

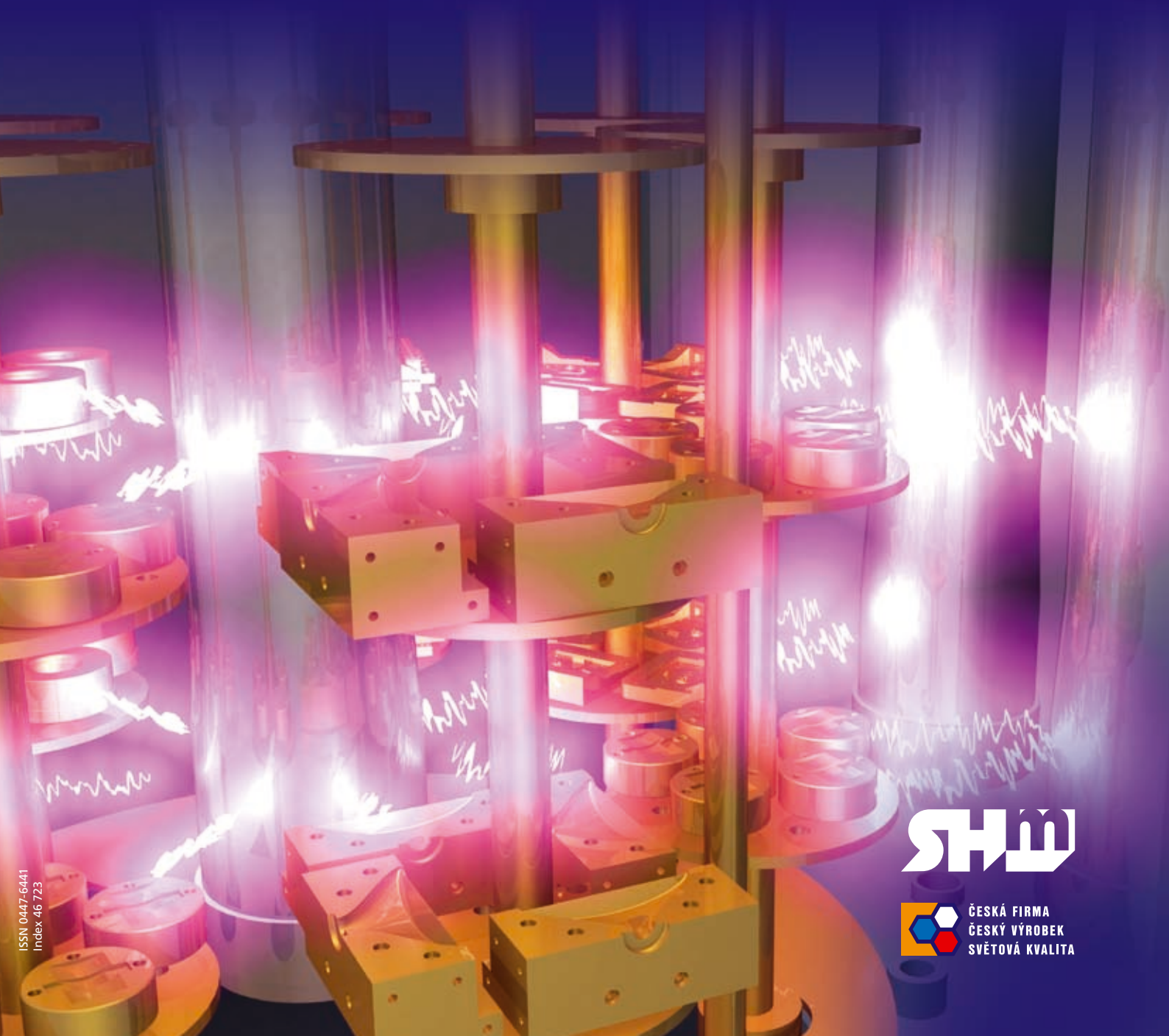
4
2006

JMO

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

FINE MECHANICS AND OPTICS

**PVD vrstvy MARWIN[®], ALWIN[®], LUBRIK
pro výkonné nástroje**



ISSN 0447-6441
Index 46 723

SHW



ČESKÁ FIRMA
ČESKÝ VÝROBEK
SVĚTOVÁ KVALITA



VÝROBCE PVD POVLAKŮ



NABÍDKA PVD POVLAKŮ

Název výrobku	Charakteristika	Název výrobku	Charakteristika
 MARWIN SI	Nanokompozitní vrstva tvořená TiAlSiN	 LUBRIK SI	Nanokompozitní vrstva tvořená TiAlSiN a zakončená kluznou vrstvou s obsahem oxidů a uhlíku
 MARWIN G	Vrstva tvořená gradientní vrstvou TiAlN	 LUBRIK G	Vrstva tvořená gradientní vrstvou TiAlN a zakončená kluznou vrstvou s obsahem oxidů a uhlíku
 MARWIN TiN	TiN	  ALWIN	Vrstvy na bázi chromu s vysokým obsahem hliníku

ORIENTAČNÍ DOPORUČENÍ PVD POVLAKŮ PRO VAŠI APLIKACI

Materiál	Oblast	Substát	Vrtání	Frézování	Závitování	Vystružování	Tváření, stříhání
ocel	P M	HSS	MARWIN G, ALWIN	MARWIN G, ALWIN	LUBRIK G, MARWIN TiN	MARWIN G, MARWIN SI	LUBRIK G, LUBRIK SI
		HM	MARWIN SI, MARWIN G	MARWIN SI, MARWIN G	LUBRIK SI	MARWIN SI, MARWIN G	LUBRIK SI, MARWIN SI
litina	K	HSS	MARWIN G	MARWIN G	LUBRIK G	MARWIN G	---
		HM	MARWIN G, MARWIN SI	MARWIN G, MARWIN SI	MARWIN SI, LUBRIK SI	MARWIN SI	---
Al, Al slitiny	N	HSS	LUBRIK G	LUBRIK G	LUBRIK G	LUBRIK G	LUBRIK G
		HM	LUBRIK SI	LUBRIK SI	LUBRIK SI	LUBRIK SI	LUBRIK SI
ostatní neželezné kovy	N	HSS	ALWIN	ALWIN	ALWIN	ALWIN	ALWIN
		HM	LUBRIK SI	LUBRIK SI	LUBRIK SI	LUBRIK SI	LUBRIK SI
superslitiny	S	HSS	---	---	---	---	---
		HM	MARWIN SI	MARWIN SI	LUBRIK SI, MARWIN SI	MARWIN SI	
kalená ocel	H	HSS	---	---	---	---	---
		HM	MARWIN SI, MARWIN G	MARWIN SI, MARWIN G	MARWIN SI, MARWIN G	MARWIN SI, MARWIN G	---

REDAKČNÍ RADA

Předseda: RNDr. Miloslav VYCHODIL, CSc., Meopta-optika, a.s., Přerov

Členové: RNDr. Ing. Ján BARTL, CSc., ÚM SAV, Bratislava, doc. Dr. RNDr. Zdeněk BOUCHAL, UP, Olomouc, Ing. Igor BREZINA, Bratislava, Ing. Jan DUPÁK, CSc., ÚPT AV ČR, Brno, prof. Ing. Pavol HORŇÁK, DrSc., STU, Bratislava, Ing. Libor HOVORKA, H & H hodinářská s.r.o., Nové Město nad Metují, prof. RNDr. Miroslav HRABOVSKÝ, DrSc., SLO UP a FZÚ AV ČR, Olomouc, RNDr. Vladimír CHLUP, Olomouc, RNDr. Lubomír JASTRABÍK, CSc., FZÚ AV ČR, Praha, RNDr. Karol KAROVIČ, DrSc., Předsednictvo SAV, Bratislava, RNDr. Pavel KLENOVSKÝ, Český metrologický institut, Brno, RNDr. Josef KRÁSA, CSc., FZÚ AV ČR, Praha, Ing. Jiří KRŠEK, VUT, Brno, RNDr. Vojtěch KŘESÁLEK, CSc., UTB, Zlín, Ing. Jan KŮR, Mesing, spol. s r.o., Brno, doc. Ing. Martin LIBRA, CSc., ČZU, PRAHA, prof. RNDr. Miroslav LIŠKA, DrSc., VUT, Brno, RNDr. Zdeněk LOŠŤÁK, Meopta-optika, a.s., Přerov, doc. Ing. Petr LOUDA, CSc., TU, Liberec, Ing. Vladimír MATELA, Meopta-optika, a.s., Přerov, prof. RNDr. Jan PEŘINA, DrSc., UP, Olomouc, prof. Ing. Jaromír PIŠTORA, CSc., VŠB - TU, Ostrava, prof. RNDr. Ing. Jaroslav POSPÍŠIL, DrSc., UP, Olomouc, Jan ŘÍDKÝ, CSc., FZÚ AV ČR, Praha, RNDr. Dagmar SENDERÁKOVÁ, CSc., UK, Bratislava, prof. Ing. Karel STUDENOVSKÝ, DrSc., ČVUT, Praha, prof. RNDr. Anton ŠTRBA, CSc., UK, Bratislava

Gerd HÄUSLER, Lehrstuhl für Optik, Universität Erlangen - Nürnberg, Erlangen (Germany), Michael J. LALOR, Liverpool John Moores University, U. K.; Paul RAUSNITZ, TCI New York, U. S. A.; Gisbert O. SCHAUER, Sylvania Lighting International, Erlangen, Germany; Rodney J. SOUKUP, University of Nebraska-Lincoln, U. S. A.; M. C. TEICH, Boston University, U. S. A.; Emil WOLF, University of Rochester, U. S. A.

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

Vydává Fyzikální ústav Akademie věd České republiky za spoluúčasti The International Society for Optical Engineering (SPIE/CS) v Nakladatelství Fyzikálního ústavu Akademie věd České republiky.

Ředitel FZÚ AV ČR: Ing. Karel JUNGWIRTH, DrSc.

Odpovědný zástupce vydavatele: Jan ŘÍDKÝ, CSc.

Šéfredaktor: dipl. tech. Jaroslav NEVŘALA

Adresa redakce v Olomouci (předplatné, nakladatelské služby):

SLO UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc,
tel.: 585 631 576, fax: 585 631 531, e-mail: pelclova@optnw.upol.cz

Adresa redakce v Přerově (šéfredaktor): Kabelíkova 1, 750 02 Přerov,
tel.: 581 242 151, mobil: 776 011 925, fax: 581 242 222.

Otisk povolen se svolením redakce a se zachováním autorských práv. Nevyžádané materiály se nevrací. Za původnost a správnost příspěvků odpovídají autoři.

Předplatné: Celoroční 420,- Kč/rok. Ceny jsou jednotné pro Českou i Slovenskou republiku. Do všech ostatních zemí je časopis JMO distribuován za jednotnou cenu 10 EUR/ks. Pro členy SPIE/CS činí předplatné 120,- Kč/rok. Předplatné pro studenty Bc., Mgr., Ph.D. a studenty středních škol při osobním odběru činí 120 Kč/rok; v případě zaslání poštou 300,- Kč/rok.

Rozšiřuje vydavatel, Podniková prodejna Meopta-optika, a.s., Přerov, Kabelíkova 1, 750 02 Přerov a KNIHKUPECTVÍ ACADEMIA, Václavské nám. 34, 110 00 Praha 1.

V Slovenské republice je kontaktní místo: prof. RNDr. Anton Štrba, CSc., katedra experimentální fyziky FMFI UK, Mlynská dolina F2/148, SK - 842 48 Bratislava, tel.: 00421 2 65 426 706, e-mail: Strba@fmph.uniba.sk

V Slovenské republice rozšiřuje a objednávky přijímá:

prof. Ing. Ivo Čáp, CSc., Žilinská univerzita - FPV, Hurbanova 15, SK - 010 26 Žilina, tel.: +421 415 136 350, e-mail: ivo.cap@fpv.uts.sk

Tiskne TYPOservis Holešov, Masarykova 650, 769 01 Holešov, tel.: 573 398 746, e-mail: dtp@typoservis.cz

Inzerce: redakce, Kabelíkova 1, 750 02 Přerov, tel.: 581 242 151, mobil: 776 011 925, fax: 581 242 222.

Odborné články jsou lektorovány.

© JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA 2006

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

VĚDECKO-TECHNICKÝ ČASOPIS
ROČNÍK 51 4/2006

OBSAH

SHM, s.r.o. – profil společnosti (P. Holubář)	95
PVD technologie přípravy ořezvzdorných a kluzných vrstev v průmyslových podmínkách (T. Cselle, P. Holubář, M. Jílek, M. Růžička, M. Šíma, O. Zindulka)	96
Vliv PVD čištění na strukturu povrchu slinutého karbidu (O. Zindulka)	113
13. mezinárodní strojírenský veletrh (jpe)	115
Růst krystalů kovů metodou visuté zonální tavby s optickým ohřevem (P. Lejček, J. Kopeček)	116
SPIE/CS – společnost optiků informuje	119
Obnovitelné zdroje energie jsou podporovány (M. Libra)	120
Osvětlení pracovních míst (P. Horňák)	121
15. seminář „Měřicí technika pro kontrolu jakosti“ (I. Brezina)	123

Obsah časopisu Jemná mechanika a optika je uveden na internetu: <http://jmo.fzu.cz>

Informace o předplatném podá, objednávky přijímá, objednávky do zahraničí vyřizuje: SLO UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: 585 223 936, fax: 585 631 531.

Cena čísla 40 Kč včetně DPH

ADVISORY BOARD

Chairman: Miloslav VYCHODIL - Meopta-optika, a.s., Přerov (Czech Rep.)

Members: Ján BARTL - Inst. of Measurement Science Slovak Academy of Sciences, Bratislava (Slovak Rep.), Zdeněk BOUCHAL - Palacky Univ. (Czech Rep.), Igor BREZINA - Bratislava (Slovak Rep.), Jan DUPÁK - Inst. of Scientific Instruments of Czech Academy of Science, Brno (Czech Rep.), Pavol HORNÁK - Slovak Tech. Univ., Bratislava (Slovak Rep.), Ing. Libor HOVORKA, H & H hodinářská s.r.o., Nové Město nad Metují, Miroslav HRABOVSKÝ - Joint Lab. of Optics of Palacky Univ. and Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Olomouc (Czech Rep.), Vladimír CHLUP - Olomouc (Czech Rep.), Lubomír JASTRABÍK - Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Karol KAROVIČ - Presidium of the Slovak Academy of Science, Bratislava (Slovak Rep.), Pavel KLENOVSKÝ - Czech Metrology Inst., Brno (Czech Rep.), Josef KRÁSA - Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Jiří KRŠEK - Tech. Univ., Brno (Czech Rep.), Vojtěch KŘESÁLEK - Tomas Bata Univ. in Zlín (Czech Rep.), Ing. Jan KŮR, Mesing, spol. s r.o., Brno (Czech Rep.), Martin LIBRA - Czech Univ. of Agric., Praha (Czech Rep.), Miroslav LIŠKA - Tech. Univ., Brno (Czech Rep.), Zdeněk LOŠTÁK - Meopta-optika, a.s., Přerov (Czech Rep.), Petr LOUDA - Tech. Univ., Liberec (Czech Rep.), Vladimír MATELA - Meopta-optika, a.s., Přerov (Czech Rep.), Jan PEŘINA - Palacky Univ., Olomouc (Czech Rep.), Jaromír PIŠTORA - Tech. Univ., Ostrava (Czech Rep.), Jaroslav POSPÍŠIL - Palacky Univ., Olomouc (Czech Rep.), Jan ŘÍDKÝ - Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Dagmar SENDEŘÁKOVÁ - Comenius Univ., Bratislava (Slovak rep.), Karel STUDENOVSKÝ - Czech Tech. Univ., Praha (Czech Rep.), Anton ŠTRBA - Comenius Univ., Bratislava (Slovak Rep.),

Gerd HÄUSLER, Lehrstuhl für Optik, Universität Erlangen - Nürnberg, Erlangen (Germany), Michael J. LALOR, Liverpool John Moores University, U. K.; Paul RAUSNITZ, TCI New York, U. S. A.; Gisbert O. SCHAUER, Sylvania Lighting International, Erlangen, Germany; Rodney J. SOUKUP, University of Nebraska-Lincoln, U. S. A.; M. C. TEICH, Boston University, U. S. A.; Emil WOLF, University of Rochester, U. S. A.

FINE MECHANICS AND OPTICS

Published by Institute of Physics Academy of Sciences of the Czech Republic under participation of The International Society for Optical Engineering (SPIE/CS) in the Publishing House of the Institute of Physics of the Academy of Sciences of the Czech Republic.

Director of Institute of Physics, Academy of Sciences of the Czech Republic: Karel JUNGWIRTH

Editor: Jan ŘÍDKÝ

Managing Editor: Jaroslav NEVŘALA

Address of the Editor's office in Olomouc (subscription, publisher services): SLO UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, Czech Republic, phone: ++420 585 631 576, fax: ++420 585 631 531, e-mail: pelclova@optnw.upol.cz

Address of the Editor's office in Přerov (Managing Editor): Kabelíkova 1, 750 02 Přerov, Czech Republic.

Reproduction only with permission of the Editor and under observing the copyright. Unasked manuscripts are not sent back. The authors are responsible for originality and correctness of their contributions.

Subscription fee: Annual fee is 420,- CZK. This price of subscription is the same for both Czech and Slovak Republics. Fine Mechanics and Optics journal is distributed into other countries for uniform price 10 EUR/Pcs. For members of SPIE/CS the annual subscription fee is 120,- CZK. For Bc., Mgr., Ph.D. and secondary school students the subscription fee is 120,- CZK per year, annual subscription including postage is 300,- CZK.

Distribution: by the Publisher, Company Sales shop of Meopta-optika, a.s., Přerov, Kabelíkova 1, 750 02 Přerov, Czech Republic.

Contact place for the Slovak Republic: Anton Štrba, Department of Experimental Physics, Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Comenius University, Mlynská dolina F2/148, SK - 842 15 Bratislava, phone: 00421 2 65 426 706, e-mail: strba@fmph.uniba.sk

Printing: TYPOServis Holešov, Masarykova 650, CZ-769 01 Holešov, phone: 573 398 746 (from abroad: ++420 573 398 746). e-mail: dtp@typoservis.cz

Advertising: editor's office, Kabelíkova 1, CZ-750 02 Přerov, fax: 581 242 222.

Papers are reviewed.

© FINE MECHANICS AND OPTICS 2006

FINE MECHANICS AND OPTICS

SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL
VOLUME 51 4/2006

CONTENTS

SHM s. r. o. - a company profile (P. Holubář).....	95
PVD technology preparation of abrasion-resistant and sliding layers in the industrial environment (T. Cselle, P. Holubář, M. Jílek, M. Růžička, M. Šíma, O. Zindulka).....	96
Influence of PVD cleaning on the sintered carbide surface structure (O. Zindulka).....	113
13th international engineering fair (jpe).....	115
Growth of Metallic Crystals by Floating-Zone Technique with Optical Heating (P. Lejček, J. Kopeček).....	116
SPIE/CS - society of opticians informs	119
Renewable energy sources advanced (M. Libra).....	120
Workplace illumination (P. Horňák).....	121
15th workshop "Measuring techniques for quality control" (I. Brezina).....	123

You can also find the contents of the Journal on Internet:
<http://jmo.fzu.cz>

Information on subscription rate and on ordering gives the SLO UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: 585 223 936, fax: 585 631 531.

Price for single copy: 40 Kč incl. VAT

SHM, s.r.o. – profil společnosti

Společnost SHM byla založena dvěma společníky panem Mojmírem Jílkem a Pavlem Holubářem v roce 1993. Jejím založení předcházela spolupráce obou obchodních partnerů ve výzkumu a vývoji u původního zaměstnavatele PRAMET Šumperk a vlastní vývoj zaměřený na přípravu supertvrdých otěruvzdorných vrstev. Hlavním podnikatelským záměrem nové společnosti byla příprava speciálních PVD vrstev. Při založení měla společnost 4 zaměstnance včetně obou společníků. První výrobní činností byla od roku 1993 příprava vodivých vrstev na keramické izolátory - společnost SHM se 6 let podílela na výrobě nových unikátních zapalovacích svíček do automobilů, které vyráběl vlastník českého patentu, firma BRISK Tábor. Vývoj PVD technologie přípravy těchto vrstev byl prvním velkým úspěchem nově založené společnosti, dosaženým v konkurenci českých i zahraničních výzkumných ústavů a komerčních firem.



Od roku 1994 byla zahájena příprava PVD otěruvzdorných vrstev TiN a TiAlN aplikovaných především na řezné nástroje. Vrstvy TiAlN byly v roce 1994 na trhu velmi krátce a objem jejich přípravy byl velmi skromný. Přesto se dal očekávat jejich výrazný nástup v následujících letech. Proto se nová společnost SHM zaměřila na průzkum veškerých dostupných informací o stavu výzkumu a vývoje v dané oblasti. Záměrem bylo pustit se méně probádanou cestou s větší nadějí na dosažení originálního řešení, ale také s větším rizikem. Motivací nakonec byly publikace čínského vědce profesora Li Shizhi. Ten prováděl experimenty s vrstvami na bázi TiN s přísadkou Si. SHM začala experimentovat se strukturou TiAlN s přísadkou křemíku.

V roce 1995 byla výrobně ověřena standardní tvrdá otěruvzdorná vrstva TiAlSiN s parametry na úrovni evropské špičky. Dosažené vlastnosti vrstev TiAlSiN byly překvapivě na velmi vysoké úrovni, a tak bylo nutné nalézt fyzikální vysvětlení. Opět díky literární rešerši byly nalezeny odkazy na práce profesora S. Vepřky z Mnichovské technické univerzity. Od roku 1996 byla zahájena úzká spolupráce s Technickou univerzitou v Mnichově, s prof. S. Vepřkem, který je autorem konceptu tvorby nanokompozitních vrstev, publikovaným v roce 1995. Soulad dosažených výsledků vrstev TiAlSiN s teoretickými a experimentálními předpoklady profesora Vepřky dokázal vysvětlit chování nového typu vrstev. SHM se tak stala první firmou na světě, která byla schopna připravovat v průmyslovém měřítku tzv. nanokrystalickou kompozitní vrstvu typu nc-(Ti_{1-x}Al_x)N/a-Si₃N₄. Nanokompozitní vrstvy dnes reprezentují novou generaci velmi tvrdých PVD vrstev s typickou charakteristikou jejich struktury – malé krystality o velikosti několika nanometrů jsou uloženy v amorfní matici, přičemž obě fáze

jsou nemísitelné. U vrstev, které byly poprvé připraveny v SHM představují krystalickou složku krystalaly TiAlN a amorfní složku Si₃N₄. Tvrdosti HV těchto vrstev přesahují hodnotu 40 GPa.

V témže roce 1995 byla ve firmě PRAMET (dnešní PRAMET TOOLS) zahájena výroba nové typové řady vyměnitelných břitvových destiček (VBD) s PVD povlakem nc-(Ti_{1-x}Al_x)N/a-Si₃N₄. PRAMET se tak stal první firmou na světě, která nabízela své řezné nástroje s nanokompozitním povlakem, který i v dnešní době patří stále k absolutní špičce v novinkách tvrdých otěruvzdorných vrstev. PRAMET TOOLS je největším a nejvýznamnějším zákazníkem společnosti SHM. Podílí se na vývoji vrstev speciálně určených pro aplikace na VBD a má tak nezastupitelnou roli v celém vývoji společnosti SHM. Příprava povlaků na VBD přesáhla za 11 let objem 13 mil. povlakovaných VBD.

Přes existenci výborné kooperace s exkluzivním zákazníkem se SHM snažila rozšířit oblast aplikací svých PVD povlaků. Díky neustálému vývoji a obchodnímu úsilí tak dnes pokrývá svými povlaky širokou škálu řezných, tvářecích a lisovacích nástrojů. Všechny nabízené povlaky jsou výsledkem vlastního vývoje. Tím si společnost SHM zachovává stále svou odlišnou nabídku s velmi vysokou kvalitou a konkurenceschopností.

Od konce roku 1998 začíná firma SHM nabízet novou řadu nanokompozitních PVD vrstev s obchodním označením MARWIN®.

V roce 1995 byla zahájena také výroba diamantových orovnávačů, jako doplňkového výrobního programu. I zde jsou uplatněny některé poznatky vlastního vývoje a zkušeností z předchozích let. Nabídka zahrnuje nejběžnější typy jednokamenových dia-orovnávačů.

V březnu roku 2002 založila SHM společně se švýcarskou firmou PLATIT AG firmu PIVOT a.s. se sídlem v České republice. Hlavním cílem nové firmy byl vývoj a výroba povlakovacích zařízení. Firma PLATIT nabízí v současné době na světovém trhu malá a střední povlakovací zařízení π80, μπ80, PL70 a π300, která firma PIVOT vyrábí. Za krátkou dobu své existence společnost PIVOT vyrobila a prodala více než 45 povlakovacích zařízení.

Hlavní technologický inovační prvek, který novou řadu povlakovacích zařízení typu „π“ prodává je založen na originální myšlence rotačních katod umístěných v centrální a boční pozici vzhledem k povlakovaným substrátům. Tento princip s využitím obloukové technologie odpařování byl vyvinut v SHM a je předmětem patentové ochrany. Povlakovací zařízení π80 jsou první komerční zařízení vhodná pro přípravu nanokompozitních vrstev.

Z profilu společnosti SHM je zřejmá vysoká orientace na výzkum a vývoj. To je pro malou komerční firmu velmi nákladný až luxusní koníček. Pro udržení vlastní podnikatelské filozofie orientované na výzkum a vývoj se musela společnost SHM zapojit do řady českých a mezinárodních projektů zaměřených na podporu výzkumu





i podnikání. Z historického přehledu těchto projektů je možné statisticky vyhodnotit, že za dobu 13 let bylo realizováno 15 projektů, že celkový rozpočet (včetně partnerů projektů) byl přes 600 mil. Kč, že celková dotace pro SHM dosáhla téměř 30 mil. Kč, a že do spolupráce bylo zapojeno více jak 30 partnerů z celé Evropy.

Společnost SHM vybudovala v roce 2004 nový závod v průmyslové zóně na okraji města Šumperk. Původní počet zaměstnanců se rozrostl na 50 a také dceřinná společnost PIVOT zaměstnává dalších téměř 30 kvalifikovaných zaměstnanců. V jarních měsících letošního roku založila SHM dceřinnou firmu SHM Slovakia. Tato firma bude nabízet všechny standardní služby povlakovacího centra na území Slovenska.

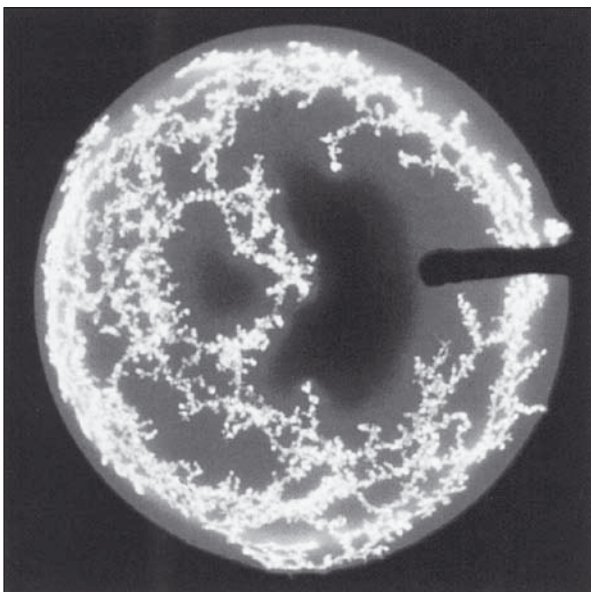
RNDr. Pavel Holubář
ředitel SHM, s.r.o.

