

УДК 621.941

Л.Н. Девин, д-р. техн. наук, А.Г. Сулима

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ВЕРОЯТНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ РЕЗЦА С КРУГЛОЙ ПЛАСТИНОЙ

The stress and reliability of the diamond cutting tools during Si-Al alloys machining were investigated at the beginning of cutting. The basic influence of stress deviations on reliability of cutting was shown.

Круглые режущие пластины наиболее широко применяются в инструментах из поликристаллических сверхтвердых материалов на основе алмаза. Это связано с тем, что заготовки цилиндрической формы, получаемые после спекания, требуют минимальной механической обработки. Кроме того, в случае использования круглой пластины при одинаковых режимах резания удастся получить обработанную поверхность с меньшей шероховатостью. Однако на практике при использовании круглых пластин часто увеличивается сила резания и вибрации, что может привести к выкрашиванию режущего лезвия или разрушению пластин. Врезание в начале процесса резания, а также в процессе прерывистого точения - наиболее опасные и в то же время мало изученные этапы работы режущих инструментов. Из практики известно, что именно в эти моменты чаще всего происходят сколы и разрушение резца. При неизменных условиях резания инструменты ломаются только в случае сочетания большой подачи и сильных вибраций [1]. В связи с этим более глубокое изучение процессов при врезании круглых пластин (как и резцов с большим радиусом при вершине) позволит увеличить производительность обработки и срок эксплуатации дорогостоящих режущих инструментов.

Процессы прерывистого точения, врезания и выхода инструмента из заготовки как возмущающие факторы, влияющие на работоспособность и напряженное состояние инструментов, изучали многие исследователи [2–9]. Однако они приводят мало информации о возможности аналитического расчета напряженного состояния инструмента и вероятности его разрушения на этапе врезания резца в заготовку.

В массовом производстве поршней двигателей внутреннего сгорания используют инструменты, оснащенные круглыми алмазно-твердосплавными пластинами (АТП), которые обладают высокой износостойкостью при обработке силуминов [10]. Твердый алмазосодержащий слой АТП особенно чувствителен к ударным и знакопеременным нагрузкам, так как пределы прочности при растяжении и при сжатии АТП различаются в 4 раза.

Цель настоящей работы – определить вероятность разрушения таких инструментов путем исследования напряженного состояния режущей части круглых пластин резца на этапе его врезания в начале процесса резания.

Поставленную цель решали путем модернизации аналитического выражения для расчета напряжений в режущем клине, предложенного А.И. Бетанели [11], в случае переходных процессов при врезании с использованием круглых режущих пластин.

В качестве базовой использовали формулу для расчета напряжений в опасных точках режущей пластины [11]:

$$y = \frac{-2 \cdot F}{br} \left\{ \frac{\cos \left[\nu_0 - \left(\frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right] \cos \left[\theta - \left(\frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right]}{\beta + \sin(\beta)} + \frac{\sin \left[\nu_0 - \left(\frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right] \sin \left[\theta - \left(\frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right]}{\beta - \sin(\beta)} \right\} \quad (1)$$

где b – ширина срезаемого слоя; r и θ – полярные координаты с центром на режущей кромке; β – угол заострения; γ – передний угол; ν_0 – угол, определяющий направление равнодействующей силы резания.

$$\nu_0 = \arctan \left(\frac{P_z}{\sqrt{P_x^2 + P_y^2}} \right) \quad (2)$$

Угол ν_0 определяет направление равнодействующей силы резания и знак напряжения (растягивающего или сжимающего) на поверхности резца. Расстояние до наиболее напряженной точки на поверхности резца

$$r = k_0 c, \quad (3)$$

где k_0 – коэффициент, определяющий место расположения максимального напряжения; c – полная длина контакта стружки с инструментом. В соответствии с рекомендациями, приведенными Т.Н. Лолодзе, [12] для передней поверхности принимают $k_0 = (1,5 - 2,5)$ для задней $k_0 = 1$.

Многие ученые предлагали собственно выведенные зависимости для определения полной длины контакта стружки с инструментом, в результате чего были получены различные формулы. Однако все формулы для расчета c полной длины контакта включена толщина срезаемого слоя a . Поэтому согласно литературным данным можно записать

$$c = aX, \quad (4)$$

где a – толщина срезаемого слоя; X – часть формулы зависящая от подхода конкретного автора.

