

## Определение площади контакта при волочении с колебаниями инструмента

*Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

В материалах статьи представлено решение задачи по определению площади контакта протягиваемого металла с колеблющимся инструментом. Получены упрощенные зависимости, а также определено влияние осевой подачи виброинструмента на величину проекции контакта при различных углах волочения. Установлено, что повышение величины осевой подачи на одно колебание инструмента сопровождается ростом проекции площади контакта, а углы волочения  $\alpha$ , равные 10...15°, дают наиболее значительное снижение проекции контактной поверхности и существенно повышают качество изготавливаемых изделий.

**Ключевые слова:** волочение, контактная поверхность, осевая подача, проекция контакта, угол волочения.

### 1. Постановка проблемы и анализ последних исследований и публикаций

Для решения задачи по определению силовых параметров процесса, обеспечивающих качество изделий, необходимо знать площадь контакта протягиваемого металла с колеблющимся инструментом.

При определении деформирующего усилия через удельное надо предварительно найти проекцию контактной площади на плоскость, перпендикулярную оси волочения. При изучении же геометрии очага деформации требуется определить полную поверхность контакта инструмента и заготовки.

В известных работах [1–3] получены выражения лишь для определения полной контактной поверхности. Кроме того, найденные зависимости сложны и громоздки, что существенно затрудняет анализ процесса.

**Целью работы** является определение проекции контактной поверхности на плоскость, перпендикулярную оси волочения, и полной площади контактной поверхности.

### 2. Изложение основного материала

Текущее значение радиуса контактной поверхности  $R_k$  находится из рассмотрения геометрии очага деформации (рис. 1).

После соответствующих преобразований и упрощений выражение для определения  $R_k$  имеет вид

$$R_k = \frac{D_1}{2k} + S \frac{1 - \cos 2\alpha}{2\theta(1 + \cos \varphi)}, \quad (1)$$

где  $k$  – степень деформации (при безоправочном волочении равна отношению  $D_1/D_2$ );

$S$  – осевая подача заготовки на одно колебание инструмента;

$\varphi$  – угол, определяющий положение  $R_k$  относительно оси симметрии контактной поверхности (рис. 2).

Остальные обозначения ясны из рис. 1.

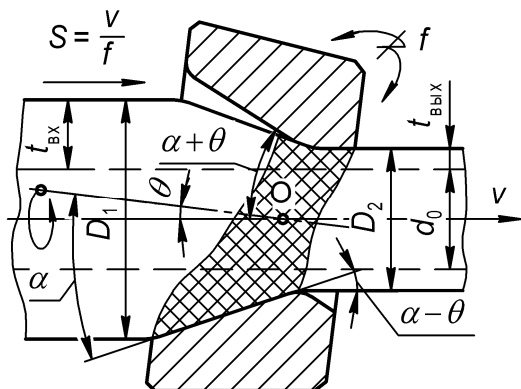


Рис. 1. Расчетная схема к определению площади контактной поверхности (заштрихована):  $O, 2\theta, f$  – центр, амплитуда и частота колебаний

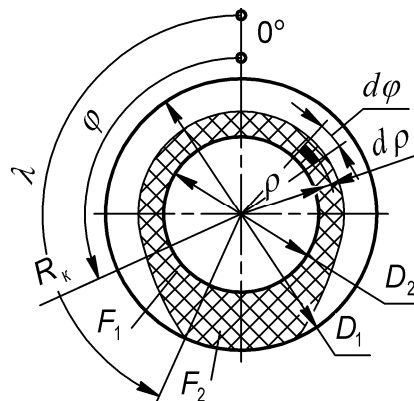


Рис. 2. Проекция зоны контакта на плоскость, перпендикулярную оси волочения (заштрихована)

Найдем значение угла  $\varphi$ , при котором  $R_k$  имеет максимальную величину. Из рис. 2 видно, что этому случаю соответствует равенство

$$R'_k = D_1/2.$$

После подстановки условия в формулу (1) получим

$$\lambda = \arccos \left[ \frac{kS(1 - \cos 2\alpha)}{D_1\theta(k - 1)} \right], \quad (2)$$

где  $\lambda$  – значение угла, при котором радиус контактной поверхности равен радиусу заготовки.

В соответствии с показанной на рис. 2 схемой суммарная поверхность контакта состоит из двух частей

$$F_{\text{пр}} = 2(F_1 + F_2), \quad (3)$$

Площадь  $F_1$ , лежащая в пределах от 0 до  $\lambda$ , находится следующим образом:

$$F_1 = \int_0^\lambda d\varphi \int_{\frac{D_1}{D_2}}^{R_k} \rho d\rho = \int_0^\lambda d\varphi \frac{\rho^2}{2} \Big|_{\frac{D_2}{2}}^{R_k} = \int_0^\lambda d\varphi \left( \frac{R_k^2}{2} - \frac{D_2^2}{8} \right). \quad (4)$$

После подстановок и необходимых математических преобразований получаем

$$F_1 = \frac{D_1 S (1 - \cos 2\alpha)}{4k\theta} \operatorname{tg} \frac{\lambda}{2} + \frac{S^2 (1 - \cos 2\alpha)^2}{16\theta^2} \left( \frac{1}{3} \operatorname{tg}^3 \frac{\lambda}{2} + \operatorname{tg} \frac{\lambda}{2} \right). \quad (5)$$

