

ПРИЧИНЫ ХРУПКОГО РАЗРУШЕНИЯ ЛЕЗВИЙНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ПРЕРЫВИСТОМ РЕЗАНИИ

Хандожко А.В., Тимощенко А.А. (БГТУ, г. Брянск, Россия)
Тел.: + 7 929 0230123; E-mail: chanosh@yadex.ru

Abstract: A condition and reasons of fragile destruction of tools are considered at the irregular cutting. A formula is offered for the calculations of tensions in a dangerous area. Influence of direction of action of cutting force is set on the size of tensions.

Key words: Fragile destruction, irregular cutting, critical tensions, direction of action.

С началом применения твёрдых сплавов в качестве материалов для режущего инструмента многократно повысились его стойкость, возросли скорости резания и производительность. В то же время резко возросло значение фактора внезапных отказов в виде поломок, сколов и выкрашивания режущих кромок, имеющих характер хрупкого разрушения, что снижает эффективность применения этих инструментальных материалов. В связи с этим тема представленной работы, посвященная анализу причин хрупкого разрушения лезвийного инструмента, весьма актуальна.

Особенно актуальна эта проблема при черновых режимах обработки в условиях прерывистого резания, когда хрупкое разрушение в 60...80% случаев наступает до достижения предельного износа режущей кромки. Несмотря на многочисленные исследования в этой области, имеются противоречивые мнения о причинах, вызывающих этот вид разрушений твёрдосплавных инструментов [1, 2,].

Целью настоящей работы является анализ причин хрупкого разрушения лезвийного инструмента при прерывистом резании в переходные периоды врезания.

Особенности хрупкого разрушения инструмента при прерывистом резании:

- установлено, что величина предельной толщины среза при прерывистом резании, как правило, в 1,1 – 1,7 раз ниже, чем при точении;
- разрушение режущего клина происходит исключительно во время переходного периода врезания инструмента в обрабатываемую заготовку.

Следовательно, именно в этот промежуток времени в опасной зоне на передней поверхности возникает критическое повышение растягивающих напряжений, величина которых может достигнуть предела прочности материала твёрдого сплава, что в результате приводит к разрушению режущего клина. Если же в период врезания разрушение не происходит, то после наступления установившегося процесса резания, такое разрушение не наблюдается [3, 4].

Большинство работ, выполненных в этой области, было направлено на изучение изменения силы резания в период врезания, хотя, практически исследовалось только изменение величины главной составляющей силы резания P_z . Часто результатом таких исследований было «установление» повышенной (до 2-х раз) силы резания в момент врезания. В разные годы и разными авторами были предложены и укоренились формулировки: «удар при врезании», «всплеск силы резания», «динамическая сила резания» и т.п. Рассмотрим правомерность таких определений.

В соответствии с 3-м законом механики Ньютона, усилие, возникающее со стороны срезаемого слоя на резец в зоне контакта, равно по величине и противоположно по направлению усилию действия резца на срезаемый слой и зависит исключительно от способности сопротивления этого слоя деформации и разрушению (образованию стружки). Но, усилия, необходимые для осуществления процесса резания, определяются, в основном, размерами срезаемого слоя, физико-механическими свойствами обрабатываемого материала и геометрией режущего инструмента, а все эти факторы в переходной период врезания не превышают показателей, характерных для установившегося периода

резания. Поэтому можно говорить об отсутствии каких-либо физических предпосылок для экстремального изменения силы резания в момент врезания.

Например, одним из эффективных методов повышения прочности режущего инструмента, как при точении, так и при прерывистом резании, является т.н. «упрочнение режущей кромки» за счёт её округления либо нанесения фаски с отрицательным углом. Следовательно, этот приём даёт снижение уровня возникающих растягивающих напряжений. Но ведь оптимальные размеры радиуса округления составляют не более 0,2-0,4 от толщины среза, а хрупкие разрушения происходят на расстоянии от вершины клина, в разы превышающем толщину срезаемого слоя! Кроме того, такие методы «упрочнения» заметно повышают величину сил резания по сравнению с усилиями, возникающими при применении острозаточенного инструмента, а величина напряжения при этом падает!

Регистрация силы резания в переходной период, в основном, ведётся косвенным методом (измерение деформации упругих элементов) при помощи тензодатчиков. Однако, период достижения максимальной величины усилия резания весьма мал (от 200 мксек. до нескольких мсек [2]). Получаемые результаты во многом зависят от удалённости места регистрации от зоны резания, типа и частотных характеристик динамометров, регистрирующей аппаратуры, методов тарировки и др., которые могут исказить реальную картину такого быстропротекающего явления, как переходные процессы врезания при прерывистом резании. При применении же высокочастотных динамометров, например на пьезодатчиках (30 – 100 кгц), либо непосредственной регистрации напряжений поляризационно-оптическим методом, отмечается неэкстремальный рост усилий резания с момента врезания до начала установившегося процесса резания.

