

УДК 621.91.02

Методика расчета характеристик изнашивания твердосплавных режущих инструментов

Грубый Сергей Витальевич

grusv_16@bmstu.ru

SPIN-код: 8423-5670

Карельский Александр Сергеевич

askarel@bmstu.ru

SPIN-код: 7364-0383

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Разработана методика для расчета показателей изнашивания, износа и стойкости для сборных твердосплавных резцов, в том числе для сменных многогранных пластин с износостойкими покрытиями. Для аппроксимации твердости покрытия как функции температуры использованы полиномиальные уравнения и сплайны. Получены расчетные зависимости износа задней поверхности инструмента как функции времени обработки на примере обработки заготовок из коррозионностойкой стали. Изучено влияние толщины покрытия, скорости резания, подачи инструмента. Расчетные стойкостные зависимости использованы для выбора режимных параметров обработки.

Ключевые слова: метод, расчет, параметры, износ, стойкость, износостойкое покрытие, полиномиальное уравнение, сплайн

Methodology for calculating wear characteristics of carbide cutting tools

Grubyi Sergey Vitalievich

grusv_16@bmstu.ru

SPIN-code: 8423-5670

Karelskiy Aleksandr Sergeevich

askarel@bmstu.ru

SPIN-code: 7364-0383

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. The methodology for calculating wear indicators, wear, and tool life is recommended for assembled carbide cutters, including indexable polyhedral inserts with wear-resistant coatings. Linear equations, polynomial equations, and splines were used to approximate the hardness of the coating as a function of temperature. Calculated dependencies of the tool's rear surface wear as a function of machining time were obtained for workpieces made of corrosion-resistant steel. The influence of coating thickness, cutting speed, and tool feed rate was studied. The calculated durability dependencies were used to select machining process parameters.

Keywords: method, calculation, parameters, wear, tool life, wear-resistant coating, polynomial equation, spline

Введение. На предприятиях машиностроения, аэрокосмического комплекса для оснащения операций механической обработки деталей различного назначения широко используют сборные твердосплавные инструменты со сменными многогранными пластинами (СМП). Износостойкие покрытия на СМП позволяют повысить эффективность производства за счет увеличения режимных параметров обработки, прежде всего скорости резания. Режимные параметры для СМП с износостойкими покрытиями назначают, исходя из условий операции и характеристик обрабатываемого материала, руководствуясь прежде всего рекомендациями инструментальных фирм — изготовителей инструментов. В условиях научно-исследовательских лабораторий представляется возможным уточнить значения режимных параметров, используя расчетные методики и проверочные эксперименты. Поэтому целью исследования является разработка методики для расчета показателей изнашивания, износа и стойкости сборных твердосплавных резцов, в том числе с износостойкими покрытиями.

Процесс резания и изнашивания инструмента является объектом управления и рассмотрен как управляемый детерминированный целенаправленный процесс, характеризующийся известной целью управления, достижение которой возможно через закономерное изменение во времени управляемых (режимных) параметров. Принято также принципиальное положение о нелинейности и нестационарности моделей, характеризующих этот процесс в широком диапазоне изменения факторов и в течение времени работы инструмента. В качестве фазовой координаты, характеризующей состояние процесса изнашивания, принята величина площадки износа (величина износа) по задней поверхности инструмента. Тогда изменение износа инструмента h_z , мм, сведено к рекуррентному соотношению (1):

$$h_{z,j+1} = h_{zj} + I_{nt,j} \cdot \Delta_\tau; \quad j = 1, 2, \dots, N-1, \quad (1)$$

где $I_{nt,j}$ — скорость изнашивания инструмента, мм/мин, как функция величины износа, режимных и других параметров; Δ_τ , мин — дискретное значение по времени обработки, определяет число точек управления.

