

УДК 621.96

ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНОГО ПЕРИОДА РАБОТЫ НА ТЕКУЩИЙ ИЗНОС ИНСТРУМЕНТА В УСЛОВИЯХ ПРЕРЫВИСТОГО РЕЗАНИЯ

Москалев А.П., Каиров А.С., Москалев А.А. (*НУК, г. Николаев, Украина*)

Тел./Факс: +38 (0512) 479396; E-mail: alex-kairov@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрено влияние начального периода работы и износа на последующее изнашивание инструмента в условиях прерывистого резания. Установлены характеристики износа, определяющие его работоспособность до принятого критерия затупления.

Ключевые слова: фрезерование, режущий инструмент, интенсивность износа, периоды работы.

1. Введение. Широкое использование станков автоматов и полуавтоматов, автоматических линий, станков с ЧПУ, гибких автоматизированных станочных систем, обусловливают актуальность повышения работоспособности режущего инструмента. Резание металлов является сложным процессом, включающим упругую и пластическую деформацию обрабатываемого металла с развитием этих деформаций до предельного состояния, при котором происходит отделение срезаемого слоя металла в виде стружки.

Многочисленными исследованиями [1-5] установлена неравномерность интенсивности изнашивания твердых тел при фрикционном взаимодействии в течение всего периода их эксплуатации. При этом трение в любой фрикционной паре трибологической системы проходит период приработки, сопровождающийся скачкообразным изменением интенсивности износа.

Однако в работах [6-8], посвященных износу и стойкости режущих инструментов, практически не отражены закономерности трения и износа инструмента в начальный период резания и, соответственно, эволюционная трансформация исходной структуры поверхностного слоя во вторичную. Исследование этой проблемы позволяет выявить защитный механизм тонких износостойких покрытий, оптимизировать как физико-механические свойства, так и толщину покрытий с учетом условий эксплуатации инструмента.

Цель исследований заключаются в выявлении закономерностей износа режущих инструментов в начальный период резания и способов повышения их износостойкости.

2. Основное содержание и результаты работы. С целью решения поставленной задачи были проведены в широком диапазоне режимов резания экспериментальные исследования износа режущих инструментов из быстрорежущих сталей и твердых сплавов в условиях прерывистого резания при фрезеровании конструкционных углеродистых, легированных, жаропрочных и коррозионностойких сталей и сплавов. Резание металлов является сложным процессом, включающим упругую и пластическую деформацию обрабатываемого металла с развитием этих деформаций до предельного состояния, при котором происходит отделение срезаемого слоя металла в виде стружки.

При трении скольжения на площади фактического контакта, составляющей малую часть геометрической площади сопряженных поверхностей, возникают предельно высокое давление и температура, обуславливающие пластическое течение металла, причем это касается не только сталей, но и твердых сплавов. Кобальтовая

связка из-за высокой пластичности и относительно низкой температуры плавления (1495 °С) в металлокерамических сплавах может выдавливаться вследствие упругой деформации карбидной решетки и уноситься стружкой, скользящей по передней поверхности. Снижение прочности связи карбидных зерен с основой приводит к разрушению рабочих поверхностей инструмента, выражаяющейся в частичном протекании процесса вымывания кобальтовой связки и последующему отрыву карбидных зерен.

Рассмотрим износ режущих инструментов в начальный период резания при встречном фрезеровании стали 30ХГСА торцовыми фрезами, оснащенными многогранными неперетачиваемыми пластинами марки Т5К10 в диапазоне скоростей резания $V = 100 \dots 314$ м/мин при ширине фрезерования $B = 50$ мм, подаче $s_z = 0,11$ мм/зуб, глубине резания $t = 1$ мм, без охлаждения. Фиксирование износа в начальный период проводилось через каждые 1...3 мин работы инструмента. С увеличением продолжительности работы возрастала продолжительность интервала между смежными измерениями износа. Исследовались лишь те пластины, которые имели нормальный износ истиранием. Пластины с признаками хрупкого разрушения, сколами или осыпанием твердого сплава не рассматривались.

Контроль состояния режущей кромки инструмента, характера износа, его величины производились оптическим методом посредством использования микроскопов ММИ, МИР-2, МИМ-7 с увеличением от 20 до 500 раз. В качестве критерия затупления был принят максимальный линейный износ по главной задней поверхности $h_3 = 0,5$ мм.

