

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-81-92

¹Хуртасенко А.В.,^{2,*}Чередников И.И.,¹Мамченкова А.А.,¹Чуев К.В.,¹Бондаренко А.А.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова²ООО» СКИФ-М»,

*E-mail: cherednikovya@gmail.com

ОЦЕНКА ИЗНАШИВАНИЯ И ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЙ ЦЕЛЬНЫХ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ФРЕЗ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ЗАКАЛЕННОЙ СТАЛИ 4X5MΦ1С ТВЕРДОСТЬЮ 52 HRC

Аннотация. Главная проблема при фрезеровании закаленной стали заключается в ее высокой твердости и неравномерности закалки заготовки, что подвергает режущий инструмент циклическим нагрузкам в процессе резания. Сверхвысокие температуры, создаваемые в зонах первичного и вторичного сдвига, значительно ускоряют различные виды износа режущих инструментов из твердого сплава, особенно адгезионный и диффузионный износ, но самой распространенной и основной причиной выхода инструмента из строя является хрупкое разрушение.

В данной работе было представлено исследование влияния геометрических параметров режущей части концевой фрезы, износостойкого покрытия, химического состава и зернистости твердого сплава на степень различных видов износа и разрушения при фрезеровании закаленных сталей. Исследовались параметры инструмента, такие как износостойкое покрытие, микроструктура твердого сплава, угол наклона режущей кромки, передний и задний углы режущей кромки. Зернистость и химический состав твердого сплава изучались и анализировались с помощью электронного микроскопа и энергодисперсионной спектроскопии. Замер толщины износостойкого покрытия производился методом шарового истирания с помощью толщиномера покрытий. После испытаний были сделаны выводы о влиянии зернистости сплава, химическом составе и об распространенном виде износа.

Ключевые слова: фрезерование закаленной стали, фреза из твердого сплава, износ, разрушение, износостойкость.

Введение. Закаленная сталь обладает высокой стойкостью к механическим воздействиям, а также имеет высокую стойкость к коррозии и окислению. Твердость этого материала составляет 47–70 HRC. В силу перечисленных особенностей материал устойчив к воздействию окружающей среды и слабо подвергается разрушению от различных химических процессов.

Из закаленной стали изготавливают детали и узлы с повышенной износоустойчивостью, поэтому данный материал широко применяется в автомобильной отрасли (производство пружин, подшипников, штоков поршней и пр.) и машиностроении (изготовление штампов, прессформ и тд.).

Механическая обработка стали после термообработки позволяет получать детали высокого качества, исключая при этом дорогостоящие чистовые операции и устраняя проблемы, связанные со скручиванием, изгибом и прочими отклонениями формы заготовок, вызванными термической обработкой.

Одним из наиболее распространенных видов металлообработки, которым подвергают детали из закаленной стали является фрезерование. Фрезерование закаленной стали представляет собой технически сложную задачу, так как мате-

риал имеет большую твердость, и, соответственно, требует высокого качества режущего инструмента, жесткости и мощности оборудования [1, 2]. Исследования и производственный опыт показывают, что наибольшая доля отказов автоматических линий массового производства связана с отказами режущих инструментов.

Режущий инструмент – особый элемент технологической системы механической обработки, характеризующийся повышенными нагрузками на его режущую часть, что может вызвать различные виды повреждений, связанных с износом, поломками, выкрашиванием режущей кромки и др. При этом скорость изнашивания режущего инструмента значительно выше скорости изнашивания деталей и узлов технологического оборудования (станков, приспособлений и т.д.), поэтому режущий инструмент является особым звеном по надежности в автоматизированных технологических системах и требует своевременной замены на дублирующий.

В качестве наиболее подходящего по характеристикам инструментального материала для изготовления режущего инструмента, предназначенного для обработки деталей из закаленной стали, следует выделить поликристаллический нитрид бора (PcBN) и твердый сплав.

Режущий инструмент из поликристаллического нитрида бора превосходит твердосплавный с износостойким покрытием в процессе фрезерования [3, 4], но несмотря на это, твердый сплав используются чаще, чем PсBN, что связано со значительной разницей в стоимости и надежности при работе в тяжелых условиях [5]. Основной причиной износа твердосплавных фрез являются повышенные температуры резания, возникающие в зонах первичного и вторичного сдвига, которые ускоряют адгезионный, диффузионный и окислительный режимы износа [6].

Важнейшими параметрами, влияющими на износостойкость режущего инструмента при фрезеровании являются: износостойкое покрытие инструмента, угол наклона режущей кромки, передний угол, задний угол, химический состав и твердость материала обрабатываемой детали, вид фрезерования: попутное (направление подачи детали совпадает с направлением вращения фрезерного инструмента) или встречное (направление вращения фрезы и подачи обрабатываемой детали противоположны), прерывистое [7,8] или непрерывное фрезерование, скорость резания и подача, а также наличие/отсутствие смазочно-охлаждающей жидкости в зоне резания.

При обработке заготовок до точного размера, фреза не только изнашивается, на нее действует и упругая деформация в системе СПИД (станок–приспособление–инструмент–деталь).

Деформация значительно усиливается с увеличением износа, который проявляется по задней и передней граням зуба. Показатель размерного износа, допускаемый при работе с материалом, можно установить только опытным путем для каждой ситуации и условий, в частности для определенных материала инструмента и обрабатываемого материала, так как нормативов не существует.

В данной статье будет проанализировано влияние вышеупомянутых параметров на износ и характер разрушения режущей части концевой твердосплавной фрезы при фрезеровании стали 4Х5МФ1С твердостью 52 HRC. Твердость обрабатываемого материала измерялась с помощью динамического портативного твердомера МЕТ-Д1.

