

В.С. Антонюк, д.т.н., проф.

Л.А. Петрусенко, с.н.с.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сикорського»**Влияние условий резания на напряжения в опасной зоне режущего инструмента**

Проведен анализ работ по прочности лезвийного инструмента и предложена методика расчёта напряжений, возникающих в опасной зоне режущей части инструмента.

Установлены основные факторы, определяющие прочность режущей части лезвийного инструмента и предложен метод для определения геометрических параметров режущей части инструмента по критерию «нулевого» уровня напряжений на передней поверхности.

Показано, что при неизменных геометрических параметрах режущей части инструмента, на напряжения в опасной зоне большое влияние оказывает коэффициент трения, например, при нанесении износостойких покрытий или применении смазочно-охлаждающих сред.

Рассмотрено влияние направления действия силы резания на примере напряжений, возникающих в клиновидной балке.

Приведены примеры расчета напряжений в режущей части лезвийного инструмента при изменениях переднего угла, радиуса округления режущей кромки и коэффициента трения в зоне контакта.

Ключевые слова: лезвийный режущий инструмент; геометрические параметры; сила резания; напряжения; округление режущей кромки; коэффициент трения.

Введение. При черновой обработке заготовок и операциях прерывистого резания хрупкое разрушение режущей части твердосплавного инструмента в 60 % и более случаев может наступить задолго до достижения его предельного износа [1, 2].

Причиной такого разрушения являются критические растягивающие напряжения, которые возникают за пределами зоны контакта инструмента со стружкой. Максимальный уровень таких напряжений наблюдается на участке передней поверхности инструмента на расстоянии от вершины, равном 2...2,5 длины контакта, который получил определение «опасная зона» [3–5].

Поэтому, для оценки влияния различных факторов процесса резания на прочность режущего инструмента, необходимы методы расчёта уровня напряжений, которые возникают при изменении этих факторов, в «опасной зоне» режущей части инструмента.

На напряжения в режущем клине влияют изменения геометрических параметров режущей части (передний и задний углы, радиус округления режущей кромки или наличие «упрочняющей» фаски), а также изменения других условий резания (например, наличие износостойких покрытий, применение смазочно-охлаждающих сред [6–8]).

Целью данной работы является анализ влияния различных факторов, связанных с изменениями геометрии режущей части инструмента и коэффициента трения в зоне контакта на напряжения, возникающие в «опасной зоне» режущего инструмента.

1. Расчёт уровня напряжений. Для расчёта величины напряжений, возникающих на передней поверхности режущего инструмента за пределами зоны контакта, применяли известный принцип Сен-Венана - замена распределённой нагрузки в зоне контакта на равнодействующую сосредоточенную нагрузку (силу резания), приложенную под произвольным углом к вершине клиновидной балки (режущий клин).

Для этого использовали формулу А.И. Бетанели для расчёта уровня напряжений, возникающих вне зоны контакта на передней поверхности, при свободном резании, имеет вид [3]:

$$\sigma_1 = \frac{2P}{br} \left[\frac{\sin \frac{\beta}{2} \sin \left[\nu_0 - \left(\frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right]}{\beta - \sin \beta} - \frac{\cos \frac{\beta}{2} \cos \left[\nu_0 - \left(\frac{\beta}{2} + \gamma \right) \right]}{\beta + \sin \beta} \right],$$

где P – результирующая сила резания, b – ширина среза, r – расстояние от вершины до расчётной точки; γ – передний угол; β – угол заострения клина; ν_0 – угол приложения силы резания P :

$$\nu_0 = \arg \operatorname{tg} \frac{P_z}{P_y},$$

где P_z , P_y – составляющие силы резания.

В работе [9] предложено преобразование формулы Бетанели А.И., к виду:

$$\sigma_1 = \frac{K_z P_z - K_y P_y}{br},$$

где K_z, K_y – коэффициенты; P_z, P_y – составляющие силы резания; b – ширина среза; r – расстояние от вершины до расчётной точки передней поверхности. Коэффициенты K_z и K_y определяют по формулам:

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

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

где β – угол заострения; γ – передний угол.

Как видно из формул, коэффициенты K_z и K_y постоянны при заданной геометрии режущего клина.

Значения коэффициентов K_z и K_y в зависимости от переднего угла γ и заднего угла α , а также примеры расчётов по преобразованной формуле Бетанели А.И. приведены в работе [6].

