

УДК 539.374

## СИЛЫ И НАПРЯЖЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТЯХ РЕЖУЩЕГО ЛЕЗВИЯ ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ

<sup>1</sup>Отений Я.Н., <sup>2</sup>Муравьев О.П., <sup>1</sup>Эпов А.А., <sup>3</sup>Туменов Т.Н., <sup>2</sup>Жунусова А.Ш.,  
<sup>2</sup>Ткачева Ю.О., <sup>2</sup>Плешакова Е.А., <sup>2</sup>Ерахтина А.В.

<sup>1</sup>Камышинский технологический институт (филиал Волгоградского государственного технического университета), Камышин, e-mail: oteny3@rambler.ru;

<sup>2</sup>Каргадинский государственный технический университет, Караганда, e-mail: olinis@mail.ru;

<sup>3</sup>ТОО «ИнструментРесурс», Караганда, e-mail: iresurs@mail.ru

В статье рассматривается вопрос о возможности определения действительных сил и напряжений, действующих на передней и задней поверхностях режущего клина при точении и однозначности решения задачи. Показано, что распределение сил и напряжений по поверхностям режущего лезвия влияют на долговечность самого инструмента и качество обработанной поверхности. Приведена схема резания и распределения сил, действующих на режущий клин. Получены уравнения для определения нормальных усилий, действующих на переднюю и заднюю поверхности режущего лезвия. Показано влияние подачи на составляющие силы резания по передней и задней поверхностям режущего клина. Доказано, что для однозначного определения действительных значений нормальных и касательных усилий, действующих по поверхностям режущего лезвия, необходимо экспериментально определять составляющие  $P_{yи}$ ,  $P_z$  сил резания, что позволяет учитывать влияние задних и передних углов резца. Приводится постановка задачи для получения зависимостей распределения контактных напряжений по передней и задней поверхностям резца.

**Ключевые слова:** режущее лезвие, составляющие силы резания, передняя и задняя поверхности резца, напряжения в зоне контакта, подача, передний и задний углы резца

## FORCES AND STRESSES ON THE SURFACE CUTTING BLADE IN CUTTING METALS

<sup>1</sup>Oteniy Y.N., <sup>2</sup>Muravoiv O.P., <sup>1</sup>Eпов A.A., <sup>3</sup>Tymenov T.N., <sup>2</sup>Zhунusova A.S.,  
<sup>2</sup>Tkacheva Y.O., <sup>2</sup>Pleshakova E.A., <sup>2</sup>Erahtina A.V.

<sup>1</sup>Kamyshin Technological Institute (Branch of Volgograd State Technical University), Kamyshin, e-mail: oteny3@rambler.ru;

<sup>2</sup>Karaganda state technical university, Karaganda, e-mail: olinis@mail.ru;

<sup>3</sup>LLP «Instrument Resurs», Karaganda, e-mail: iresurs@mail.ru

The article discusses the possibility of determining the actual forces and stresses, which acting on the front and rear surfaces of the cutting wedge in turning, and the uniqueness of the solution. It is shown that the distribution of forces and stresses on the surfaces of the cutting blade affect the durability of the instrument itself and the quality of the machined surface. A scheme of cutting and distribution forces acting on the cutting wedge has been shown. The equations, to determine the normal forces acting on the front and back surface of the cutting blade, have been received. The influence of feed on the components of cutting forces on the front and back surfaces of the cutting wedge has been shown. It is proved that for an unambiguous determination of the actual values of the normal and tangential forces acting on the surfaces of the cutting blade must experimentally determine the components of the  $P_y$  and  $P_z$  cutting forces, which allows to take into account the influence of front and rear corners of the tool. We state the problem to obtain the dependency of distribution of contact stresses on the front and back surfaces of the incisors.