Для проведения исследования влияния параметров на износ и характер разрушения режущей части концевой твердосплавной фрезы при фрезеровании стали 4Х5МФ1С твердостью 52 HRC, необходимо учитывать следующие факторы:

- Износостойкое покрытие инструмента: качество покрытия может значительно влиять на эффективность режущего процесса и износостойкость инструмента.

- Угол наклона режущей кромки, передний угол, задний угол: правильная геометрия режущей кромки также играет важную роль в процессе фрезерования.

- Химический состав и твердость материала обрабатываемой детали.

- Вид фрезерования: направление подачи детали и скорость резания также оказывают влияние на износ режущего инструмента.

- Наличие/отсутствие смазочно-охлаждающей жидкости: правильное охлаждение инструмента может существенно увеличить его срок службы.

Исследование данных параметров позволит оптимизировать процесс фрезерования стали 4Х5МФ1С и повысить эффективность производства.

Материалы и метод. К наиболее значимым параметрам концевой твердосплавной фрезы следует отнести износостойкое покрытие [9–11], зернистость и химический состав сплава, угол наклона режущей кромки [12, 13], передний и задний углы (рис. 1).

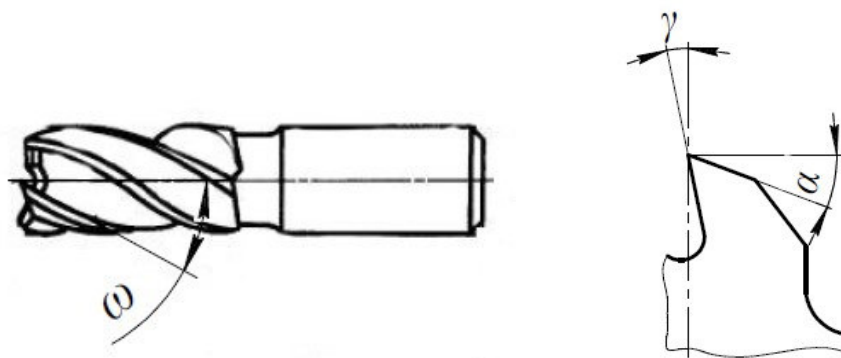


Рис. 1. Угол наклона режущей кромки (ω), передний (γ) и задний угол (α)

Максимальное сопротивление износу наблюдается у сплавов с малым содержанием кобальта [14]. С увеличением его содержания в твердом сплаве сопротивление износу снижается, но увеличивается ударная вязкость твердого сплава, вместе с тем, увеличивается способность сплава выдерживать большую ударную нагрузку [15]. Увеличение содержания в твердом сплаве карбида вольфрама и уменьшение размера его зерен повышает твердость и увеличивает хрупкость.

Существенно повышает стойкость режущего инструмента нанесение на его режущую часть износостойкого покрытия. В работе [16] приведены результаты исследования влияния износостойкого покрытия TiAlN и AlCrN на повышение стойкости при фрезеровании углеродистой конструкционной стали 45 монолитными твердосплавными концевыми фрезами. Из анализа полученных результатов, следует, что стойкость фрез с износостойким покрытием в 6 раз больше стойкости фрез без покрытия.

Повышение стойкости достигается путем увеличения микротвердости, коррозионной стойкости и термодинамической устойчивости поверхностного слоя, а также снижения коэффициента трения между режущим инструментом и

заготовкой [17]. За счет применения различных химических связей в покрытии и обрабатываемом материале удастся достигнуть увеличения сопротивления адгезионному изнашиванию и снизить негативное влияние от химического взаимодействия с обрабатываемым материалом и окружающей средой.

Передний угол оказывает непосредственное влияние на угол схода стружки и пластическую деформацию, максимальную температуру, распределение температур на передней поверхности и прочность режущей кромки [18].

Несмотря на то, что задний угол не принимает непосредственного участия в резании его величина также влияет на износостойкость фрезы, т.к. задняя поверхность зуба подвергается трению со стороны обрабатываемого материала. Изменение величины заднего угла в большую сторону способствует уменьшению трения, что положительно влияет на износостойкость режущего инструмента и качество (шероховатость) обработанной поверхности [18].

При увеличении угла наклона режущей кромки увеличивается осевая сила, уменьшается радиальная сила резания, увеличивается время задержки между врезаниями отдельных точек режущей кромки и уменьшается крутящий момент.

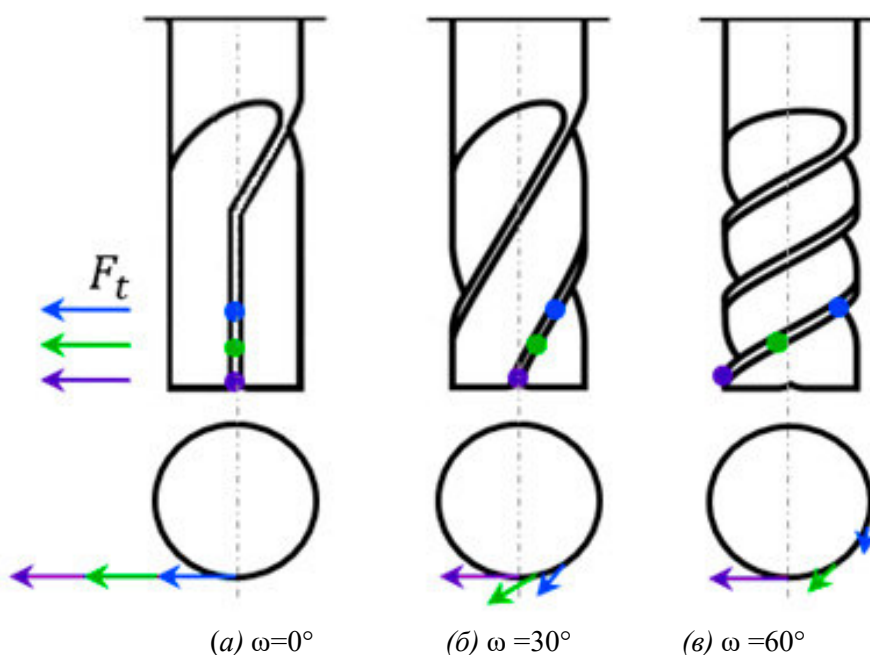


Рис. 2. Расположение вектора тангенциальной силы F_t в зависимости от точки ее приложения в зоне контакта режущей кромки с материалом заготовки

