**I. ТЕОРІЯ ПРОЦЕСІВ ТА МАШИН**

Горбенко А. В.

*Полтавская  
государственная  
аграрная академия*

УДК 621.9 – 048

**ВЛИЯНИЕ  
УЛЬТРАЗВУКОВОГО  
ВЫГЛАЖИВАНИЯ НА  
ПАРАМЕТРЫ  
ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ***Розглянуто процес ультразвукового  
вигладжування та впливу режимів обробки на параметри  
поверхневого шару.**The process ultrasonic is considered to iron that effects  
of modes of processing on parameters of a surface layer.*

Характер взаимного расположения микронеровностей в значительной степени определяет эксплуатационные свойства деталей. Использование ультразвукового выглаживания позволяет широко управлять характером и величиной углублений для запаса смазки и получать регулярный микрорельеф.

Изменение характера и плотности микрорельефа достигается выбором режимов обработки: скорости вращения детали, подачи инструмента, амплитуды и частоты колебаний, усилия прижатия инструмента к детали, а также радиуса сферической части инструмента. Однако, в литературных источниках мало изучены процессы, которые происходят при ультразвуковом выглаживании [1,2].

В процессе обработки инструмент прижимается к обрабатываемой поверхности с определенным усилием  $P$  и совершает колебания ультразвуковой частоты с определенной амплитудой  $A$ , деформируя при этом поверхностный слой на глубину  $h_0$  и сглаживая исходные неровности. Высота шероховатости в направлении вращения значительно меньше, чем высота шероховатости в направлении подачи (поперечная шероховатость). Вследствие того, что контакт инструмента с поверхностью происходит прерывно с большой частотой, сферическая часть инструмента нагружена равномерно, что нехарактерно для обычного выглаживания. Поэтому при ультразвуковом выглаживании отсутствует тангенциальная составляющая силы прижатия инструмента,

что способствует равномерному износу инструмента.

После каждого оборота обрабатываемой детали пятно контакта перемещается в осевом направлении на величину  $s$ , которая должна быть меньше чем длина контакта для образования перекрытия зоны обработки при последующих оборотах детали.

В результате пластического деформирования обрабатываемой поверхности происходит сглаживание исходных неровностей и образование нового микрорельефа поверхности со значительно меньшей высотой профиля шероховатости, который можно определить из равенства:

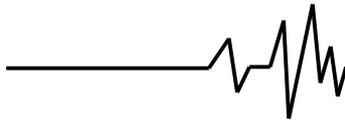
$$R_z = h_1 + h_2 + h_3, \quad (1)$$

где  $h_1$  – составляющая профиля шероховатости, которая зависит от формы инструмента и кинематики его перемещения;  $h_2$  – составляющая, которая характеризует деформацию поверхностного слоя в зоне контакта;  $h_3$  – составляющая, что обуславливается шероховатостью инструмента.

Составляющая  $h_1$  зависит от продольной подачи и радиуса сферической части инструмента и определяется из уравнения [3]:

$$h_1 = \frac{s^2}{8r_{ин}}, \quad (2)$$

где  $s$  – подача рабочего инструмента, мм/об;  $r_{ин}$  – радиус сферической части инструмента, мм.



При ультразвуковом выглаживании составляющая  $h_2$  определяется как разность исходной высоты шероховатости  $R_z^{ucx}$  и величины ее пластических деформаций  $h_{пл}$ , с учетом многократности деформирования  $z$ :

$$h_2 = R_z^{ucx} - zh_{пл}. \quad (3)$$

Многократность деформирования единицы обрабатываемой поверхности определяется из уравнения:

$$z = 0,06 \frac{f}{v_{дем}} \cdot s, \quad (4)$$

где  $f$  – частота колебаний рабочего инструмента, Гц;  $v_{дем}$  – скорость относительного перемещения детали, м/с.

Величина пластической деформации исходной шероховатости определяется формированием фактической площади контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью, которая с учетом исходной шероховатости определяется по следующей зависимости [4]:

$$F_{\phi} = F_{ном} \frac{t_m^{ucx}}{100} \left( \frac{h_{пл}}{R_p^{ucx}} \right)^{v^{ucx}}, \quad (5)$$

где  $F_{ном}$  – номинальная площадь контакта инструмента с заготовкой, мм<sup>2</sup>;  $t_m^{ucx}$  – относительная длина опорной линии исходного профиля шероховатости на уровне средней линии, %;  $R_p^{ucx}$  – высота сглаживания исходного профиля шероховатости, мм.

