Основы теории резания и РИ

Износ режущих инструментов. Критерии изнашивания

Специальность:
«Машиностроение»
Кафедра «ТОМиС»

Автор: асс.проф. Берг А.С.



План:

1. Характер износа режущих инструментов ;
2. Прочность и разрушение режущих инструментов;
3. Факторы, влияющие на вид износа;
4. Измерение износа резцов;
5. Нарастание износа во время работы инструмента;
6. Критерии изнашивания;
7. Стойкость режущих инструментов;
8. Смазочно-охлаждающие технологические среды (СОТС).

1 Характер износа режущих инструментов

Под *изнашиванием режущего инструмента* понимается разрушение его контактных поверхностей в результате трения стружки о переднюю поверхность резца и его задних поверхностей о заготовку.

Инструмент может подвергаться различным по своей природе, видам изнашивания:

- абразивному,
- адгезионному,
- диффузионному, и другим.

Абразивный износ инструмента заключается в следующем:

стружка внедряется в рабочую поверхность инструмента и путем микроцарапаний удаляет металл с этой поверхности. Интенсивность абразивного износа повышается при снижении скорости резания.

Адгезионный износ инструмента происходит в результате схватывания или прилипания трущихся поверхностей и последующего отрыва мельчайших частиц материала инструмента. Результатом этого износа, происходящего при температуре ниже 90^0 градусов С, являются кратеры на рабочих поверхностях инструмента, образующие при слиянии лунки. Адгезионный износ уменьшается при повышении твердости инструмента.

Диффузионный износ инструмента, происходящий при температуре 90^0-120^0 градусов С, является результатом взаимного растворения металла детали и материала инструмента. Активность процесса растворения повышается при повышении температуры контактного слоя, т. е. при возрастании скорости резания.

Независимо от типа и назначения износ режущего инструмента выражается в появлении площадок износа:

- на главной и вспомогательной задних поверхностях (износ 1 вида),

- на задней и передней поверхности одновременно (износ 2 вида),

- на передней поверхности (износ 3 вида), имеет место при работе инструментами из быстрорежущей стали со скоростями резания, превышающими допускаемые их теплостойкостью.

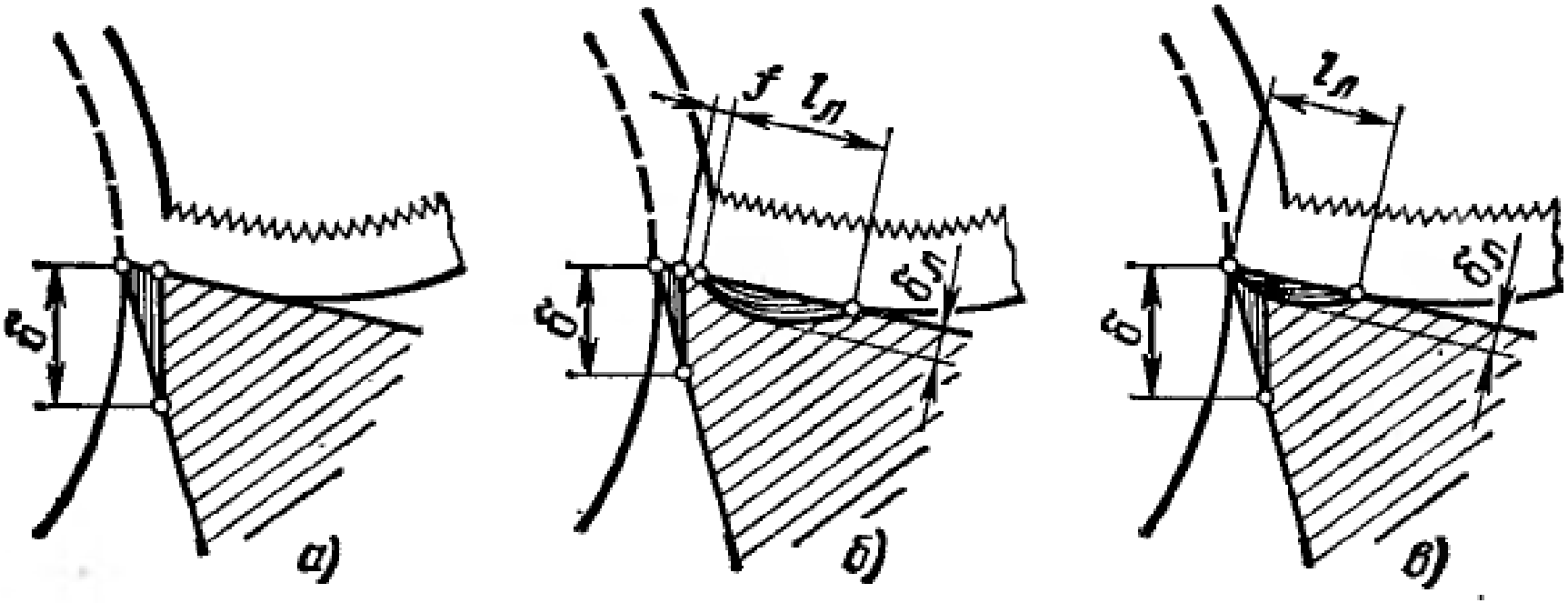

Рисунок 1 – Виды износа режущего инструмента

При *изнашивании по первому виду* (рис. 1,*а*) на задней поверхности инструмента образуется площадка износа шириной *δ*. Вдоль главного лезвия ширина площадки износа неодинакова. Максимальная ширина площадки износа наблюдается на переходной задней поверхности или в месте перехода главного лезвия во вспомогательное.

