

УДК 621.8

## Установление преобладающих видов и причин изнашивания режущих инструментов

Зелинский В.В., Борисова Е.А.

В статье представлены результаты количественной оценки преобладающих видов изнашивания режущих инструментов в различных условиях работы, а также результаты относительной оценки связи общего износа инструмента с отдельными причинами его возникновения.

*Ключевые слова:* износостойкость, изнашивание, деформация, режущий инструмент, фактор, поверхность, адгезия, обработка магнитным полем.

### Введение

Качество поверхностного слоя деталей при обработке резанием, а также ее производительность в значительной мере зависят от стойкости инструментов в условиях действия явно выраженного граничного трения, высоких температур и контактных давлений. Среди различных видов разрушения инструментов в таких случаях основным является изнашивание, так как оно носит систематический характер, в отличие от поломок и сколов рабочей части, относящихся к разрушениям случайного характера. В числе известных методов повышения износостойкости режущих инструментов достаточно привлекательным является метод обработки магнитным полем (ОМП). Технология ОМП обладает рядом преимуществ по сравнению с другими методами. Такие достоинства как низкая себестоимость обработки, сохранение геометрии обработанных деталей, отсутствие расходных материалов, простота технологической оснастки и экологическая чистота, незначительная стоимость и высокая производительность позволяют рекомендовать ОМП для использования на современных машиностроительных предприятиях. Однако, несмотря на имеющийся эффект ОМП в повышении износостойкости, механизм и факторы ее влияния на величину износа и, следовательно, возможности целенаправленного управления эффектом до сих пор не изучены, что сдерживает расширенное применение достаточно новой технологии.

**Целью работы** является установление доминирующих видов изнашивания режущих инструментов с учетом наиболее значимых факторов, выявление связи общего износа инструмента с причинами его возникновения, а так же выделение области поиска механизма и факторов влияния метода обработки магнитным полем.

### Установление наиболее значимых факторов

В процессе резания рабочие поверхности инструмента находятся в экстремальных условиях трения и изнашивания. Их износ обусловлен, главным образом, действием повышенных температур и контактных давлений в зоне взаимодействия инструмента с обрабатываемым материалом.

Рассмотрим условия теплообразования. Основными источниками тепла при резании являются

- 1) работа внешнего трения скольжения между поверхностями инструмента и обрабатываемого материала,
- 2) работа внутреннего трения в поверхностных слоях инструмента и обрабатываемого материала, вызванная упруго-пластическими деформациями.

Работа, связанная с образованием новых поверхностей (работа диспергирования) составляет незначительную долю в общем балансе работ. Поэтому в дальнейшем ее не учитываем. Рассмотрим подробнее работы внешнего и внутреннего трения.

1. Работа внешнего трения скольжения, при заданном режиме механической обработки, составляет до 85% от общей работы резания. Количество тепла в единицу времени  $G_1$ , образованного этой работой, в общем случае, можно определить как мощность трения при резании по формуле

$$G_1 = P_{TP} = F_{TP}V_{СК} = F_{TP}k_1V_P, \quad (1)$$

где  $P_{TP}$  – мощность трения,  $F_{TP}$  – фрикционная составляющая силы резания, направленная вдоль вектора скорости скольжения,  $V_{СК}$  – скорость скольжения,  $k_1$  – коэффициент пропорциональности,  $V_P$  – скорость резания.

2. Работа внутреннего трения в поверхностных слоях инструмента и обрабатываемого материала, связанная с контактными упруго-пластическими деформациями, ввиду малости линейных перемещений составляет небольшую часть. При этом деформацией поверхностного слоя инструмента, как значительно более прочного, можно пренебречь. Тогда количество тепла  $G_2$ , образующегося в единицу времени от упруго-пластической деформации обрабатываемого материала, можно оценить как мощность деформирования по формуле

$$G_2 = P_D = F_DV_D = F_Dk_2V_P, \quad (2)$$

где  $P_D$  – мощность деформирования,  $F_D$  – деформационная составляющая силы резания, направленная вдоль вектора скорости деформации,  $V_D$  – скорость деформации, также пропорциональная скорости резания  $V_P$ ,  $k_2$  – коэффициент пропорциональности

Из формул (1) и (2) следует, что при резании на уровень температуры как от внешнего трения, так и от деформации основное влияние оказывает один и то же независимый фактор - скорость резания.

