

## РАСЧЁТ КОНТАКТНЫХ НАГРУЗОК ПРИ ТОЧЕНИИ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Козлов В. Н., Чжан Ц., Го И.

Научный руководитель: Козлов В. Н., к.т.н., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, Россия

e-mail: kozlov-viktor@bk.ru

**Ключевые слова:** контактные нагрузки, износ инструмента, прочность режущего инструмента, внутренние напряжения.

**Keywords:** contact loads, tool wear, cutting tool strength.

При обработке титановых сплавов и труднообрабатываемых материалов часто происходит выкрашивание главной режущей кромки и скол режущей пластины [1]. Для расчёта на прочность режущих пластин недостаточно знать величину составляющих силы резания – необходима информация о распределении контактных нагрузок (напряжений) на передней и задней поверхностях инструмента [2].

Обработка титановых и труднообрабатываемых материалов сопровождается интенсивным износом по задней поверхности, что приводит к появлению фаски длиной  $h_f$ . Задний угол этой фаски обычно равен нулю ( $\alpha_f=0^\circ$ ), но при  $h_f > 2$  мм он может быть и отрицательным ( $\alpha_f \approx -3^\circ$ ).

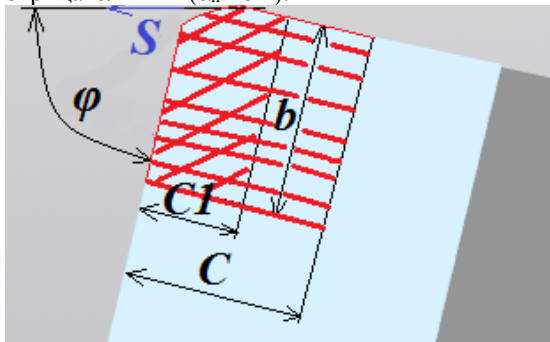


Рис. 1. Схема измерения длины контакта стружки с передней поверхностью резца

Для изучения распределения контактных напряжений используется метод разрезного резца [3]. Он очень трудоёмкий, требует использования жёсткого специального четырёхкомпонентного динамометра, а при обработке труднообрабатываемых материалов часто происходит выкрашивание и поломка режущих пластин, что вызывает необходимость повторения всей серии экспериментов.

Для уменьшения трудоёмкости получения исходных данных для расчёта на прочность режущего инструмента были проанализированы экспериментальные полученные распределения контактных нагрузок (напряжений) [2] и проведено обобщение результатов.

Длина контакта стружки с передней поверхностью измеряется после проведения экспериментов (резания) на большом инструментальном микроскопе или с помощью лупы Бринеля. Предварительно передняя

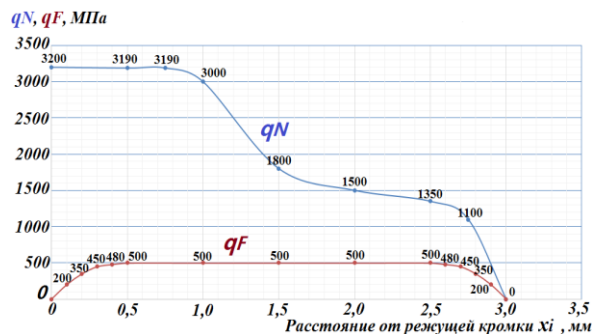


Рис. 2. Распределение нормальных  $q_N$  и касательных  $q_F$  удельных контактных нагрузок на передней поверхности резца при обработке стали 40X.  $v=2$  м/с,  $s=0,34$  мм/об,  $\gamma=0^\circ$ ,  $t=2$  мм,  $h_f=0,9$  мм

поверхность инструмента подготавливается для более точного измерения длины контакта.