На рисунке 2 представлена схема, которая наглядно показывает расположение векторов тангенциальной силы F_t , направленной по касательной к зубьям фрезы, в точках контакта режущей кромки с обрабатываемым материалом в зависимости от угла наклона режущей кромки.

В первом случае (рисунок 2а) в контакте с обрабатываемым материалом находятся три точки одновременно, таким образом, толщина снимаемой стружки максимальная, и процесс резания затрачивает большие усилия и крутящий момент.

Во втором и третьем случае (рисунок 2б, 2в) за счет увеличения угла наклона режущей кромки точки приложения усилий смещаются, при этом толщина стружки уменьшается, что приводит к снижению усилий и крутящего момента, а также более равномерному распределению нагрузки на режущую кромку.

Все эксперименты проводились на сверхскоростном обрабатывающем центре HAAS VF-2SS мощностью 22.4 кВт. В качестве оснастки использовался цанговый патрон TN-NC40ZP16(ER)H063AD. Применялся попутный вид фрезерования без использования смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ). Параметры резания, которые поддерживались постоянными во всех экспериментах, были следующими: скорость резания (v_c)=80 м/с, подача на зуб (f_z)=0.1, ширина фрезерования (a_e)=0,5 мм, глубина реза-

ния (a_p)=5 мм. Критериями отказа режущего инструмента считалось достижение предельной величины износа на задней поверхности 0,2 мм, чрезмерное выкрашивание режущей кромки или торца режущего инструмента; или разрушение режущей части инструмента.

Основная часть. Измерение значений геометрических параметров режущей части рабочего инструмента выполнялись на измерительной установке Zoller genius 3с и представлены в таблице 1. Так же в таблице 1 указан вид износостойкого покрытия режущей части исследуемых образцов.

Для определения процентного содержания составляющих элементов твердого сплава образцов был проведен металлографический контроль, результаты которого представлены в таблице 2.

Таблица 1

Геометрические параметры и покрытия фрез

| Номер образца | Угол наклона режущей кромки (ω) | Передний угол (γ) | Задний угол (α) | Диаметр сердцевины (\varnothing), мм | Покрытие |
|---------------|--|----------------------------|--------------------------|--|---------------|
| 1 | 50° | 0° 45' | 6°40' | 8.078 | TiAlN |
| 2 | 50° | 10° | 7°41' | 8.075 | AlTiN |
| 3 | 45° | 8°30' | 6°37' | 8.24 | TiAlSiN+TiAlN |
| 4 | 45° | 10° | 7° | 6.5 | AlTiN |
| 5 | 45° | 3°28'48" | 10°55'12" | 8.059 | TiAlCrSiN |
| 6 | 44° | -16° | 7°17' | 8.4 | TiAlN |
| 7 | 45° | 6° | 8° | 8 | AlTiN |
| 8 | 45° | -8°30' | 6° | 8 | TiAlN |

Таблица 2

Результаты металлографического контроля

| Номер образца | WC | Co | Cr | Ms | λ | НС | ρ |
|---------------|------|------|-----|-------|-----------|------|--------|
| 1 | 89,6 | 8,4 | 2,0 | 100,1 | 0,5-0,8 | 26,6 | 14,7 |
| 2 | 87,7 | 10,5 | 1,8 | 149,9 | 0,5-0,8 | 39,3 | 14,4 |
| 3 | 88,1 | 10,2 | 1,7 | 146,1 | 0,5-0,8 | 37,1 | 14,4 |
| 4 | 85,0 | 13,7 | 1,3 | 198,0 | 0,6-0,8 | 27,1 | 14,0 |
| 5 | 87,8 | 11,2 | 1,0 | 147,6 | 0,5-0,8 | 34,3 | 14,4 |
| 6 | 87,9 | 10,8 | 1,4 | 161,3 | 0,5-0,8 | 34,6 | 14,4 |
| 7 | 89,3 | 9,1 | 1,6 | 128,2 | 0,5-0,8 | 34,0 | 14,5 |
| 8 | 87 | 11 | 1,9 | 146,3 | 0,5-0,8 | 41,0 | 14,45 |

где WC – содержание карбида вольфрама (%), Co – содержание кобальта (%), Cr – содержание хрома (%), Ms – магнитное насыщение ($\frac{10^{-7} \cdot \text{м}^3}{\text{кг}}$), НС-коэрцитивная сила ($\frac{\text{кА}}{\text{м}}$), λ – средний размер зерен карбида вольфрама (мкм), ρ – плотность (г/см³).

Для оценки размера наиболее крупных зерен карбида вольфрама в твердом сплаве применялся микроскоп Olympus GX51. Образцы рассматривались при тысячекратном увеличении.

На рисунке 3 наглядно представлены зерна карбида вольфрама в твердом сплаве режущего инструмента. Наиболее крупное зерно карбида вольфрама наблюдается у образца №7 (9,86 мкм). У образца №5 размер зерна минимальный (1,07 мкм).