SHM, s.r.o., Průmyslová 3, 787 01 Šumperk, tel.: +420 583 241 176, fax: +420 583 241 304, www.shm-cz.cz

Tibor CSELLE, PLATIT AG, Grenchen, Švýcarsko; Pavel HOLUBÁŘ, Mojmír JÍLEK, SHM, s.r.o., Šumperk
Milan RŮŽIČKA, PIVOT, Šumperk; Michal ŠÍMA, Ondřej ZINDULKA, SHM, s.r.o., Šumperk

PVD technologie přípravy otěruvzdorných a kluzných vrstev v průmyslových podmínkách

Význam povrchových úprav pro moderní průmysl je obecně velmi vysoký. Povrchové úpravy, které mohou zahrnovat „jen“ vzhledové povlaky či úpravy nebo naopak velmi funkční povrchy v oblasti optiky, elektroniky, obrábění, tváření, korozní či tepelné ochrany, jsou jedním z určujících odvětví výzkumu a vývoje, který přispívá k rozšiřování aplikací upravovaných substrátů či k nalezení jejich zcela nových aplikací. V následujícím článku je stručný a komplexní přehled o oblasti specifických PVD vrstev určených pro oblast řezných, tvářecích, střihacích, lisovacích a podobných nástrojů a případně pro oblast tribologických aplikací. Článek si nedělá nárok na vysokou vědeckou hodnotu, ale spíše na popisnost aktuálního stavu těchto technologií v podmínkách průmyslového využití a speciálně v podmínkách českého podniku střední velikosti.



Obr. 1 typická stopa obloukového výboje

ROZDĚLENÍ A HISTORIE POVLAČOVACÍCH METOD

Pro přípravu povlaků pro výše zmíněnou oblast aplikací se používají v principu dvě metody. Je to CVD metoda (Chemical Vapour Deposition) a PVD metoda (Physical Vapour Deposition). CVD využívá pro depozici směs chemicky reaktivních plynů (např. $TiCl_3$, CH_4 , $AlCl_3$, apod.) zahřátou na poměrně vysokou teplotu 900 – 1100 °C. PVD technologie jsou založeny na fyzikálních principech, odpaření nebo odprášení pevných materiálů (Ti, Al, Si, Cr, Zr...), ionizací a jejich následné nanesení na nástroje při teplotách nižších než 600 °C.

CVD procesy jsou široce využívány díky jejich univerzálnosti depozice a velmi širokému sortimentu prvků a materiálů, které mohou vytvářet vrstvy v rozsahu od amorfních až po epitaxní povlaky s vysokou čistotou a homogenitou. CVD proces může být definován jako proces, ve kterém jsou plynné složky, aktivované klasicky tepelně (CVD) nebo jinak (např. plazma, laser PA CVD atd.) zapuštěny do reakční komory do těsné blízkosti substrátů tak, aby reagovaly a tvořily pevný povlak na povrchu těchto substrátů. Hlavní aplikační pole je v elektronice a v ochranných vrstvách. Ve zmíněných řezných aplikacích jsou významně zastoupeny u vyměnitelných břitových destiček ze slinutého karbidu. Jinak je jejich použití v této oblasti omezeno právě vysokou teplotou depozice, která negativně ovlivňuje mechanické vlastnosti povlakovaných substrátů.

PVD proces v té nejjednodušší formě, nanášení čistých kovů pomocí tepelného odpařování výchozího kovu je využíván desítky let. PVD procesy pro přípravu velmi tvrdých funkčních vrstev mají však krátkou historii. Jejich počátky spadají do začátku sedmdesátých let. Snaha připravit tvrdé povlaky při teplotách vhodných pro nástroje z ocelí, vedla v bývalém Sovětském svazu k vývoji vakuových technologií, založených na odpařování titanu pomocí napětového oblouku a následné reakci v plazmatu dusíkových iontů. Tím byl zahájen stále trvající proces výzkumu a vývoje PVD technologií přípravy tvrdých otěruvzdorných vrstev pro průmyslové aplikace.

V dnešní době jsou nejrozsáhleji využívány dvě principiálně odlišné PVD technologie – magnetronové odprašování a odpařování, buď pomocí nízkonapětového oblouku nebo laserem. Výhody a nevýhody jednotlivých technik byly mnohokrát diskutovány a stále jsou předmětem někdy až vzrušených debat odborníků. Jedno je však jisté, všechny metody jsou průmyslově využívány. V oblasti přípravy povlaků na rezné nástroje pak dominují metody odpařovací a v oblasti tribologických vrstev zase odprašovací (nebo naprašovací). Mnohé z rozdílů dílčích metod byly za poslední léta vývoje smazány.

V našem článku se dále budeme zabývat PVD technologií založenou na odpařování pomocí nízkonapětového oblouku v její konkrétní modifikaci s využitím katod s rotačním uložením targetů a magnetického pole.

TECHNOLOGICKÝ CYKLUS POVLAČOVÁNÍ

Pokud máme získat přehled o komplexním moderním technologickém cyklu povlakování nástrojů či jiných dílců (obecně budeme používat „substrát“), nevyhne se mnoha detailům specifickým pro tuto oblast a přitom zdánlivě nesouvisjícím s meritem věci.

Celý cyklus můžeme rozčlenit následujícím způsobem – Úprava či příprava substrátů před povlakováním – Technologie povlakování – Úprava substrátů po povlakování – Kontrola či charakterizace povlaků – Aplikace. Pro zjednodušení bude popis úpravy substrátů po povlakování zahrnut v části o úpravách před povlakováním. V kapitole o technologii povlakování bude zahrnut i přehled současných moderních PVD vrstev.

TECHNOLOGIE ÚPRAV SUBSTRÁTŮ PŘED A PO POVLAČOVÁNÍ

Vlivy různých mezioperačních úprav nástrojů, případně vedlejší vlivy samotných technologií výroby nástrojů zůstávají často opomenuty v různých publikacích. Přitom mají zásadní vliv na úspěch povlakovaného substrátu.

Ve zjednodušeném příkladu výroby rezných nástrojů lze vysvětlit některé podstatné technologické jevy, které mají na funkci nástrojů významný vliv. Zjednodušený výrobní cyklus zahrnuje „výběr materiálu nástroje – vybroušení nástroje – následná úprava nástroje před povlakováním“.

Výběr materiálu nástroje má zásadní význam pro rozhodnutí jaké úpravy před povlakováním budou použity a jaká PVD technologie se zvolí. Podstatný rozdíl je především při volbě nástrojů z HSS či slinutého karbidu (HM). Rozdíly jsou v odolnosti zmíněných materiálů vůči vysokým teplotám, vůči chemickým procesům a vůči abrazivnímu otěru. Proto se volí jiné chemické metody v případě stahování starých povlaků a v mokřém čištění, volí se jiné metody mechanických úprav před povlakováním – kartáčování, omílání apod. a volí se jiné povlakovací teploty – u HSS do 450 °C, u HM do 600 °C. Sortiment např. HM materiálů je dnes velmi široký a vlastnosti jednotlivých typů HM jsou velmi rozdílné. I tomuto faktoru se musí přizpůsobit technologie chemických úprav nástrojů a případně i fáze iontového čištění nástroje již ve fázi cyklu povlakování.

Vybroušení nástroje resp. technologie broušení zahrnují stroj, brusný nástroj, chladicí kapalinu a způsob broušení, může ovlivnit následnou operaci povlakování ale i kvalitu samotného nástroje bez vlivu povlakování. Z pohledu vazby na následné povlakování nástroje lze hovořit o kvalitě broušeného břitů, o kvalitě

broušených ploch a o historii veškerých povrchových vlivů během výroby. Tím je míněn vliv chladících kapalin, obrusů případně následné konzervace. Z praktických důvodů je však znalost „historie nástroje“ v povlakovacích centrech malá, a proto se musí volit následné čisticí procesy univerzálně. To klade velké nároky především na mokré metody čištění. Kvalita břitů a broušených ploch je z pohledu povlakování velmi důležitá pro dobrou adhezi vrstvy. Pokud má břit či povrch ostré nerovnosti, dochází na nich k odlupování vrstev. Tento negativní jev lze eliminovat mechanickou úpravou břitů a povrchů. U HSS materiálů se jedná o prakticky běžné odjehlení, u HM materiálů lze hovořit o „rektifikaci“ břitů. Některá abraziva však mají velmi negativní vliv na následnou adhezi povlaků. Některé „nosiče“ jako např. plasty ulpívají v mikroskopických částech na nástroji a nelze je následnými běžnými čisticími metodami odstranit. Proto i vhodná volba abrazivního média a jeho nosiče jsou z pohledu povlakování zásadní.

Úprava nástrojů před povlakováním zahrnuje i běžné mokré čištění nástrojů a etapy fyzikálního iontového čištění v samotném PVD procesu. Součástí standardního čištění některých HM nástrojů je i pískování nebo jiná mechanická úprava, která má za cíl odstranění nečistot, nikoliv úpravu břitů. Všechny tyto standardní postupy mají za úkol zvýšit adhezi povlaků na nástrojích. V některých případech se volí i následná mechanická úprava po povlakování, která má za cíl snížit drsnost povrchu.



Obr. 2 povlakované HM frézy

STANDARDNÍ METODY ÚPRAV NÁSTROJŮ PŘED POVLAČOVÁNÍM

Odmaštění – odstranění konzervačních a jiných mastných látek z povrchů nástrojů se provádělo klasicky pomocí benzínu a petroleje. Dnes jsou tyto neekologické a nehygienické látky nahrazeny průmyslovými odmašťovacími prostředky na bázi ropných derivátů, ale s vlastnostmi odpovídajícími přísným ekologickým normám. Odmašťovací prostředky obsahují dearomatizované uhlovodíky a tenzidy bránící nadměrnému odpařování a zajišťujícími dobrou smáčivost. Odmaštění se provádí v běžně dostupných jednoduchých odmašťovacích zařízeních podle kapacitních potřeb či velikosti nástrojů.

Mokré čištění – kombinované metody využívající oplachy, tlakové oplachy, ultrazvuk, elektrochemické metody, vakuové sušení resp. odstředění resp. vyhřátí resp. odpaření těkavých kapalin.

Jako průmyslová zařízení jsou využívány mycí linky s několika samostatnými mycími a oplachovými vanami případně jednovanové systémy s automatickou výměnou jednotlivých technologických

lázní. Používají se většinou kapalně čistící prostředky, které se dávkovacím čerpadlem dodávají přímo do mycí lázně. Čištění probíhá v alkalickém prostředí – nejběžnější je čištění v roztocích obsahujících KOH či NaOH. Pro zvýšení odmašťovacího účinku mohou být kombinovány s malými přídávky tenzidů (smáčedel) popř. i kyseliny citronové či fosforečné.

V některých případech čistící linky kombinují v oddělených nádobách zásadité a kyselé prostředí, tím se může dosahovat zvýšeného čistícího účinku. Veškeré čistící lázně se provádí v roztocích s demineralizovanou vodou.

Po takto provedeném čištění následují oplachy, které však musí jak odstraňovat zbytky čistících lázní, tak i chránit očištěný povrch proti korozi pasivátorem. Pro účely povlakování nejlépe vyhovují pasivátory s krátkou dobou působení do 2 dnů. Pasivátory se kombinují s oplachovými lázněmi u nichž je naprosto nezbytné minimalizovat obsahy solí a jiných rozpuštěných látek ve vodě. Proto je nutné používat velmi čisté oplachové vody. Vodivost používaných demineralizovaných vod by se měla pohybovat v řádu desetin $\mu\text{S}/\text{cm}$. Takto zvolené prostředky krátkodobé ochrany nesmí negativně působit na adhezi připravovaných vrstev. Pasivátory mohou obsahovat neionogenní tenzidy, organické soli a alkoholy.

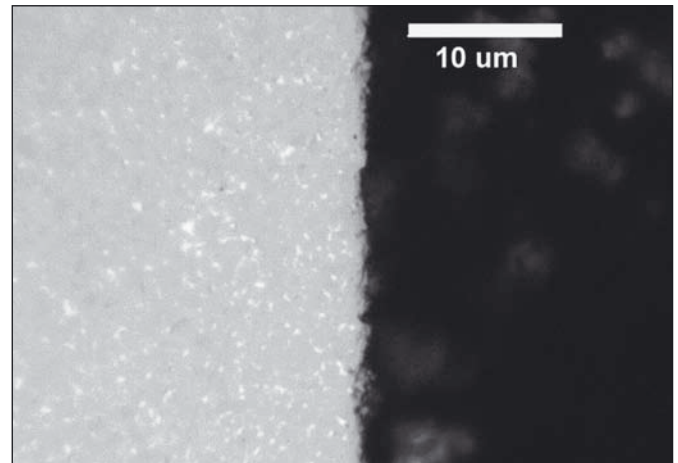
Pro zajištění kvalitního povrchu bez zbytkových „map“ je potřeba dosáhnout rychlého osušení smáčených povrchů. K tomu jsou používány různé metody založené na odstředění zbytkové kapaliny, na odpaření zbytkové kapaliny na vzduchu či ve vakuu.

Pískování – resp. mikropískování je vhodná průmyslová metoda pro případ seriové výroby vhodných substrátů nebo pro speciální případy. Pískováním lze odstranit pevně ulpívající nečistoty na povrchu případně i nečistoty uchycené v mírně pórovitém povrchu. To jsou případy nebroušených slinovaných ploch HM materiálů nebo opotřebovaných a neobnovených ploch přebroušovaných nástrojů. Jako vhodné medium se používá abrasivo SiC nebo Al_2O_3 . Některá běžně používaná media nejsou vyloženě vhodná, protože jejich rezidua negativně ovlivňují adhezi povlaků. Velikost abrasivních zrn se pohybuje v nízkých hodnotách 20 až 100 μm . Technologie pískování musí vždy respektovat charakter nástroje, jeho funkční břity a plochy. Proto i volba parametrů pískování a řešení automatizace procesu jsou záležitostí do značné míry empirickou. Bez dlouhodobých seriálních experimentů nelze zabránit případným negativním vlivům – nevhodné zaoblení hran, odpískování měkčích fází (pájené nástroje) nebo zmatnění zrcadlových dekorativních či upínacích ploch.

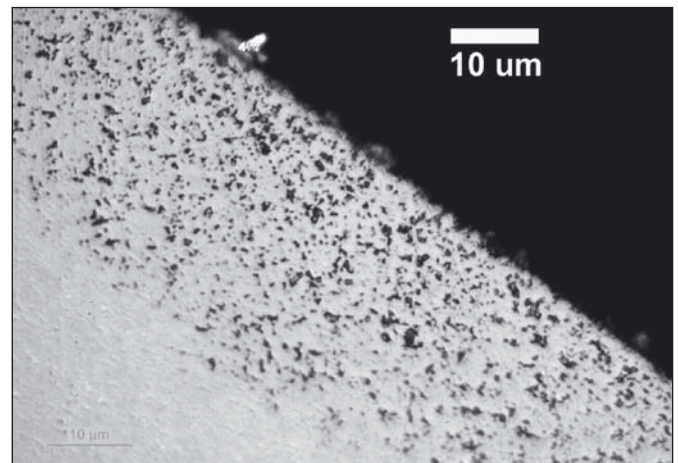
Odjehlení – především nástrojů z HSS je standardní postup aplikovaný přímo výrobcí nástrojů. Používá se kartáčování nebo ruční odjehlení. V případě následného povlakování je však třeba dodržet určité limitující podmínky. Nevhodné jsou např. kartáče s plastovým vlásem (nosičem abraziva) případně některé mosazné kartáče. Vhodná volba kartáčů je opět záležitostí do značné míry empirickou. Ruční odjehlení pomocí pilníků nebo různých tkanin s abrazivou je značně individuální technologie s vysokým kolísáním reprodukovatelnosti. Je možné volit i metodu omílání, která je popsána dále.

Stripping – stahování starých povlaků u přebroušovaných nástrojů. Existuje výrazný rozdíl v používaných technologiích pro nástroje z HSS a HM. Stripping je prováděn chemickou a elektrochemickou cestou a využívá silných oxidačních činidel, popř. účinku elektrického proudu. Pro odstraňování povlaků z nástrojů z HSS se nejčastěji používá roztok peroxidu vodíku, vody a tetranatriumdifosfátu. Provádí se za teploty kolem 70 °C. Z průmyslového pohledu je důležitý fakt, že se jedná o reakci s horkým peroxidem. Bezprostředně po provedeném strippingu je nutné povrch jak opláchnout tak i krátkodobě pasivovat vhodným činidlem. Samozřejmě existují alternativní postupy včetně zmíněné elektrochemické metody. Odstraňování povlaků z HM nástrojů je v zásadě mnohem komplikovanější technologií. Nevhodně volená technologie může způsobit narušení struktury materiálu vyleptáním kobaltu ze struktury. To je také nejzákladnějším problémem této technologie. Kobalt, jehož obsah v HM se běžně pohybuje mezi 6 – 12 %, reaguje velmi citlivě na kyselé

či zásadité prostředí. Naleptání kobaltu do hloubky 5 μm způsobí vážné problémy při následném povlakování i použití nástrojů. Také pro tuto technologii je využíván peroxid vodíku ovšem ve výrazně nižších koncentracích a většinou za pokojové teploty. Jako alternativní metody se opět někdy používá strippingování ovlivněné účinkem elektrického proudu.



Obr. 3 kvalitní stripping



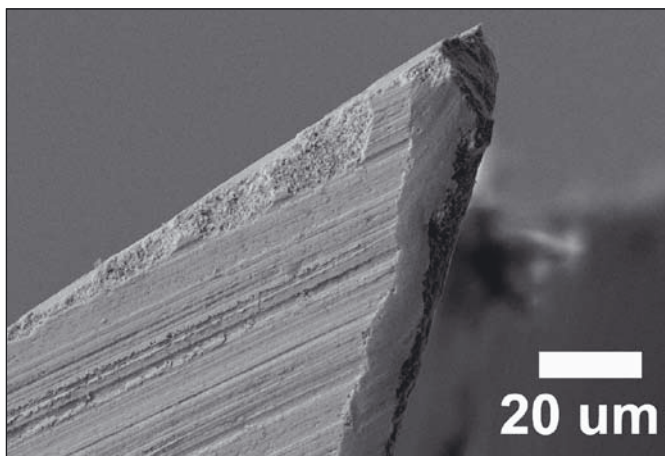
Obr. 4 nekvalitní stripping

STANDARDNÍ METODY ČIŠTĚNÍ NÁSTROJŮ V PRŮBĚHU SAMOTNÝCH PVD PROCESŮ

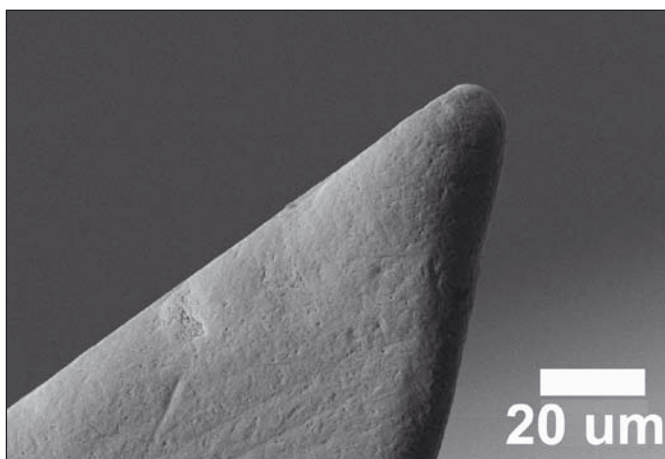
Účelem tohoto čištění je zajištění dokonalé adheze povlaku k nástroji. První fází je základní odplynění nástrojů předehřevem ve vakuu. V případě obloukových technologií následuje doutnavý výboj v argonu a iontové čištění pomocí urychlených iontů kovu (Ti, Cr,...). Po jejich aplikaci je povrch nástroje očištěn na atomární úrovni.

MÉNĚ VYUŽÍVANÉ METODY ÚPRAV NÁSTROJŮ

Žihání ve vakuu – metoda byla původně zaváděna pro dostatečné odplynění porézních pájek u nástrojů s pájenými částmi. Nástroje se po určitou dobu žihají ve vakuu při teplotě blízké cílové povlakovací teplotě. Jde o samostatný proces v technologickém cyklu povlakování. Tím se zabrání případnému znečištění vakuové komory během samostatného procesu povlakování. Metoda má nevýhodu v prodloužení dodacích termínů povlakovacích center. Metoda žihání ve vakuu může mít ovšem také pozitivní vliv v případech nástrojů s chladičnými otvory, kde běžné metody čištění nemusí stoprocentně zajistit odstranění všech nečistot. Vakuové žihání lze také doporučit pro některé HSS materiály, ale to by mělo být spíše záležitostí samotného výrobce nástrojů.



Obr. 5 břit před mikroúpravou



Obr. 6 břit po mikroúpravě



Obr. 7 povlakovací zařízení "PI80"



Obr. 8 povlakovací zařízení "PI300"

Omílání v granulátech – mikroúprava břitů - metoda patří do okruhu mechanických úprav nástrojů. Jedná se prakticky o standardní metodu v jiných oborech případně při výrobě omezeného sortimentu nástrojů. Z pohledu povlakování má však mikroúprava břitů zásadní vliv na dobrou adhezi vrstev na břitech. Po vybroušení HM nástrojů jsou břity většinou nerovnoměrně přibližně v měřítku použitých brusných zrn. V důsledku fluktuací v geometrii broušení, kvalitě HM substrátů, kvality obsluhy CNC brusek a brusných kotoučů mohou nerovnoměrnosti na břitech působit vážné znehodnocení jeho řezného výkonu. To platí i o nástrojích renomovaných výrobců! V případě následné aplikace PVD povlaku se situace může zhoršit, protože se povlak na ostrých přerušovaných hranách (nerovnoměrnosti břitů) může odlupovat. Tomu velmi účinně zabrání právě omílání v různých koncipovaných omílacích zařízeních s vhodně voleným granulátem a abrasivem. Omílací zařízení s planetovým pohybem jsou vhodná pro axiální nástroje. Výsledný efekt se projeví jak v dobré adhezi PVD vrstvy na břitech nástroje, tak i ve výsledném výkonu či životnosti nástroje. Metoda mikroúpravy břitů se může provádět i po aplikaci PVD vrstvy.

Leštění po povlakování – metoda, která má za úkol odstranit případné makročástice po povlakování a snížit celkovou drsnost funkčních ploch a břitů. Většinou se používá ruční leštění pomocí tkanin s abrasivem, případně kartáčování nebo omílání. Tato úprava usnadní „zaběhnutí“ nástroje a může značně ovlivnit jeho životnost a kvalitu obrobku hned v počátku činnosti nástroje.

MODERNÍ TECHNOLOGIE POVLAČOVÁNÍ SUBSTRÁTŮ

PVD TECHNOLOGIE NÍZKONAPĚTĚVÉHO OBLUKU

Odpařování pomocí nízkonapětového oblouku patří v oblasti povlakování řezných a tvářecích nástrojů k metodám nejméně frekventovaným. Důvodů je několik. Nízkonapětový oblouk je výhodný pro svoji relativně vysokou rychlost odpařování materiálu elektrod a současnou vysokou ionizaci plazmatu. Díky tomu se obloukové technologie v průmyslovém měřítku řadí k technologickým poměrně časově nenáročným. Délky procesů se pohybují v řádu několika málo hodin. Vysoká ionizace plazmatu zase přináší možnosti přípravy povlaků a struktur běžně se v přírodě nevyskytujícími.

Parametry nízkonapětového oblouku jsou velmi zajímavé. Oblouk hoří na povrchu katody v místě katodové skvrny o průměru řádově 10 μm a dosahuje teploty okolo 15 000 °C. Za těchto podmínek lze odpařit prakticky každý elektricky vodivý materiál.

Princip povlakování lze velmi dobře přiblížit ze schematu PVD zařízení. Materiál je obloukem odpařován z elektrod a zároveň je jím i ionizován (atomy materiálu se mění z elektricky neutrálních na atomy s nábojem). Ionizovaný materiál (např. Ti^+ , Ti^{2+} , atd.) je urychlován směrem k nástrojům záporným předpětím, které je na ně přiloženo. Cestou ionizuje ještě atomy plynné atmosféry (např. N_2 , Ar, ..). Ionizované atomy po dosažení povrchu nástrojů vytvářejí povrchovými reakcemi vlastní deponovanou vrstvu.

Podstata metody je zřejmá. Tím čím se liší obloukové technologie poskytované jednotlivým výrobcům PVD zařízení je především míra kontroly vlastností oblouků, uspořádáním povlakovací komory a know-how z oblasti materiálového inženýrství, které přímo ovlivňuje finální vlastnosti povlaků. Jedním z měřítek úrovně povlakovací technologie může být i schopnost připravovat vyspělé struktury jako např. nanokrystalické kompozity či nanostrukturované vrstvy.

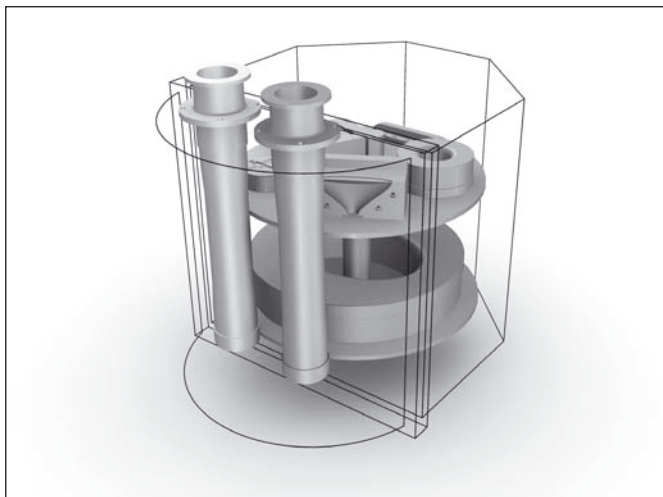
Podstatou přípravy nanokrystalických kompozitů, např. $(\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x)\text{N}/\text{a-Si}_3\text{N}_4$, je splnění požadavku na řízené odpaření velkého množství částic a jejich velkou ionizací. Tato podmínka platí nejenom pro materiál elektrod, ale i pro částice atmosféry. Obě lze splnit využitím poměrně silného magnetického pole, které potřebným způsobem ovlivní hoření oblouků při relativně vysokých parciálních tlacích reakčních atmosfér.

Jednoduché, ale ...

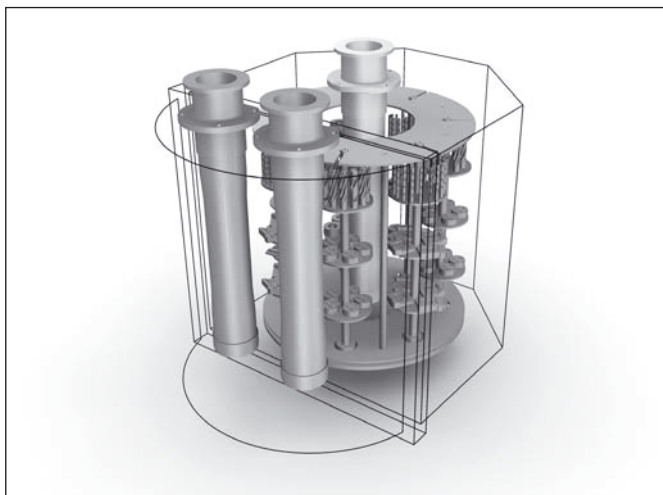
Konvenční PVD zařízení jsou vybaveny tzv. planárními elektrodami (ploché, ve tvaru desek či malých kruhů) a na nich při použití silného magnetického pole dochází k nadměrné a soustředěné erozi a k jejich podstatně dřívějšímu vyřazení z procesu. Silné magnetické pole rovněž redukuje tvorbu makročástic a tím je i výhodné z hlediska vrstev se sníženou drsností.

