

## ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮР КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ПЕРЕДНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ.

В.Н. Козлов, к.т.н., доц.,  
Х. Чжан, магистрант гр. 4AM21,  
Е.Н. Петровский, ст. преп.

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30  
тел.(3822)-606-389  
E-mail: [kozlov-viktor@bk.ru](mailto:kozlov-viktor@bk.ru)

Для расчёта прочности режущих инструментов необходимо знать распределение контактных напряжений на передней поверхности и на фаске задней поверхности. Наиболее достоверный метод для исследования контактных явлений является метод разрезного (составного) резца [1, 2]. Наиболее просто выполнять эксперименты при обточке периферии диска шириной  $b$  с радиальной подачей  $s$  (мм/об) (рис. 2) динамометра с разрезным резцом (рис. 3).

Экспериментально были получены гистограммы удельных контактных нагрузок на передней поверхности резца, по которым были построены эпюры контактных напряжений (рис. 4).

При обработке результатов экспериментов было выявлено, что распределение касательных контактных напряжений можно несколько упростить, принимая, что на первом её участке от режущей кромки до половины длины контакта стружки с передней поверхностью резца имеется равномерное распределение, независимо от обрабатываемого материала. Это подтверждается результатами экспериментов и другими исследователями [1-4].

При дальнейшем отдалении от режущей кромки у эпюры  $\tau$  можно принять участок с прямо пропорциональным уменьшением до нуля (см. рис. 4).

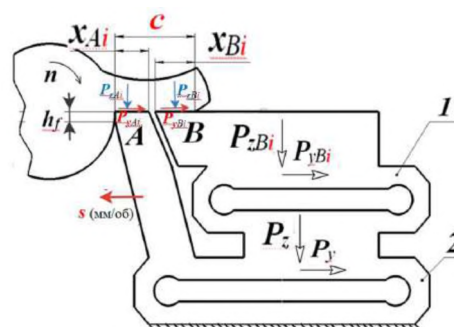


Рис. 1. Положение пластин  $A$  и  $B$  разрезного резца, закреплённых на упругих измерительных элементах  $I$  и  $2$  специального токарного динамометра конструкции В.А. Красильникова [1]

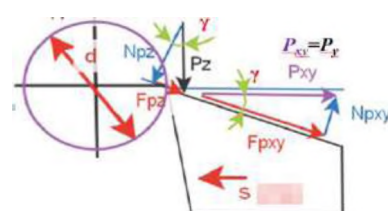


Рис. 2. Обточка периферии диска шириной  $b$  с радиальной подачей  $s$  (мм/об).

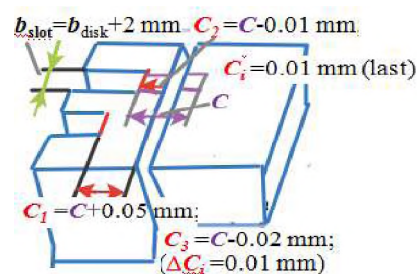


Рис. 3. Секции разрезного резца.

Такая простая форма эпюры касательных контактных напряжений позволяет рассчитать касательные контактные напряжения  $\tau_{const}$  на этом первом участке по уравнению:

$$\tau_{const} = F / (0,75 \cdot c \cdot b) \text{ (МПа)},$$

где  $F$  – касательная сила (Н);  $c$  – длина контакта стружки с передней поверхностью реза (мм);  $b$  – ширина контакта стружки с передней поверхностью реза (мм).

Форма эпюры нормальных контактных напряжений  $\sigma$  значительно сложнее, поэтому предложено построить её относительно эпюры касательные контактные напряжения  $\tau$ , а для это предложено использовать закономерности изменения условного коэффициента трения стружки по передней поверхности  $\mu_i = \tau_i / \sigma_i$

Результаты экспериментов исследователей [1, 2, 3] показали, что закономерности изменения  $\mu_i$  мало зависят от переднего угла и толщины среза  $a = s \cdot \sin \phi$ , где  $\phi$  – главный угол в плане (°). При анализе результатов экспериментов часто используется относительная длина контакта стружки  $\psi_i = x_i / c$ , где  $x_i$  – расстояние точки от режущей кромки инструмента (безразмерная величина). Это позволяет на поле графика располагать графики с различной длиной контакта стружки, т.е. и полученные при различной величине толщины среза  $a$ .

