

УДК 621.924.6:621.833

Д. А. АСАТРЯН

КИНЕМАТИКА МИКРОРЕЗАНИЯ ПРИ ТАНГЕНЦИАЛЬНОМ
ЗУБОНАРЕЗАНИИ МНОГОНИТОЧНЫМИ КРУГАМИ

Приведено исследование кинематики микрорезания при новом высокопроизводительном тангенциальном способе зубонарезания мелко модульных цилиндрических колес многониточными кругами. На основании этих результатов определяются и в дальнейшем проектируются специальные многоместные устройства с оптимальными межосевыми расстояниями рабочих оправок. Полученные результаты могут быть использованы также для исследования усилий резания и контактных температур.

Ил. 3. Библиогр.: 2 назв.

Քերված է փոքր մոդուլի գլանական ատամնանիվների բազմաթիվ հզկաշրջաններով նոր բարձր արտադրողական շոշափող ատամնամշակման ժամանակ միկրոկտրման կինեմատիկայի ուսումնասիրությունը: Այդ արդյունքների հիման վրա որոշվում և հետազոտվում նախագիծում են բազմասեղանի հասուկ հարմարանքներ՝ բանվորական կայանների նպատակահարմար միջուկային հեռավորություններով: Ստացված արդյունքները կարող են օգտագործվել նաև կտրման ուժերի և հպման ջերմաստիճանների ուսումնասիրման համար:

Тангенциальное зубонарезание мелко модульных цилиндрических колес многониточными кругами является сравнительно новым способом, обеспечивающим повышение производительности по сравнению с традиционным способом зубонарезания червячными фрезами в 5—7 раз с одновременным повышением точности на 1—2 класса [1].

Опытом производства специальных многониточных алмазных роликов для правки кругов врезным способом установлено, что радиусы закругления впадин ролика и вершин ниток абразивного круга (при зернистости 5—6) не превышают 0,1 мм. Это обеспечивает получение головки зуба производящей рейки с наибольшей высотой, чем и обеспечивается лучшее использование круга и максимальная размерная стойкость. Такая форма вершины нитки позволяет рассматривать схему формообразования эвольвентного профиля мелко модульного зубчатого колеса с исходным производящим контуром, имеющим островершинные зубья без прямолинейного участка по вершине (рис. 1).

Станочное зацепление при зубонарезании многониточными кругами с тангенциальной подачей характеризуется следующими положениями номинальной исходной производящей рейки и нарезаемого колеса: а) началом врезания левых и правых сторон нитки многониточного круга; б) началами и концами профилирования правой и левой сторон эвольвентного профиля зуба колеса левой и правой сторонами нитки многониточного круга. В соответствие с этим на рис. 1а показаны относительные положения полюса зацепления, а на рис. 1б — последовательные положения исходной производящей рейки при огибании правого и левого профиля зубьев. Заштрихована площадь между двумя относительными положениями производящего контура при по-

вороте колеса на угол $\Delta\varphi$, соответствующий повороту круга между двумя зернами, находящимися друг от друга по окружности на расстоянии l_3 . При тангенциальном зубошлифовании $\Delta\varphi$ составляет

$$\Delta\varphi = \frac{S_T}{n_n} \cdot \frac{l_3}{\pi D_n} \cdot \frac{1}{r_w} = \frac{S_T l_3}{30000 V m_n z}, \quad (1)$$

где S_T — тангенциальная подача в мм/мин, n_n — число оборотов круга в минуту, D_n — диаметр круга в мм, V — скорость резания в м/с, m_n и z — модуль и число зубьев нарезаемого колеса.

