HAROUTIUNYAN, H.B. BAGHDASARYAN ON DISLOCATION EFFECTS IN METAL CUTTING

Chip formation zone and surface layer of the workpiece have been studied. Microhardness, tangential stresses, and dislocation density on the upper bound of the chip formation zone as well as surface wear hardening index along its depth have been determined. The tangential stresses have been established to be of constant values, and the dislocation density – to reach the critical value whereby the element of the layer being removed is separated and forms a chip. Yield point depending on the grain size of the material being machined has been determined as well.