

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ППД РОЛИКАМИ С САМОПОДАЧЕЙ

Никифоров Н.И.

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

В статье рассмотрены особенности протекания процесса проскальзывания при обработке ППД роликами с самоподачей. Приведенная методика определения проскальзывания основана на рассмотрении подобия фрикционного взаимодействия конического деформирующего ролика и заготовки с фрикционными передачами коническими катками. На ее основании определены место расположения точки, в которой отсутствует проскальзывание при передаваемом крутящем моменте, равному нулю, и направление ее перемещения при увеличении крутящего момента при разных по форме деформирующих роликах. С применением полученной математической зависимости по определению разности скорости ролика и детали в произвольной точке контакта аналитически определена мощность проскальзывания и поверхностного пластического деформирования детали. Полученные результаты свидетельствуют, что потери на проскальзывание составляют менее 1% от общих затрат мощности на обработку ППД.

Ключевые слова: ППД, поверхностное пластическое деформирование, самоподача, совмещенная обработка резанием и ППД роликами, проскальзывание.

ANALYTICAL DEFINITION OF SLIPPAGE AT PROCESSING SPD BY ROLLERS WITH SELF-GIVING

Nikiforov N.I.

Reader of Kamyschin Technological Institut (branch) of Volgograd State Technical University, Cand. Tech. Sci.

The article describes the features of the process of slippage in the processing of self-feeding rollers with SCD. The above method of determining the slip based on the consideration of similarity of frictional interaction cone deforming roller and the work piece with friction gears conical rollers. On the basis of its determined location of the point at which there is no slippage when the transmitted torque is zero and its direction of movement of an increase in torque at different shapes deforming rollers. With the use of the resulting mathematical relationship to identify the difference between the rate of roll and details at any point of contact is determined analytically and power sliding surface plastic deformation details. The results suggest that the loss of the micro-slip is less than 1% of the total cost of power to the processing of SPD.

Key words: SPD, surface plastic deformation, self-feeding, overlapped processing by cutting and SPD by rollers, slippage.

Для обработки поверхностным пластическим деформированием (ППД) характерно проскальзывание в зоне контакта деформирующего ролика с обрабатываемой деталью. При отсутствии проскальзывания не будут получены высокие показатели по такому параметру, как шероховатость поверхности. Наглядно проиллюстрировать это можно при статическом вдавливании деформирующего элемента. На рис. 1 представлена фотография остаточного отпечатка, полученная при вдавливании шарика в поверхность детали. Из фотографии видно, что на поверхности контакта даже при больших усилиях и величинах внедрения видны следы шероховатости от предшествующей обработки. Это подтверждает известный тезис о том, что смятие шероховатости не предшествует вдавливанию ролика в сплошную массу металла, а оба эти процесса происходят одновременно. Таким образом, возможность получения поверхности с низкой шероховатостью обеспечивается не только созданием определенных контактных давлений, но и наличием интенсивного выглаживания, за счет проскальзывания в контакте. Можно предположить, что именно

наличие проскальзывания обеспечивает существенное уменьшение шероховатости при обработке коническими роликами.

Рассмотрим особенности протекания процесса проскальзывания при совмещенной обработке резанием и ППД роликами, когда обкатчик осуществляет, кроме собственно ППД, еще и приводные функции для обеспечения процесса резания [1]. Таким образом, в рассматриваемом случае второй функцией обкатника будет являться фрикционное взаимодействие с обрабатываемой деталью, свойственное фрикционной передаче, а следовательно, должна существовать взаимосвязь передаваемого обкатником крутящего момента, скоростных параметров и проскальзывания в контакте. В связи с этим определение зависимости проскальзывания от конструктивно-технологических параметров обработки является одной из задач по обеспечению необходимых качества и производительности совмещенной обработки с самоподачей.