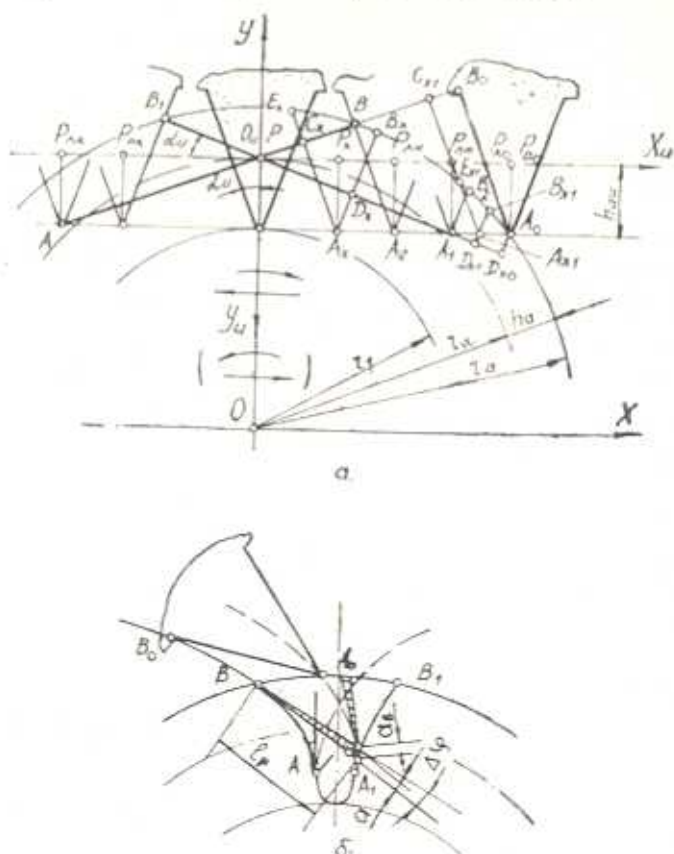


Рис. 1. Схема тангенциального зубошлифования многоконтурными кругами (а) и относительные положения нитки во впадине зубьев колеса (б).

Пусть система XOY характеризует неподвижную плоскость чертежа, а система $X_uO_uY_u$, связанная с номинальной исходной производящей рейкой, катится без скольжения по начальной окружности колеса. Если принять начальное положение нитки круга совпадающим с межосевым перпендикуляром круга и колеса, то углы поворота колеса, соответствующие перечисленным положениям производящего контура во впадине колеса, будут характеризоваться следующими величинами (рис. 1а):

$$\varphi_{\text{до}} = \varphi_{\text{но}} = \frac{2 \sqrt{z(h_a^* + h_{\text{ан}}^*) + (h_a^{*2} - h_{\text{ан}}^{*2})}}{z};$$

$$\varphi_{\text{ин}} = \frac{2h_{\text{ан}}^*}{z \operatorname{tg} \alpha_n}; \quad \tau_{\text{ин}} = -\varphi_{\text{ин}}; \quad \varepsilon_{\text{ин}} = -\varphi_{\text{ин}}; \quad (2)$$

$$\varphi_{\text{ан}} = \frac{\sqrt{z^2 \sin^2 \alpha_n + 4h_a^*(z + h_a^*)} - \sin \alpha_n (z + h_{\text{ан}}^*)}{z \cos \alpha_n},$$

где h_a^* — коэффициент высоты головки зуба нарезаемого колеса, $h_{\text{ан}}^*$ и α_n — коэффициент высоты головки и профильный угол производящей рейки круга.

Для зерен, расположенных на вершине нитки, толщина срезаемого слоя определяется выражением

$$a_{\text{в}} = r_w \varphi \Delta \varphi = \frac{S_7 l_p}{60000 V}, \quad (3)$$

где φ изменяется в интервале $(0, \varphi_{\text{но}})$.

Максимальную толщину среза a боковым крайним зерном и поперечную площадь F среза боковой стороной нитки в период профилирования эвольвент зубьев колеса с достаточной для практики точностью можно определить по выражениям

$$a = l_p \Delta \varphi, \quad F = \frac{l_p^2 \Delta \varphi}{2}, \quad (4)$$

где l_p — длина режущей стороны нитки $C_x A_x$, ограниченная линией зацепления AB и вершинной линией AA_2 для левой стороны нитки в интервале поворота колеса на угол $(\varphi_{\text{ин}}, \varphi_{\text{лк}})$ и линией зацепления $A_1 B_1$ и окружностью выступов r_a колеса — для правой $B_x D_x$ стороны нитки в интервале $(\varphi_{\text{ин}}, \varphi_{\text{лк}})$.

В период врезания при повороте колеса в интервале $(\varphi_{\text{до}}, \varphi_{\text{ан}})$ длина режущей левой стороны нитки ограничивается линиями $A_2 A_0$ и окружностью r_a колеса, а для правой стороны нитки при повороте колеса в интервале $(\varphi_{\text{но}}, \varphi_{\text{ин}})$ — линией $A_1 A_0$ и окружностью r_a . При расчете a для левой и правой сторон за l_p следует принимать соответственно отрезки $A_{x1} C_{x1}$ и $D_{x1} B_{x1}$, а при расчете F — разность площадей секторов, образованных радиусами $A_{x1} C_{x1}$, $C_{x1} E_{x1}$ и $D_{x1} B_{x1}$, $D_{x1} A_{x1}$. Для левой стороны профиля нитка в интервале $(\varphi_{\text{до}}, \varphi_{\text{лк}})$ величина l_p определяется выражением

$$l_p = \frac{m \pi}{2} \left(z \varphi + \frac{2h_{\text{ан}}^*}{\operatorname{tg} \alpha_n} \right) \sin \alpha_n. \quad (6)$$

