

3. Т а х м а н С.И. Определение сил на передней и задней поверхностях инструмента. Сб.: Резание металлов и технологическая точность деталей в машиностроении, ч.1. Под ред. Ю.А. Розенберга, Курган, 1968.

Г.С. Железнов, В.А. Шевяков

ИССЛЕДОВАНИЕ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ПРИ НАРЕЗАНИИ РЕЗЬБЫ МЕТЧИКАМИ С ВИНТОВЫМИ КАНАВКАМИ

В работе приводятся результаты теоретического и экспериментального исследования крутящего момента при обработке метчиками с прямыми и винтовыми стружкоотводящими канавками.

Теоретическое исследование основано на разделении сил, действующих на метчики, по их физико-механической природе на две группы:

- 1) силы, действующие на передней поверхности, обусловленные процессом образования стружки;
- 2) силы, действующие на задней поверхности, обусловленные контактом инструмента с заготовкой по поверхности резания.

В соответствии с этим крутящий момент можно представить в виде суммы

$$M = M_n + M_z ,$$

где M_n и M_z - крутящие моменты, создаваемые силами приложенными соответственно на передней и задней поверхностях инструмента.

Для расчета первого слагаемого - M_n основывались на представлении процесса резания как деформации простого сдвига [1]. С целью использования приведенных в указанной работе формул для расчёта сил, действующих при косоугольном резании, проводились экспериментальные исследования процесса стружкообразования. Эти исследования, а также расчеты по формулам, имеющимся в работах [1], [2], [3], [4], показали что угол схода стружки при резбонарезании метчиками с винтовыми канавками приблизительно равен углу наклона канавок - ω (в дальнейшем принимали эти углы равными).

Момент сил, действующих на передней поверхности зубьев метчика, определяется по формуле

$$M_n = K \tau F \ell ,$$

где τ - среднее касательное напряжение в поверхности сдвига;

F - суммарная площадь срезаемого слоя; ℓ - расстояние от центра тяжести суммарного сечения срезаемого слоя до оси метчика; K - без-

размерный коэффициент, определяемый выражением:

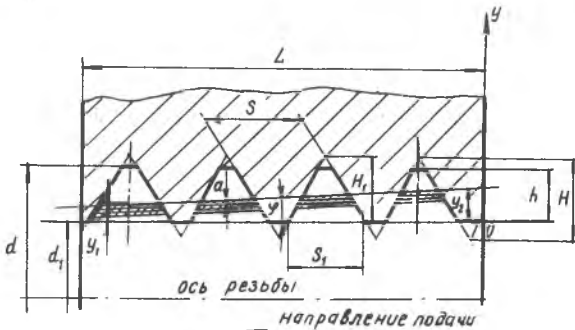
$$K = \frac{\cos \gamma \cos \omega + \operatorname{tg} \rho \cos^2 \omega \sin \gamma + \operatorname{tg} \rho \sin^2 \omega}{\cos \omega \sin \beta_1 [\cos(\beta_1 - \gamma) \operatorname{tg} \rho \cos \omega \sin(\beta_1 - \gamma)]}$$

здесь γ - передний угол; ρ - угол трения по передней поверхности; β_1 - угол сдвига, измеренный в главной секущей плоскости.

Как показали расчеты, коэффициент K при изменении режимов резания и геометрии инструмента изменяется незначительно.

Для различных углов наклона винтовых канавок метчика получены средние значения коэффициента K , пригодные для широкого диапазона практически применяемых режимов резания. Углам $\omega = 0^\circ, 16^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ, 60^\circ$ соответствуют значения $K = 5,6; 4,3; 3,8; 4,1; 5,0; 5,2$.

Суммарную площадь срезаемого слоя определяли из рис.1.



Р и с.1. Геометрия срезаемого слоя при нарезании резьб метчиками

Для метчиков с малыми углами заборного конуса, когда $\varphi < 15^\circ$, получена зависимость

$$F = 0,375S \left[2(y_2 - y_1) - \frac{y_2^2 - y_1^2}{0,65S} \right], \quad (I)$$

где y_1 и y_2 - текущие ординаты для режущих кромок первого и последнего выступов резьбы, участвующих в работе; S - шаг резьбы.