При наличии в исходных данных о 3-х составляющих силы резания – P_z, P_x и P_y , (несвободное резание) для расчётов с применением полученной формулы необходимо вместо P_y в расчётную формулу подставить величину горизонтальной составляющей силы резания P_{xy} :

$$P_{xy} = \sqrt{P_x^2 + P_y^2},$$

2. Влияние геометрических параметров режущей части инструмента. Наиболее распространёнными на практике приёмами повышения прочности режущего твердосплавного инструмента являются:

- уменьшение величины переднего угла, вплоть до отрицательных величин;
- округление режущей кромки;
- нанесение «упрочняющей» фаски под отрицательным углом.

И, хотя при этом заметно возрастают величины составляющих силы резания, но одновременно повышается хрупкая прочность режущей части, что указывает на снижение уровня напряжений в «опасной зоне» передней поверхности.

Однако, такое повышение прочности наблюдается только до определённых (для заданных условий резания) значений переднего угла γ , радиуса округления кромки « ρ » или ширины упрочняющей фаски « b ».

Дальнейшее изменение указанных параметров приводит к отрицательным результатам (неоправданный рост составляющих силы резания, ухудшение условий стружкообразования, появление вибраций и даже поломкам инструмента) [1].

Авторами проведен анализ зависимостей, составляющих силы резания от параметров γ и « ρ » и выполнены расчёты напряжений в «опасной зоне» передней поверхности при изменении этих параметров, которые представлены в работах. [6, 7].

В результате анализа выявлены общие тенденции:

- опережающий рост величин, составляющих P_x и P_y (или P_{xy}) относительно составляющей P_z , что приводит к уменьшению отношения P_y к P_z , и, следовательно, к уменьшению угла действия силы резания ω (рис. 1);
- величины напряжений монотонно снижаются от положительных (растяжение) до нуля и отрицательных (напряжений сжатия) (рис. 2).

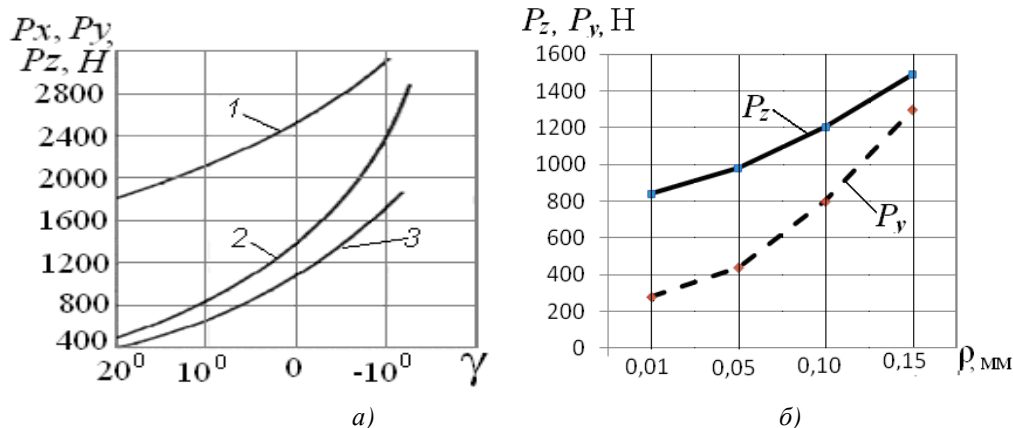


Рис. 1. Зависимости составляющих силы резания от величин: переднего угла γ (а) и радиуса округления ρ (б)