В процессе проведения эксперимента были получены следующие результаты стойкости инструментов (рис. 4).

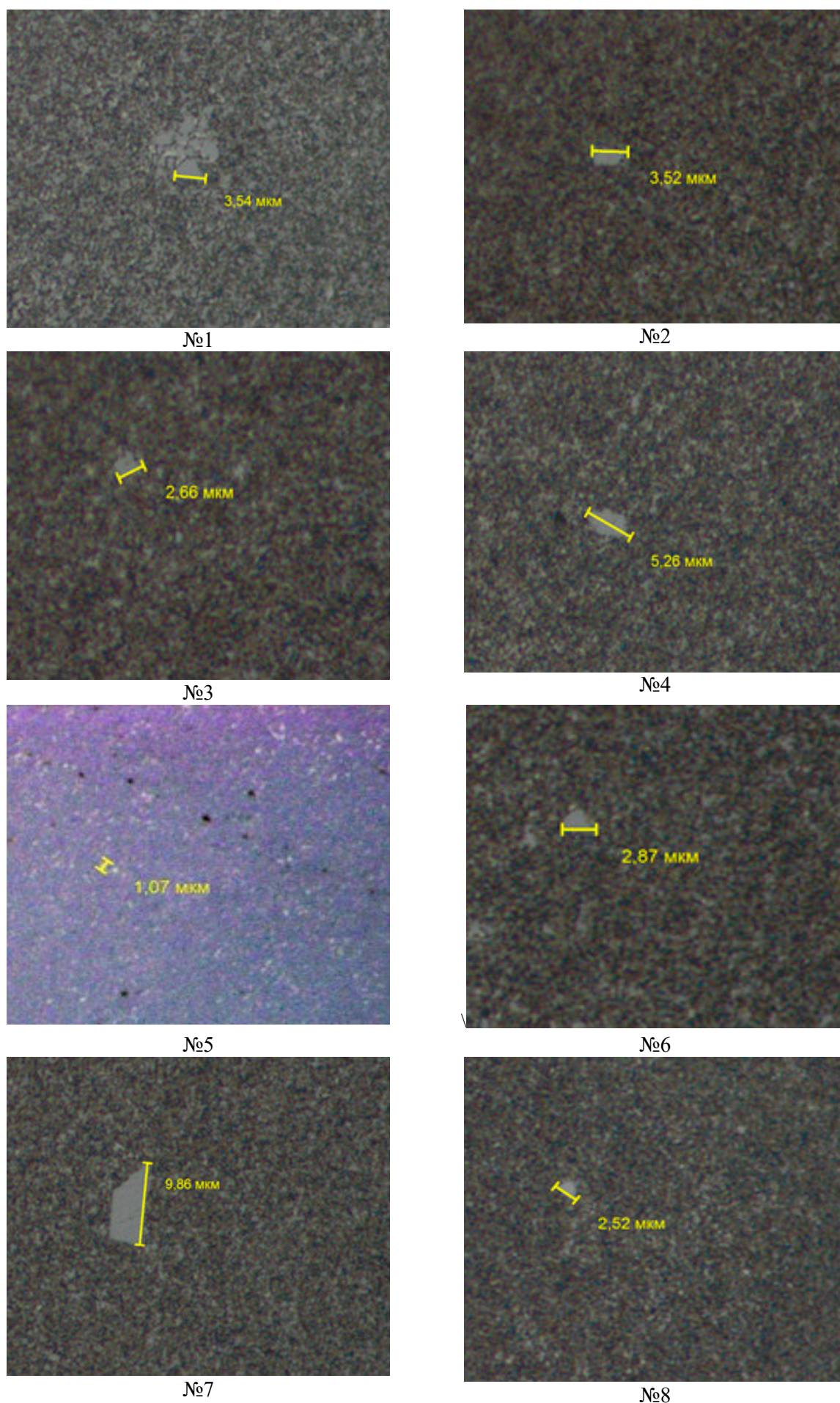


Рис. 3. Максимальный размер зерен карбида вольфрама в твердом сплаве инструментов

Наименьшую стойкость показали образцы под номерами 1, 2, 4, 7 и 8. У образцов №1, 2, 7 и 8 после непродолжительной работы наблюдались сколы зубьев, в результате чего инструмент стал непригоден для продолжения эксперимента.

Образец №4 вышел из строя при врезании в заготовку. Врезание и выход из зоны контакта режущего инструмента с заготовкой наиболее опасны для твердосплавного инструмента условия, так как твердый сплав плохо работает на удар, в результате чего на контактной поверхности инструмента образуются сколы. В момент выхода инструмента из зоны контакта с заготовкой наблюдается разгрузочный удар, который оказывает негативное влияние на режущую

кромку и стойкость режущего инструмента в целом [15, 18, 19].

Оптимальной комбинацией геометрических параметров режущей части, износостойкого покрытия, химического состава и зернистости твердого сплава оказались значения параметров образца №5: $\omega=45^\circ$, $\gamma=3^\circ28'48''$, $\alpha=10^\circ55'12''$, $\varnothing8.059$. Вид износостойкого покрытия: TiAlCrSiN, толщина 1,5 мкм. Образец №5 имел наибольшую стойкость в сравнении с остальными. Эксперимент был остановлен после 236 минут работы по причине достижения максимального износа на задней поверхности зуба (h_3).