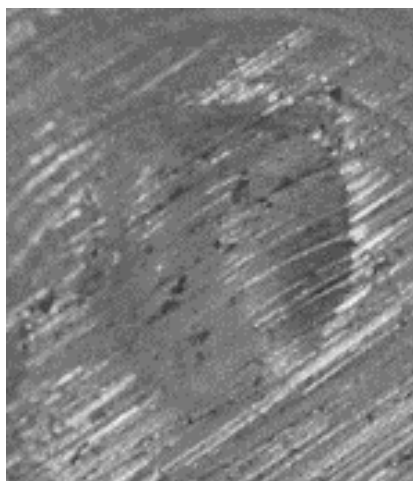


Рис. 1. Вмятина со следами рисок от предыдущей обработки на заготовке из стали 20, полученная при вдавливании шарика диаметром 10 мм с усилием 30 кН на прессе Бринелля.

При проскальзывании возникает сила трения, направленная в сторону вращения детали. Поэтому мощность обкатывания необходимо определять с учетом возникающих сил трения в контакте. Наличие проскальзывания объясняется перекрещивающимися осями вращения и изменением диаметров ролика и детали по длине контакта. Первая причина вызвана необходимостью установки ролика на угол внедрения и угол самозатягивания, а вторая обусловлена выпуклостью рабочей поверхности ролика и внедрением его в обрабатываемую деталь. Это приводит к тому, что в каждой точке контакта окружные скорости ролика и детали различны по величине и направлению. Вектор разности этих скоростей есть скорость проскальзывания.

Вопросам исследования проскальзывания в литературе применительно к упруго-пластическому деформированию уделяется мало внимания. Основные результаты получены при упругом перекачивании тел вращения.

Фрикционное взаимодействие деформирующего ролика с обрабатываемой деталью в первом приближении может быть рассмотрено с позиций его подобия фрикционной передаче коническими катками. В плоскости, проходящей через ось вращения ролика, в очаге контакта различают две зоны: внедрения и сбега ролика [2; 5]. Длина зоны внедрения при глубинах внедрения ролика свыше 0,05 мм составляет не более 5% от длины зоны сбега, поэтому, упрощая задачу, этой зоной можно пренебречь, а рассматривать лишь зону выхода ролика из заготовки. Известно, что во фрикционных передачах коническими катками только в случае совпадения вершин конусов катков (O_1 и

O_2 на рис. 2) не будет проскальзывания по всей линии контакта [3]. Для фрикционного контакта деформирующего ролика с деталью получено выражение:

$$K_n = \frac{(R_d - h_m) \sin 0,5\theta}{r_{pmin} \sin \alpha}, \quad (1)$$

где K_n – коэффициент проскальзывания; R_d – радиус детали; h_m – наибольшая глубина внедрения ролика; θ – угол конуса деформирующего ролика; r_{pmin} – радиус меньшего основания ролика; α – угол образующей контактной зоны (задний угол внедрения ролика).

При значении коэффициента проскальзывания (1), равном единице, проскальзывания не будет по всей линии контакта.