Проблема обеспечения управления режимными параметрами сводится к математическому описанию функции скорости изнашивания инструмента, критериев, ограничений, а также к выбору и адаптации математических методов оптимизации применительно к соотношению (1). Общий концептуальный замысел заключается в использовании уравнений, характеризующих скорость изнашивания инструментов, для последовательного описания процесса во времени и автоматизированного расчета режимных параметров. Разработана методика для расчета скорости изнашивания инструмента, реализованная на примере сборных резцов с твердосплавными сменными многогранными пластинами, в том числе с износостойкими покрытиями.

Основываясь на общих закономерностях адгезионного изнашивания, выделены основные действующие факторы процесса: контактное давление, ско-

рость трения, твердость изнашиваемой поверхности. Обобщая действие этих факторов, в работах [1–3] для расчета скорости изнашивания применен обобщенный параметр, интегрально характеризующий условия и процесс резания — отношение скорости резания v , м/с, к твердости по Виккерсу изнашиваемой поверхности инструмента HV, МПа, как функции температуры резания T_p , °C:

$$x = v / HV(T_p). \quad (2)$$

Для обработки конструкционных сталей предложены степенные уравнения в двух диапазонах, устанавливающие связь скорости изнашивания задней поверхности инструмента с обобщенным параметром x :

$$I_{nt} = \begin{cases} 23,92 x^{0,98}; & 1,85 \cdot 10^{-5} \leq x < 1,4 \cdot 10^{-4}; \\ 8,9 \cdot 10^5 x^{2,16}; & 1,4 \cdot 10^{-4} \leq x < 5,65 \cdot 10^{-4}. \end{cases} \quad (3)$$

Материалы и методы. Твердосплавные инструменты с износостойкими покрытиями находят широкое применение на различных операциях механической обработки, а рекомендации по применению и режимным параметрам отражены в литературных источниках, в частности [4–6]. По результатам данных по твердости износостойких покрытий, приведенных в работах [7, 8], для аппроксимации значений твердости HV, МПа, от температуры T_p , °C, предложено использовать полином 6-й степени общего вида:

$$HV = b_1 + b_2 T_p + b_3 T_p^2 + b_4 T_p^3 + b_5 T_p^4 + b_6 T_p^5 + b_7 T_p^6. \quad (4)$$

Значения коэффициентов полиномиального уравнения (4) для рассмотренных износостойких покрытий приведены в статье [3]. Вместе с тем, практическое использование полиномиального уравнения (4) может привести к значительным погрешностям при расчетах в связи с малыми значениями коэффициентов $b_1, b_4 - b_7$. Тогда эти же исходные данные могут быть аппроксимированы кубическим сплайном [3].

Значения износа по задней поверхности в направлении вектора скорости h_{zi} , мм, и радиального износа h_{ri} , мм, рассчитаны дискретно:

$$h_{zi} = h_{zn} + \sum_{i=1}^n i d_{h_z} \text{ при } h_{zi} \leq h_{z\max}; \quad h_{ri} = h_{zi} \cdot \sin \alpha, \quad (5)$$

где $h_{zn} = 0,02$ мм — начальное значение; $d_{h_z} = 0,01$ — дискретное значение, определяет число расчетных точек на кривой износа; α — задний угол.

Период резания вычисляли как сумму приращений времени, соответствующих увеличению износа на величину d_{h_z} : $\tau = \sum_{i=1}^n d_{h_z} / I_{nti}$.

Стойкость при максимальном износе $h_{z\max} = 0,1$ мм соответствует накопленному времени $T = \tau$. При выполнении условия $h_{ri} < m$ скорость изнашивания I_{nii} , мм/мин, рассчитана по твердости износостойкого покрытия, где m — толщина покрытия, мм. Если радиальный износ больше толщины покрытия $h_{ri} > m$, принимали твердость основы по линейному уравнению: $HV = 13448,14 - 8,69 \cdot T_p$, T_p — температура резания, °C.

Для условий обработки заготовки из коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т сборным резцом с СМП формы WNUM–100412 (главный угол в плане $\varphi = 90$ град) на рис. 1 приведены зависимости, характеризующие влияние толщины покрытия AlCrN со значениями $m = 0,005$; $0,01$; $0,02$ мм в сравнении с СМП без покрытия $m = 0$. Скорость изнашивания существенно возрастает для условий резания, когда радиальный износ становится больше, чем толщина покрытия. На приведенных графиках это значение радиального износа соответствует износу в направлении скорости резания $h_z = 0,04$ или $h_z = 0,08$ мм. При толщине $m = 0,02$ мм износ происходит только в пределах покрытия.