Tento problém lze technicky velmi elegantně vyřešit pomocí rotujících válcových elektrod, jejichž „účinná plocha“ je v podstatě π krát větší a díky rotaci nedochází ke zmíněné statické erozi. Řešení válcových elektrod splnilo podmínku přípravy nc-vrstev TiAlSiN při současném prodloužení životnosti targetů.

USPOŘÁDÁNÍ POVLA KOVACÍCH KOMOR



Obr. 9 2elektrodové uspořádání komory



Obr. 10 3elektrodové uspořádání komory

Vnitřní aranžmá povlakovací komory s využitím rotujících válcových elektrod může být v principu trojí. Elektrody jsou v zařízení umístěny ve středu komory, centrálně k povlakovaným nástrojům. Nebo mohou být umístěny vně nástrojů, např. ve dvou komorách. Poslední variantou je kombinace centrálního a boč-

ního umístění. V různých pozicích se navíc může měnit i počet targetů. Pro přípravu složitějších a více komponentních povlaků není výjimkou použití dvou, tří i čtyř různých targetů, mnohdy i s odlišnou funkcí.

Např. už užití dvou elektrod je velmi zásadní. Různými hodnotami proudů na elektrody a jejich poměrů lze měnit stechiometrii, rychlost růstu a částečně i drsnost vrstev bez fyzické výměny materiálu elektrod. Takto se připravuje základní struktura povlaků na úrovni – mono, multi a gradientních vrstev.

Zmíněná rotace nástrojů vykonávající planetový pohyb je rovněž velmi důležitým parametrem ovlivňujícím řezný výkon povlaků. Synchronizací rychlosti rotace ve vztahu k proudům na elektrody lze dosáhnout z hlediska tvrdosti optimalizované tloušťky nanovrstev (nanomultivrstev) cca 5-7 nm.

V současnosti průmyslově využívané vrstvy jsou už většinou kombinací základních struktur. Sestávají mnohdy i z desítek mono, multi a gradientních vrstev různých parametrů sladěných podle nároků předpokládané aplikace. Pro přesné řízení depozice je již naprosto nezbytné používat počítačem řízených systémů.

POVLA KOVACÍ CYKLUS

Nejenom samotné vrstvy jsou základem funkčního povlaku. Povlakovací cyklus je mnohem komplexnější. Když pomineme technologicky poměrně náročné kroky předpřípravy nástrojů, ke kterým patří např. pískování, stripping, čištění, nakládání, lze samotný povlakovací cyklus rozdělit na odčerpání komory, ohřev, procesní čištění, depozici adhezních a výkonových vrstev a závěrečné chladnutí.

Oblouková technologie pracuje s teplotami 400 – 550 °C. Tyto relativně vysoké teploty jsou nutné především pro termodynamicky řízené procesy růstu vrstev. Typickým příkladem může být depozice již zmíněných nanokrystalických kompozitů, které vznikají spinodální dekompozicí. Tento děj je velmi citlivý na teplotu. Při nižších teplotách není dekompozice dokončená a povlak bude vykazovat nižší tepelnou a mechanickou stabilitu.

Pokud má být nástroj povlakován obloukovou technologií, je nezbytné při jeho konstrukci zohlednit vhodný materiál s dostatečně vysokou popouštěcí teplotou.

V historických počátcích se PVD technologie potýkala s problémem nedostatečné adheze povlaku k podkladovému materiálu. Povlak se při nasazení nástrojů jednoduše oloupal. V porovnání s CVD technologií nevzniká vůbec nebo jen velmi omezeně difúzní „spojovací“ vrstva, zůstává ostré rozhraní a adhezní síly jsou realizovány fyzikálním způsobem. Oblouková technologie řeší vyhovující adhezi v několika krocích. Odplyněním nástrojů při ohřevu (550 °C) a evakuaci (10^{-3} Pa) a iontovým čištěním s využitím doutnavého výboje a iontového „leptání“. Obojí poskytuje téměř dokonalé očištění povrchu nástrojů na atomární úrovni. V posloupnosti posledním krokem k dosažení vyhovující adheze povlaku je depozice adhezních vrstev. Pověšinou je využíváno různě modifikovaných TiN, CrN vrstev.

O struktuře výkonových vrstev jsme se již zmínili dříve. Vývoj přinesl v této oblasti třeba i takové lahůdky jako jsou vrstvy o tloušťce až 100 μm (s řízeným vnitřním napětím), povlak s drsností na úrovni magnetronového naprašování (R_a okolo 0,05 μm při 2 μm tloušťce povlaku) a vrstvy bez obsahu Ti na bázi AlN nebo AlSiN.

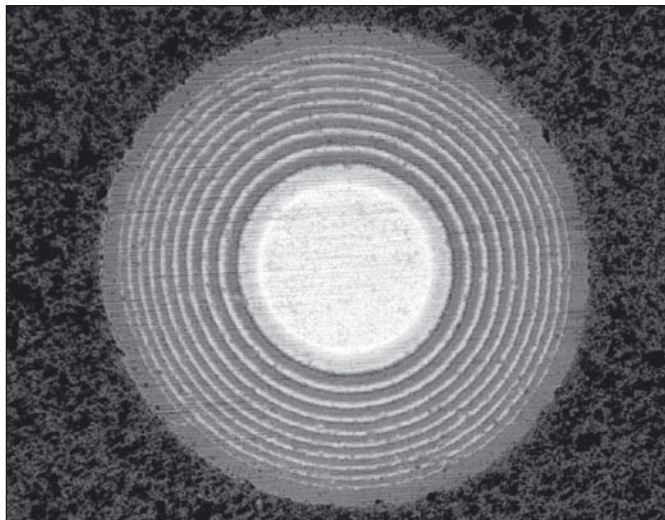
Součástí výkonových vrstev se stávají vrstvy „povrchové“. V současnosti se již opouští od vzhledového TiN, které je pro výkonové aplikace nahrazováno povlakem „tmavými“. Většinou se jedná o povlaky na bázi AlTiN se zvýšeným obsahem Al. V povrchové části se nanášejí např. i vrstvy kluzné.

Typické parametry PVD povlakovacího cyklu využívajícího nízkonapětový oblouk jsou: průměrná kapacita 3,5 - 5 tis. VBD, osových nástrojů 150-300 ks průměru 12 mm, procesní tlaky 0,5-3 Pa, teploty 400-550 °C, proudy oblouků 50 - 450 A. Délka celého cyklu je pak v průměru 2-5 h při celkové tloušťce vrstvy 3-5 μm .

Podobně jako jiné technologie i PVD technologie nízkonapětového oblouku je předmětem neustálého vývoje a pokroku.

Mezi nejzajímavější dlouhodoběji řešené praktické problémy se řadí příprava nových, tepelně, chemicky a mechanicky stabilních systémů, zvýšení intenzity plazmatu, stabilita a reprodukovatelnost řízení oblouků a procesů, vliv geometrie naložení vsázky na rovnoměrnost vrstev, apod.

MODERNÍ PVD POVLAKY Vrstvy TiAlN



Obr. 11 profil multivrstvy

Ze statistiky sledující německý trh vyplývá jasný trend nárady „dožívajících“ vrstev TiN a TiCN vrstvami na bázi TiAlN. Do sledovaných skupin vrstev jsou zahrnuty jak běžné monovrstevné systémy, typické především pro TiN vrstvy, tak i různě strukturované vrstvy typické především pro vrstvy na bázi TiAlN a TiCN. Narůstající podíl vrstev na bázi TiAlN je logický a vychází z hodnocení jejich základních vlastností a požadavků průmyslu. Původně vyvinuté a historicky nejstarší vrstvy TiN dosahují tvrdosti HV do 23 GPa a jejich max. pracovní teplota je 600 °C, i když tato hodnota bývá uváděna od různých výrobců v poměrně velkém rozptýlu od 500 do 650 °C. Požadavek na vysokou abrazivní odolnost vedl k vývoji velmi tvrdých vrstev TiCN s tvrdostí HV až 35 GPa, ale bohužel s max. pracovní teplotou jen do 450 °C. Vrstvy TiCN se však mohou pochlubit také velmi příznivým koeficientem tření, takže i přes sníženou tepelnou odolnost mají svou oblast aplikací, kde se dají obtížně nahradit. Třetí vývojovou skupinou vrstev jsou vrstvy na bázi TiAlN, které dosahují vysokou tvrdost HV až 33 GPa a mají vysokou max. pracovní teplotu přesahující někdy 800 °C. Tím splnily tyto vrstvy dva nejdůležitější požadavky průmyslových aplikací na vysokou abrazivní odolnost a chemickou stabilitu při vysokých teplotách. Proto je nárůst jejich aplikací v průmyslu logický.

Některé vrstvy TiAlN jsou dopovány o další přísadní prvky jako je Cr, Y, Hf apod. Tyto přísady v malém množství pozitivně ovlivňují strukturu vrstev a tím přispívají ke zvýšení jejich užitečných vlastností. Motivace dostat se do produktivních reálných aplikací, kde je vysoký vývin tepla a do aplikací „suchých“, které slibují vysoké ekologické a ekonomické přínosy, vede k vývoji těchto systémů, ale s vyšším podílem Al než je běžný poměr Ti : Al = 50 : 50. Na trhu jsou vrstvy označované jako AlTiN s poměrem Ti : Al ≈ 40 : 60 až 25 : 75. Vysoké podíly Al však znamenají většinou snížení tvrdosti. Existují fyzikální limity pro tvorbu tvrdé kubické struktury AlN a tak jsou systémy s poměrem Ti : Al ≤ 35 : 65 vhodné pro zúženou oblast aplikací a stávají se méně stabilními.

STRUKTUROVANÉ VRSTVY

Pokud existuje vážný požadavek průmyslových aplikací na zvýšenou tepelnou a chemickou stabilitu velmi tvrdých vrstev, pak běžné vrstvy na bázi TiAlN či AlTiN nestačí. Proto jsou již



Obr. 12

Obr. 13

Obr. 14

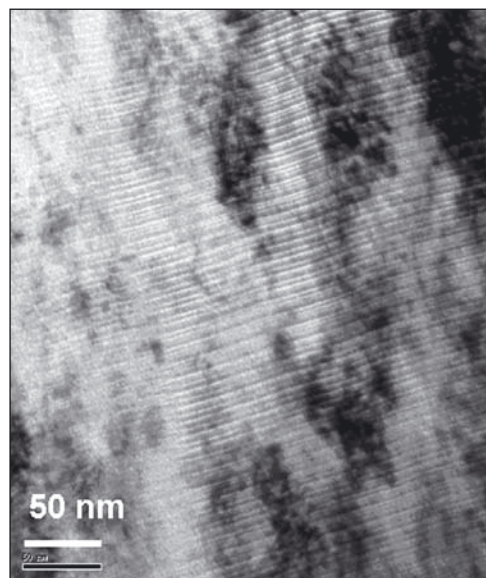
Obr. 12, 13, 14 Multivrstvy umožňují nanášet vrstvy ve větších tloušťkách než v případě monovrstev. Zdroj: A. Matthews, University of Hull, Velká Británie

několik let připravovány vrstvy na bázi TiAlN i jiné v různých strukturovaných modifikacích, které umožňují zlepšit některé jejich fyzikálně-chemické vlastnosti. Hovoříme pak o multivrstvách, gradientních vrstvách a nanostrukturovaných vrstvách, kam patří i zvláštní skupina nanokompozitních vrstev.

Multivrstvy obecně zvyšují odolnost vrstev proti šíření poruch a zvyšují tak i výslednou měřenou tvrdost vrstev, užitečné vlastnosti v aplikacích a umožňují nanášet vrstvy ve větších tloušťkách než v případě monovrstev.

Gradientní vrstvy, resp. nanogradientní vrstvy, jsou systémy s průběžně proměnným složením vrstvy TiAlN tak, že k povrchu vrstvy se zvyšuje obsah Al, aby zabezpečil vysokou oxidační odolnost při zachování dostatečné tvrdosti vrstvy.

Nanovrstvy představují systém multivrstvy s tloušťkou jednotlivých vrstviček pod hranicí 10 μm. Pokud je rozhraní mezi jednotlivými vrstvičkami s rozdílnými fyzikálními vlastnostmi dostatečně ostrá, pak lze najít optimální periodu střídání vrstviček, při které je tvrdost celé vrstvy výrazně zvýšená.



Obr. 15 TEM nanovrstvy

Nanokompozitní vrstvy díky své originální struktuře představují povlaky s velmi vysokou tvrdostí a zároveň velmi vysokou tepelnou stabilitou a odolností vůči oxidaci. Nanokompozitní vrstvy dnes reprezentují novou generaci velmi tvrdých PVD vrstev s typickou charakteristikou jejich struktury – malé krystality o velikosti několika nanometrů jsou uloženy v amorfni matici, přičemž obě fáze jsou nemísitelné.

Typickým představitelem nanokompozitních vrstev na trhu jsou vrstvy nc-(Ti_{1-x}Al_x)N/a-Si₃N₄. Zde představují krystalickou složku krystalů TiAlN a amorfni složku Si₃N₄. Tvrdosti HV těchto vrstev přesahují hodnotu 40 GPa. S těmito hodnotami tvrdosti se nanokompozity řadí k nejtvrdějším PVD vrstvám v komerční nabídce.

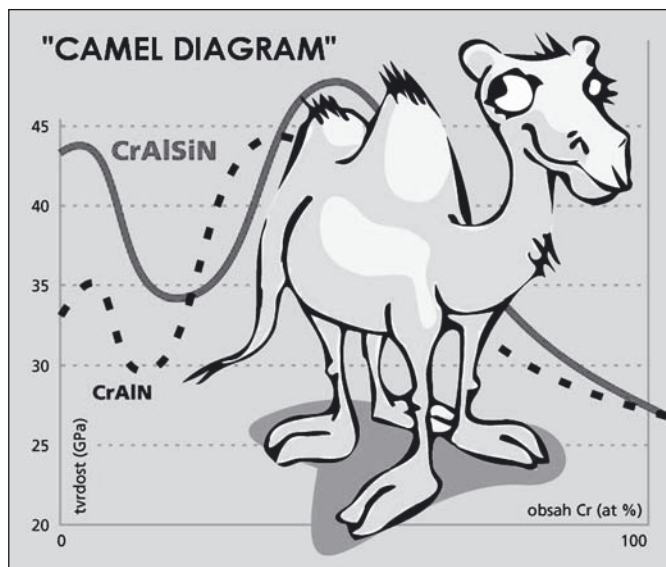
Obecně lze o vrstvách na bázi TiAlN hovořit jako o vrstvách současnosti a blízké budoucnosti a o vrstvách nanostrukturovaných jako o vrstvách budoucnosti.

Vrstvy na bázi CrAlN

Alternativou k vrstvám TiAlN jsou nedávno publikované vrstvy na bázi CrAlN bez přítomnosti Ti. Odborné publikace o těchto typech vrstev se objevují již od roku 1990. V roce 1994 byly připraveny vrstvy Cr-Al-N technologií odpařování pomocí oblouku. Poslední tři roky již byly publikovány testy reálných vrstev se zaměřením na jejich elektrické vlastnosti a oxidační odolnost. Očekávanou výhodou vrstev na bázi CrAlN je jejich vysoká chemická stabilita při vysokých teplotách a zvýšená adheze k substrátu. Maximální poměr obou metalických složek při zachování kubické struktury je Cr : Al \approx 30 : 70. To je značná výhoda proti systému TiAlN. Další zvyšování podílu Al ale vede k vytváření nových fází AlN, které zhoršují fyzikálně-chemické vlastnosti vrstev. Přítom vysoký podíl Al má příznivý vliv na oxidační odolnost vrstev – vytváří oxidickou ochrannou vrstvu Al-Cr-O, která brání další difúzi kyslíku do vrstvy. Proto i u vrstev Cr-Al-N lze hovořit o limitech jejich složení a možnostech jít do vyšších hodnot oxidační odolnosti. Maximální teploty kdy dochází k masivní oxidaci vrstev CrAlN se podle faktických měření pohybují kolem 700 až 800 °C. Díky vytvářené oxidační ochranné bariéře Al-Cr-O se však maximální pracovní teploty vrstev CrAlN mohou pohybovat výše.

Jedna z cest, jak se dostat se systémy CrAlN do vyšších oxidačních odolností, je opět příprava multivrstevných systémů případně nanokompozitních vrstev. Na konferenci ICMCTF 2004 v San Diegu a později na konferenci E-MRS 2004 ve Strasburgu, publikovala firma SHM společně se švýcarskou firmou PLATIT zcela nové provedení vrstev CrAlSiN nebo CrAlN s velmi nízkým obsahem Cr do 6 %. Byly nalezeny dvě oblasti složení vrstev s maximem tvrdosti (CAMEL DIAGRAM). Varianta vrstvy Cr-Al-Si-N s nízkým obsahem Cr kolem 6 at % přitom dosahuje velmi vysoké hodnoty tepelné odolnosti. Tím se nabízí cesta k dosažení takového složení vrstvy, kdy i při vysokých pracovních teplotách nebude docházet k oxidaci vrstvy. Multivrstevné varianty pak umožňují i zlepšení adheze k substrátu a snížení vnitřního napětí ve vrstvách. To znamená, že PVD vrstvy Cr-Al-N resp. Cr-Al-Si-N lze připravit ve velkých tloušťkách až do 10 μ m, což je pro běžné PVD vrstvy nemyslitelné. Tvrdosti nových vrstev Cr-Al-Si-N dosahují nadstandardní hodnoty HV přes 35 GPa tedy na úrovni vrstev TiAlN. Proto lze předpokládat, že budou vhodně doplňovat vrstvy na bázi TiAlN v některých aplikacích s vysokými nároky na tepelnou stabilitu a chemickou odolnost.

O těchto vrstvách je možné hovořit jako o vrstvách budoucnosti.



Obr. 16 diagram vrstev ALWIN

Kluzné vrstvy

Další rodinou moderních vrstev jsou kluzné vrstvy. Jsou to vrstvy s nižší tvrdostí než běžné otěruvzdorné vrstvy. Jejich hlavním úkolem je vytváření kluzného povrchu. Do této skupiny patří „měkké“ vrstvy, které se aplikují jen v kombinaci s tvrdými vrstvami na bázi TiN, TiAlN či TiCN a vrstvy DLC (diamond like carbon = diamantu podobný uhlík), které vhodně kombinují vynikající kluzné vlastnosti s dobrou tvrdostí. Různých variant uhlíkových vrstev „podobných diamantu“ je na trhu více. Mají společný nízký koeficient frikce a sníženou tepelnou odolnost a tvrdost HV okolo 20 GPa. V řezných aplikacích mohou vhodně doplňovat tvrdou podkladovou vrstvu. Nejrozšířenější typy „měkkých“ vrstev s výrazně nižší tvrdostí jsou MoS₂ a WC/C.

Snahou vývoje je vytvořit vhodnou kombinaci „tvrdé“ a „měkké“ složky optimální abrazivně odolnou vrstvu s velmi nízkým koeficientem frikce. I v tomto případě mohou nové přístupy k výzkumu a vývoji vést k zajímavým výsledkům. Jeden takový výsledek představují nedávno vyvinuté povlaky LUBRIK. Jejich popisu je věnována samostatná kapitola v závěru článku.

Univerzální vrstva?

Z předchozího přehledu moderních vrstev je zřejmé, že kvalitní výrobci PVD povlaků jsou schopni připravit „na míru šitou“ vrstvu pro jakékoliv aplikace. Každá optimalizace průmyslové operace je komplexem optimalizovaných parametrů. V případě povlakovaných nástrojů to je kromě vhodné vrstvy také geometrie nástroje, materiál substrátu a konečné parametry operace, např. řezné podmínky u obrábění. Pokud vzniká požadavek na optimalizaci procesů v sériové výrobě, je možné pomocí PVD vrstev „šitých na míru“ dosáhnout podstatného zvýšení produktivity, kvality či ekonomiky. Přesto je zde velmi početná skupina uživatelů, kteří nevyužívají sériovou výrobu a jejichž nástroje musí pracovat ve velmi rozdílných podmínkách. Pro tyto uživatele je důležitější nabídka „univerzální“ vrstvy. Existuje vůbec taková vrstva? Z uvedeného přehledu moderních vrstev je možné za takovou univerzální vrstvu považovat povlaky z oblasti nanokompozitních vrstev Ti-Al-Si-N resp. některých vrstev Ti-Al-N, které pokrývají širokou oblast řezných aplikací s nadprůměrnými přínosy pro produktivitu, ekonomiku a kvalitu obrábění.

MĚŘENÍ VLASTNOSTÍ POVLAků NA NÁSTROJÍCH

Pokud jsou vrstvy připraveny, je nutné před odesláním napovlakovaných substrátů provést kontrolu. Také při vývoji technologie povlakování a hodnocení výsledných povlaků je nezbytné používat řadu metod charakterizace tenkých tvrdých vrstev.

Mezi základní fyzikální vlastnosti vrstev patří tvrdost, tloušťka, drsnost, adheze a kluzné vlastnosti. Nejdůležitější chemické vlastnosti jsou odolnost vůči oxidaci, chemická a tepelná stabilita.

Tvrdost

Pro tenké vrstvy i ostatní materiály je tvrdost definována jako „odolnost proti pronikání cizích předmětů“. Běžný způsob opotřebení nástrojů je dán abrazivním otěrem. Právě proto je vysoká tvrdost základním parametrem otěruvzdorných vrstev.

Běžná tloušťka PVD vrstev je pouze několik mikrometrů. Při měření tvrdosti je třeba zajistit, aby měřicí hrot (obvykle Vickers) pronikl maximálně do 1/10 tloušťky vrstvy. Velikost zátěže při měření tvrdosti vrstev se proto volí v řádu desítek mN. Hloubka vtisku při takové zátěži je pod 0,5 μ m. Tím se zabezpečí, že měření tvrdosti vrstvy není ovlivněno vlastnostmi podkladového materiálu. Vzniklé stopy je velmi obtížné vyhodnocovat mikroskopem. Proto se využívají speciální přístroje – mikrotvrdoměry, které souběžně se zatěžováním hrotu měří hloubku jeho pronikání do vrstvy s přesností na jednotky nm.

Přístroje využívající jiné principy měření jsou zatíženy velkou chybou způsobenou rozdílem mezi maximální hloubkou vtisku a skutečně zjištěnou velikostí zbytkového vtisku. Tvrdosti vrstev se udávají v GPa nebo zastarale v kg/mm². Jako příklad zařízení,

vhodného pro měření tvrdostí, je možné uvést přístroj Fischerscope H 100 VP. Mezi vrstvy, které jsou charakteristické vysokou tvrdostí, se řadí diamantové vrstvy, vrstvy s obsahem bóru a nanokrystalické nanokompozity.

Tvrdosti nejběžnějších vrstev

Vrstva	Tvrdost [GPa]
TiN	23
TiCN	30
CrN	17
TiAlN	33
DLC	25
TiAlSiN	45

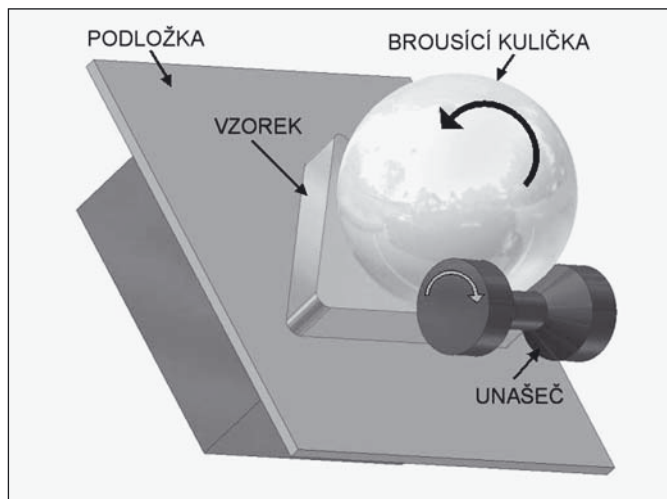
Tloušťka

Z hlediska praktické aplikace je volba tloušťky povlaku na břitech řezných nástrojů jednou z nejdůležitějších charakteristik. Ta může v konečném důsledku ovlivňovat jak trvanlivost nástroje, tak i řezné síly během obrábění. Zjednodušeně řečeno – tloušťka povlaku musí být opravdu „ušita na míru“ předpokládanému použití obráběcího nástroje. Např. optimální vrstva na závitnicích se pohybuje kolem 1 až 2 μm a je výrazně nižší než u odvalovacích fréz, kde tloušťka vrstvy na břitu nástroje může být i 8 μm .

Tloušťka vrstvy na břitu nástroje se výrazně liší od tloušťky vrstvy na rovných nebo válcových plochách. Současně je ovlivňována průměrem nástroje a způsobem naložení povlakovací komory.

V současnosti neexistuje pro vyhodnocení přesná, jednoduchá a zároveň nedestruktivní metoda. Pro měření rovinných částí nástrojů se využívá tzv. kalotester. Princip měření je jednoduchý. Z průměru kuličky a mikroskopem změřených kulových vrchlíků je možné výpočtem stanovit tloušťku nanosené vrstvy. Toto měření je z důvodů vyšší přesnosti vhodné provádět na vyleštěných etalonech.

Pro stanovení tlouštěk na břitech se používá klasická metalografie založená na leštění vybrané části substrátu.



Obr. 17 Kalotester

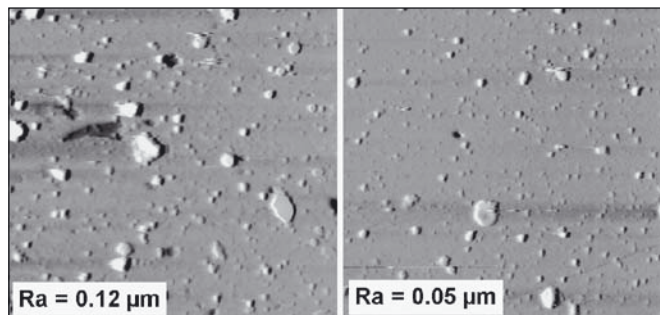
Drsnost

V případě nanášení PVD vrstev je výsledná drsnost ovlivněna jak kvalitou opracování nástroje, tak povlakem. Při měření drsnosti se neuvažují vady povrchu, tj. náhodné, ojediněle se vyskytující a nepravidelné nerovnosti (rysky, trhlinky, důlky apod.), které vznikají v důsledku vad materiálu, poškození aj.

Zdrojem zvýšené drsnosti vrstev jsou makročástice, které vznikají během technologického procesu povlakování. Drsnost povlaku

zvyšuje řezné síly a tak dochází k tepelnému a mechanickému namáhání břitů nástrojů. Tento negativní jev se většina výrobců vrstev snaží minimalizovat úpravou technologie povlakování, popř. dodatečnou úpravou nástrojů po povlakování.

Měření je vhodné provádět na vyleštěných substrátech s výchozí drsností R_a 0,01 – 0,02 μm běžným dílenským drsnoměrem. Existují i jiné metody vyhodnocování drsnosti povrchu např. pomocí AFM (atomic force microscopy).



Obr. 18 drsnost vrstev

Adheze

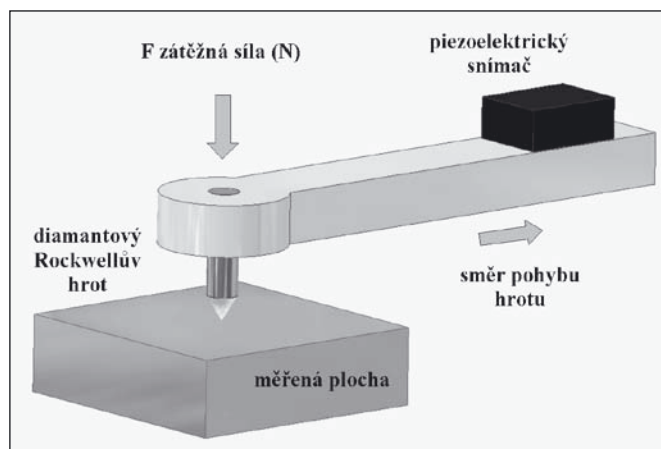
K maximálnímu využití potenciálu oteřuvzdorné vrstvy dojde pouze v případě, kdy je perfektně zajištěna její adheze k nástroji. Bez dokonalé přípravy nástroje před povlakováním nelze připravit kvalitní povlak.

