Promene u površinskom sloju alata od cBN pri struganju kaljenog čelika

МАНОХИН С. АНДРЕЙ, НАН Украйны, Институт сверхтвердых
материалов им. В.Н. Бакуля, Киев, Украина

СЕРГЕЙ А. КЛИМЕНКО, НАН Украйны,

Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля, Киев, Украина

МАРИНА Ю. КОПЕЙКИНА, НАН Украйны,

Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля, Киев, Украина

MIRFAD R. TARIĆ, Univerzitet Istočno Sarajevo,

Mašinski fakultet, Istočno Sarajevo, Bosna i Hercegovina

LJUBODRAG M. TANOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Mašinski fakultet, Beograd

Originalni naučni rad

UDC: 621.9.022

DOI: 10.5937/tehnika1504631A

U radu su prikazani rezultati eksperimentalnog istraživanja obrade struganjem teškoobradljivih čelika tvrdoće 60-62 HRC sa alatom od polikristalnog supertvrdog materijala (PSTM) na osnovi kubnog bornitrida (cBN). Izvršeno je modeliranje raspodele temperature u reznom alatu primenom metode konačnih elemenata (MKE). Rezultati istraživanja habanja površine alata ukazuju na prisustvo procesa oksidacije i promene fizičko-mehaničkih svojstava u površinskom sloju alata. Oksidacija površine alata, neposredno uz kontaktnu zonu alat-strugotina, dovodi do povećanja njihove tvrdoće i smanjenja čvrstoće, što u krajnjoj meri dovodi do pojave mikrokrzanja alatnog kompozita a time i ubrzanog habanja alata.

Ključne reči: struganje, alat, cBN, oksidacija, habanje

1. UVOD

Obrada teškoobradljivih materijala zahteva primenu reznih alata koji će zadovoljiti potrebne zahteve sa aspekta procesa koji se javljaju pri rezanju. Postoji veliki broj literaturnih izvora koji obuhvataju istraživanja vezana za primenu supertvrdih materijala (STM) u obradi materijala visoke tvrdoće. Tako, autori [1, 2], u svojim istraživanjima analiziraju uticaj sastava, tvrdoće alata i obratka, kao i elemenata režima obrade na postojanost alata i kvalitet obrađene površine. Autori [3, 4], analiziraju uticaj habanja alata na promenu geometrije alata od cBN, posebno uticaj kratera na grudnoj površini alata. Kada je reč o habanju alata od cBN, može se govoriti o osnovna tri mehanizma: (1) hemijsko habanje, uslovljeno interakcijom sa materijalom obratka i oksidacijom; (2) formiranje presvlaka na površini alata pri visokim temperaturama i (3) abrazivno habanje [5].

Stanje površinskog sloja reznog alata u mnogome je uslovljeno dejstvom toplote generisane u zoni rezanja. U cilju povišenja postojanosti alata neophodno je utvrditi granicu zone uticaja toplote, u kojoj mogu nastati pojave povezane sa promenom hemijskog sastava i mehaničkih karakteristika površinskog sloja materijala alata, a kao posledica oksidacije.

Ovi procesi su izraženi pri obradi čelika i legura visoke tvrdoće alatom od polikristalnog supertvrdog materijala (PSTM) na bazi kubnog bornitrida (cBN) jer se obrada realizuje bez hlađenja kada se javlja i temperatura u zoni rezanja i do 1200 °C [6].

U zavisnosti od sastava, različiti kompoziti stupaju u interakciju sa kiseonikom dovodeći do hemijskih procesa. Eksperimentalna istraživanja u oblasti oksidacije PSTM na bazi cBN-kiborit su pokazala da oksidacija se javlja pri 800 °C [7]. Dalji rast temperature dovodi do intenzivne oksidacije materijala, isparenja bor oksida i uklanjanja slobodnog azota.

Proces oksidacije PSTM- elbor RM nastaje pri temperaturi od 1000 °C, da bi u intervalu 1000-1300 °C imao linearni karakter promene [8]. Termička analiza pokazuje kompleksan mehanizam formiranja oksidacionih procesa, jer druge čestice alatnog materijala

Adresa autora: Манохин Андрей, НАН Украйны, Институт сверхтвердых материалов им В.Н. Бакуля Киев, ул. Автозаводская, 2, Украина

Rad primljen: 26.01.2015.