Изнашиванию подвергались все поверхности контакта инструмента: передняя поверхность – от воздействия сходящей стружки, главная задняя совместно с переходной – от трения с поверхностью резания заготовки и вспомогательная задняя – от трения с обработанной поверхностью. Общим для всех отмеченных фрикционных узлов является то, что трение всех контактных площадок инструмента происходило по ювелирным поверхностям одного и того же материала – материала обрабатываемой заготовки.

Но условия трения каждой пары (удельное давление, температура, скорости движения) были разными, поэтому интенсивность и величина износа рабочих поверхностей инструмента существенно отличались. Наибольшую нагрузку в процессе резания несет передняя поверхность, соответственно удельное давление и температура на ней в 2...3 раза выше, чем на главной задней поверхности, как при черновой, так и получистовой обработке. Вспомогательная задняя поверхность является менее нагруженной, удельное давление и температура на этой поверхности на 20...40 % ниже, чем на главной задней поверхности.

При этом, во всех фрикционных узлах трение происходит при разных скоростях. Например, скорость трения на передней поверхности в 2...3 раза меньше по сравнению со скоростью резания из-за усадки стружки. Наибольшая скорость трения возникает на главной задней поверхности в точке пересечения главной режущей кромки с обрабатываемой поверхностью, т.е. на максимальном диаметре заготовки D_{\max} , где ее величина равна скорости резания, т.е. $V_{tp} = V_p$, причем скорость V_{tp} изменяется по длине режущего лезвия от максимальной $V_{tp\ max}$ на D_{\max} заготовки до $V_{tp\ min}$ в точке сопряжения вершины режущей кромки с обработанной поверхностью т.е. на D_{\min} заготовки. На вспомогательной задней поверхности эта скорость трения будет минимальной $V_{tp\ min}$ также на D_{\min} заготовки.

На работоспособность инструмента основное влияние оказывают износы по главной задней и передней поверхностям. Однако между этими формами износа существует большая разница, заключающаяся в том, что износ по передней

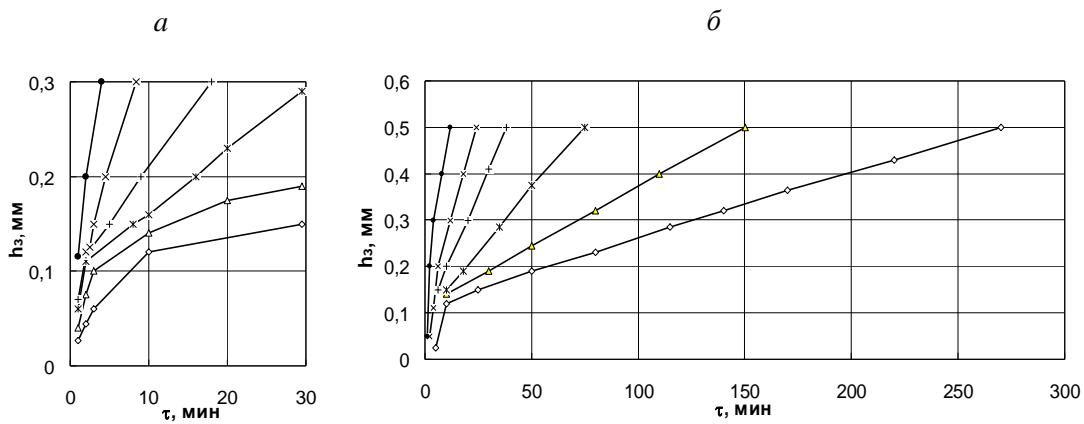


Рис. 1. Кривые максимального линейного износа: -◊- $V = 100$ м/мин; -Δ- $V = 125$ м/мин; -* $- V = 157$ м/мин; -+- $V = 198$ м/мин; -×- $V = 251$ м/мин; -●- $V = 314$ м/мин

поверхности направлен в глубину поверхностного слоя, примыкающего к главной режущей кромке, и сопровождается образованием лунки с последующим увеличением ее глубины и ширины, что вызвано характером стружкообразования.