Отрезки l_p , ограниченные линиями зацепления и окружностью r_a , определяются расстояниями между точками E_x и C_x (или B_x и D_x) в виде $\sqrt{(X_C - X_E)^2 + (Y_C - Y_E)^2}$. Координаты точек E_x , B_x

определяются совместными решениями уравнения окружности r_1 с уравнениями прямых линий для сторон нитки круга (рис. 1а)

$$X_{C,D} = \frac{m_n}{2} (z\varphi \mp 2h_{an}^* \operatorname{tg} \alpha_n) \cos^2 \alpha_n,$$

$$Y_{C,D} = \frac{m_n}{2} [z \pm (z\varphi \mp 2h_{an}^* \operatorname{tg} \alpha_n) \cos^2 \alpha_n \operatorname{tg} \alpha_n],$$

$$X_{E,B} = \frac{m_n}{2} (\pm b \mp \sqrt{b^2 - c}),$$

$$Y_{E,B} = \frac{m_n}{2} [\mp \operatorname{ctg} \alpha_n [(\mp b \mp \sqrt{b^2 - c}) - z\varphi] + (z - 2h_{an}^*)],$$

$$b = [(z - 2h_{an}^*) \operatorname{tg} \alpha_n \pm z\varphi] \cos^2 \alpha_n,$$

$$c = [\varphi^2 z^2 - 4z(h_{an}^* + h_{an}^*) - 4(h_{an}^{*2} - h_{an}^{*2}) \pm 2(z - h_{an}^*) z \operatorname{tg} \alpha_n \varphi] \cos^2 \alpha_n.$$

В приведенных выражениях верхние знаки относятся к точкам C_x и E_x , а нижние — к D_x и B_x .

По приведенному алгоритму определены размеры срезаемых слоев при тангенциальном зубонарезании и выявлены особенности, присущие этому новому процессу (рис. 2а). Наиболее нагружены зерна, расположенные на вершине нитки: толщина срезаемого слоя почти вдвое превышает толщину наиболее нагруженной левой боковой стороны нитки у вершины и в несколько раз — толщину правой стороны нитки у основания. Так как тангенциальное зубонарезание производится в обоих направлениях подачи (правая сторона становится входной, а левая — **выходной**), то все нитки многониточного круга получают по обеим сторонам одинаковый интегральный износ. В отличие от других способов зубошлифования [2] в резании участвует практически каждое зерно круга, за счет чего происходит резкое повышение размерной стойкости нитки, повышается точность колеса и качество поверхностного слоя.

Влияние режимов резания и числа нарезаемых зубьев колеса на показатели процесса при зубонарезании многониточными кругами с тангенциальной подачей и червячными кругами с продольной подачей существенно отличаются друг от друга [2]. На рис. 2б показаны графики изменения толщины срезаемого слоя вершинными зернами при тангенциальном зубонарезании. С увеличением скорости резания и числа зубьев нарезаемого колеса толщина срезаемого слоя уменьшается и увеличивается пропорционально увеличению величины тангенциальной подачи. В среднем, толщины срезаемых слоев при тангенциальном зубошлифровании на порядок меньше, чем при зубошлифовании червячными кругами.

В качестве приложения для решения практических задач на рис. 3 приведены графики изменения площадей срезаемых слоев при тангенциальном зубонарезании колеса $m_n = 0,8$ мм, $z = 30$ с $V = 30$ м/с, $S_T = 80$ мм/мин. На графике указаны площади поперечного сечения

