

УДК 621.91.01

ИЗНОС И СТОЙКОСТЬ ИНСТРУМЕНТА ПРИ РОТАЦИОННОМ ТОЧЕНИИ СИНУСОИДАЛЬНЫХ ПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

д-р техн. наук, проф. В.А. ДАНИЛОВ
(Белорусский национальный технический университет, Минск),
А.Н. СЕЛИЦКИЙ
(Полоцкий государственный университет)

Приведены результаты экспериментальных исследований изнашивания и стойкости режущего лезвия круглого эксцентрично установленного резца из быстрорежущей стали при точении синусоидальных профильных поверхностей. Установлены характер износа передней и задней поверхностей режущего лезвия и влияние параметров схемы обработки и элементов режима резания на стойкость резца, обоснован критерий его затупления, выявлены факторы высокой стойкости резца.

Ключевые слова: синусоидальная цилиндрическая поверхность, ротационное точение, ротационный резец, износ, критерии износа, стойкость.

Введение. Влияние режимов резания на изнашивание и стойкость ротационного инструмента при точении круглых цилиндрических поверхностей широко отражено в литературных источниках [1–6; и др.]. В [1] отмечено, что вследствие низкой температуры режущего лезвия лункообразный износ отсутствует, изнашивание твердосплавного резца происходит по задней поверхности с образованием кольцевой фаски, режущая кромка округляется, передняя поверхность практически не изнашивается. В [2] установлено, что изнашивание инструмента происходит по обеим поверхностям равномерно по длине режущего лезвия, однако более подвержена изнашиванию задняя поверхность по причине ее высокой скорости трения по поверхности резания. Износ быстрорежущего инструмента имеет механический, а на заключительной стадии – адгезионный вид. Изнашивание твердосплавного инструмента преимущественно термоусталостное. Известно [3], что независимо от обрабатываемого и инструментального материала схемы резания зависимости изнашивания инструмента от времени его работы идентичны, период стойкости быстрорежущего инструмента примерно одинаков для различных видов ротационного резания. Изнашивание инструмента сопровождается образованием фаски на задней и лунки на передней поверхностях, имеет абразивный и термоусталостный вид. Согласно исследованию [4], изнашивание ротационных резцов происходит одновременно по задней и передней поверхностям равномерно по всей длине режущей кромки. Передняя поверхность изнашивается в виде кольцевой лунки или кольцевой конической фаски, задняя – кольцевой конической фаски. Характер изнашивания быстрорежущих и твердосплавных ротационных резцов идентичен и имеет адгезионный и абразивный вид.

Параметры схемы обработки синусоидальных профильных поверхностей эксцентрично установленным принудительно вращающимся круглым резцом [5] существенно отличаются от традиционного ротационного точения круглых поверхностей. В частности, кинематический коэффициент, равный отношению окружных скоростей резца и заготовки в зоне резания, может принимать значения больше 6, а глубина резания периодически изменяется при обработке профильных валов из круглых заготовок. Указанные особенности кинематики процесса резания приводят к тому, что резец работает в условиях, отличных от ротационного точения цилиндрических поверхностей, что обуславливает иной характер его изнашивания при точении синусоидальных поверхностей.

Методика исследования. Экспериментальные исследования изнашивания ротационных резцов выполнялись на шлипфрезерном станке модели HECKERT GFLV-250. Обрабатывались круглые заготовки из стали 40X диаметром 25–45 мм круглыми резцами из быстрорежущей стали P6M5 диаметром 55–60 мм, значения статических углов которых: передний угол 10° , задний – 20° ; биение режущего лезвия после заточки 0,01–0,02 мм. Параметры схемы обработки: количество выступов профиля $m = 3$; кинематический коэффициент $k = 2–9$; эксцентриситет установки резца относительно оси его вращения $e = 1,5$ мм; частота вращения резца $n_r = 56; 71; 90$ мин⁻¹; глубина резания $t = 0,5–3$ мм; подача $s_o = 0,134–0,8$ мм/об. Резание производилось с применением СОЖ (масло И-20), подаваемой системой охлаждения станка.

