

**К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ ИЗНОСА ЛЕЗВИЙ**

*Швец С.В., канд.техн.наук, доцент;*

*Чуб И.А., магистр,*

*Сумский государственный университет, г.Сумы*

*В статье выполнено геометрическое моделирование износа лезвий по задней поверхности. Получена математическая зависимость износа от геометрии лезвия в статике. Вскрыт механизм формирования поверхности износа.*

**ВВЕДЕНИЕ**

Устойчивость системы резания определяется стойкостью режущего инструмента. Поэтому износу рабочих поверхностей лезвий уделяется много внимания. Исследуются критерии и топография износа, выясняются его механизмы. В настоящее время различают абразивный, хрупкий, температурный, адгезионно-усталостный, химико-абразивный, диффузионный и окислительный износ [1]. Обычно преобладает один из перечисленных видов износа, но при некоторых условиях существенно влиять на работоспособность инструмента могут несколько видов износа одновременно. Анализ причин каждого вида износа позволяет уменьшить его влияние на потерю работоспособности режущего инструмента. Так как абразивный износ - это интенсивное разрушение поверхности детали при скольжении за счет попадания абразивных (твердых) частиц между поверхностями трения, то снижение количества таких частиц уменьшает интенсивность подобного вида износа. Абразивный износ маловероятен при обработке твердыми сплавами черных металлов, так как твердость цементита ниже твердости такого инструментального материала. Хрупкий износ может быть предотвращен благодаря правильному назначению инструментального материала и режимов резания. Пластическое изменение формы режущего клина в результате температурного износа можно предупредить за счет снижения температуры в зоне резания или использования инструментального материала с более высокой критической температурой. Весомость химико-абразивного, диффузионного и окислительного износов также может быть снижена при уменьшении мощности тепловых потоков на рабочих поверхностях инструмента. И только адгезионно-усталостный износ устранить нельзя. Этот вид износа является основной и неотвратимой причиной истощения работоспособности режущего инструмента.

Лезвия изнашиваются по задней поверхности, по передней поверхности или по задней и по передней одновременно. Обычно преобладает износ по задней поверхности, превалирующий износ по передней поверхности встречается очень редко. Поэтому для оценки степени изношенности лезвий используют размеры площадки износа, образующейся на задней поверхности. Очевидно, что эти размеры зависят от формы режущего клина и его положения относительно заготовки. Однако математических зависимостей, связывающих эти параметры в настоящее время не существует. Исследования показывают [1, 2], что встречаются различные формы изношенной поверхности, а достоверных причин такого разнообразия не установлено.

**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

Для решения затронутой проблемы необходимо построить геометрическую модель износа лезвия по задней поверхности, вскрыть

механизм формирования различных форм площадок износа при адгезионно-усталостном износе.

Целью настоящей работы является определение функциональных зависимостей между износом по задней поверхности  $h_z$  и задним углом  $\alpha$ , вспомогательным углом в плане  $\varphi^1$ , углом при вершине  $\varepsilon$ , радиусом при вершине лезвия  $r$ , глубиной резания  $t$ :

$$h = f(\alpha, \varphi^1, \varepsilon, r, t). \quad (1)$$

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Моделирование износа, как пересечение поверхности режущего клина с поверхностью заготовки позволяет получить изношенную поверхность (рис.1), форма которой достаточно точно отображает поверхность, полученную при износе реального лезвия (рис.2). Как на модели, так и при стойкостных испытаниях параметры изношенной поверхности зависят от пространственного положения рабочих поверхностей лезвия, радиуса при вершине, ширины среза. Однако на практике, при определении такого параметра как износ по задней поверхности все эти влияния не учитываются и этот критерий во многом теряет точностные свойства при определении работоспособности инструмента. Экспериментальное исследование взаимодействия всех этих параметров практически невозможно (и не проводилось) из-за сложности и масштабности эксперимента.

Моделирование позволило многократно сократить затраты времени и получить в каждом конкретном случае износа однозначные результаты. Получена математическая зависимость износа по задней поверхности от радиального износа  $h_r$ , некоторых статических углов лезвия ( $\alpha^1, \varepsilon$ ), радиуса при вершине  $r$  и глубины резания  $t$ :

$$h = 7939h_r(\varphi^1)^{-0,06} \alpha^{-1} t^{0,027} r^{-0,02} \varepsilon^{-1,49}. \quad (2)$$

Формула (2) получена следующим образом. Изменяя один из этих параметров на геометрической модели (при постоянных значениях всех остальных) устанавливались соответствующие значения  $h_z$ , и затем зависимость  $h_z$  от изменяемого параметра аппроксимировалась степенной функцией. Используя установленные показатели степени и сформирована общая зависимость (2).

