

# НАКОПЛЕННАЯ ВЕЛИЧИНА УПРОЧНЕНИЯ ПРИ МНОГОКРАТНОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ДЕФОРМАЦИИ С НАЛОЖЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Осипенкова Галина Алексеевна, доц.  
Пегашкин Владимир Федорович, д-р техн. наук, проф.  
E-mail: v.f.pegashkin@urfu.ru

НТИ (филиал) УрФУ  
г. Нижний Тагил

**Аннотация.** Увеличение надежности деталей возможно за счет создания поверхностных остаточных напряжений в деталях. В работе определены условия упрочнения при многократной поверхностной деформации с наложением ультразвуковых крутильных колебаний. Получена зависимость между глубиной внедрения деформирующего элемента и статической силой прижима.

**Ключевые слова.** Микрорельеф поверхности, ультразвуковая обработка.

Для увеличения остаточных напряжений в поверхностном слое деталей применяют выглаживание за два и большее число рабочих ходов [1]. В устройстве для упрочняющей обработки внутренних поверхностей деталей с наложением ультразвуковых крутильных колебаний [2] индентор совершает возвратно-крутильные колебания, что позволяет за один рабочий ход создать условия дополнительной деформации поверхностного слоя.

Коэффициент деформации определяется выражением

$$K_d = \frac{V}{V_3}, \quad (1)$$

где  $V$  – скорость вращения детали,  $V_3$  – скорость перемещения деформирующего элемента.

Скорость вращения детали

$$V = \pi D n, \quad (2)$$

где  $D$  – диаметр отверстия детали;  $n$  – частота вращения детали.

Скорость перемещения деформирующего элемента

$$V_3 = 2AN, \quad (3)$$

где  $N$  – частота ультразвуковых колебаний деформирующего элемента;  $A$  – амплитуда колебания деформирующего элемента.

Амплитуда колебания деформирующего элемента определяется из выражения

$$A = \frac{0,9998 \cdot A_k \cdot (r_k + a)}{r_k}, \quad (4)$$

где  $A_k$  – амплитуда на выходном торце концентратора;  $r_k$  – радиус деформирующего элемента;  $a$  – величина выступания деформирующего элемента после запрессовки.

Коэффициент деформации или выражение (1) с учетом выражений (2, 3, 4) примет вид

$$K_d = \frac{\pi \cdot D \cdot n \cdot r_k}{1,996 \cdot A_k \cdot (r_k + a) \cdot N}. \quad (5)$$