Standardní metodou pro vyhodnocování přilnavosti povlaků je tzv. scratch-test. Pro měření se využívá principu postupně se zvyšující zátěžné síly na diamantový Rockwellův hrot při současném posouvání špičky hrotu po měřené vrstvě. S ohledem na běžné hodnoty adheze se používá zátěžná síla v rozsahu 20 – 120 N.

Při měření vrstvy je možné detekovat akustickou emisi na hrotu. Dosažením kritické hodnoty zátěžné síly dojde k odtržení vrstvy od substrátu. To je doprovázeno skokovým zvýšením hodnoty akustické emise.

Další způsob vyhodnocení je pomocí mikroskopu. Na stopě vytvořené hrotem se odečte místo, kde došlo k odtržení vrstvy. Při lineární závislosti dráhy na zátěži lze pak snadno určit kritickou hodnotu zátěže.

Hodnota adheze větší než 60 N zajišťuje, že při běžných aplikacích nedojde ke stržení či odloupení vrstvy. Adheze povlaku závisí mimo jiné i na jeho celkové tloušťce a podkladovém materiálu.



Obr. 19 Scratchtester

Kluzné vlastnosti

Během obrábění dochází se stoupající teplotou ke zhoršení fyzikálně chemických vlastností podkladového materiálu. Snížením frikčních sil, vlivem povlaku, se výrazně omezuje tepelné zatížení nástroje.

Pro změření kluzných vlastností je používaným standardem v laboratoři tzv. pin-on-disk resp. ball-on-disk. Testovaná vrstva je nanášena na zkušební vyleštěný vzorek a následně umístěna na otočný stolek. Hrot resp. kulička definovanou silou tlačí na rotující vzorek s testovaným povlakem. Měří se otěr kuličky, frikční koeficient, otěr vrstvy, profil otěru apod. Při měření pin-on-diskem se používá zátěžné síly v řádu jednotek N, zatímco při řezných zkouškách jsou řezné síly o dva řády vyšší. Navíc teplota generovaná při běžných řezných podmínkách je o několik set stupňů vyšší než při testech pomocí pin-on-disku.

Z toho vyplývá, že měření frikčních vlastností je laboratorní metodou, která má k praktické využitelnosti poměrně daleko. Může však sloužit jako metoda k porovnání různých typů vrstev a pro získání představy o jejich kluzných vlastnostech.

Koeficienty frikce pro různé typy povlaků

Povlak	Frikční koeficient (proti oceli za sucha)
TiN	0,4
TiCN	0,4
CrN	0,5
TiAlN	0,4
DLC	0,1

Odolnost vůči oxidaci

K opotřebení vrstvy dochází i oxidací. Je důležité rozlišovat, zda se jedná o oxidaci hloubkovou nebo povrchovou. Při povrchové oxidaci dochází k pasivaci povrchu, čímž se může vytvářet bariéra proti další oxidaci. Při hloubkové oxidaci dochází obvykle k destrukci vrstvy. Ta je provázána poklesem tvrdosti vrstvy, neboť se vytváří jiné typy mřížových vazeb. Každá PVD vrstva je charakterizována maximální teplotou použití, jejíž mez je dána právě odolností proti oxidaci.

K měření odolnosti vůči oxidaci se ve většině případů používá gravimetrická metoda, při které se hodnotí změna hmotnosti vrstvy v závislosti na teplotě účinkem vzdušného kyslíku. Podmínkou ovšem je, že testovaný vzorek musí být celoplošně pokryt zkoumanou vrstvou.

Chemická stabilita

Popisuje odolnost vrstvy vůči chemické reakci s obráběným materiálem zejména za vyšších teplot vznikajících během obrábění. Chemická stabilita vrstvy se může měnit s typem obráběného materiálu a s řeznými podmínkami. Klasickým případem je diamantová vrstva, jejíž chemická stabilita je naprosto nevyhovující při opracování ocelí a vynikající při obrábění neželezných materiálů.

Tepelná stabilita

Povlak se vytváří za intenzivního iontového bombardování a je termodynamicky nestabilní. Při zvýšení teploty vlivem obrábění může docházet ke změně vnitřní struktury, např. nárůstem krystalitů, přechodem k jinému krystalickému uspořádání, změnou vnitřního napětí apod. Tyto charakteristiky, které se navenek projevují změnou mechanických vlastností, se vyhodnocují spolehlivě pomocí TEM (transmisní elektronová mikroskopie) či XRD (rentgenová difrakce). Takové analýzy jsou náročné na přístrojové vybavení a je možné je provádět jen na specializovaných pracovištích. Nejvyšší tepelnou stabilitou mají v současnosti vrstvy na bázi CrAlN a nanokrystalické nanokompozity.

Výše popsané vlastnosti povlaků a jejich měření jsou z hlediska praktického používání povlakovaných nástrojů nejdůležitější. S jejich pomocí lze poměrně spolehlivě určit optimální řezné podmínky a naopak, pro danou řeznou aplikaci nastavit optimální vlastnosti povlaků. V současnosti je nezbytné aby firmy, zabývající

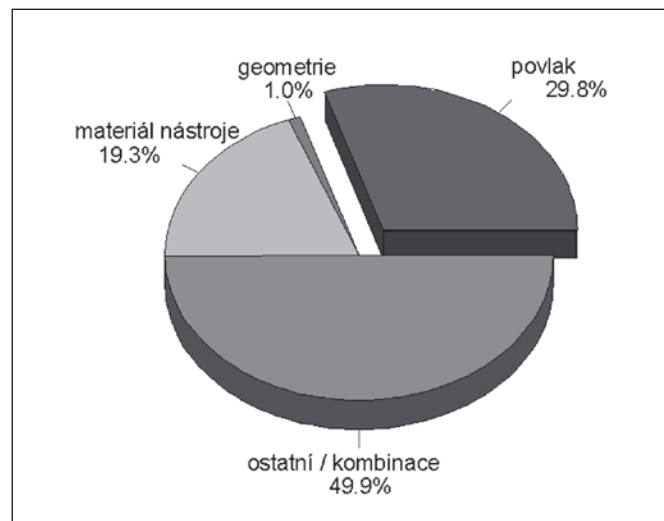
se přípravou a vývojem otěruvzdorných vrstev, uvedené vlastnosti měřily a vyhodnocovaly. K takovým analýzám je zapotřebí dobře vybavená laboratoř a trvalá spolupráce s výzkumnými pracovišti, a to nejen tuzemskými.

APLIKACE ANEB VÝKONNOST NÁSTROJŮ S MODERNÍMI PVD POVLAKY

Způsoby přípravy PVD otěruvzdorných vrstev, jejich charakterizace a popis jejich vlastností jsou informace velmi zajímavé i díky progresivnímu rozvoji v této technické oblasti. Přesto pro konečného uživatele povlakovaných nástrojů zůstává nejspornější porovnání jejich výkonnosti v reálných podmínkách.

Skutečně vysoký zájem výrobců a uživatelů povlakovaných nástrojů o využití nejmodernějších PVD vrstev dokladují různé statistiky. Zajímavý je pohled do statistiky hodnotící podíl nároků podaných patentových přihlášek v oblasti řezných nástrojů, které jsou zaměřeny přímo na povlaky nebo na kombinaci „povlak-nástroj“.

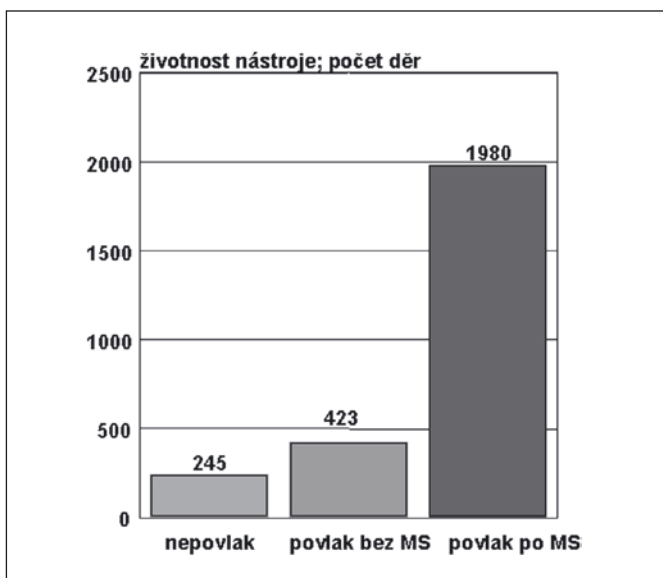
Vysoký podíl nároků zaměřených jen na nové povlaky znamená, že se neustále objevují nové varianty především PVD vrstev, které řeší nějakým novým, lepším způsobem konkrétní aplikace. Následující příklady řezných a jiných zkoušek jsou zaměřeny na porovnání výkonnosti povlakovaných nástrojů právě s takovými progresivními povlaky, které byly vyvinuty v posledních letech. Jde o vrstvy na bázi AlTiN resp. AlTiSiN, které patří do skupiny tzv. nanokompozitních vrstev.



Obr. 20 Rozdělení hlavních nároků patentových přihlášek v oboru řezných nástrojů v r. 2002, Zdroj: Evropský patentový úřad, Mnichov

Závitování

Jako první příklad může posloužit výsledek kombinace řešení optimální PVD vrstvy a mechanické úpravy břitů závitníku. Proti běžnému způsobu finální úpravy nástroje před povlakováním byla použita metoda ovlivňující mikrostrukturu břítu. Výsledek je překvapivě vynikající. Kombinace moderní nanokompozitní vrstvy nAlCo® (vrstva na bázi AlTiSiN) a speciální mechanické úpravy břitů přinesla výrazné zvýšení životnosti závitníku v dané operaci. V tomto případě je potřeba doplnit komentář. Pro závitování obecně platí, že povlaky by měly mít velmi nízký koeficient tření, drsnost povlaku by měla být samozřejmě co nejmenší a tloušťka povlaku by neměla negativně ovlivnit zaohlení ostrých břitů. Proto se běžně aplikují na závitníky spíše vrstvy z rodiny TiN, TiCN resp. TiAlCN, které se vyznačují právě nízkým koeficientem tření. Náhrada těchto povlaků vrstvou z oblasti vysoce tvrdých a tepelně stabilních nanokompozitních materiálů svědčí o vysoké univerzálnosti těchto vrstev.



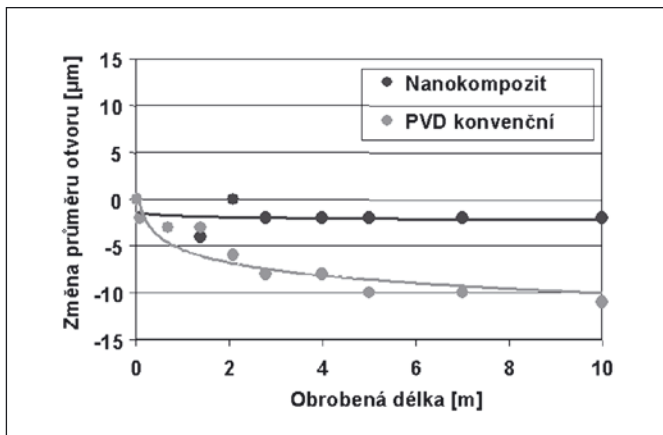
Obr. 21 Závrtání bez mikroúpravy břitů. Materiál obrobku X155CrMoV12; závitník M8; průchozí díra; $a_p = 2 \times d$; $v_c = 14 \text{ m/min}$. Zdroj: IPL, Kassel, Německo

Vystružování

Příklad vystružování materiálu GG25 je typický pro automobilový průmysl. Požadavek na nástroj je v tomto případě velmi protichůdný, protože nástroj musí zachovat velmi ostrý břit a přitom musí vykazovat vysokou životnost a perfektní geometrii nástroje během celé doby použití. Tolerance na průměr nástroje z příkladu je do $4 \mu\text{m}$. Ostrý břit znamená velmi tenkou PVD vrstvu do max.

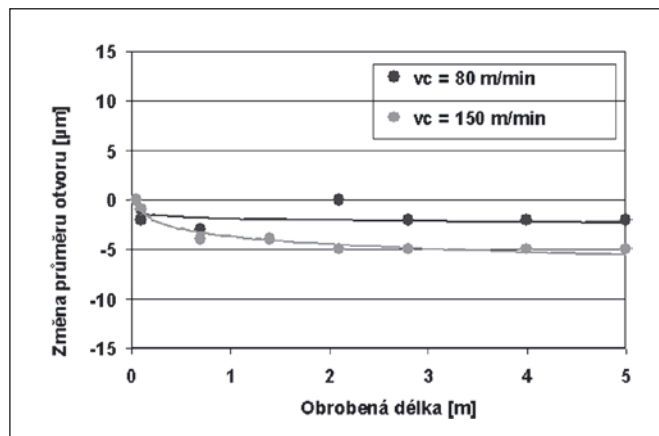


Obr. 22 Nástroj RR01, HM, pr. 11,5 mm



Obr. 23 Vystružování průchozího otvoru v materiálu GG25. Nástroj RR01; $v_c = 80 \text{ m/min}$; $f = 0,4 \text{ mm/U}$

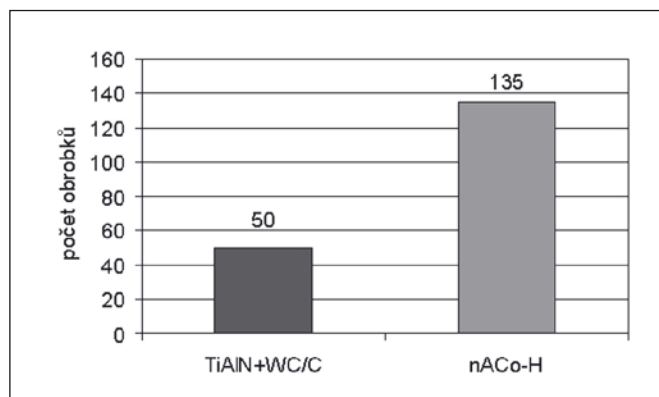
tloušťky $1,8 \mu\text{m}$. Abrazivní ořez je však u těchto aplikací vysoký a tak se u většiny vrstev s nižší tvrdostí (a tím i abrazivní odolností) stává malá tloušťka limitující pro jejich použití. Použitá varianta supertvrdé nanokompozitní vrstvy řeší tento problém s velkým úspěchem. Porovnání s konvenční vrstvou na bázi TiAlN svědčí o perfektním zachování geometrie nástroje a tím i opracovaného otvoru i v podmínkách zvýšené řezné rychlosti resp. vyšší produktivity.



Obr. 24 Vystružování průchozího otvoru v materiálu GG25. Nástroj RR01; $v_c = 80$ resp. 150 m/min ; $f = 0,4 \text{ mm/U}$

Mikro-frézování

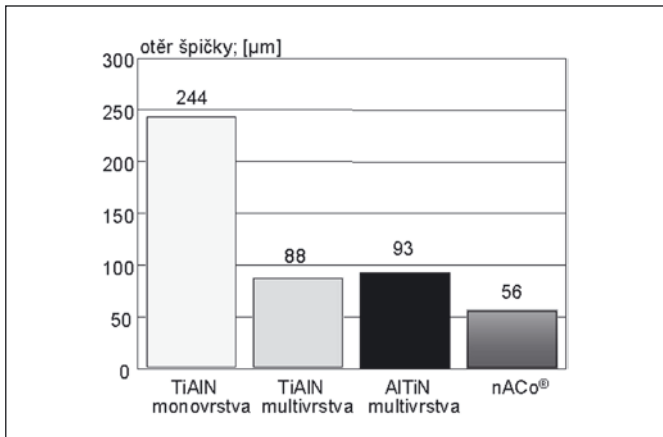
Frézování vysoce legovaných ocelových slitin monolitními frézičkami z tvrdokovu při různých podmínkách je operace vysoce náročná na nástroj. Platí opět, že není možné použít silnější povlak a s ohledem na malé průměry nástroje je třeba co nejvíce eliminovat řezné síly. Proto se volí v některých případech kombinace tvrdé ořezvzdorné vrstvy a kluzné resp. samomazné vrstvy. Nasazení speciální multivrstvy na bázi nanokompozitního povlaku přispělo k výraznému zvýšení životnosti nástrojů. Obecně lze doporučit především pro oblasti suchého a produktivního obrábění právě vysoce tepelně stabilní nanokompozitní vrstvy.



Obr. 25 Mikrofrézování vysoce legované slitiny INOX 316L. Nástroj třibřitá HM fréza s pr. 3 mm; $v_c = 42 - 207 \text{ m/min}$; $v_f = 40 \text{ m/min}$. Zdroj: Lang Louis SA, Švýcarsko

Vrtání

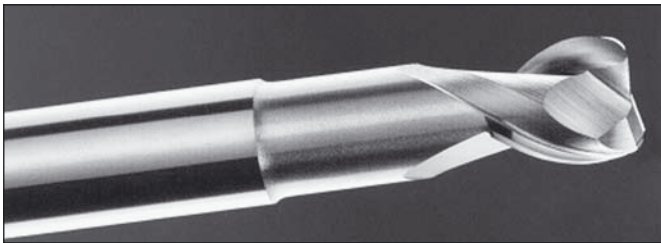
Pro tuto oblast obrábění jsme vybrali příklad porovnání aplikací několika strukturovaných variant vrstev na bázi TiAlN. V případě vrtání kalené oceli 42CrMo4 v 5% emulzi řezné kapaliny byl vyhodnocen ořez špičky nástroje. Obě verze multivrstevného provedení vrstev TiAlN resp. AlTiN dosáhly prakticky shodného velmi dobrého výsledku. Další zvýšení výkonnosti nástroje bylo dosaženo díky nanokompozitnímu povlaku na bázi TiAlSiN.



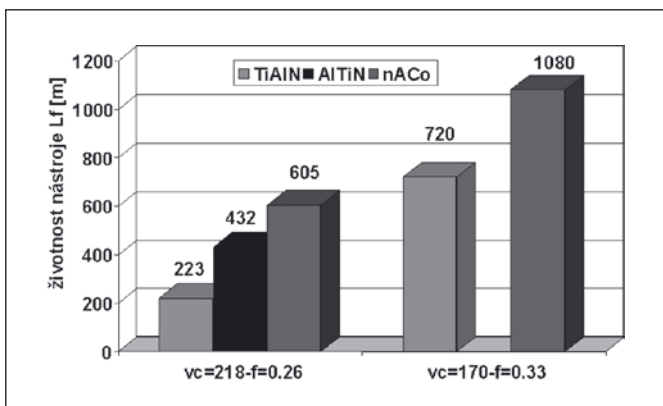
Obr. 26 Vrtání kalené oceli 42CrMo4 – porovnání otěru špičky po odvrtání 150 m. Nástroj HM vrták pr. 12 mm; $a_p = 5 \times d$, $v_c = 120 \text{ m/min}$; $f_z = 0,35 \text{ mm/zub}$; vnitřní chlazení

Frézování

Hlavním motivujícím požadavkem výrobců nebo uživatelů nástrojů je zvýšení produktivity obrábění. Zvyšování životnosti nástrojů je samozřejmě také důležité, ale z ekonomického hlediska je prioritní zvyšovat produktivitu obrábění a snižovat náklady na chlazení včetně likvidace použitých řezných kapalin. Následující příklad frézování charakterizuje jaké mohou být skutečné přínosy více sofistikovaných vrstev v náročnějších podmínkách. Rozdíly ve výkonnosti nástrojů s různými PVD povlaky se značně prohlubují v případě intenzivnějších řezných parametrů, které mají vliv na produktivitu obrábění. Z příkladu je patrné, že role vrstev s vysokou tepelnou a chemickou stabilitou roste se zvyšujícím se zatžením nástroje.



Obr. 27 HM fréza

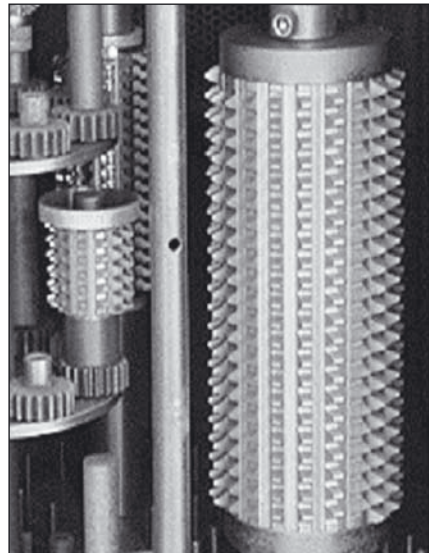


Obr. 28 Frézování kalené oceli X40CrMoV5. Nástroj HM fréza; $a_p = 0,5 \text{ mm}$; $a_e = 8 \text{ mm}$; emulze

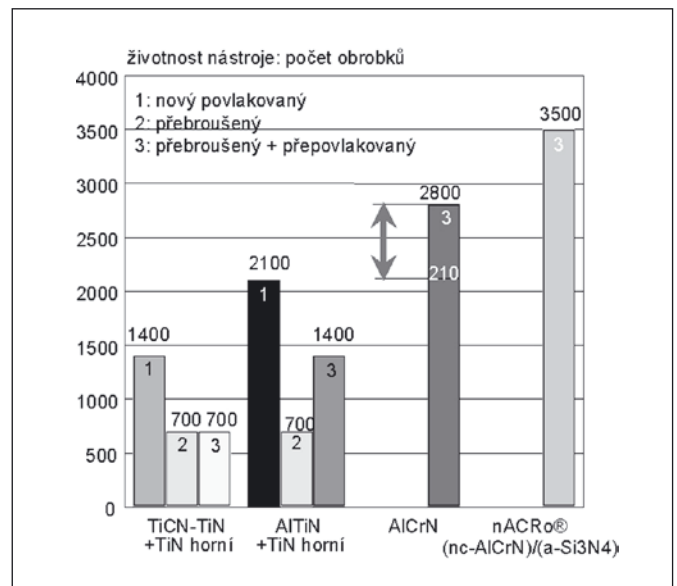
Frézování ozubení

Odvalovací frézy z HSS nebo PM HSS jsou ve většině případů několikanásobně přebroušeny a přepovlakovány a jejich celková doba životnosti je tak značně vysoká. Samotná vrstva pak má zlepšit výkon nástroje, ale také umožnit jeho renovaci, která zahrnuje

i vhodnou chemickou metodu stažení starého povlaku z použitého nástroje. To nemusí být v případě velmi kvalitních a moderních vrstev na bázi CrAlN tak samozřejmé. Vrstvy s vysokým obsahem Cr lze velmi obtížně odstraňovat z povrchu použitého nástroje. Přesto tyto vrstvy mají pro oblast odvalovacích fréz velký význam. Proto řešení přípravy vrstev s nízkým obsahem Cr při zachování vysoké tvrdosti a chemické stability je opravdovým průlomem v těchto aplikacích. Kombinací s přidavkem Si do struktury vrstvy je pak získána nanokompozitní struktura, která svou tvrdostí předčí i CrAlN vrstvy s vyšším obsahem Cr. Vrstvu s nízkým obsahem Cr pod 5 % pak lze snadněji chemicky odstranit z povrchu použitého nástroje a nástroj se může renovovat několikanásobně, jak je zvykem při aplikaci jiných typů povlaků.



Obr. 29 Odvalovací fréza



Obr. 30 Frézování ozubených kol z oceli 1.0501 HB = 180-200. Nástroj PM HSS fréza; $v_c = 120 \text{ m/min}$; $a_p = 1,5 - 2 \text{ mm}$. Zdroj: Minitools, Padova, Itálie

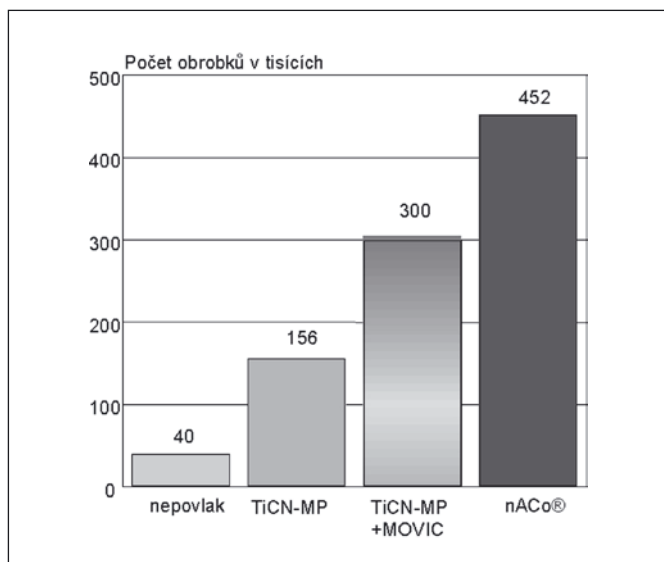
Prostřihování, děrování apod.

Aby byl přehled aplikací rozmanitější, je poslední příklad trochu z jiné oblasti. Veškeré tvářecí, lisovací a stříhací nástroje kladou na aplikovanou vrstvu velmi vysoké nároky. Vynikající adheze je nezbytnou podmínkou. Velmi dobrý koeficient tření a vysoká abra-

zivní odolnost jsou důvody proč se vůbec volí povlakování těchto nástrojů. Proto se používá v mnoha případech kombinace velmi tvrdé podkladové vrstvy s kluznou povrchovou vrstvičkou nebo se volí, tam kde to dovolí teplotní podmínky, vrstvy na bázi TiCN. Ty mají vynikající kluzné vlastnosti a vysokou tvrdost. Obvyklé přínosy povlakovaných nástrojů proti nepovlakovaným jsou vysoké. V tomto příkladu z průmyslového nasazení několika variant PVD vrstev je zřejmé, že varianta velmi tvrdé a hladké vrstvy nahradila kombinaci tvrdé a kluzné vrstvy i přes nepříznivější koeficient tření. Výhody velmi tvrdých vrstev se záměrně připraveným hladkým povrchem jsou ověřeny i v jiných aplikacích, např. závitování.



Obr. 31 tvářecí a prostřihávací nástroje



Obr. 32 Vystřihování materiálu INOX. Zdroj: PLATIT, Švýcarsko

NOVÉ SYSTÉMY V OBLASTI PVD POVLAKŮ

- Tlustá vrstva pro tvářecí aplikace
- Kluzná vrstva LUBRIK

TLUSTÁ VRSTVA

Co se skrývá ze tímto pojmem? Standardní PVD technologiemi připravované vrstvy jsou nanášeny v tloušťkách pouze několika málo mikrometrů. Pro osové nástroje (frézy, vrtáky, apod.) v rozmezí 2–3 μm , na vyměnitelných břitových destičkách jsou vrstvy 4–8 μm tlusté. Velmi zřídka se nanášejí povlaky v tloušťkách nad 10 μm , a to převážně na některé tvářecí nástroje. Tlustá vrstva, tak jak je chápána v tomto článku, má tloušťku nad 20 μm , typicky okolo 50 μm , ale v technicky odůvodněných aplikacích může být připravena s tloušťkou do 100 μm .