Зависимость (2) позволяет анализировать и прогнозировать развитие износа при различной геометрии лезвий, что особенно важно при конструировании нового режущего инструмента, оснащенного неперегачиваемыми многогранными пластинами. Оказалось (рис. 3, б), что износ по задней поверхности при  $\alpha < 10^\circ$  резко возрастает при всех значениях вспомогательного угла в плане. Недопустимым оказывается сочетание углов  $\alpha < 5^\circ$  и  $\varepsilon < 100^\circ$  (рис.3, в).

При таком формировании изношенной площадки определяющим является адгезионно-усталостный износ. Однако наблюдаются и иные формы поверхности износа. Треугольная, прилегающая к вспомогательной режущей кромке, поверхность (см. рис. 1,2) преобразуется в прямоугольную, а иногда, в самой удаленной от вершины ее части, образуются своеобразные проточкины (рис. 4). Существует мнение, что такие проточкины формируются в результате абразивного истирания более прочным, твердым и пилообразным краем стружки. Но такое объяснение нельзя считать исчерпывающим по следующим причинам. Во-первых, стружка сходит не по задней, а по передней поверхности. И при наличии проточин на задней поверхности, на передней, в соответствующей области возле режущей кромки, таких не наблюдается. Во-вторых, абразивный износ происходит тогда, когда между трущимися поверхностями имеются более твердые частицы, но

частицы обрабатываемого материала не могут быть тверже инструментального.

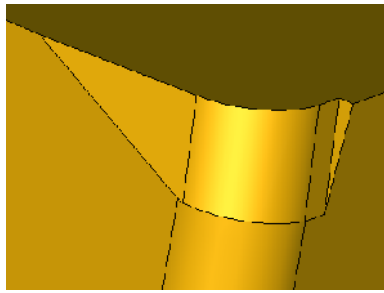


Рисунок 1 – Модель изношенной поверхности

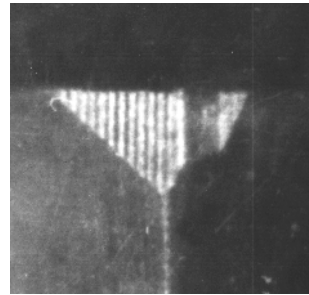


Рисунок 2 – Износ по задней поверхности резца из ВК6М

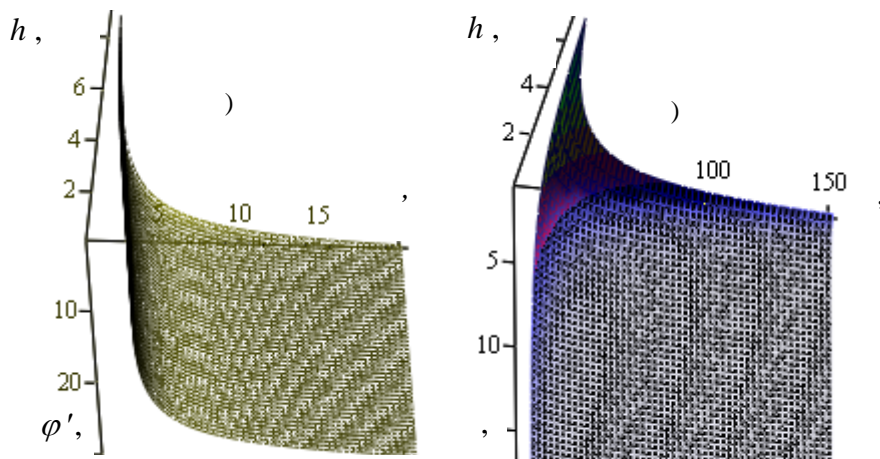


Рисунок 3 – Зависимость износа по задней поверхности от углов  $\varphi'$ , - (а) и  $\varphi'$ , - (б)

Анализ разрушения поверхностей деталей и самих деталей указывает на то, что оно происходит вследствие усталости металлов. Усталостное разрушение наблюдается при повторно-переменном действии нагрузки. Причем, даже детали из пластичных металлов разрушаются без искажения своей формы и изменения размеров, поскольку разрушение происходит в условиях отсутствия пластической деформации.

