

МЕТОДИ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА ИЗНОСОУСТОЙЧИВОСТТА НА РЕЖЕЩИТЕ ИНСТРУМЕНТИ

Ивилина Стайкова, Ирина Александрова, Христиан Митев*

Технически университет - Габрово, Х. Димитър 4, Габрово, България

**Кореспондиращ автор: hristian_mitev@abv.bg*

METHODS INCREASING CUTTING TOOLS DURABILITY

Ivilina Staykova, Irina Aleksandrova, Hristian Mitev*

Technical University of Gabrovo, H. Dimitar 4, Gabrovo, Bulgaria

**Corresponding author: hristian_mitev@abv.bg*

Abstract

The requirements of modern mechanical engineering impose a constant need to reduce production costs and increase productivity. One of the solutions is the creation of new tools operating with increased cutting modes - higher feed rates and cutting speeds. Improving existing tools, in order to improve operating modes, is also a widely used technique to achieve the increasingly high requirements of modern production. A number of options are being implemented to increase the corrosion resistance, thermal stability and wear resistance of cutting tools by modifying the surface layers, with a number of advantages observed when using combinations of modifications.

This article reviews the methods for improving the durability of cutting tools with a view to an upcoming study of the possibility of using combinations of surface modifications.

Keywords: modified surface layers, PVD and CVD coatings, increasing durability, cutting tools

ВЪВЕДЕНИЕ

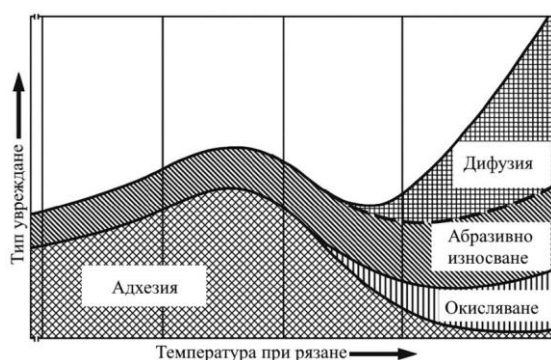
При работа режещите инструменти са подложени на интензивно износване на работните им повърхности, особено при рязане на труднообработваеми материали. Основна причина за износването на инструментите е триенето, което се генерира при контакта между инструмента и детайла, като води до голямо количество отделена топлина и до абразивно износване [1]. Друга причина е корозията, представляваща самопроизволно разрушаване на повърхността на металите в резултат на физико-химичното им взаимодействие с околната среда и смазочно-охлаждащи вещества. Режещите инструменти трябва да бъдат силно устой-

чиви на корозия и абразивно износване поради спецификата на работната среда.

Тенденцията за подобряване на износостойчивостта на режещите инструменти с цел повишаване на производителността и стабилността на процесите на обработка е постоянна и е свързана с високите изисквания на съвременното машиностроене. Някои подходи за повишаване на производителността на процесите на обработка включват минимизиране на смазването, високоскоростно рязане и обработване на твърди материали [2]. Наблюдават се повишаване на температурата и на работните режими на рязане. Температурата в работната зона може да бъде значително по-висока

при обработване на материали с ниска топлопроводимост.

Повредите, причинени от повишаването на температурата, са различни. Механизмите на термично разграждане, като дифузия и окисление, са доминиращи при разрушителните за работната част на режещите инструменти процеси. И четирите механизма на повреда съществуват в повърхността на режещия инструмент, като ефектът им, в зависимост от температурата при рязане, е илюстриран на фиг. 1. [3].



Фиг. 1. Механизми на разрушаване на инструмента [3]

Поради физикомеханичните характеристики на обработваните материали често срещан ефект е термичното натоварване да бъде приложено в по-голямата си част в режещия инструмент. По тази причина може да се приеме, че всички разрушителни ефекти, представени на фиг. 1, се пораждат в резултат от взаимодействието между инструмента и детайла или на инструмента и околната среда [4].

С цел удължаване на живота на инструментите и подобряване на качеството на обработените детайли се прилагат редица техники за модифициране на работните повърхности на режещите инструменти. Тези техники имат за цел да осигурят на режещите инструменти по-добра устойчивост на външни натоварвания, по-добри трибологични характеристики и по-добра химична стабилност [1].