Параметр начального участка кривой опорной линии исходного профиля шероховатости  $v^{ucx}$  может быть определен:

$$v^{ucx} = \frac{t_m^{ucx} R_p^{ucx}}{50 R_a^{ucx}} - 1. \quad (6)$$

Номинальная площадь контакта сферического инструмента с заготовкой определяется по выражению:

$$F_{ном} = 2\pi r_{ин} (h_{деф} - h_{упр}), \quad (7)$$

где  $h_{деф}$  – глубина внедрения инструмента в обрабатываемую поверхность, мм;  $h_{упр}$  – величина упругого восстановления.

Глубину внедрения инструмента в обрабатываемую поверхность можно определить из уравнения:

$$h_{деф} = r_{ин} - \frac{1}{2} \sqrt{4r_{ин}^2 - a^2}, \quad (8)$$

где  $a$  – приведенный радиус пластического отпечатка, определяемый по зависимости:

$$a = 0,721^3 \sqrt{2P_{см} r_{ин} (\Theta_1 + \Theta_2)}, \quad (9)$$

где  $\Theta_1$  и  $\Theta_2$  – коэффициенты, зависящие от свойств материала соответственно обрабатываемой детали и инструмента и определяемые по следующим зависимостям:

$$\Theta_1 = \frac{1 - \mu_1^2}{E_1} \quad (10)$$

$$\Theta_2 = \frac{1 - \mu_2^2}{E_2}, \quad (11)$$

где  $\mu_1$  и  $\mu_2$  – коэффициенты Пуассона обрабатываемого материала и инструмента соответственно;  $E_1$  и  $E_2$  – модули упругости исследуемого материала и инструмента, Н/м<sup>2</sup>.

Подставляя выражение (9) в уравнение (8) получим зависимость для определения глубины внедрения сферического инструмента в обрабатываемую поверхность:

$$h_{деф} = r_{ин} - \frac{1}{2} \sqrt{4r_{ин}^2 - \left[ 0,721^3 \sqrt{2P_{см} r_{ин} (\Theta_1 + \Theta_2)} \right]^2} \quad (12)$$

Величину упругого восстановления можно определить из выражения [4]:

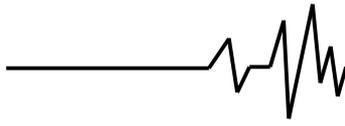
$$h_{упр} = \frac{11}{32E_1} \sqrt{\pi c'' \sigma_T}, \quad (13)$$

где  $c''$  – коэффициент стеснения, определяемый отношением среднего давления на площадку контакта и напряжением текучести.

Фактическая площадь контакта определяется также из условия несущей способности упрочненной поверхности:

$$F_{\phi} = \frac{1,5(1 + f_y^2)^{0,5} P_{см}}{c'' \sigma_T}, \quad (14)$$

где  $f_y$  – значение коэффициента трения при наложении ультразвуковых колебаний.



После подставлений соответствующих выражений и преобразований получаем уравнение для расчета высоты неровностей профиля:

$$R_z = \frac{s^2}{8r_{ун}} + R_z^{ucx} - zR_p^{ucx} \times \left[ \frac{75P_{cm} \left[ 1 + \left( 1 - \frac{2}{\pi} \arccos \frac{v_{дем}}{A} \right) \right]}{\pi \sigma_T t_m^{ucx} c'' r_{ун} (h_{деф} - h_{упр})} \right]^{\frac{1}{v^{ucx}}} + R_z^{ун} \quad (18)$$

Таким образом, полученные теоретические зависимости могут быть использованы при определении параметров шероховатости обработанной поверхности ультразвуковым выглаживанием.

### Литература

1. Импульсные технологии упрочнения поверхностей деталей машин: (Монография) / Под ред. В. Н. Тилипалова. – Калининград: ГТУ, 2007 – 277 с.
2. Марков А.И., Устинов И.Д. Ультразвуковое алмазное выглаживание деталей и режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1979. – 54с.
3. Смелянский В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 2002. – 299с.
4. Одинцов Л.Г. Финишная обработка деталей алмазным выглаживанием и вибровыглаживанием. – М.: Машиностроение, 1981. – 160с.