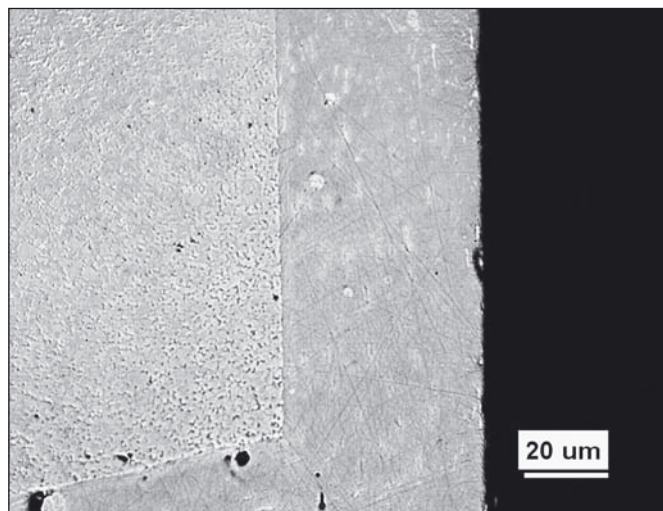
Omezení standardních PVD vrstev

Z pohledu geometrie řezných nástrojů není mnohdy silnější vrstva akceptovatelná. Dochází k zaoblení řezných břitů, následně nárůstu řezných sil, jenž mohou způsobit destrukci břitů nebo minimálně snížení životnosti nástroje či zhoršení kvality obráběného povrchu.

Dalším důvodem omezení tloušťky standardních PVD vrstev je jejich vnitřní zbytkové pnutí. Dosahuje nezřídka 5 až 7 GPa. Z hlediska mechanických hodnot pro povlakování používaných materiálů jsou to hodnoty extrémně vysoké. Například mez kluzu běžných HSS materiálů je okolo 3 GPa (ČSN 19 830), tvrdokov řady K cca 5 GPa.

Při větších tloušťkách vrstev tak dochází k nárůstu mechanického namáhání nejenom podkladového materiálu (problém je umocněn „ostrými geometriemi“), ale zároveň je namáháno i rozhraní mezi povlakem a podkladem. V kritickém okamžiku povolí nejslabší článek řetězu.

Snad poslední zásadní komplikací je rychlost růstu vrstvy. Běžné hodnoty růstu dosahované na průmyslových povlakovacích zařízeních se pohybují mezi 1–2 μm /hod. Při tloušťkách vrstev okolo 50 μm by v tomto režimu trval povlakovací cyklus desítky hodin. Nanesení těchto povlaků by bylo ekonomicky neúnosné.



Obr. 33 Tlustá vrstva

Systém tlustých vrstev

Úvod nastínil oblasti a problémy, které bylo nutno překonat při vývoji skutečně tlustých vrstev. Nejdůležitějším krokem bylo nalezení systému s možností kontroly vnitřního pnutí. Nejnižší hodnoty pnutí jsou spojeny s povlaky TiN a CrN. Je rovněž znám příznivý vliv Ni na kompenzaci vnitřního stresu. Pro vývoj byl zvolen systém TiCrNiN kombinující přednosti zmíněných povlaků.

Popis zařízení

Povlak byl vyvinut na povlakovacích zařízeních se dvěma rotačními elektrodami. První je tvořena čistým Ti a druhá je kompozitem Cr : Ni ve zvoleném poměru 50 : 50 hmotnostních %. Toto uspořádání velmi elegantně umožňuje měnit stechiometrii vrstvy a tudíž její vlastnosti v souladu s požadavky aplikace pouhou změnou poměrů proudů na jednotlivých elektrodách.

Popis a vlastnosti vrstvy

Provedené experimenty se zaměřily na zjištění vlivu složení vrstvy na její tvrdost, elastické vlastnosti (Fischerscope), vnitřní zbytkové pnutí, strukturu vrstvy (EDX, WDX, XPS, XRD, ERD) a rychlost růstu.

Vrstva dosahuje největší tvrdosti 38 GPa při 23% poměru proudu elektrodou CrNi a rychlosti růstu přibližně 7 μm /hod. Naopak nejvyšší rychlosti růstu (až 19 μm /hod) je dosaženo při tvrdosti

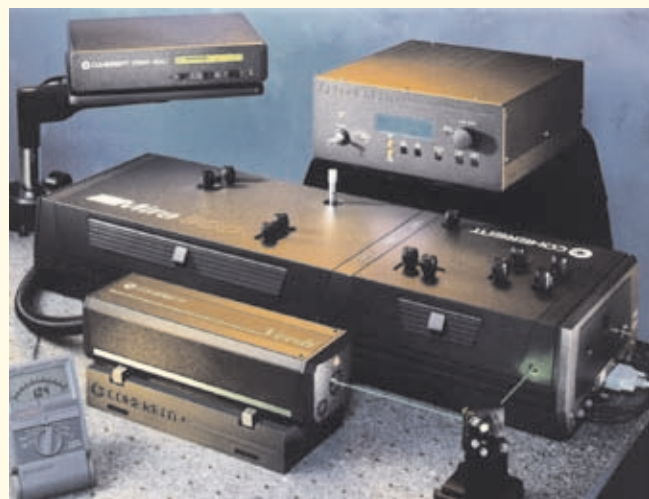
LAO PRŮMYSLOVÉ SYSTÉMY, S.R.O.

VĚDECKÉ APLIKACE - LASERY, LASEROVÁ TECHNIKA, OPTIKA, OPTOELEKTRONIKA
VĚDECKÉ PŘÍSTROJE A SYSTÉMY

Lasery, laserové systémy a příslušenství
Optické komponenty
Optomechanické prvky pro vybavení laboratoří
Optoelektrické komponenty a detekční systémy
Měřicí přístroje a systémy

Naší hlavní dodavatelé pro vědecké aplikace:

Coherent, Lambda Physik, Lasos, Quantel,
Melles Griot, Ealing, Andover, Hamamatsu,
LOT-Oriel, Andor, Electrophysics, Zygo



PRŮMYSLOVÉ KOMPLEXNÍ LASEROVÉ TECHNOLOGIE 13 LET ZKUŠENOSTÍ V LASEROVÝCH TECHNOLOGIÍCH

STANDARDNÍ SYSTÉMY - ZÁKAZNICKÁ ŘEŠENÍ NA MÍRU - AUTOMATIZOVANÉ SYSTÉMY
INTEGRACE - PŘÍSLUŠENSTVÍ - SERVIS - SPOTŘEBNÍ MATERIÁL - NÁHRADNÍ DÍLY - ŠKOLENÍ

ZNAČICÍ LASEROVÉ SYSTÉMY LAO-Shine

Nd:YAG/Fibre/CO₂

Lao-Shine Fibre:

- ▶ 1064nm, 10-20W
- ▶ ultra kompaktní
- ▶ nejnižší provozní náklady
- ▶ životnost ~100 000 hodin
- ▶ žádná údržba
- ▶ značí všechny dostupné materiály
- ▶ vynikající kvalita svazku
- ▶ high-end technologie
- ▶ vysoká produktivita
- ▶ záruka 2 roky

NOVÉ



Navštivte nás na veletrhu **MACH 2006**
10.-12.5.2006, PVA Letňany, Praha 9
Hala 3, sektor A, stánek 16



Na Floře 1328/4, 143 00 Praha 4, tel.: 241 046 800
e-mail: laser@lao.cz, www.lao.cz



ISO 9001:2001

MACH

5. mezinárodní veletrh strojírenské techniky

10. - 12. květen 2006

Praha - PVA Letňany

Souběžně se konají:

INTERPLAST

6. mezinárodní veletrh výroby a zpracování průmyslových plastů a pryží

DRIVE

3. mezinárodní veletrh výrobců a subdodavatelů pro automobilový průmysl

LOGIST

1. mezinárodní veletrh logistiky, dopravy, manipulační a obalové techniky

WAREC

1. mezinárodní veletrh nakládání s odpady, recyklace, čištění a ekologie

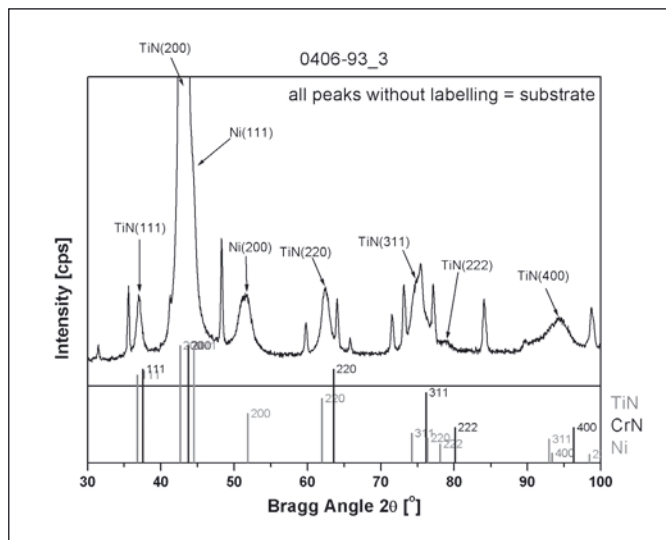
www.imach.cz

TERINVEST spol. s r. o., veletržní správa, Legerova 15, 120 00 Praha 2
tel.: +420 224 263 143, 152, fax: +420 224 263 148, e-mail: mach@terinvest.com



www.terinvest.com

vrstvy okolo 28 GPa. Protože tato tvrdost, především pro HSS materiály, je ještě velmi zajímavá, bylo toto složení, s ohledem na ekonomiku povlakování, voleno jako složení standardní. Za zmínku stojí prakticky nulové zbytkové pnutí vrstvy, velikost krystalitů TiN a Ni v rozsahu jednotek nm a v neposlední řadě výskyt metalické fáze Ni. Lze říci, že provedené analýzy potvrdily předpokládané mechanismy umožňující přípravu vrstvy v mimořádných tloušťkách. Pro experimentální účely byly připraveny vrstvy v tloušťkách od 5 až do 87 μm .



Obr. 34 XRD reflexe vrstvy s největší rychlostí růstu

Aplikace

Tlustá vrstva TiCrNiN směřuje především do oblastí tvářecích nástrojů. Díky svým vlastnostem může být použita jak na nástroje nové, tak především na renovaci nástrojů opotřebovaných. V mnoha aplikacích lze předpokládat, že nový, tlustou vrstvou povlakovaný, HSS nástroj bude ekonomičtější variantou nástrojů tvrdokovových,

Druhá oblast, renovace nástrojů povlakováním, je poměrně revoluční. Úspěch je ovšem přímo podmíněn schopností nanášet vrstvu v tloušťkách srovnatelných s opotřebovaným nástrojem.

Jednou z velmi slibných testovaných aplikací je tažení ocelových profilů. Ve spolupráci s firmou Jäkl Karviná byl vytvářen již z důvodu opotřebování vyřazený tažný nástroj. Konkrétně HSS matrice pro profil č. 470 5910, jenž byla následně renovována nanesením vrstvy TiCrNiN o tloušťce 63 μm již popsaného složení.

Reálné testy povlakovaných nástrojů stále probíhají. Nicméně již z dosavadních výsledků je zřejmý výrazný nárůst životnosti při současně větších rychlostech tažení. Rovněž komfort obsluhy nástroje je podstatně vyšší.

Tažné nástroje patří rozměrově rozhodně k těm větším. Testované zařízení umožňuje povlakovat nástroje pouze do průměru 250 mm a 70 mm vysoké nebo rotační nástroje až do průměru cca 80 mm a výšky 300 mm. Z těchto důvodů je v současnosti dokončován vývoj nového zařízení s větší kapacitou. Rozměry povlakovatelných nástrojů se následně zvětší až na průměr 350 mm při výšce 100 mm nebo rotační nástroje o průměru cca 130 mm s výškou 420 mm.

Vrstva byla vyvinuta v rámci projektu Progres, FF-P2/004. Tento projekt byl realizován za finanční podpory ze státních prostředků prostřednictvím Ministerstva průmyslu a obchodu ČR.

KLUZNÁ VRSTVA LUBRIK

Kluzné vrstvy představují důležitou skupinu průmyslových povrchových úprav nástrojů. Jejich technický přínos v obrábění a tváření lze shrnout do několika úzce souvisejících bodů:

- zlepšení kluzných vlastností
- výrazné snížení „přilnavosti“ mezi vrstvou a obrobkem
- rovnoměrnější zaběhnutí nástroje
- snížení řezných sil a jejich plynulejší průběh
- omezení tvorby nárůstků, zejména při obrábění neželezných kovů.

Dosažení těchto cílů bylo předmětem popisovaného vývoje. Depozice standardních kluzných vrstev je však doprovázena některými technologickými komplikacemi - znečištění komory, kontaminace elektrod, nutnost dodatečných procesů, výměny targetů, apod. Proto byl vývoj zaměřen i na odstranění zmíněných technologických nedostatků.

Popis a vlastnosti vrstvy

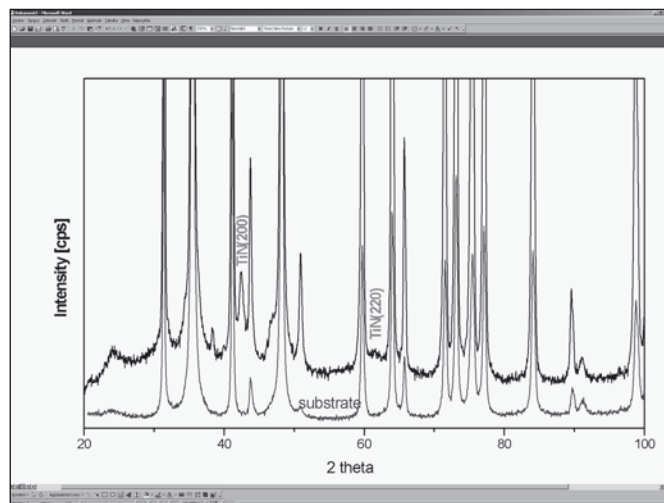
Téměř všechny firmy zabývající se seriózně přípravou PVD povlaků a jejich vývojové týmy se čas od času více či méně zabývají myšlenkou depozice Al_2O_3 vrstev v průmyslovém měřítku. Důvodem je výjimečná tepelná a chemická stabilita doprovázená výbornými mechanickými vlastnostmi.

Právě dosažené dílčí výsledky v rámci vývoje Al_2O_3 se staly technickým podnětem pro depozici popisovaných kluzných vrstev. Výsledkem je unikátní systém, který je tvořen převážně oxidy hliníku a titanu s přidávkou izotropně rozděleného uhlíku. Přitom obsah uhlíku je optimalizován právě pro kluzné aplikace.

Povlak byl vyvinut na povlakovacích zařízeních s válcovými elektrodami.

Složení, struktura

Analýzy složení a struktury se potýkají u povlaků na bázi oxidu a uhlíku s poměrně velkými problémy, které mají za následek vysoký rozptyl měření. Potřeba dosažení co nejpřesnějších výsledků, nutných pro interpretaci nového systému povlaku, si vynutila použití metod náročných na instrumentální a analytické vybavení. Tyto metody nejsou z převážné části v ČR dostupné. Pro analýzu složení byly použity následující metody: EDX (ÚFM AV ČR Brno, TUM Mnichov), WDX (ÚFM AV ČR Brno, TU Freiberg) a ERD (TUM Mnichov). Struktura vrstvy byla vyhodnocována metodami: XRD (TUM Mnichov, TU Freiberg), XPS (TUM Mnichov, FÚ AV Praha).



Obr. 35 Poloha, intenzita a rozšíření XRD reflexí jednotlivých krystalických fází

Ve struktuře LUBRIKU je dominantní fáze Al_2O_3 s příspěvkem TiC. Z pohledu kluzných vlastností je velmi důležitá přítomnost vazeb C-C, C-O a C=O. Převážná část složek je amorfni, což je vlastnost pro oxidy typická. Amorfni struktura však činí další XRD analýzy nepoužitelné. Na doplnění charakterizace struktury vrstev LUBRIK se v současnosti stále pracuje. V grafu je znázorněna poloha, intenzita a rozšíření XRD reflexí jednotlivých krystalických fází.

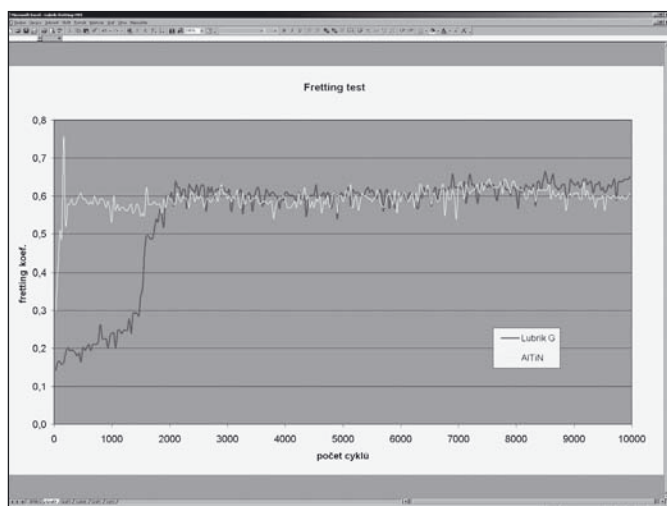
Fáze označená TiN odpovídá adheznímu TiN používanému pro ukotvení vrstvy k substrátu. Neoznačené reflexe korespondují s reflexemi od substrátu (modrá linie). TiC reflexe povlaku se bohužel na tomto obrázku překrývá s reflexí TiC slinutého karbidu (přísadní karbidy) a není v tomto případě označena.

Tvrдость

Pro měření tvrdosti byl použit přístroj Fischerscope H100. Tvrдость je fakticky nezávislá na obsahu Al a je srovnatelná s tvrdostí ostatních typů kluzných vrstev (CBC 20GPa, PLC 12-20 GPa, DLC nad 20 GPa, WC/C 10-15 GPa. Tomu odpovídá i průběh hodnot fretting koeficientu. Z pohledu praxe by samozřejmě vyšší tvrdost nebyla na překážku.

Frikční vlastnosti

Frikční vlastnosti byly ověřovány tzv. fretting metodou. Principem metody je prolešťování povlaku kuličkou nebo hrotem pohybujícími se nízkofrekvenčními kmity.



Obr. 36, 37 Průběh koeficientu frikce a detail fáze zabíhání nástroje

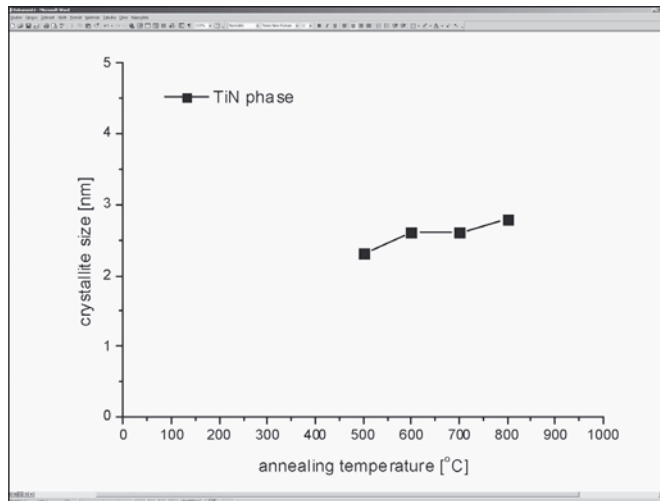
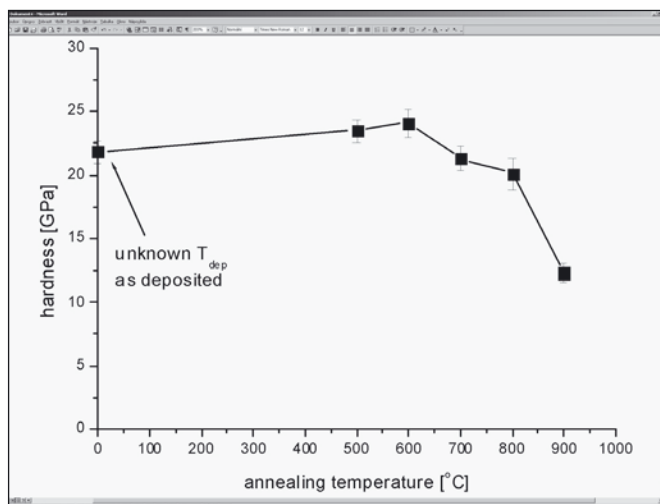
V grafu je provedeno porovnání standardního AITiN povlaku a téhož povlaku doplněného na povrchu vrstvou LUBRIK. Vliv kluzného povlaku, především v počátečních fázích zabíhání, je nepřehlédnutelný. Přibližně po 2000 cyklech dochází k opotřebení relativně tenké a měkké kluzné vrstvy a nadále je frikce již definována vlastnostmi povlaku AITiN.

Tepelná stabilita

Pro zjištění tepelné stability byl zvolen vzorek velmi příbuzný vrstvě LUBRIK, ale s vyšší výchozí tvrdostí. Důvodem specifického výběru vzorku je skutečnost, že vlivem žhání dochází k poklesu tvrdosti vrstvy. Pokud je tvrdost vrstvy a substrátu podobná, může při měření dojít ke zkreslení hodnot. Podrobnosti k měření tvrdosti lze nalézt v MM6/2004.

Nicméně lze předpokládat, že hodnota zjištěná na tvrdším vzorku, bude vypovídající i pro vrstvu LUBRIK.

Hodnota tepelné stability je zřejmá z obr. 38. Pro vzorek žháný 30 minut v atmosféře N_2 je minimálně 600 °C. Pokles tvrdosti není významný až do teploty 800 °C. Měření bylo doprovázeno XRD měřením struktury vrstvy. Průběh změny velikosti krystalitů TiN je v obr. 39.



Obr. 38, 39 Tepelná stabilita vrstvy LUBRIK – průběh tvrdosti a změny krystalitů TiN

Aplikace

LUBRIK byl samozřejmě testován nejenom laboratorně. Za mimořádné ochoty níže uvedených firem byly rovněž realizovány praktické testy.

Ve firmě Kamax s.r.o. byla provedena zkouška tváření šroubařské oceli (ocel tř. 14). Životnost nástroje s původním povlakem byla 20 až 30 tis. kusů. S aplikovanou vrstvou LUBRIK G došlo ke zvýšení životnosti na 60 až 90 tis. kusů.

Další zkouškou bylo stříhání a tváření ocelí tř. 11,12 a ocelí nerezových ve firmě Forez spol.s.r.o. LUBRIK G nahradil standardně dodávanou vrstvu MARWIN G.

Společnost Karsit, s.r.o. - Nástrojárna Postřelmov testovala povlakování nástrojů pro tváření misek z pozinkovaného plechu. Problémem aplikace bylo zadíráání zinku v nástroji. Původní varianta povlaku MARWIN SI eliminovala zadíráání a přinesla zvýšení životnosti. LUBRIK G zároveň dosáhl výrazně lepšího povrchu tvářeného materiálu.

Ve společnosti Isolit-Bravo s.r.o. docházelo při tváření švových nerezových trubek k velkému otěru a vydírání razníku vlivem mikrootřepů. Bylo provedeno porovnání životnosti variant povlaků. Původní povlak TiN vykazoval životnost 6-8 tis. kusů, LUBRIK G dosáhl snížení lisovacích sil, nižší teploty výlisků a životnosti 10-14 tis. kusů. Nanokompozitní varianta LUBRIK SI navíc odolávala mnohem lépe i mikroskopickým nečistotám, a to s životností 14-20 tis. kusů.

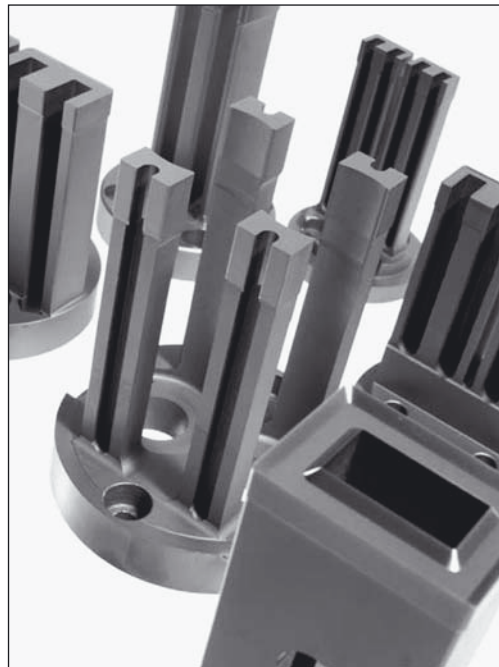
V průběhu zkoušek se objevil ještě jeden zajímavý aspekt nové vrstvy. Nasazení vrstvy LUBRIK nikdy neuškodí, právě naopak. LUBRIK může výrazně pomoci vyřešit ve výrobě dosavadní problémy.

Z praktického hlediska lze konstatovat, že vrstvy LUBRIK lze uplatnit všude tam, kde se používají jiné typy kluzných povlaků DLC, MoS₂ nebo WC/C.

LUBRIK SI a LUBRIK G

LUBRIK je nejnovější přírůstek do rodiny povlaků vyvinutých firmou SHM, s.r.o., Šumperk. Nanáší se jako závěrečná část již zavedených povlaků MARWIN SI a MARWIN G. Odtud se odvíjí i jejich obchodní označení LUBRIK SI a LUBRIK G. Typická tloušťka kluzné vrstvičky je od 0,3 do 0,5 μm. V technicky opodstatněných aplikacích ji lze bez komplikací připravit v tloušťce nad 4 μm.

Podle výsledků dosavadních analýz a testů lze předpokládat, že LUBRIK, coby kluzná vrstva, je pouze vstupní branou k mnohem rozsáhlejšímu systému PVD vrstev.



Obr. 40 Aplikace vrstvy LUBRIK na nástroj

Dr. Tibor Cselle – PLATIT AG, Grenchen, Švýcarsko; RNDr. Pavel Holubář, SHM, s.r.o., Průmyslová 3, 787 01 Šumperk
Mojmír Jílek, SHM, s.r.o., Průmyslová 3, 787 01 Šumperk; Ing. Milan Růžička, Phd, PIVOT, Průmyslová 3, 787 01 Šumperk
RNDr. Michal Šíma SHM, s.r.o., Průmyslová 3, 787 01 Šumperk; Ing. Ondřej Zindulka SHM, s.r.o., Průmyslová 3, 787 01 Šumperk

Technické pokyny pro autory

Příspěvky se přijímají v elektronické formě.

Požadavky na textovou část: Text musí být pořízen v editoru MS WORD, doporučuje se font Times New Roman, velikost písma 12, dvojitě řádkování, formát stránky A4. Ve všech částech příspěvku používejte stejný font. Text pište do jednoho sloupce se zarovnáním k levému okraji, klávesu ENTER používejte pouze na konci odstavce.

Rovnice a vzorce uváděné na samostatných řádcích musí být vytvořeny modulem pro matematiku editoru MS WORD, rovnice a vzorce, které jsou součástí textu na řádku, zapisujte pomocí vložených symbolů, nikoliv zmíněným modulem. Při psaní matematických a chemických výrazů dodržujte základní pravidla: Veličiny pište kurzívou, matice tučně stojatě (antikva), vektory a skaláry tučnou kurzívou. Úplný (totální) diferenciál „d“ vždy stojatě. Ludolfovo číslo „π“ stojatě. Indexy, pokud vyjadřují veličinu, pište kurzívou, v opačném případě stojatě (např. max, min apod.). Imaginární jednotku „i“ stejně jako „j“ v elektrotechnice pište stojatě.

Dodržujte pravidla českého pravopisu; za interpunkčními znaménky je vždy mezera. Rovněž tak před a za znaménky „+“, „-“, „=“ apod. je vždy mezera.

Požadavky na obrázky a grafy: Grafickou část příspěvku nevěnujte do textu, ale dodávejte ji jako samostatné grafické soubory typu *.CDR, *.EPS, *.TIF, *.JPG a *.AI (vektorovou

grafiku jako *.EPS nebo *.AI soubory, bitmapovou grafiku jako *.TIF nebo *.JPG soubory). V žádném případě nedodávejte obrázky v souboru typu *.doc. Bitmapové soubory pro černobílé kresby musí mít rozlišení alespoň 600 dpi, pro černobílé fotografie nejméně 200 dpi a pro barevné nejméně 300 dpi. Při generování obrázků v COREL DRAW do souboru typu *.EPS převedte text do křivek. U souborů typu *.JPG používejte takový stupeň komprese, aby byla zachována co nejlepší kvalita obrázku. Velikost písma v obrázcích by neměla klesnout pod 1,5 mm (při předpokládané velikosti obrázku po zalomení do tiskové strany).