Добре известно е, че материалите, използвани за производството на различни

видове режещи инструменти, са специализирани за специфични условия на работа и имат различни основни свойства. Например бързорежещите стомани се характеризират с високи якостни свойства, но имат относително ниска твърдост и топлоустойчивост, докато твърдосплавните материали и керамиката имат висока твърдост и топлоустойчивост, но ниски якостни свойства. Следователно, разработването на съвременни решения за повишаване на износоустойчивостта на режещите инструменти, работещи при различни условия на рязане, чрез използването на различни методи за покритие и модификация на повърхностните слоеве е много важна задача в инструменталното производство. Значително предимство на методите за покритие и модификация е, че те могат да се прилагат лесно към съществуващи и утвърдени в обработващите процеси инструменти, при които други подобрения в повечето случаи вече не са възможни [5].

В статията е направена класификация на методите за повишаване на износоустойчивостта на режещи инструменти от различни инструментални материали, като е акцентирано върху предимствата и приложението на износоустойчивите покрития.

ИЗЛОЖЕНИЕ

В съвременното инструментално производство широко приложение са намерили редица методи за подобряване на качеството на работните повърхнини на режещите инструменти. Най-често използваните методи за модифициране на повърхностните слоеве на режещите инструменти са [6]:

- навъглеродяване (цементация);
- азотиране;
- бориране;
- сулфидиране;
- карбонитриране;
- електроискрова обработка;
- криогенна термообработка;
- нанасяне на износоустойчиви покрития върху работните повърхнини

на инструментите.

Навъглеродяването е процес на повърхностно повишаване на твърдостта, при който структурата се обогатява с въглерод чрез нагряване в твърда или газообразна среда, съдържаща източници на въглерод. Атомите на въглерода проникват във вътрешните слоеве, създавайки закалена и по-устойчива на износване повърхност. Процесът на навъглеродяване обикновено е последван от закаляване и отпускане за постигане на желаните механични свойства. Широко се прилага в технологични процеси за производство на инструменти за обемно формование, подложени на високи натоварвания [6].

При процеса на азотиране металът се обогатява с азот, който прониква във вътрешността и образува твърди нитридни съединения. Азотирането може да бъде газово, йонно или плазмено. Газообразни смеси като амоняк (NH_3) или азот (N_2) се превръщат в железен нитрид (Fe_3N) или титанов нитрид (TiN). Плазмата, необходима за осъществяване на процеса, се генерира чрез прилагане на високочестотно електрическо поле към газовата среда, като азотните атоми реагират с металите, образувайки нитридни слоеве [6].

Процесът бориране е подобен на азотирането, но структурата се насища с бор. Най-често, като източници на бор се използват борен нитрид (BN) или борен амид (B_2H_6). Процесът може да бъде осъществен в газова, или течна среда. Железният борид (FeB) или титановият борид (TiB_2) показват висока твърдост, изнosoустойчивост и химическа инертност. Те могат също така да подобрят устойчивостта на високи температури и окисление и да удължат експлоатационния живот на режещия инструмент [6].

Сулфидирането (реакцията на металните молекули със сяра) и карбонитрирането (метод, който комбинира ефектите на азотирането и карбуризирането) също са широко използвани методи за модифициране на повърхностния слой в

редица приложения. Йонната имплантация (въвеждането на йони с помощта на електрическо поле) се използва често в производството, тъй като позволява структурна модификация чрез образуване на нови съединения или примесни фази. Подходяща е за метали, полимери, керамика и стъкло [6].

При електроискрова обработка повърхността на режещия инструмент е изложена на високочестотни импулси, което води до образуването на тънък модифициран слой. Процесът използва високочестотен искров разряд между електрода и детайла. В резултат на полученото напрежение частиците от електрода се изпаряват, а техните атоми и йони се пренасят върху повърхността на инструмента [6].

Покритията са уникален начин за едновременно повишаване на устойчивостта на контактните зони на инструмента на износване и намаляване на термичните и механичните напрежения, които предизвикват това износване. Анализът на изискванията към покритията показва, че в най-голяма степен на тези изисквания отговарят многослойните композитни покрития със слоеве с различно функционално предназначение. Този факт обяснява тенденцията за разработване от водещи производители на режещи инструменти на покрития от най-ново поколение, базирани на многослойна композитна архитектура [7]. За практическо прилагане на концепцията за многослойни композитни функционални покрития, съдържащи адхезивен подслой, изнosoустойчиви и междинни бариерни слоеве, всеки от които има определено функционално предназначение [2, 8 - 11], е разработена технология за синтез на покрития, базирана на вакуумно-дъгова обработка [12].

При разработването на сложни покрития трябва да се вземат предвид няколко важни особености:

- невъзможно е да се създаде универсално покритие за всички видове приложения, тъй като повърхностните свой-

ства трябва да са различни за всеки конкретен вид механизъм на износване на инструмента;

- многослойните покрития са много сложни и технологията за нанасянето им трябва да бъде разработена подробно;

- необходимо е специално промишлено оборудване.