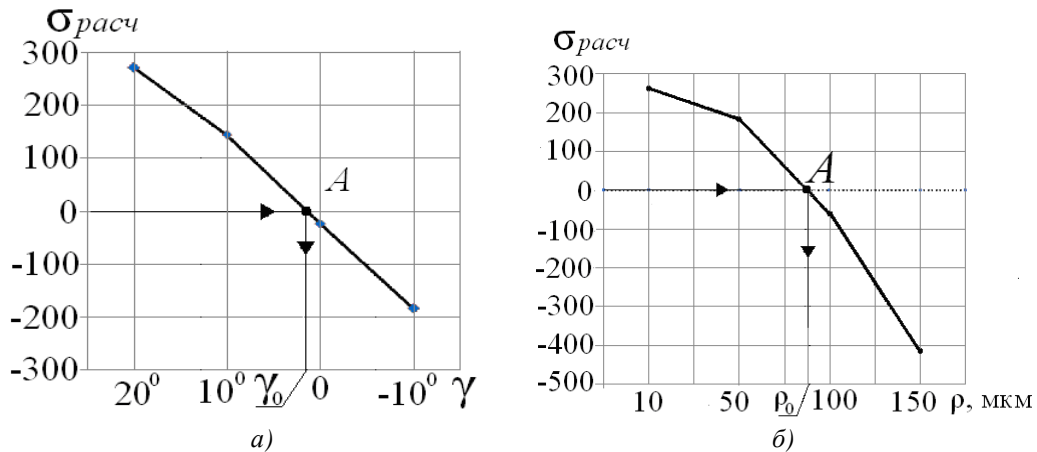


Рис. 2. Зависимости уровня напряжений в опасной зоне от величин: переднего угла γ (а) и радиуса округления ρ (б)

Определение геометрических параметров режущего клина. В работе [2] отмечено, что «... наиболее благоприятные прочностные условия создаются, когда передняя грань совпадает с нейтральной линией. Эти идеальные условия получить трудно, так как изменение геометрии режущей части связано с потерей её износостойкости, однако приблизиться к ним путём выбора соответствующих геометрических параметров можно».

Поэтому, для условий резания, представленных на рисунке 1, по критерию «нулевых напряжений» на передней поверхности, рациональными принимаем параметры переднего угла – γ_0 и радиуса округления кромки – ρ , при которых $\sigma_{расч} = 0$. (рис. 2).

При величинах параметров, меньших этих значений, на передней поверхности возникают напряжения растяжения, а при дальнейшем изменении параметров на передней поверхности, наблюдается резкое увеличение величин сжимающих напряжений.

На рис. 3, показаны векторы равнодействующей силы резания P при изменении величин переднего угла – γ и радиуса округления кромки – ρ .

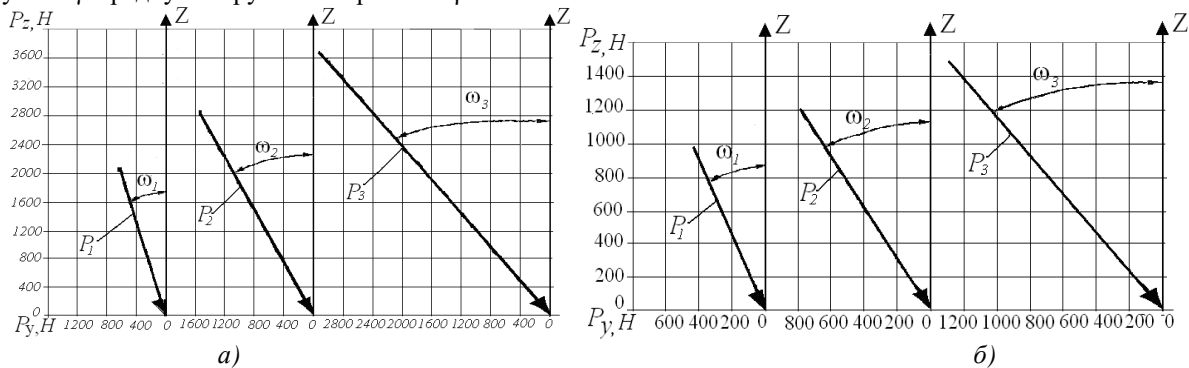


Рис. 3. Векторы равнодействующей силы резания P при изменении: переднего угла – $\gamma = 20^\circ$, $\gamma = 0^\circ$ и $\gamma = -10^\circ$ (а) и радиуса округления кромки – $\rho = 50$, $\rho = 100$ и $\rho = 150$ мкм (б)

Из рисунка 3, а видно, что:

– при $\gamma = 20^\circ$ сила резания $P_1 = 1920$ Н, действующая под углом $\omega_1 = 19,3^\circ$, создаёт уровень напряжений $\sigma_{расч.1} = 273$ МПа. (растяжение).

– при $\gamma = 0^\circ$ сила резания $P_2 = 3063$ Н, действующая под углом $\omega_2 = 35,4^\circ$, создаёт уровень напряжений $\sigma_{расч.2} = -24$ МПа (сжатие).