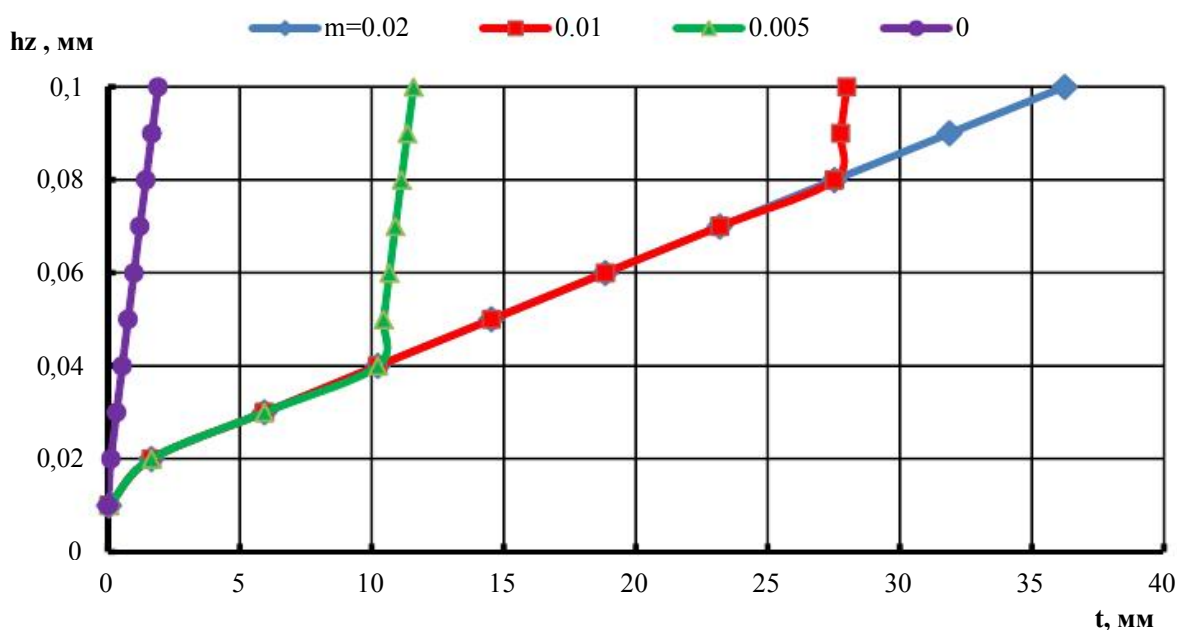


Рис. 1. Кривые износа для различной толщины покрытия AlCrN, скорость резания $v = 130$ м/мин, глубина $t = 2$ мм, подача $s = 0,3$ мм/об

Расчетные кривые износа могут быть обобщены стойкостными зависимостями на графиках «стойкость — скорость резания» по критерию равного максимального износа $h_{z\max} = 0,1$ мм, например для различного состава покрытий одинаковой толщины $m = 0,01$ мм в сравнении с СМП без покрытия (рис. 2).

