

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЗАСТОЙНОЙ ЗОНЫ НА ВЕРШИНЕ ЛЕЗВИЯ

С. В. Швец, канд. техн. наук, доцент,
Сумский государственный университет, г. Сумы
E-mail: shvets46@yandex.ua

В статье выполнено геометрическое моделирование застойной зоны на передней поверхности лезвия. Получена математическая зависимость ее параметров от различных факторов. Выполнен численный анализ степени влияния размеров зерен обрабатываемого материала, остроты и геометрии лезвия на форму и размеры застойной зоны.

Ключевые слова: застойная зона, свойства, материал, параметры, зависимость, геометрия.

У статті виконано геометричне моделювання застійної зони на передній поверхні леза. Отримана математична залежність її параметрів від різних чинників. Виконаний чисельний аналіз ступеня впливу розмірів зерен оброблюваного матеріалу, гостроти і геометрії леза на форму і розміри застійної зони.

Ключові слова: застійна зона, властивості, матеріал, параметри, залежність, геометрія.

ВВЕДЕНИЕ

При обработке деталей резанием одновременно с формированием ее поверхности, соответствующей требованиям макрогеометрии, заданной на чертеже, важнейшей задачей, с целью обеспечения качества изделий, является создание требуемых параметров шероховатости обработанной поверхности. Поэтому при проектировании технологического процесса очень важно уметь теоретически оценить эти параметры на каждой операции, рассчитать без привлечения сложных и дорогостоящих экспериментальных работ. Геометрические расчеты с использованием параметров геометрии лезвия и движения инструмента не позволяют обеспечить точный прогноз шероховатости обработанной поверхности в связи со значительным влиянием пластических деформаций. При этом проведенные исследования показали [1], что основными факторами, искажающими геометрические построения при обработке материалов с пластическими свойствами, являются форма и размеры поля касательных напряжений у вершины лезвия, которое формирует соответствующие форму и размеры так называемой застойной зоны. Для автоматизации расчетов параметров шероховатости необходимо установить зависимости параметров застойной зоны от условий обработки и свойств обрабатываемого материала. Проблема усугубляется тем, что параметры шероховатости оцениваются единицами и долями микрометров, а рассчитать форму застойной зоны с такой точностью используемые в настоящее время методики не позволяют [2].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для решения затронутой проблемы необходимо построить геометрическую модель формирования застойной зоны на передней поверхности и отобразить ее в виде математических зависимостей.

Целью настоящей работы является определение функциональных зависимостей параметров застойной зоны от геометрии лезвия и механических свойств обрабатываемого материала.

ФОРМИРОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЗАСТОЙНОЙ ЗОНЫ

Рассмотрим лезвие как клин, вершина которого имеет округление радиуса ρ . В точке пересечения касательных к передней и задней поверхностям (рис.1), или в вершине режущего клина при $\rho=0$, размещаем начало координат системы xOy . Определим координаты точки O_1 в системе xOy . Точка O_1 - это точка сопряжения дуги радиуса ρ

с задней поверхностью лезвия. Угол β_1 равен $\beta_1 = \frac{\pi - \gamma - \alpha}{2}$, а из треугольника OO_1O_3 $OO_1 = \frac{\rho}{\tan \beta_1}$. Тогда из треугольника OKO_1

$$x_{O_1} = -\frac{\rho \cos \alpha}{\tan \beta_1}, \quad y_{O_1} = -\frac{\rho \sin \alpha}{\tan \beta_1}.$$

Расстояния от лезвия до осей y и x (отрезки a и b соответственно) можно определить следующим образом. Видно (рис.1), что $a = NO_3 - \rho$.

Из треугольника O_1O_3O : $OO_3 = \frac{\rho}{\sin \beta_1}$, а из треугольника OO_3N :

$$NO_3 = \frac{\rho \sin(\beta_1 + \gamma)}{\sin \beta_1}. \text{ Следовательно, } a = \frac{\rho \sin(\beta_1 + \gamma)}{\sin \beta_1} - \rho.$$

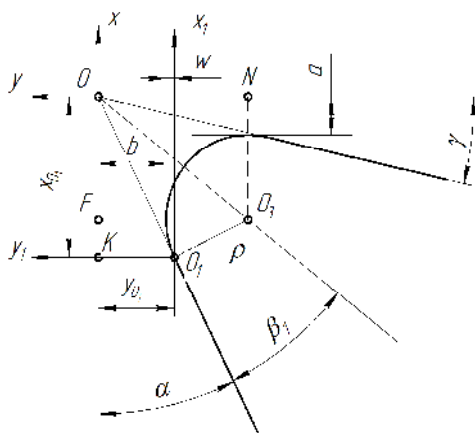


Рисунок 1 - Определение расстояний от рабочих поверхностей лезвия до осей системы координат xOy