Величина износа рабочих поверхностей инструмента измерялась на микроскопе Nikon Epihot 200 с точностью до 0,005 мм при увеличении в 50 раз.

На видеоизмерительном микроскопе Norgau NVM-4030D измерялся радиус резца с точностью 0,001 мм до и после обработки. В качестве измерительной базы принималось посадочное отверстие

и шпоночный паз резца для фиксации угловых координат точек режущей кромки, соответствующих максимальной и минимальной глубине резания.

Исследование процесса изнашивания резца производилось при $k = 3,6$; $n_t = 56 \text{ мин}^{-1}$; $t = 3 \text{ мм}$; $s_o = 0,5 \text{ мм/об}$.

Основные результаты. В первые 20 минут работы резца наблюдается образование микросколов режущей кромки, о чем свидетельствует ухудшение шероховатости, образование на обрабатываемой поверхности выступов (рисунок 1). В дальнейшем происходит округление режущей кромки, сглаживание микросколов, процесс резания стабилизируется, риски на обрабатываемой поверхности не образуются. Шероховатость поверхности в течение 300 мин остается практически постоянной, на задней поверхности образуется фаска шириной до 0,2 мм. При дальнейшей обработке радиус округления режущей кромки достигает 0,25 мм, появляются сколы, что сопровождается ухудшением качества обрабатываемой поверхности.

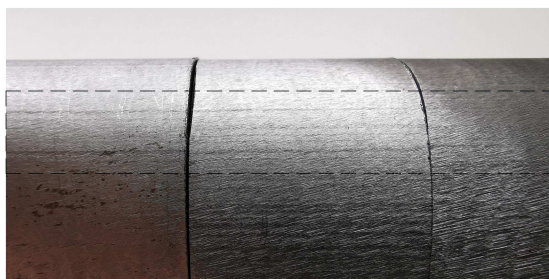


Рисунок 1. – Развитие продольных рисок на обработанной поверхности

Таким образом, изнашивание резца можно разделить на следующие этапы: образование микроскалываний на режущей кромке, ее приработка, образование фаски износа по задней поверхности, округление режущей кромки, образование на ней выкрашиваний.

