

## **ВЛИЯНИЕ ПЕРЕДНЕГО УГЛА НА УДЕЛЬНЫЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ**

*В.Н. Козлов, к.т.н., доц.,  
Л. Хе, магистрант гр. 4АМ01;  
А. Ян, магистрант гр. 4АМ01;  
М. Ци, аспирант гр. А1-21,*

*Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30  
тел.(3822)-606-389*

E-mail: kozlov-viktor@bk.ru

Для расчёта режущих инструментов на прочность необходимо знать составляющие силы резания [1]. Их измерение требует использование динамометра, которых на производстве обычно нет, а расчёт сил по эмпирическим формулам, опубликованным в справочниках, в отдельных случаях имеет погрешность до 50% [1].

При изучении процессов фрезерования приходится рассматривать изменение сил резания от толщины среза  $a$ , т.е.  $P_i = f(a_i)$ , т.к. в процессе резания при повороте зуба фрезы на угол  $\psi_i$  (°) относительно начальной точки врезания в заготовку происходит изменение толщины среза при неизменной подаче на зуб  $s_z$  (мм/зуб) и постоянной ширине фрезерования  $B$  (мм) и глубине резания  $t$  (мм). При встречном фрезеровании можно рассчитать толщину среза при любом положении зуба фрезы по формуле  $a_i = s_z \cdot \sin \psi_i$  (мм), а значит рассчитать и составляющие силы резания. Поэтому лучше рассматривать более универсальную величину, т.е. толщину среза  $a$  (мм), а не подачу  $s$  (мм/об), характерную только для токарной обработки.

Расчёт составляющих силы резания может быть выполнен более просто с использованием величины удельной силы резания

$$q_P = P/(a \cdot b) \approx P/(t \cdot s),$$

где  $a$  – толщина среза (мм), рассчитываемая по формуле  $a = s \cdot \sin \varphi$ ;  $b$  – ширина среза (мм), рассчитываемая по формуле  $b = t / \sin \varphi$ ;  $\varphi$  – главный угол в плане (°);  $s$  – продольная подача (мм/об);  $t$  – глубина резания (мм).

Использование удельной силы резания позволяет рассчитать силу резания для любой подачи и глубины резания исследованного диапазона величины переднего угла, подачи и глубины резания, при знании длины контакта главной режущей кромки с заготовкой  $b$  (мм).

Для расчёта физических составляющих силы резания на передней поверхности сменных многогранных пластин (СМП), которыми оснащаются большинство режущих инструментов [3], используются технологические составляющие силы резания: тангенциальная составляющая  $P_z$ , которая совпадает по направлению с вектором скорости резания  $v$ , а также составляющая  $P_{xy}$ , которая является результирующей векторов: осевой  $P_x$  и радиальной  $P_y$  составляющих силы резания, – которая рассчитывается по формуле  $P_{xy} = (P_x^2 + P_y^2)^{1/2}$ .

В некоторых случаях используется другое определение удельной силы резания: как отношение силы  $P$  (Н) к длине контакта главной режущей кромки резца с заготовкой, или к ширине среза  $b$  (мм), т.е. линейной удельной силы резания  $q_{P_{\text{лин}}} = P/b$  (Н/мм). В этом случае строятся графики зависимости линейной удельной силы резания  $q_{P_{xy \text{ лин}}} = P_{xy}/b$  и  $q_{P_z \text{ лин}} = P_z/b$  (Н/мм) от величины переднего угла  $\gamma$  при выбранной толщине среза  $a$  (рис. 1). На этих рисунках можно выделить два участка, на каждом из которых имеется своя интенсивность увеличения сил при уменьшении переднего угла  $\gamma$ : **первый** от  $+35^\circ$  до  $0^\circ$  и **второй** от  $0^\circ$  до  $-30^\circ$ .

Линейные удельные силы резания несущественно увеличиваются при уменьшении главного переднего угла от  $+35^\circ$  до  $0^\circ$  (особенно  $q_{P_z \text{ лин}}$ ), но уменьшение переднего угла  $0^\circ$  до  $-30^\circ$  приводит к значительному увеличению этих сил. Это связано с неблагоприятными условиями образования стружки при отрицательном переднем угле, когда стружка должна

изменить направление своего движения практически на противоположное от направления скорости резания, что вызывает бóльшую пластическую деформацию в первичной зоне пластических деформаций [2].