Известно [1], что при резании существенно различаются по величине контактные деформации на обрабатываемом материале и силы трения, образующиеся на передней и задней поверхностях инструмента. Наибольшая де-

формация металла развивается в срезаемом слое, скользящем по передней поверхности инструмента с наибольшей силой трения. Наименьшая деформация металла образуется в поверхностном слое обработанной поверхности, скользящей по задней поверхности инструмента с наименьшей силой трения. При этом степень деформации металла на передней поверхности на порядок выше, чем на задней [1].

Следовательно, на величину фрикционной и деформационной составляющих силы резания, а также, согласно формулам (1) и (2), на температуру в зоне обработки дополнительно оказывает влияние и другой независимый фактор - место расположения очага контактной деформации обрабатываемого материала на инструменте относительно его режущей кромки.

Таким образом, есть все основания принять, что на развиваемую в зоне резания температуру оказывают влияние два достаточно значимых и независимых фактора: технологический – скорость резания, и конструктивный – место расположения очага деформации на инструменте.

#### **Анализ опыта эксплуатации инструмента с учетом наиболее значимых факторов.**

Для выбора и научного обоснования того или иного метода повышения износостойкости режущих инструментов необходимо знать природу и основные причины их изнашивания с учетом конструктивных и технологических факторов. Общеизвестно, что единственной достоверной информационной базой для установления природы и причин изнашивания является опыт эксплуатации инструментов в различных условиях и накопленные результаты натуральных экспериментальных исследований.

В данной работе анализ видов и причин изнашивания проводился на основе результатов опыта эксплуатации и разносторонних

экспериментальных исследований по изнашиванию большой номенклатуры инструментов из различных материалов. Эти результаты обобщены в работах Лолодзе Т.Н. [2], Ящерицина П.И. [3], Талантова Н.В. [4] и др. При этом в анализе учитывалось влияние технологического и конструктивного факторов, выявленных и обоснованных выше, - скорости резания и места расположения очага деформации на режущем инструменте.

К основным видам изнашивания режущих инструментов относятся адгезионный, абразивный и диффузионный виды. Известно, что в зависимости от конкретных условий работы

может преобладать тот или иной вид изнашивания. Детальное изучение особенностей изнашивания режущих инструментов с учетом уровня развиваемых контактных деформаций, температурных условий и масштабов трения, размеров и видов повреждений, размеров площади контакта и частиц износа позволило дать относительную количественную оценку преобладающих видов изнашивания в зависимости от скорости резания и места расположения очага деформации на контактных поверхностях инструмента. При этом было установлено следующее (рис. 1).