Контактная поверхность  $F_2$  ограничивается угловым интервалом  $(\lambda - \pi)$ :

$$F_{\text{пр}} = \int_{\lambda}^{\pi} d\varphi \int_{\frac{D_2}{2}}^{\frac{D_1}{2}} \rho d\rho = \int_{\lambda}^{\pi} d\varphi \frac{\rho^2}{2} \Big|_{\frac{D_2}{2}}^{\frac{D_1}{2}} = \int_{\lambda}^{\pi} \left( \frac{D_1^2}{8} - \frac{D_2^2}{8} \right) d\varphi = \frac{D_1^2(k^2 - 1)}{8k^2} (\pi - \lambda). \quad (6)$$

Окончательное выражение для площади контакта (4) имеет вид

$$F_{\text{пр}} = \frac{D_1 S (1 - \cos 2\alpha)}{2k\theta} \operatorname{tg} \frac{\lambda}{2} + \frac{S^2 (1 - \cos 2\alpha)^2}{24\theta^2} \left( \operatorname{tg}^3 \frac{\lambda}{2} + 3 \operatorname{tg} \frac{\lambda}{2} \right) + \frac{D_1^2 (k^2 - 1)}{4k^2} (\pi - \lambda). \quad (7)$$

Для оправочного волочения деформационный показатель  $\mu$  имеет значение [2]:

$$\mu = \frac{D_1}{D_2} \cdot \frac{t_{\text{ВХ}}}{t_{\text{ВЫХ}}}.$$

Степень деформации  $k$  и коэффициент вытяжки  $\mu$  связаны зависимостью

$$k = \frac{D_1}{d_0 + \frac{2t_{\text{ВХ}}}{\mu}}, \quad (8)$$

где  $d_0$  – диаметр оправки.

При расчетах волочения на оправке в выражение (7) взамен  $k = D_1/D_2$  необходимо подставлять последнюю зависимость.

Для нахождения полной поверхности контакта инструмента с заготовкой используем следующее соотношение (рис. 3):

$$F_{\text{полн}} = F_{\text{пр}} / \sin \beta. \quad (9)$$

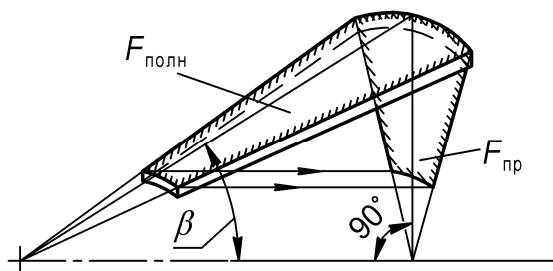


Рис. 3. К расчету полной площади контакта

В рассматриваемом процессе угол  $\beta$  меняется от  $(\alpha + \theta)$  при  $\varphi = 0$  до  $(\alpha - \theta)$  при  $\varphi = 180^\circ$  (рис. 1).

Разбиваем проекцию контактной поверхности (рис. 2) на две зоны и записываем для них граничные условия.

I зона – ограничена значениями угла  $\varphi$ , лежащими в пределах  $0 \leq \varphi \leq \pi/2$ . Для этой зоны принимаем, что

$$\angle \beta^I \approx (\alpha + \theta). \quad (10)$$

II зона – расположена в угловом диапазоне  $\pi/2 \leq \varphi \leq \pi$ . Здесь

$$\angle \beta^{\text{II}} \approx (\alpha - \theta). \tag{11}$$

Для каждой зоны находим площадь проекции контакта на плоскость, перпендикулярную оси волочения. Промежуточное уравнение полной площади контактной поверхности имеет вид

$$F_{\text{полн}} = 2 \left[ \frac{F_1}{\sin(\alpha + \theta)} + \frac{F_2}{\sin(\alpha - \theta)} \right]. \tag{12}$$

Если значение угла  $\lambda$  будет лежать в области I зоны, окончательно величина  $F_{\text{полн}}$  запишется уравнением

$$F_{\text{полн}}^{\lambda^{\text{I}}} = \frac{D_1 S (1 - \cos 2\alpha) \operatorname{tg} \lambda/2}{2k\theta \sin(\alpha + \theta)} + \frac{S^2 (1 - \cos 2\alpha)^2}{24\theta^2 \sin(\alpha + \theta)} \left( \operatorname{tg}^3 \frac{\lambda}{2} + 3 \operatorname{tg} \frac{\lambda}{2} \right) + \frac{D_1^2 (k^2 - 1) (\pi/2 - \lambda)}{4k^2 \sin(\alpha + \theta)} + \frac{D_1^2 (k^2 - 1) \pi}{8k^2 \sin(\alpha - \theta)}. \tag{13}$$

