



Т.к. пластина  $B$  стоит на верхнем поясе упругих элементов  $I$ , то силы, действующие на неё, будут передаваться на нижний пояс упругих элементов. Таким образом,  $P_z = P_{zAi} + P_{zBi}$  и  $P_y = P_{yAi} + P_{yBi}$ . Силы на пластине  $A$  нам определять не требуется, нам необходимо, чтобы  $P_z = \text{const}$  и  $P_y = \text{const}$  в рассматриваемой серии экспериментов.

Резание выполняется на всех участках (секциях) разрезного резца. От режущей кромки до поверхности раздела пластин расстояние  $x_{Ai} = c - \Delta x_i = c - x_{Bi}$ . Чем меньше величина  $\Delta x_i$ , тем точнее будет определено распределение контактных напряжений, но тем больше должно быть количество участков:  $i = c/\Delta x_i$ , поэтому принимается  $\Delta x_i = 0,1-0,2$  мм. При переднем угле  $\gamma = 0^\circ$  нормальная сила на передней поверхности  $N = P_z$ , а касательная сила  $F = P_y$ .

Расчёт физических составляющих силы резания  $N$  и  $F$  по технологическим составляющим  $P_z$  и  $P_y$  при переднем угле  $\gamma \neq 0^\circ$  выполняем по формулам, которые получаем из суммы векторов (рис. 2):

$$\vec{P}_z = \vec{N}_{Pz} + \vec{F}_{Pz}; \quad \vec{P}_y = \vec{F}_{Py} + \vec{N}_{Py}.$$

Из этих формул при  $\gamma > 0^\circ$  получаем два уравнения (1) и (2) для расчёта физических сил резания:

$$N = N_{Pz} - N_{Py} = P_z \times \cos \gamma - P_y \times \sin \gamma; \quad (1)$$

$$F = F_{Py} + F_{Pz} = P_y \times \cos \gamma + P_z \times \sin \gamma. \quad (2)$$

В уравнении (1) второе слагаемое со знаком **минус** ( $-N_{Py}$ ), т.к. эта составляющая направлена в **обратном** направлении по сравнению с направлением  $N_{Pz}$ . Это создаёт парадоксальную ситуацию: при увеличении переднего угла  $\gamma$  с увеличением технологической силы  $P_y$  нормальная физическая сила  $N$  в уравнении (1) уменьшается, что при очень больших передних углах (более  $25^\circ$ ) может приводит к малой нормальной силе, когда вторая часть формулы (1) становится лишь немного меньше первой части, т.е. коэффициент трения увеличивается с увеличением переднего угла  $\gamma$ .

При **отрицательной** величине переднего угла  $\gamma$  и **несвободном** резании используются немного другие уравнения:

$$N = N_{Pz} + N_{Py} = P_z \times \cos \gamma + P_y \times \sin \gamma; \quad (3)$$

$$F = F_{Py} - F_{Pz} = P_y \times \cos \gamma - P_z \times \sin \gamma. \quad (4)$$

Приращение сил  $P_y$  и  $P_z$  на рассматриваемом  $i$ -том участке пластины  $B$  по сравнению с этими силами на предыдущем ( $i-1$ ) участке рассчитываются по уравнениям:

$$\Delta P_{yBi} = P_{yBi} - \Delta P_{yBi-1} \quad (H). \quad (5)$$

$$\Delta P_{zBi} = P_{zBi} - \Delta P_{zBi-1} \quad (H). \quad (6)$$

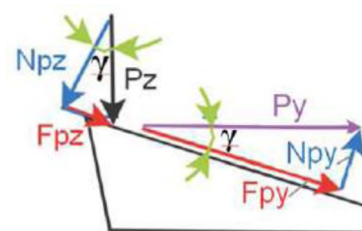


Рис. 2. Схема направления составляющих технологических  $P_z$ ,  $P_y$  и физических  $N_{Pz}$ ,  $F_{Pz}$ ,  $N_{Py}$ ,  $F_{Py}$  силы резания на передней поверхности резца в главной секущей плоскости при прямоугольном свободном тчении периферии диска

Нормальная и касательная силы на  $i$ -том участке рассчитываются по уравнениям (7) и (8) в соответствии с уравнениями (1), (2) и (5), (6):

$$N_i = \Delta P_{zBi} \times \cos \gamma - \Delta P_{yBi} \times \sin \gamma; \quad (7)$$

$$F_i = \Delta P_{yBi} \times \cos \gamma + \Delta P_{zBi} \times \sin \gamma. \quad (8)$$

Удельные нормальные  $q_{Ni}$  и касательные  $q_{Fi}$  контактные нагрузки (силы) на  $i$ -том участке пластины  $B$  рассчитывается как отношение **приращения сил** на этом участке к **приращению площади**  $\Delta S_i$  контакта стружки на этом  $i$ -том участке:

$$q_{Ni} = \Delta N_i / \Delta S_i = (N_i - N_{i-1}) / (\Delta x_i \times b) \quad (\text{МПа}); \quad (9)$$

$$q_{Fi} = \Delta F_i / \Delta S_i = (F_i - F_{i-1}) / (\Delta x_i \times b) \quad (\text{МПа}). \quad (10)$$

При  $\Delta x_i \rightarrow 0$  мм удельные нормальные  $q_{Ni}$  и касательные  $q_{Fi}$  контактные нагрузки на  $i$ -том участке пластины  $B$  будут приближаться к **нормальным  $\sigma$**  и **касательным  $\tau$**  контактными **напряжениям** на этом участке:  $q_{Ni} \approx \sigma_i$  (МПа),  $q_{Fi} \approx \tau_i$  (МПа).