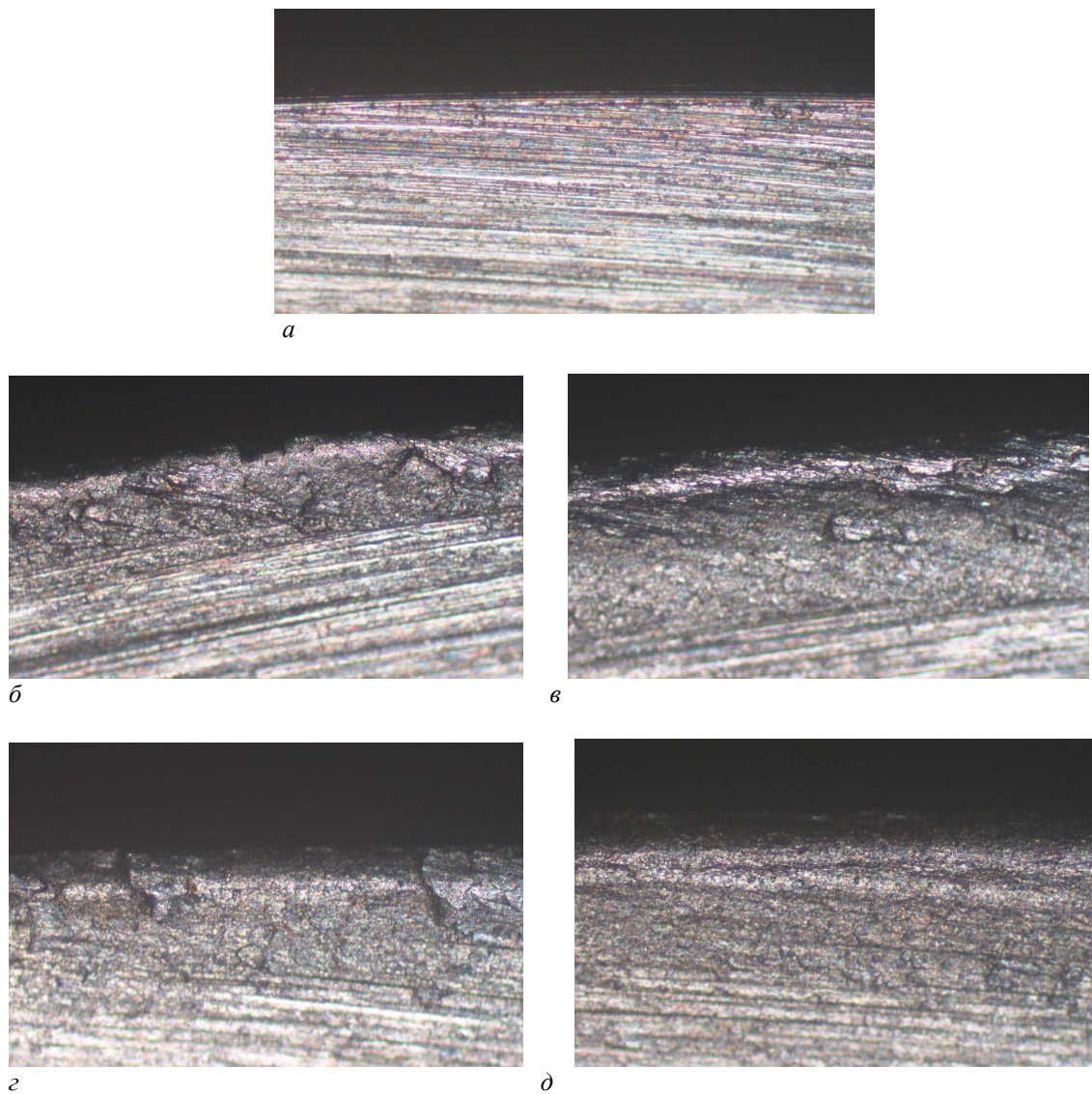
При исследовании изнашивания инструмента установлено, что передняя поверхность ротационного резца подвергается адгезионному изнашиванию, о чем свидетельствуют прилипшие частицы стружки (рисунок 2, б, з), которые образуются преимущественно на участке режущей кромки, соответствующей минимальной глубине резания, а также абразивному изнашиванию, проявлением которого являются царапины на передней поверхности резца (рисунок 2, в, д). Анализ фотографий передней поверхности позволяет сделать вывод, что с увеличением кинематического коэффициента происходит ее «затираание», что способствует снижению интенсивности адгезионного изнашивания, больше всего на участке режущей кромки, соответствующей максимальной глубине резания. Низкая температура резца [6] исключает лункообразное изнашивание передней поверхности.

Более подвержена износу задняя поверхность резца – с образованием фаски, выкрашиванием режущей кромки (рисунок 3), что обусловлено высокой скоростью трения задней поверхности по поверхности резания, особенно с увеличением кинематического коэффициента.

На режущем лезвии образуется оксидная пленка светло-желтого цвета (при минимальной глубине резания) (рисунок 3, б) и фиолетового (при максимальных значениях глубины резания и кинематического коэффициента) (рисунок 3, д), что свидетельствует о перепадах температур менее 80 °С. В связи с этим режущее лезвие не подвергается тепловым ударам, что исключает термоусталостное изнашивание лезвия и повышает стойкость резца.