При *изнашивании по второму виду* к износу задней поверхности добавляется износ по передней поверхности. Износ передней поверхности выглядит по иному. Под действием сходящей стружки на ней образуется лунка износа шириной $l_л$ и глубиной $\delta_л$ (рис. 1,*б*). В зависимости от скорости резания изменяется расстояние между краем лунки и главным лезвием.

При работе с малыми и средними скоростями резания между главным лезвием и краем лунки остается расстояние (перемычка) f, уменьшающееся по мере развития лунки.

При работе с высокими скоростями край лунки сливается с изношенной задней поверхностью, и на окончательно изношенном инструменте остается только часть лунки.(рис. 1,*в*).

2 Прочность и разрушение режущих инструментов

Способность выдерживать без разрушения нагрузку, обусловленную процессом резания, называется *прочностью режущего клина инструмента*.

Изнашивание твердосплавного инструмента может сопровождаться осыпанием и выкрашиванием вершины режущего клина.

Под *осыпанием* понимают частичное или полное разрушение лезвий размером не превышающим 0,3 мм.

Под *выкрашиванием* понимают частичное или полное разрушение лезвий размером от 0,3 - 1 мм.

Более крупное повреждение (*сколы*) относится к конкретному разрушению режущей части инструмента.

При резании инструментами из тв. сплавов с очень высокими силовыми и тепловыми нагрузками износу инструмента предшествует *пластическое деформирование вершины режущего клина*.

Формоизменение клина заключается в опускании части передней поверхности, примыкающей к главному лезвию на расстояние h_1 и выпучиванию задней поверхности высотой h_2. В результате искривления задней поверхности на ней образуется нулевой или отрицательный задний угол, способствующий увеличению интенсивности изнашивания инструмента.

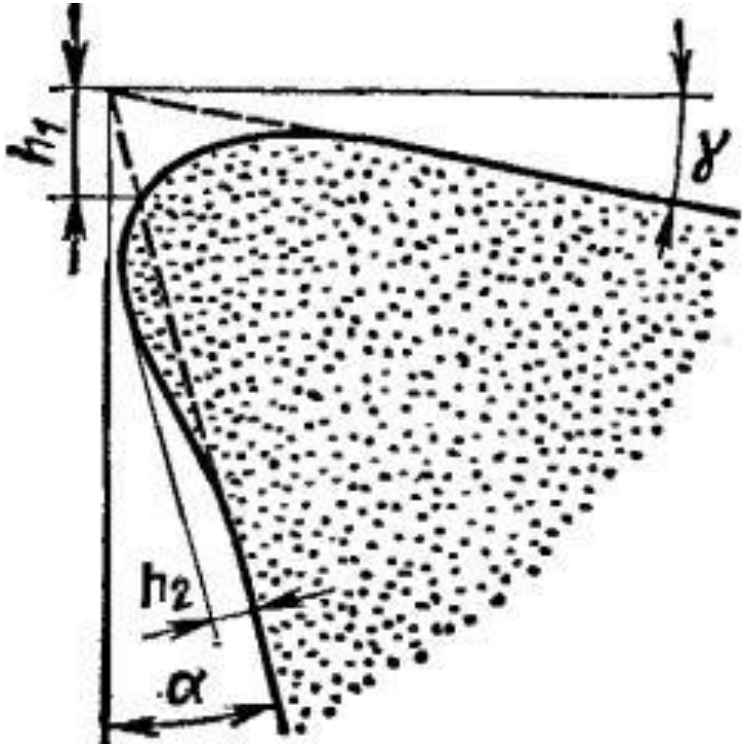

Рисунок 2 – Пластическое деформирование режущего клина инструмента

3 Факторы, влияющие на вид износа

Вид износа определяется:

- свойствами обрабатываемого и инструментального материалов,
- геометрией режущего клина,
- толщиной среза (подачей) ,
- скоростью резания.

При обработке:

- пластичных материалов изнашивание инструментов по 1 и 2 видам износа встречается одинаково часто,
- хрупких материалов изнашивание инструментов происходит по 1 виду.

Толщина среза (подача) и скорость резания оказывают одинаковое влияние на вид износа. При малых толщинах среза (не более 0,1 мм) и низких скоростях резания преимущественно изнашиванию подвергаются задние поверхности.

По мере увеличения толщины срезаемого слоя и скорости резания помимо задней начинает изнашиваться и передняя поверхность, причем чем больше *a* и *v* , тем передняя поверхность изнашивается больше, а задняя меньше.

При точении стали 45 резцом из твердого сплава Т15К6 в диапазоне скоростей:

v= 50-210 м/мин. при подаче 0.08 мм/об доля износа составляет:

- задней поверхности 60-80%,
- передней 10-15%.

С увеличением *подачи до 0,46* мм/об доля износа

- передней поверхности увеличивается до 60-90%,
- задней соответственно уменьшается.

При s=0.24 мм/об , v=80-150 м/мин доля износа передней и задней поверхностей приблизительно равны.