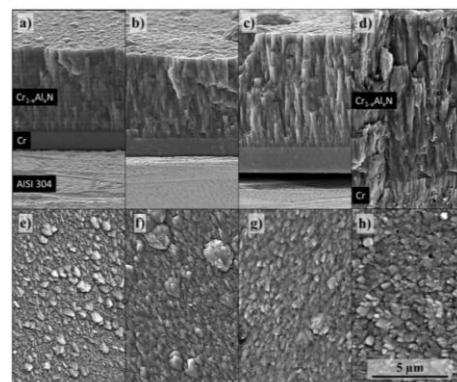
Нанасянето на твърдо покритие върху повърхността на инструмента значително променя характера на процеса на триене. Основната област на приложение на твърдите покрития е за предотвратяване на адхезионното износване на режещите инструменти, но те могат да се използват и за повишаване на устойчивостта на инструментите на умора и абразивно износване [13]. От голямо значение при избора на покрития са топлопроводимите им свойства.

Прилагането на твърди защитни покрития, нанесени чрез CVD (химическо отлагане от пари) и PVD (физическо отлагане от пари) методи, допринася за значително повишаване на производителността на съвременните процеси на рязане [14–16]. Тези методи са едни от най-модерните и широко използвани методи за нанасяне на покрития в инструменталното производство. Използването на твърди защитни покрития от TiC, TiN, TiCN, TiAlN, Al₂O₃, ZrCN, ZrN, диамант и др. е подходящ метод за защита на инструментите от повреди от околната среда, износване и корозия. Такива покрития могат да генерират защитни вторични съединения (най-често оксиди) върху работната повърхност, които имат подобри трибологични свойства в сравнение със самото покритие [17]. На фиг. 2 е представена структурата на многослойни PVD наноструктури от Cr_{1-x}Al_xN, нанесени при различни честоти.

Инструменталният материал с износоустойчиво покритие може да се разглежда като композит с балансирано съотношение на свойствата твърдост, топлоустойчивост и жилавост.

Изборът на кристалохимични, механични, термични и физични свойства на

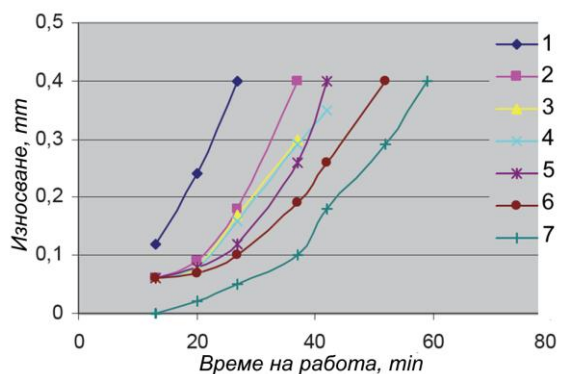
покриващия материал, както и на неговата структура, начин на изграждане и параметри трябва да се извършва, като се вземе предвид двойствената природа на покритията като междинна технологична среда между инструменталния и обработвания материал.



Фиг. 2. Структура на напречните сечения и на горната повърхност на многослойни PVD покрития, получени при различни честоти: a, e – 200 Hz; b, f – 300 Hz; c, g – 400 Hz; d, h – 500 Hz [17]

Съвременните методи за модифициране на повърхностните слоеве повишават в голяма степен трайността на режещите инструменти и позволяват значително завишаване на режимите на рязане. Този похват води до намаляване на времетраенето на производствените процеси и увеличава тяхната производителност.

На фиг. 3. е представено изменението на износването на инструменти от минералокерамика с различни модификации на повърхностните слоеве [5]. Проведено е изследване, като са разгледани различни комбинации от работни варианти. Изследването представя ефекта на повишаване на трайността на режещия инструмент, постигнат чрез модифициране на повърхностните слоеве. Сравнението на резултатите, постигнати при термообработени образци с нанесени покрития, показва повишаване на трайността на режещия инструмент до 2.5 пъти, спрямо инструмент в начално състояние. Данните са отчетени при едни и същи условия на работа.



1 – начално състояние; 2 – след термична обработка (ТО); 3 – след ТО и Ti покритие; 4 – след ТО и покритие от Ti + TiN; 5 – след ТО и Zr покритие; 6 – след ТО и покритие от Zr + ZrN върху C пластина; 7 – след ТО и покритие от Zr + ZrN върху R пластина

Фиг. 3. Износване на инструменти от минералокерамика (марка ВОК – 60) с различни модификации на повърхностните слоеве [5]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализът на методите за повишаване на износоустойчивостта на режещи инструменти показва, че комбинирането на два или повече от два метода за повърхностно модифициране на работните повърхнини на режещи инструменти, като азотиране, навъглеродяване, криогенни обработки, повърхностно-пластична деформация, PVD, CVD покрития и др. може да осигури повишаване на работоспособността на режещите инструменти.