Рассмотрим треугольник FOO_3 (рис. 1). Его катет FO_3 равен $FO_3 = OO_3 \sin(\alpha + \beta_1)$. Тогда расстояние от оси x до задней поверхности равно $b = FO_3 - \rho$, или

$$b = \frac{\rho \sin(\beta_1 + \alpha)}{\sin \beta_1} - \rho.$$

Очевидно, что застойную зону можно ограничить линиями скольжения как траекториями действий касательных напряжений, по которым разделяются движущиеся и неподвижные массы металла. Пластически деформированная застойная зона на вершине лезвия находится в состоянии равновесия. При этом один из экстремальных принципов гласит, что «действительная форма равновесия пластически деформируемого тела отличается от всех других мыслимых форм тем, что сообщает полной энергии минимальное значение» [3]. Если механическая работа на поверхностях застойной зоны определяется длиной траектории, по которой действуют уравнивающие силы, то кратчайшим криволинейным путем является дуга окружности. Поэтому, учитывая принцип минимальности, ограничим поверхности застойной зоны дугами окружностей, что соответствует [3] широко применяемому и математически исследованному полю линий скольжения, образованного дугами окружностей.

Составим схему (рис. 2), где линия скольжения, по которой застойная зона отделяется от поверхности детали, – это дуга радиуса R_4 . Эта линия сопрягается с окружностью радиуса округления вершины застойной зоны ρ_1 в некоторой точке B и сопрягается с задней поверхностью в точке O_1 . Линия скольжения, по которой застойная зона отделяется от поверхности стружки, – это дуга радиуса R_5 . Эта линия сопрягается с той же окружностью радиуса ρ_1 в некоторой точке C и касательная к передней поверхности.

Поэтому точки B, C, O_2, O_4, O_5 находятся на одинаковом расстоянии от оси y , а следовательно абсциссы этих точек равны: $x_B = x_C = x_{O_2} = x_{O_4} = x_{O_5}$.

Из схемы (рис. 3) видно, что $\alpha = 2\varepsilon$. Поэтому $\varepsilon = \frac{\alpha}{2}$. Катет

$$BS = x_B + x_{O_1}. \text{ Из треугольника } BSO_1: SO_1 = BS \tan \varepsilon, BO_1 = \frac{BS}{\cos \varepsilon}.$$

Из треугольника BDO_4 : $R_4 = \frac{BD}{\sin \varepsilon}$. Если $BD = BO_1/2$, то тогда

$$R_4 = \frac{BS}{2 \cos \varepsilon \sin \varepsilon} \text{ и окончательно}$$

$$R_4 = \frac{x_B + x_{O_1}}{2 \cos \varepsilon \sin \varepsilon}. \quad (1)$$

Выход застойной зоны за заднюю поверхность определяется следующим образом. Наибольшее расстояние от оси x_1 до задней поверхности $\Delta = y_{O_1} - b$.

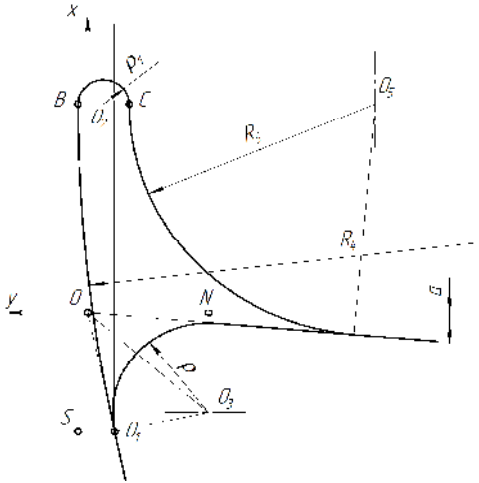


Рисунок 2 – Определение радиусов R_4 и R_5

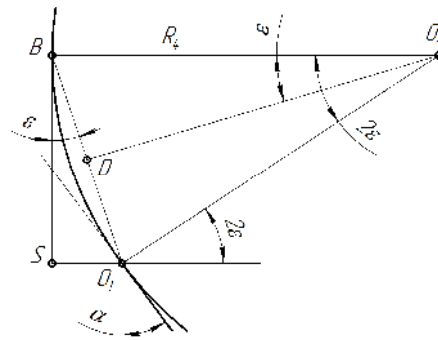


Рисунок 3 - Соотношение между углами и

В системе $x_1O_1y_1$ ордината точки B равна отрезку $SO_1 = SB \tan \varepsilon$ (см. рис. 3). В свою очередь, $SB = x_B - x_{O_1}$ (см. рис. 2). Следовательно, застойная зона выступает за заднюю поверхность на величину

$$y_{зас} = SO_1 - \Delta = (x_B - x_{O_1}) \tan \varepsilon - \Delta. \quad (2)$$