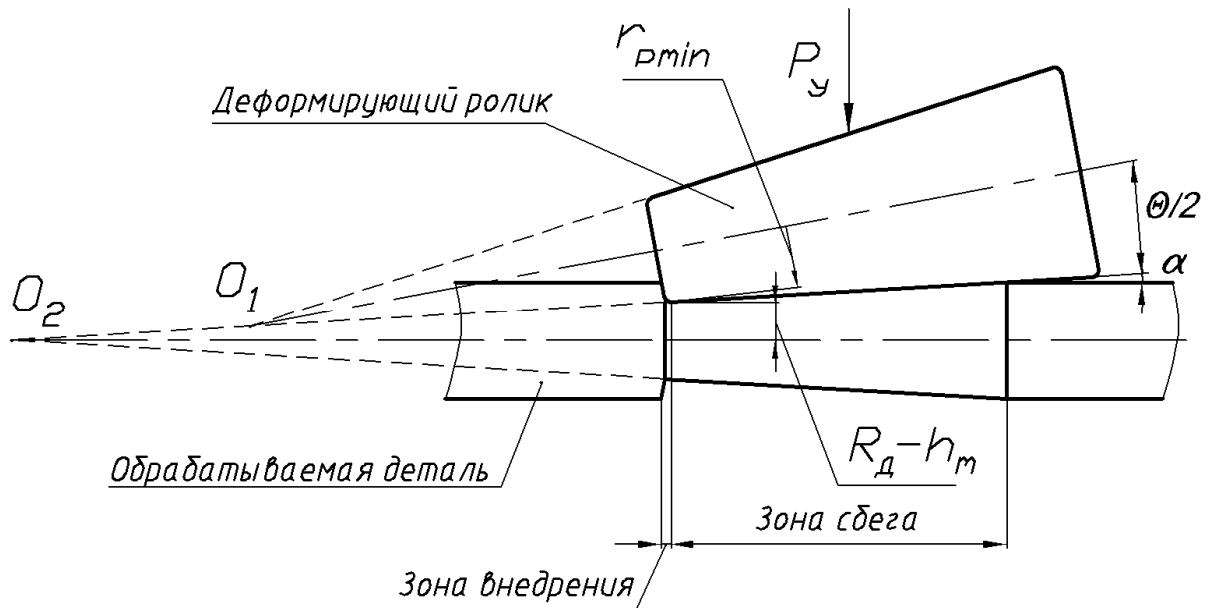


Рис. 2. Схема представления процесса обкатывания как фрикционной передачи коническими катками.

В противном случае отсутствие скольжения будет наблюдаться только в одной точке, радиусы которой на детали и ролике определяются в соответствии с принятыми обозначениями исходя из [3] по формулам:

$$R_{do} = R_{oc} \sqrt{1 - \frac{a_2 \sin \alpha}{R_{oc}} \left(\frac{M_x \cos \alpha}{P_y R_{oc} \mu} - \frac{a_2 \sin \alpha}{4 R_{oc}} \right)}; \quad (2)$$

$$r_{po} = \frac{\sin 0,5\theta}{\sin \alpha} (R_{do} - R_d + h_m) + r_{pmin}, \quad (3)$$

где R_{oc} – радиус детали в средней точки контакта (рис. 3), определяемый по формуле (4); a_2 – длина контакта в зоне сбега; P_y – радиальное усилие прижатия ролика к детали (рис. 2); μ – коэффициент трения скольжения; M_x – крутящий момент на детали.

$$R_{oc} = 0,5 a_2 \operatorname{tg} \alpha + R_d - h_m, \quad (4)$$

Численный анализ формулы (3) показывает, что при передаваемом крутящем моменте, равном нулю, точка без проскальзывания находится примерно в середине контакта. При возрастании крутящего момента место расположения этой точки меняется – она перемещается или в глубь контакта (при $K_n > 1$) или к точке выхода ролика из контакта (при $K_n < 1$). Последний случай будет соответствовать применению стержневых цилиндрических роликов.

Радиус детали и ролика в произвольной точке контакта K в зависимости от координат точки l_k и z_k определится по формулам:

$$R_{ок} = \sqrt{\left(R_o + r_{p\min} - h_m + l_k \operatorname{tg}(0,5\theta + \alpha) - \sqrt{\left(l_k \frac{\sin 0,5\theta}{\cos \alpha} + r_{p\min} \right)^2 - z_k^2} \right)^2 + z_k^2} \quad (5)$$

$$r_{рк} = l_k \frac{\sin 0,5\theta}{\cos \alpha} + r_{p\min} \quad (6)$$

Окружная скорость детали и ролика в произвольной точке контакта К с учетом формул (2, 3, 5, 6):

$$V_{рк} = 2\pi r_{рк} n; \quad V_{ок} = 2\pi l R_{ок} \frac{r_{po}}{R_{oo}}, \quad (7)$$

где n – частота вращения деформирующего ролика.