Резултатите обаче за режещи инструменти с различни конструкции и от различни инструментални материали са специфични, което предполага провеждането на конкретни изследвания при избор на оптимален тип модификация на инструмента.

Това изследване е подкрепено от Европейския фонд за регионално развитие в рамките на оперативна програма „Програма за изследвания, иновации и дигитализация за интелигентна трансформация 2021-2027“, проект № BG16RFPR0021.014-0005, Център за компетентност „Интелигентна мехатроника, еко- и енергоспестяващи системи и технологии“.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Chen Y, Wang J, Chen M. Enhancing the machining performance by cutting tool surface modifications: a focused review. *Machining Science and Technology* 2019; 23(3):477–509. <https://doi.org/10.1080/10910344.2019.1575412>
- [2] Adaskin AM, Vereshchaka AA, Vereshchaka AS. Study of Wear Mechanism of Hard Alloy Tools during Machining of Refractory Alloys. *Journal of Friction and Wear* 2013; 34 (3): 208–213.
- [3] Bobzin K. High-performance coatings for cutting tools. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 2017; 18: 1-9, ISSN 1755-5817.
- [4] Wainstein D, Kovalev A. Tribooxidation as a Way to Improve the Wear Resistance of Cutting Tools. *Coatings* 2018; 8: 223.
- [5] Vereshchaka A, Vysotskiy V, Mokritskiy B, Sablin P, Tekhnologicheskii Protsessy Povysheniya Proizvoditelnosti Metallovezhuchego Instrumenta. *Komsomol'sk na Amure* 2013. ISBN 978-5-7765-1006-9.
- [6] <https://traiv-komplekt.ru/articles/metody-povysheniya-stoykosti-rezhushchego-instrumenta>
- [7] Vereshchaka AA, Volosova MA, Grigoriev SN, Vereshchaka AS. Development of wear-resistant complex for high-speed steel tool when using process of combined cathodic vacuum arc deposition. *Procedia CIRP* 2013; 9: 8-12.
- [8] Peterson MP, Winner WQ. *Wear Control Handbook*, ASME, New York, 1980, p.475.
- [9] Fox-Rabinovich GS. *Scientific Principles of Material Choice for Wear — Resistant Cutting Tools and Dies from the Point of View of Surface's Structure Optimization*. Doctor of Material Science Degree Thesis, Moscow, VNIIGT, 1993, 24 p.
- [10] Fox-Rabinovich GS, Kovalev AI, Afanasyev SN. Characteristic features of wear in tools made of high-speed steels with surface engineered coatings. *Wear* 1996; 201: 38-44
- [11] Schulz H, Dörr J, Schulze M, Leyendecker T. Way to Improve the Wear Resistance of Cutting Tools. *Surf. Coat. Technol.* 2001; 132–139: 378–386
- [12] Vereshchaka AA, Vereshchaka AS, Migrantov M. The study wear resistance of the modified surface cutting tool. *Applied Me-*

- chanics and Materials 2014; 548-549: 417-421.
- [13] Bushe NA. Tribo-Engineering Materials, Practical Tribology, World Experience. Series International Engineering Encyclopedia, Vol. 1, Science & Technique Centre, 1994, 21-29.
- [14] Schulz H, Dörr J, Rass IJ, Schulze M, Leyendecker T, Erkens G. Performance of oxide PVD-coatings in dry cutting operations. Surf. Coat. Technol. 2001; 146–147: 480–485.
- [15] Pilkington A, Dowey SJ, Toton JT, Doyle ED. Machining with AlCr-oxinitride PVD coated cutting tools. Tribol. Int. 2013; 65: 303–313.
- [16] Makino Y, Nose M, Tanaka T, Misawa M, Tanimoto A, Nakai T, Kato K, Nogi K. Characterization of Ti(NxOy) coatings produced by the arc ion plating method. Surf. Coat. Technol. 1998; 98: 934–938.
- [17] Pedro A, Pereira da Silva E, Rodrigues AM, Aristizabal K, Pineda F, Coelho R, García J, Soldera F, Walczak M, Pinto H. On manufacturing multilayer-like nanostructures using misorientation gradients in PVD films. Scientific Reports 2019; 9. doi: 10.1038/s41598-019-52226-1.