Подставив в (1) выражения (3) и (4) и проведя элементарные преобразования, получим

$$y = \frac{-2 \cdot F}{baXk_0} \left\{ \frac{\cos \left[\nu_0 - \left(\frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right] \cos \left[\theta - \left(\frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right]}{\beta + \sin(\beta)} + \frac{\sin \left[\nu_0 - \left(\frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right] \sin \left[\theta - \left(\frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right]}{\beta - \sin(\beta)} \right\} \quad (5)$$

Как видно в знаменателе формулы (5) содержится произведение ba , равное площади F срезаемого слоя [13], что позволяет записать формулу (5) в следующем виде:

$$y = \frac{-2 \cdot F}{F X k_0} \left\{ \frac{\cos \left[v_0 - \left(\frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right] \cos \left[\theta - \left(\frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right]}{\beta + \sin(\beta)} + \frac{\sin \left[v_0 - \left(\frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right] \sin \left[\theta - \left(\frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right]}{\beta - \sin(\beta)} \right\} \quad (6)$$

С помощью такого подхода было рассчитано напряжения в режущем клине для случаев, когда сечение срезаемого слоя является сложной фигурой, например, при обработке резцом с круглой пластиной (рис.1). В этом случае толщина a и ширина b срезаемого слоя имеют переменное значение.

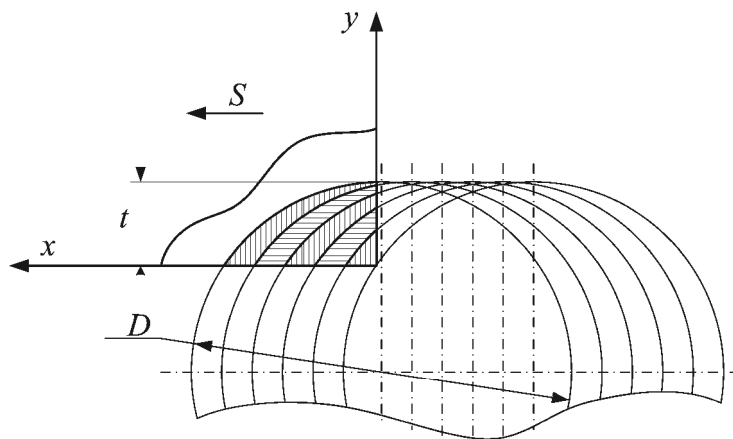


Рис. 1. Форма поперечного сечения срезаемого слоя при точении круглой пластиной при врезании

Для проверки предлагаемой методики расчета напряжения в момент входа инструмента была проведена серия экспериментов при точении силумина резцом с АТП. В качестве заготовки использовали фрагмент поршня двигателя внутреннего сгорания из сплава АЛ25 диаметром 90 мм. Резец был оснащен круглой пластиной АТП диаметром 12,7 мм с передним углом 0° и задним -11° . Скорость резания $v = 400$ м/мин, подача $S = 0,1$ мм/об. Глубину резания t изменяли с 0,1 до 0,5 мм. Составляющие силы резания P_x , P_y и P_z измеряли динамометром УДМ100. Сигналы с динамометра по трем каналам через тензоусилитель поступали на АЦП ADA-1406 и с помощью программы Power Graph записывались на компьютер.

Из приведенных на рис. 2 графиков видно, что во всем исследуемом диапазоне режимов резания напряжения на передней и задней поверхностях резца оставались сжимающими и не превышали предела прочности АТП при сжатии ($\sigma_{сж} = 3,6-5,0$ ГПа). При этом в момент врезания напряжения на задней поверхности в 1,8–2,5 раза превышали уровень напряжений на передней поверхности.