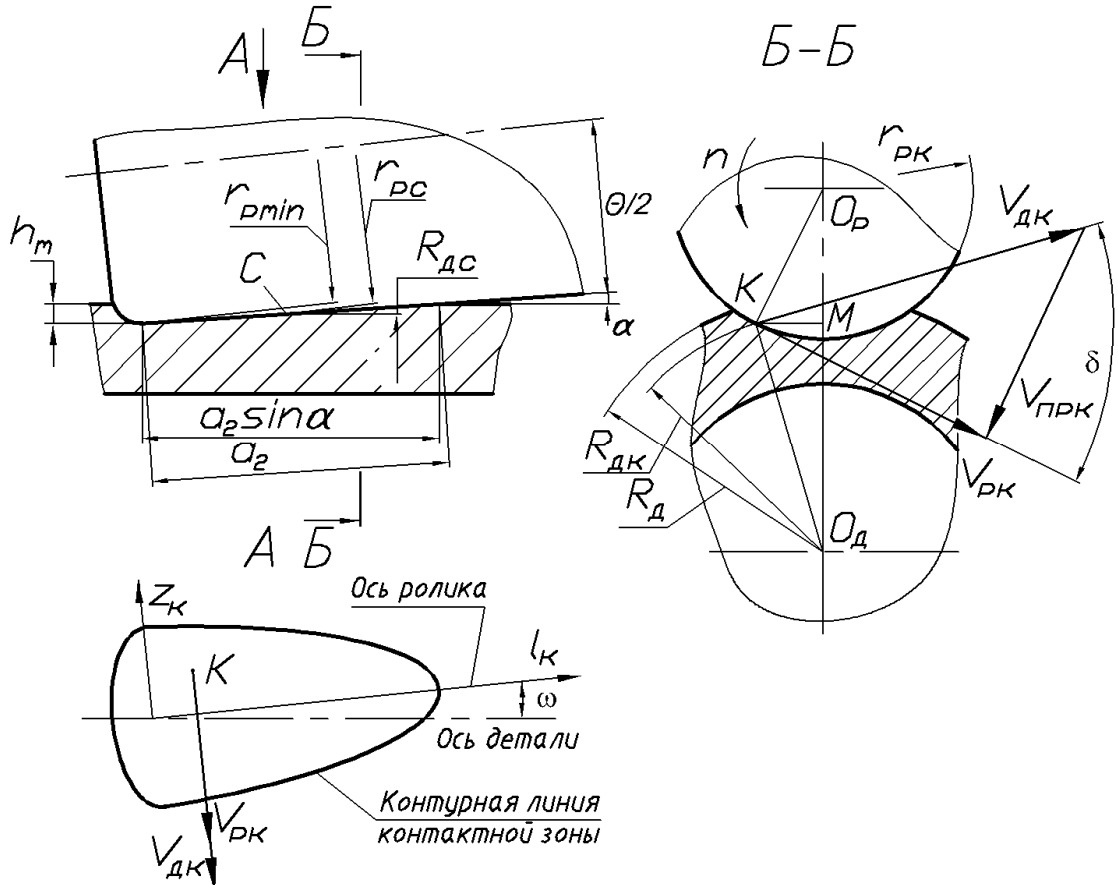


Рис. 3. Схема фрикционного контакта деформирующего ролика с обрабатываемой деталью.

Разность скоростей ролика и детали в произвольной точке контакта определяется по формуле:

$$V_{прк} = \frac{V_{po}}{R_{oo} r_{po}} \sqrt{R_{ок}^2 r_{po}^2 + r_{рк}^2 R_{oo}^2 - 2R_{ок} r_{рк} \cos \delta}, \quad (8)$$

где δ – угол между векторами скоростей ролика и детали в произвольной точке контакта, определяемый по формуле:

$$\delta = \arcsin\left(\frac{z_k}{r_{рк}}\right) + \operatorname{arctg}\left(\frac{R_o + r_{p\min} - h_m + l_k \operatorname{tg}(0,5\theta + \alpha)}{z_k} - \operatorname{ctg}\left(\arcsin\left(\frac{z_k}{r_{рк}}\right)\right)\right)^{-1}. \quad (9)$$