При относительной длине контакта  $\psi_i = x_i / c \approx 0,4$ , т.е. при  $x_i = 0,4 \cdot c$  будет пересечение графика  $\sigma$  с графиком  $\tau$ , т.к. в этой точке коэффициент трения  $\mu_i = 1$ , то есть там  $\sigma = \tau$  (рис. 4, 5).

В конце контакта стружки с передней поверхностью реза в точке  $\psi_i \approx 0,8$  (т.е. при  $x_i \approx 0,8 \cdot c$ ) должно быть  $\sigma_i \approx \tau_i / 1,6$  (рис. 4 и 5).

Через две точки  $\sigma$ : 1) при  $x_i = c$ ; где  $\sigma_i = 0$  МПа); 2) при  $x_i = 0,8 \cdot c$  проводим прямую линию до пересечения с линией, перпендикулярной передней поверхности в точке  $x_i = 0,5 \cdot c$  (рис. 4).

Из полученной точки проводим прямую, параллельную передней поверхности, до пересечения с наклонной прямой  $\sigma$ , ниспадающей от режущей кромки (рис. 4), т.к. на участке до  $x_i \approx 0,5 \cdot c$  имеется горизонтальная линия у эпюры нормальных контактных напряжений  $\sigma$ , а при дальнейшем отдалении от режущей кромки у эпюры  $\sigma$  имеется прямолинейное уменьшение до нуля в точке  $x_i = c$ .

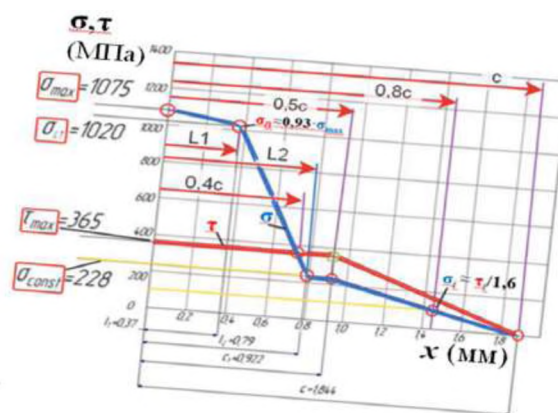


Рис. 4. Эпюры нормальных  $\sigma$  и касательных  $\tau$  контактных напряжений (МПа) на передней поверхности реза. Сталь 40Х – Т15К6,  $\gamma = +7^\circ$ ;  $v = 120$  м/мин;  $a = s = 0,368$  мм;  $b = 4$  мм;  $c = 1,844$  мм;  $c_1 = 0,922$  мм;  $P_{y \text{ эксп}} = 1623$  Н;  $P_{z \text{ эксп}} = 3061$  Н;  $F_{\text{эксп}} = 2014$  Н;  $N_{\text{эксп}} = 2837$  Н.

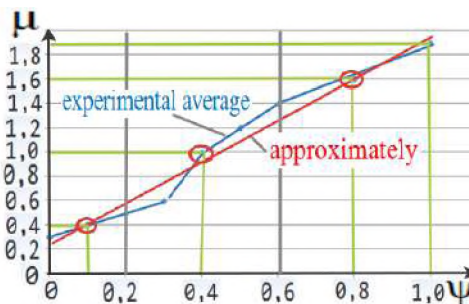


Рис. 5. Изменение условного коэффициента трения стружки по передней поверхности  $\mu_i$  при обработке стали в зависимости от относительная длина контакта стружки  $\psi_i = x_i / c$  [1].

Величину  $\sigma_{\max}$  у режущей кромки задаём *сначала* приблизительно сами, в первом приближении  $\sigma_{\max} = 2 \cdot \sigma_B$ , где  $\sigma_B$  – временное сопротивление разрыву обрабатываемого материала при комнатной температуре (МПа). Например, для стали 40X  $\sigma_B = 495$  МПа.

На расстоянии от режущей кромки  $l_1 \approx a$  (мм)  $\sigma_{D1} \approx (0,92 \dots 0,93) \times \sigma_{\max}$ , т.к. там ещё нет стружки, она только формируется, давление от реза идёт на заготовку, поэтому там имеется примерно равномерное распределение нормальных напряжений  $\sigma$ .

Проверяем правильность построения эпюр – сила, рассчитанная по площади (объёму) эпюры должна быть приблизительно равна соответствующей силе из эксперимента.