В процессе резания на главной задней поверхности вдоль режущего лезвия образуется площадка износа, длина которой соответствует длине главного лезвия, а ширина постоянно увеличивается, захватывая прилегающие участки задней поверхности. Таким образом, на небольшом участке главной задней поверхности возникает трение скольжения от непрерывно образующейся поверхности резания, геометрически представляющей винтовую поверхность при точении или циклоидальную поверхность при фрезеровании, формируемую производящей прямой, функцию которой выполняет главная режущая кромка, в результате вращательного движения фрезы V_ϕ и поступательного движения заготовки $S_{\text{пр}}$. Наиболее тяжелые условия работы возникают для всей совокупности точек главной режущей кромки. Именно здесь берет начало износ рабочей части инструмента.

Обычно, за критерий затупления инструмента принимают износ по главной задней поверхности, по которой осуществляется его переточка. Результаты исследования максимального линейного износа по главной задней поверхности зубьев торцовых фрез, оснащенных МНП Т5К10, при встречном фрезеровании стали 30ХГСА в начальный (а) и основной (б) периоды работы от времени резания представлены на рис. 1 функциями $h_3 = f(\tau)$.

Из приведенных зависимостей видно, что в начальный период резания наблюдается интенсивный износ, что характеризуется крутизной кривых, затем происходит его дальнейшее монотонное увеличение с меньшей интенсивностью пропорционально возрастанию продолжительности работы.

Более наглядное представление о влиянии начального периода показывает зависимость продолжительности работы τ от величины текущего износа $\tau = f(h_3)$, представляющий наработку в мин на достижение определенной величины износа при различных скоростях резания (рис. 2, а).

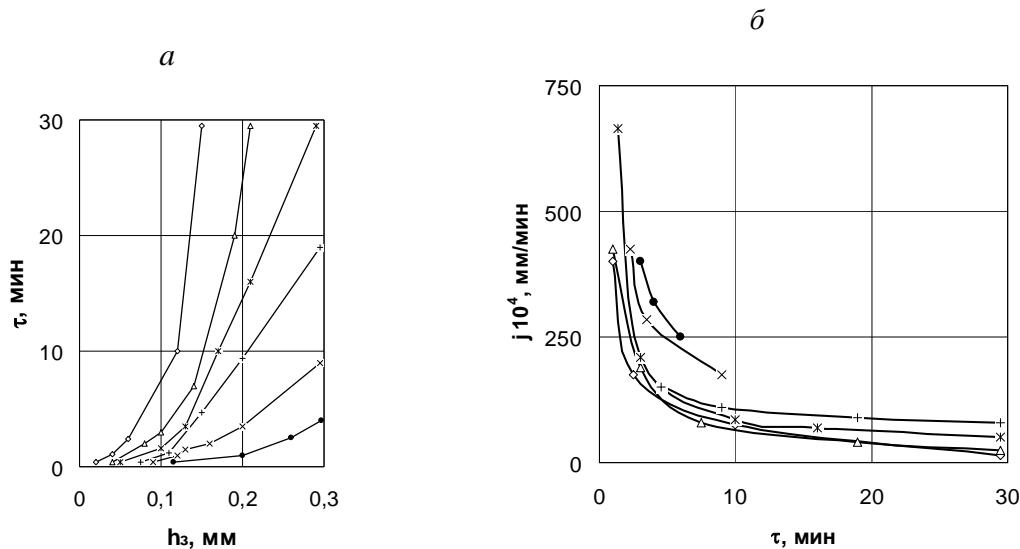


Рис. 2. Зависимости функций $\tau = f(h_3)$ (а) и $j = f(d\tau)$ (б) в начальный период: -◊- $V = 100$ м/мин; -Δ- $V = 125$ м/мин; -* $- V = 157$ м/мин; -+- $V = 198$ м/мин; -×- $V = 251$ м/мин; -●- $V = 314$ м/мин

Из представленных зависимостей отчетливо прослеживаются все этапы перехода от начального неустановившегося износа к установившемуся. В течение короткого периода времени 2...15 мин происходит становление установившегося износа. Причем продолжительность этого перехода зависит от скорости резания (фактически от скорости трения на контактных площадках фрикционной пары). Например, при максимальной скорости $V = 314$ м/мин продолжительность "приработки" составляла 1...2 мин, а при минимальной скорости $V = 100$ м/мин продолжительность "приработки" увеличилась до 10...15 мин.