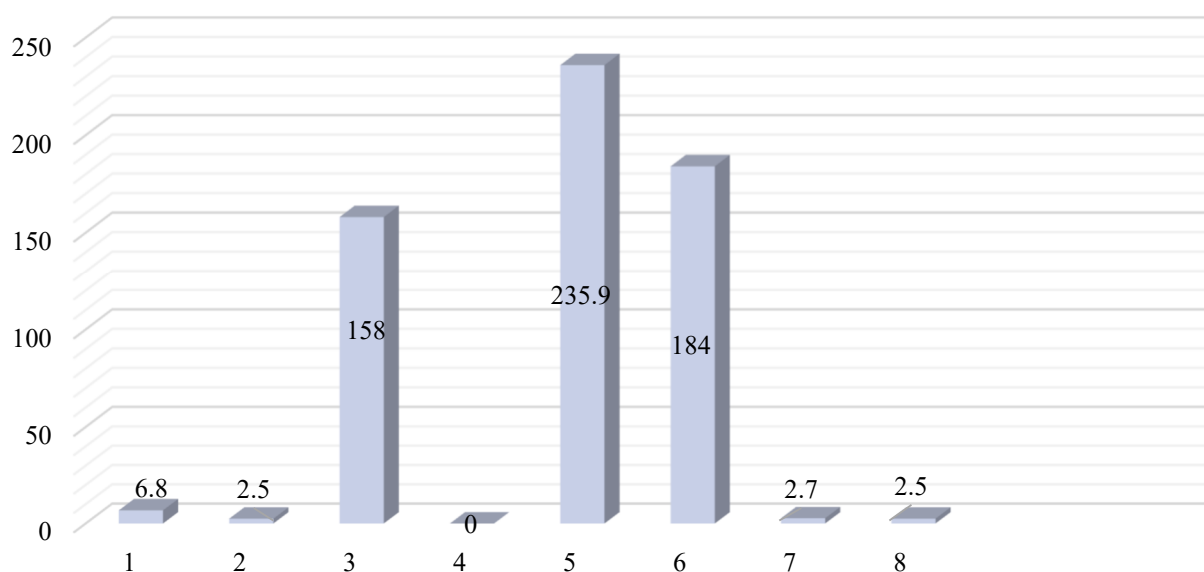


Рис. 4. Стойкость образцов по результатам проведенного эксперимента

Эксперимент с образцами №6 и №3 был остановлен по причине достижения предельной величины износа на задней поверхности режущей кромки (0,2 мм) [20].

Образец №6 обладает следующими параметрами: $\omega=44^\circ$, $\gamma=-16^\circ$, $\alpha=7^\circ17'$, $\varnothing8.4$. Покрытие TiAlN толщиной 2,9 мкм. Несмотря на то, что отрицательный передний угол является наиболее подходящим для обработки материалов повышенной твердости [14] фрезами из твердого сплава, стойкость оказалась значительно меньше, чем у образца №5 и составила 184 минуты.

Геометрические параметры режущей части образца №3: $\omega=45^\circ$, $\gamma=8^\circ30'$, $\alpha=6^\circ37'$, $\varnothing8.24$. Химический состав износостойкого покрытия: TiAlSiN+TiAlN. Толщина 1,7 мкм. Стойкость 158 мин.

На рисунке 5 изображены графики зависимости износа на задней поверхности зуба (h_3) от времени работы (T) образцов №3, 5, 6, построенные на основе данных, полученных в результате эксперимента. Из графиков видно, что сначала износ на задней поверхности увеличивается плавно, но в определенный момент его рост резко увеличивается и достигает максимального значения. Это связано с истиранием износостойкого покрытия. Как только толщина покрытия достигает минимального значения – износ резко увеличивается.

Далее на изображениях (рис. 6) наглядно представлен характер разрушения образцов.

У образцов, которые показали наилучшие результаты стойкости был выполнен замер толщины износостойкого покрытия на приборе CALOTESTER компании TRIBOtechnic (рис. 7).

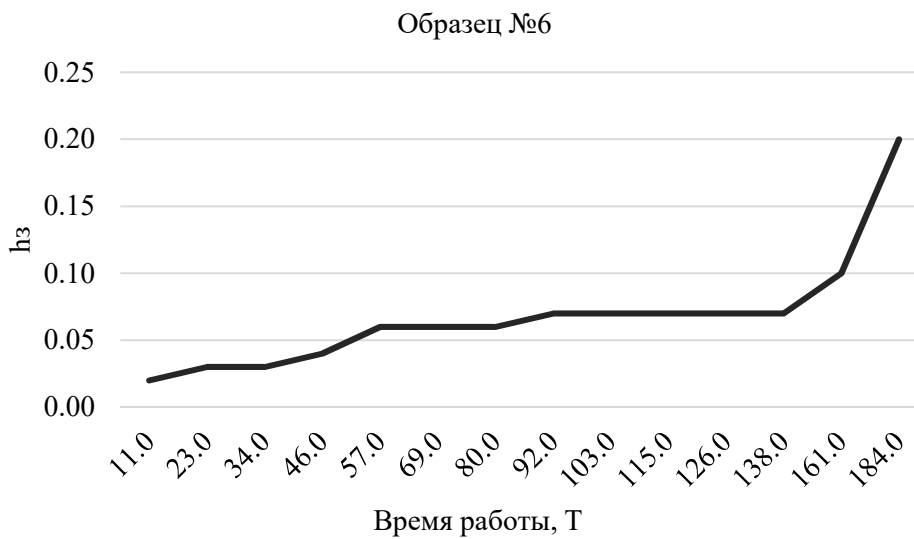
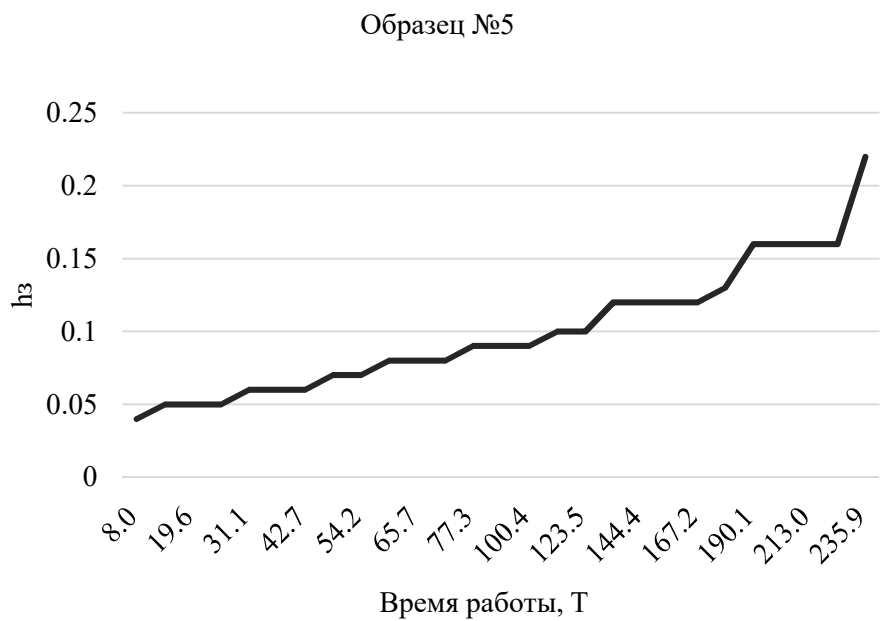