Сначала тампоном, смоченным медным купоросом, производится меднение передней поверхности инструмента, после чего инструмент сушится. На его поверхности образуется тончайшее красноватое покрытие. После резания измеряется длина стёртого участка (длина контакта стружки с передней поверхностью C) (рис. 1),

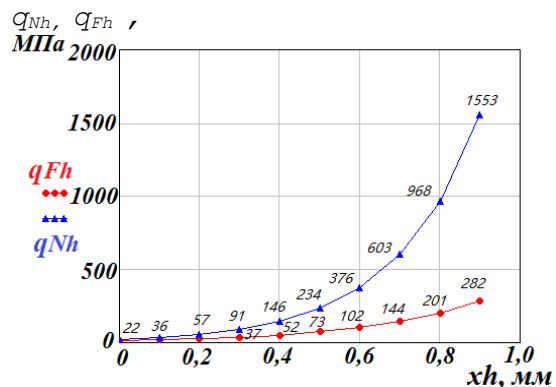


Рис. 3. Распределение нормальных  $q_{Nh}$  (▲) и касательных  $q_{Fh}$  (●) удельных контактных нагрузок на фаске задней поверхности резца при обработке стали 40X, образующую сливную стружку.  $v=2$  м/с,  $s=0,34$  мм/об,  $\gamma=0^\circ$ ,  $t=2$  мм,  $h=0,9$  мм

измеряется также длина налипшего на переднюю поверхность обрабатываемого материала – длина пластического контакта стружки с передней поверхностью  $C_1$ . При обработке стали и других достаточно пластичных материалов  $C \approx (4-7) \cdot a$ , где  $a$  – толщина среза. При прямоугольном свободном резании  $a = s$ , при косоугольном резании

$a = s \cdot \sin \varphi$ . При обработке материалов, образующих элементную стружку,  $C \approx (2-3) \cdot a$ , при образовании элементной стружки  $C_1 \approx (0,1-0,3) \cdot C$ .

При обработке пластичных металлов и сплавов длина пластического контакта стружки с передней поверхностью реза  $C_1 \approx (0,4-0,6)$ .

Составляющие силы резания измеряются динамометром или рассчитываются для остро заточенного (не изношенного) реза по формуле

$$P_{z(x,y)} = 10 \cdot C_{Pz(x,y)} \cdot t^x \cdot s^y \cdot v^n \cdot K_v, \quad (\text{Н}) \quad (1)$$

где  $C_{Pz(x,y)}$  – коэффициент соответствующей составляющей силы резания ( $P_z$ ,  $P_x$  или  $P_y$ ), зависящий от обрабатываемого материала и вида обработки;  $t$  – глубина резания (мм);  $s$  – подача (мм/об);  $v$  – скорость резания (м/мин);  $K_v$  – коэффициент, учитывающий прочность обрабатываемого материала, основные геометрические параметры реза и т.п.

Расчёт по формуле (1) даёт существенную погрешность, поэтому предпочтительнее измерять составляющие силы резания, а затем по этим экспериментальным значениям рассчитывать удельные составляющие силы резания  $q_{Pz(x,y)} = P_{z(x,y)} / (s \cdot t)$ , (Н/мм<sup>2</sup>), которые необходимо учитывать при расчёте сил резания при небольшом изменении глубины резания  $t$  во время экспериментов, чтобы  $t = \text{const}$ . Удельные нормальные ( $q_N$ ,  $q_{Nh}$ ) и касательные ( $q_F$ ,  $q_{Fh}$ ) контактные нагрузки рассчитываются как отношение приращения нормальной ( $N$ ,  $N_h$ ) или касательной ( $F$ ,  $F_h$ ) силы к площади приращённого участка длиной  $\Delta x_i$  ( $\Delta x_{hi}$ ) и шириной  $b$  (рис. 1) [3].

При обработке не изношенным по задней поверхности резцом силами на задней поверхности пренебрегают, особенно при обработке материалов, образующих сливную стружку в связи с прогибом поверхности среза [4]. При обработке изношенным по задней поверхности резцом необходимо выделить составляющие силы, действующие на фаске задней поверхности реза. Лучше всего это делать методом экстраполяции на нулевую фаску износа.