Отсутствие «всплеска силы резания» непосредственно в зоне контакта клина со срезаемым слоем и неэкстремальный характер изменения составляющей P_z не противоречат наличию ударных явлений при врезании в узлах привода станка, но только, как реакции упругой системы привода станка на прямоугольный импульс силы P_z [1]. Но ведь разрушение определяют не величины действующих сил, а напряжения, ими вызванные.

Для расчёта величины напряжений за пределами контакта «инструмент – стружка» на передней поверхности клина предложена «классическая» формула А.И. Бетанели [3]:

$$\sigma_1 = \frac{2P}{br} \left[\frac{\sin \frac{\beta}{2} \sin \left[v_o - \left(\frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right]}{\beta - \sin \beta} \right] - \left[\frac{\cos \frac{\beta}{2} \cos \left[v_o - \left(\frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right]}{\beta + \sin \beta} \right], \quad (1)$$

где P – результирующая сила резания; b – ширина среза r – расстояние от вершины до расчётной точки передней поверхности; γ – передний угол инструмента; β – угол заострения режущего клина; v_o – угол приложения силы резания P .

На величину напряжений, кроме исследуемой в большинстве работ главной составляющей силы резания P_z , влияют ещё 2 переменных параметра: направление приложения силы резания P (угол v_o); расстояние от вершины клина до расчётной точки r .

В работе [5] было предложено преобразование формулы ф.1 к виду:

$$\sigma_1 = \frac{K_z P_z - K_y P_y}{br}, \quad (2)$$

где K_z и K_y – коэффициенты, определяемые по формулам:

$$K_z = 2 \left[\frac{\sin \frac{\beta}{2} \cos \left(\frac{\beta}{2} + \gamma \right)}{\beta - \sin \beta} - \frac{\cos \frac{\beta}{2} \sin \left(\frac{\beta}{2} + \gamma \right)}{\beta + \sin \beta} \right];$$

$$K_y = 2 \left[\frac{\sin \frac{\beta}{2} \sin \left(\frac{\beta}{2} + \gamma \right)}{\beta - \sin \beta} - \frac{\cos \frac{\beta}{2} \cos \left(\frac{\beta}{2} + \gamma \right)}{\beta + \sin \beta} \right].$$

Так как коэффициенты K_z и K_y постоянны при заданной геометрии клина (исключена переменная v_0), были выполнены расчёты коэффициентов в зависимости от переднего угла (от 20 до 10 град.) и заднего угла (от 2 до 10 град.). Результаты расчёта K_z и K_y сведены в таблицу. Заметим, что, при равных величинах P_z , чем меньше P_y , тем выше уровень напряжений, и наоборот.

Наличие переходных процессов врезания часто связывается с видом операции обработки, например, строгание и фрезерование. Хотя, строго говоря, переходной процесс врезания имеет место при любом виде обработки резанием, в том числе и точении. При этом следует различать два принципиально разных типа переходных процессов:

Tun I. В момент касания режущего клина заготовки толщина среза имеет нулевую величину, а максимальная толщина среза достигается через определённый промежуток времени (для точения, примерно, через один оборот детали).

Tun II. Практически в первоначальный момент касания режущего клина и срезаемого слоя заготовки толщина среза достигает максимального значения.

При этом сначала происходят процессы, формирующие максимальные нормальные усилия на передней поверхности инструмента, а лишь затем, после начала процесса стружкообразования, касательные усилия на передней грани достигают значений, соответствующих установившемуся процессу резания. Поэтому при врезании можно предположить «отставание» времени достижения величины касательных усилий (и P_y) относительно периода роста нормальных усилий (P_z). В работе [5], при исследовании переходного процесса врезания с одновременной регистрацией величин составляющих P_y и P_z , выявлено постоянное превышение длительности периода стабилизации P_y (t_y) от времени стабилизации P_z (t_z). В зависимости от условий экспериментов, отношение t_y к t_z составляло от 3 до 5 раз. Таким образом, в момент достижения установившейся величины P_z величина составляющей P_y намного ниже величины, соответствующей установившемуся периоду резания. А, согласно формуле (2), величина растягивающих напряжений в опасной зоне передней поверхности может существенно превышать напряжения при установившемся резании. Далее, по мере роста коэффициента трения и тангенциальных усилий (и, соответственно, величины P_y), уровень напряжений снижается, и, с момента устойчивого процесса резания достигает стабильного уровня.