4 Измерение износа резцов

Мерой изношенности инструмента могут служить *линейный и массовый износы*.

Принимая за показатель линейный износ, об изношенности задней поверхности судят по максимальной ширине площадки износа, а передней поверхности – по максимальной глубине лунки износа.

Для исследования физической природы изнашивания инструментов более объективной характеристикой является *массовый износ* - масса изношенной части инструмента, пропорциональная работе сил трения, затрачиваемой на превращение инструментального материала в продукты изнашивания.

Масса изношенной части инструмента равна произведению объема v изношенной части и плотности $\rho_{инстр}$ инструментального материала,

$$m = v \cdot \rho_{инстр}$$

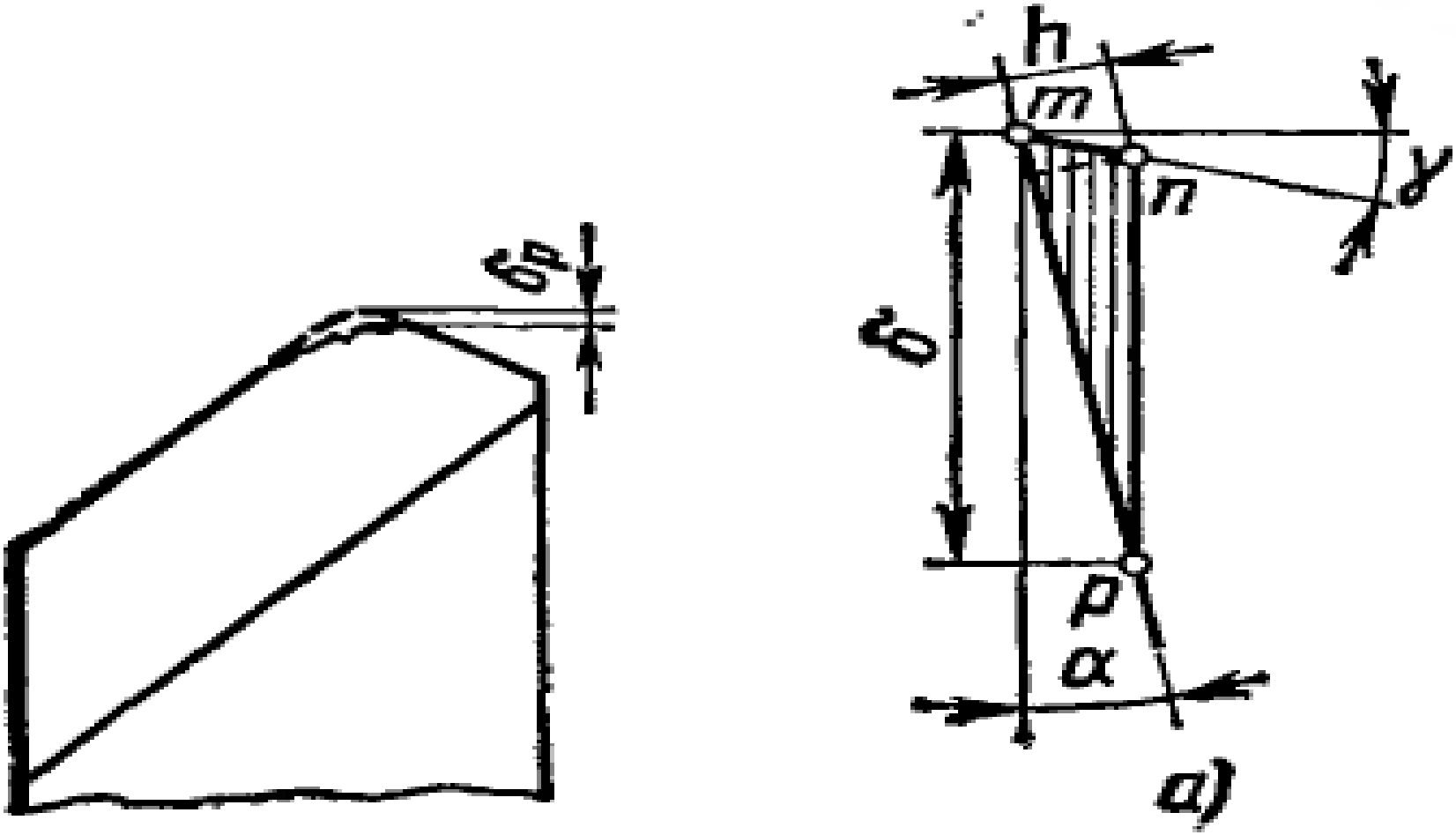

Рисунок 3 – Схема для определения массы изношенной части задней поверхности

Площадь сечения истираемой части режущего клина равна площади треугольника mnp.

При линейном износе δ задней поверхности

$$f_\delta = ½\ mp \cdot h$$

где

$$mp = \delta / \cos\alpha$$

$$h = \cdot(tg\alpha \cdot \cos(\alpha+\gamma)/\cos\gamma)$$

Подставляя, получим

$$f_\delta = \delta^2/2 \cdot (tg\alpha \cdot \cos(\alpha+\gamma)/\cos\gamma)$$

Масса изношенной части передней поверхности

$$m_л = \rho_{инстр}\ f_л\ b_л$$

где $b_л$ – длина лунки вдоль главного лезвия.