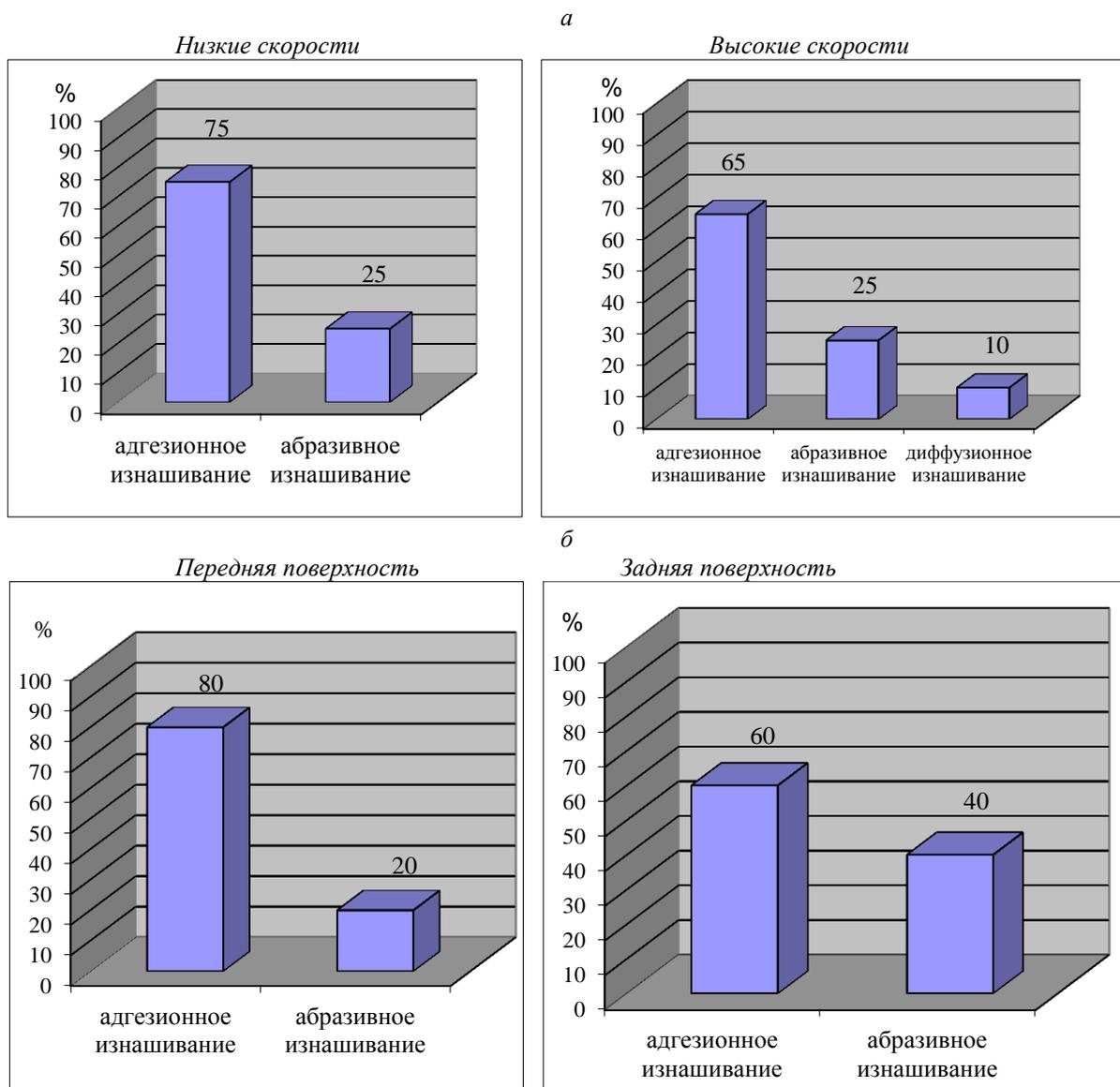


Рис. 1. Процентное соотношение преобладающих видов изнашивания в зависимости от скорости резания (а) и места расположения очага деформации на инструменте (б).

1) При работе инструментов на низких скоростях резания, когда температура в контактных слоях инструмента относительно мала, износ, в основном, определяется адгезионной и редко абразивной природой происхождения. При этом преобладающее адгезионное изнашивание проявляется в схватывании сопряженных поверхностей с последующим вырывом материала инструмента. Приближенное количественное соотношение адгезионного и абразивного видов изнашивания составляет соответственно 75% и 25%.

2) При работе инструментов на высоких скоростях резания, когда температура контакта повышается, к преобладающим адгезионному и абразивному видам изнашивания в незначительной мере (для некоторых инструментальных материалов) добавляется диффузионное изнашивание. Однако доля адгезионного изнашивания остается наибольшей, так как в большинстве случаев с ростом скорости резания, в соответствии с формулами (1) и (2), усиливается теплообразование и в инструментальном материале происходят структурные превращения, приводящие к падению его прочности.