размером площади распространения пластической деформации при воздействии единичной нагрузки: $\eta = \frac{\varepsilon}{\sigma_s}, \frac{\text{мм}^2}{\text{кз}}$. Используем η как безразмерный коэффициент. Площадь пластического контакта равна $F = l_k b_k$ (l_k и b_k – длина и ширина площади пластического контакта). Учитывая, что $b_k = \frac{t}{\sin \varphi}$, находим длину пластического контакта:

$$l_k = \frac{P_z \sin \varphi}{t \sigma_s \eta}. \quad (6)$$

Определив R_5 , по формулам (1), (2), (3) находим $R_4, y_{зас}, x_B$. Высота застойной зоны

$$h = x_B + \rho_1 + a. \quad (7)$$

ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ И АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗАСТОЙНОЙ ЗОНЫ

Образование застойной зоны на передней поверхности лезвия происходит в условиях сверхпластичности обрабатываемого материала. Сверхпластичность характерна для поликристаллических мелкозернистых (с размером зерна менее 10 мкм) материалов. Чувильдеев В. Н. и др. разработали модель [4], позволяющую рассчитать оптимальные размеры зерен, обеспечивающих реализацию максимальной пластичности. Высокие показатели сверхпластичности наблюдаются не в самых мелкозернистых материалах, а в материалах с некоторым оптимальным размером зерна G_{opt} . При исследовании магниевого сплава AZ31 с размером зерен $G=(3-6,5)$ мкм установлено, что при температуре 423К $G_{opt}=3,8$ мкм. Алюминиевый сплав 1421 с размером зерен $G=(0,3-2)$ мкм показывает $G_{opt}=0,4$ мкм.

Зерна металлов – это отдельные кристаллы поликристаллического конгломерата, разделенные между собой смежными поверхностями, называемыми границами зерен [5]. Величина зерна – средняя величина случайных сечений зерен в плоскости металлографического шлифа (например, среднего условного диаметра). Средний условный диаметр зерен для сталей и сплавов в состоянии поставки по стандарту для мелких и очень мелких зерен (номера 10-14) находится в пределах $G_{cp}=(0,011-0,0027)$ мм.

Исходя из вышесказанного, можно предположить, что сверхпластичности металла в области застойной зоны способствует мелкозернистая структура, сформированная в условиях высоких температур и давлений. Радиус округления застойной зоны равен среднему радиусу зерна, а значит, для металлов с номерами зерен 10-14

$$\rho_1 = G_{cp}/2 \approx (0,0055 - 0,00135) \text{ мм.}$$

Выполнен анализ влияния геометрии лезвия на параметры застойной зоны при обработке стали 45. Другие материалы, изменение глубины резания в данной статье не исследовались. Поэтому в формуле (6)

$$\frac{P_z}{t \sigma_s \eta} = const.$$

Расчеты по формулам (1)-(7) показывают, что изменение ρ_1 в пределах от 1 до 5 мкм при длине пластического контакта стружки в 1 мм

вызывает изменение размеров и положения вершины застойной зоны не более 0,8%. При длине пластического контакта 10 мм эти изменения не выходят за сотые доли процента. Поэтому для дальнейших исследований можно принять постоянное значение $\rho_1=0,003$ мм.

Радиус округления лезвия зависит от свойств инструментального материала (вязкость, структура) и технологии его создания или заточки. Обычно у лезвий из быстрорежущей стали $\rho=12, \dots, 15$ мкм, из твердого сплава - $\rho=18, \dots, 26$ мкм [6].

Аналитическое исследование влияния геометрии лезвия на параметры застойной зоны (при $\gamma=1^\circ, \dots, 25^\circ$; $\alpha=4^\circ, \dots, 18^\circ$; $\varphi=60^\circ, \dots, 90^\circ$; $\rho=0,01, \dots, 0,03$; $\rho_1=0,001, \dots, 0,005$) показало, что изменение ρ и ρ_1 в указанных пределах изменяет $R_5, R_4, y_{зас}, h$ в пределах нескольких процентов. В пределах 20, ..., 50 процентов параметры застойной зоны изменяются при изменении главного угла в плане φ . В несколько раз при увеличении α увеличивается радиус R_4 (рис. 5) и выход застойной зоны за заднюю поверхность $y_{зас}$ (рис. 6).