Pokyny k předávání příspěvku

Ke každému textu nebo grafice musí být přiložen kontrolní výtisk nebo fotografie.

Dále je třeba, aby k článku autor dodal překlad resumé a názvu článku do anglického (českého – slovenského) jazyka, klíčová slova, jména všech autorů včetně titulů, jejich plných adres, telefonického spojení a případně e-mailové adresy.

Soubory je možno dodat na disketě, CD nebo na médiu ZIP 100 MB.

Ke každému příspěvku připojte seznam všech předávaných souborů a u každého souboru uveďte pomocí jakého software byl vytvořen.

Příspěvky zasílejte na adresu: Redakce časopisu JMO, Kabelíkova 1, 750 02 Přerov.

Vliv PVD čištění na strukturu povrchu slinutého karbidu

V porovnání s CVD technologií jsou požadavky na předdepoziční přípravu povrchu nástrojů v technologii PVD mnohem vyšší. Adhezní rozhraní se nevytváří difúzí povlaku do podkladového materiálu jako v případě CVD, ale tvorbou fyzikálních vazeb mezi povrchem a energetickými částicemi povlaku při jejich dopadu a kondenzaci. Kvalita vazeb závisí ve značné míře i na dokonalém odstranění atomárních nečistot z povrchu nástroje. Pokud se atomy povlaku naváží na atomy např. uhlíku nebo kyslíku, které samy mají naprosto nedostačující přilnavost k povrchu nástroje, bude celková adheze nutně definována právě adhezí nečistota – povrch.

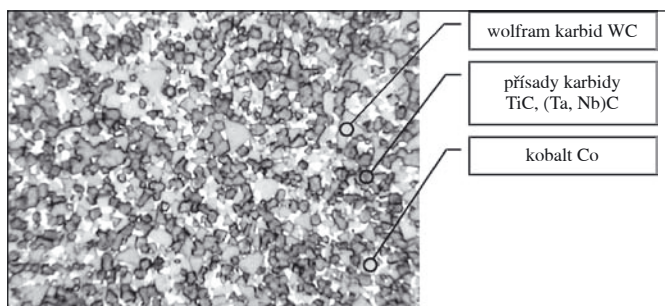
Z širšího hlediska lze přípravu nástrojů pro PVD rozdělit do dvou základních kroků. První představují především metody mechanické, chemické a kombinované. Používá se odmašťování a čištění nástrojů za použití různých smáčedel a saponátů, mnohdy v kombinaci se zvýšenou teplotou lázně či s ultrazvukem. U problematických nástrojů předchází samotnému čištění nezřídka i pískování. Poměrně rozšířené jsou i metody elektrochemické. Druhým krokem jsou metody již úzce spojené s technologií samotné PVD deposice. Je to čištění doutnavým výbojem (glow discharge) a iontové čištění (ion cleaning, ion etching, apod.).

Iontové čištění

Vlivu doutnavého výboje a obloukového iontového čištění je věnován tento článek. Doutnavý výboj a iontové čištění jsou posledními fázemi před zahájením vlastní deposice vrstvy. Úkolem těchto čištění je zajištění dokonale čistého povrchu nástroje a tudíž optimální adheze povlaku k podkladovému materiálu. V průběhu čištění doutnavým výbojem je povrch bombardován ionty procesního plynu, nejčastěji argonu. Při iontovém čištění je povrch nástrojů bombardován ionizovanými částicemi z katody odpařovaného materiálu, které jsou v prostředí nízkého tlaku urychlovány směrem k nástrojům vlivem připojeného vysokého předpětí. Kombinací tlaků, proudových hustot, předpětí na nástrojích a teploty čištění lze dosáhnout různé energie a intenzity čištění. Velkou roli hraje i geometrie čištěných ploch. Je zřejmé, že na špičkách a ostrých hranách, které jsou funkčními plochami řezných nástrojů, dochází k čištění mnohem intenzivnějším.

Struktura slinutého karbidu

V tomto bodě je třeba vzít podrobněji do úvahy strukturu nástrojů ze slinutého karbidu, který je vedle rychlořezných a práškových ocelí nejrozšířenějším materiálem pro výrobu povlakovaných řezných nástrojů. Struktura slinutého karbidu sestává v principu ze dvou základních fází. Wolfram karbidu (WC) a kobaltové pojící fáze (Co). Pro další modifikaci základních vlastností se používají příměsi např. titan, tantal nebo niob karbidů (TiC, TaC, NbC).

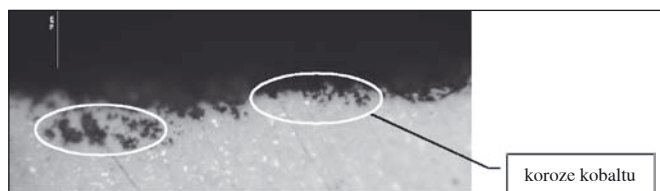


Obr. 1 Struktura slinutého karbidu

Poněkud zjednodušeně lze říci, že zrna wolfram karbidu poskytují slinutému karbidu tvrdost a ořezuvzdornost, kobaltová fáze zajišťuje jeho houževnatost.

Cíl studie

Jak tedy spolu souvisí iontové čištění, slinutý karbid a námět článku? Vlivem příliš intenzivního čištění, ve snaze dále zlepšit adhezi povlaku, lze především v oblastech řezných hran způsobit odleptání kobaltové pojící fáze. Ve struktuře zůstanou pouze tvrdá zrna wolfram karbidu a břit ztratí spolu s kobaltem i svou houževnatost. V extrémním případě může dojít už v prvních fázích řezu k destrukci břitu, poškození nástroje a následně i obrobku. Cílem této studie bylo zjistit vliv parametrů iontového čištění ve vztahu k narušení kobaltové pojící fáze.



Obr. 2 Příklad odleptání kobaltové pojící fáze – chemické leptání

Experiment

Pro experiment byly zvoleny čtyři druhy slinutého karbidu (tab. 1) a provedeno jejich čištění s různými parametry (tab. 2). Následně byly tyto vzorky za účelem zjištění koncentračních profilů v podpovrchové vrstvě analyzovány metodou GDOES (Glow Discharge Optical Emission Spectroscopy).

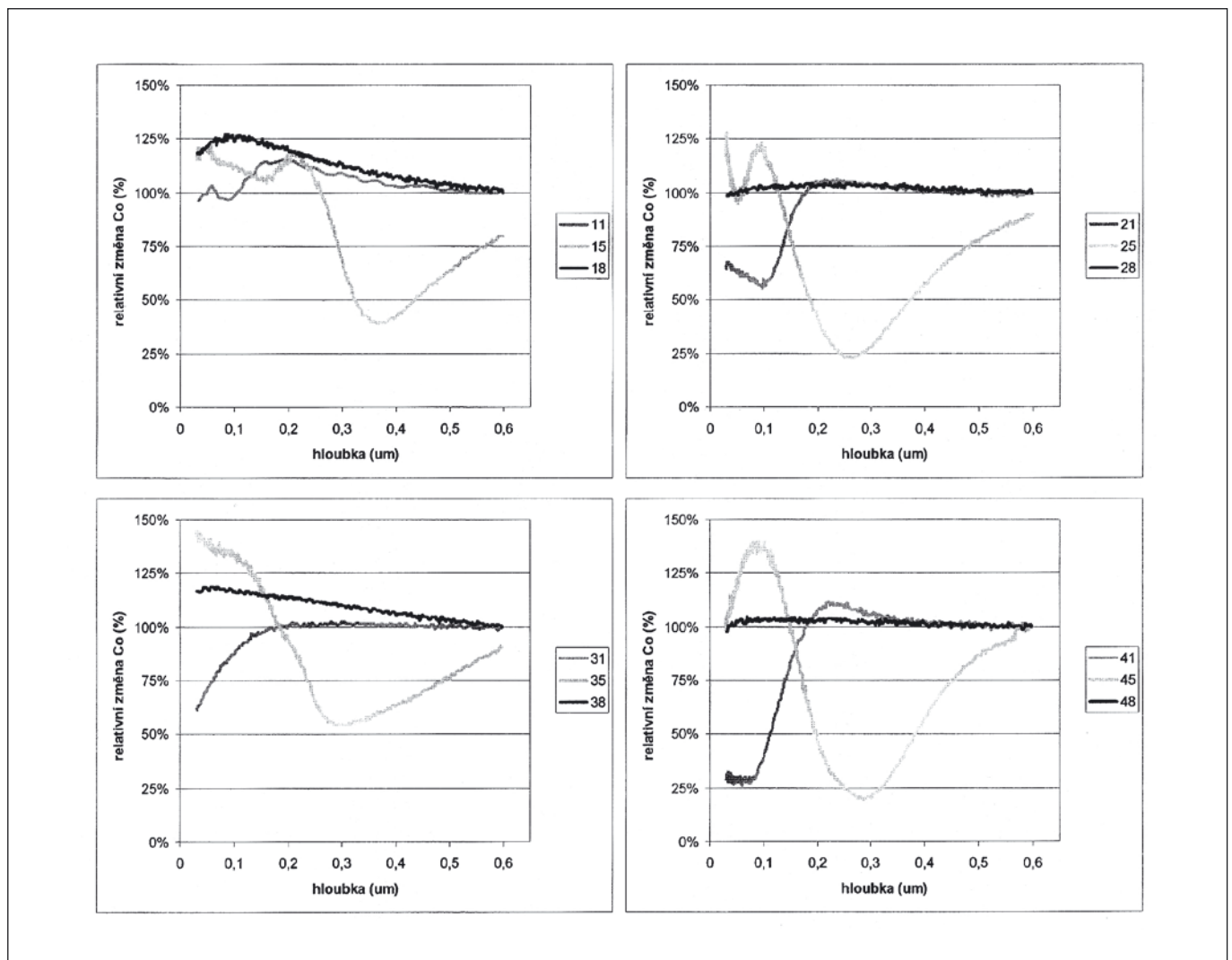
Tab. 1 Složení a vlastnosti slinutých karbidů

ozn.	WC [hm. %]	TiC [hm. %]	TiC [hm. %]	(Ta, Nb)C [hm. %]	stř. vel. zrn WC [μm]
1	61	9	18	12	1,5
2	91,5	7	-	1,5	1
3	90,4	9	-	0,6	3
4	93	7	-	-	0,8

Především varianty slinutého karbidu s ozn. 3 a 4 jsou svým složením často využívané pro výrobu osových nástrojů. Pro výběr složení byla klíčová následující pracovní hypotéza: odleptávání kobaltu bude intenzivnější při jeho vyšším obsahu, při větší velikosti zrn WC a při menším obsahu přísadních karbidů Ti, Ta a NbC.

Tab. 2 Parametry variant iontového čištění

ozn. iontového čištění		Č 1	Č 5	Č 8
ozn. procesu		0201-0071	0203-0175	0204-0068
tlak před začátkem	[Pa]	0,001	0,002	0,005
teplota před začátkem	[°C]	310	přibližně 150	350
doba čištění doutn. výbojem	[min]	není	20	2
tlak během čištění doutnavým výbojem	[Pa]	není	10	4,4
bias při doutn. výboji	[V]	není	960 pulsně	900 pulsně
proud. hustota při doutn. výboji	[mA/cm ²]	není	4	0,4
doba čištění obloukem	[min]	20	9	20
tlak během čištění obloukem	[Pa]	0,8	0,685	0,8
bias během čištění obloukem	[V]	990	960 staticky	1000 staticky
proud. hustota při čištění obloukem	[mA/cm ²]	1,5	4,5	0,4
teplota po skončení iont. čištění	[°C]	400	500	420
střední volná dráha iontů	[cm]	2,13	2,51	2,13



Graf 1, 2, 3, 4 – změna obsahu kobaltu v podpovrchové vrstvě

Z pohledu efektivního výkonu, který byl odhadnut s použitím některých zjednodušení, je nejméně intenzivní varianta čištění IC 8, naopak nejvíce agresivní IC 5.

V tab. 3 je proveden přehled značení jednotlivých kombinací slinutého karbidu a čištění. Celkem bylo připraveno a analyzováno 12 ks vzorků.

Tab. 3 Přehled značení testovaných kombinací slinutý karbid – čištění

Ozn.	Č 1	Č 5	Č 8
1	11	15	18
2	21	25	28
3	31	35	38
4	41	45	48

Výsledky

Všechny vzorky z tab. 1 byly analyzovány za účelem zjištění koncentračního profilu kobaltu v hloubce 0 - 0,6 µm pod povrchem. V následujících grafech č. 1, 2, 3, 4 jsou znázorněny relativní rozdíly vůči základnímu obsahu kobaltu ve slinutém karbidu. (100% odpovídá vždy základním hodnotám z tab. 1).

Nezávisle na druhu slinutého karbidu je možno v grafech rozlišit tři různé typy koncentračních profilů v návaznosti na typu procesního čištění. Obsah kobaltu:

- po čištění Č 1 je povrchově ochuzen (u vzorků 11, 21, 31, 41),
- po Č 5 je na povrchu vysoký a v hloubce přibližně 0,3 µm je výrazně redukován (u vzorků 15, 25, 35, 45),

- po Č 8 zůstává prakticky konstantní (vzorky 28, 48) nebo směrem k povrchu vzrůstá (vzorky 18, 38).

V Č1 dochází ke „klasickému“ povrchovému odleptání kobaltu. Vysvětlit rozdíly mezi jednotlivými druhy karbidů není jednoduché. U vzorku č. 11 může být nižší pokles kobaltu ve vztahu ke stabilizujícímu vlivu přísadních karbidů. S jejich klesajícím obsahem se povrchový deficit kobaltu zvětšuje. V souladu s tím, je pak největší v případě vzorku č. 41, který je zcela bez těchto karbidů.

Čištění Č 5 je „nejagresivnější“. Profil kobaltu je velmi pozoruhodný. U všech vzorků bez rozdílu došlo k „vykradení“ kobaltu v hloubce 0,2 – 0,4 µm a jeho navýšení v povrchové části. Vzhledem k dříve specifikované pracovní hypotéze lze říci, že se vzrůstající velikostí zrna wolfram karbidu je odleptání kobaltu markantnější. O možných mechanismech ovlivnění obsahu kobaltu je možno z pohledu této studie pouze spekulovat.

Čištění Č 8 je vzhledem ke změně obsahu kobaltu nejpříznivější. Příčina povrchového obohacení u vzorků č. 18 a 38 není zřejmá. Společným rysem vzorků je pouze o dvě procenta vyšší obsah kobaltu než u ostatních.

Závěr

Studie potvrdila, že změnou parametrů doutnavého výboje a iontového čištění může dojít k ovlivnění vlastností slinutého karbidu. Efekt odleptání je menší s menším obsahem kobaltu, s menší střední velikostí zrna wolfram karbidu a s vyšším obsahem přísadních karbidů. GDOES analýzou různých čištěných vzorků byly nalezeny velmi zajímavé profily kobaltu ve slinutém karbidu. Z pohledu iontového čištění by neměla proudová hustota přesáhnout 0,5 mA/cm².

Ing. Ondřej Zindulka, SHM, s.r.o., Šumperk, Průmyslová 3, 787 01 Šumperk, tel.: +420 583 241 176

13. mezinárodní strojírenský veletrh



Ve dnech 23. až 26. května se na výstavišti Agrokomplex v Nitře bude konat 13. mezinárodní strojírenský veletrh, který je každoroční nejvý-

znamnější a nejkompaktnější přehlídkou slovenského strojírenství, průmyslu a hospodářství.

Nitranské strojírenské veletrhy jsou největší specializovanou prezentací svého druhu na Slovensku a staly se již trvalou součástí evropských kalendářů strojírenských veletrhů a výstav. Od svého vzniku si vytvořily dobrou pověst a navštěvuje je stále více odborníků již z celé Evropy.

Areál výstaviště má využitelnou výstavní plochu téměř 30 000 m², takže bylo možné opět doplnit nomenklaturu strojírenského veletrhu tématickými výstavami v samostatných pavilonech a na volných plochách. Je očekáváno, že se letos zúčastní přes 1000 vystavovatelů a spoluvystavovatelů, kteří zastupují dalších asi 300 firem – to vše z 27 států. Asi polovina z nich bude ze Slovenska a jedna třetina z Česka. Kolektivní účasti organizuje Německo. Z ostatních zemí mají největší přímé zastoupení vystavovatelé z Rakouska a Švýcarska. Přímo nebo v zastoupení jsou na veletrhu firmy z Japonska, Velké Británie, Francie, Dánska, USA, Švédska, Finska, Izraele, Nizozemska, Itálie i jiných zemí. Česká republika se představí oficiální účastí podporovanou Ministerstvem průmyslu a obchodu ČR. Malé a střední firmy mohly získat příspěvek na úhradu výdajů za pořízení expozice.

Koncepce veletrhu je zaměřena na všeobecné strojírenství a jeho nomenklatura bude následující v uvedených pavilonech:

- obráběcí, tvářecí stroje a příslušenství (M1, M2 a S1)
- ruční nářadí a povrchové úpravy (J a K)
- armatury, čerpadla, vzduchotechnika a hydraulika (M3)
- ložiska, těsnění, části strojů a tématická mezinárodní výstava plastů pro strojírenství CHEMPLAST (M4)
- tématická mezinárodní výstava svařování a technologií svařování EUROWELDING (N)
- tématická mezinárodní výstava slévárenství a hutnictví CAST-EX (C a G)
- manipulační technika (G)
- největší tématická mezinárodní výstava elektrotechniky, měření a automatizace EMA (A, B a F)
- tématická mezinárodní výstava stavební mechanizace a manipulační techniky STAVMECH (volná plocha E)

Strojírenský veletrh v Nitře má rozsáhlý odborný program s přednáškami, celostátními a mezinárodními konferencemi, soutěžemi o Cenu veletrhu, Nejlepší strojírenský výrobek a se zajímavými firemními dny. Další informace o dění na výstavišti lze najít na internetu www.agrokomplex.sk a u agentury Progres Partners Advertising s.r.o., pověřené organizací oficiální účastí, Opletalova 55, 110 00 Praha 1, tel.: 221 602 324, fax: 224 218 312, e-mail: peskova@ppa.cz.

(jpe)

Růst krystalů kovů metodou visuté zonální tavby s optickým ohřevem

Optický ohřev realizovaný fokusovaným zářením xenonových výbojek v systému čtyř poloelipsoidních zrcadel byl úspěšně aplikován na růst řízených struktur v kovových materiálech metodou visuté zonální tavby. Metodika je demonstrována na příkladu orientovaných monokrystalů a trikrystalů slitiny na bázi Fe–Si a na hrubozrnných multikrystalů intermetalika FeAl a slitiny s tvarovou pamětí typu NiTi. Výsledky ukazují výhodu aplikace optického ohřevu pro vizuální kontrolu roztavené zóny a její ovlivňování během růstového procesu před klasickým využitím indukčního ohřevu.

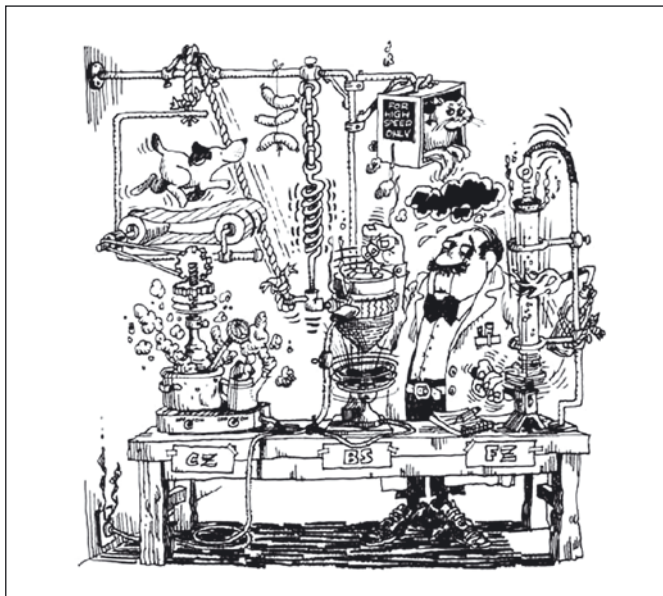
ÚVOD

Krystalograficky definované struktury jsou nutné pro vyšetřování strukturně závislých vlastností pevných látek. Např. orientované monokrystalů kovů se používají pro studium pohybu dislokací a mechanismů plastické deformace [1,2], teplotně a napětově indukovaných martensitických transformací [3], objemové difuze [4] a povrchové segregace příměsí [5]. Ke studiu vlastností vnitřních rozhraní – hranic zrn – jsou zapotřebí bikrystalů, tedy vzorky složené ze dvou krystalů oddělených krystalograficky charakterizovanou hranicí zrn. Příkladem může být studium vlivu hranic zrn na plastickou deformaci [6,7], migrace hranic zrn [8,9], segregace příměsí na hranicích zrn [10] a difuze po hranicích zrn [11].

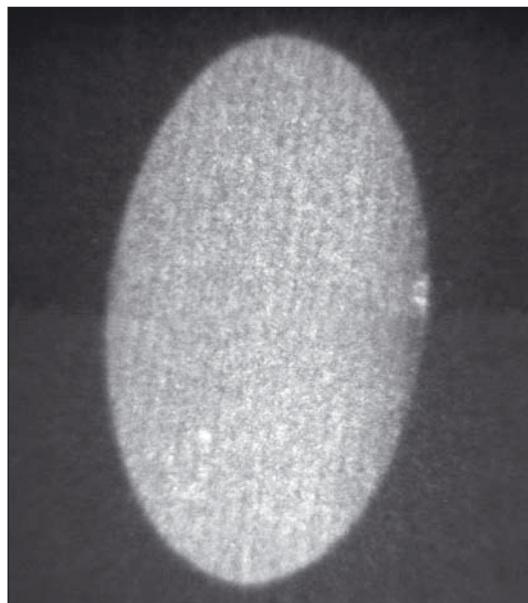
Pro přípravu velkých orientovaných krystalů kovů a jejich slitin z taveniny existují tři základní metody: Bridgmanova (–Stockbargerova) metoda (BS), Czochralskiho technika (CZ), a metoda visuté zonální tavby (floating-zone, FZ) [12]. Jak může být patrné z karikatury¹ na obr. 1, Bridgmanova metoda je založena na řízeném tuhnutí roztaveného materiálu (taveniny) v kelímku s konickým dnem v průběhu pomalého jednosměrného chlazení při průchodu vhodným teplotním gradientem. Při poklesu teploty pod bod tání tavenina tuhne na zárodečném krystalu s požadovanou krystalo-

grafickou orientací umístěném v konickém dnu. U Czochralskiho metody je orientovaný zárodek částečně ponořen do roztaveného materiálu a pomalu tažen vzhůru. Tavenina, která přilnula k tomto zárodku díky povrchovému napětí a je tak tažena z kelímku, krystalizuje v chladné části nad povrchem taveniny. Technika visuté zonální tavby spočívá na pomalé krystalizaci taveniny na zárodečném krystalu během posunu úzké zóny vytvořené mezi rostoucím krystalem a pohlcovaným polykrystalickým materiálem. Základním rozdílem mezi těmito třemi metodami je role kelímku během růstového procesu: V řadě BS → CZ → FZ se snižuje kontakt materiálu s kelímkem a tudíž se redukuje jednak možnost kontaminace materiálu (taveniny resp. krystalu), jednak deformace rostoucího krystalu. Navíc v této řadě roste teplotní gradient v oblasti krystalizace.

Laboratoř růstu krystalů oddělení kovů Fyzikálního ústavu AV ČR získala během své činnosti od šedesátých let minulého století velké zkušenosti s růstem krystalů s nízkou hustotou mřížkových defektů (dislokací) metodou visuté zonální tavby. Nejprve byla vy-



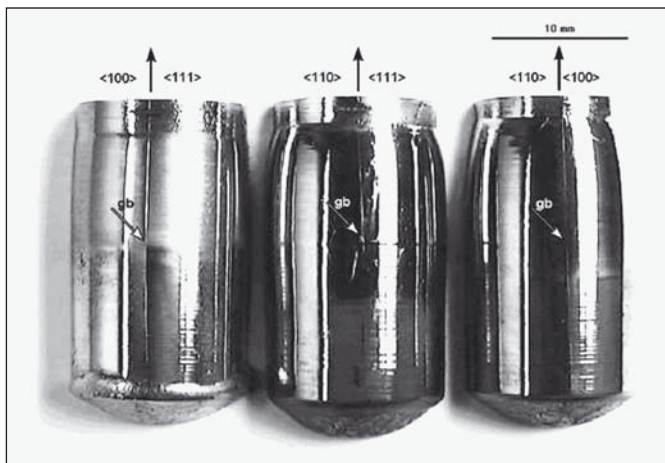
Obr. 1 Schematické znázornění tří hlavních metod růstu krystalů z taveniny: CZ – technika Czochralskiho, BS – metoda Bridgmanova–Stockbargerova, FZ – technika visuté zonální tavby. (Převzato z *J. Crystal Growth* (1974))



Obr. 2 Snímek konečného průřezu vypěstovaného monokrystalu slitiny Fe–6at.%Si (průměr 12 mm) pořízený metodou Bergovy–Barretovy rentgenové difrakční topografie. Rovnoběžné čáry na topogramu jsou stíny drátků umístěných mezi vzorkem a fotografickou deskou; tyto stopy pomáhají odhadnout dezorientaci jednotlivých subzrn. Uvedený krystal žádné subhranice

¹ Obrázek byl součástí reklamy na zařízení pro růst krystalů publikované v *J. Crystal Growth* v r. 1974.

vinuta metoda růstu dokonalých monokrystalů slitin na bázi Fe–Si [13]. Získané krystaly o průměru 12 mm a délce až 150 mm s osami růstu $\langle 100 \rangle$ a $\langle 111 \rangle$ vykazují nízkou hustotu dislokací (pod 10^{-9} m^{-2}), takže nejsou detekovány žádné subhranice Bergovou–Barrettovou metodou rentgenové difrakční topografie (obr. 2). Později byly připravovány dokonalé monokrystaly i z jiných materiálů, jako jsou nikl, chróm a slitiny Fe–Cr. Od osmdesátých let jsou laboratoří produkovány i orientované bikrystaly slitin Fe–Si s hustotami dislokací v jednotlivých krystalech srovnatelnými s výše uvedenými hodnotami [14,15] (obr. 3).



Obr. 3 Neisoaxiální bikrystaly slitiny Fe–6at.%Si se zkrutovými hranicemi zrn $\langle 100 \rangle / \langle 110 \rangle, \{001\}$ (vlevo), $\langle 100 \rangle / \langle 111 \rangle, \{011\}$ (uprostřed) a $\langle 111 \rangle / \langle 110 \rangle, \{112\}$ (vpravo). V horní části každého bikrystalu je patrný zbytek zárodka. Zakulacená spodní část krystalů je výsledkem rychlého vytažení vypěstovaného krystalu z roztavené zóny. Polohy hranic zrn (gb) jsou ukázány šipkou [15]

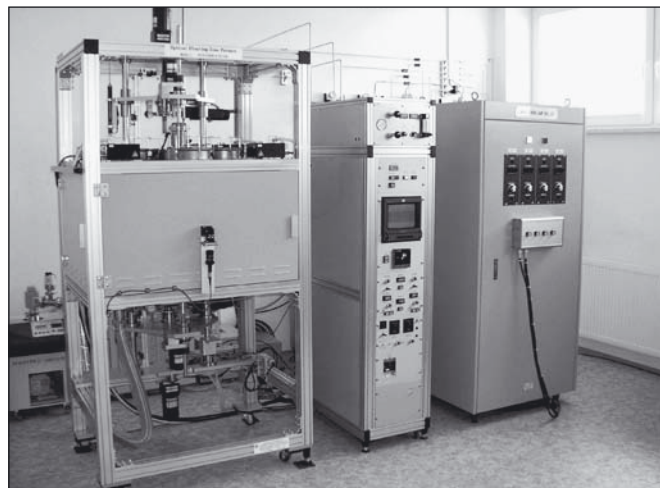
Technika visuté zonální tavby byla v minulosti úspěšně aplikována na kovy a slitiny pomocí indukčního ohřevu materiálu na teplotu tání. Takový zdroj má řadu výhod, např. možnost ustavení velice úzké zóny roztaveného materiálu díky silné fokusaci výkonu při vhodné konstrukci úzké sekundární cívky. Na druhé straně má metoda podstatné nevýhody v komplikované stabilizaci a řízení výkonu a především v tom, že vizuální kontrola roztavené zóny je velice ztížena právě přítomností indukční cívky kolem roztaveného materiálu, a tím je velice obtížné proces růstu krystalů účinně řídit.

