

ВОЗМОЖНЫЕ ВАРИАНТЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТОЧЕК ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ (ППД) РОЛИКАМИ

Отений Я. Н., Мартыненко О.В., Эпов А.А.

Камышинский технологический институт (филиал) Государственного образовательного учреждения «Волгоградский государственный технический университет», г. Камышин, Россия (403874, г. Камышин, ул.Ленина, 6А) ktm@kti.ru

В работе были проанализированы особенности течения металла при передвижении ролика по обрабатываемой поверхности при поверхностном пластическом деформировании. Было установлено, что упруго-пластическое течение металла в зоне деформации является основной причиной качественного преобразования поверхностного слоя при поверхностном пластическом деформировании. При этом важно установить особенности течения металла при качении ролика по деформируемой поверхности, используя связи, наложенные на материальные точки, которые расположены на заданной поверхности. Были исследованы составляющие действительных перемещений точек поверхности детали, вычислены траектории, по которым движутся точки поверхности ролика. Рассмотрены варианты перемещения точек деформируемой поверхности по различным кривым и получены математические зависимости, описывающие эти перемещения. Полученные зависимости определяют кинематику точек деформируемой поверхности и могут служить приближенным описанием процесса деформирования.

Ключевые слова: деформирование, ролики, траектория, поверхностный слой.

POSSIBLE DISPLACEMENT VARIANTS OF THE SURFACE MATERIAL POINTS DURING THE SURFACING BY THE PLASTIC DEFORMATION BY ROLLERS

Martynenko O. V., Oteniy Y. N., Epov A. A.

Kamyshin Technological Institute (branch) of Volgograd State Technical University, Kamyshin, Russia (403874, Kamyshin, Lenin st., 6A) ktm@kti.ru.

This work analyzes special characteristics of the metal flow during the motion of the rollers over the work surface at the time of the surface plastic deformation. It was determined that the elastic-plastic metal flow in the deformation area is the main reason for the quality transformation of the surface layer during the surface plastic deformation. It is also important to determine the distinctive features of the metal flow during the roller motion over the deformed surface using the links attached to the material points that are located over the specified surface. The components of the actual displacements of the detail surface points were examined, also the trajectories over which the points of the surface of the roller are moving were calculated. The displacements variants of the deformed surface points over different curves were studied as well as mathematical relations explaining this characteristics. Derived dependencies define kinematics of the points of the deformed surface and could serve as an approximate description of the deformation process.

Key words: deformation, rollers, trajectory, work surface .

Упруго-пластическое течение металла в зоне деформации является основной причиной качественного преобразования поверхностного слоя при ППД. Накатывание роликами относят к статическим процессам. Такое определение подразумевает неизменяемость усилия деформирования на всем протяжении обработки, тем не менее, оно протекает с определенной скоростью.

Установление особенностей течения металла при качении ролика по деформируемой упруго-пластической поверхности может быть основано на понятии о связях, наложенных на материальные точки, которые расположены на заданной поверхности. При условии наложения связей действительное перемещение точек поверхности детали в выбранной системе координат равно геометрической сумме их совместного перемещения с соприкасаемыми точками ролика и дополнительного смещения этих же точек относительно поверхности ролика. Вся проблема заключается в установлении этой второй составляющей.

В процессе качения дуги окружности, образуемой при сечении ролика и детали плоскостью, перпендикулярной оси ролика, при отсутствии проскальзывания, нижняя точка O той же окружности (рис.1) является мгновенным центром вращения, то есть неподвижной относительно деформируемой поверхности.

Скорость любой другой точки $M(x,z)$ дуги окружности ролика, находящейся в контакте с деформируемой поверхностью равна:

$$V_M = \omega_P \cdot \rho_M \quad (1)$$

где: ρ_M – радиус-вектор, проведенный из точки O в точку $M(x,y)$.

Касательная V_{km} и нормальная V_{nm} – составляющие этого вектора к дуге указанной окружности – определяются из равенств:

$$V_n = V_M \cdot \cos \theta; \quad V_k = V_M \cdot \sin \theta \quad (2)$$

где: θ – угол между радиусом-вектором ρ_M , проведенным из центра окружности O_P в точку $M(x,y)$, и направлением скорости V_M , перпендикулярным радиус-вектору ρ_M .