**Keywords:** cutting blade, the cutting force components, front and rear surface of the tool, the stresses in the contact zone, feed, front and rear corners of the tool

При резании металлов существует сложная взаимосвязь между режимами обработки, геометрическими параметрами режущего лезвия, физико-механическими процессами, протекающими в очаге резания. Выходными параметрами этих взаимосвязей являются показатели качества поверхностного слоя, обеспечение износостойкости и прочности режущего лезвия. Качественное преобразование поверхностного слоя необходимо обеспечить в требуемом направлении с учетом технологической наследственности. При этом должна быть обеспечена максимальная производительность при допустимой нагрузке, не вызывающей разрушение режущего лезвия.

Целенаправленное формирование требуемых показателей поверхностного слоя при резании можно обеспечить только на основе раскрытия закономерностей протекающих в очаге резания, а это возможно за счет определения распределения деформаций, напряжений и температур по объему, прилегающему к режущему лезвию. Первым шагом в данном направлении исследований является определение напряжений и усилий, приложенных к поверхностям режущего лезвия. Подобная постановка задачи характерна при решении вопросов теории пластичности и относится к краевым задачам, характерным для теории механики сплошных сред. Несмотря на большое ко-

личество работ в этой области, окончательно данная задача пока не решена.

Вопрос о силах и напряжениях, действующих на поверхностях режущего инструмента при резании материалов, имеет не только теоретическое, но и прикладное значение. От особенностей распределения сил и напряжений по поверхностям режущего лезвия зависит не только долговечность самого инструмента, но и качество обработанной поверхности. Теоретическое определение этих сил сопряжено с известными трудностями [1, 2, 4].

Рассмотрим процесс резания при точении (рис. 1). К режущему лезвию приложена система сил, действующих на переднюю и заднюю поверхность как показано на этом рисунке. Составим для этих сил систему уравнений равновесия с целью определения неизвестных нормальных усилий  $P_{\text{нп}}$ ,  $P_{\text{нз}}$ , действующих на переднюю и заднюю поверхности соответственно.

$$\begin{aligned} P_y - P_{\text{кп}} \cos \gamma + P_{\text{нп}} \sin \gamma - \\ P_{\text{нз}} \cos \alpha + P_{\text{кз}} \sin \alpha = 0; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} P_z - P_{\text{нп}} \cos \gamma - P_{\text{кп}} \sin \gamma - \\ P_{\text{нз}} \sin \alpha - P_{\text{кз}} \cos \alpha = 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $P_z$ ,  $P_y$  – составляющие сил резания по координатным осям  $z$  и  $y$ ;  $P_{\text{нп}}$ ,  $P_{\text{нз}}$  – силы, направленные перпендикулярно передней и задней поверхности режущего лезвия соответственно;  $P_{\text{кп}}$ ,  $P_{\text{кз}}$  – касательные составляющие сил резания, приложенные к передней и задней поверхности режущего лезвия соответственно;  $\gamma$ ,  $\alpha$  – передний и задний углы режущего лезвия.

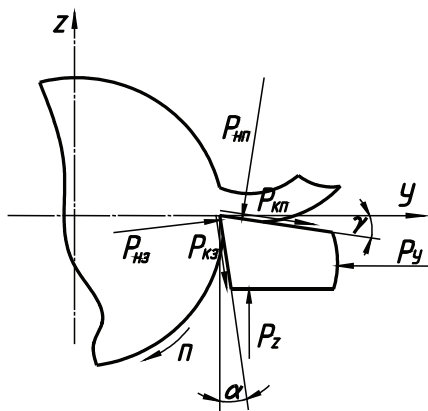


Рис. 1. Схема резания и распределения сил, действующих на режущий клин

Между нормальными и касательными силами по передней и задней поверхностям существуют соотношения:

$$P_{\text{кп}} = P_{\text{нп}} \cdot f; \quad P_{\text{кз}} = P_{\text{нз}} \cdot f, \quad (3)$$

где  $f$  – коэффициент трения.