OPTICKÝ OHŘEV A TECHNIKA VISUTÉ ZONÁLNÍ TAVBY

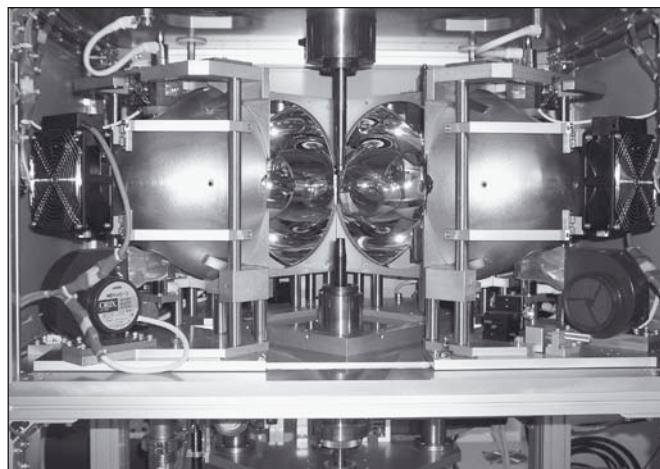
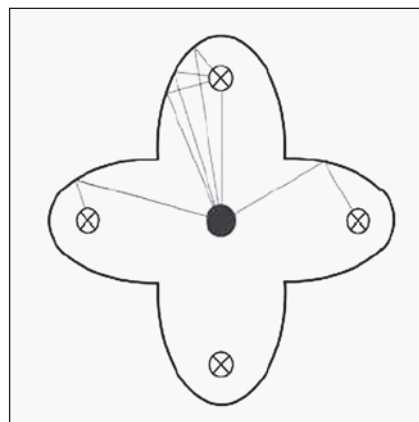
Intenzivní ohřev materiálu je však možné realizovat i jinými způsoby, např. fokusovaným světlem. Optický ohřev se také často používá při růstu krystalů oxidů [16], boridů, karbidů či silicidů kovů [17] nebo vysokoteplotních supravodičů [18]. K růstu kovových krystalů se však využívá pouze vzácně [19]. V tomto případě ohřevu je světlo výkonné lampy (halogenová či xenonová výbojka), která je umístěna v ohnisku elipsoidního zrcadla, koncentrováno do druhého ohniska. Teplota vytvořená koncentrovaným světlem může být tak vysoká, že se roztaví materiál umístěný v ohnisku v úzké roztavené zóně. Protisměrnou rotací materiálu i zárodka je materiál v zóně intenzivně míchán a tím se vyrovnává výhoda indukčního ohřevu. Na rozdíl od indukčního ohřevu je však výkon lamp daleko stabilnější a jeho řízení jednodušší. Navíc je možné vizuálně pozorovat roztavenou zónu, což je při indukčním ohřevu vzhledem k přítomnosti sekundární cívky okolo roztavené zóny obtížné. Tyto skutečnosti samozřejmě zvýhodňují využití optického ohřevu při procesu růstu.

Nedávno bylo v naší laboratoři instalováno moderní zařízení pro růst krystalů metodou visuté zonální tavby s optickým ohřevem (FZ–T–12000–X–VI–VP, Crystal Systems Corp., Japonsko) (obr. 4). Systém ohřevu sestává ze čtyř 3 kW xenonových výbojek umístěných

v ohniscích poloelipsoidních zrcadel. Druhé ohnisko všech zrcadel je společné (obr. 5) a světlo je tak v ideálním případě koncentrováno do jediného bodu, v němž lze dosáhnout teploty až 2800°C . Do tohoto místa je umístěn materiál, který má být taven. Po roztavení a stabilizaci zóny se systém (materiál + rostoucí krystal) pomalu pohybuje v ose a roztavená zóna se tak posouvá podél osy od rostoucího krystalu do pohlcovaného polykrystalu. Hlavní výhody čtyřlampového systému jsou (i) homogennější radiální rozložení teploty a (ii) vyšší dosažitelná teplota než v případě použití jediné výbojky.

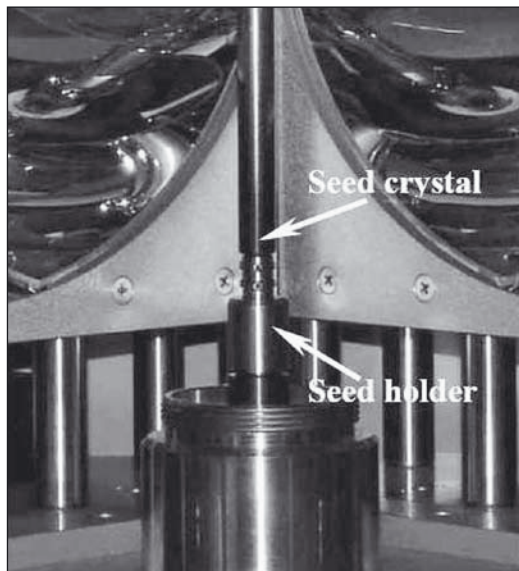


Obr. 4 Zařízení FZ–T–12000–X–VI–VP (Crystal Systems Corp., Japonsko) pro růst krystalů metodou visuté zonální tavby s optickým ohřevem



Obr. 5 Systém optického ohřevu v zařízení FZ–T–12000–X–VI–VP: (a) schematické znázornění, (b) fotografie otevřeného systému

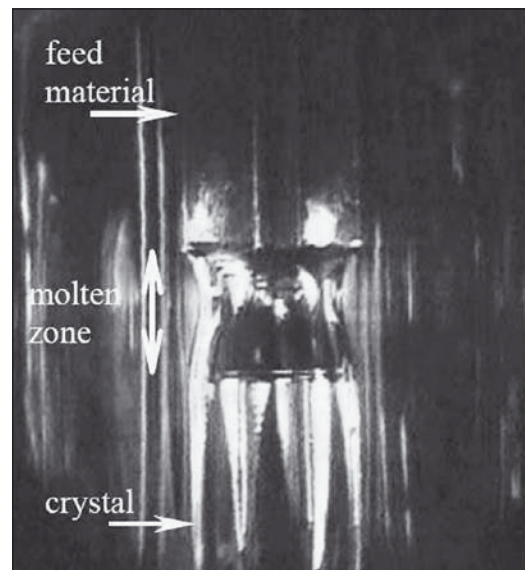
Pro úspěšnou aplikaci metody visuté zonální tavyby na přípravu dokonalých monokrystalů a zejména pro růst složitých struktur, jako jsou bikrystaly a trikrystaly, je velice důležité dodržet co možná nehomogennější radiální rozložení teploty. Proto je nutné velice stabilní držení jak rostoucího krystalu tak pohlcovaného materiálu přesně ve středu optického systému. Držáky vzorků tedy musí umožňovat perfektní justaci obou částí systému v optické ose. Tuto nutnou podmínku však dodaný systém držáků vzorků, kde je zárodek připevněn k držáku napevno drátem bez možnosti přesného centrování a polykrystalický materiál je pouze zavěšen na háčku, neposkytuje.² Proto byly původní držáky nahrazeny držáky vlastní konstrukce, které umožňují vycentrovat jak zárodek tak polykrystalický materiál v optické ose s přesností na 0,01 mm (obr. 6).



Obr. 6 Upravený držák vzorků. Tři páry šroubů umožňují perfektní centrování materiálu v optické ose systému. V pozadí jsou patrná dvě ze čtyř poloelipsoidních zrcadel

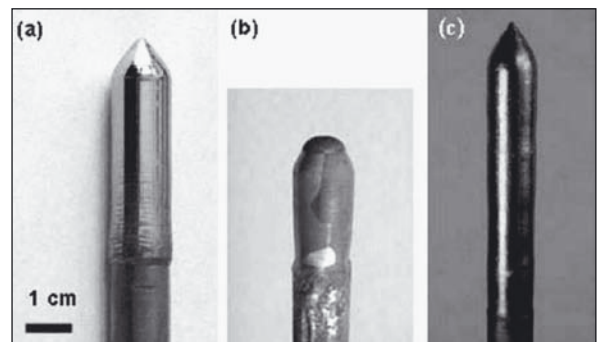
RŮST KRYSALŮ KOVOVÝCH MATERIÁLŮ METODOU VISUTÉ ZONÁLNÍ TAVBY S OPTICKÝM OHŘEVEM

První experimenty na novém zařízení se zaměřily na nalezení optimálního uspořádání systému a podmínek růstu krystalů různých kovových materiálů. zárodek totiž může být principiálně umístěn jak nad roztavenou zónou tak pod ní. Uspořádání se zárodkem nad roztavenou zónou bylo úspěšně aplikováno v posledních letech pro růst krystalů visutou zonální tavybou s indukčním ohřevem [13–15]. Vzhledem k tomu, že nejdůležitější podmínkou pro růst krystalů s dokonale válcovým tvarem je společná tečna rostoucího krystalu a roztaveného materiálu na rozhraní krystal/tavenina, liší se obě uspořádání množstvím materiálu v roztavené zóně. Je-li zárodek umístěn nad zónou, obsahuje zóna – díky gravitaci – takové množství roztaveného materiálu, že její maximální průměr přesahuje průměr pohlcovaného polykrystalu. Tím se ovšem zvyšuje nebezpečí vylití taveniny ze zóny při nevhodných podmínkách tavení. Uspořádání se zárodkem pod zónou je z tohoto hlediska výhodnější, neboť k ustanovení výše uvedené podmínky společné tečny je třeba méně roztaveného materiálu: V tom případě je totiž maximální průměr zóny dosažen právě na rozhraní krystal/tavenina a je tedy stejný jako průměr zárodka (rostoucího krystalu). Zóna roztaveného materiálu je tak jakoby “utopená” v materiálu (obr. 7) a nebezpečí vylití taveniny je výrazně menší. Proto využíváme při růstu krystalů umístění se zárodkem (a tedy rostoucím krystalem) pod zónou.



Obr. 7 Fotografie roztavené zóny v systému s optickým ohřevem: monokrystal Fe–6at.%Si. Průměr krystalu (dole) je 12 mm. Materiál (nahore) má čtvercový průřez 13×13 mm²

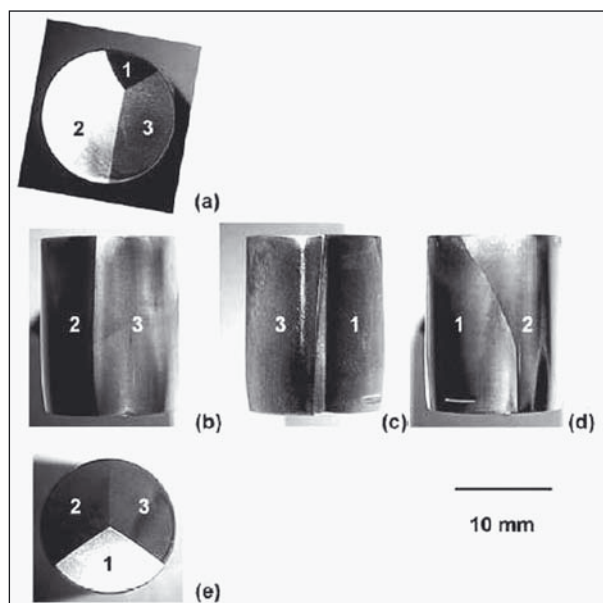
Tímto způsobem jsme připravili orientované monokrystaly slitiny Fe–6at.%Si s osou růstu $\langle 100 \rangle$ pomocí monokrystalického zárodka a hrubozrnné multikrystaly jak uspořádané slitiny na bázi FeAl s krystaly o velikosti až 1 cm v průměru [20], tak slitiny NiTi vyznačující se jevem tvarové paměti. V obou posledně jmenovaných případech se jednalo o preferenční růst krystalů z jemnozrnných polykrystalických materiálů (obr. 8). Zejména úspěšný růst krystalů slitiny NiTi o velikosti až 4 mm v tyčce o průměru 10 mm je velice perspektivní pro růst unikátních monokrystalů tohoto vysoce atraktivního materiálu. Všechny uvedené krystalové struktury byly připraveny tažením rychlostí 10 mm/h v proudu argonu.



Obr. 8 Příklady krystalů vypěstovaných metodou visuté zonální tavyby s optickým ohřevem: (a) monokrystal slitiny Fe–6at.%Si pěstovaný z orientovaného zárodka (osa $[100]$), (b) hrubozrnný multikrystal intermetalické slitiny na bázi FeAl a (c) hrubozrnný multikrystal slitiny NiTi s tvarovou pamětí. Maximální velikost krystalu v případě NiTi byla 4 mm

Vedle zmíněných monokrystalů a hrubozrnných multikrystalů byly připraveny další vzorky s řízenou strukturou hranic zrn, např. orientované bikrystaly a trikrystaly slitiny Fe–6at.%Si. Především možnost přípravy orientovaných trikrystalů [21] (obr. 9) otevírá široké možnosti pro studium atomární struktury a mnohých vlastností trojných styků hranic zrn na jasně definovaných vzorcích.

² Originální systém držáků však má řadu výhod pro jiné experimenty jako v případě, kdy materiál není přesně axiálně symetrický (např. není absolutně rovný) a jakékoli řízené centrování není možné.



Obr. 9 Vypěstovaný trikrystal slitiny Fe-6at.%Si: (a) řez kolmý na osu trikrystalu u zárodku, (b,c,d) povrch vypěstovaného trikrystalu, (e) řez kolmý na osu trikrystalu u konce růstového procesu

ZÁVĚRY

Úspěšný růst širokého spektra krystalových struktur metodou visuté zonální tavby prokázal jednoznačně výhody optického ohřevu v technice visuté zonální tavby. Ve srovnání s indukčním ohřevem totiž zóna není zakryta indukční cívkou a proto je možné ji velice dobře pozorovat a řídit tak průběh procesu růstu. Tato metoda nám umožnila přípravu unikátních orientovaných trikrystalů slitiny Fe-Si a má slibné předpoklady pro růst velkých monokrystalů intermetalických slitin na bázi FeAl a NiTi.

Poděkování

Tato práce vznikla za podpory Grantové Agentury AV ČR (Grant A1010414) a Výzkumného záměru Fyzikálního ústavu (AV0Z 10100520). Autoři by rádi poděkovali paní G. Urbanové za spolupráci při růstu krystalů a panu V. Zachařovi za konstrukci držáků vzorků.

Literatura

- [1] B. Šesták, *Mater. Sci. Eng.* **25** (1976) 171.
- [2] B. Šesták, V. Novák, S. Libovický, *Philos. Mag. A* **57** (1988) 353.
- [3] V. Novák, P. Šittner, D. Vokoun, N. Zárubová, *Mater. Sci. Eng. A* **275** (1999) 280.
- [4] J. Čermák, A. Kufudakis, G. Gardavská, P. Lejček, *Z. Phys. Chem. Neue Folge* **145** (1985) 239.
- [5] A.V. Krajinikov, P. Lejček, M. Militzer, J. Adámek, *Surface Sci.* **417** (1998) 337.
- [6] V. Paidar, P. P. Pal-Val, S. Kadečková, *Acta Metall.* **334** (1986) 2277.
- [7] M. Polcarová, J. Gemperlová, J. Brádrler, A. Jacques, A. Georges, L. Priester, *Phil. Mag. A* **78** (1998) 105.
- [8] M. Furtkamp, P. Lejček, S. Tsurekawa, *Interface Sci.* **6** (1997) 59.
- [9] M. Polcarová, J. Brádrler, A. Jacques, P. Lejček, A. George, O. Ferry, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **36** (2003) A98.
- [10] P. Lejček, S. Hofmann, *Crit. Rev. Sol. State Mater. Sci.* **20** (1995) 1.
- [11] J. Čermák, J. Pavlovský, P. Lejček, *Scripta Metall. Mater.* **31** (1994) 859.
- [12] D.W. Jones, *Refractory Metal Crystal Growth Techniques*, V: *Crystal Growth: Theory and Techniques*, Vol. 1., C.H.L. Godman, Ed., Plenum Press, London, 1974, pp. 233–287.
- [13] S. Kadečková, B. Šesták, *Can. J. Phys.* **5** (1967) 1041.
- [14] S. Kadečková, P. Toula, J. Adámek, *J. Crystal Growth* **83** (1987) 410.
- [15] J. Adámek, P. Lejček, *J. Crystal Growth* **211** (2000) 461.
- [16] M. Higuchi, K. Kodaira, Y. Urata, S. Wada, H. Machida, *J. Crystal Growth* **265** (2004) 487.
- [17] G. Behr, W. Löser, H. Bitterlich, G. Graw, D. Souptel, E.V. Sampathkumaran, *J. Crystal Growth* **237–239** (2002) 1976.
- [18] A. Revcolevschi, J. Jegoudez, *Prog. Mater. Sci.* **42** (1997) 321.
- [19] N. Bird, S. Jiao, G. Taylor, *Intermetallics* **8** (2000) 133.
- [20] J. Kopeček, P. Lejček, *J. Crystal Growth* **287** (2006) 262.
- [21] P. Lejček, J. Kopeček, M. Jarošová, *J. Crystal Growth* **287** (2006) 267.

Prof. Ing. Pavel Lejček, DrSc., tel. +420 266 052 167, e-mail: Pavel.Lejcek@fzu.cz, RNDr. Jaromír Kopeček, PhD., tel. +420 266 052 899, e-mail: kopecek@fzu.cz, fax +420 286 890 527, Oddělení kovů, Fyzikální ústav AV ČR, Na Slovance 2, 182 21 Praha 8.

SPIE/CS – společnost optiků informuje

Nabízíme k prodeji následující sborník SPIE:

Proceedings of SPIE

Photonic, Devices, and Systems III

8-11 June 2005, Prague, Czech Republic

Volume 6180

Editor: Pavel Tománek, Miroslav Hrabovský, Miroslav Miler, Dagmar Senderáková

Organized by: CSSF – Czech and Slovak Society for Photonics Action M Agency (Czech Republic)

Cena: pro členy SPIE/CS - 1100,- Kč/ks + poštovné a balné
pro ostatní - 1600,- Kč/ks + poštovné a balné

Sborník lze objednat u pí Kučerové v knihovně SPIE/CS na adrese: SLO UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: 585 631 504, fax: 585 631 531, e-mail: kucerove@prfnw.upol.cz

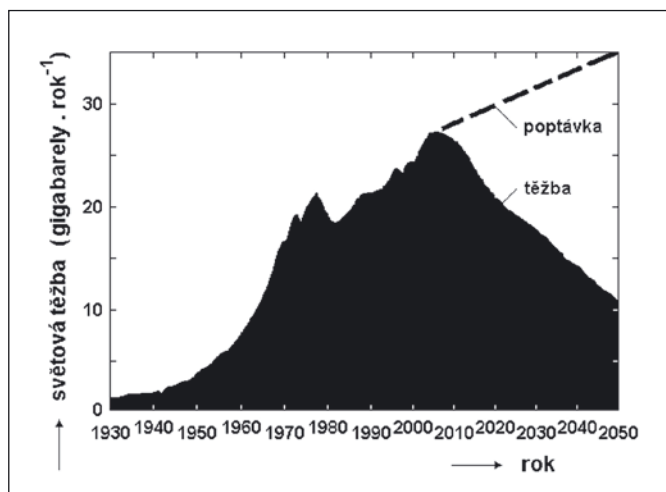
Prodej sborníku proběhne do vyčerpání zásob v pořadí dle došlých žádostí.

Obnovitelné zdroje energie jsou podporovány

Dramatický vývoj cen ropy a zemního plynu je v poslední době předmětem řady diskusí. Fosilní paliva zatím jsou, ale snadno těžitelná ložiska už byla vyčerpána, nebo budou vyčerpána v nejbližší době. Přicházejí tedy na řadu stále obtížněji těžitelná ložiska. Vývoj se těžko odhaduje, ale některé prognózy hovoří o výrazném poklesu těžby z důvodu vyšší náročnosti již během několika let.

Ve dnech 31. ledna až 1. února 2006 proběhl mezinárodní seminář "Obnovitelné zdroje - šance a výzva" v Praze v senátu PČR ve Valdštejnském paláci a řada referátů se zde zabývala budoucností energetiky v globálním měřítku. Hlavní referát přednesl pan Hans Josef Fell, člen německého parlamentu a následující tři obrázky jsou z jeho přednášky.

Předpokládaný vývoj těžby ropy a poptávky po ní ukazuje *obr. 1*. Je vidět, že skutečně už během několika let se dá očekávat v tomto směru značná disproporce, která může vést k dalšímu drastickému zdražení ropy a následně možná i k zhroutilí trhu s automobily. Je třeba zdůraznit, že se nejedná o žádný amatérský odhad nýbrž o studii vypracovanou týmem expertů pro německý parlament.

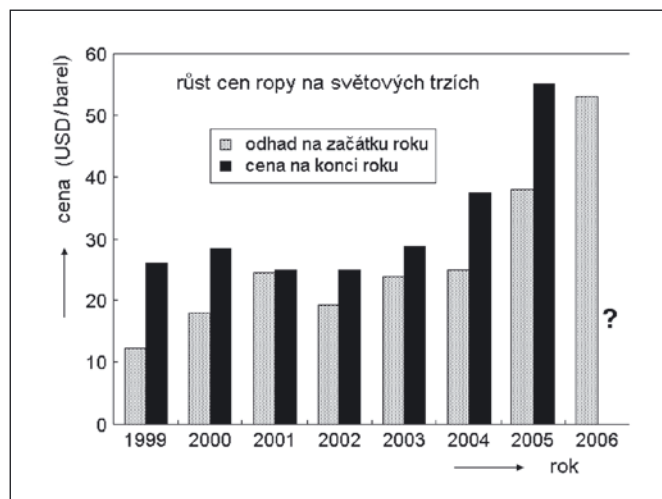


Obr. 1 Předpokládaný vývoj těžby ropy a poptávky po ní

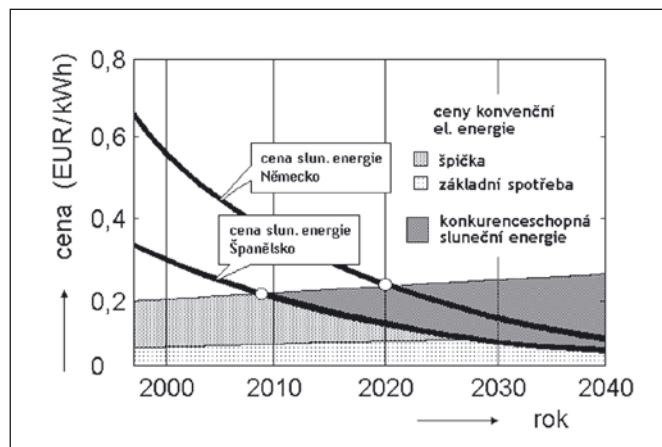
V posledních letech byla vždy cena ropy na konci roku vyšší, než se začátkem roku předpokládalo. To je vidět na *obr. 2* a je zde rovněž patrné, že za posledních pět let cena prudce stoupala a zhruba se zdvojnásobila. Ani současný stav nenaspovídá tomu, že by se měl změnit rostoucí trend této ceny.

Naopak *obr. 3* ukazuje vytrvalý pokles ceny solární energie, který souvisí s prudce se zvyšujícím počtem instalací solárních fotovoltaických systémů v některých zemích v důsledku státní podpory obnovitelných zdrojů energie. Je vidět, že například ve Španělsku se pravděpodobně už během několika let vyrovná cena solární energie ceně špičkového odběru energie z klasických zdrojů a už dnešní generace se mohou dožít vyrovnání ceny solární energie ceně "nočního proudu" z klasických zdrojů.

Předpokládá se, že v následujícím desetiletí se posílí využití jaderné energie a zvýší se i výroba elektrické energie z dalších obnovitelných zdrojů, zejména vodních, větrných a z biomasy. Zvyšování podílu alternativních zdrojů na celkovém množství vyrobené energie je jednou z priorit Evropské unie a bylo již uzákoněno i v České republice. Fosilní zdroje energie jsou limitované, jejich zpracování způsobuje emise škodlivin a skleníkových plynů.



Obr. 2 Odhad ceny ropy na začátku roku a reálný stav na konci roku v období 1999-2006



Obr. 3 Pokles ceny solární energie a její porovnání s cenou konvenční energie



Obr. 4 Vladislav Poulek se solární cenou v Rytířském sále Valdštejnského paláce

Problém jejich vyčerpání je třeba řešit s dostatečným předstihem. Proto státy, které mají zájem na využití solární energie či energie z dalších obnovitelných zdrojů, přistoupily k dotaci této energie a k jejímu výkupu za vyšší ceny. Doba návratnosti investice do fotovoltaických, větrných či vodních elektráren se tak stává pro investory přijatelná a tyto elektrárny se stavějí. Tím se vytváří nové podnikatelské prostředí. V sousedním Německu se solární PV systémy instalují asi nejrychlejším tempem a i systémy s maximálním výkonem větším než 1 MW_p jsou tam instalovány na více místech. Přitom sluneční podmínky jsou v Německu podobné jako u nás a nevyrovňají se podmínkám například ve Španělsku.

Je potěšitelné, že i Česká republika se k těmto dotacím připojila. Zmíněná dotovaná výkupní cena solární fotovoltaické energie zde činí 13,20 Kč/kWh. Dnes se dá předpokládat, že kolem roku 2040 bude transformace solární energie zaujímat největší podíl na světové výrobě energie, jak uvádí většina kvalifikovaných prognóz.

Uspořádaný seminář v senátu PČR byl využit i jako příležitost k ocenění práce významných osobností v oboru solární energie udělením solárních cen. Ceny převzali Vladislav Poulek a Roman Juriga. Na obr. 4 je Vladislav Poulek v Rytířském sále Valdštejnského paláce se solární cenou, kterou převzal z rukou Milana Smrže, místopředsedy evropského a předsedy českého sdružení Eurosolar.

Doc. Ing. Martin Libra, CSc., Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, Kamýčká 129, 165 21 Praha 6, tel.: 224 383 284, e-mail: libra@tf.cz

Pavol HORŇÁK, FEI STU Bratislava, Slovenská republika

Osvetlenie pracovných miest

Aby sa zabezpečilo čo najsprávnejšie uplatnenie nových európskych noriem vo všetkých svetelnotechnických aplikáciách nemôžeme nič zanedbať, či ponechať na náhodu. Stručne povedané, od každého člena CEN (Európsky výbor pre normalizáciu) sa žiada nielen prevziať ustanovenia nových noriem, ale aj uviesť projektantov do problematiky zavedených zmien. V tomto článku sa nachádzajú konkrétne údaje, ktoré boli stanovené v EN 12464 – 1.