Важным параметром, характеризующим износ, является интенсивность износа j , определяемая для функции $h_3 = f(\tau)$ по ее производной $dh_3/d\tau$.

Однако, в связи с отсутствием аналитической зависимости износа h_3 от продолжительности работы τ , интенсивность износа определялась из выражения

$$j = \frac{dh}{d\tau},$$

где $\Delta\tau$ – представляет временной интервал между двумя измерениями износа, первый τ_1 и последующий τ_2 , $\Delta\tau = \tau_1 - \tau_2$, мин; Δh_3 – приращение износа за $\Delta\tau$ мин, $\Delta h_3 = h_{31} - h_{32}$, h_{31} и h_{32} – текущий износ, соответствующий первому измерению τ_1 и последующему τ_2 .

На рис. 2,б представлены кривые зависимостей интенсивности максимального линейного износа по главной задней поверхности $j = dh_3/d\tau$ от продолжительности работы в начальный период, позволяющие раскрыть характер изменения износа и влияние скорости резания. Из рисунка видно, что в первоначальный период резания и, соответственно, контакта инструмента с заготовкой, интенсивность износа во всем интервале скоростей достигает максимального значения. Например, при скорости резания $V = 100$ м/мин интенсивность износа составляет $j_{100} = 400 \cdot 10^{-4}$ мм/мин, при $V = 125$ м/мин – $j_{125} = 420 \cdot 10^{-4}$ мм/мин, при $V = 125$ м/мин – $j_{125} = 420 \cdot 10^{-4}$ мм/мин, при $V = 157$ м/мин – $j_{157} = 667 \cdot 10^{-4}$ мм/мин, при $V = 198$ м/мин – $j_{198} = 1000 \cdot 10^{-4}$ мм/мин, при $V = 251$ м/мин – $j_{251} = 1200 \cdot 10^{-4}$ мм/мин, и при максимальной скорости резания $V = 314$ м/мин – $j_{314} = 1667 \cdot 10^{-4}$ мм/мин.

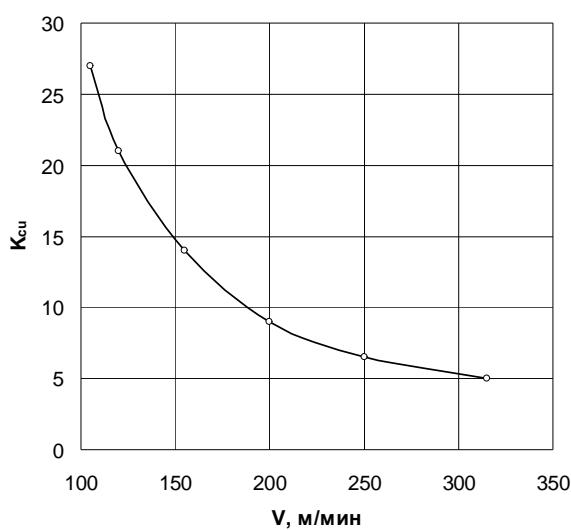


Рис. 3. Зависимость коэффициента снижения интенсивности линейного износа по главной задней поверхности от скорости резания в начальный период

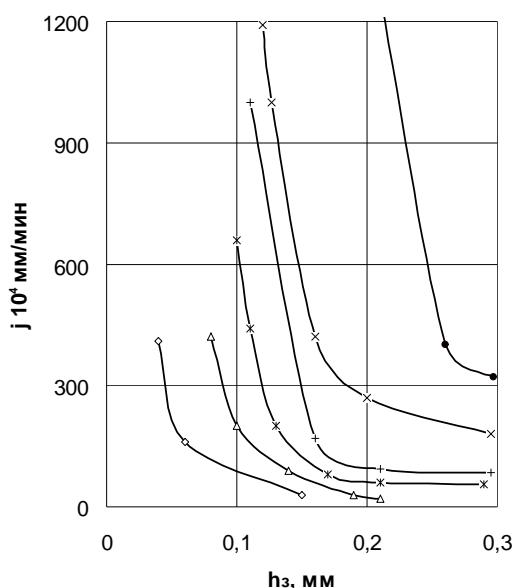


Рис. 4. Зависимость интенсивности износа от величины текущего износа $j = f(h_3)$ в начальный период резания: -◊- $V = 100$ м/мин; -Δ- $V = 125$ м/мин; -* $- V = 157$ м/мин; -+- $V = 198$ м/мин; -×- $V = 251$ м/мин; -●- $V = 314$ м/мин

