

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гао Сицюань, Дин Юмей, Го Юнхун. [М]// Цифровая обработка сигналов: принципы, реализация и приложения. 2010. № 62-83. ISBN: 9787121107641
2. Ма Болин, Ли Даньхэн, Ян Хуахуэй. [М]// Функция комплексной переменной и интегральное преобразование. 2007. № 140- 153. ISBN: 9787309054125
3. Учияма Р., Чжан Сюэцзюнь, Фудзита Х. и др. Компьютерная диагностика для МРТ головного мозга и печени [J]// Лаборатория изображений. 2012(2). № 41-46. <https://doi.org/10.3169/itej.65.436>

Ди Чэнь (Китай), Дин Цзэжу (Китай),
Ли Вэйхан (Китай), Жуй Минхань (Китай),
Козлов Виктор Николаевич (Россия)

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Научный руководитель: Козлов Виктор Николаевич,
канд. техн. наук, доцент

ВЛИЯНИЕ ИЗНОСА НА ВЫДЕРЖИВАЕМЫЙ РАЗМЕР И ПРОЧНОСТЬ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Черновая обработка предназначена для высокопроизводительного удаления большого припуска, является предварительной обработкой и поэтому не требует высокой точности выдерживаемого размера, что позволяет операторам станков на производстве допускать большой износ режущего инструмента, однако это приводит к увеличению вероятности его поломки.

В настоящее время практически всегда используются сменные многогранные пластины (СМП), или многогранные неперетачиваемые пластины (МНП) из твёрдого сплава. При резании износ происходит по всем поверхностям, но в наибольшей степени по задней поверхности. При этом образуется фаска длиной h_z (в англоязычной литературе h_f) с задним углом на ней $\alpha_h = 0^\circ$, если длина фаски не превышает 0,75 мм [1-4]. При бóльшей длине фаски увеличивается вероятность скола СМП.

При появлении фаски износа на задней поверхности происходит увеличение силы резания, особенно радиальной P_y и осевой P_x составляющих. Увеличение силы P_y приводит к росту упругой деформации системы станок – приспособление – инструмент - деталь (СПИД). Это

вызывает увеличение диаметра обработанной поверхности и погрешности формы (отклонение от круглости и цилиндричности), погрешности расположения обработанной поверхности относительно базовой поверхности. Поэтому с уменьшением жёсткости системы СПИД увеличивается разница между настраиваемым и полученным диаметром.

При износе происходит не только увеличение длины фаски износа на главной задней поверхности, но и увеличение износа по вершине в радиальном направлении, или так называемого размерного износа $h_{\Delta} = h_f \cdot \operatorname{tg} \alpha_{\text{в}}$, где $\alpha_{\text{в}}$ – величина заднего угла режущего инструмента у вершины. Обычно $\alpha_{\text{в}} \approx \alpha$. Совместное действие этих факторов приводит к более существенному увеличению диаметра обработанной поверхности заготовки.

Графики зависимости длины фаски износа на задней поверхности h_f (мм) от длительности обработки τ (мин) при использовании твёрдосплавного инструмента обычно выглядят как прямые линии (рис. 1). Если требуется определить время работы инструмента до предельно допустимого износа $h_{f \max}$, то выполняется пересечение горизонтальной линии при этой длине фаски $h_{f \max}$ до построенного графика при соответствующей скорости резания v и подачи s (на рис. 1 показано красными стрелками для $v = 250$ м/мин и $s = 0,52$ мм/об при $h_{f \max} = 0,7$ мм).