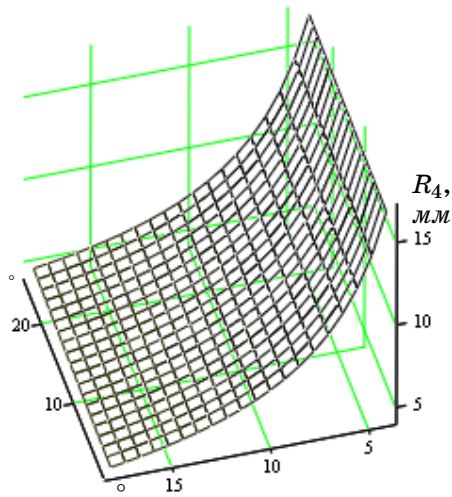


Рисунок 5 – Зависимость радиуса R_4 от переднего и заднего углов

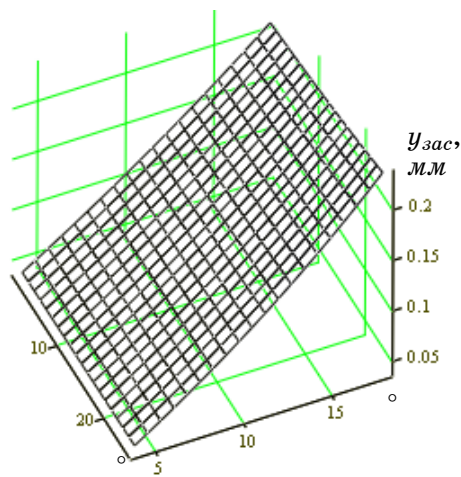


Рисунок 6 – Зависимость величины $y_{зас}$ от переднего и заднего углов

ВЫВОДЫ

Использование теории линии скольжения для геометрического представления застойной зоны на передней поверхности лезвия и разработанная на этом основании математическая модель позволили расширить представление о влиянии геометрии лезвий на параметры застойной зоны. При этом установлено:

1. Величины радиусов округления лезвия и застойной зоны не значительно влияют на геометрические параметры застойной зоны.

2. Увеличение заднего угла резко изменяет величину выхода застойной зоны за заднюю поверхность, тем самым увеличивая шероховатость обработанной поверхности.

3. Передний угол на величину выхода застойной зоны за заднюю поверхность (а значит, и на параметры шероховатости) практически не влияет.

4. Линию скольжения, по которой застойная зона отделяется от поверхности детали, при малых значениях заднего угла можно аппроксимировать прямой линией.

SUMMARY

CALCULATION OF PARAMETERS OF THE STAGNANT ZONE AT EDGE TOP

*Shvets S. V.,
Sumy State University, Sumy*

In article geometrical modeling of a stagnant zone on a forward surface of an edge is executed. Mathematical dependence of her parameters on various factors is received. The numerical analysis of degree of influence of the sizes of grains of a processed material, a sharpness and edge geometry on the form and the sizes of a stagnant zone is made.

Key words: *stagnant zone, properties, material, parameters, dependence, geometry.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Швец С. В. Расчет шероховатости обработанной поверхности при точении / С. В. Швец // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2009. - №4(18). – С.27-32.
2. Mamalis A.G. On the finite element modeling of high speed hard turning / Mamalis A.G., Kundrak J., Markopoulos A., Monolakis D.E.//Int J Adv Manuf Technolю -2008. - № 38. – P. 441-446.
3. Сторожев М. В. Теория обработки металлов давлением / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. - М.: Машиностроение, 1977. - 423 с.
4. Чувильдеев В. Н. Влияние размера зерна и структурного состояния границ зерен на параметры низкотемпературной и высокоскоростной сверхпластичности нано- и микрористаллических сплавов / В. Н.Чувильдеев, А. В. Щавлева, А. В. Нохрин, О. Э Пирожникова, М. Ю. Грязнов, Ю. Г. Лопатин, А. Н. Сысоев, Н. В. Мелехин, Н. В. Сахаров, В. И. Копылов, М. М. Мышляев // Физика твердого тела. - 2010. - Т. 52, Вып. 5. – С.1026-1033.
5. ГОСТ 5639-82:2010. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна.
6. Филоненко С.Н. Резание металлов / С.Н. Филоненко. – К.: Техника, 1975. – 156 с.

Поступила в редакцию 2 июня 2011 г.