Кроме того, поскольку зона растягивающих напряжений на передней грани начинается в точке отрыва стружки, расстояние r от вершины клина до опасной точки в момент врезания существенно ниже, чем при установившемся резании. Но величина растягивающих напряжений обратно пропорциональна этому расстоянию (формулы 1 и 2).

В результате, за счёт этих 2-х факторов, при врезании имеем экстремальный, до 2-х и более раз, «всплеск» напряжений без какого-либо «всплеска силы резания».

Графическая иллюстрация предложенного описания процессов, происходящих в период врезания, приведена на рис. 1. Зависимости величин составляющих P_y и P_z от времени условно приняты изменяющимися по линейному закону. На графики состав-

ляющих силы резания наложен расчётный график соответствующих напряжений. Расчёты выполнены для следующих условий: передний угол $\gamma = 15$ град., задний угол $\alpha = 5$ град.; при установившемся резании величины составляющих $P_z = 100$ ед., $P_y = 25$ ед. (при $\gamma = 15$ град, примерно соответствует коэффициенту трения $\mu = 0,5$). Соотношение длительности периодов стабилизации составляющих $t_y / t_z = 4$. Значения ширины реза b и расстояния от вершины до расчётной точки r приняты равными 1 мм.

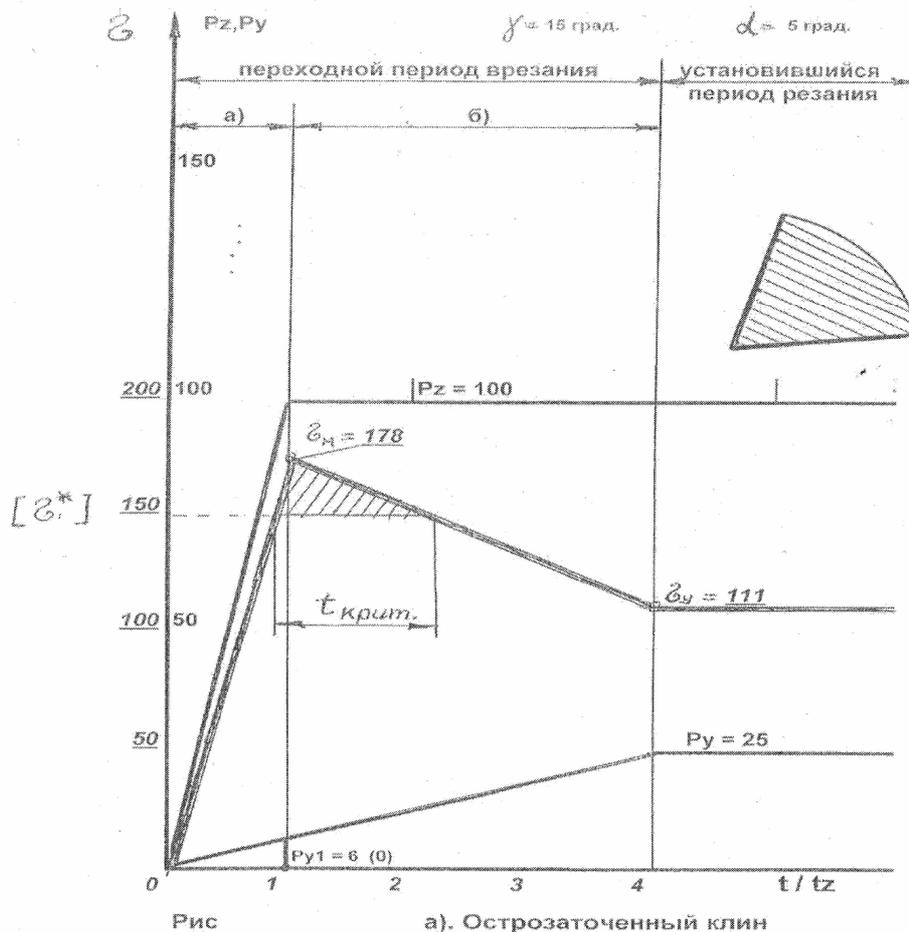


Рис. 1. Расчётные графики составляющих силы резания и напряжений при врезании

Как видно из приведенного рисунка, во время 2-й фазы периода врезания (б) (от момента стабилизации нормальных усилий и величины P_z) до начала устойчивого резания, только за счёт неблагоприятного направления действия силы резания на клин (меньше P_y , отношение P_y к P_z) возникают растягивающие напряжения, в максимальной точке превышающие уровень напряжений при установившемся резании, на 60 %. Если учесть, при этом, меньшую длину контакта и, соответственно, меньшее расстояние от вершины клина до критической зоны, в которой происходит разрушение, то в этот момент времени вероятность сколов значительно повышается.