Európska norma EN 12464 – 1 vypracovaná technickou komisiou CEN/TC 169 Svetlo a osvetlenie, pod vedením DIN bola v súlade s vnútornými predpismi CEN/CENELEC zavedená v STN EN 12464 – 1 Svetlo a osvetlenie. Osvetlenie pracovných miest. Časť 1: Vnútorne pracovné miesta a v ČSN EN 12464 – 1. Normu STN EN 12464 – 1 vydal Slovenský ústav technickej normalizácie (www.sutn.sk) a identickú normu ČSN EN 12464 – 1 Český normalizační institut (www.cni.cz). Obe verzie majú rovnaké postavenie ako oficiálne verzie v anglickom, francúzskom a nemeckom jazyku.

Po mnohých pripomienkach plnoprávných členov CEN sa podarilo stanoviť požiadavky na osvetľovacie systémy pre väčšinu vnútorných pracovných miest a ich pridružených plôch, týkajúce sa kvantity a kvality osvetlenia z hľadiska zrakového pohody (keď sa pracovníci cítia príjemne) a zrakového výkonu (kedy sú pracovníci schopní vykonávať zrakové úlohy aj v ťažkých podmienkach a pri dlhšom trvaní), ktoré postupne prevzali do svojho vlastného jazyka národné normalizačné organizácie 28 členských štátov. V tejto európskej norme sú uvedené všetky zvyčajné zrakové úlohy, vrátane zobrazovacích zariadení. Zároveň treba povedať, že táto európska norma neposkytuje konkrétne riešenia, ani neobmedzuje voľnosť projektantov pri využití nových metód alebo použití nových zariadení.

V tejto európskej norme, kde je to potrebné sa používajú špeciálne termíny a definície, ktoré nemusia byť dané v STN IEC 60050 - 845 Medzinárodný elektrotechnický slovník, kapitola 845: Osvetlenie a STN EN 12665 Svetlo a osvetlenie. Základné termíny a kritéria na stanovenie požiadaviek na osvetlenie.

Základom dobrej osvetľovacej praxe sú kritéria pre návrh osvetlenia. Hlavné parametre určujúce svetelné prostredie sú:

- rozloženie jasů v zornom poli,
- osvetlenosť a jej rozloženie v mieste zrakovej úlohy a v jej bezprostrednom okolí,
- obmedzenie oslnenia,
- smerovosť svetla,

- voľba farebného vzhľadu svetla samotného svetelného zdroja a podania farieb, ktoré ovplyvňuje farebný vzhľad predmetov a osôb osvetlených svetelným zdrojom,
- mihanie a stroboskopické účinky,
- vizuálny kontakt s vonkajším prostredím.

Pozornosť sa má venovať aj spotrebe energie použitej na osvetlenie a údržbe.

Rozloženie jasů v zornom poli:

* vplýva na úroveň adaptácie zraku. Dobré prispôsobenie adaptačného jasů je potrebné na zvýšenie:

- zrakovej ostrosti,
- kontrastnej citlivosti,
- efektívnosti očných funkcií,

* ovplyvňuje tiež zrakovú pohodu. Z tohto dôvodu je treba vylúčiť:

- príliš vysoký jas,
- príliš vysoké kontrasty jasů,
- príliš nízky jas a príliš nízke kontrasty jasů.

Jas všetkých povrchov sa určuje činiteľom odrazu a osvetlenosťou povrchov. Účelný rozsah činiteľov odrazu hlavných povrchov miestnosti sa pohybuje:

- | | |
|-------------------|---------------|
| • strop | od 0,6 do 0,9 |
| • steny | od 0,3 do 0,8 |
| • pracovné roviny | od 0,2 do 0,6 |
| • podlaha | od 0,1 do 0,5 |

V tejto norme sa predpisuje osvetlenosť na porovnávacjej rovine, ktorá môže byť horizontálna, vertikálna alebo naklonená. Všetky hodnoty osvetlenosti uvedené v tejto európskej norme sú hodnotami udržiavanej osvetlenosti. Je to priemerná osvetlenosť v dobe, keď sa má urobiť údržba. Odporúčaná stupnica osvetlenosti (v lx) je: 20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750 – 1000 – 1500 – 2000 – 3000 – 5000

Približne 1,5 – násobok predstavuje najmenší významný rozdiel v subjektívnom účinku osvetlenosti.

V tejto európskej norme sú uvedené požiadavky na osvetlenie v mieste zrakovej úlohy (určuje sa časť pracoviska, v ktorom sa vykonáva zraková úloha). Hlavnými zrakovými prvkami sú veľkosť predmetu, jeho jas, jeho kontrast oproti pozadiu a čas jeho trvania. Miesta, kde veľkosť alebo poloha zrakovej úlohy nie je známa a miesta kde sa zraková úloha môže vyskytnúť, sa budú považovať za miesta zrakovej úlohy.

Požadovaná udržiavaná osvetlenie v mieste zrakovej úlohy sa musí zvýšiť, keď:

- zraková činnosť je kritická,
- oprava chýb je nákladná,
- je veľmi dôležitá presnosť alebo vyššia produktivita,
- zraková schopnosť pracovníka je pod normálom,
- detaily úlohy sú nezvyčajne malé alebo majú nízky kontrast,
- úloha trvá nezvyčajne dlhý čas.

Požadovaná udržiavaná osvetlenie pracoviska, v ktorom sa vykonáva zraková úloha sa môže znížiť, keď:

- kritické detaily sú nezvyčajne veľké alebo majú vysoký kontrast,
- úloha trvá nezvyčajne krátky čas.

V priestoroch s trvalým pobytom osôb, nesmie byť udržiavaná osvetlenie menšia ako 200 lx.

Osvetlenie bezprostredného okolia zrakovej úlohy (pás so šírkou najmenej 0,5 m obklopujúci miesto úlohy v zornom poli) musí súvisieť s osvetlenosťou úlohy a má zabezpečiť vyvážené rozloženie jasu v zornom poli. Táto hodnota osvetlenia môže byť nižšia ako osvetlenie úlohy, ale nesmie byť nižšia ako hodnoty uvedené v tejto európskej norme.

Osvetlenie miesta zrakovej úlohy má byť čo najrovnomernejšie. Rovnomernosť osvetlenia miesta zrakovej úlohy a bezprostredného okolia nesmie byť nižšia ako hodnoty uvedené v EN 12464 – 1.

Táto norma stanovuje nové požiadavky na hodnotenie rušivého oslnenia (Horňák, P.: Podrobný experimentálny výskum CIE ukázal výhody UGR metódy. Elektrotechnika v praxi, leden/únor 2005). Osobitnú pozornosť treba venovať obmedzeniu oslnenia priamo od svietidiel osvetľovacej sústavy vnútorného priestoru. Činiteľ oslnenia musí sa určiť Jednotným systémom hodnotenia oslnenia UGR (Unified Glare Rating). Minimálna UGR hodnota v miestnosti nesmie presiahnuť limity UGR_L uvedené v tabuľkách v tejto európskej norme. Pre stanovené jasy svetelných zdrojov (v $kcd.m^{-2}$):

- od 20 do < 50,
- od 50 do < 500,
- > 500

sa musia použiť tieto minimálne uhly clonenia - 15°, 20° a 30°.

POZNÁMKA - Český normalizační institut (ČNI) vydal Technickú normalizačnú informáciu TNI 36 0450 Rušivé oslnění při osvětlování vnitřních prostorů, ktorá uľahčuje používanie UGR metódy. Relatívne rozsiahly dokument TNI 36 0450 pre výpočet hodnoty UGR (Jednotný systém hodnotenia oslnenia) obsahuje preklad technickej správy CIE 117 Discomfort glare in interior lighting, na ktorú sa norma EN 12464 – 1 odvoláva.

Odrazy svetla v zrakovej úlohe môžu zmeniť viditeľnosť úlohy škodlivo. Závojovému odrazu a oslneniu odrazom možno predchádzať alebo ich zmenšiť nasledujúcimi spôsobmi:

- usporiadaním svietidiel a pracovných miest,
- povrchovou úpravou,
- obmedzením jasu svietidiel,
- zväčšením svietiacej plochy svietidla,
- svetlým stropom a svetlými stenami.

Smerované osvetlenie, pri ktorom svetlo dopadá na pracovnú rovinu alebo na predmet prevažne z určitého smeru sa môže použiť na zvýraznenie predmetov, na odkrytie štruktúry a zlepšenie vzhľadu ľudí v priestore. Osvetlenie miestnosti nemá byť príliš smerované lebo vytvorí ostré tieň (v praxi je podiel valcovej osvetlenosti určitého bodu vo výške 1,2 m nad podlahou a osvetlenosti na horizontálnej rovine umiestnenej v tomto bode – $E_z/E_h > 0,3$), a ani nemá byť príliš difúzne, lebo by to viedlo k veľmi jednotvárnemu svetelnému prostrediu. Táto norma vyžaduje vyváženosť medzi difúznym a smerovaným svetlom.

Kvalita farby bieleho svetla svetelného zdroja je charakterizovaná:

- farebným vzhľadom svetla samotného svetelného zdroja,
- schopnosťou podania farieb, ktoré ovplyvňuje farebný vzhľad predmetov a osôb osvetlených svetelným zdrojom.

Farebný vzhľad svetla svetelného zdroja sa kvantifikuje náhradnou teplotou chromatickosti (T_{cp}). Skupiny farebného vzhľadu svetla svetelných zdrojov možno popísať hodnotami:

- teplo biely (pod 3300 K),
- biely (3300 K až 5300 K),
- denný (nad 5300 K).

Výber farebného vzhľadu svetla závisí od úrovne osvetlenia, farebnej úpravy miestnosti a nábytku, vnútorného prostredia a účelu.

Pre zrakový výkon a pocit celkovej pohody je dôležité, aby farby predmetov a ľudskej pokožky v prostredí boli podané prirodzene, verne a takým spôsobom, aby ľudia vyzerali príťažlivo a zdravo. Na objektívne posúdenie vlastností svetelných zdrojov z hľadiska podania farieb bol zavedený všeobecný index podania farieb R_a . Maximálna hodnota R_a je 100. Táto hodnota sa znižuje so zhoršujúcou sa kvalitou podania farieb. Minimálne hodnoty R_a pre jednotlivé typy miestností, zrakových úloh alebo činností sú uvedené v EN 12464 - 1. Overené údaje R_a sa musia poskytnúť pre svetelné zdroje v dokumentácii výrobcu svetelných zdrojov.

Osvetľovacie sústavy sa majú navrhovať tak, aby nevznikalo mihanie a ani stroboskopické javy. Toho sa zvyčajne dosiahne napájaním žiaroviek alebo výbojok prúdom o vyšších frekvenciách (asi 30 kHz).

Pre niektoré špeciálne pracovné miesta napr. so zobrazovacími zariadeniami obsahujúcimi zobrazovacie jednotky musí osvetlenie vyhovovať všetkým úlohám vykonávaným na pracovisku (čítanie z obrazovky, tlačenej textu, písanie na papier, práca s klávesnicou). V tejto norme sú uvedené nové hraničné hodnoty priemerného jasu svietidiel ($\leq 1000 cd.m^{-2}$), ktoré sa môžu odrážať v obrazovkách pri bežnom smere pohľadu (triedy obrazoviek sú podľa ISO 9241 – 7. Ergonomické požiadavky pre prácu s optickými zobrazovacími terminálmi – Časť 7: Požiadavky na displeje s odrazmi).

Projekt osvetlenia musí byť vypracovaný s uvažovaním celkového udržiavacieho činiteľa vypočítaného pre zvolené osvetľovacie zariadenie, prostredie a stanovený plán údržby. Udržiavací činiteľ osvetľovacej sústavy (pre situácie 0,80, 0,67, 0,57 a 0,50) (CIE Publication 97 Údržba systémov vnútorného elektrického osvetlenia) závisí od činiteľa starnutia a činiteľa funkčnej spoľahlivosti svetelných zdrojov (ZVEI – Fachverband Elektrische Lampen: Lebensdauerhalten von Entladungslampen für Beleuchtung), od činiteľa znečistenia svietidiel a (v interiéri) od činiteľa znečistenia povrchov.

Projektant musí:

- určiť udržiavací činiteľ a uviesť zoznam všetkých predpokladov urobých pri stanovení jeho hodnoty,
- navrhnúť osvetľovacie zariadenie, ktoré je vhodné pre dané prostredie,
- pripraviť kompletný plán údržby, ktorý určuje cyklus údržby a obslužné predpisy.

Táto európska norma vyžaduje vyhotovenie osvetľovacej sústavy pre vnútorné inštalácie bez plytvania energiou. Dôležité však je, aby sa z dôvodu znižovania spotreby energie nezľavovalo z vizuálnych vlastností osvetľovacej sústavy. To si vyžaduje zvoliť vhodnú osvetľovaciu sústavu, zariadenie, ovládanie a využitie dostupného denného svetla.

Keď sa overuje návrh osvetlenia vnútorných pracovných priestorov, meracie body sa musia zhodovať s bodmi alebo sieťou bodov v návrhu. Veľkosť siete kontrolných bodov na výpočty a merania osvetlenia vnútorných pracovných miest a ich pridružených plôch sa opisuje v STN EN 12193 Svetlo a osvetlenie. Osvetlenie športovísk. Presnosť kontroly osvetlenia kladie dôraz na kalibráciu použitých fotometrov, zhodu svetelných zdrojov a svietidiel s uvedenými fotometrickými údajmi a zhodu predpokladaných hodnôt činiteľov odrazu povrchu, atď. v návrhu s ich skutočnými hodnotami. Základný rámec, ktorý sa má použiť na stanovenie požiadaviek pre fotometrické zariadenia je v CIE Publication 69

Metódy charakterizovania meračov intenzity osvetlenia a jasomerov: prevádzka, charakteristiky a ustanovenia a STN EN 13032 – 1 Svetlo a osvetlenie. Meranie a vyhodnotenie fotometrických údajov lám a svietidiel. Časť 1: Meranie a formát súborov.

Všeobecné princípy na osvetlenie vnútorných pracovných priestorov vydala Spoločnosť pre svetelnú techniku v Nemecku (www.litg.de). Svojím obsahom je kniha Beleuchtung im Büro (Hilfen für die Planung von Beleuchtungsanlagen von Räumen mit Bildschirm- und Büroarbeitsplätzen) určená projektantom osvetlenia administratívnych priestorov. Medzinárodná spoločnosť TRILUX – LENZE (www.trilux.de) vydala manuál Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen s množstvom obrázkov a tabuliek pre

bezproblémové používanie európskej normy EN 12464 – 1. Tento manuál je dostupný cez národné firmy na adrese trilux@trilux.sk a trilux@trilux.cz. Takisto Fördergemeinschaft Gutes Licht informoval o Príručke k norme DIN EN 12464 – 1 Beleuchtung von Arbeitsstätten. Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen. Popis Príručky získate na www.zvei.org a www.licht.de.

Ustanovenia v tejto európskej norme sú súčasťou inžinierskych programov DIALux Version 3.1.5 (www.dial.de) a RELUX Professional vo verzii 2004 – 2 (www.relux.ch), ktoré sa predávajú aj v češtine. Je dôležité, že vydaním normy STN EN 12464 – 1 a ČSN EN 12464 – 1 sa všetky národné normy, ktoré sú v rozpore s normou EN 12464 – 1 musia zrušiť.

Pavol Horňák, FEI STU Bratislava, Slovenská republika

15. seminár „Měřicí technika pro kontrolu jakosti“

Česká metrologická spoločnosť (ČMS) usporiadala v dňoch 1. až 2. 3. 2006 svoje tradičné podujatie: 15. seminár, venovaný otázkam meracej techniky a kontroly kvality. Ako obvykle, podujatie sa konalo v Plzni a vyše 130 účastníkov malo možnosť si vypočuť 28 referátov a oboznámiť sa s výstavkou meracej techniky (34 vystavovateľov). Aj náš časopis JMO bol pri tom ako mediálny partner – šéfredaktor **J. Nevřala** informoval záujemcov o profile časopisu a možnostiach publikovania.

Vzhľadom na veľmi obsažný program seminára nie je možné poskytnúť informácie o všetkých príspevkoch, obmedzíme sa preto len na najvýznamnejšie.

Seminár otvoril stručným príhovorom predseda ČMS **Zd. Tůma**, ktorý privítal účastníkov a vyjadril presvedčenie, že táto akcia prispeje k zvýšeniu úrovne poznatkov v praxi. Následne vystúpil predseda ÚNMZ p. A. Šafařík-Pštroz, ktorý v svojom stručnom a vecnom referáte informoval prítomných o zásadných činnostiach svojho úradu a o najbližších úlohách, súvisiacich s metrologickou legislatívou v ČR.

Odborný program započal prednáškou o multisenzorových súradnicových strojoch (SMS) fy WERTH, ktorú predniesol **R. Kadlčík** (PRIMA Bilavčík, Uh. Brod). Ďalej zástupca fy Carl Zeiss IMT Praha **V. Griess** referoval o histórii vývoja SMS vo firme, ako aj o novinkách v tejto oblasti. **P. Heral** (Galika AG Praha) oboznámil poslucháčov s novinkami fy DEA, ktorá má dlhoročnú tradíciu v oblasti SMS. O nových skanovacích systémoch pre SMS, vyvinutých firmou Renishaw referoval **R. Pustějovský** (Renishaw Brno) – ide o veľmi zaujímavú možnosť zvýšenia kvality súradnicových meraní!

Tematike analýzy systému merania bol venovaný zaujímavý referát, ktorý prezentoval **J. Palán** (Palstat Vrchlabí). Autor sa zamerával na procesné riadenie merania, objasnil merací proces v jeho praktickej aplikácii a poskytol informácie o počítačovej podpore kvality (integrovateľný systém Palstat CAQ). **Zd. Novák** (IMECO TH Brno) sa v svojej prednáške zaoberal možnosťami nového kruhome- ra typu TALYROND 365, ktorý predstavuje význačný pokrok pri meraní parametrov drsnosti, odchýlok kruhovitosti a valcovitosti. V stručnom referáte **P. Bilavčík** (PRIMA Bilavčík, Uh. Brod) prezentoval najdôležitejšie metrologické a technické parametre drsnomerov typu Surfcom 2000 a Surfcom 5000. V následnom referáte **Zd. Šaroch** (HOMMEL CS Teplice) hovoril o vlnitosti podľa smernice VDA 2007.

Firma MESING z Brna bola predstavená v referáte o zákazkových meradlách – predniesol **L. Ošlejšek**. Ide tu o meradlá,

aplikované najmä v automobilovom priemysle, ktoré sa však hodia aj v iných, príbuzných oblastiach (napr. v ložiskovom priemysle, alebo pri výrobe foriem pre chemický priemysel a pod.).

Druhý deň podujatia bol započatý referátom o komplexnom riešení spracovania údajov – výsledkov meraní. Referujúci **J. Klabouch** (KUBOUŠEK Č. Budějovice). Autor tu prezentoval postupy a metodiky podľa pravidiel fy MITUTOYO. Vo veľmi zaujímavom referáte o laserových technológiách sa **D. Daněk** (PRIMA Bilavčík Uh. Brod) zaoberal problematikou aplikácie nových SMS od fy FARO, ktoré umožňujú použitie týchto meradiel celkom netradičným spôsobom. Napokon **R. Brábníková** (Gamin Ostrava) referovala o hodnotení kvality povrchových úprav so zvláštnym zameraním na náterové hmoty (otázky merania hrúbky, odolnosti, lesku a pod.).

Ďalšia časť seminára bola venovaná vystúpeniu zahraničných prednášajúcich, resp. vystúpeniu autorov, ktorých témy referátov boli venované špecifickým problémom metrologie v strojárstve.

Význačný rakúsky metroológ a vysokoškolský pedagóg **P. H. Osanna** (TU Wien) sa v svojej prednáške zaoberal najmä hlavnými tendenciami súčasnej meracej techniky, výhľadmi do budúcnosti, ako aj podľa noriem EN/ISO 9000:2000 definovanými zásadmi pre zdokonaľovanie systémov managementu kvality. Dotkol sa tiež nových možností, ktoré poskytujú súčasné nanotechnológie (napr. aplikácia atomevej mikroskopie, optoelektronických postupov a pod.).

O nových technických normách pre oblasť geometrických špecifikácií produktov (GPS) sa zmienil v svojom vystúpení **J. Skopal** (ČNI Praha). Uviedol podrobný prehľad českých technoriem, ktoré sa vzťahujú k tejto problematike, ako aj informácie o ďalších aktivitách ČNI do budúcnosti.

Dva príspevky ďalších zahraničných účastníkov podujatia boli zamerané tematicky rozdielne: **I. Brezina** (LMA Bratislava) prednášal o problematike voľby vhodného etalónu pre kalibráciu meradiel a **J. Mokroš** (SMÚ Bratislava) sa zaoberal stabilitou odchýlok rovinnosti primeriavacích platní (ktoré sú bežne používané napr. v metrologických laboratóriách), vo vzťahu na zmeny teploty.

Posledný blok prednášok seminára obsahoval nasledovné 4 prednášky: **M. Matušů** (ČIA Praha) podrobne rozobral v svojom príspevku požiadavky, ktoré vyplývajú pre akreditované laboratóriá z diktie normy ISO 17025:2005. Zaoberal sa tiež podrobnejšie validáciou programového vybavenia a súvisiacimi otázkami kvality.

(Pokračovanie na strane 124)

CONTENTS

SHM s. r. o. - a company profile (P. Holubář).....	95	13 th international engineering fair (jpe)	115
PVD technology preparation of abrasion-resistant and sliding layers in the industrial environment (T. Cselle, P. Holubář, M. Jílek, M. Růžička, M. Šíma, O. Zindulka)	96	Growth of Metallic Crystals by Floating-Zone Technique with Optical Heating (P. Lejček, J. Kopeček)	116
Generally, the importance of surface treatments is highly appreciated. Surface treatments that may include “only” visual coatings and finishing or conversely surfaces very useful in optics, electronics, cutting, plastic working, resistance to corrosion and thermal protection, all they represent one of determining aims of science and development extending application possibilities of treated substrates or reaching their quite novel employment. This article does not pretend being highly scientific valuable, it attempts to describe the up to date technology state-of-the-art usable in the industrial environment and especially useful for the Czech middle sized company.		Successful application of optical heating for growth of controlled structures of metallic materials by means of floating-zone technique is demonstrated for examples of oriented single crystals and tricrystals of an Fe–Si alloy, and coarse grained multicrystals of FeAl intermetallics and NiTi shape memory alloy. The results show the big advantage of the use of optical heating for visual check of the behavior of the molten zone and its controlled changes during the growth process.	
Influence of PVD cleaning on the sintered carbide surface structure (O. Zindulka).....	113	SPIE/CS - society of opticians informs	119
Predeposition requirements for the preparation of tool surfaces in PVD technology are more time-consuming in comparison with the PVD technology. An adhesive boundary is not created by coating diffusion into the substrate as it may happen in CVD case, but during a creation of physical coupling between surface and energetic particles deposited in the process of the particle impact and their condensation. Provided that deposited atoms join for instance the carbon or oxygen atoms, which alone have an absolutely insufficient adhesion to the tool surface, the total adhesion will be essentially defined just by adhesion impurity - surface.		Renewable energy sources advanced (M. Libra).....	120
		Workplace illumination (P. Horňák).....	121
		To advance the most precise use of new European standards in all possible light technical applications we cannot afford something to neglect or to leave to luck. Briefly, each CEN (European Committee for Standardization) member demands not only to take over the new standard provisions but also to introduce the designers into the dilemmas of established changes. This article contains data specific to EN 12464-1.	
		15th workshop “Measuring techniques for quality control” (I. Brezina)	123

15. seminár „Měřicí technika pro kontrolu jakosti“

(Dokončení ze strany 123)

Mimoriadne zaujímavý a aktuálny referát prezentoval zástupca fy Škoda auto M. Boleslav **F. Kopřiva**, ktorý pojednal o systéme vzdelávania pracovníkov tejto poprednej automobilky pre oblasť metrologie. Uviedol základné prvky systému vzdelávania metrologov v podniku, ako aj viaceré podrobnosti o kurzoch a seminároch, vedúcich k zvýšeniu metrologickej vzdelanosti v podniku. Záverom seminára vystúpil **P. Ducháček** (ČMS Praha) s objasnením problematiky legálnej metrologie v Českej republike (prehľad súčasného stavu metrologických právnych predpisov v ČR, príprava nových právnych aktov, perspektívy pre najbližšie obdobie a pod.). Záverečný referát odb. garanta sa týkal všeobecnej problematiky strojárskych meraní a kontrolnej technológie. Odborný garant Č. **Nenáhlo** (ČMS Praha) preukázal v tomto

záverečnom vystúpení nielen vysokú profesionálnu erudíciu, ale aj svoj emocionálny prístup k podujatiu!

Záverom tohto stručného referátu si dovoľujem vyjadriť poďakovanie za pekný odborný zážitok, možnosť sa stretnúť s viacerými odborníkmi z oblasti metrologie geometrických veličín, ako aj za kontakty so zástupcami popredných výrobcov meracej techniky. Úplne na koniec poďakovanie p. Ivanke Vidimovej za excelentnú organizáciu seminára a Č. Nenáhlovi za odbornú garanciu!

Škoda, že aj na Slovensku nie sú takí organizátori, ktorí by mohli prispieť k podujatiam podobného razenia (Slovenská metrologická spoločnosť by si mala vziať príklad od ČMS!!!).

I. Brezina

OZNÁMENÍ

Knihovna SPIE/CS nabízí pro členy SPIE zlevněný odběr omezeného počtu časopisu OPTICAL ENDINEERING – 90 Kč/ks + poštovné a balné. Časopis vychází 12x ročně a přibližný počet stran ve výtisku je 300.

Kontakt: Knihovna SPIE/CS, SLO UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: 585 631 504, fax.: 585 631 351, e-mail: kucerove@prfnw.upol.cz

PLATIT π 303



π 303 – Uspořádání povlakovací komory

- 3x LARC[®] - Lateral Rotating ARC Cathodes
– tzn. 3x boční rotační katody.
- Technologie odpařování materiálu pomocí nízkonapětového oblouku.

π 303 – Výhody

- Kompaktní povlakovací zařízení střední velikosti.
- 3 stejné katody ve dveřích se snadnou výměnou.
- Vhodné pro povlakování menších substrátů i velkých kusů, např. forem a strojních dílců.

Povlaky

- Standardní: TiN, TiAlN, AlTiN, nCo[®].
- Volitelné: TiCN-MP, TiAlCN, GRADVIC[®], ZrN, CrN, CROMVIC[®], nACRo[®].
- Monovrstvy, multivrstvy, nanogradienty, nanovrstvy, nanokompozity a jejich kombinace.
- Povlakovací teploty: nástrojové oceli nad 220 °C, rychlořezné oceli 350 – 500 °C a slinuté karbidy 350 – 700 °C.

Technická specifikace

- Rozměry – š 2070 × h 1400 × v 2300
- Rozměry vakuové komory – š 580 × h 566 × v 580
- Vakuový systém s rotační a turbomolekulární vývěvou
- Odpařovací systém s revolučními rotačními katodami
- Pulsní BIAS zdroj
- Elektrické připojení – 3 × 400 V, 100 A
pojistka 50 – 60 Hz, 30 kW
- Řízení pomocí průmyslového PLC
- Řídící jednotka s dotykovým displejem
- Ruční a automatický režim nastavení a řízení procesů
- Vzdálený přístup s možností technické podpory a diagnostiky
- Řídící manuál i ve verzi na CD-ROM



3x LARC[®] - Lateral Rotating ARC Cathodes



ŘEŠENÍ NA KLÍČ

PLATIT - nabízí ucelený povlakovací systém zahrnující všechna potřebná zařízení a technologie pro:

- Úpravu povrchu před povlakováním leštěním, kartáčováním a/nebo pískováním.
- Jednokomorové mytí a sušení ve vakuu s plně automatickým režimem.
- Odstraňování starého povlaku z nástrojů z rychlořezných ocelí a tvrdokovu.
- Manipulaci s katodami a se substráty při jejich nakládání a vykládání.
- Systém kontroly kvality dle ISO 9001.