Rad prihvaćen: 06.02.2015.

stupajući u reakciju sa kiseonikom formiraju AlB_{12} , Si_3N_4 i dr. U kontaktnoj zoni alata i obrađivanog materijala formira se B_2O_3 , čiji udeo raste sa povećanjem brzine rezanja [9]. Stupajući u hemijsku reakciju sa kiseonikom, komponente kompozita formiraju okside kojima se narušavaju veze u materijalu. Kao rezultat, raste verovatnoća razaranja materijala na račun izvaljivanja čestica cBN. Struktura oksidisanog kompozita i njegova mehanička svojstva se razlikuje od strukture polaznog cBN. Veoma važan segment vezan za habanje alata se odnosi promenu hemijskog sastava i mehaničkih svojstava [10]. U radu su prikazani rezultati eksperimentalnih istraživanja procesa promena hemijskog sastava i mehaničkih svojstava površinskog sloja alata cBN-kiborita nastalih pri struganju kaljenog čelika.

2. USLOVI IZVODJENJA EKSPERIMENTA

Materijal kaljeni čelik Č1220, tvrdoće 60-62 HRC, prečnika Ø 90mm obrađivan je na strugu PH 42-CNC. Korišćen je strugarski nož koji se sastoji od držača (Č1530), podloške (tvrđi metal K30) i rezne pločice (cBN), prikazan na slici 1 i svojstvima datim u tabeli 1. Pločice su mehanički pričvršćeni - sistem D, sa grudnim $\gamma = -10^\circ$ i leđnim uglom $\alpha = 0^\circ$. Za analizu uticaja procesa nastalih u kontaktu alata i obradka u toku rezanja, korišćen je elektronski mikroskop AG-EVO-Zeiss. Za ocenu mehaničkih svojstava površinskog sloja alatnog kompozita korišćena je metoda Scratch Test, postupkom utiskivanja utiskivača. Skeniranje je izvedeno po grudnoj površini alata u radijalnom pravcu od reznog sečiva na delu kontaktne površine. Obrada je izvedena sa režimima datim u tabeli 2. Merenje je izvedeno pri opterećenju utiskivača od 100 cN na trasi skeniranja od 720 μm . Istovremeno su merenja vršena pod istim uslovima i na delu površine alata udaljenom 3 mm od reznog sečiva, radi upoređenja sa kontaktnom površinom.

Tabela 1. Toplofizička svojstva elemenata alata

Materijal	Tvrđi metal K30	PSTM na bazi cBN	Čelik Č1530
λ , W/mK	54	100	40
C_p , J/kgK	470	760	500

Slika 1 - Struktura modela reznih (a) i kontaktnih površina (b): (1) reзна pločica, (2) podloška, (3) držač

Modeliranje toplotnog opterećenja alata u procesu rezanja je vršeno MKE. Pri struganju masivnim strugarskim nožem, toplota koja se prenosi kroz sistem sečivo-obradak-strugotina se brzo stabilizuje, tako da se temperatura kontaktne površine neznatno menja. Stoga, pod pretpostavkom da temperatura rezanja ne zavisi od vremena, moguće je na kontaktnoj površini alata postaviti granične uslove prvog reda:

$u(x, y, z) = T_r$, gde je T_r srednja temperatura vrha alata.

Kao polazni podatak je zadata temperatura T_r i temperatura okruženja $20^\circ C$. Na slobodnoj površini rezne pločice (1), podloške (2) i držača (3) koriste se granični uslovi:

$$\alpha_e \cdot (\theta_n - \theta_c) = \lambda \cdot \left(\frac{\partial \theta}{\partial n} \right) \quad (1)$$

Srednje vrednosti koeficijenta prenosa toplote za navedene elemente modela alata uzete su prema preporukama [6]: $\alpha_{e1} = \alpha_{e2} = 50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ i $\alpha_{e3} = 20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Istraživanja uticaja toplote na promenu hemijskog sastava i mehanička svojstva površinskog sloja alata u procesu njegovog habanja, vršena su na reznim pločicama PSTM na bazi cBN: sa titan i silicijum nitridom (cBN + 10 % TiN + 30 % Si_3N_4), sa tantal i silicijum nitridom i karbidom (cBN + 15 % TaN + 15 % Si_3N_4 + 10 % SiC) i silicijum nitridom (cBN + 3 % Si_3N_4).

Za proveru uticaja habanja alata u procesu eksploatacije, na promenu hemijskog sastava i mehanička svojstva alatnog materijala, kao kriterijum je uzeto vreme rezanja potrebno da bi se dostigla odgovarajuća vrednost širine pojasa habanja ledjne površine alata (B_L).

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Granična oblast uticaja termičkog opterećenja određena je temperaturnim gradijentom u oblasti koja se graniči sa zonom rezanja. Na njegovu vrednost utiču toplofizičke karakteristike alatnog materijala - toplotna provodnost i toplotni kapacitet. Sa smanjenjem vrednosti temperaturnog gradijenta i povećanjem temperature rezanja, promene u strukturi i svojstva alatnog materijala prostiraće se na veću zapreminu kompozita.

