

Метод за оценка на режещите свойства на инструменталните материали по критерий технологична себестойност

Стефан Велчев

Abstract: A new method is proposed for assessment of the cutting properties of new tool materials and of tool materials, that are processed using various methods for improvement of their properties. The method is based on the minimum production cost.

The assessment is performed by an effectiveness factor, defined as the ratio of the minimum production cost, obtained by machining with a standard tool material and the evaluated tool material, taking into consideration the costs for improving its cutting properties.

Keywords: cutting properties, tool material, effectiveness factor, minimum production cost

ВЪВЕДЕНИЕ

Едно от основните направления за усъвършенстване на процеса на рязане е разработването на нови видове и марки инструментални материали и методи за подобряване на режещите им свойства чрез хромиране, цианиране, износоустойчиви покрития, йонна имплантация, електроискрова обработка и др.

За да се установи доколко са ефективни разработваните нови инструментални материали и методите за подобряване на режещите им свойства, е необходимо да се прилагат подходящи методи за оценка. Поради многобройните изследвания в това основно направление, трудно и обемисто е да се направи преглед на методите за оценка на всеки конкретен случай, затова накратко ще се разгледат критериите за оценка на различни износоустойчиви покрития върху твърдосплавни пластини, нанасяни по различни начини.

Най-често като критерий за оценка се използва трайността на инструментите без и с различни покрития при струговане на даден обработван материал при определен режим на рязане и приет критерий на износване по задната повърхнина (например [4], [5]). Предлага се за оценка и тъй наречения „индекс на работоспособност на инструмента с покритие“ CTE-index (Coated Tool Efficiency index) [7]:

$$CTE = T_{coated} / T_{uncoated} \quad (1)$$

където T_{coated} и $T_{uncoated}$ са трайности при дадени условия на рязане на инструмент с покритие, съответно без покритие.

Като критерий са използвани и кривите на износване на инструменти без и с различни покрития, за които са изведени регресионни уравнения [6], както и пътя на рязане до достигане на даден критерий на износване при постоянни условия [8].

Използването на опитните зависимости „скорост на рязане – трайност на инструмента“ е създало възможност CTE-индекса да се изчислява при различни скорости на рязане и да се получи по-добра оценка на различни покрития [2].

Подобни методи за оценка се прилагат както за нови инструментални материали, така и за различни методи за подобряване на режещите им свойства. Основен недостатък на тези методи за оценка е, че се получават различни резултати при други обработвани материали и други режими на рязане. Освен това всеки прилаган метод за подобряване увеличава цената на инструменталния материал, а това не се отчита. Може да се окаже, че увеличаването на трайността, съответно на скоростта на рязане при дадена трайност, да е таково, че намалените разходи от машинно време да не компенсират достатъчно увеличените разходи за инструменти.

Пръв опит да се оценят режещите свойства (работоспособността) на твърдосплавни многоръбови пластини от различни производители по технологична себестойност е направен в [3]. Сравнението обаче, е направено при постоянен режим на рязане, а по-точно би било технологичната себестойност да се определя

при оптимален режим на рязане, съответстващ на икономичната трайност на инструментите.

Настоящата работа се явява продължение и развитие на тази идея. Целта е да се разработи метод за оценка на режещите свойства, който да важи, както за нови инструментални материали, така и за материали, подлагани на различните методи за подобряване на режещите им свойства, основан на минималната технологична себестойност на обработването.

1. Коефициент на ефективност

Предлаганият метод за оценка режещите свойства на инструменталните материали се основава на пресмятането на коефициент, наречен коефициент на ефективност, определян по формулата:

$$K_{eff} = C_{min_e} / C_{min}, \quad (2)$$

където C_{min} и C_{min_e} са минималните технологични себестойности на обработването с оценявания инструментален материал, съответно с инструменталния материал, приет за еталон.

Ако $K_{eff} > 1$, оценяваният инструментален материал има по-добри режещи свойства от еталонния, а ако $K_{eff} < 1$, тези му свойства са по-лоши.