Рис. 5. Графики зависимости износа по задней поверхности зуба от времени работы образцов №3, 5, 6



Рис. 6. Характер разрушения образцов в результате проведения эксперимента.



Рис. 7. Толщина износостойкого покрытия

Выводы.

В статье представлено экспериментальное исследование, направленное на изучение влияния геометрических параметров инструмента, зернистости твердого сплава и износостойкого покрытия на стойкость твердосплавных фрез, используемых при фрезеровании закаленных сталей. Из результатов эксперимента можно сделать следующие выводы:

1. Зернистость твердого сплава значительно влияет на стойкость режущего инструмента. Величина среднего размера зерен карбида вольфрама в твердом сплаве одинакова практически у всех исследуемых образцов (0,5–0,8 мкм), за исключением образца №4 (0,6–0,8 мкм). Фрезы, в твердом сплаве которых были обнаружены крупные зерна карбида вольфрама (образцы №1, 2, 4, 7, 8) показали самые худшие результаты стойкости.

2. Химический состав износостойкого покрытия оказывает большее влияние, нежели его толщина.

3. Угол наклона режущей кромки фрезы оказывает незначительное влияние на стойкость, а такие параметры режущей части фрезы, как передний угол, задний угол и диаметр сердцевины в совокупности играют немаловажную роль.

4. Наиболее распространенным видом отката твердосплавных фрез при фрезеровании закаленных сталей является скол (5 образцов из 8 вышли из строя по причине разрушения режущей части); за ним следует износ (у 3-х образцов из 8-ми в процессе фрезерования была достигнута предельная величина износа на задней поверхности режущей кромки (0,2 мм).

Таким образом, результаты исследования позволяют оптимизировать параметры инструмента и повысить эффективность процесса фрезерования закаленных сталей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kayhan M., Budak E., An experimental investigation of chatter effects on tool life // *Journal of Engineering Manufacture*. 2009. № 11. Pp. 1455–1463. DOI: 10.1243/09544054JEM1506

2. Kaye J.E., Yan D.H., Popplewell N., Balakrishnan S. Predicting tool flank wear using spindle speed change // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 1995. № 9. Pp. 1309–1320. DOI: 10.5937/fmet1903430N

3. Lin T.R., Experimental design and performance analysis of TiN-coated carbide tool in face milling stainless steel // *Journal of Materials Processing Technology*. 2002. №127. Pp. 1–7. DOI: 10.1016/S0924-0136(02)00026-2

4. Yamada T., Aoki S., Kitaura Y., Tanaka Y., Hayasaki H. High speed cutting performance of (Al, Ti) N coated carbide end mills for hardened steels // *International Journal of Materials Science and Applications*. 1997. №5. Pp. 486–489.

5. Childs T., Maekawa K., Obikawa T., Yamane Y. *Metal Machining: Theory and Applications*. Arnold Publishers, 2000. 118 p.

6. Ташлицкий Н.И. Особенности изнашивания твердосплавного инструмента при прерывистом резании // *Вестник машиностроения*. 2005. № 7. С. 55–56.

7. Жигалов А. Н., Шелег В. К. Исследование влияния аэродинамического упрочнения на стойкость твердосплавного инструмента при прерывистом резании // *Машиностроение*. 2018. №5. С. 37–48

8. Jing L., Chen M., An Q. Study on Performance of PVD AlTiN Coatings and AlTiN-Based Composite Coatings in Dry End Milling of Hardened Steel SKD11 // *Metals*. 2021. №12. Pp. 110–116. DOI: 10.3390/met11122019

9. Aslantas K., Hopa H.E., Percin M. Cutting performance of nanocrystalline diamond (NCD) coating in micro-milling of Ti6Al4V alloy // *Precision Engineering*. 2016. №45. Pp. 55–66. DOI: 10.1016/j.precisioneng.2016.01.009

10. Koller C.M., Glatz S.A., Riedl H., Kolozsvári S., Polcik P., Bolvardi H., Mayrhofer P.H. Structure and Mechanical Properties of Architecturally Designed Ti-Al-N and Ti-Al-Ta-N-Based Multilayers // *Surface and Coatings Technology*. 2020. №5. Pp. 210–222. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2020.125355

11. Zhang H.J., Sun C. Lina M. Analysis of the optimization of tool geometric parameters for milling of Inconel 718 // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. № 1. Pp. 253–259. DOI: 10.1088/1757-899X/423/1/012030

12. Gong Zhao J., Ni X. Wear and breakage of coated carbide tool in milling of H13 steel and SKD11 hardened steel // *SN Applied Sciences*. 2019. № 1. Pp. 1–12. DOI: 10.1007/s42452-019-1152-6

13. Мутафян Л.А. Явление удара при прерывистом резании и его влияние на характер протекания износа инструмента // *Известия ТулГУ. Технические науки*. 2015. № 5-2. С. 73–78.