Под *относительным износом* понимают отношение линейного, размерного, массового износа к какому либо показателю, характеризующему производительность инструмента до его затупления.

Такими показателями могут быть:

- путь, пройденный инструментом,
- площадь обработанной поверхности,
- объем срезанного слоя.

Наиболее часто абсолютный износ относят к пути, пройденному инструментом.

При этом относительный износ определяют:

$$\Delta=\delta/L$$

5 Нарастание износа во время работы инструмента

Графическое изображение закономерности нарастания износа за время работы инструмента называется *кривой износа.*

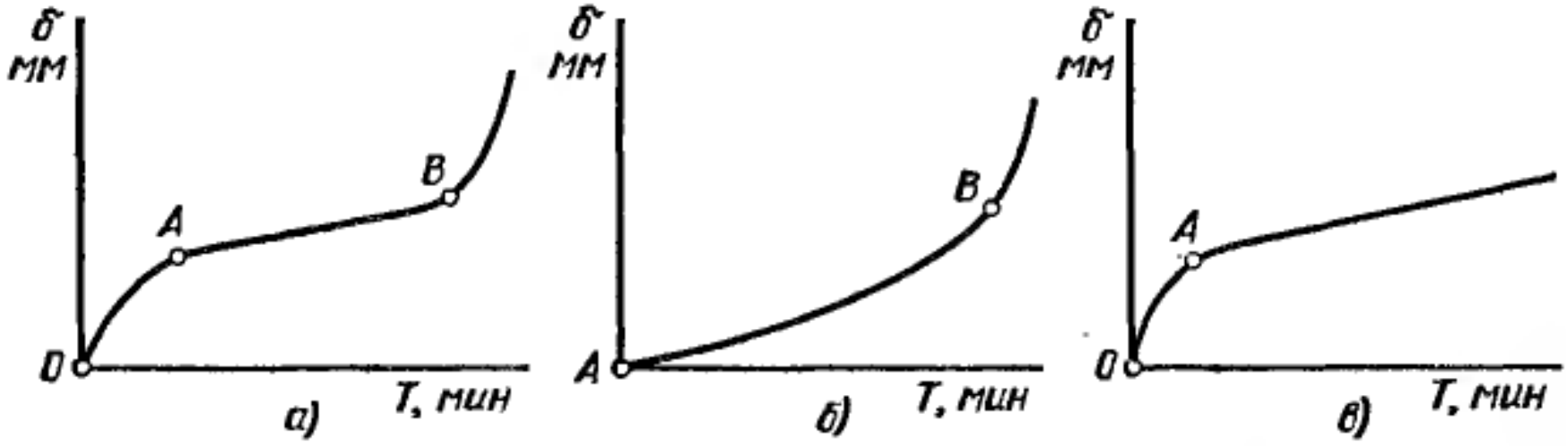

Рисунок 4 - Кривая износа при изнашивании инструмента по передней и задней поверхностям (*а, б*) , только по задней поверхности (*в*)

Если инструмент изнашивается одновременно по передней и задней поверхностям, то кривая износа состоит из трех участков.

1) *участок ОА* – участок начального изнашивания или период приработки, продолжительностью несколько минут. На этом участке наблюдается ускоренное изнашивание. При увеличении площадки контакта темп износа уменьшается.

2) *участок АВ* – период нормального изнашивания. При достижении некоторой величины линейный износ задней поверхности вследствие роста температуры вновь начинает резко расти и кривая износа идет круто вверх. Это наиболее продолжительный период времени.

3) *участок ВС* – период катастрофического изнашивания, сопровождающегося выкрашиванием и даже поломками инструмента. В этом периоде износ возрастает настолько быстро, что если не прекратить дальнейшую работу, то это может привести к большому износу задней поверхности.

В точке С износ соответствует такому состоянию инструмента, при котором продолжать процесс резания невозможно.

При изнашивании инструмента преимущественно по задней поверхности, когда износ передней поверхности незначителен, кривая износа (рис 5 б) вогнута относительно оси абсцисс.

В этом случае период приработки отсутствует и на участке АВ соответствует периоду нормального изнашивания. Износ вначале медленно, а затем более быстро возрастает до точки В начала периода катастрофического изнашивания.

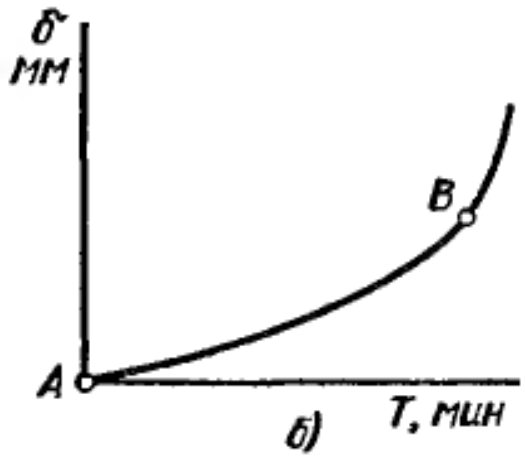

Рисунок 5- Кривая износа при изнашивании инструмента по передней и задней поверхностям (*б*)

Если инструмент изнашивается только по задней поверхности, то кривая износа имеет вид (рис. 6,*в*) После периода приработки период нормального изнашивания продолжается значительно дольше, чем в первых двух случаях.