– при $\gamma = -10^\circ$ сила резания $P_3 = 4294$ Н, действующая под углом $\omega_3 = 43,5^\circ$, создаёт уровень напряжений $\sigma_{расч.3} = -184$ МПа (сжатие).

Поэтому, для расчетного напряжения ($\sigma_{расч} = 0$), величина переднего угла равняется $\gamma_0 = 2^\circ$ (рис. 2.а).

Как видно из рисунка 3.б:

– при радиусе округления $\rho = 50$ мкм сила резания $P_1 = 1074$ Н, действующая под углом $\omega_1 = 24,3^\circ$, создаёт уровень напряжений $\sigma_{расч.1} = 182$ МПа. (растяжение).

– при радиусе $\rho = 100$ мкм сила резания $P_2 = 1442$ Н, действующая под углом $\omega_2 = 33,7^\circ$, создаёт уровень напряжений $\sigma_{расч.2} = -59$ МПа (сжатие).

– при радиусе $\rho = 150$ мкм сила резания $P_3 = 1985$ Н, действующая под углом $\omega_3 = 41^\circ$, создаёт уровень напряжений $\sigma_{расч.3} = -412$ МПа (сжатие).

Тогда, для расчетного напряжения ($\sigma_{\text{расч}} = 0$) величина радиуса округления равняется $\rho_0 = 90$ мкм. (рис.2. б).

Аналогично эффекту округления режущей кромки, объясняется и повышение прочности режущей части инструмента при нанесении упрочняющей фаски под отрицательным передним углом.

На участке фаски с отрицательным передним углом возникают нормальные усилия, которые приводят к развороту вектора результирующей силы резания ближе к биссектрисе угла режущего клина (увеличивается угол действия силы резания ω , а это, несмотря на рост сил резания, приводит к снижению напряжений в опасной зоне и, в результате, повышению прочности режущей части инструмента.

3. Влияние коэффициента трения на уровень напряжений. Как показано выше, на уровень напряжений, возникающих на передней поверхности режущего инструмента, а, следовательно, и на его прочность, большое влияние оказывает направление вектора равнодействующей силы резания.

Однако изменение угла действия ω может происходить и при неизменной геометрии режущей части инструмента, например, при изменении коэффициента трения в зоне контакта передней поверхности со сходящей стружкой, например, при нанесении износостойких покрытий на режущий инструмент или применении смазочно-охлаждающих сред.

Для оценки влияния среднего коэффициента трения в зоне контакта на угол действия силы резания ω рассмотрим схему (рис. 4), предложенную в работе [10].

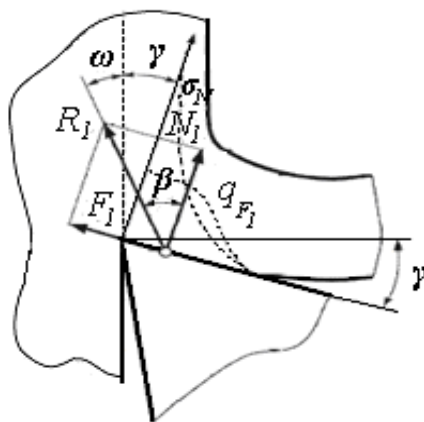


Рис. 4. Схема составляющие силы резания на передней поверхности режущего клина [10]

Как видно из рисунка 4, угол трения на передней поверхности $\beta_{\text{тр}}$ равен сумме переднего угла γ и угла действия ω :

$$\beta_{\text{од}} = \omega + \gamma$$

Отношение силы трения F_1 к нормальному усилию N_1 в теории резания называется средним коэффициентом трения:

$$\mu_{\text{ср}} = \text{tg} \beta_{\text{од}}$$

Поэтому любое изменение коэффициента трения $\mu_{\text{ср}}$ (при неизменной величине переднего угла γ) приводит к аналогичному изменению угла действия ω .

Из этого следует, что снижение коэффициента трения в зоне контакта вызывает уменьшение угла действия, а это определяет рост уровня напряжений в опасной зоне и повышает вероятность хрупкого разрушения режущей части.

Снижение коэффициента трения приводит не только к уменьшению угла действия силы резания, но и к сокращению длины зоны контакта (до 30%), а так как величина нормального усилия N_1 обычно снижается не более, чем на 10...15%, то в результате растёт удельное давление q на область, прилегающую к режущей кромке [10, 11].