Условие дополнительной деформации при обратном ходе деформирующего элемента

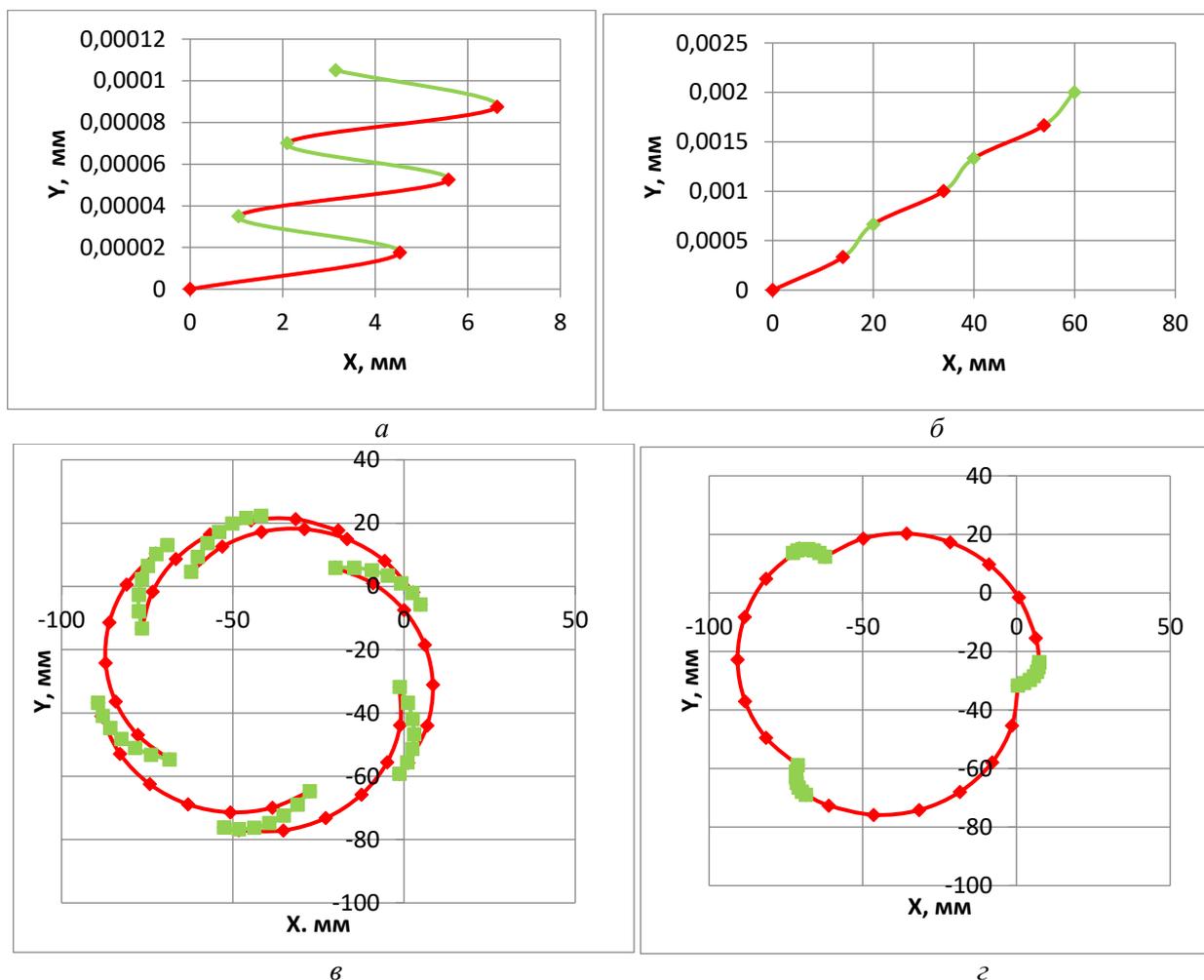
$$K_d < 1. \quad (6)$$

В таблице приводятся коэффициенты деформации, определенные по формуле (5).

На рис. 1 представлены траектории результирующего движения деформирующего элемента по поверхности детали при различных коэффициентах деформации.

Коэффициент деформации при различных диаметрах деформирующего элемента ( $d_3$ ) и частотах вращения детали ( $n$ )

| $d_3$ , м | $n$ , мин <sup>-1</sup> | $K_d$    |
|-----------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|
| 0,005     | 31,5                    | 0,076329 | 45                      | 0,109041 | 63                      | 0,152657 | 90                      | 0,218082 | 600                     | 1,45383  |
| 0,007     |                         | 0,076326 |                         | 0,109037 |                         | 0,152652 |                         | 0,218075 |                         | 1,453879 |
| 0,0075    |                         | 0,076325 |                         | 0,109036 |                         | 0,152651 |                         | 0,218073 |                         | 1,453818 |
| 0,0095    |                         | 0,076323 |                         | 0,109033 |                         | 0,152646 |                         | 0,218065 |                         | 1,45377  |
| 0,01      |                         | 0,076322 |                         | 0,109032 |                         | 0,152645 |                         | 0,218064 |                         | 1,453758 |
| 0,0105    |                         | 0,076322 |                         | 0,109031 |                         | 0,152643 |                         | 0,218062 |                         | 1,453746 |
| 0,012     |                         | 0,07632  |                         | 0,109028 |                         | 0,152639 |                         | 0,218056 |                         | 1,453709 |

Рис. 1. Траектория результирующего движения деформирующего элемента по поверхности детали в направлении подачи ( $a$ ,  $б$ ) скорости ( $в$ ,  $г$ ) при различных коэффициентах деформации:

- ♦ – прямой ход, ◆ – обратный ход, режимы:  $A = 0,07$  мм;  $d_3 = 10$  мм;  $r_k = 30$  мм;  $D = 100$  мм;  $N = 18000$  кол/с;  $a, в - n = 31,5$  мин<sup>-1</sup>;  $K_d = 0,076$ ;  $б, г - n = 600$  мин<sup>-1</sup>;  $K_d = 1,45$

Определим условия упрочнения.

Первое условие

$$K_d < 1.$$

Второе условие

$$\sigma_y < \sigma_{\text{деф}} < \sigma_B, \quad (7)$$

где  $\sigma_{\text{деф}}$  – напряжение деформации;  $\sigma_y$  – предел упругости;  $\sigma_B$  – временное сопротивление.

Осевые (в направлении  $s$ ) остаточные напряжения в 1,5–2 раза больше, чем в направлении скорости [2]. Поэтому рассмотрим напряжение деформации в направлении подачи при прямом и обратном ходе:

$$\sigma_{\text{деф}} = 2 \frac{P}{F_{\text{сег}}}, \quad (8)$$

где  $P$  – статическая сила прижима;  $F_{\text{сег}}$  – площадь контакта в направлении подачи.

Площадь контакта в направлении подачи определим из выражения

$$F_{\text{сег}} = \frac{r_3}{2} (\alpha - \sin \alpha), \quad (9)$$

где 
$$\alpha = 2 \arccos \frac{r_3 - h}{r_3}. \quad (10)$$

Выражение 8 с учетом выражений 9 и 10 примет вид

$$\sigma_{\text{деф}} = (4P) / \left( r_3 \left( 2 \arccos \left( \frac{r_3 - h}{r_3} \right) - \sin \left( 2 \arccos \left( \frac{r_3 - h}{r_3} \right) \right) \right) \right). \quad (11)$$

Глубина внедрения деформирующего элемента:

$$h = \left( \frac{0.38P \left( \frac{1-\mu^2}{E} + \frac{1-\mu_1^2}{E_1} \right)^{\frac{2}{3}}}{\sqrt{d_3}} \right)^{\frac{2}{3}}. \quad (12)$$

При  $P = 5$  Н;  $d_3 = 0,01$  м напряжение составит  $\sigma_{\text{деф}} = 7,41$  МПа.

#### Библиографический список

1. Пегашкин, В. Ф. Выглаживание поверхности отверстий с использованием УЗ крутильных колебаний / В. Ф. Пегашкин, Г. А. Осипенкова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2019. – № 4. – С. 69–73.
2. Патент 185980 РФ Устройство для упрочняющей обработки внутренних поверхностей деталей / Пегашкин В. Ф., Осипенкова Г. А. ; заявитель и патентообладатель Уральский федеральный университет – Оpubл. 25.12.2018, Бюл. № 36. – 8 с.
3. Смелянский, В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием. – Москва : Машиностроение, 2002. – 300 с., ил.