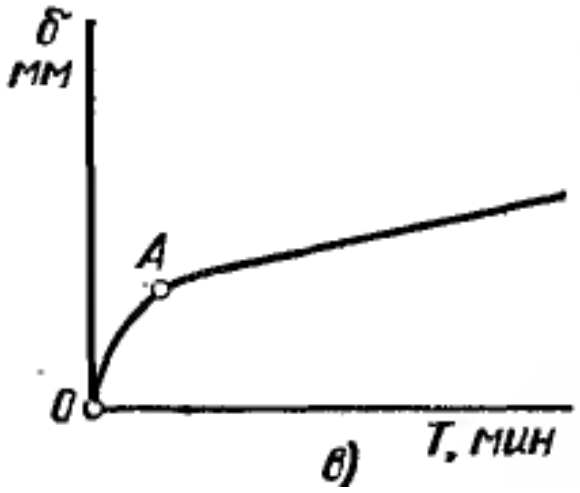

Рисунок 6 - Кривая износа при изнашивании инструмента только по задней поверхности (*в*)

6 Критерии износа

При эксплуатации инструмента по мере его изнашивания наступает такой момент, когда дальнейшее резание инструментом должно быть прекращено, а инструмент отправлен на переточку.

Момент затупления инструмента устанавливают с помощью критерия износа.

Под *критерием износа* понимают сумму признаков (или один решающий признак), при которых работа инструментом должна быть прекращена.

В настоящее время существует несколько критериев износа:

1 Критерий блестящей полоски.

2 Силовой критерий (критерий Шлезингера).

3 Критерий оптимального износа .

4 Критерий технологического износа.

Критерий блестящей полоски. Резец считается изношенным и его надо отдавать в переточку, когда при обработке стали на поверхности резания появляется блестящая полоска, а при обработке чугуна – темные пятна. Появление блестящей полоски соответствует началу третьего периода износа. Критерий блестящей полоски нельзя применять для чистовых работ, а также при работе сложным и дорогим инструментом.

Силовой критерий (критерий Шлезингера). Резец считается затупленным, когда начинается резкое увеличение сил резания. К недостаткам этого критерия относится необходимость иметь на станке специальные приборы для измерения сил, действующих при резании.

Используют два критерия:

1) критерий оптимального износа ,

2) критерий технологического износа.

В обоих критериях за основу принимают *линейный износ задней поверхности*, так как задняя поверхность инструмента изнашивается всегда, при обработке любых материалов и при любых режимах резания, и измерение ширины площадки износа значительно проще, чем глубины лунки износа.

Критерий оптимального износа

Инструмент считают затупившимся, когда линейный износ задней поверхности достигает значения, равного оптимальному износу.

Под *оптимальным износом* понимают такой, при котором суммарный период стойкости инструмента достигает максимальной величины.

Суммарный период стойкости численно характеризует срок службы инструмента до того, как он будет направлен в утилизацию.

Суммарный период стойкости с достаточной точностью определяют следующим образом:

$$\sum T = T \cdot (k+1)$$

где k — число переточек, допускаемых инструментом до его полной амортизации,

T — период стойкости (время резания инструментом между двумя заточками).

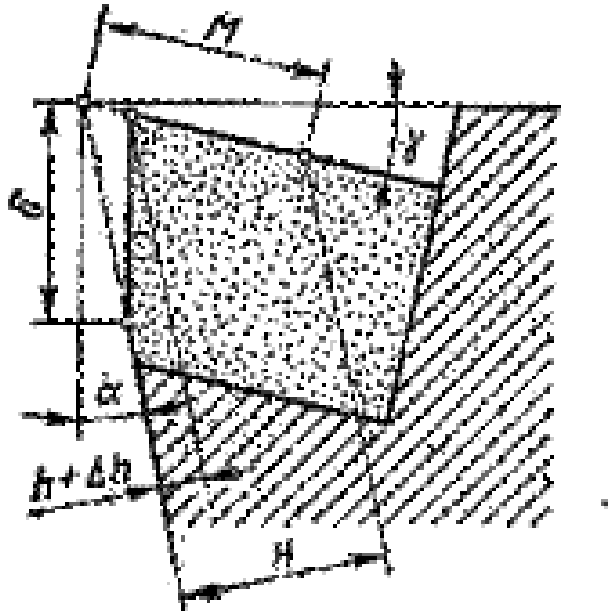

Рисунок 7 - Схема переточки инструмента при изнашивании только задней поверхности

$$k = \frac{H}{h + \Delta h};$$

H - размер слоя инструментального материала, перпендикулярный к задней поверхности и соответствующий допустимой величине стачивания, равен

$$H = M \cos (\square + \square).$$

M – размер, измеряемый вдоль передней поверхности, называется допустимой величиной стачивания.

Его конкретная величина обусловливается конструкцией инструмента.

h+ □h – величина снятого металла за одну переточку,

h – толщина изношенного слоя,

□h - дополнительный слой, включающий допуск на заточку и слой твердого сплава, сошлифовываемый для удаления дефектов, образующихся под изношенной частью задней поверхности.

□h= 0,1 — 0,15 мм

Чем больше допустимый износ, тем больше длительность работы инструмента до затупления, но тем больший слой металла необходимо срезать при его переточке. Следовательно, тем меньшее количество переточек. Поэтому полный период стойкости с увеличением допустимого износа сначала увеличивается, а затем, когда количество допустимых переточек становится слишком малым , уменьшается.