Минималната технологична себестойност на обработването с оценявания инструментален материал се определя по известна формула, която при приетите означения на величините според [1], има вида:

$$C_{min} = \frac{K_o}{1 - m_v} \cdot E \cdot T_c^{m_v}, \quad (3)$$

а с еталонния инструментален материал –

$$C_{min_e} = \frac{K_{oe}}{1 - m_{ve}} \cdot E \cdot T_{ce}^{m_{ve}}, \quad (4)$$

където E са разходите за труд и начисления, BGN/min,

T_c и T_{ce} - икономичните трайности на оценявания, съответно на еталонния инструментален материал, min;

m_v и m_{ve} - показатели на относителна трайност в приведената към скорост на рязане формула на Тейлор за двата инструментални материала;

K_o и K_{oe} - коефициенти, постоянни за дадени условия на рязане за всеки от двата материала.

Тези коефициенти се определят при струговане по формулите [1]:

$$K_o = \frac{\pi \cdot D \cdot L}{10^3 C'_v \cdot f}; \quad K_{oe} = \frac{\pi \cdot D \cdot L}{10^3 C'_{ve} \cdot f}, \quad (5)$$

където D е диаметър на обработваната повърхнина, mm;

L - дължина на работния ход в направление на подавателното движение; mm;

f - подаване, mm/rev.

Коефициентите C'_v и C'_{ve} могат да се изразят от разширената формула на Тейлор, приведена към скоростта на рязане.

Тези формули трябва да са определени за даден обработван материал чрез провеждане на опитни изследвания по известни методики. При струговане за двата инструментални материала те са от вида

$$v_c = \frac{C_v}{T^{m_v} \cdot a_p^{x_v} \cdot f^{y_v}}, \quad (6)$$

$$v_{ce} = \frac{C_{ve}}{T^{m_{ve}} \cdot a_p^{x_{ve}} \cdot f^{y_{ve}}},$$

от където $C'_v = \frac{C_v}{a_p^{x_v} \cdot f^{y_v}}$; $C'_{ve} = \frac{C_{ve}}{a_p^{x_{ve}} \cdot f^{y_{ve}}}$. (7)

Икономичната трайност на инструментите от двата инструментални материала се определя по известната формула:

$$T_c = \left(\frac{1}{m_v} - 1 \right) (t_c + S_t / E), \quad (8)$$

$$T_{ce} = \left(\frac{1}{m_{ve}} - 1 \right) (t_c + S_{te} / E), \quad (9)$$

където S_t и S_{te} са цените на един режещ ръб на инструмента от оценявания инструментален материал, съответно – от еталонния материал.

t_c - времето за смяна на износения инструмент.

Прилагането на някои от методите за подобряване на режещите свойства на оценявания инструментален материал е свързано с допълнителни разходи. Следователно $S_t > S_{te}$ или това може да се изрази чрез коефициент, отчитащ увеличените разходи (оскъпяването):

$$K_s = S_t / S_{te} \text{ или } S_t = S_{te} \cdot K_s \quad (10)$$

Тогава икономичната трайност на инструмента от сравнявания инструментален материал е

$$T_c = \left(\frac{1}{m_v} - 1 \right) \left(t_c + K_s \frac{S_{te}}{E} \right). \quad (11)$$

След заместване K_o от форм. (5) при отчитане на форм. (7) за C'_v и T_c от форм. (11) във форм. (3), както и K_{oe} от форм. (5) при отчитане на форм. (7) за C'_{ve} и T_{ce} от форм. (9) във форм. (4) се получават разширени формули за C_{\min} и $C_{\min e}$. След заместването им във форм. (2) и след преобразуване, за пресмятане на коефициента на ефективност се получава следната зависимост:

$$K_{eff} = K_v \cdot M_v \cdot a_p^{x_{ve}-x_v} \cdot f^{y_{ve}-y_v} \cdot \frac{(t_c + S_{te} / E)^{m_{ve}}}{(t_c + K_s \cdot S_{te} / E)^{m_v}}, \quad (12)$$

където $K_v = C_v / C_{ve}$

$$M_v = \frac{(1 - m_v)(1 / m_{ve} - 1)^{m_{ve}}}{(1 - m_{ve})(1 / m_v - 1)^{m_v}}.$$

В частен случай, при $a_p = const$ и $f = const$, формулата за коефициента на ефективност има вида:

$$K_{eff} = K_v' \cdot M_v \frac{(t_c + S_{te} / E)^{m_{ve}}}{(t_c + K_s \cdot S_{te} / E)^{m_v}}, \quad (13)$$

където $K_v' = C_v' / C_{ve}'$ от $v_c = C_v' / T^m$ и $v_c = C_{ve}' / T^{m_v}$.