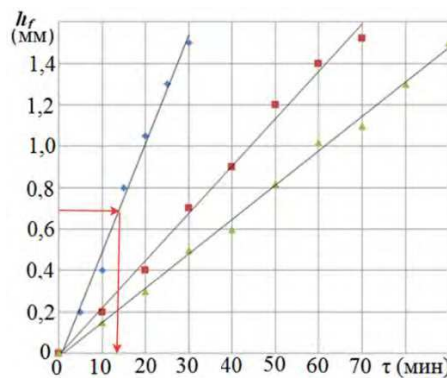


Рис. 1. Влияние времени резания τ (мин) на длину фаски износа на задней поверхности h_f (мм). Сталь 40Х - Т15К6; $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$; $\gamma = -7^\circ$; $\alpha = 12^\circ$; $r = 1$ мм, $t = 2$ мм. ▲ – $s = 0,13$ мм/об, $v = 150$ м/мин;

■ – $s = 0,52$ мм/об, $v = 150$ м/мин;

◆ – $s = 0,52$ мм/об, $v = 250$ м/мин.

Исследования выполнялись на скоростях резания $v = 150$ и 250 м/мин, в пределах которых обычно выполняется черновая обработка стали. Глубина резания меньше всего влияет на интенсивность

износа, поэтому эксперименты проводились при небольшой для черновой обработки глубине резания $t = 2$ мм для экономии заготовок (обычно $t = 2,5-4,5$ мм).

В качестве заготовок использовались прутки из стали 40Х с твёрдостью НВ 190-200. Исследования стойкости и изменения сил резания выполнялись с применением квадратных СМП с широко распространённой геометрией: главный угол в плане $\varphi = 45^\circ$, вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 45^\circ$, главный передний угол $\gamma = -7^\circ$, главный задний угол $\alpha = 12^\circ$, радиус при вершине $r = 1$ мм.

Для построения графиков $h_f = f(\tau)$ (рис. 1.) производилась обработка с постоянной подачей и глубиной резания при неизменной скорости резания v . Через каждые 10 мин точение останавливалось, инструмент отводился от заготовки, и, не снимая его с резцедержателя, измерялась длина фаски износа на задней поверхности h_f с помощью портативного инструментального микроскопа «Мир» (трубки «Мир».

Увеличение подачи при одинаковой скорости резания приводит к увеличению интенсивности износа (рис. 1). Увеличение скорости резания при одинаковой подаче приводит к ещё большему увеличению интенсивности износа.

Составляющие P_z , P_y и P_x силы резания измерялись с помощью токарного динамометра Kistler. Затем рассчитывалась результирующая сил P_x и P_y : $P_{xy} = (P_x^2 + P_y^2)^{1/2}$, действующая в основной плоскости (для обычного токарного станка это горизонтальная плоскость).

Из наших экспериментов было выявлено, что на начальном этапе изнашивания (до $h_f \leq 0,3$ мм) износ практически не влияет на силы резания. Это объясняется нами наличием прогиба поверхности резания под действием составляющей P_{xy} силы резания на передней поверхности [5]. При $h_f > 0,6$ мм происходит очень интенсивное увеличение результирующей P_{xy} силы резания. Это вызывает увеличение вероятности скола СМП, поэтому на практике стараются не допускать длину фаски износа h_f более 0,75 мм.

Составляющие силы резания P_y и P_x увеличиваются более интенсивно по сравнению с P_z , что связано, по нашему мнению, с небольшим коэффициентом трения на фаске задней поверхности.

Изменение диаметра заготовки $\Delta d_{упр}$ (мм) из-за её упругой деформации в результате увеличения радиальной составляющей силы резания P_y (Н) в процессе износа токарного резца можно рассчитать по формуле:

$$\Delta d_{упр} = 2 \cdot \Delta P_y / (J_{заг} + J_{спн}), \quad (1)$$

где: ΔP_y – изменение радиальной составляющей силы резания P_y после увеличения длины фаски износа на задней поверхности на вели-

чину h_f (мм) по сравнению с острым резцом; $J_{\text{заг}}$ – жёсткость заготовки (Н/мм); $J_{\text{спи}}$ – суммарная жёсткость системы станок-приспособление-инструмент (Н/мм). Для обработки цилиндрической заготовки на токарном станке более конкретно $J_{\text{спи}}$ – это жёсткость системы «шпиндельный узел станка - токарный патрон – инструмент – резцедержатель - продольный суппорт».