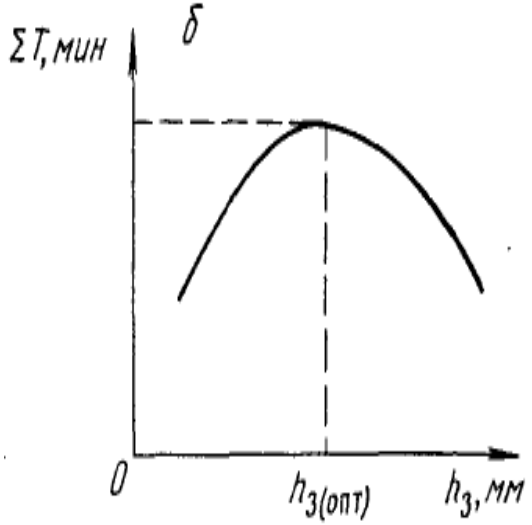

Рисунок 8 – К определению величины оптимального износа

Износ, соответствующий максимальному полному периоду стойкости инструмента, является оптимальным. Откладывая его значение на кривой износа. Можно найти оптимальный период стойкости при данной скорости резания.

Таким образом, оптимальным следует считать износ инструмента, соответствующий точке А, с которой начинается резкое нарастание его величины или начало участка III.

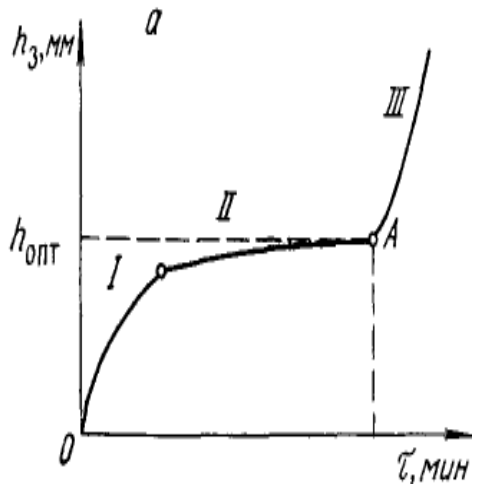

Рисунок 9 – К определению величины оптимального износа

- Критерий оптимального износа широко применяют в лабораторных условиях при установлении стойкостных зависимостей для инструментов, предназначенных для черновой и получистовой обработки.
- Применение критерия в производственных условиях целесообразно при массовом производстве и при эксплуатации дорогостоящего инструмента.

- Применение критерия оптимального износа, обеспечивающего максимальный суммарный срок службы инструмента, возможно не всегда. Им нельзя пользоваться в случае, когда на кривой износа нет участка катастрофического износа.
- Если по каким-либо причинам износ инструмента нельзя доводить до величины $h_{опт}$, то применение критерия оптимального износа также невозможно. В этих случаях используют критерий технологического износа.

Критерий технологического износа

Сущность технологического износа заключается в том, что инструмент считается изношенным (затупленным), когда обработанная поверхность перестает отвечать техническим условиям.

Под технологическим износом понимают такой, при котором работу инструмента прекращают по технологическим ограничениям:

- - резкое увеличение шероховатости обработанной поверхности, вызываемое изнашиванием инструмента;
- - потеря инструментом необходимого размера;
- - возникновение вибраций СПИД;
- - чрезмерный нагрев детали;
- - поломка малопрочного инструмента и т. п.

- Критерий технологического износа в основном используют при исследовании и эксплуатации инструмента, предназначенного для чистовой (окончательной) обработки.

7 Стойкость режущих инструментов

Способность режущего инструмента сохранять работоспособными свои контактные поверхности и лезвия называют *стойкостью инструмента*.

Продолжительность резания новым или переточенным режущим инструментом до его отказа, то есть до достижения предельно допустимого износа, называется *периодом стойкости Т*.

Иногда для выражения технологических возможностей период стойкости инструмента дается в метрах пути резания (T_L) и в количестве деталей, обработанных между двумя переточками.

Чем больше интенсивность изнашивания, тем меньше *период стойкости инструмента*.

Он служит количественным выражением интенсивности изнашивания и сильно изменяется в зависимости от условий резания - режимов резания, геометрических параметров режущей части, применяемой СОЖ и так далее.

Одним из основных факторов, определяющих период стойкости инструментов, является *скорость резания*. Это обусловлено тем, что в зависимости от скорости изменяется температура в зоне резания.

Анализ зависимостей T=f(V) приводит к выводу, что для каждого вида обработки, обрабатываемого и инструментального материалов существует максимально достижимое, предельное значение периода стойкости $T_{пр}$.

$$T=C_T/v^{\mu} \text{ или } T=C_V/T^m$$

где C_T и C_V –постоянные величины для данных условий резания, зависят от материала инструмента, обрабатываемого материала, среза, геометрии инструмента, условий охлаждения

$$\mu=1/m \text{ или } m=1/\mu.$$

m – показатель относительной стойкости, характеризующий интенсивность изменения скорости резания при изменении стойкости инструмента;

m=0.1-0.12 – точение стали быстрорежущими резцами без охлаждения, (m=0.2 – с охлаждением),

m=0.08-0.1 – точение чугуна быстрорежущими резцами,

m=0.2-0.3 – точение чугуна и стали твердосплавными резцами,

m=0.3-0.5 – нарезание резьбы, протачивание).