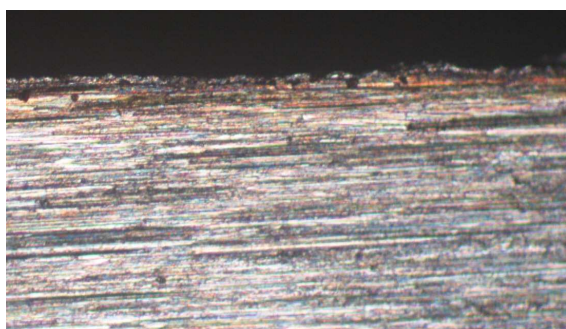
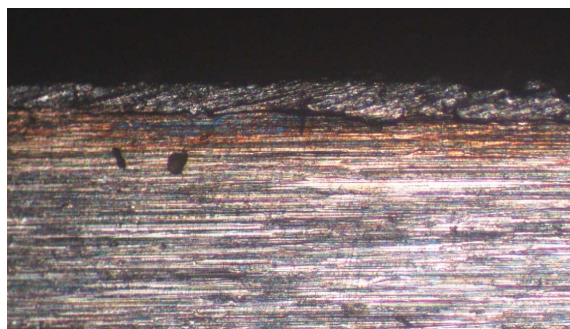
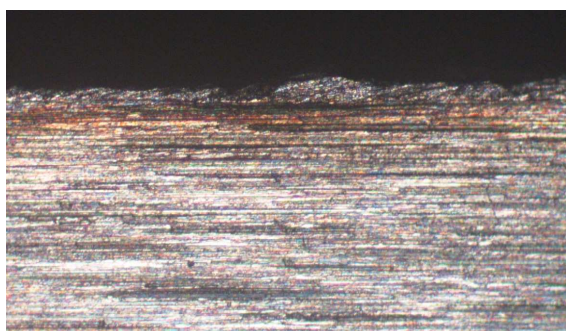
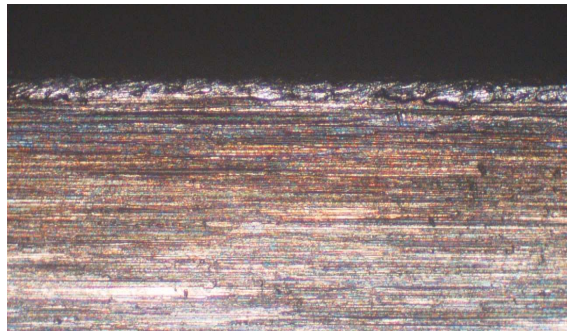
Вследствие периодически изменяющейся глубины резания округление режущей кромки также происходит неравномерно, например, от 0,05 мм при малых глубинах и $k = 3,6$ (рисунок 4, б) до 0,2 мм при глубине 3 мм и $k = 6,6$ (рисунок 4, д). Эта же причина приводит к неравномерности износа по длине режущей кромки: после обработки в течение 110 мин установлено, что неравномерность износа составила 0,01–0,015 мм при диаметре резца 55 мм.

Для оценки стойкости ротационного резца необходимо установить критерии его затупления, при которых процесс резания затрудняется или становится невозможным. В исследованиях [2] рекомендовано принять критерием затупления для быстрорежущего инструмента фаску износа по задней поверхности, равную 0,4–0,6 мм, в [4] – 0,6 мм, а для твердосплавного инструмента – 0,4 мм. При исследовании резания круглыми резцами из твердого сплава [1] отмечено, что изнашивание проявляется в виде выкрашивания и скалывания режущей кромки и сопровождается резким ухудшением качества поверхности, а при резании труднообрабатываемых материалов с достижением радиуса округления кромки 0,8 мм существенно затрудняет процесс резания.



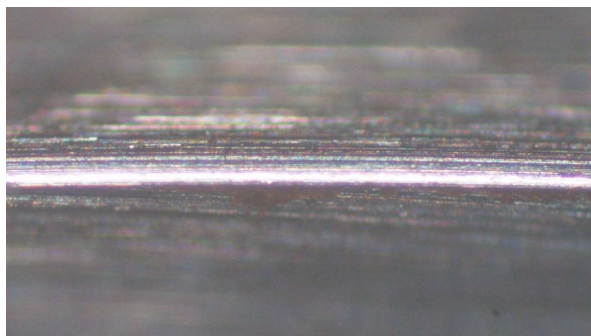
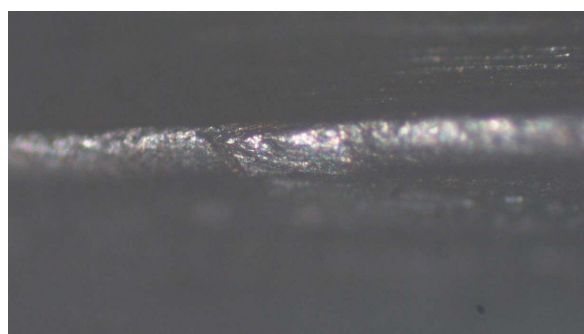
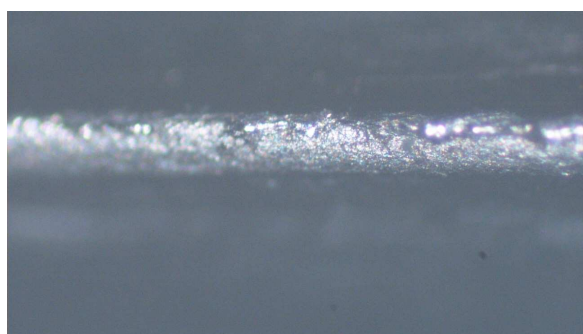
a – передняя поверхность после заточки;
б, в – участок, соответствующий минимальной и максимальной глубине резания при $k = 3,6$ соответственно;
г, д – участок, соответствующий минимальной и максимальной глубине резания при $k = 6,6$ соответственно