Наши исследования показали, что наименьшую жёсткость у токарного станка нормальной точности имеет резцедержатель (5 000 Н/мм) и шпиндельный узел (50 000 Н/мм).

Жёсткость заготовки зависит от способа её закрепления, её диаметра и длины. Наибольшее отклонение $y_{\text{заг max}}$ (мм) от начального положения под действием радиальной составляющей силы резания P_y имеется у правого торца при консольном закреплении заготовки в патроне:

$$y_{\text{заг max}} = P_y \cdot l^2 / (3 \cdot E \cdot I), \quad (2)$$

где: l – длина заготовки (мм); E – модуль упругости (модуль Юнга) (МПа). Для стали $E = 0,21$ (МПа); I – момент инерции поперечного сечения заготовки (мм⁴). Для круглой заготовки $I = \pi \cdot d^4 / 64$ (мм⁴).

При закреплении заготовки в центрах наибольшее отжатие происходит посередине заготовки

$$y_{\text{заг max}} = P_y \cdot l^3 / (48 \cdot E \cdot I). \quad (3)$$

При обработке заготовки диаметром 50-70 мм и длиной 100-200 мм обычно принимается $J_{\text{заг}} \approx J_{\text{спи}} \approx 10\,000$ (Н/мм) [3].

С помощью динамометра определяется изменение радиальной составляющей ΔP_y силы резания при изменении длины фаски на величину Δh_f в процессе износа и рассчитывается изменение диаметра заготовки $\Delta d_{\text{упр}}$ по уравнению (1).

На начальном этапе износа ($h_f = 0-0,3$ мм) радиальная составляющая силы резания P_y изменяется незначительно (примерно на 150 Н, или на 21 %). Можно рассчитать изменение диаметра от упругой деформации:

$$\Delta d_{\text{упр}} = 2 \cdot \Delta P_y / (J_{\text{заг}} + J_{\text{спи}}) = 2 \cdot 150 / (10000 + 10000) = 0,015 \text{ мм.}$$

Размерный износ в радиальном направлении относительно заготовки при заднем угле при вершине $\alpha_b = 12^\circ$ и длине фаски износа при вершине h_{f_b} рассчитывается по уравнению: $h_{\text{раз}} = h_{f_b} \cdot \text{tg} \alpha_b = 0,3 \cdot 0,213 = 0,064$ мм (рис. 3). Изменение диаметра заготовки от размерного износа $\Delta d_{\text{раз}} = 2 \cdot h_{\text{раз}} = 2 \cdot 0,064 = 0,128$ мм.

Общее изменение диаметра от упругой деформации заготовки и размерного износа $\Delta d_{\text{общ}} = \Delta d_{\text{упр}} + \Delta d_{\text{раз}} = 0,015 + 0,128 = 0,143$ мм, что соответствует приблизительно допуску 11 качества для диаметра 50 мм.

При увеличении длины фаски h_f с 0,6 до 0,9 мм (также на 0,3 мм) изменение радиальной составляющей силы резания более существенно за счёт более интенсивного увеличения сил резания – на 750 Н, что ещё больше увеличит погрешность обработки за счёт упругой деформации, хотя размерная составляющая останется той же.

Увеличение сил резания приводит к увеличению вероятности выкрашивания и даже к сколу режущей части инструмента. В первом случае отделяются небольшие объёмы (0,05...0,5 мм) инструментального материала, что происходит обычно на главной режущей кромке.

При использовании СМП чаще всего используются негативные пластины, у которых задний угол создаётся за счёт наклонной поверхности опорной пластины державки против часовой стрелки на требуемый угол α (рис. 3). В этом случае передний угол γ будет по абсолютному значению равен α , но с отрицательным знаком ($\gamma = -\alpha$).