При резбонарезании встречаются два случая:

- 1 - длина нарезаемой резьбы - L больше длины рабочей части заборного конуса метчика $L > h \operatorname{ctg} \varphi$, где h - рабочая высота профиля нарезаемой резьбы (для метрической резьбы $h = 0,541 s$);
 - 2 - длина нарезаемой резьбы - L меньше длины рабочей части заборного конуса метчика $L < h \operatorname{ctg} \varphi$.
- Ординаты y_1 и y_2 определяются величиной осевого перемещения метчика - x (см.рис.1).

Для первого случая при расчете суммарной площади срезаемого слоя в зависимость (1) подставляли следующие значения:

$$\text{при } 0 \leq x \leq h \operatorname{ctg} \varphi \quad y_1 = 0; \quad y_2 = x \operatorname{tg} \varphi;$$

$$\text{при } h \operatorname{ctg} \varphi \leq x \leq L \quad y_1 = 0; \quad y_2 = h;$$

$$\text{при } L \leq x \leq L + h \operatorname{ctg} \varphi \quad y_1 = (x-L) \operatorname{tg} \varphi; \quad y_2 = h;$$

для второго случая:

$$\text{при } 0 \leq x \leq L \quad y_1 = 0; \quad y_2 = x \operatorname{tg} \varphi;$$

$$\text{при } L \leq x \leq h \operatorname{ctg} \varphi \quad y_1 = (x-L) \operatorname{tg} \varphi; \quad y_2 = x \operatorname{tg} \varphi;$$

$$\text{при } h \operatorname{ctg} \varphi \leq x \leq h \operatorname{ctg} \varphi + L; \quad y_1 = (x-L) \operatorname{tg} \varphi; \quad y_2 = h.$$

Расстояние от центра тяжести суммарного сечения срезаемого слоя до оси вращения определяется зависимостью

$$l \approx 0,5(d - 0,5s),$$

где d - наружный диаметр резьбы.

Касательные напряжения по поверхности сдвига определяли по формуле, приведенной в работе [3], при относительном сдвиге ε равном предельному $\varepsilon = 2,5$

$$\tau = \frac{B \varepsilon^c}{1,5(c+1)}, \quad (2)$$

где B и c - величины, определяемые по зависимости нормального напряжения от относительного сдвига, получаемые при стандартном испытании образца из обрабатываемого материала на сжатие.

Максимальное значение крутящий момент принимает

для первого случая при $L \geq x \geq h \operatorname{ctg} \varphi$, когда $y_1 = 0$;

$$M_{n \max} = 0,119 K \tau s^2 (d - 0,5s);$$

для второго случая при $x = L$, когда $y_1 = 0, y_2 = L \operatorname{tg} \varphi$,

$$M_{n \max} = 0,122 K \tau s L \operatorname{tg} \varphi \left(3,08 - \frac{2,38 L \operatorname{tg} \varphi}{s} \right) (d - 0,5s).$$

Крутящий момент, создаваемый силами, приложенными по главным задним поверхностям метчика, зависит от величины их износа. Зад-

ние поверхности, прилегающие к боковым режущим кромкам, как показали наблюдения, изнашиваются незначительно. Поэтому силы, действующие на них, невелики и могут не учитываться при расчете. Момент, создаваемый силами, действующими по задней поверхности определяется по формуле

$$M_3 = 0,5 \tau_3 h_3 \cos \omega z (d - 0,5S) \Sigma \vartheta_c,$$

где τ_3 - среднее касательное напряжение на задней поверхности;

h_3 - ширина площадки износа по задней поверхности; z - число зубьев метчика; $\Sigma \vartheta_c$ - суммарная длина активной части режущих кромок для одного зуба, которая определяется зависимостью:

$$\vartheta_c = \frac{\sum_1^n S_1 - \frac{S_1}{H_1} \sum_1^n y_n}{\cos \omega},$$

здесь n - количество выступов резьбы одного зуба метчика, участвующих в работе; y_n - текущие ординаты режущих кромок.

Ординаты y_n для последовательно расположенных выступов резьбы метчика являются членами арифметической прогрессии с разностью

$$m = S \operatorname{tg} \varphi.$$

Сумма n - членов арифметической прогрессии применительно к рассматриваемому случаю определяется по уравнению

$$\sum_1^n y_n = \frac{y_2^2 - y_1^2}{2S \operatorname{tg} \varphi}$$

Среднее касательное напряжение по задней поверхности можно принять равным 80% от среднего касательного напряжения в поверхности сдвига. К этому приводит анализ данных, приведенных в работах [2], [5], [6].