Для подтверждения сделанных заключений приведём рис. 2 [6].

В этой работе приведены результаты исследований напряжений в режущем клине, выполненных поляризационно-оптическим методом. Авторы подтверждают неэкстремальный характер роста силы резания (число полос в зоне сжатия увеличивается монотонно от начала врезания до установившейся величины).

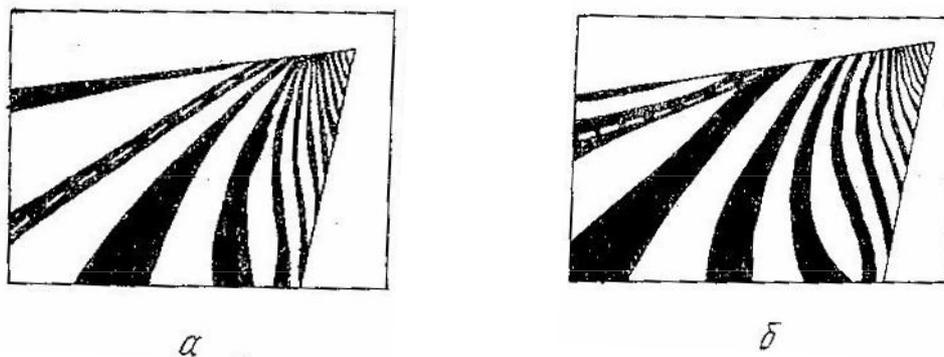


Рис. 2. Картина полос напряжений (изохромы) в режущей части:
 а – врезание; б – установившийся процесс; пунктиром показана нейтральная линия

Обратим внимание, что в период врезания усилия на клин со стороны срезаемого слоя ниже, чем при установившемся резании (меньшее число полос в зоне контакта). В то же время угол между передней поверхностью и нейтральной линией заметно больше, чем при установившемся резании. Согласно работам Бетанели, этот угол зависит только от угла приложения результирующей силы резания [3]. Кроме того, опасная зона при врезании начинается ближе к вершине клина, чем при установившемся процессе.

В результате при врезании (при меньших усилиях и без т.н. «всплесков сил») величина растягивающих напряжений в критической зоне может в разы превышать уровень напряжений, соответствующий установившемуся процессу. Это определяет значительно большую вероятность хрупкого разрушения инструмента в виде сколов в этот момент.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что при прерывистом резании в переходные периоды врезания и выхода инструмента необходимо принимать во внимание не только величину нагрузок на режущий клин, но и направление действия силы резания, а также расстояние от вершины клина до критической зоны, в которой может произойти хрупкое разрушение. Эффективными методами изменения направления действия силы резания с целью повышения прочности можно считать изменение формы режущей кромки (округление и фаска с отрицательным углом).

Для расчёта величины возникающих в опасной зоне напряжений предложена формула, учитывающая изменения значений составляющих силы резания и расстояния от вершины режущего клина до расчётной точки передней поверхности и таблица коэффициентов, значительно упрощающие расчёты напряжений.

Список литературы: 1. Андреев Г.С. Удар при прерывистом резании / Г.С. Андреев // Вестник машиностроения, 1971. №3. – С.65-68. 2. Симонян М.М. Развитие теоретических и технологических принципов повышения работоспособности твёрдосплавных инструментов в процессах прерывистого резания. Автореферат. дисс. д.т.н., Ереван, 2013. 3. Бетанели А.И. Хрупкая прочность режущей части инструмента / А.И. Бетанели. Тбилиси: Грузинский политехнический институт, 1969. 149с. 4. Хае Г.Л. Прочность режущего инструмента / Г.Л. Хае. М.: Машиностроение, 1975. 167с. 5. Ильченко Н.Я. Об особенностях напряжённого состояния режущей части инструмента при прерывистом резании / Н.Я. Ильченко, В.Е.Ковтуненко, Петрусенко Л.А. // Резание и инструмент. Харьков, 1979. №22. - С.72-77. 6. Лоладзе Т.Н. Определение напряжений в режущей части инструмента при переходных процессах / Т.Н. Лоладзе, Г.Н. Ткемаладзе, Ф.Г. Тотчиев // Надёжность режущего инструмента. Киев - Донецк. Вища школа, 1975. №. 2. - С.82-86.