14. Баженов М.Ф., Байчман С. Г., Карпачев Д. Г. Твердые сплавы, 1978. 184 с

15. Девин Л.Н., Губа А.Г., Осипов А.И. Определение энергетических характеристик разрушения твердых сплавов при динамическом нагружении // *Вестник НТУ ХПИ*. 2005. С. 142–149.

16. Гордовенко М.А., Михнёв М.М. Исследование повышения стойкости монолитных твердосплавных концевых фрез производства АО "ИСС" с износостойким покрытием // *Решетневские чтения*. 2017. Т. 1. № 21. С. 485–487.

17. Табаков В.П., Смирнов М.Ю., Циркин А.В. Работоспособность торцовых фрез с многослойными износостойкими покрытиями, 2005. 151 с.

18. Самойлов В.С., Эйхманс Э. Ф., Фальковский В. А., Локтев А.Д., Шкурин Ю.П. Металлообрабатывающий твердосплавный инструмент, 1988. 368 с.

19. Коротких М.Т. Измерение ударных нагрузок на лезвие инструмента при прерывистом резании // Металлообработка. 2001. № 1. С. 72–74.

20. ISO 8688-2:1989 (en) Tool life testing in milling – Part 2: End milling [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8688:-2:ed-1:v1:en> (дата обращения: 11.01.2024 г.)

Информация об авторах

Хургасенко Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения. E-mail: hurtintbel@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Чередников Игорь Иванович, аспирант кафедры технологии машиностроения, инженер-технолог. E-mail: cherednikovya@gmail.com. ООО «СКИФ-М», Россия, 308009, Белгород, ул. Волчанская, д. 159

Мамченкова Анастасия Александровна, аспирант кафедры технологии машиностроения. E-mail: mamchenkova03@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Чуев Кирилл Витальевич, аспирант кафедры технологии машиностроения. E-mail: kirill.chuev@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Бондаренко Антон Александрович, аспирант кафедры технологии машиностроения. E-mail: mamchenkova03@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 16.04.2024 г.

© Хургасенко А.В., Чередников И.И., Мамченкова А.А., Чуев К.В., Бондаренко А.А., 2024

²*Khurtasenko A.V.*, ¹**Cherednikov I.I.*, ²*Mamchenkova A.A.*, ²*Chauuev K.V.*, ²*Bondarenko A.A.*
¹ООО «СКИФ-М»

²Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

*E-mail: cherednikovya@gmail.com

ASSESSMENT OF WEAR AND DESTRUCTION OF SOLID CARBIDE CUTTERS DURING MILLING OF HARDENED STEEL 4X5MF1C WITH A HARDNESS OF 52 HRC

Abstract. The main problem when milling hardened steel is its high hardness and uneven hardening of the workpiece, which exposes the cutting tool to cyclic loads during the cutting process. The ultrahigh temperatures created in the primary and secondary shear zones significantly accelerate various types of wear of hard alloy cutting tools, especially adhesive and diffusion wear. The most common and main cause of tool failure is brittle fracture. This paper presents a study of the influence of geometric parameters of the cutting part of the end mill, wear-resistant coating, chemical composition and grain size of a hard alloy on the degree of various types of wear and destruction during milling of hardened steels. The parameters of the tool were studied, such as the wear-resistant coating, the microstructure of the hard alloy, the angle of inclination of the cutting edge, the front and rear corners of the cutting edge. The grain size and chemical composition of the hard alloy were studied and analyzed using an electron microscope and energy dispersive spectrometry. The thickness of the wear-resistant coating was measured by the ball abrasion method using a coating thickness gauge. After the tests, conclusions were drawn about the influence of the alloy's grain size, chemical composition and the widespread type of wear

Keywords: milling of hardened steel, milling of hard alloy, wear, fracture, wear resistance.