Следовательно, выражение для крутящего момента, действующего при нарезании метрической резьбы метчиками, можно получить по формуле

$$M = 0,122 \kappa \tau S \left[3,08 (y_2 - y_1) - \frac{2,38 (y_2^2 - y_1^2)}{S} \right] (d - 0,5S) + \\ + 0,4 \tau h_3 z \frac{d - 0,5S}{\operatorname{tg} \varphi} \left[0,75 (y_2 - y_1) - \frac{0,5 (y_2^2 - y_1^2)}{S} \right]. \text{ кг/мм}$$

Для проверки полученного уравнения проводились измерения крутящего момента с записью на пленку осциллографа Н 102 при обработке гаек М10 с высотой $L = 8$ мм из стали 10 кп. При этом применялись метчики с различными углами наклона винтовых канавок с износом по задней грани $h_3 = 0,12$ и одинаковыми другими геометрическими параметрами: угол заборного конуса $\varphi = 3^\circ$, передний угол $\gamma = +9^\circ$, $z = 3$.

Для стали 10кп расчетом по формуле (2) при $B = 65 \text{ кг/мм}^2$, $c = 0,31$ и $\varepsilon = 2,5$ получено $\tau = 43 \text{ кг/мм}^2$. С учетом приведенных данных получена следующая зависимость для крутящего момента

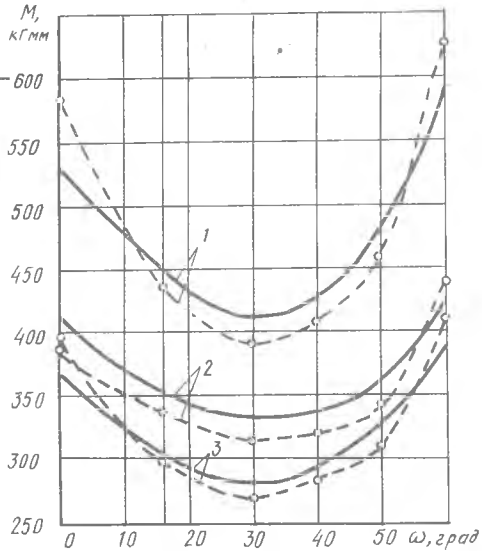
$$M = 100K \left[2,09(y_2 - y_1) - (y_2^2 - y_1^2) \right] + 910h_3z \left[2,26(y_2 - y_1) - (y_2^2 - y_1^2) \right] \text{ кг/мм} \quad (3)$$

На основании расчетных и опытных данных построены графики зависимости величины крутящего момента от угла наклона винтовых канавок метчика и его осевого перемещения, представленные на рис.2.

Выводы

1. Полученные расчетные формулы дают результаты близкие к экспериментальным, расхождение между ними не превышает 7%.

2. Проведенное исследование показало, что с увеличением угла наклона винтовых канавок происходит немонотонное изменение крутящего момента. С увеличением угла наклона от 0 до 30° момент уменьшается, а при дальнейшем **увеличения - возрастает**. Это объясняется тем, что в данном интервале углов наклона происходит уменьшение проекции сил, действующих в главной секущей плоскости, на направление скорости резания. При дальнейшем увеличении угла наклона канавок происходит увеличение проекции сил, действующих вдоль режущей кромки.



Р и с.2. Влияние угла наклона канавок метчика на крутящий момент:

— по эксперименту, - - - - по расчету; 1 - X = 6, 2 - X = 12, 3 - X = 4

Л и т е р а т у р а

1. Р о з е н б е р г А.М., Е р е м и н А.Н. Элементы теории процесса резания металлов. М., Машгиз, 1956.
2. З о р е в Н.Н. Вопросы механики процесса резания металлов. М., Машгиз, 1956.
3. Резание металлов и инструмент. Под ред. А.М. Розенберга. М., "Машиностроение", 1964.
4. Б о б р о в В.Ф. Влияние угла наклона главной режущей кромки инструмента на процесс резания металлов. М., Машгиз, 1962.
5. П о л е т и к а М.Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. М., "Машиностроение", 1969.
6. Д е л ь Г.Д. Определение напряжений в пластической области по распределению твердости. М., "Машиностроение", 1971.