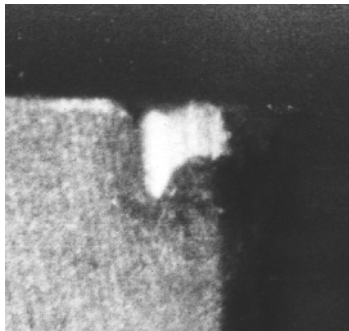


Рисунок 4 – Износ по задней поверхности резца из Т30К4

Результаты испытаний представляются графически в виде кривой усталости. По оси абсцисс откладывается число циклов  $N$ , которое испытал образец перед разрушением, а по оси ординат – максимальное напряжение, при котором был разрушен образец после этого числа цикло. Кривая усталости теоретически асимптотически приближается к горизонтальной прямой. Отрезок, отсекаемый этой прямой на оси ординат,

определяет предел неограниченной выносливости материала.

Для реальных конструкций не существует такого числа циклов, выдержав которые образец не разрушается при дальнейшем испытании. Поэтому кривые усталости не имеют горизонтальной асимптоты и можно говорить лишь о пределе ограниченной выносливости. Число циклов, как предел выносливости, задают. Можно задавать время или параметр износа, которые соответствуют предельному числу циклов.

Следовательно, усталость металлов, это прогрессирующее разрушение металлов, подвергаемых циклически повторяемому воздействию нагрузок. В результате металлы могут разрушаться под действием гораздо меньшей силы, чем при кратковременной нагрузке.

Проведенные исследования [3, 4] показывают что стружкообразование в подавляющем числе случаев – циклический процесс, что сказывается на характере нагружения лезвия. Очевидно, что главная составляющая силы резания  $P_z$  изменяется в соответствии с циклом образования элемента стружки. Частоту образования элементов стружки (следовательно и изменения  $P_z$ ) при различной скорости резания (рис. 5) можно рассчитать по формуле

$$f = \frac{l \cdot K_l}{p \cdot v},$$

где  $l$  – длина исследуемой стружки;

$K_l$  – коэффициент укорочения стружки;

$p$  – количество элементов на исследуемой стружке;

$v$  – скорость резания.

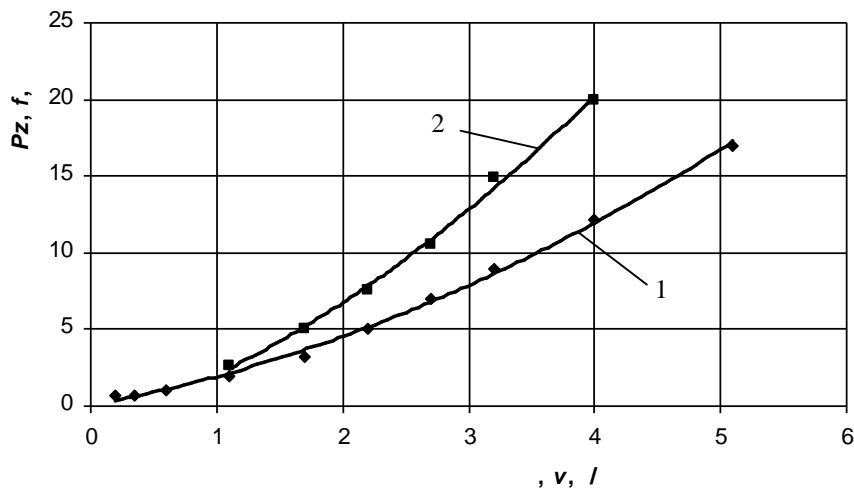


Рисунок 5- Влияние скорости резания на частоту изменения главной составляющей силы резания при точении стали 45 (1) и стали X18H9T(2) с подачей  $S=0,1$  мм/об и глубиной резания  $t=0,3$  мм

Механизм усталостного разрушения чрезвычайно сложен, и многие его детали остаются пока неясными. Согласно одним представлениям, усталостное разрушение непосредственно связано с неоднородностью строения материалов. Если уровень переменных напряжений превышает некоторый предел, то в материале детали происходит процесс постепенного накопления повреждений, который приводит к образованию субмикроскопических трещин. Трещины, постепенно развиваясь, вызывают в некоторый момент времени внезапное разрушение.

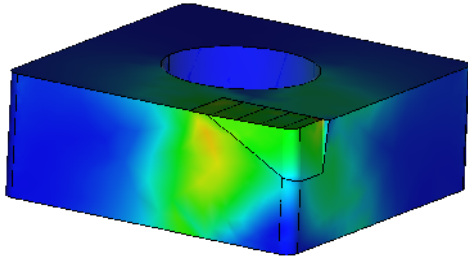


Рисунок 6 – Концентрация напряжений на задней поверхности лезвия

поверхностях могут создать такую концентрацию напряжений на некотором удалении от вершины лезвия (рис.6). Анализ выполнен при полном закреплении пластины по базовым поверхностям и нагружении со стороны передней поверхности, имитирующим давление стружки. Таким образом, получена качественная характеристика распределения эквивалентных напряжений. Пульсирование сил резания (см. рис. 5) вызывает усталостный эффект в той области лезвия и, как следствие, образование проточин.