Так, в работе [11] отмечается, что «...на инструменте с покрытием уменьшается сила стружкообразования R , процесс резания протекает энергетически более выгодно, чем без покрытия, т.е. с меньшей затратой работы, меньшим количеством тепла, выделяемого при работе.

Однако, несмотря на снижение сил резания, из-за более интенсивного сокращения длины контакта, при работе инструментом с покрытиями среднее контактное давление стружки на переднюю поверхность – q выше», а это, как показывает практика, в ряде случаев может дать отрицательный эффект.

В работе [8] выполнены расчёты влияния плёночного покрытия TiN на величину напряжений, возникающих в опасной зоне передней поверхности по исходным данным из работы [11] (рис. 5, а).

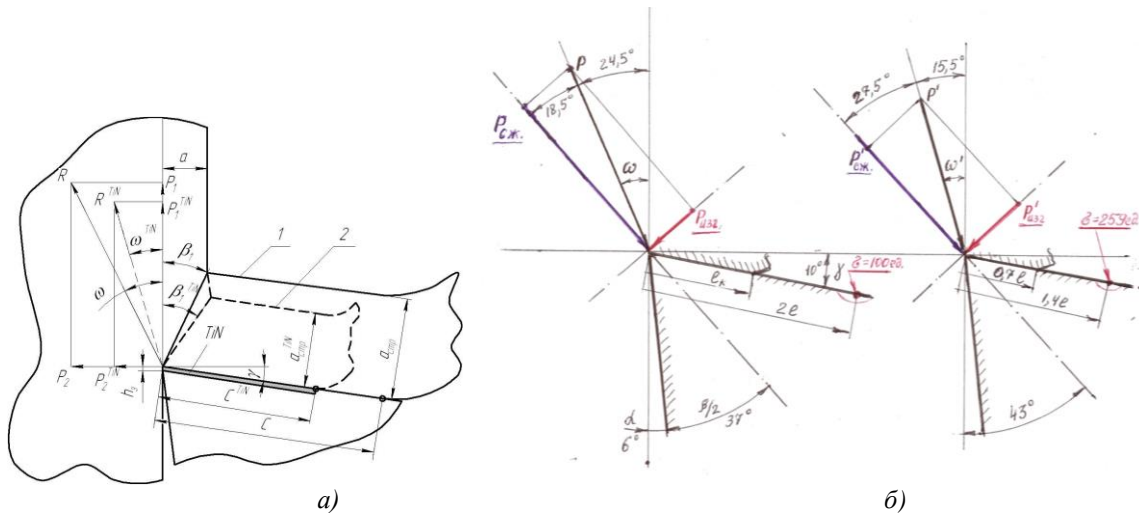


Рис. 5. Схемы сил при точении инструментом без покрытия и с покрытием TiN: исходные данные (а) и расчетная схема (б)

Расчёты, выполненные, в работе [8] показывают, что при точении инструментом с покрытием происходит снижение среднего коэффициента трения, $\mu_{ср}$, с 0,69 до 0,48 и происходят следующие изменения параметров:

- величина равнодействующей силы резания P уменьшается на 16,5%, причём более интенсивно снижается составляющая P_y (на 46% против 11,6% P_z);
- угол действия вектора силы резания ω снижается на 9° (с $24,5^\circ$ до $15,5^\circ$);
- уменьшение длины контакта на 29%, при этом опасная зона приближается к вершине режущего клина, что, само по себе, повышает уровень напряжений.

В результате такого изменения параметров, несмотря на уменьшение равнодействующей силы резания P , расчётный уровень напряжений в «опасной зоне» передней поверхности повышается в 2,59 раза.

Расчёт напряжений, возникающих в клиновидной балке под действием приложенной к вершине клина силы P , направленной под произвольным углом.

Для расчёта принят принцип суперпозиции, заключающийся в суммировании напряжений, возникающих в балке под действием составляющих $P_{сж}$ и $P_{изг}$.

Составляющая, действующая вдоль оси клина $P_{сж}$, (рис.6.а) вызывает напряжения сжатия, величина которых снижается при удалении от вершины.

Составляющая силы $P_{изг}$, направленная перпендикулярно оси балки (рис. 6.б), создаёт растягивающие напряжения в области клиновидной балки выше оси (биссектрисы угла клина) и сжимающие напряжения ниже этой оси.