Сильное влияние скорости резания на износостойкость инструмента при адгезионном изнашивании подтверждается также формулой, рекомендованной справочной литературой [1] для оценки стойкости инструмента в этих условиях, имеющей вид

$$TV_P = const \left( \frac{H_1}{H_2} \right)^z, \quad (3)$$

где  $T$  – стойкость инструмента,  $H_1, H_2$  – твердости, соответственно, инструментального и обрабатываемого материалов,  $z$  – показатель степени износа.

Из формулы следует, что для заданного инструментального материала повышение скорости резания вызывает пропорциональное снижение износостойкости инструмента независимо от степени износа.

В целом при работе инструмента на высоких скоростях резания приближенное количественное соотношение видов изнашивания составляет для адгезионного - 65%, абразивного - 25% и диффузионного - 10%.

Отмечается [3], что явление адгезии наблюдается при резании всех конструкционных материалов в диапазоне всех скоростей, что свидетельствует о доминировании адгезионного изнашивания при любых режимах резания.

3) На передней и задней поверхностях инструмента также преобладающими являются адгезионное и абразивное изнашивание. Но большее наличие изъянов адгезионного происхождения на передней поверхности инструмента, вызванных высокой степенью контактной деформации, указывает на более высокую долю адгезионного изнашивания для этой поверхности. А так как на задней поверхности уровень контактной деформации снижен, то уменьшена и доля адгезионного изнашивания для нее. В целом количественное соотношение адгезионного и абразивного видов изнашивания, приблизительно составляет для передней поверхности - соответственно 80% и 20%, для задней поверхности - соответственно 60 % и 40%.

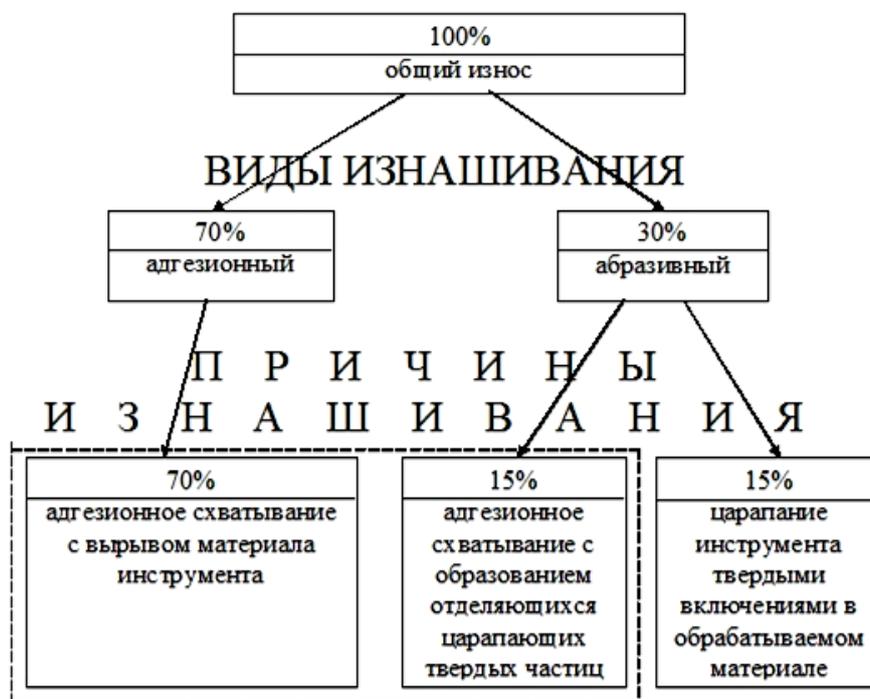
#### **Причинно-следственный аспект изнашивания инструментов**

Проведенный анализ с использованием подхода, предложенного в работах [5,6], позволил установить также причинно-следственную связь в количественном выражении между видами и причинами изнашивания, представленную на рис. 2 и полученную на основе следующего.