Линейная удельная сила  $q_{P_{xy}} \text{ лин}$  (Н/мм) и  $q_{P_z} \text{ лин}$  (Н/мм)

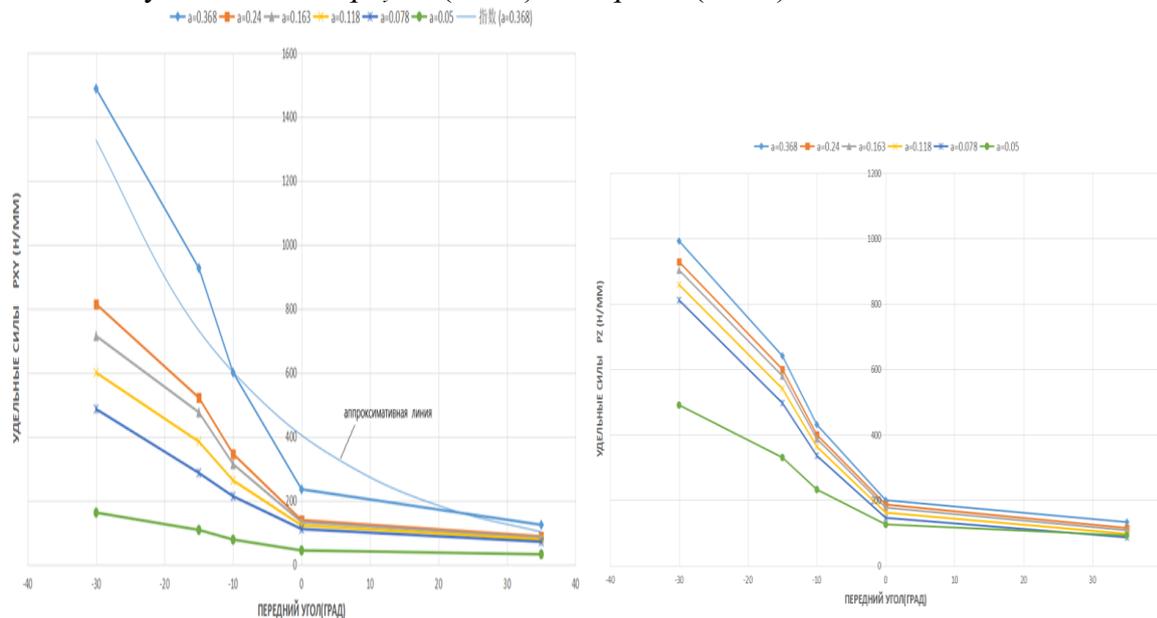


Рис. 1. Влияние переднего угла  $\gamma$  ( $^\circ$ ) на **линейную** удельную силу  $q_{P_{xy}} \text{ лин}$  (а) и  $q_{P_z} \text{ лин}$  (Н/мм) (б) в зависимости от толщины среза  $a$  (мм)

Для толщины среза  $a = 0,368$  мм график  $q_{P_{xy} \text{ лин}} = f(a)$  может быть описан одним уравнением для обоих участков:  $q_{P_{xy} \text{ лин}} = 600 + 6,28 \cdot \gamma + 0,197 \cdot \gamma^2$  (Н/мм).

График  $q_{P_z \text{ лин}} = f(a)$  для толщины среза  $a = 0,368$  мм может быть описан двумя уравнениями: для диапазона от  $\gamma = 0^\circ$  до  $\gamma = +35^\circ$  **аппроксимирующим** уравнением  $q_{P_z} = -8,045 \cdot \gamma + 772,375$  (Н/мм), а для диапазона от  $\gamma = -30^\circ$  до  $\gamma = 0^\circ$  другим уравнением  $q_{P_z} = -4,45 \cdot \gamma + 859,6$  (Н/мм).

Удельные силы резания  $q_{P_{xy} \text{ лин}}$  (рис. 1 б) даже у неизношенного по задней поверхности резца меньше  $q_{P_z \text{ лин}}$  (рис. 1 а), за исключением толщины среза  $a = 0,368$  мм: при  $\gamma = -30^\circ$  она примерно в 1,5 раза больше. При толщине среза  $a = 0,05$  мм удельная сила резания  $q_{P_{xy} \text{ лин}}$  существенно меньше  $q_{P_z \text{ лин}}$ : в диапазоне переднего угла от  $0^\circ$  до  $-30^\circ$  она отличается почти в 3 раза. Это говорит о существенном уменьшении коэффициента трения из-за ухудшении теплоотвода при небольшой толщине стружки и вызываемой этим явлением увеличением температуры в контактном слое [2].

### Список литературы:

1. Расчёт режущих пластин при обработке сталей / Хэ Лин, Ян Анькан, Чжоу Вэньсуань, В. Н. Козлов; науч. рук. В. Н. Козлов // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов сборник докладов I Международной научно-практической конференции, Томск, 27-29 апреля 2021 г.: в 2 т.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Школа базовой инженерной подготовки. — 2021. — Т. 1. — [С. 273-280].
2. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента/Полетика М.Ф. — Москва: Машиностроение, 1969. — 148 с.