Биссектриса угла (ось балки) – нейтральная линия, напряжения на которой равны нулю.

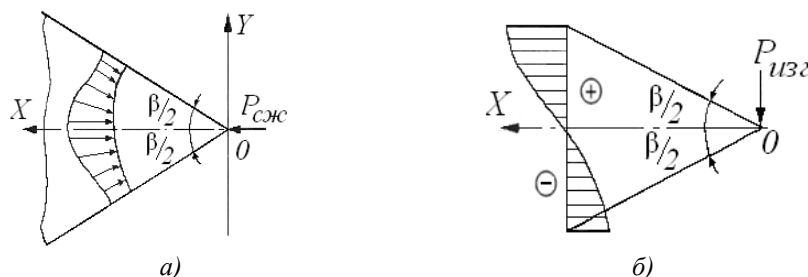


Рис. 6. Эпюры радиальных напряжений, возникающих в клиновидной балке под действием составляющих усилия, приложенного к вершине клина, и направленных: вдоль оси балки X (а); перпендикулярно оси X (б)

Максимальные напряжения возникают на верхней грани балки (применительно к режущему инструменту – на передней поверхности режущего клина), а максимальные сжимающие – на нижней стороне (задней поверхности режущего инструмента), где отрицательные напряжения от действия «прочностных» составляющих силы резания $P_{изг}$ и $P_{сж}$ суммируются.

Реальная величина напряжений, возникающих в заданной точке передней поверхности (алгебраическая сумма напряжений от $P_{изг}$ и $P_{сж}$), а также её знак (растяжение или сжатие) в большой степени зависит от угла между вектором силы резания и биссектрисой угла режущего клина.

Поэтому уменьшение угла действия силы резания ω приводит к росту величины составляющей силы резания $P_{изг}$ и уменьшению величины $P_{сж}$.

Для условий, показанных на рисунке 5.б, происходит перераспределение величин «прочностных» составляющих силы резания $P_{изг}$ увеличивается на 22 %, а $P_{сж}$ уменьшается на 28 %. что в результате и определяет рост напряжений в опасной зоне в 2,59 раза по сравнению с инструментом без покрытия.

Влияние применения смазочно-охлаждающих технологических сред. Применение смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС) на практике уменьшают коэффициент трения и температуры в зоне резания при этом снижаются величины сил резания и уменьшается длина контактной зоны

Влияние СОТС на снижение силы резания учитывается поправочными коэффициентами для каждой составляющей сил резания отдельно. Например, использование СОТС на масляной основе снижает величину составляющей силы резания P_z до 20%, а составляющих сил резания P_x и P_y – на 30...40 % [10].

Однако, как и при применении износостойких покрытий, такие изменения условий резания приводят к росту уровня растягивающих напряжений в опасной зоне передней поверхности, что, в ряде случаев, может отрицательно сказаться на работоспособности режущего инструмента. Для этого по исходным данным (рис. 1, а) рассчитали величины составляющих силы резания с применением СОТС при изменении переднего угла, применив поправочные коэффициенты: для $P_z = 0,8$, для $P_{xy} = 0,6$.

Для этих условий согласно методике [6] выполнен расчет напряжений, возникающих в опасной зоне, приняв уменьшение длины контакта на 25 % (поправочный коэффициент $K_r = 0,75$);

Для оценки влияния величины заднего угла на уровни напряжений в режущем клине выполнены расчёты для $\alpha = 10^0$ и $\alpha = 4^0$ и получены соответствующие зависимости показаны на рисунке 7.