От получените формули се вижда, че коефициентът на ефективност зависи от вида и физико-механичните свойства на обработвания материал, елементите на режима на рязане, технико-икономическите и организационни условия на обработването. Следователно той трябва да се определя за всеки конкретен случай на обработване или да се търсят условия и област на приложение, в която сравнявания инструментален материал има по-голяма ефективност.

2. ЧИСЛЕНА ИЗСЛЕДВАНЕ

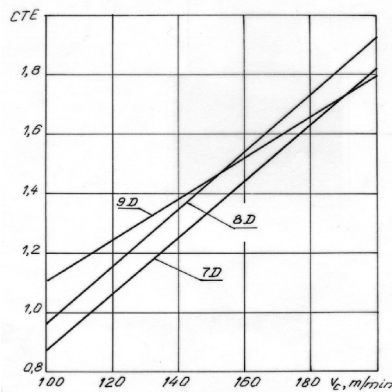
Целта на изследването е да се установи за някой конкретен случай количествено зависимостта между коефициента на ефективност K_{eff} и коефициента на увеличаване на разходите за подобряване на режещите свойства на инструменталните материали. Използвани са данни от експериментални изследвания на зависимостта между скоростта на рязане и трайността на твърдосплавни пластини P10 без и с покрития от TiC и TiN с различен брой слоеве [2]. Опитите са провеждани при вариране на скоростта на рязане при стругане на стомана 17Г2САФ в интервала от 100 до 200 m/min. Резултатите след обработването на данните, получени от това изследване като най-добри, са дадени в табл.1 [2], а на фиг. 1 са показани зависимостите на СТЕ-индекса от скоростта на рязане при различни варианти на покрития.

Табл. 1

№	Вариант-покритие	C_v'	m_v
1.	Без покритие	516	0,28
2.	D7 – TiC / TiN	985	0,40
3.	8D- TiC / TiN / TiC	965	0,39
4.	9D- TiC / TiN / TiC / TiN	802	0,35

Установява се, че СТЕ-индекса силно зависи от скоростта на рязане. При скорост на рязане $v_c = 120$ m/min трайността се увеличава в сравнение с пластина без покритие при вариантите 7D, 8D и 9D съответно 1,06, 1,15 и 1,25 пъти, а при скорост на рязане $v_c =$

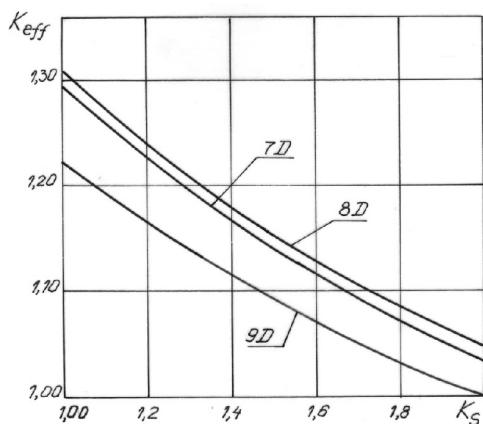
200 m/min - съответно 1,82, 1,92 и 1,79 пъти.



Фиг. 1. Зависимости на СТЕ – индекса от скоростта на рязане при различни варианти на износоустойчиви

Зависимостите на коефициента на ефективност от коефициента на увеличаване на разходите за пластините с покрития – варианти 7D, 8D и 9D, са изчислени по формули (13) при използване на същите данни и са представени графично на фиг.2. Приети са средни стойности на времето $t_c = 3 \text{ min}$ и на $S_{te}/E = 10 \text{ min}$, при които се получава икономична трайност на пластините без покритие $T_{ce} \approx 30 \text{ min}$. По-добри режещи свойства, оценявани по този метод, има пластината с покритие, която при дадена стойност на увеличените разходи има по-голям коефициент на ефективност- в случая покритието вариант 8D.