Рисунок 2. – Фотографии изношенных участков передней поверхности резца
($n_{\tau} = 56 \text{ мин}^{-1}$; $t = 3 \text{ мм}$; $s_o = 0,5 \text{ мм/об}$; $\tau = 335 \text{ мин}$)

*a**б**в**г**д*

a – задняя поверхность после заточки;
б, в – участок, соответствующий минимальной и максимальной глубине резания при $k = 3,6$ соответственно;
г, д – участок, соответствующий минимальной и максимальной глубине резания при $k = 6,6$ соответственно

Рисунок 3. – Фотографии изношенных участков задней поверхности
($n_{\tau} = 56 \text{ мин}^{-1}$; $t = 3 \text{ мм}$; $s_o = 0,5 \text{ мм/об}$; $\tau = 335 \text{ мин}$)

*a**б**в**г**д*

a – режущая кромка после заточки;
б, в – участок, соответствующий минимальной и максимальной глубине резания при $k = 3,6$ соответственно;
г, д – участок, соответствующий минимальной и максимальной глубине резания при $k = 6,6$ соответственно

Рисунок 4. – Округление режущей кромки
($n_{\tau} = 56 \text{ мин}^{-1}$; $t = 3 \text{ мм}$; $s_o = 0,5 \text{ мм/об}$; $\tau = 335 \text{ мин}$)

Исследование развития изнашивания резца показали, что сколы и зазубрины режущей кромки возникают раньше образования критической фаски износа или округления режущей кромки, поэтому последние не могут быть выбраны в качестве критериев затупления резца. В связи с этим при исследовании стойкости ротационного инструмента целесообразно принять технологический критерий затупления, выражающийся в ухудшении шероховатости обработанной поверхности, образовании на ней выступов из-за сколов и зазубрин режущей кромки.

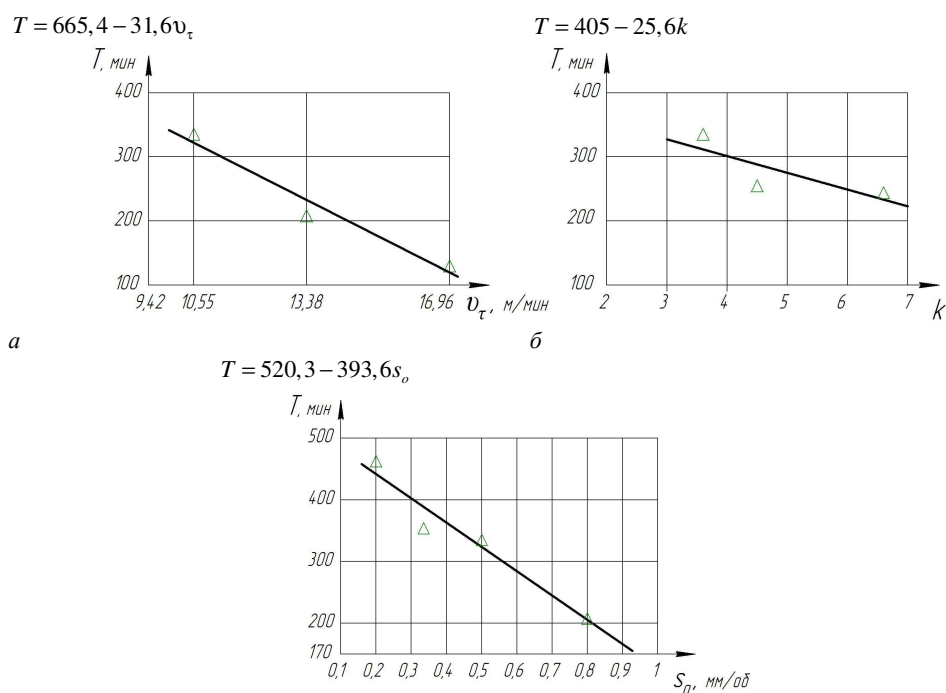
Для уменьшения микроскалывания режущего лезвия и сокращения времени приработки рекомендуется придать ему при заточке начальный радиус округления 0,01–0,03 мм.