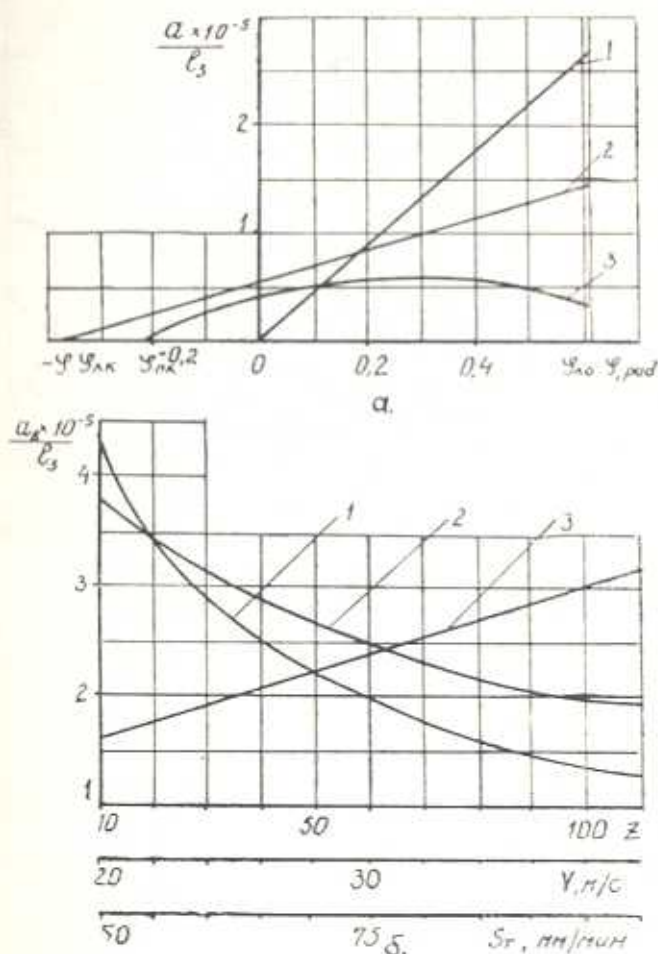


Рис. 2. а) Изменение максимальной толщины срезаемого слоя по вершинам (1), левой (2) и правой (3) сторонам нитки при нарезании колеса с $z = 30$, $S_T = 80$ мм/мин, $V = 30$ м/с; б) изменение максимальной толщины слоя по вершине нитки в зависимости от числа зубьев (1), скорости резания (2) и тангенциальной подачи (3).

срезаемых слоев левой (1) и правой (2) сторонами, отдельной ниткой (3) и всеми нитками круга (4). Как видно, суммарная площадь и усилия резания непостоянны и меняются в зависимости от поворота колеса. Так как устройства для тангенциального зубошлифования многопозиционные, то расстояние между рабочими оправками должно быть такое, чтобы при врезании в тангенциальном направлении следующего колеса пики максимальных нагрузок были смещены на половину перио-

да для обеспечения выравнивания усилий резания. Межосевое расстояние должно быть больше на 1—2 мм наружного диаметра заготовки и соответствовать условию $1,5 n \cdot d_m$, где n —целое произвольное число.

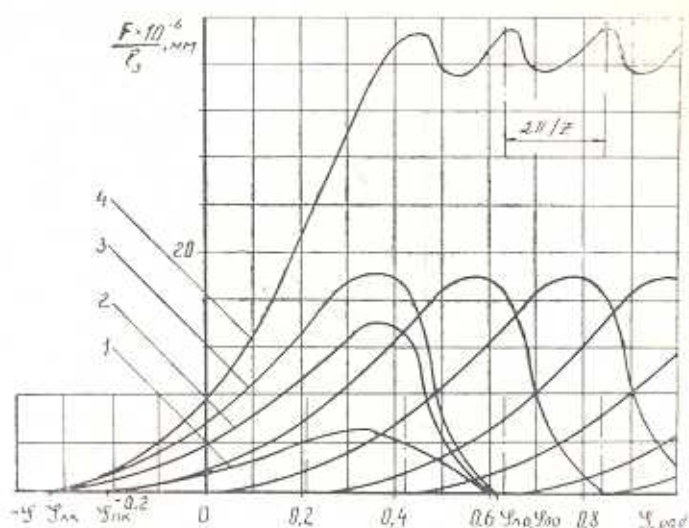


Рис. 3. Изменение площади поперечного сечения срезаемых слоев при тангенциальном зубошлифовании колеса $m_n = 0,8$ мм, $z = 30$, $S_1 = 80$ м/мин, $V = 3$ м/с.

Полученные результаты могут быть использованы для адаптивного управления процессом зубонарезания, а также для исследования условий резания и контактных температур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Асизян Д. А. Перспективы тангенциальной зубообработки мелкозубых колес // Станки и инструмент.— 1981.— № 1.— С. 26—27.
2. Игнатов М. С. Кинематика микрорезания при зубошлифовании абразивным червяком // Синтетические алмазы.— 1976.— Вып. 6.— С. 12—17.

Лен. фил. ЕрПИ им. К. Маркса

2. IX. 1988

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XLIII, № 1, 1990, с. 8—12

ЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.311.014

В. Н. САДКОВ

РАСЧЕТ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ДВУХ ОДНОВРЕМЕННЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ПОДСТАНЦИЯХ С КОРОТКОЗАМЫКАТЕЛЯМИ

Предложена методика расчета токов и напряжений при двух одновременных несимметричных коротких замыканиях в электрической сети с трансформаторной связью