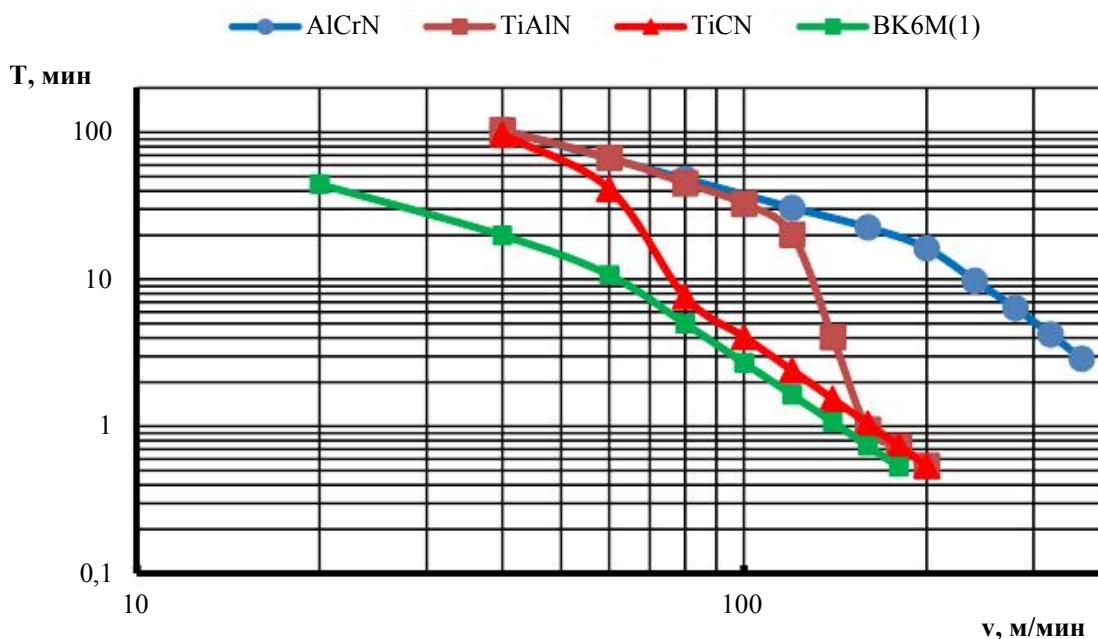


Рис. 2. Стойкостные зависимости для различных покрытий и твердого сплава BK6M без покрытия при максимальном износе 0,1 мм, глубина резания $t = 2$ мм, подача $s = 0,3$ мм

Закключение. Основными переменными, влияющими на скорость изнашивания инструмента, определены скорость резания и температурная твердость инструментального материала. Влияние температуры на твердость износостойких покрытий может быть аппроксимирована полиномиальным уравнением или кубическим сплайном. Приращение износа по времени рассчитано по скорости изнашивания, которая существенно различается для износостойкого покрытия и твердосплавной основы. Радиальный износ инструмента не должен превышать толщины покрытия. Увеличение стойкости резцов с СМП с износостойкими покрытиями по сравнению с СМП без покрытий при точении заготовок из коррозионностойкой стали более значимо для относительно больших скоростей резания. Методика расчета износа и стойкости рекомендована для выбора режимных параметров обработки и может быть распространена на различные виды и области применения твердосплавных инструментов.

Список источников

- [1] Грубый С.В. *Оптимизация процесса механической обработки и управление режимными параметрами*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014, 149 с.
- [2] Грубый С.В. *Расчет параметров и показателей процесса резания*. Москва, Инфра-Инженерия, 2020, 192 с.
- [3] Грубый С.В. Развитие методики расчета показателей изнашивания сборных твердосплавных резцов. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2024, № 7, с. 46–54.
- [4] Верещака А.С., Григорьев С.Н., Табаков В.П. Методические принципы создания функциональных покрытий нового поколения в инструментальном производстве. *Инженерный журнал*, 2011, № 12, с. 13–22.

- [5] Верещака А.С. *Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями*. Москва, Машиностроение, 2012, 336 с.
- [6] Верещака А.С., Аникеев А.И., Дачева А.В. Повышение эффективности резания труднообрабатываемых материалов с применением инструмента с наноструктурированным износостойким покрытием. *Технология машиностроения*, 2010, № 3, с. 17–22.
- [7] Samir K. Khrais Y.J. Lin. Wear mechanisms and tool performance of TiAlN PVD coated inserts during machining of AISI 4140 steel. *Wear*, 2007, vol. 262, pp. 64–69.
- [8] Lin Y.-J., Agrawal A., Fang Y. Wear progressions and tool life enhancement with AlCrN coated inserts in high-speed dry and wet steel lathing. *Wear*, 2008, vol. 264, pp. 226–234.