$$V^{\mu} * T = C_T = const$$

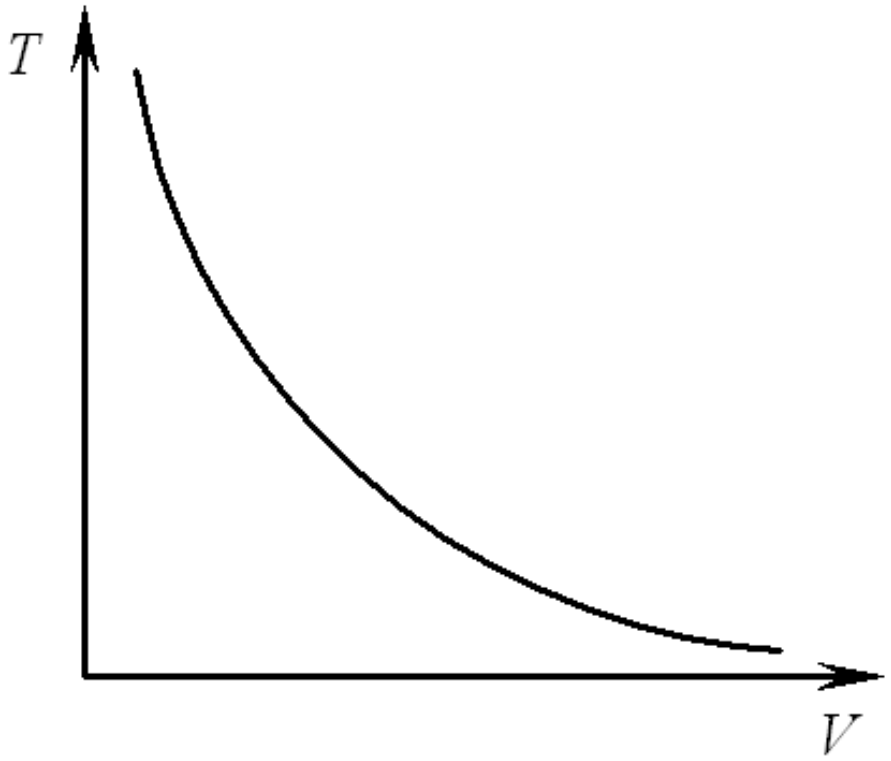

Рисунок 10- Зависимость скорость-стойкость для инструментов из инструментальных сталей

8 Смазочно-охлаждающие технологические среды (СОТС)

СОТС предназначены для смазки поверхностей трения, охлаждения режущего инструмента и обрабатываемой заготовки, облегчения процесса деформирования металла, своевременное удаление из зоны резания стружки и продуктов износа инструмента, а также для временной защиты изделий и оборудования от коррозии.

Благодаря этому СОТС в значительной мере увеличивают стойкость режущего инструмента, улучшают качество изделий, снижают силы резания и потребную мощность.

По классификации все СОТС по их агрегатному состоянию разделены на четыре типа:

- газообразные,
- жидкие,
- пластичные ,
- твердые.

Газообразные СОТС. В качестве СОТС этого типа применяют нейтральные /азот, аргон, гелий/ и активные, кислородосодержащие /воздух, кислород, диоксид углерода/, газы. Активные газы не только играют роль охладителя, но и защищают поверхность трущихся металлов от изнашивания, образуя на них оксидные пленки.

Твердые СОТС. По химическому составу подразделены на три класса:

- неорганические продукты слоистой структуры /тальк, графит, слюда, дисульфид молибдена и др./,
- органические соединения /воски, мыла, твердые жиры, полимеры/
- мягкие металлы/олово, свинец, медь/. Применяют их в особо трудных условиях /при высоких температурах и нагрузках/, а также в тех случаях, когда другие типы СОТС не эффективны,

Твердые смазки наносят в качестве поверхностных покрытий на режущий инструмент или обрабатываемый металл.

Пластичные СОТС. обычно представляют собой пластичные смазки. Они состоят из двух компонентов: жидкие основы и загуститель.

Пластичные СОТС разделены на следующие классы:

- смазки на углеводородных /парафин, воск и некоторые полимеры/,

- мыльных /натриевые, литиевые, кальциевые, бариевые, свинцовые и др./ и

- неорганических / глина, слюда, асбест и др./ загустителях.

Жидкие СОТС. Их принято называть *смазочно-охлаждающими жидкостями /СОЖ/.*

Все современные СОЖ можно разделить на три группы.

1 К первой группе относятся *минеральные масла различной вязкости*. Для улучшения смазывающих свойств к ним добавляют до 30% растительных и животных жиров, а также до 1,7% серы, способствующей сохранению смазочных свойств при высоких контактных давлениях и температурах.

2 Во вторую группу входят *масляные эмульсии ("водорастворимые" масла).* Они представляют собой сложную систему, состоящую из двух нерастворимых жидкостей – воды и масла. Масло находится в виде отдельных мелких капель, для предотвращения слияния которых в жидкость вводится эмульгатор – поверхностно-активное вещество (растворимое в воде мыло). Мыло в эмульсии играет в основном антикоррозионную роль, а снижение трения на контактных поверхностях обеспечивается за счет пленок, образуемых мылом.