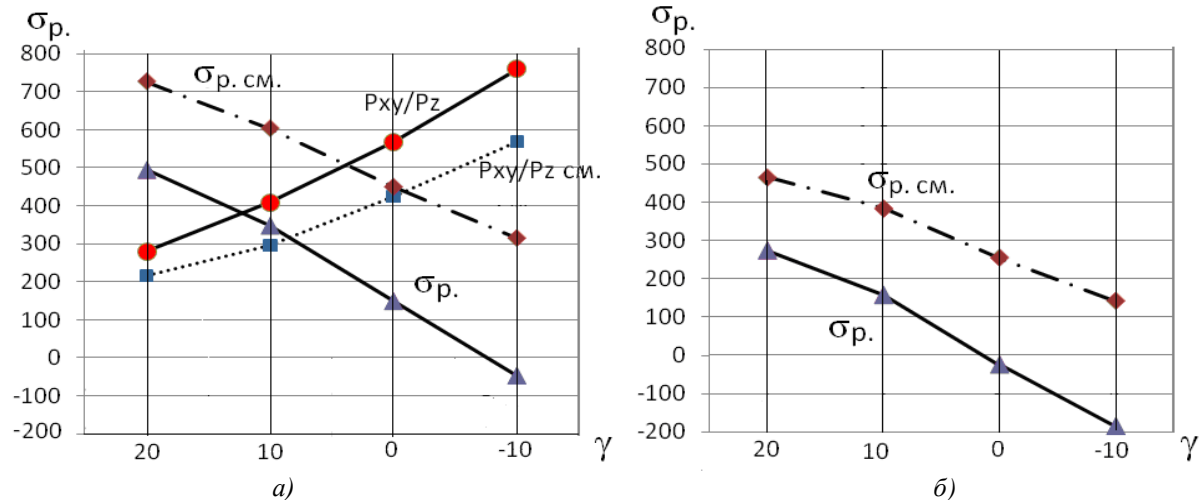


Рис. 7. Графики изменения параметров резания при применении смазки для величин заднего угла $\alpha = 10^0$ (а) и $\alpha = 4^0$ (б)

Из рисунка 7, а видно, что при применении смазки отношение P_{xy} к P_z ниже, чем для резания без смазки. Поэтому уровни растягивающих напряжений в опасной зоне при применении СОТС во всех случаях выше, оставаясь положительными даже при углах $\gamma = -10^0$. Сравнение графиков, рис. 7, а и 7, б показывает положительное влияние уменьшения величины заднего угла от $\alpha = 10^0$ до $\alpha = 4^0$. Для резания без смазки величина оптимального угла (при котором $\sigma_{расч} = 0$) равна $\gamma_0 = -7,5^0$ при $\alpha = 10^0$ и $\gamma_0 = +2^0$ при $\alpha = 4^0$.

Снижение коэффициента трения в зоне контакта при применении покрытий или смазок, в целом оказывает положительное влияние на показатели износостойкости, но при этом существенно повышаются уровень напряжений в опасной зоне и вероятность хрупкого разрушения.

Выводы. 1. Основным фактором, определяющим снижения уровня напряжений в опасной зоне режущей части инструмента, при изменении его геометрических параметров, является изменение направления силы резания, определяемое отношением P_{xy} к P_z и, соответственно, углом действия ω .

2. Рациональными, по условию прочности, значениями рассмотренных геометрических параметров твердосплавного режущего инструмента, являются их величины, при которых уровень напряжений на передней поверхности за пределами зоны контакта равен нулю.

3. Снижение коэффициента трения приводит к уменьшению длины зоны контакта, что приводит к приближению опасной зоны к вершине режущего клина и росту напряжений в этой зоне.

Список использованной литературы:

1. Хаев Г.Л. Прочность режущего инструмента / Г.Л. Хаев. – М. : Машиностроение, 1975. –168 с.
2. Остафьев В.А. Расчет динамической прочности режущего инструмента / В.А. Остафьев. – М. : Машиностроение, 1979. – 168 с.

3. Бетанели А.И. Прочность и надёжность режущего инструмента : науч. издание / А.И. Бетанели. – Тбилиси : Сабчота Сакартвело, 1973. – 304 с.
4. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента / Т.Н. Лоладзе. – М. : Машиностроение, 1982. – 320 с.
5. Физические основы процесса резания / В.А. Остафьев, В.С. Антонюк, С.П. Выслоух и др. ; под. общ. ред. В.А. Остафьева. – К.: Вища школа, 1976. – 136 с.
6. Петрусенко Л.А. Расчёт напряжений, возникающих в опасной зоне лезвийной части режущего инструмента / Л.А. Петрусенко, В.С. Антонюк // Вісник Національного Технічного Університету України «КПІ ім. Ігоря Сікорського». Серія : Машинобудування. – 2016. – № 77. – С. 147–156.
7. Петрусенко Л.А. Расчётный метод определения геометрических параметров твердосплавного режущего инструмента / Л.А. Петрусенко, В.С. Антонюк // Вісник НТУ «ХПИ». Серія : Технології машинобудування. – Харків : НТУ «ХПИ», 2017. – № 17 (1239). – С. 54–59.
8. Петрусенко Л.А. Влияние плёночных покрытий на прочность режущего инструмента / Л.А. Петрусенко, Ю.Н. Внуков // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб-к наук. праць. – Краматорськ, 2016. – Вип. 38. – С. 138–141.
9. Ильченко Н.Я. Об особенностях напряжённого состояния режущей части инструмента при прерывистом резании / Н.Я. Ильченко, В.Е. Ковтуненко, Л.А. Петрусенко // Резание и инструмент : сб. ст. – Харьков, 1979. – № 22. – С. 72–77.
10. Основы теории резания материалов : учебник / Н.П. Мазур, Ю.Н. Внуков, А.И. Грабченко и др. ; под общ. ред. Н.П. Мазура и А.И. Грабченко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2013. – 534 с.
11. Внуков Ю.Н. Резание инструментом с покрытиями / Ю.Н. Внуков, Э.В. Кондратюк, Е.Б. Козлова. – Запорожье : ЗНТУ, 2015. – 48 с.