Ако ефективността на покритията трябва да се оцени с СТЕ-индекса (фиг.1), трудно може да се определи кой от вариантите 8D или 9D е по-добър. Ако се сравнят вариантите на покрития при дадена стойност на коефициента K_s , например при $K_s = 1,4$, т.е. разходите за нанасяне на покритията са увеличили цената на пластината с 40 %, то коефициентът на ефективност за вариантите 7D, 8D и 9D е съответно $K_{eff} = 1,18; 1,19; 1,12$, т.е. технологичната себестойност е по-малка с 18 %, 17 % и 12 % в сравнение с пластина без покритие. Ако цената на пластината с покритие нарастне 2 пъти ($K_s = 2$), ефектът от намаляване на технологична себестойност и за трите варианта на покритие в случая е незначителен. При $K_s > 2$ за вариант 9D, коефициентът $K_{eff} < 1$ или ефектът е отрицателен. Тези констатации са валидни за дадения обработван материал и приетите стойности на дълбочината на рязане и подаването при трайностните изследвания, както и на



Фиг. 2. Влияние на коефициента на разходите върху коефициента на ефективност при различни варианти на износостойчиви покрития

приетите технико-икономически условия (t_c, E, S_{te}, K_s). При други условия коефициентът K_{eff} може да има други стойности, следователно може да се търсят условия, при които той да има по-големи стойности при даден коефициент K_s или да

се определя подходяща област на приложение на оценявания инструментален материал, но затова са необходими допълнителни изследвания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен е нов метод за оценка на режещите свойства на нови инструментални материали и на инструментални материали, подлагани на различни методи за подобряването им, основан на получаваната минимална технологична себестойност.

Получена е формула за пресмятане на коефициента на ефективност, дефиниран като отношение на минималните технологични себестойности, получавани при обработване с инструментален материал, приет за еталон, и с оценявания материал, за който се отчитат увеличените разходи за подобряване на режещите му свойства.

Чрез конкретен пример, отнасящ се за оценка на износоустойчиви покрития на твърдосплавни пластини, са показани предимствата на предлагания метод в сравнение с прилагането на СТЕ-индекса, определен като отношение на трайности при дадени условия на рязане. Оценката посредством предлагания коефициент на ефективност е по-комплексна и по-точна.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Велчев, С. Българо-английски речник - справочник по рязане на материалите. Русе, ЕТ «НИКИ-Ивайло Начев», 2009, 142 с.

[2] Захаријева, В. Многослойни, твърди, износоустойчиви покрития на титанова основа, получени чрез магнетронно разпръскване, Дисертация за ОНС «доктор», Русе, Русенски университет «А. Кънчев», 2008, 165 с.

[3] Христов, Х., Киров, К. Оценка на работоспособността на режещи пластини при струговане на бързорежещи стомани. // Науч. тр., РУ «А. Кънчев» - Русе, т.44, 2005, №2, с. 316-320.

[4] Dobrzanski, L. A., Golombek, K., Mikula, J., Pakula, D. Cutting ability improvement of coated tool materials. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 2006, 17, 41-44.

[5] Golombek, K., Dobrzanski, L. A. Hard and Wear resistance coatings for cutting tools. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 2007, vol. 24 (2), 107-110.

[6] Sokovic, M., et al. Cutting properties of the $Al_2O_3+SiC_{(w)}$ based tool ceramic reinforced with the PVD and CVD wear resistant coatings. J. Mater. Process. Technol. 2005, 164-165, 924-929.

[7] Sokovic, M., M., Barisic, B., Sladic, S. Model of quality management of hard coatings on ceramic. J. Mater. Process. Technol., 2009, 209, 4207-4216.

[8] S u Y.L., et al. Tribological characteristics and cutting performance of $Cr_{x\%}C$ -coated carbide tools. J. Mater. Process. Technol., 2004, 153-154, 699-706.

За контакти:

Проф. д-р инж. Стефан Димитров Велчев, Катедра "Технология на машиностроенето и металоурежещи машини", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 451, e-mail: svelchev@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.