Система двух уравнений (1) и (2) содержит четыре неизвестные составляющие сил, приложенные к режущему лезвию  $P_y$ ,  $P_z$ ,  $P_{\text{нп}}$ ,  $P_{\text{нз}}$ , следовательно не может быть решена однозначно. В первом приближении для ее решения воспользуемся известными эмпирическими формулами для определения составляющих сил резания  $P_y$ ,  $P_z$  [5, 6]:

$$P_z = C_p \cdot t^{x_z} \cdot s^{y_z} \cdot V^n \cdot K_p; \quad (4)$$

$$P_y = C_p \cdot t^{x_y} \cdot s^{y_y} \cdot V^n \cdot K_p, \quad (5)$$

где  $t$  – глубина резания;  $s$  – подача на оборот;  $V$  – скорость резания.

Остальные множители и показатели степеней являются нормативными данными, выбираемыми по справочникам.

С учетом этих соотношений решение системы уравнений (1) и (2) получается в следующем виде:

$$P_{\text{нп}} = \frac{-[P_z - f \cdot B \cos \alpha + B \sin \alpha]}{-f \sin \gamma + A \sin \alpha - \cos \alpha - A \cdot f \cos \alpha}; \quad (6)$$

$$P_{\text{нз}} = \frac{(-f \cos \gamma + \sin \gamma) P_{\text{нп}} + P_y}{\cos \alpha + f \sin \alpha}. \quad (7)$$

где для сокращения записи формул приняты обозначения

$$A = \frac{-f \cos \gamma + \sin \gamma}{\cos \alpha + f \cos \alpha},$$

$$B = \frac{P_y}{\cos \alpha + f \cos \alpha}.$$

На рис. 2. показано влияние подачи на изменение составляющих сил резания входящих в зависимости (6) и (7).

Составляющие  $P_{\text{нп}}$ ,  $P_{\text{нз}}$ , направленные перпендикулярно передней и задней поверхности, оказываются несколько большими по величине по сравнению с составляющими сил резания  $P_y$  и  $P_z$ , направленными по координатным осям  $x$  и  $y$  и рассчитываемыми по формулам (4) и (5). Это объясняется тем, что на  $P_y$  и  $P_z$  дополнительное влияние оказывают и касательные составляющие, приложенные к передней и задней поверхностям, рассчитываемые по формулам (3).

Следует отметить, что в формулах (4) и (5) при расчете  $P_y$  и  $P_z$ , не учитывается влияние переднего и заднего углов режущего лезвия, что снижает точность расчетов. Тем не менее полученные формулы позволяют разработать методику экспериментального исследования процесса резания и оценить степень влияния указанных углов на давление по передней и задней поверхностям лезвия. Для этого необходимо измерять в процессе резания составляющие  $P_y$  и  $P_z$  после чего, подставляя измеренные

величины в формулы (6) и (7), можно получить действительные значения нормальных и касательных усилий, действующих по поверхностям режущего лезвия.

Более важным является получение зависимостей распределения контактных напряжений по передней и задней поверхностям резца, так как долговечность резца будет определяться в большей степени не усилием, а максимальным напряжением в зоне контакта [3, 4]. Это связано с тем, что в теории трения в качестве основных критериев при оценке износа и долговечности трущихся пар используются максимальное или среднее напряжение в контакте и произведение этого напряжения на скорость относительного перемещения контактирующих поверхностей:

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma_d]; \quad (8)$$

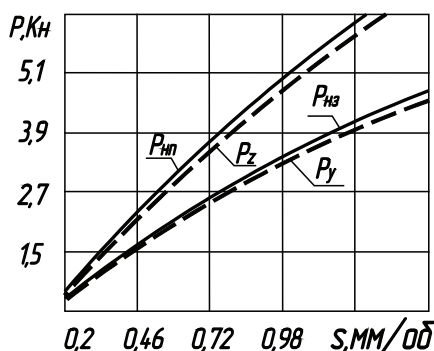


Рис. 2. Влияние подачи на составляющие силы резания по передней и задней поверхностям режущего лезвия

**Выводы**

1. Действительные составляющие сил резания на поверхностях режущего лезвия можно рассчитывать по формулам (6) и (7), при этом для однозначного решения приведенных уравнений необходимо экспериментально определять составляющие  $P_z, P_y$  сил резания, направленные по координатным осям  $z$  и  $y$ , так как имеющиеся решения определения этих сил не учитывают влияния задних и передних углов резца.