Если общий износ принять за 100%, то в среднем около 70% износа приходится на долю адгезионного изнашивания, и около 30% - на долю абразивного (что следует из результатов, представленных на рис. 1). Причиной адгезионного изнашивания является адгези-

онное схватывание с последующим вырывом материала инструмента [2,3]. Поэтому удельный вклад этой причины в адгезионную составляющую общего износа составляет те же 70% (рис.2). При изучении механизма абразивного изнашивания, согласно [2,3], обнаружено существование двух причин, проявляющихся примерно в равной мере. Наряду с механическим царапанием инструмента твердыми включениями, находящимися в обрабатываемом материале (с учетом равной меры около 15%), присутствует адгезионное схва-

тывание с образованием отделяющихся царапающих твердых частиц (составляющее в абразивном изнашивании остальные 15%). Графическое представление такого распределения изображено на рис. 2. Поскольку в абразивном изнашивании присутствует причина адгезионного схватывания, то в общем процессе изнашивания суммарная доля причин адгезионной природы будет составлять уже не 70%, а  $70\% + 15\% = 85\%$  (суммирование на рисунке 2 представлено объединяющей пунктирной рамкой).



**Рис.2.** Общий износ инструмента в причинно-следственном аспекте.

Таким образом, полученные количественные результаты показывают, что целесообразно оценивать и повышать стойкость режущих инструментов, при действии высоких температур и контактных давлений, исходя из преобладающей доли изнашивания адгезионной природы, с учетом явлений схватывания взаимодействующих поверхностей инструмента и обрабатываемого материала.

В отношении механизма влияния магнитного поля на износостойкость при использовании метода ОМП можно отметить следую-

щее. Поскольку ОМП проявляется в снижении износа, 85% которого возникает по причине адгезионного схватывания, то с высокой степенью вероятности можно считать, что механизм влияния магнитного поля состоит в подавлении адгезионных явлений, а факторы влияния определяются природой адгезионного схватывания.

#### Заключение

Представленные в статье результаты по установлению доминирующих видов и при-

чин изнашивания режущих инструментов, а также выявление причинно-следственной связи общего износа инструмента с причинами его возникновения в целом позволяют сделать следующие выводы

1) наиболее значимыми технологическим и конструктивным факторами

теплообразования в зоне резания являются скорость резания и место расположения очага контактной деформации на режущем инструменте,

2) преобладающим видом изнашивания режущих инструментов является адгезионное изнашивание при всех режимах резания для передней и задней поверхностей инструмента,

3) способы снижения износа при резании, основанные на подавлении адгезионных явлений между сопряженными поверхностями, всегда более эффективны,

4) для метода ОМП областью поиска механизмов влияния на износостойкость следует признать природу образования адгезионных связей в магнитном поле и природу снижения их прочности.

## Литература

1. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.Н. Шевченко и др.; Под общ. ред. И.А. Ординарцева. - Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987.- 846 с.

2. Лолодзе Т. Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. - М.: Машиностроение, 1982. - 320 с.

3. Ящерицын П.И. Теория резания: учебник / П.И. Ящерицын, Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. – 2-е изд. исп. и доп. – Мн.: Новое издание, 2006.- 512 с.

4. Талантов Н.В. Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента. - М.: Машиностроение, 1992. - 240 с.

5. Зелинский В.В. К установлению природы влияния магнитного поля на износостойкость // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. №1(8), 2011, с.33-36.

6. Зелинский В.В., Карпов А.В. Причинно-следственный аспект изнашивания режущих инструментов // Вестник ПГТУ. Машиностроение, материаловедение. Том 13. № 3, Пермь, 2011, с. 46-50.

**Статья поступила в редакцию 21 июня 2012 г.**

The results of quantitative relationship evaluation of the dominant types of cutting tools wear, and the results of relative evaluation of general communication tool wear with the reasons for its occurrence are presented in the article.

*Keywords:* wear resistance, wearing, deformation, cutting tool, factor, surface, adhesion, processing by the magnetic field.

*Зелинский Виктор Васильевич* – кандидат технических наук, профессор кафедры «Техносферная безопасность» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

*Борисова Екатерина Александровна* – специалист по учебно-методической работе кафедры «Техносферная безопасность» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»