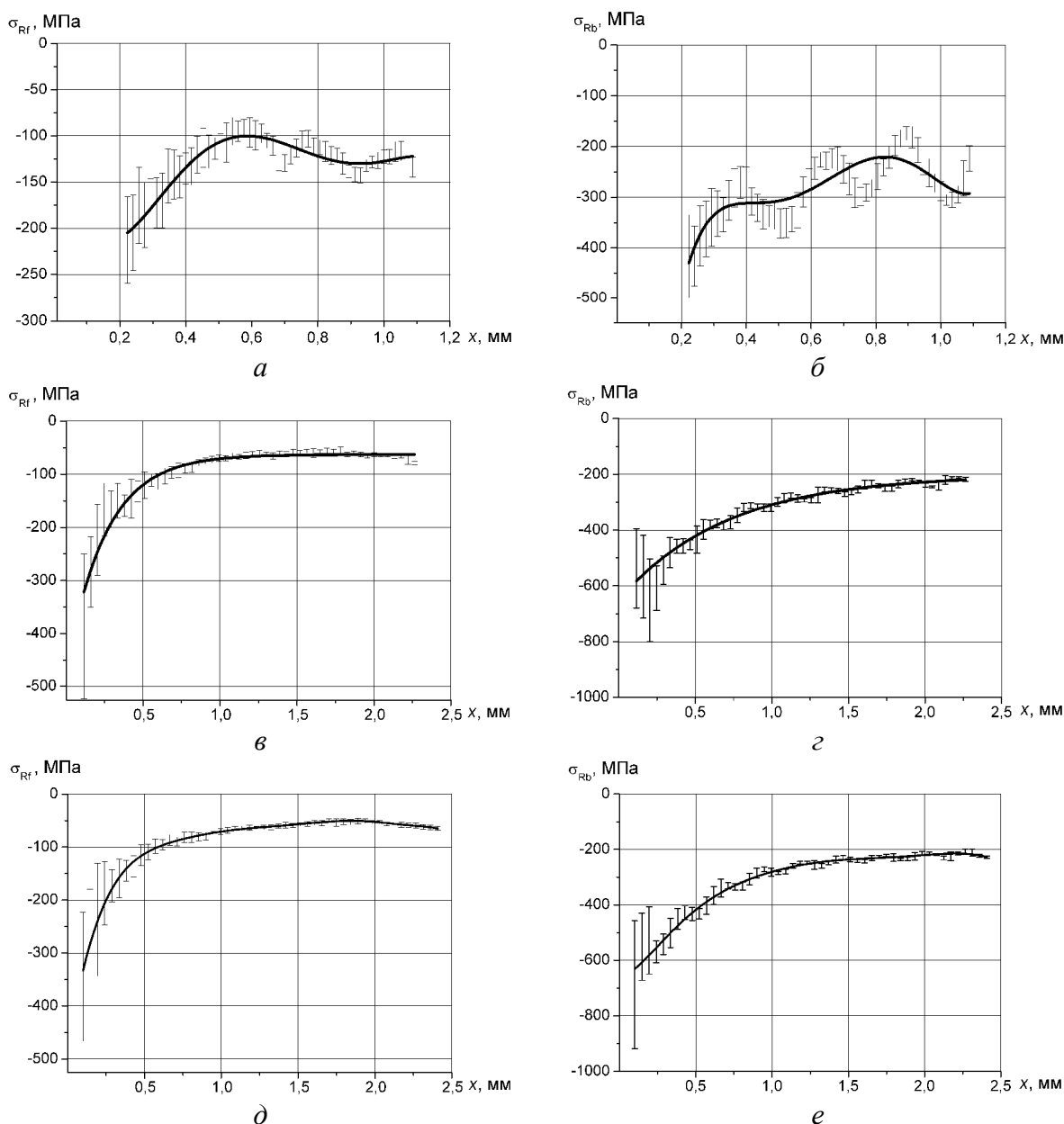


Рис. 2. Изменение напряжений на поверхностях реза при врезании: 1) $t = 0,1$ мм, а – на передней грани; б – на задней грани. 2) $t = 0,4$ мм, в – на передней грани; г – на задней грани. 3) $t = 0,5$ мм, д – на передней грани; е – на задней грани.

Максимальные сжимающие напряжения наблюдали в момент врезания, затем они уменьшались и оставались неизменными вплоть до выхода резца из детали.

Увеличение глубины резания с 0,1 до 0,5 мм приводило к увеличению уровня напряжений в 1,5–1,8 раз. В процессе исследования, было выявлено, что в момент врезания наблюдалась очень большая дисперсия (колебания) напряжений на поверхностях реза. Эти колебания с частотой от 10 до 70 Гц продолжались в течение всего периода врезания, а затем их амплитуда уменьшалась в 3–5 раз. При этом колебание напряжений в период врезания составляло от 20 % при глубине резания 0,1 мм, до 100 % при глубине 0,5 мм.

Для оценки влияния уровня напряжений и их колебаний по мере врезания резца в заготовку рассчитали вероятность разрушения резцов из АТП в течении всего периода врезания, по методике, предложенной в [14].

Вероятность разрушения резца P равна площади фигуры, образованной пересечением кривых функций распределения напряжений в наиболее нагруженных точках на поверхно-

стях реза $f(S_R)$ и функций распределения пределов прочности при растяжении или сжатии $f(S_p)$. Для сжатия

$$P = \int_{-\infty}^{S_A} f(S_R) dS + \int_{S_A}^{\infty} f(S_C) dS \quad (7)$$

где S_A – напряжение, соответствующее точке А пересечения функций $f(S_R)$ и $f(S_C)$.