Таким образом, с увеличением скорости V интенсивность линейного износа резко возрастает, поэтому при минимальной скорости $V = 100$ м/мин кривая интенсивности линейного износа занимает нижнее положение, а при максимальной скорости $V = 314$ м/мин – предельно верхнее. Но по мере увеличения продолжительности работы интенсивность износа снижается. В этом случае происходит “приработка”, в процессе которой формируется более устойчивая структура поверхностного слоя площадки контакта инструмента. Так при минимальной скорости $V = 100$ м/мин интенсивность линейного износа снизилась от $j = 400 \cdot 10^{-4}$ мм/мин при $\tau = 1$ мин до $15 \cdot 10^{-4}$ мм/мин при $\tau = 15$ мин, практически в 27 раз, а при $V = 198$ м/мин от $j = 1000 \cdot 10^{-4}$ мм/мин при $\tau = 1,1$ мин до $j = 91 \cdot 10^{-4}$ мм/мин при $\tau = 30$ мин – в 11 раз. При остальных скоростях экспериментального интервала режима резания была получена подобная закономерность (рис. 3).

Оценка степени снижения интенсивности линейного износа в начальный период работы производилась посредством коэффициента снижения интенсивности K_{ci} , величина которого определялась из отношения интенсивности в начальный момент контакта при $\tau = 1\dots 3$ мин к

интенсивности после начального периода, т.е. для скоростей резания $V = 100\ldots198$ м/мин при $\tau = 30$ мин, а для скорости $V = 251$ м/мин при $\tau = 9,1$ мин и $V = 314$ м/мин при $\tau = 4$ мин, ввиду низкой стойкости фрез при этих скоростях резания.

Экспериментальные исследования показали, что интенсивность износа зависит также от площади контакта, т.е. от величины текущего износа. При неизменной площади контакта фрикционной пары изнашивание поверхностей трения зависит только от условий трения (физико-механических свойств материалов пары, давления, скорости, температуры). У режущих инструментов постоянно увеличивается площадь контакта. И это возрастание площади контакта, т.е. изнашиваемой поверхности, оказывает существенное влияние на интенсивность самого процесса изнашивания, что подтверждается графиком зависимости $j = f(h_3)$ в интервале скоростей резания $V = 100\ldots314$ м/мин представленного на рис. 4.

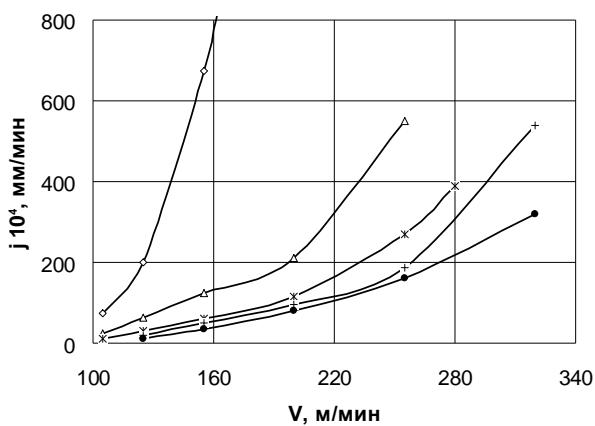


Рис. 5. Влияние скорости резания на интенсивность износа в начальный период работы при равной величине текущего износа: -◊- $h_3 = 0,1$ мм; -Δ- $h_3 = 0,15$ мм; -*-* $h_3 = 0,2$ мм; -+- $h_3 = 0,25$ мм; -●- $h_3 = 0,3$ мм

конечном итоге способствует уменьшению интенсивности износа. Этот процесс наиболее ощутим в начальный период работы.

На рис. 5 представлены зависимости интенсивности максимального линейного износа, соответствующие величине текущего износа h_3 , от скорости резания V .