References:

1. Haet, G.L. (1975), *Prochnost' rezhushhego instrumenta*, Mashinostroenie, Moskva, 168 p.
2. Ostafev, V.A. (1979), *Raschet dinamicheskoy prochnosti rezhushhego instrumenta*, Mashinostroenie, Moskva, 168 p.
3. Betaneli, A.I. (1973), *Prochnost' i nadezhnost' rezhushhego instrumenta*, nauch. Izdanie, Sabchota Sakartvelo, Tbilisi, 304 p.
4. Loladze, T.N. (1982), *Prochnost' i iznosostojkost' rezhushhego instrumenta*, Mashinostroenie, Moskva, 320 p.
5. Ostafev, V.A., Antonjuk, V.S., Vyslouh, S.P. and others (1976), *Fizicheskie osnovy processa rezaniya*, in Ostafev, V.A. (ed.), *Vishha shkola*, Kiev, 136 p.
6. Petrusenko, L.A. and Antonjuk, V.S. (2016), «Raschjot naprjazhenij, vznikajushhij v opasnoj zone lezviyjnoj chasti rezhushhego instrumenta», *Visnik Nacional'nogo Tehnichnogo Universitetu Ukraïni «KPI im. Igorja Sikors'kogo»*, Serija *Mashinobuduvannja*, No. 77, pp. 147–156.
7. Petrusenko, L.A. and Antonjuk, V.S. (2017), «Raschjotnyj metod opredelenija geometricheskijh parametrov tverdosplavnogo rezhushhego instrumenta», *Visnik NTU «HPI»*, Serija *Tehnologii mashinobuduvannja*, No. 17 (1239), NTU «HPI», Harkiv, pp. 54–59.
8. Petrusenko, L.A. and Vnukov, Ju.N. (2016), «Vlijanie pljonochnyh pokrytij na prochnost' rezhushhego instrumenta», *Nadijnist' instrumentu ta optimizacija tehnologichnih sistem*, zbirnik naukovih prac', Vol. 38, Kramators'k, pp. 138–141.
9. Il'chenko, N.Ja., Kovtunencko, V.E. and Petrusenko, L.A. (1979), «Ob osobennostjah naprjazhjonno go sostojanija rezhushhej chasti instrumenta pri preryvistom rezanii», *Rezanie i instrument*, sbornik statej, Har'kov, No. 22, pp. 72–77.
10. Mazur, N.P. and Grabchenko, A.I. (ed.) (2013), *Osnovy teorii rezanija materialov*, 2nd ed., pererab. i dop., NTU «HPI», Har'kov, 534 p.
11. Vnukov, Ju.N., Kondratjuk, Je.V. and Kozlova, E.B. (2015), *Rezanie instrumentom s pokrytijami*, ZNTU, Zaporozh'e, 48 p.

Антонюк Віктор Степанович – доктор технічних наук, професор Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси:

- інженерія поверхні;
 - технології модифікування поверхневого шару виробів.
- E-mail: vp@kpi.ua.

Петрусенко Леонід Олександрович – старший науковий співробітник, ведучий інженер НВО «Еталон».

Наукові інтереси:

- процеси обробки матеріалів різанням;
- міцність різального інструменту.

Стаття надійшла до редакції 10.10.2017.