Результаты экспериментальных исследований стойкости инструмента при заданных параметрах схемы обработки представлены на рисунке 5. В качестве критерия износа принято появление выступов на обработанной поверхности шириной 0,5 мм.

Увеличение режимов резания приводит к уменьшению стойкости резца. Наибольшее влияние на нее оказывает скорость касательного движения (рисунок 5, а): при изменении v_c от 10,55 до 16,96 м/мин величина T в условиях эксперимента уменьшилась с 335 до 130 мин. При этом увеличение кинематического коэффициента (рисунок 5, б) с 3,6 до 6,6 снижает значение T с 335 до 244 мин.

Уменьшение стойкости с ростом v_c и k связано с повышением скорости трения задней поверхности по поверхности резания, что способствует усилению износа.

С увеличением подачи (рисунок 5, в) стойкость резца уменьшается по причине повышения удельной нагрузки на режущую кромку.



а – от кинематического коэффициента k (при $n_c = 56 \text{ мин}^{-1}$; $s_o = 0,5 \text{ мм/об}$);
 б – от скорости вращения резца v_c (при $k = 3,6$; $s_o = 0,5 \text{ мм/об}$); в – от подачи s_o (при $k = 3,6$; $n_c = 56 \text{ мин}^{-1}$)

Рисунок 5. – Изменение стойкости инструмента ($t = 3 \text{ мм}$)

В меньшей мере на стойкость инструмента влияет глубина резания, что связано с кинематическими особенностями ротационного точения синусоидальных профильных поверхностей принудительно вращающимся эксцентрично установленным круглым резцом [6; 7]. При обработке каждой грани из цилиндрической заготовки за один проход глубина резания вследствие эксцентричной установки резца непрерывно изменяется от минимального до максимального значения и обратно, что не приводит к существенному увеличению температуры, а следовательно, и к значительному снижению стойкости инструмента.

Высокая стойкость резца, которая, например, при обработке трехгранной синусоидальной поверхности средним диаметром 45 мм с кинематическим коэффициентом 3,6, частотой вращения резца 56 мин^{-1} , максимальной глубиной резания 3 мм, подачей 0,5 мм/об составила 335 мин при шероховатости обработанной поверхности 1–2 мкм по параметру R_a , связана с малыми скоростями результирующего движения резания, а также с невысокой температурой рабочих поверхностей режущего лезвия (до $270 \text{ }^\circ\text{C}$ при обработке трехгранных профилей [6]).

Высокое значение кинематического коэффициента способствует быстрому обновлению режущей кромки в зоне резания, что снижает продолжительность ее нагрева, позволяет избежать накопления тепла в инструменте и уменьшает действие тепловых ударов на инструмент, особенно при использовании смазочно-охлаждающей жидкости. В результате количество циклов до развития сколов режущей кромки возрастает, что приводит к повышению и стабилизации стойкости инструмента.

Значения стойкости круглого резца при ротационном точении синусоидальных цилиндрических поверхностей сопоставимы с результатами исследований стойкости пальцевых фрез при обработке поверхностей с РК-3 профилем [8] и превышают в 2–3 раза стойкость дисковых фрез с конструктивной радиальной подачей при обработке поверхностей с РК- и К-профилем [9].