Для углов  $\lambda$ , лежащих во II зоне, можно записать

$$F_{\text{полн}}^{\lambda^{\text{II}}} = \frac{D_1 S (1 - \cos 2\alpha)}{2k\theta \sin(\alpha + \theta)} + \frac{S^2 (1 - \cos 2\alpha)^2}{6\theta^2 \sin(\alpha + \theta)} + \frac{D_1 S (1 - \cos 2\alpha) \operatorname{tg} (\lambda/2 - 1)}{2k\theta \sin(\alpha - \theta)} + \frac{S^2 (1 - \cos 2\alpha)^2 (\operatorname{tg}^3 \lambda/2 + 3 \operatorname{tg} \lambda/2 - 4)}{24\theta^2 \sin(\alpha - \theta)} + \frac{D_1^2 (k^2 - 1) (\pi - \lambda)}{4k^2 \sin(\alpha - \theta)}. \tag{14}$$

Расчетные значения проекций зоны контакта представлены на рис. 4 в виде графических зависимостей  $F_{\text{пр}} = f(\theta)$  для различных углов волочения  $\alpha$  и двух осевых подач  $S$ .

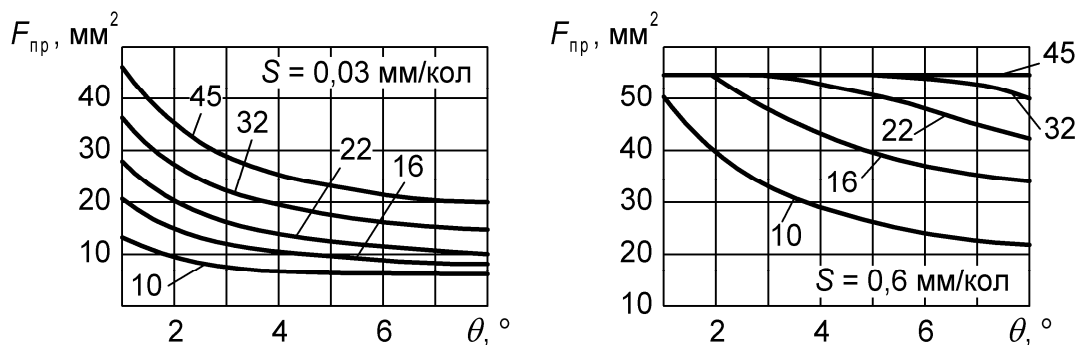


Рис. 4. Влияние осевой подачи  $S$  на величину проекции контакта  $F_{\text{пр}}$  при различных углах волочения  $\alpha$  (цифры у кривых)

### Выводы

Выполненные расчеты позволили определить площадь контакта протягиваемого металла с колеблющимся инструментом при волочении. Анализируя полученные графики, нами было установлено, что:

1. Увеличение угла  $\theta$  до  $2...3^\circ$  приводит к наибольшему уменьшению площади контакта. Дальнейшее увеличение угловой амплитуды колебаний не дает существенного снижения проекции контактной зоны.

2. Повышение величины осевой подачи  $S$  на одно колебание инструмента сопровождается ростом проекции площади контакта.

3. Небольшие углы волочения  $\alpha$  ( $10...15^\circ$ ) дают наиболее значительное снижение проекции контактной поверхности и повышают качество изготавливаемого изделия.

### Список литературы

1. Корякин, Н. А. Геометрические параметры зоны контакта обкатывающегося инструмента с деформируемой заготовкой [Текст] / Н. А. Корякин [и др.] // Исследование машин и технологии кузнечно-штамповочного производства : сб. тр. – Ижевск, 1975.

2. Перлин, И. Л. Теория волочения [Текст] / И. Л. Перлин, М. З. Ерманок. – изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Metallurgia, 1971. – 448 с. : ил.

3. Огородников, В. А. Оценка деформируемости металла при обработке металлов давлением [Текст] / В. А. Огородников. – К. : Вища школа, 1983. – 175 с.

Поступила в редакцию 11.11.2015.

## Визначення площі контакту при волочінні з коливаннями інструмента

У матеріалах статті представлено рішення задачі по визначенню площі контакту металу, що протягується, з інструментом, який коливається. Отримано спрощені залежності, а також визначено вплив осьової подачі віброінструмента на величину проекції контакту при різних кутах волочіння. Встановлено, що збільшення величини осьової подачі на одне коливання інструменту супроводжується зростанням проекції площі контакту, а кути волочіння  $\alpha$ , що рівні  $10...15^\circ$ , дають найбільш значне зниження проекції контактної поверхні та суттєво підвищують якість виробів, що виготовляються.

**Ключові слова:** волочіння, контактна поверхня, осьова подача, проекція контакту, кут волочіння.

## Determination of the Area of Contact at Dragging with the Vibrations of the Instrument

In the materials of this article is submitted the solution of the task on determination of the area of contact of the stretched metal with the vibrating instrument. The simplified dependences are received, and also influence of axial giving of the vibrotool on contact projection size at various corners of drawing is defined. It is established that increase of size of axial giving on one vibration of the tool is followed by growth of a projection of the area of contact, and the corners of dragging  $\alpha$ , equal  $10...15^\circ$ , give the most considerable decrease in a projection of a contact surface and significantly increase quality of the produced products.

**Keywords:** dragging, contact surface, axial giving, contact projection, dragging corner.