2. Для оценки интенсивности износа необходимо установить закон распределения напряжений по ширине контакта между передней поверхностью и стружкой, а также между задней поверхностью лезвия и поверхностью резания детали и доказать однозначность решения этой задачи. Для этого необходимо определить действительные площади касания стружки с передней поверхностью и задней поверхностью режущего лезвия с поверхностью резания, что требует дополнительных экспериментальных исследований.

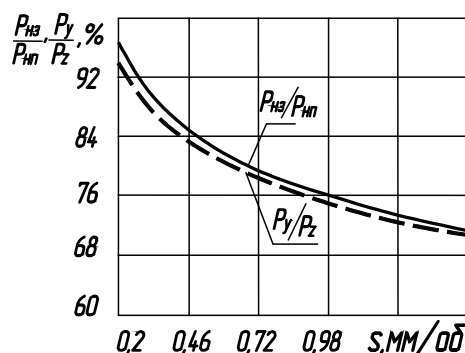
**Список литературы**

1. Аршинов В.А., Алексеев Г.А. Резание металлов и режущий инструмент. – М.: Машиностроение, 1976. – 440 с.
2. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. – М.: Высшая школа, 1985. – 304 с.
3. Гордон М.Б. Трение, смазка и износ инструмента при резании металлов. – Чебоксары, 1978. – 125 с.

$$C_{mv} = \sigma_{\max} \cdot V \leq [\sigma_d \cdot V], \quad (9)$$

где  $\sigma_{\max}$  – максимальное напряжение в зоне контакта;  $\sigma_d$  – допускаемое контактное напряжение;  $V$  – скорость относительного перемещения трущихся поверхностей.

Скорость по задней поверхности равна скорости резания, а по передней поверхности – скорости сбега стружки. Неизвестными в приведенных неравенствах являются контактные напряжения. Эти напряжения невозможно определить на основании знания одних только усилий, действующих на резец, так как неизвестной является площадь контакта стружки с передней поверхностью и площадь касания поверхности резания с задней поверхностью резца. Для этого необходимо провести дополнительные исследования.



4. Кравченко А.Б. Обоснование заданных эксплуатационных характеристик деталей ГТД путем целенаправленного регулирования остаточных напряжений при лезвийной обработке.: дис. ... канд. техн. наук. – Кубышев, 1990.
5. Розенберг А.М., Еремин А.Н. Элементы теории процессов резания металлов. – М.: Машгаз, 1956. – 320 с.
6. Справочник технолога-машиностроителя т. 2; под ред. Косиловой А.Г. и Р.К.Мещерякова. – 4 изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985 – 476 с.

**References**

1. Metalcutting and cutting tools. V.A. Arshinov, G.A. Alekseev. M.: Mechanical engineering, 1976. 440 p.
2. Cutting of metals. G. I. Granovskii, V.G. Granovskii M.: High school, 1985. 304 p.
3. Friction, grease and runout of the tool in the process of metal cutting. M.B. Gordon. Cheboksary, 1978. 125 p.
4. The substantiation of given operational GTD tool performance by purposeful regulation of residual stresses in the edge cutting process. Kubishev, candidate of technical sciences, the dissertation. 1990
5. The elements of the metalcutting theory A.M. Rosenberg, A.N. Eremin. Machgaz. 1956. 320 p.
6. Reference book of machine technologist- machine engineer v.2. A.G. Kosilova and R.K. Mesheryakov 4 edition, processed and complemented. M.: Engineer, 1985 476 p.

**Рецензенты:**

Туменов С.Н., д.т.н., профессор, проректор по науке и инновационным технологиям, Алматинский технологический университет, г. Алматы;

Кенжин Б.М., д.т.н., профессор, директор ТОО «Карагандинский машиностроительный консорциум», г. Караганда.

Работа поступила в редакцию 05.03.2012.