№ 1 (57) 2010 Вібрації в техніці та технологіях

Дудников А. А.

Беловод А. И.

Дудников И. А.

Донченко С. А.

Капустянский М. В.

Полтавская государственная аграрная академия

УДК 621.9 – 621.98

НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТАЛЛОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДАВЛЕНИЕМ

Розглянуті питання пластичності матеріалу зразків при звичайній і вібраційній деформації.

The questions of plasticity of material of standards are considered during ordinary and oscillation deformation.

В процессе обработки материала образцов (деталей) давлением происходит его напряжённое и деформированное состояние. Для упрощения математического выражения пластичности при решении практических задач объёмное напряжённое состояние заменяют либо на плоское напряженное состояние, либо на плоское деформированное осесимметричное состояние.

Условием пластичности является постоянство интенсивности касательных напряжений σ_T, выраженное уравнением:

$$\left(\sigma_1-\sigma_2\right)^2+\left(\sigma_2-\sigma_3\right)^2+\left(\sigma_3-\sigma_1\right)^2=2\sigma_T^2, \quad (1)$$

где σ_1, σ_2, σ_3 - октаэдрические главные напряжения.

Для анализа условия пластичности в главных напряжениях следует ввести безразмерную величину – тензор напряжения:

$$\xi_\sigma=\frac{\sigma_2-\dfrac{\sigma_1+\sigma_3}{2}}{\dfrac{\sigma_1+\sigma_3}{2}}=\frac{2\sigma_2-\sigma_1-\sigma_3}{\sigma_1-\sigma_3}. \quad (2)$$

Состояние пластичности может быть оценено также тензором деформации:

$$\xi_\varepsilon=\frac{\varepsilon_2-\dfrac{\varepsilon_1+\varepsilon_3}{2}}{\dfrac{\varepsilon_1-\varepsilon_3}{2}}=\frac{2\varepsilon_2-\varepsilon_1+\varepsilon_3}{\varepsilon_1-\varepsilon_3}. \quad (3)$$

Согласно уравнению (2):

$$\sigma_2=\xi_\sigma\frac{\sigma_1-\sigma_3}{\sigma_2}+\frac{\sigma_1+\sigma_3}{2}. \quad (4)$$

После подставления значения σ_2 в выражение (1) получаем:

$$\left(\sigma_1-\xi_\sigma\frac{\sigma_1-\sigma_3}{\sigma_2}-\frac{\sigma_1+\sigma_3}{2}\right)^2+$$
$$+\left(\xi_\sigma\frac{\sigma_1-\sigma_3}{2}+\frac{\sigma_1+\sigma_3}{2}-\sigma_3\right)^2+\left(\sigma_1-\sigma_3\right)^2=2\sigma_T^2. \quad (5)$$

$$\left(\sigma_1-\sigma_3\right)^2\cdot\left(\frac{1-\xi_\sigma}{2}\right)^2+\left(\sigma_1-\sigma_3\right)^2\cdot\left(\frac{1+\xi_\sigma}{2}\right)^2+$$
$$+\left(\sigma_1-\sigma_3\right)^2=2\sigma_T^2. \quad (6)$$

$$\left(\sigma_1-\sigma_3\right)^2\cdot\left[\left(\frac{1-\xi_\sigma}{2}\right)^2+\left(\frac{1+\xi_\sigma}{2}\right)^2+1\right]=2\sigma_T^2. \quad (7)$$

$$\sigma_1-\sigma_3=\frac{2}{\sqrt{3+\xi_\sigma}}\sigma_T. \quad (8)$$

Обозначим:

$$\frac{2}{\sqrt{3+\xi_\sigma}}=\beta. \quad (9)$$

Тогда условие пластичности примет вид:

$$\sigma_1-\sigma_3=\beta\sigma_T. \quad (10)$$

Если:

$\sigma_2=\sigma_1$, то ξ_σ=+1, $\beta=+1$;

$\sigma_2=\sigma_3$, то ξ_σ=-1, $\beta=+1$;

$\sigma_2=\dfrac{\sigma_1+\sigma_3}{2}$, то ξ_σ=0, $\beta=\dfrac{2}{\sqrt{3}}=1{,}15$.

Следовательно, уравнение пластичности при плоском деформированном состоянии имеет вид:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{2}{\sqrt{3}}\sigma_T = 1{,}15\sigma_T . \qquad (11)$$

Если напряжение σ_2 будет равно одному из главных напряжений σ_1 или σ_3, то уравнение пластичности будет иметь вид:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_T . \qquad (12)$$

Условие пластичности при обработке металлов давлением в произвольных координатах *x, y* и *z* можно записать:

$$\left(\sigma_x - \sigma_y\right)^2 + \left(\sigma_y - \sigma_z\right)^2 + \left(\sigma_z - \sigma_x\right)^2 + \\ + 6\left(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2\right) = 2\sigma_T^2. \qquad (13)$$

В случае плоского деформированного состояния условие пластичности в произвольных осях координат при принятии $\sigma_y = \dfrac{\sigma_x + \sigma_z}{2}$ и с учетом, что $\tau_{xy} = \tau_{yz} = 0,$ можно записать:

$$\left(\sigma_x - \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} - \sigma_z\right)^2 + \\ + \left(\sigma_x - \sigma_z\right)^2 + 6\tau_{xz}^2 = 2\sigma_T^2. \qquad (14)$$

После соответствующих преобразований получаем:

$$\left(\sigma_x - \sigma_z\right)^2 + 4\tau_{xz}^2 = \frac{4}{3}\sigma_T^2 = 4K^2 , \qquad (15)$$

где $$K = \frac{\sigma_T}{\sqrt{3}} . \qquad (16)$$

Отсюда уравнение пластичности для плоского напряженного состояния:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = 2K , \qquad (17)$$

где K – максимальное касательное напряжение.

При равенстве среднего напряжения σ_2 одному из крайних σ_1 или σ_3:

$$K = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\sigma_T}{2} = 0{,}5\sigma_T \qquad (18)$$

В главных напряжениях:

$$\sigma_1^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_3 + \sigma_3 = \sigma_T^2 \qquad (19)$$

Если напряжения σ_1 и σ_3 положительны, то напряжение σ_2 имеет минимальное значение, σ_1 будет максимальным, а σ_3 имеет среднее значение. В этом случае уравнение пластичности имеет вид:

$$\sigma_1 = \beta\sigma_T . \qquad (20)$$

В случае, когда σ_1 и σ_3 отрицательны, то σ_2 будет иметь максимальное значение и уравнение пластичности можно записать:

$$-\sigma_3 = \beta\sigma_T . \qquad (21)$$

Если напряжения σ_1 и σ_3 имеют разные знаки, то уравнение пластичности имеет вид:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \beta\sigma_T .$$

Проведенные исследования показали, что касательные напряжения на наружной поверхности образцов при вибрационной обработке в 1,2 – 1,4 раза меньше, чем при обычном деформировании. Следовательно, при вибрационном нагружении можно обеспечить бóльшую величину деформации обрабатываемого материала деталей, чем при обычной обработке, что позволит компенсировать бóльшие значения износов при восстановлении деталей.

Литература

1. Громов Н.П. Теория обработки металлов давлением. – М.: 1978. – 391с.

2. Дудников А.А. Влияние вида обработки на напряжённое состояние рабочего слоя упрочняемой детали / А.А. Дудников, А.И. Беловод/ Сборник научных трудов Белорусского ГАТУ. Минск: 2009.- С. 280-283.