Значение S_A находили, решая следующую систему уравнений:

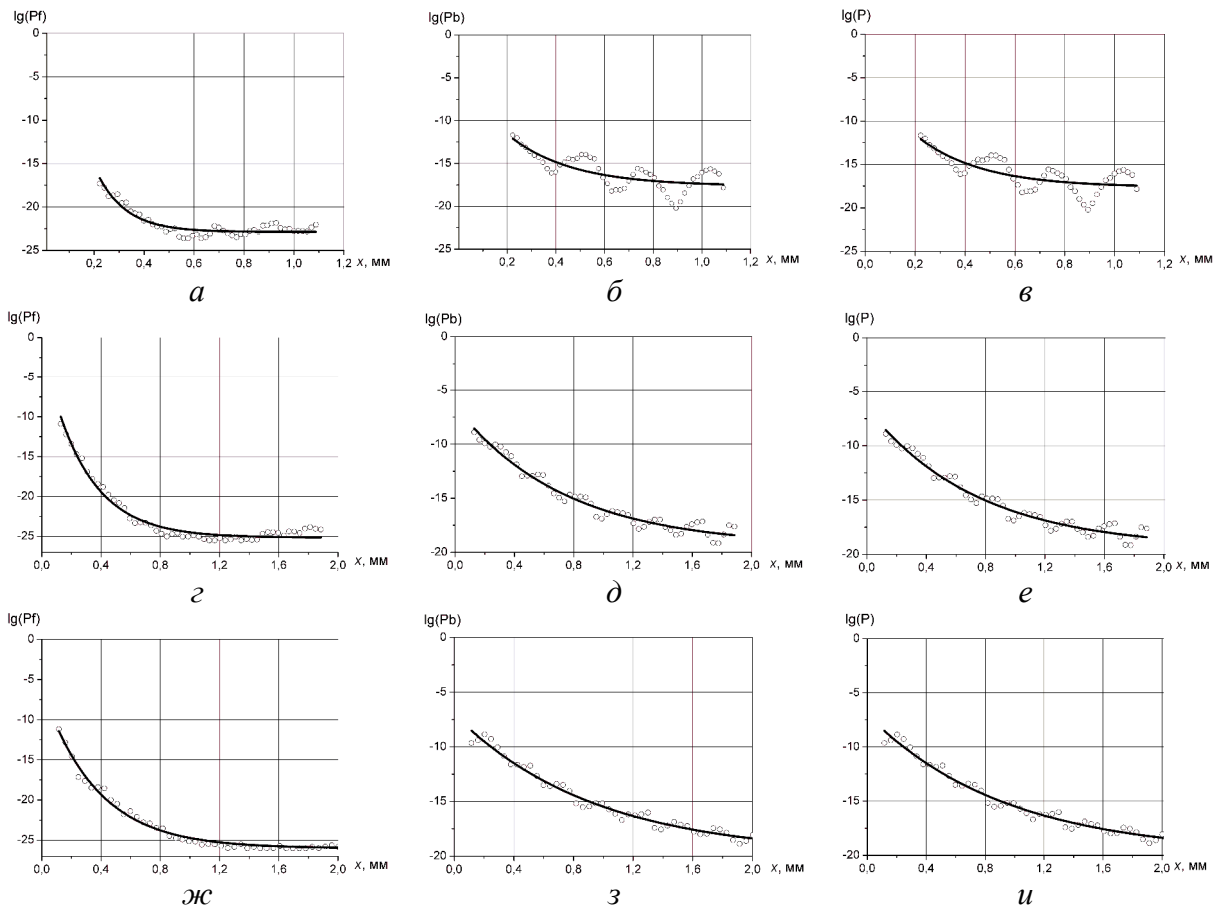
$$\begin{cases} f(S_C) = \frac{1}{\sigma_{S_C} \sqrt{2\pi}} \exp \left[- (S_C - \bar{S}_A)^2 / 2\sigma_{S_C}^2 \right] \\ f(S_R) = \frac{1}{\sigma_{S_R} \sqrt{2\pi}} \exp \left[- (S_A - \bar{S}_R)^2 / 2\sigma_{S_R}^2 \right] \end{cases} \quad (8)$$

Отдельно вычисляли вероятность разрушения со стороны передней и задней граней по (7), а затем общую вероятность по формуле

$$P = P_f + P_b - P_f P_b \quad (9)$$

Результаты расчетов показали, что наибольшая вероятность разрушения реза существует в момент врезания, причем со стороны как передней, так и задней поверхности круглой режущей пластины (рис. 3).