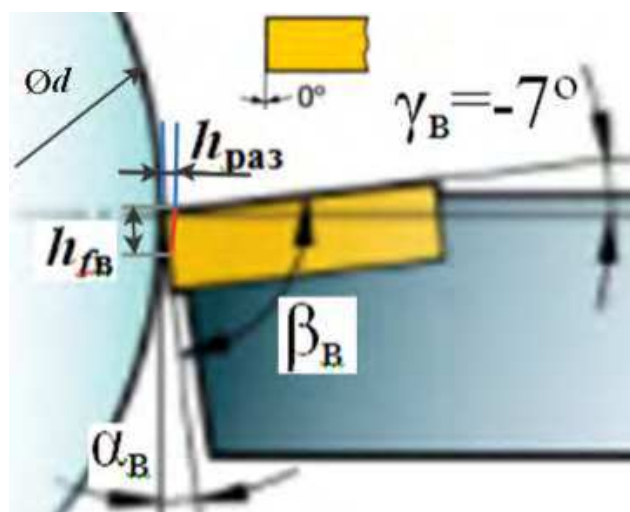


Рис. 3. Негативная СМП и размерный износ $h_{раз}$

Использование программы ANSYS для расчёта напряжений в СМП методом конечных элементов показало, что при длине фаски износа $h_f = 0,7$ мм контактные напряжения на ней существенно увеличиваются при отдалении от режущей кромки более 0,5 мм. Это вызывает рост эквивалентных напряжений в режущем клине СМП до 3625 МПа (рис. 4), что увеличивает вероятность разрушения режущей пластины [4, 5].

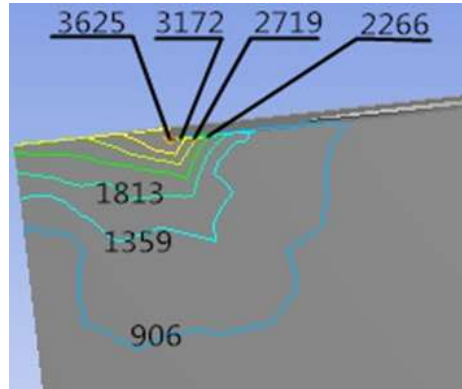


Рис. 4. Распределение внутренних эквивалентных напряжений в режущем клине. Сталь 40Х–Т15К6, $\gamma = -7^\circ$, $\alpha = 7^\circ$, $h_f = 0,7$ мм, $t = 2$ мм, $v = 150$ м/мин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кожевников Д. В., Гречишников В. Л., Кирсанов С. В., Кокарев В. И., Схиртладзе А. Г. Режущий инструмент: Учебник для вузов / Под редакцией С. В. Кирсанова. - 2-е изд. доп. М.: Машиностроение, 2005. - 528 с: ил.
2. Развитие науки о резании металлов /В.Ф. Бобров, Г.И. Грановский, Н.Н. Зорев и др. – Москва: Машиностроение, 1967. – 416 с.
3. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента/Полетика М.Ф. – Москва: Машиностроение, 1969. – 148 с.
4. Kozlov V., Zhang J., Go I. Contact loads on surfaces of worn out cutter in steel machining // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов сборник докладов VIII Всероссийской научно-практической конференции, Томск, 16-18 мая 2018 г.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – Томск : Изд-во ТПУ, 2018. – [С. 39-45];
5. Козлов В.Н., Таха М.Х.М., Сабават С.К. Влияние вида стружки на распределение контактных напряжений на фаске задней поверхности режущего инструмента // VI Всероссийский фестиваль науки. XX Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и образование» (г. Томск, 18–22 апреля 2016 г.): В 5 т. Т. V. Ч. 1: Профессиональное образование в области технологии, дизайна, безопасности жизнедеятельности, транспорта и сервиса / ФГБОУ ВО «Томский государственный педагогический университет». – Томск: Изд-во Том. гос. пед. ун-та, 2016. – с. 91-97.