Установлено, что при одноименной величине текущего износа интенсивность износа j существенно зависит от скорости резания (т.е. скорости трения) на поверхностях контакта инструмента и заготовки). Так, при текущем износе $h_3 = 0,1$ мм при $V = 100$ м/мин интенсивность износа достигает $j_{100} = 74 \cdot 10^{-4}$ мм/мин, при $V = 125$ м/мин — $j_{125} = 200 \cdot 10^{-4}$ мм/мин, при $V = 157$ м/мин — $j_{157} = 667 \cdot 10^{-4}$ мм/мин, при максимальной скорости резания при $V = 198$ м/мин — $j_{198} = 1000 \cdot 10^{-4}$ мм/мин. При существенно более высокой величине текущего износа $h_3 = 0,3$ мм его интенсивность заметно снижается до $j_{125} \approx 5 \cdot 10^{-4}$ мм/мин ($V = 125$ м/мин), $j_{157} \approx 54 \cdot 10^{-4}$ мм/мин ($V = 157$ м/мин), $j_{198} \approx 90 \cdot 10^{-4}$ мм/мин ($V = 198$ м/мин), $j_{251} \approx 178,6 \cdot 10^{-4}$ мм/мин ($V = 251$ м/мин), $j_{314} \approx 308 \cdot 10^{-4}$ мм/мин ($V = 314$ м/мин). Причем при минимальной скорости резания разница в численных значениях интенсивности j при различной величине текущего износа не слишком велика. Данное явление объясняется примерно равнозначными условиями трения на поверхностях контакта трущихся пар как следствие относительно невысокой скорости трения, циклическим характером

Для всех кривых зависимостей $j = f(h_3)$ характерно монотонное уменьшение интенсивности линейного износа от максимального значения при минимальной величине ширины площадки износа, до минимального значения при возрастании текущего износа. С одной стороны подобная закономерность объясняется постоянно протекающим процессом “приработки”, т.е. формированием вторичной, более приспособленной к условиям трения, структуры приповерхностных слоев трущейся пары, а с другой — увеличение площади изношенной поверхности ведет к снижению удельного давления на контактных площадках, возрастанию теплоотвода и снижению температуры, что в

резания, при котором контакт поверхностей трения периодически прерывается и контактирующие поверхности охлаждаются при холостом пробеге (охлаждение производилось проточной воздушной струей), а также невысокой длиной пути, пройденного инструментом. Циклический характер резания и охлаждение проточной воздушной струей способствуют теплозабору и более активному охлаждению.

С увеличением скорости резания разница в численных значениях интенсивностей при равнозначном износе возрастает. Например, при скорости $V =$

$$251 \text{ м/мин} - j_{h_3=0,2} = 1200 \cdot 10^{-4} \text{ мм/мин}, \quad j_{h_3=0,13} = 1000 \cdot 10^{-4} \text{ мм/мин};$$

$$j_{h_3=0,16} = 427 \cdot 10^{-4} \text{ мм/мин}, \quad j_{h_3=0,2} = 267 \cdot 10^{-4} \text{ мм/мин и} \quad j_{h_3=0,3} = 178 \cdot 10^{-4} \text{ мм/мин.}$$

Из приведенных данных видно, что в начальный период работы износа инструмента происходит с повышенной интенсивностью, из-за перестройки исходной структуры поверхностного слоя инструментального материала. При этом систему инструмент-заготовка можно рассматривать как гетерогенную трибосистему. Таким образом, если в "классической" трибосистеме, например, в подшипниках скольжения, одновременно происходит приработка поверхностей двух компонентов пары, то в условиях резания процесс приработки осложняется тем, что вместе с постоянной компонентой трибологической пары (задняя и передняя поверхности) постоянно контактирует поверхность обрабатываемого материала заготовки. Этот фактор вносит существенное различие в процессы приработки обрабатываемых поверхностей деталей и режущего инструмента. Однако общие закономерности влияния процесса приработки на эксплуатационные свойства поверхности сохраняются. Характер взаимодействия трибологической пары инструмент-заготовка существенно зависит от наличия и взаимодействия поверхностей фазовых разделов, т.е. поверхностей твердых тел (стружки, заготовки, инструмента).