Экспериментальные исследования показали эффективность ротационного точения синусоидальных профильных поверхностей эксцентрично установленным принудительно вращающимся круглым резцом и позволяют рекомендовать этот способ обработки для промышленной реализации.

Заключение.

1. Изнашивание резца при ротационном точении синусоидальных профильных поверхностей можно разделить на следующие этапы: микроскалывание режущего лезвия, его приработка, образование фаски износа по задней поверхности, округление режущего лезвия, образование на нем выкрашиваний.

2. Изнашивание носит адгезионно-абразивный характер, износ неравномерен вдоль режущей кромки и сопровождается округлением режущего лезвия до 0,25 мм. Задняя поверхность резца более подвержена износу с образованием фаски. Для уменьшения микроскалывания режущего лезвия и сокращения времени приработки рекомендуется придать ему начальный радиус округления 0,01–0,03 мм.

3. В качестве критерия износа ротационного резца целесообразно принять технологический критерий затупления, выражающийся в ухудшении шероховатости обработанной поверхности, образования на ней выступов.

4. Увеличение режимов резания вызывает снижение периода стойкости резца. Наибольшее влияние на нее оказывает скорость касательного движения, наименьшее – глубина резания. Максимальная стойкость резца в условиях проведенного эксперимента составила 450 мин.

5. Определяющим фактором высокой стойкости резца при ротационном точении синусоидальных профильных поверхностей является невысокая температура режущего лезвия и отсутствие значительных перепадов температур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ротационное резание материалов / П.И. Ящерицын [и др.]. – Минск : Наука и техника, 1987. – 229 с.
2. Коновалов, Е.Г. Прогрессивные схемы ротационного резания металлов / Е.Г. Коновалов, В.А. Сидоренко, А.В. Соусь ; под ред. Е.Г. Коновалова. – Минск : Наука и техника, 1972. – 272 с.
3. Попок, Н.Н. Исследование процесса ротационного резания принудительно вращающимися инструментами : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / Н.Н. Попок. – Минск, 1983. – 25 с.
4. Гик, Л.А. Ротационное резание металлов / Л.А. Гик. – Калининград : Книжн. изд-во, 1990. – 254 с.
5. Данилов, В.А. Анализ и реализация схем обработки профильных цилиндрических поверхностей ротационным инструментом / В.А. Данилов, А.Н. Селицкий // Горная механика и машиностроение. – 2012. – № 4. – С. 71–82.
6. Данилов, В.А. Исследование тепловых явлений при ротационном точении профильных поверхностей с синусоидальным профилем эксцентрично установленным круглым резцом / В.А. Данилов, А.Н. Селицкий // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. Сер. Машиностроение. – 2019. – № 4 (117). – С. 48–51.
7. Данилов, В.А. Особенности стружкообразования и экспериментальное определение усадки стружки при ротационном точении синусоидальных поверхностей эксцентрично установленным круглым резцом / В.А. Данилов, А.Н. Селицкий // Горная механика и машиностроение. – 2019. – № 2. – С. 65–72.
8. Зенин, Н.В. Технологическое обеспечение качества трехгранного профиля бесшпоночных соединений в условиях серийного производства : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / Н.В. Зенин. – М., 2007. – 132 л.
9. Максименко, Ю.А. Создание метода проектирования дисковых фрез с конструктивным исполнением радиальной подачи для обработки валок с РК- и К-профилем : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.07 / Ю.А. Максименко ; Юго-Запад. гос. ун-т. – Курск, 2014. – 20 с.

Поступила 01.06.2020

WEAR AND DURABILITY OF THE TOOL AT ROTARY TURNING OF SINUSOIDAL PROFILE SURFACES

V. DANILAU, A. SIALITSKIY

The results of experimental studies of the wear and durability of the cutting blade of a circular cutter fitted out of centre and made of high speed steel when turning sinusoidal profile surfaces are presented. The nature of the cutting blade front and back surfaces wear, the influence of the processing circuit parameters and the cutting mode elements on the durability of the cutter are established, the criterion for its blunting is observed, the factors of high durability of the cutter are identified.

Keywords: sinusoidal profile surface, rotary turning, rotary cutter, wear, wear criteria, durability.