3 Третью группу СОЖ составляют *синтетические жидкости, не имеющие в своем составе масел*. Они содержат, как правило, смачивающие средства, некоторые виды мыл, антифрикционные и моющие присадки. Эти виды СОЖ менее склонны к разложению, чем масла и эмульсии, обладают повышенными охлаждающими свойствами. Однако, как правило, синтетические СОЖ более дорогие, а некоторые из них теряют свои свойства при попадании в них масла из гидросистемы станка.

При резании СОТС должны обладать следующими действиями:

- *смазочным,*
- *охлаждающим,*
- *моющим,*
- *режущим и пластифицирующим (облегчение пластического деформирования),*
- *защитным и упрочняющим*.

Под *смазочным действием* понимают способность СОТС образовывать на контактных поверхностях инструмента, на стружке и детали прочные поверхностно-активные пленки, предотвращающие соприкосновение передней поверхности инструмента со стружкой и задней поверхности с поверхностью резания.

Охлаждающее действие СОТС заключается в том, что, обладая большей теплопроводностью и теплостойкостью, чем деталь, инструмент и стружка, СОЖ позволяет перераспределить тепловые потоки в зоне резания, уменьшить температуру резания. Теплообмен происходит тем интенсивнее, чем холоднее СОЖ и выше скорость ее относительного движения.

Под *моющим действием СОТС* понимают способность жидкостей удалять продукты изнашивания с поверхности резания и контактных поверхностей инструмента. Моющее действие проявляется в уменьшении абразивного износа инструмента и снижении высоты микронеровностей на чистовых операциях.

Под *режущими свойствами СОТС* понимают ее способность облегчать разрыв связей в обрабатываемом материале при внедрении инструмента. Это способствует повышению стойкости инструмента и облегчению процесса резания.

Пластифицирующее действие СОТС заключается в облегчении пластического деформирования металлов за счет локализации деформации в тонких поверхностных слоях. Эти слои выполняют роль смазочного материала и препятствуют налипанию обрабатываемого металла на инструмент, уменьшают трение на контактных площадках и силу резания.

В основе проявления *режущего и пластифицирующего действия СОТС* лежит снижение поверхностной энергии обрабатываемой заготовки в зоне резания. Молекулы ПАВ внедряются в микротрещины, образующиеся в металле в процессе резания, и «расклинивают» ее. Ослабление межатомных связей в процессе резания облегчает деформирование и разрушение обрабатываемого металла.

Определенные вещества, входящие в состав СОТС, способны образовывать с инструментальным материалом соединения на контактных поверхностях, играющие роль *защитных покрытий* и снижающие интенсивность адгезии и диффузии (ингибиторы коррозии). Тем самым уменьшается износ режущего инструмента как результат контактных взаимодействий.

СОТС предъявляется целый *ряд технических и гигиенических требований* :

- не должна содержать веществ, оказывающих вредное действие на организм человека,
- не должна иметь неприятного запаха и образовывать тумана,
- не должна вызывать коррозии обрабатываемого материала, деталей станка и инструментов,
- должна быть по возможности более стабильной, т.е. с течением времени и под действием различных загрязнений не подвергаться химическому и бактериологическому разложению.

Кроме того, важным требованием является возможность последующей утилизации СОЖ без ущерба для окружающей среды.

Контрольные вопросы:

1. Абразивный,адгезионный, диффузионный износ
2. Три вида износа режущего инструмента
3. Что такое прочность режущего клина инструмента?
4. Пластическое деформирование вершины режущего клина.
5. Факторы, влияющие на вид износа.
6. Линейный ,массовый износы. Относительный износ.
7. Кривые износа при изнашивании инструмента.
8. Критерий оптимального износа.
9. Критерий технологического износа.
10. Стойкость инструмента. Период стойкости Т.
11. Четыре типа СОТС, их свойства.

Литература:

- 1. Ящерицын П.И. и др. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах (Учебник для вузов). М.: Высшая школа, 2011 – 512 с.
- 2. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов: Учебник для машиностр. спец. вузов. – М.: Высшая школа. 2019 – 304 с.
- 3. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. – М.: Машиностроение, 2010 – 344 с.
- 4. Аршинов В.А., Алексеев Г.А. Резание металлов. - М.: Машгиз, 2010 – 366с.
- 5.Боярский В.Г. Теория резания: курс лекций: учебное пособие / В. Г. Боярский, М. Р. Сихимбаев; Мин-во образования и науки Республики Казахстан, КарГТУ. - Караганда : КарГТУ, 2010. - 92 с.
- 6. Металлорежущие инструменты: Учебник / Г.Н. Сахаров, 0.Б. Арбузов, Ю.Л. Боровой и др. – М.: Машиностроение, 2016. – 328 с.

- 7. Родин П.Р. Металлорежущие инструменты: Киев, Вища школа, 2011. – 486 с.
- 8. Иноземцев Г.Г. Проектирование металлорежущих инструментов. – М.: Машиностроение, 2012. – 170 с.
- 9. Режущий инструмент: Лабораторный практикум / И.Н. Щегольков, Г.Н. Сахаров, 0.Б. Арбузов и др.: Под ред. И.Н. Щеголькова. М.: Машиностроение, 2012. – 164 с.

Спасибо за внимание!