Приращение сил резания только за счёт увеличения длины фаски износа по задней поверхности  $h_f$  при постоянном режиме резания позволяет рассчитать контактные нагрузки на искусственной фаске по задней поверхности, заточенной с задним углом  $\alpha_h = 0^\circ$ .

При допущении, что характер распределения контактных нагрузок на искусственной фаске не зависит от её длины, можно определить распределение нормальных  $\sigma_h$  и касательных  $\tau_h$  контактных напряжений на фаске задней поверхности при сливном (рис. 3) и элементном (рис. 4) стружкообразовании.

Небольшая величина нормальных контактных напряжений на фаске задней поверхности  $\sigma_h$  у режущей кромки и их увеличение при удалении от режущей кромки при обработке стали, образующую сливную стружку (рис. 3), подтверждает гипотезу о наличии прогиба поверхности среза [4].

Большая величина нормальных контактных напряжений на фаске задней поверхности  $\sigma_{h \max} = 3400-2200$  МПа режущей кромки при обработке титанового сплава ВТ3

1 (рис. 4), образующего элементную стружку, подтверждает гипотезу о восстановлении прогиба поверхности среза при отделении сформировавшегося элемента стружки [1, 4], что сказывается на прочности режущего клина [5, 6].

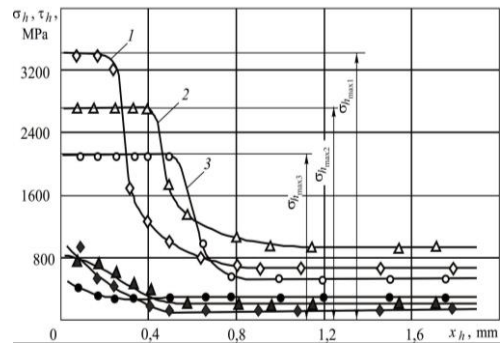


Рис. 4. Распределение нормальных  $\sigma_h$  ( $\diamond$ ,  $\Delta$ ,  $\circ$ ) и касательных  $\tau_h$  ( $\blacklozenge$ ,  $\blacktriangle$ ,  $\bullet$ ) контактных напряжений на фаске задней поверхности реза при обработке титанового сплава ВТ3-1, образующего элементную стружку.  $v=60$  м/с,  $s=0,41$  мм/об,  $\gamma=0^\circ$ . ВТ3-1 - ВК8,  $\gamma=0^\circ$ ,  $\alpha_h = 0^\circ$ ,  $\alpha = 10^\circ$ ,  $v=1$  м/с:  $\diamond$ ,  $\blacklozenge$  -  $s=0,41$  мм/об;  $\Delta$ ,  $\blacktriangle$  -  $s=0,21$  мм/об;  $\circ$ ,  $\bullet$  -  $s=0,11$  мм/об

#### Список использованных источников

1. Afonarov A. and Lasukov A. Elementary Chip Formation in Metal Cutting // Russian Engineering Research, 2014, v. 3, pp. 152-155.
2. Чжан Ц., Козлов В.Н. Влияние вида нагружения на расчёт внутренних напряжений в режущем клине // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 8: в 2 ч. Ч. 2. Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. С. 352-356.
3. Kozlov V., Zhang J., Cui J., Bogolyubova M. Split Cutter Method for Contact Stresses Research over Flank Surface of a Cutter // Key Engineering Materials. Trans Tech Publications, Switzerland. – 2017. v. 743, pp. 258-263.
4. Kozlov V.N. Flank Contact Load Distribution at Cutting Tool Wear // Proceedings 7th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2012, v. 2, pp. 147-151.
5. Proskokov A.V. and Petrushin S.I. Chip Formation with a Developed Plastic-Deformation Zone // Proceedings 7th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2012, v. 2, pp 173-177.
6. Артамонов Е. В., Помигалова Т. У., Утешев М. Х. Исследование напряжений, деформаций и прочности сменных режущих пластин методом конечных элементов / Е. В. Артамонов, Помигалова Т. У., Утешев М. Х. / под общей ред. М.Х. Утешева. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2002. – 147 с.