На рис. 3 представлены **гистограммы** удельных **нормальных  $q_{Ni}$**  и **касательных  $q_{Fi}$**  контактных нагрузок на различных участках передней поверхности резца, по которым можно построить графики распределения (эпюры) **нормальных  $\sigma$**  и **касательных  $\tau$**  контактных напряжений.

Построение эпюр лучше начинать с эпюры касательных  $\tau$  контактных напряжений, т.к. на рис. 3 можно выделить участок от  $x_{Ai} = 0$  до  $x_{Ai} = c_1 = 0,992$  мм (т.е.  $c_1 \approx 0,5 \cdot c$ ), где эпюра имеет равномерный характер, т.е. на этом участке график  $\tau$  параллелен передней поверхности резца, что соответствует исследованиям контактных нагрузок при обработке стали [1-4]. Это позволит рассчитать величину касательных контактных напряжений на этом участке  $\tau_{\text{const}} = F / (0,75 \cdot c \cdot b)$ .

В нашем примере  $\tau_{\text{const}} = F / (0,75 \cdot c \cdot b) = 2014 / (0,75 \cdot 1,84 \cdot 4) = 364,9$  (Н/мм<sup>2</sup>), где  $c$  – это длина контакта стружки с передней поверхностью.

Эта величина соответствует средней величине касательных контактных напряжений на этом участке ( $\tau_i$  изменяется от 343 до 400 МПа).

Эпюру нормальных контактных напряжений

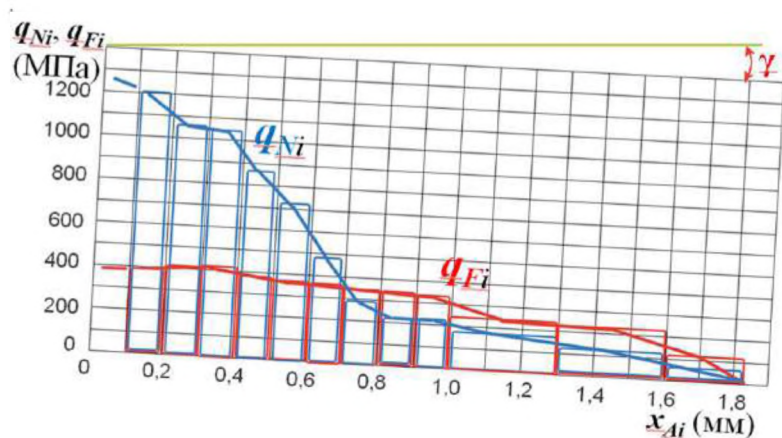


Рис. 3. Гистограммы удельных касательных  $q_{Fi}$  и нормальных  $q_{Ni}$  контактных нагрузок (МПа) на  $i$ -том участке пластины  $B$ . Абсцисса – расстояние от режущей кромки  $x_{Ai}$  (мм). Сталь 40X – T15K6,  $\gamma = +7^\circ$ ;  $v = 120$  м/мин;  $a = s = 0,368$  мм;  $b = 4$  мм;  $c = 1,844$  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.

$\sigma$  можно построить относительно эпюры касательных контактных напряжений, зная изменение условного коэффициента трения  $\mu_i = \tau_i / \sigma_i$  вдоль передней поверхности режущего инструмента [3].

### Список литературы:

1. Полетика М.Ф., Красильников В.А. Динамометр для измерения силы и напряжений на передней поверхности резца. /Станки и инструменты, 1971, т. 2, с. 37-38.
2. Козлов В. Н., Цуй Ц., Хуан Ч., Чжан Ц. Методика измерения контактных напряжений на поверхностях режущего инструмента // Наука и образование: Материалы XX Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (18-22 апреля 2016 г.) – Томск: Издательство Томского государственного педагогического университета, 2016, с. 97-105.
3. Определение параметров эпюр контактных напряжений на передней поверхности режущего инструмента при обработке стали / Ц. Чжао, В. Н. Козлов, Ц. Ю, М. Ци // Современные проблемы машиностроения сборник трудов XIII Международной научно-технической конференции, г. Томск, 26-30 октября 2020 г.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; под ред. Е. Н. Пашкова . — Томск : Томский политехнический университет , 2020 . — [С. 144-145].
4. Полетика М.Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. – М.,: Машиностроение, 1969.- 150 с.