

Дудников И. А.

Беловод А. И.

Кившик А. П.

Дудников А. А.

Донченко С. А.

Капустянский М. В.

**Полтавская  
государственная  
аграрная академия**

УДК 621.9 – 621.98

**ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИОННОЙ  
ОБРАБОТКИ НА УПРОЧНЕНИЕ  
ОБРАБАТЫВАЕМОЙ  
ПОВЕРХНОСТИ***Розглянуті питання зміцнення оброблюваної  
поверхні на довговічність відновлюваних деталей.**The questions of strengthening of the processed surface  
are considered on longevity of refurbishable details.*

Оценка напряженного состояния при деформировании материала деталей в процессе их восстановления осуществлялась методом решения приближенных уравнений равновесия и уравнения пластичности. При этом напряженное состояние произвольного элемента обрабатываемой поверхности рассматривалось либо плоским или ассиметричным.

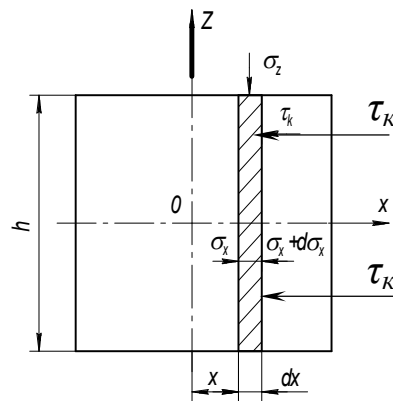
Для плоской задачи дифференциальные уравнения равновесия могут быть упрощены при условии, что нормальные напряжения зависят только от одной координаты. При этом остается одно дифференциальное уравнение с обыкновенными производными [1].

Данный метод позволяет определить напряжения и усилия в зоне соприкосновения обрабатываемой поверхности детали (образца) с обрабатывающим инструментом.

При вибрационном упрочнении элементарного участка поверхности детали можно рассматривать как его осадку. Для этого выделим в деформируемом материале бесконечно малый объем, на который действуют нормальные напряжения  $\sigma_x$ ,  $\sigma_z$ ,  $\sigma_x + d\sigma_x$  и касательное напряжение –  $\tau_{xz}$ . (рис.1).

При допущении, что нормальные напряжения  $\sigma_x$  и  $\sigma_z$  зависят только от одной координаты X, они не будут зависеть от координаты Z, т.е. будут постоянны по высоте.

Касательное напряжение на контактной поверхности  $\tau_{xz}$  будет уменьшаться при удалении от контактной поверхности и в средней части выделенного элемента будет равно нулю.



**Рис. 1. Схема к определению деформирования элементарного участка**

Если принять, что  $\tau_{xz}$  зависит от высоты элемента линейно, то можно записать:

$$\tau_{xz} = \frac{\tau_{xz}}{h} \cdot z \quad (1)$$

Тогда

$$\frac{d\tau_{xz}}{dz} = \frac{\tau_{xz}}{h} \quad (2)$$

После подстановки уравнения (2) в уравнение равновесия  $\frac{d\sigma_x}{dx} + \frac{\tau_{xz}}{h} = 0$ ,

получаем:

$$\frac{d\sigma_x}{dx} + \frac{\tau_{xz}}{h} = 0, \quad (3)$$

где  $\tau_k$  – касательное напряжение, вызванное трением тела об инструмент, определяемое по формуле:

$$\tau_{\dot{\epsilon}} = f \sigma_z \quad (4)$$



В этом случае уравнение пластичности для плоского деформированного состояния может быть представлено в следующем виде:

$$\sigma_x - \sigma_z = \pm 2\tau_{\max} \sqrt{1 - \left(\frac{\tau_{xz}}{\tau_x}\right)^2}, \quad (5)$$

где  $\tau_{\max}$  – максимальное касательное напряжение, которое возникает при пластической деформации.

В условиях плоского деформированного состояния:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_T}{\sqrt{3}}. \quad (6)$$

Для случая  $\tau_k = \tau_{\max}$  уравнение (4) будет иметь вид:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x - \sigma_z &= 0 \\ \sigma_x &= \sigma_z \end{aligned} \right\}. \quad (7)$$

Уравнение пластичности в этом случае будет равно:

$$d\sigma_x = d\sigma_z. \quad (8)$$

Решая совместно уравнения (8), (4) и (3) получаем:

$$\frac{d\sigma_{xz}}{dx} = -\frac{f\sigma_z}{h}. \quad (9)$$

После разделения переменных и интегрирования находим:

$$\ln \sigma_z = -\frac{fx}{h} + C. \quad (10)$$

Отсюда, напряжение  $\sigma_z$  равно:

$$\sigma_z = Ce^{-\frac{fx}{h}}. \quad (11)$$

Постоянная интегрирования  $C$  может быть найдена из граничного условия, что  $x = b$ ;  $\sigma_z = -\sigma_T$ :

$$C = -\sigma_T e^{\frac{fb}{h}}. \quad (12)$$

Тогда,

$$\sigma_z = -\sigma_T e^{\frac{f}{h}(b-x)}. \quad (13)$$

Выражение (13) дает возможность определить  $\sigma_z$  в любой точке контакта обрабатываемой поверхности.

Полное давление на единицу длины обрабатываемого участка может быть определено суммированием нормальных напряжений по поверхности контакта:

$$P = 2 \int_0^b \sigma_z dx = 2\sigma_T \int_0^b e^{\frac{f}{h}(b-x)} dx = \sigma_T \frac{2h}{f} \left( e^{\frac{fb}{h}} - 1 \right) \quad (14)$$

Удельное давление (усилие) может быть получено делением полного усилия на

контактную площадь:

$$p = \sigma_T \frac{h}{fb} \left( e^{\frac{fb}{h}} - 1 \right) \quad (15)$$

Как видно из полученных зависимостей нормальное напряжение, полное и удельное давления зависят от материала обрабатываемой детали и его физического состояния, определяемого величиной предела текучести  $\sigma_T$ , а также от параметра  $\frac{fb}{h}$ ,

отражающего влияние напряжённого состояния. Чем больше коэффициент трения, тем будет больше полное и удельное давление.

При вибрационной обработке происходит ослабление контакта с обрабатываемой поверхностью детали, что приводит к снижению коэффициента трения по сравнению с обычной обработкой. Следовательно, при одинаковых удельных усилиях при вибрационной обработке величина деформации и степень уплотнения (упрочнения) металла детали будет иметь большее значение по сравнению с обычной обработкой.

Результаты подсчётов удельного давления в зависимости от обрабатываемого материала и вида обработки приведены в табл. 1.

**Таблица 1**

**Удельное давление обработки**

Материал	Удельное давление $p$ , МН/м <sup>2</sup>	
	Вибрационное деформирование, $A = 0,5$ мм	Обычная обработка
Сталь 65Г	2,98	7,45
Сталь 45	2,44	6,1
Сталь 10	1,42	3,55

Как показали проведенные исследования, при вибрационном нагружении по сравнению с обычной обработкой поверхности детали (образца) требуется приложить в 2,5 раза меньше удельное давление для получения одинаковой величины деформации.

Упрочнение обрабатываемой поверхности, вызванное уплотнением металла, способствует повышению его износостойкости и, следовательно, долговечности восстанавливаемой детали.

### Литература

1. Полухин П.Н. Физические основы пластической деформации. – М.: Машиностроение, 1982. – 584с.