На вероятность разрушения реза влияло не столько абсолютное значение средних напряжений, сколько их дисперсия, т. е. нестабильность сил резания в момент врезания.



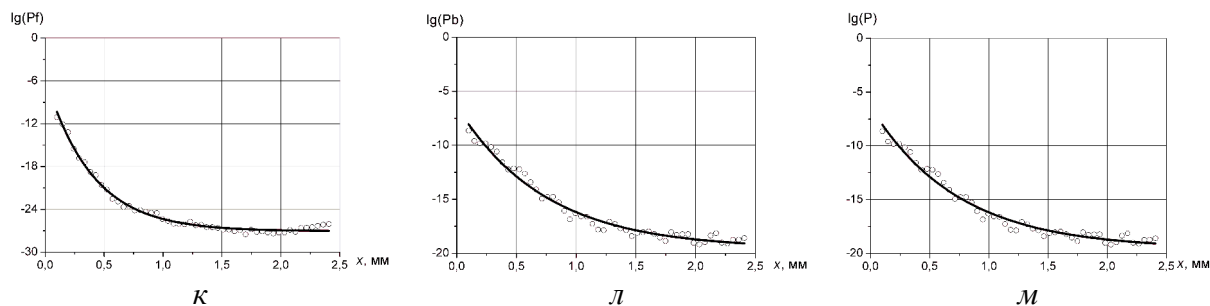


Рис. 3. Вероятность разрушения вершины круглой пластины при врезании: 1) $t = 0,1$ мм, а – с передней; б – с задней; в – общая. 2) $t = 0,3$ мм, г – с передней; д – с задней; е – общая. 3) $t = 0,4$ мм, ж – с передней; з – с задней; и – общая. 4) $t = 0,5$ мм, к – с передней; л – с задней; м – общая.

Литература

1. Ли, Сэмпат, Шоу Вероятность поломки инструмента при различных условиях входа и выхода из резания // Конструирование. – 1984. – Т. 106. – № 2. – С. 207–209.
2. Ефимович И.А. Динамика сил резания в процессе врезания // Вестник машиностроения. – 2003. – № 2. – С. 45–47.
3. Ефимович И. А. Циклический характер напряженно-деформированного состояния режущей части инструмента в процессе резания // Вестник машиностроения. – 2003. – № 7. – С. 48–52.
4. Андреев Г.С. Работоспособность режущего инструмента при прерывистом резании // Вестник машиностроения. – 1973. – № 5. – С. 72–75.
5. Андреев Г.С. Повышение работоспособности режущего инструмента при периодическом резании // Станки и инструмент. – 1979. - № 11. – С. 31–33.
6. Андреев Г.С. Удар при прерывистом резании металлов // Вестник машиностроения. – 1971. – № 3. – С. 65–68.
7. Андреев Г.С. Контактные напряжения при периодическом резании // Вестник машиностроения. – 1969. – № 8. – С. 63–66.
8. Ильченко И.Я., Ковтуненко В.Е, Петрусенко Л.А. Об особенностях напряженного состояния режущей части инструмента при прерывистом резании // Резание и инструмент. Республ. межвед. науч.-техн. сб. Харьков: Выща шк., – 1979, вып. 22. – 136 с.
9. Юликов М.И. Катунин А.В. Силовое воздействие инструмента на заготовки при прерывистом точении // Станки и инструмент. – 1988. – № 7. – С. 22–23.
10. Эпштейн В.М., Мановицкий А.С. Алмазное точение труднообрабатываемых силуминовых сплавов. – К.: Знання, 1989. – 26 с.
11. Бетанели А.И. Расчет хрупкой прочности режущей части инструмента, // Надежность режущего инструмента: Сб. ст. – К.: Техника, 1972. – С. 96–105.
12. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента.- М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.
13. Розенберг Ю.А. Резание материалов: Учебник для техн. вузов. – Курган: «Зауралье», 2007. – 294 с.
14. Девин Л.Н., Вильгельм М. Прогнозирование вероятности разрушения резцов из поликристаллов на основе КНБ // Сверхтвердые материалы. – 1992. – № 6. – С. 41–46.

Поступила 24.06.08