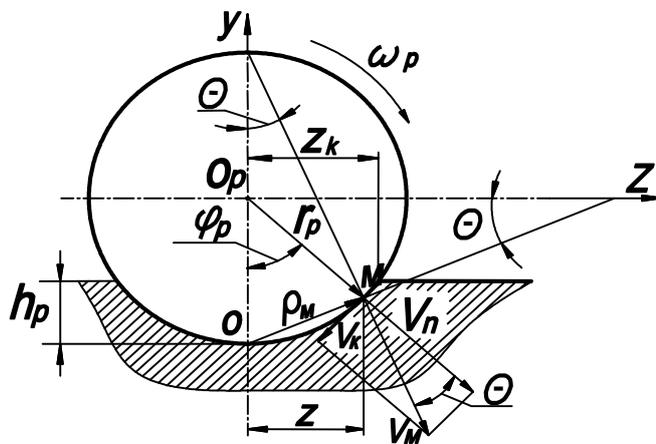


Рис.1. Схема для определения кинематики точек деформируемой поверхности вала без проскальзывания

Для функций $\sin \theta$ и $\cos \theta$ имеем следующие соотношения:

$$\sin \theta = \frac{r_p - \sqrt{r_p^2 - z^2}}{\rho_M}, \quad \cos \theta = \frac{z}{\rho_M}; \quad (3)$$

С учетом этих соотношений получим:

$$V_{n''} = \omega_p \cdot \left(r_p - \sqrt{r_p^2 - z^2} \right); \quad (4)$$

$$V_{k''} = \omega_p \cdot z. \quad (5)$$

Для вычисления траекторий, по которым движутся точки поверхности ролика, сделаем подстановки:

$$z = r_p \cdot \sin \varphi_p; \quad \cos \varphi_p = \sqrt{1 - \sin^2 \varphi_p},$$

где φ_p – угол контакта, проведенный из центра ролика в точку $M(x, y)$.

Таким образом:

$$V_{n''} = r_p \cdot \omega_p \cdot (1 - \cos \varphi_p); \quad (6)$$

$$V_{z''} = r_p \cdot \omega_p \cdot \sin \varphi_p. \quad (7)$$

Поскольку:

$$\varphi_p = \omega_p \cdot t; \quad d\varphi_p = \omega_p \cdot dt;$$

где t – время перекатывания ролика по поверхности детали, то, интегрируя (6) и (7) по времени, получим:

$$s_n = r_p \cdot \int_0^t \omega_p \cdot (1 - \cos \varphi_p) \cdot dt = r_p \cdot \int_0^{\varphi_p} (1 - \cos \varphi_p) \cdot d\varphi_p = r_p \cdot (\varphi_p - \sin \varphi_p); \quad (8)$$

$$s_z = r_p \cdot \int_0^t \omega_p \cdot \sin \varphi_p \cdot dt = r_p \cdot \int_0^{\varphi_p} \sin \varphi_p \cdot d\varphi_p = r_p \cdot (1 - \cos \varphi_p) \quad (9)$$

Последние два значения интегралов являются уравнениями циклоид, заданных в параметрической форме.

Поле перемещений точек деформируемой поверхности, описываемое циклоидами (8) и (9), является граничным в том смысле, что действительные траектории не могут быть расположены левее, чем эти траектории. В противном случае, составляющие перемещения будут направлены против сил, выталкивающих металл из зоны обработки, а это невозможно, так как течение металла должно быть направлено в сторону роста напряжений.

Рассмотрим перемещение точек деформируемой поверхности перпендикулярно дугам окружностей, образуемых в сечении ролика при его качении (рис.2, а). В этом случае дуги окружностей представляют семейство, описываемое уравнением:

$$f(z, y, s) = (x - s)^2 + y^2 - r_p^2 = 0, \quad (10)$$

где: s – параметр семейства окружностей.

В предположении, что точки обрабатываемой поверхности перемещаются перпендикулярно поверхности ролика, заключаем, что их траектории движения совпадают с ортогональными линиями семейства (10).

Для определения уравнения семейства ортогональных кривых продифференцируем уравнение (10) по z :