Корректируем правильность назначения  $\sigma_{\max}$ , чтобы соблюдалось равенство

$$N = b \times \int_0^c \sigma_i \times dx \approx N_{\text{эксп}} \text{ (Н)}, \quad (1)$$

где  $x_i$  изменяется от 0 (координата у режущей кромки, т.е. при  $x_i = 0$  мм) до  $x_i = c$  (координата точки отрыва стружки от передней поверхности);  $b$  – ширины контакта стружки с передней поверхностью реза,  $b = t / \sin \varphi$ .

Для выполнения равенства (1) сначала рассчитывается площадь эпюры  $\sigma$  (см. пример на рис. 6):

$$S_{\sigma} = \sum s_{\sigma i} \text{ (МПа/мм)}.$$

Затем рассчитывается нормальная сила по эпюре  $\sigma$ :  $N_{\sigma} = S_{\sigma} \times b$  (Н). Она должна быть приблизительно равна нормальной силе по эксперименту  $N_{\text{эксп}}$  (Н).

Если нормальная сила по эпюре  $\sigma$ , т.е.  $N_{\sigma}$  меньше, чем полученная в эксперименте, то увеличиваем  $\sigma_{\max}$ , если больше – то уменьшаем её. После этого пересчитываем нормальную силу по эпюре  $N_{\sigma}$  и повторяем до тех пор, пока не получим  $N_{\sigma} \approx N_{\text{эксп}}$ .

Аналогично выполняем для касательной силе по эпюре  $\tau$ :  $F_{\tau} = S_{\tau} \times b \approx F_{\text{эксп}}$  (Н).

Но здесь не должно быть никаких проблем, т.к. изначально  $\tau_{\text{const}} = F / (0,75 \cdot c \cdot b)$ .

Нахождение величины  $\sigma_{\max}$  вышеуказанным способом является единственно возможным способом её определения, т.к. ни одним известным в настоящее время методом невозможно определить контактные напряжения ближе 0,1-0,2 мм от режущей кромки, т.к. пластины *A* разрезного реза (рис. 1) выкрашивается при расстоянии поверхности раздела пластин от режущей кромки  $x_{Ai} \leq 0,2$  мм, а при использовании методов лазерной интерферометрии [5] или поляризационно-оптическим [2-4] линии сливаются и их невозможно выделить.

### Список литературы:

1. Полетика М.Ф., Красильников В.А. Динамометр для измерения силы и напряжений на передней поверхности реза. /Станки и инструменты, 1971, т. 2, с. 37-38.
2. Полетика М.Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. – М.: Машиностроение, 1969.- 150 с.

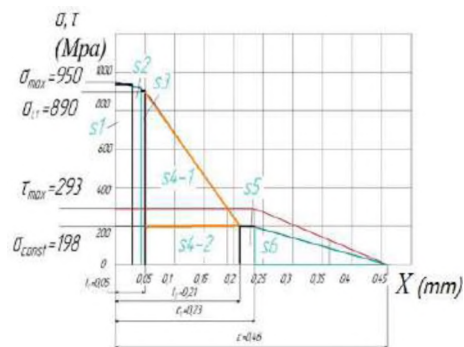


Рис. 6. Проверка правильности построения эпюр нормальных  $\sigma$  и касательных  $\tau$  контактных напряжений на передней поверхности реза. Сталь 40X-T15K6;  $t=2$ мм;  $v=120$  м/мин;  $\gamma=7^\circ$ ,  $\varphi=45^\circ$ ,  $s=0,07$  мм/об.

3. Полетика М.Ф., Утешев М.Х. Исследование процесса резания поляризационно-оптическим методом. – Известия Томского политехнического института, 1964, т. 114, С. 21-32.
4. Утешев М.Х., Сенюков В.А. Некоторые результаты исследования напряжённо-деформированного состояния режущей части инструмента при помощи лазера. – В кн.: Прочность режущего инструмента, Москва, 1969, С. 38-50.
5. Филиппов А.В. Исследование деформации при резании металлов методом спекл-интерферометрии [Электронный ресурс] / А. В. Филиппов, А. В. Проскоков // Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи : сборник трудов Российской молодежной научной конференции, 3-4 декабря 2013 г., Томск 2 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — 2013. — Т. 1. — [С. 179-183]. — Заглавие с титульного экрана. — Свободный доступ из сети Интернет. — Adobe Reader. Режим доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2013/C50/V1/048.pdf>, 2020 . — [С. 144-145].