Таким образом, наличие разных форм изношенной поверхности лезвий можно объяснить объединением различных причин усталостного разрушения. Если преобладает периодическое нагружение инструментального материала в результате трения обрабатываемого материала по задней поверхности, то образуется износ, показанный на рис. 1, 2. Если существенным оказывается усталость, вызванная циклическим изменением сил резания, то тогда треугольная форма площадки износа по вспомогательной задней поверхности преобразуется в прямоугольную, с проточинами (см. рис. 4).

## ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволили расширить представление о влиянии геометрии лезвий на параметры их износа и о механизме формирования изношенных площадок. При этом установлено:

1. Геометрическая модель износа лезвий отображает изменение его формы при преобладании адгезионно-усталостных явлений в зоне трения на задней поверхности.

2. Образование различных форм (включая и проточкины) изношенных площадок на задней поверхности лезвия обусловлено усталостными явлениями, вызванными концентрацией напряжений создаваемой циклическими нагрузками инструментального материала.

3. На основании геометрического моделирования износа оказалось возможным создание простой математической зависимости для инженерных расчетов величины фаски износа по задней поверхности при изменении глубины резания и статических углов лезвия при заданной величине радиального износа.

## SUMMARY

*In the article a geometric modeling of flank wear was performed and equation for flank surface wear on the static tool geometry and radial wear was obtained. The mechanism of flank wearing was discussed.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента / Т.Н. Лоладзе. – М.: Машиностроение, 1984.- 224 с.
2. Аваков А.А. Физические основы теорий стойкости режущих инструментов / А.А. Аваков. – М.: Машгиз, 1960. - 306 с.

Энергетическая теория предполагает начало разрушения при достижении внутренней энергией некоторого критического уровня. Уровень внутренней энергии может повышаться за счет теплопередачи или за счет совершения механической работы [5]. Поэтому процесс накопления внутренней энергии может считаться накоплением усталости.

Расчеты показывают, что геометрия лезвия и силы, действующие на его рабочих

схему нагружения при которой

поверхностях могут создать такую концентрацию напряжений на некотором удалении от вершины лезвия (рис.6). Анализ выполнен при полном закреплении пластины по базовым поверхностям и нагружении со стороны передней поверхности, имитирующим давление стружки. Таким образом, получена качественная характеристика распределения эквивалентных напряжений. Пульсирование сил резания (см. рис. 5) вызывает усталостный эффект в той области лезвия и, как следствие, образование проточин.

## ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволили расширить представление о влиянии геометрии лезвий на параметры их износа и о механизме формирования изношенных площадок. При этом установлено:

1. Геометрическая модель износа лезвий отображает изменение его формы при преобладании адгезионно-усталостных явлений в зоне трения на задней поверхности.

2. Образование различных форм (включая и проточкины) изношенных площадок на задней поверхности лезвия обусловлено усталостными явлениями, вызванными концентрацией напряжений создаваемой циклическими нагрузками инструментального материала.

3. На основании геометрического моделирования износа оказалось возможным создание простой математической зависимости для инженерных расчетов величины фаски износа по задней поверхности при изменении глубины резания и статических углов лезвия при заданной величине радиального износа.

## SUMMARY

*In the article a geometric modeling of flank wear was performed and equation for flank surface wear on the static tool geometry and radial wear was obtained. The mechanism of flank wearing was discussed.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента / Т.Н. Лоладзе. – М.: Машиностроение, 1984.- 224 с.
2. Аваков А.А. Физические основы теорий стойкости режущих инструментов / А.А. Аваков. – М.: Машгиз, 1960. - 306 с.

3. Astakhov V. P. A System Concept in Metal Cutting / V. P. Astakhov, S. V. Shvets //Materials Processing Technology.-1998.-Vol. 79/1-3. - P.189-199.
4. Шве́ц С.В. Системный анализ теории резания / С.В. Шве́ц. – Сумы: Издательство Сумского государственного университета, 2009. – 212 с.
5. Ансельм А.И. Основы статистической физики и термодинамики / А.И. Ансельм. – М.: Наука, 1973. – 424 с.

*Поступила в редакцию 14 мая 2010 г.*