Структурная приспособляемость в начальный период износа заключается в процессе формирования оптимальной микрогеометрии контактных поверхностей рабочей части инструмента в результате локализации упруго-пластической деформации и разрушения в тонком приповерхностном слое исходной структуры с образованием вторичной структуры более приспособленной к текущим условиям эксплуатации. В результате приработка в начальный период устанавливается постоянная равновесная микроструктура поверхностного слоя на весь оставшийся период работы инструмента. Отсюда следует, что наследственный характер вторичной микроструктуры, сформировавшейся в начальном периоде работы, определяет последующую интенсивность изнашивания вплоть до наступления предельного состояния, сопровождающегося переходом в третий период износа, при котором происходит возрастание интенсивности изнашивания вначале плавное, а затем спонтанное лавинообразное.

При трении в трибологической системе инструмент-заготовка происходит диссиляция тепловой энергии и необратимые превращения в металле: диспергирование, усталостное разрушение, разрушение из-за структурных изменений. Термодинамическая нестабильность металлов, особенно в условиях трения, способствует повышению износа.

3. Заключение. Экспериментальные исследования показали, что в начальный период резания происходит повышенная интенсивность износа, из-за перестройки исходной структуры поверхностного слоя инструментального материала. Процесс резания металлов сопровождается интенсивным трением, возникающим при движении стружки по передней поверхности инструмента, а также контактом его задних поверхностей с обрабатываемой поверхностью заготовки. Наряду с трением

возникают термодинамические, электромагнитные, термохимические, диффузионные процессы и структурно-фазовые превращения.

Список литературы: 1. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. [Текст]: Монография /А.С. Ахматов. – М.: Гос. изд. физико-математ. лит-ры., 1963. – 472 с. 2. Бакли Д. Поверхностные явления при адгезии и фрикционном взаимодействии. [Текст]: Монография /Д. Бакли. – М.: Машиностроение, 1986. – 360 с. 3. Боуден Ф.П. Трение и смазка твердых тел. [Текст]: Монография /Ф.П. Боуден, Д. Тейбор. – М.: Машиностроение, 1968. – 544 с. 4. Костецкий Б.И. Поверхностная прочность материалов при трении. [Текст]: Монография /Б.И. Костецкий, И.Г. Носовский, А.К. Карапулов, Л.И. Бершадский, Н.Б. Костецкая, В.А. Ляшко, М.Ф. Сагач. – К.: Техніка, 1976. – 296 с. 5. Крагельский И.В. Основы расчетов на трение и износ. [Текст]: Монография /И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с. 6. Верещака А.С. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями. [Текст]: Монография /А.С. Верещака, И.П. Третьяков. – М.: Машиностроение, 1986. – 192 с. 7. Лоладзе Т.Н. Износ режущего инструмента. [Текст]: Монография /Т.Н. Лоладзе. – М.: Машгиз, 1958. – 356 с. 8. Макаров А.Д. Износ и стойкость режущих инструментов. [Текст]: Монография /А.Д. Макаров. – М.: Машиностроение, 1966. – 264 с.

EFFECT OF THE INITIAL PERIOD OF WORK ON THE CURRENT WEAR OF TOOL IN THE CONDITIONS OF INTERMITTENT CUTTING

Moskalov A.P., Kairov O.S., Moskalov O.A. (NUS, Mykolayiv, Ukraine)

Abstract: The influence of the initial period of work and wear and on the subsequent tool wear in interrupted cutting are considered. Established wear characteristics that determine its efficiency to the adopted criterion of blunting.

Key words: milling, cutting tools, wear intensity, periods of work.

ВПЛИВ НАЧАЛЬНОГО ПЕРІОДУ РОБОТИ НА ПОТОЧНИЙ ЗНОС ІНСТРУМЕНТУ В УМОВАХ ПЕРЕРИВЧАСТОГО РІЗАННЯ

Москальов А.П., Каїров О.С., Москальов О.А. (НУК, г. Миколаїв, Україна)

Анотація: Розглянуто вплив початкового періоду роботи та зносу на наступний знос інструмента в умовах переривчастого різання. Встановлені характеристики зносу, що визначають його працездатність до прийнятого критерію затуплення.

Ключові слова: фрезерування, ріжучий інструмент, інтенсивність зносу, періоди роботи.

Надійшла до редколегії 31.01.2011.