$$(z - s) + y \cdot y' = 0, \quad (11)$$

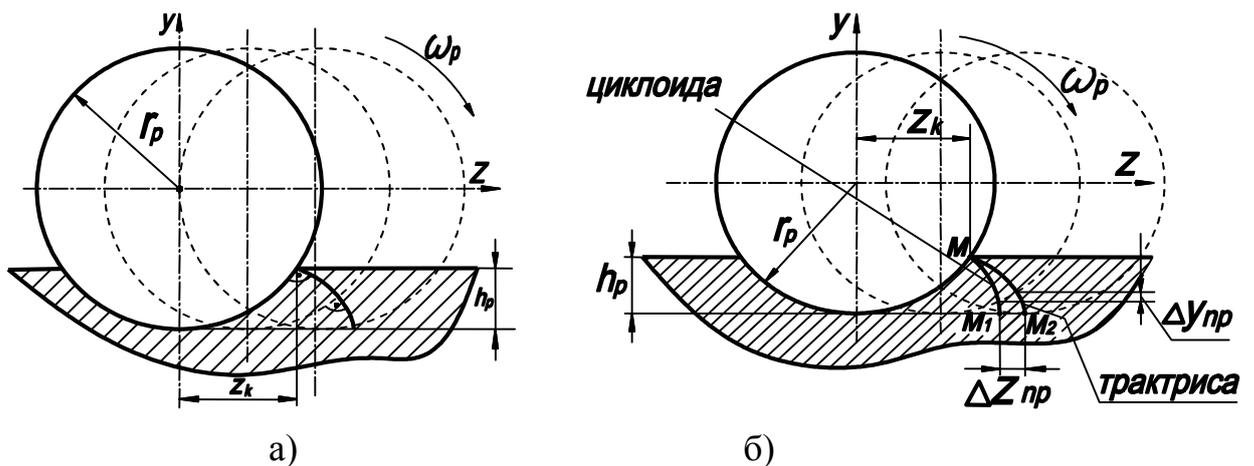


Рис.2. Схема для определения траекторий движения точек деформируемой поверхности перпендикулярно поверхности ролика. Сравнение движения точек деформируемой поверхности по циклоидам и трактрисам

Исключив из двух уравнений (10) и (11) параметр s , получим уравнение:

$$\sqrt{r_p^2 + y^2} + y \cdot y' = 0, \quad (12)$$

которое определяет семейство линий, касательных к семейству (10). Заменяя в уравнении (12) y' на $1/y'$, получим:

$$\frac{dx}{dy} = \frac{\sqrt{r_p^2 - y^2}}{y}.$$

Интеграл этого уравнения определяет семейство траекторий точек деформируемой поверхности в плоскости сечения следующего вида:

$$z = r_p \cdot \ln \left[\frac{r_p^2 - \sqrt{r_p^2 + y^2}}{y} \right] - \sqrt{r_p^2 + y^2} + C_0; \quad (13)$$

где: C_0 – постоянная характеризующая конкретную точку поверхности детали. Это уравнение трактрисы. В параметрической форме это же уравнение будет иметь вид:

$$y_T = r_p \cdot \sin \varphi_p; \quad (14)$$

$$z_T = r_p \cdot \left(\cos \varphi_p + \ln \operatorname{tg} \frac{\varphi_p}{2} \right). \quad (15)$$

Совместим начала циклоид и трактрис в одной точке M , расположенной на поверхности ролика (рис.2,б).

Из рисунка видно, что движение по трактрисе можно осуществить в виде суммы двух перемещений: перемещение по участку циклоиды от точки M до M_2 , а затем по дуге окружности – от M_1 до M_2 . В горизонтальном направлении величина сдвига равна:

$$\Delta x = \left[\cos \varphi_p + \ln \operatorname{tg} \frac{\varphi_p}{2} - (\varphi_p - \sin \varphi_p) \right]. \quad (16)$$

Наличием сдвига поверхностного слоя можно объяснить возникновение при ППД преимущественно остаточных напряжений сжатия, т.к. в процессе обработки наружный слой растягивается, причем, чем меньше диаметр ролика при одной и той же глубине внедрения, тем больше растяжение поверхностного слоя.

Аналогичная картина будет наблюдаться для любых других кривых, расположенных правее циклоид.

Список литературы

1. Дрозд М.С., Федоров А.В., Сидякин Ю.М. Расчет глубины распространения пластической деформации в зоне контакта тел произвольной кривизны // Вестник машиностроения. – 1973. – № 1. – С. 54-57.
2. Мастеров В.А., Беркович В.С. Теория пластической деформации и обработка металлов давлением. – М.: Металлургия, 1989. – 236 с.
3. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка ППД. – М.: Машиностроение, 1978. – 150 с.
4. Шнейдер Ю.Г. Технология финишной обработки давлением. – СПб.: Политехник, 1998. – 414 с.

5. Джонсон У., Меллор П. Теория пластичности для инженеров. – М.: Машиностроение, 1979. – 565 с.

Рецензенты:

Клепиков В.В., д.т.н., профессор, зам. зав. кафедрой «Технология и металлорежущие системы автомобилестроения», «Московский государственный индустриальный университет», г. Москва.

Таратынов О.В., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Технология и металлорежущие системы автомобилестроения», «Московский государственный индустриальный университет», г. Москва.