Опережение или запаздывание ролика относительно детали определяется по знаку проекции скорости проскальзывания на ось z_k :

$$V_{npkz} = V_{\partial k} \cos \left(\arctg \frac{V_{\partial kz}}{V_{\partial ky}} - \arctg \left(\delta - \arcsin \left(\frac{z_k}{r_{pk}} \right) \right) \right) - V_{pk} \cos \left(\arcsin \frac{z_k}{r_{pk}} \right), \quad (10)$$

где $V_{\partial kz}$ – окружная скорость точки K ; $V_{\partial ky}$ – скорость точки K в радиальном направлении, определяемые по формулам:

$$V_{\partial kz} = V_{pk} \sin \delta \quad (11)$$

$$V_{\partial ky} = V_{\partial o} \frac{R_{\partial k}}{R_{\partial o}}; V_{\partial o} = 2\pi r_{po}. \quad (12)$$

В точках, находящихся на радиусе большем, чем радиус нескользящей точки, деталь запаздывает по сравнению с соответствующими точками ролика, контактирующими с ними, а на меньших радиусах опережает. Это объясняется большей величиной конусности ролика, чем задний угол его внедрения в заготовку.

Мощность, затрачиваемая на проскальзывание в очаге контакта, может быть определена исходя из полученного закона изменения скорости проскальзывания по поверхности контакта V_{npk} (8) и закона распределения контактных напряжений $\sigma(l_k, z_k)$ [4]. При передаче обрабатываемой заготовке максимального крутящего момента, при условии наличия в контакте точки, в которой скорости ролика и детали равны по значению и имеют одно направление, потери мощности на проскальзывание в зоне сбег определяются из выражения:

$$N_{np} = 2 \int_{A_2 - a_2}^{A_2} \int_0^{z_{k2}} \frac{\sigma_{k2}(l_k, z_k) R_{\partial k} V_{npk}}{r_{pk} \cos \alpha} \cos \left(\arcsin \left(\frac{V_{\partial k}}{V_{npk}} \sin \delta \right) \right) dl_k dz_k. \quad (13)$$

Мощность, затрачиваемая на деформирование металла, определена также исходя из принятого закона распределения контактных напряжений и скорости движения точек деформируемого металла:

$$N_o = \int_{A_2 - a_2}^{A_2} \int_0^{z_{k2}} V_{pk} \sin \delta \cdot \sigma_{k2}(l_k, z_k) \sin(2\delta) dz_k dl_k. \quad (14)$$

Как показывают расчеты, потери на проскальзывание составляют менее 1% от общих затрат мощности на обработку ППД и поэтому в практических расчетах могут не учитываться.

Список литературы

1. Комбинированная обработка длинных валов / Я.Н. Отений, Н.И. Никифоров, А.И. Журавлев // Станки и инструменты. – 2006. – № 6. – С. 36–38.
2. Никифоров Н.И. Определение площади контакта при ППД коническими роликами // Современные проблемы науки и образования. – 2010. – № 4. – С. 121–126.
3. Кожевников С.Н., Есипенко Я.И., Раскин Я.М. Механизмы : справочник. – 4-е изд., перераб. – М. : Машиностроение, 1976. – 784 с.
4. Никифоров Н.И. Исследование взаимосвязи усилия с деформацией образцов при внедрении конического ролика в цилиндрические детали // Известия ВолгГТУ. Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении». – 2006. – № 4 (19). – С. 41–44.
5. Определение геометрических параметров пятна контакта при поверхностном пластическом деформировании роликами / Я.Н. Отений, Н.И. Никифоров // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2003. – № 2–6. – С. 57–59.

Рецензенты:

Гордеев Борис Александрович, д.т.н., профессор кафедры математики, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, г. Нижний Новгород.

Бочкарев Петр Юрьевич, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Проектирование технических и технологических комплексов», Саратовский государственный технический университет, г. Саратов.