REFERENCES

1. Kayhan M., Budak E., An experimental investigation of chatter effects on tool life. Journal of

Engineering Manufacture. 2009. № 11. Pp. 1455–1463. DOI: 10.1243/09544054JEM1506

2. Kaye J.E., Yan D.H., Popplewell N., Balakrishnan S. Predicting tool flank wear using spindle speed change. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 1995. № 9. Pp. 1309–1320. DOI: 10.5937/fmet1903430N
3. Lin T.R., Experimental design and performance analysis of TiN-coated carbide tool in face milling stainless steel. *Journal of Materials Processing Technology*. 2002. №127. Pp. 1–7. DOI: 10.1016/S0924-0136(02)00026-2
4. Yamada T., Aoki S., Kitaura Y., Tanaka Y., Hayasaki H. High speed cutting performance of (Al, Ti) N coated carbide end mills for hardened steels. *International Journal of Materials Science and Applications*. 1997. №5. Pp. 486–489.
5. Childs T., Maekawa K., Obikawa T., Yamane Y. *Metal Machining: Theory and Applications*. Arnold Publishers, 2000. 118 p.
6. Tashlitsky N.I. Features of wear of a carbide tool during intermittent cutting [Osobennosti iznashivaniya tverdospavnogo instrumenta pri prery`vistem rezanii]. *Bulletin of Mechanical Engineering*. 2005. No. 7. Pp. 55–56. (rus)
7. Zhigalov A. N., Sheleg V. K., Investigation of the effect of aerodynamic hardening on the durability of a carbide tool during intermittent cutting [Issledovanie vliyaniya aerodinamicheskogo uprochneniya na stojkost` tverdospavnogo instrumenta pri prery`vistem rezanii]. *Mashinostroenie*. 2018. No. 5. Pp. 37–48 (rus)
8. Jing L., Chen M., An Q. Study on Performance of PVD AlTiN Coatings and AlTiN-Based Composite Coatings in Dry End Milling of Hardened Steel SKD11. *Metals*. 2021. No. 12. Pp. 110–116. DOI: 10.3390/met11122019
9. Aslantas K., Hopa H.E., Percin M. Cutting performance of nanocrystalline diamond (NCD) coating in micro-milling of Ti6Al4V alloy. *Precision Engineering*. 2016. No. 45. Pp. 55–66. DOI: 10.1016/j.precisioneng.2016.01.009
10. Koller C.M., Glatz S.A., Riedl H., Kolozsvári S., Polcik P., Bolvardi H., Mayrhofer P.H. Structure and Mechanical Properties of Architecturally Designed Ti-Al-N and Ti-Al-Ta-N-Based Multilayers. *Surface and Coatings Technology*. 2020. No. 5. Pp. 210–222. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2020.125355
11. Zhang H.J., Sun C. Liua M. Analysis of the optimization of tool geometric parameters for milling of Inconel 718. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. № 1. Pp. 253–259. DOI: 10.1088/1757-899X/423/1/012030
12. Gong Zhao J., Ni X. Wear and breakage of coated carbide tool in milling of H13 steel and SKD11 hardened steel. *SN Applied Sciences*. 2019. № 1. Pp. 1–12. DOI: 10.1007/s42452-019-1152-6
13. Mutafyan L.A. The phenomenon of impact during intermittent cutting and its effect on the nature of tool wear [Yavlenie udara pri prery`vistem rezanii i ego vliyanie na xarakter protekaniya iznosa instrumenta]. *News of TULSU. Technical sciences*. 2015. No. 5-2. Pp. 73–78. (rus)
14. Bazhenov M.F., Baichman S. G., Karpachev D.G. *Hard alloys [Tverdy`e splavy`]*, 1978. 184 p. (rus)
15. Devin L.N., Guba A.G., Osipov A.I. Determination of the energy characteristics of the destruction of hard alloys under dynamic loading [Opredelenie energeticheskix xarakteristik razrusheniya tverdy`x splavov pri dinamicheskom nagruzhении] // *Bulletin of NTU KHPI*. 2005. Pp. 142–149. (rus)
16. Gordovenko M.A., Mikhnev M.M. Study of increasing the durability of monolithic carbide end mills manufactured by JSC ISS with a wear-resistant coating [Issledovanie povy`sheniya stojkosti monolitny`x tverdospavnny`x koncevy`x frez proizvodstva AO "ISS" s iznosostojkim pokry`tiem]. *Reshetnev readings*. 2017. Vol. 1. No. 21. Pp. 485–487. (rus)
17. Tabakov V.P., Smirnov M.Yu., Tsikin A.V. Operability of end mills with multilayer wear-resistant coatings [Rabotosposobnost` torczovy`x frez s mnogoslojny`mi iznosostojkimi pokry`tiyami], 2005. 151 p. (rus)
18. Samoilov V.S., Eichmans E.F., Falkovsky V.A., Loktev A.D., Shkurin Yu.P. *Metalworking carbide tools [Metalloobrabaty`vayushhij tverdospavnny`j instrument]*, 1988. 368 p. (rus)
19. Korotkov M.T. Measurement of impact loads on the tool blade during intermittent cutting [Izmerenie udarny`x nagruzok na lezvie instrumenta pri prery`vistem rezanii]. *Metalworking*. 2001. No. 1. Pp. 72–74. (rus)
20. ISO 8688-2:1989 (en) Tool life testing in milling – Part 2: End milling [Electronic resource]. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8688:-2:ed-1:v1:en> (date of access: 11.01.2024).

Information about the authors

Khurtasenko, Andrey V. PhD. Khurtasenko, Andrey V. PhD. E-mail: hurtintbel@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Cherednikov, Igor I. Postgraduate student. E-mail: cherednikovya@gmail.com. LLC SKIF-M, Russia, 308009, Belgorod, Volchanskaya str., 159

Mamchenkova, Anastasia A. Postgraduate student. E-mail: mamchenkova03@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Chuev, Kirill V. Postgraduate student. E-mail: kirill.chuev@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Bondarenko, Anton A. Postgraduate student. E-mail: mamchenkova03@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 16.04.2024

Для цитирования:

Хуртасенко А.В., Чередников И.И., Мамченкова А.А., Чуев К.В., Бондаренко А.А. Оценка изнашивания и характер разрушений цельных твердосплавных фрез при фрезеровании закаленной стали 4X5MФ1С твердостью 52 HRC // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №6. С. 81–92. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-81-92

For citation:

Khurtasenko A.V., Cherednikov I.I., Mamchenkova A.A., Chuev K.V., Bondarenko A.A. Assessment of wear and destruction of solid carbide cutters during milling of hardened steel 4X5MF1C with a hardness of 52 HRC. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 6. Pp. 81–92. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-81-92