Pri obradi sa brzinom rezanja $v = 1.5-3 \text{ m/s}$ na kontaktnoj površini alata javljaju se hemijske reakcije sa materijalom obratka [11]. Značajnu ulogu ima mehanizam međudejstva pri kojem se na kontaktnoj površini alata formira tečna faza. Analiza rezultata ispitivanja zakonitosti habanja alata od PSTM na bazi cBN pokazuje da u mehanizmu habanja učestvuju i procesi vezani za oksidacijom alatnog materijala. Za

zadate uslove modeliranja: temperatura 1200 °C, brzina rezanja $V=2.35$ m/s i korak $S=0.1$ mm/o (tabela 2), modelirana je raspodela temperature u reznom alatu i dat prikaz na slikama 2, 3.

Tabela 2. Postojanost reznih alata na bazi cBN

Kompozit	Režim rezanja			Vreme rezanja <i>min</i>	Habanje (B _L) <i>mm</i>
	<i>V</i> <i>m/s</i>	<i>S</i> <i>mm/o</i>	<i>Dubina</i> <i>mm</i>		
cBN+TiN +Si ₃ N ₄	1,5	0,1	0,2	9	0,35
	2,35			1,66	0,30
cBN+TaN +Si ₃ N ₄ +SiC	2,35			5,33	0,15
				10	0,27
				13,33	0,35
	1,5				
cBN +Si ₃ N ₄	2,35				10

Na osnovu rezultata prikazanih na slici 3 se zaključuje, da na delu alata koji se nalazi u kontaktu sa strugotinom, gradijent temperature duž ose X iznosi oko 140 K/mm. Na udaljenosti od sečiva 0.175 mm i 0.27 mm prisutne su granične temperature 1100 °C i 950 °C. Model raspodele temperature daje osnovu za dalju analizu uticaja na promenu hemijskog sastava i mehaničkih svojstava površinskog sloja alata.

Slika 2 - Raspodela temperature na kontaktnim površinama alata

Slika 3 - Raspodela temperature u alatu merena od reznog sečiva

Na slici 4 su prikazane kontaktne površine reznog alata nakon obrade kaljenog čelika Č1220. Kod alata na bazi cBN + TiN + Si₃N₄, prisutno je područje sa krtim razaranjem na leđnoj površini (sl. 4a) što ukazuje

o većem naprezanju grudne površine alata i nedovoljnoj čvrstoći kompozita pri eksploataciji u uslovima visokih temperatura. Razaranje reznog sečiva pri obradi sa brzinom $V=2.35$ m/s je nastalo nakon 1.66 min. Na delu grudne površine alata uočava se sloj obrađivanog materijala koji se nalepio kao rezultat adhezije u zoni rezanja (slika 4 b). Na osnovu izgleda kontakta na grudnoj površini alata moguće je doneti zaključak o značajnom uticaju mehanizma abrazivno-adhezionog habanja na brzinu razaranja alata.

Rezni alat na bazi cBN+TaN+Si₃N₄+SiC, u toku obrade nije pokazivao fenomene krzanja sečiva sve do trenutka dok nije dostignuta širina pojasa habanja $B_L = 0.35$ mm, nakon čega je došlo do razaranja grudne površine alata (slika 4 c, d). Uočene su i naslage na grudnoj površini alata koje su manjeg intenziteta u poređenju sa prethodno razmotrenim slučajem. Površina alata od kompozita cBN + Si₃N₄, van zone kontakta prekrivena je prevlakom nastalom od hemijske reakcije alatnog i obrađivanog materijala. Intenzitet hemijske reakcije ukazuje na prisustvo kratera u vrhu alata koji nastaje kao rezultat eutektičkog topljenja produkata interakcije i uklanjanja tečne faze van kontaktne zone (slika 4 e).

Slika 4 - Kontaktne površine alata nakon obrade

Č 1220 ($V=2.35$ m/s): a, b – cBN + TiN + Si₃N₄; $B_L=0,30$ mm; c, d – cBN + TaN + Si₃N₄ + SiC; $B_L = 0,35$ mm; e – cBN + Si₃N₄; $B_L=0,25$ mm.

Hemijski sastav kontaktne površine reznih alata određen je metodom mikrorengeno spektralne analize. Na slici 5 je prikazan položaj mernih zona na grudnoj površini alata u kojima određen hemijski sastav koji je dat u tabelama 3-5. Povišeni sadržaj željeza i kiseonika na površini alata je povezan sa nalepom čestica obrađivanog materijala i produkata interakcije kontaktnih materijala. Istraživanja [9], ukazuju da hemijska reakcija u sistemu cBN – (Fe, Ni, Cr) dovodi do obrazovanja jedinjenja (Fe, Ni, Cr)xByOz. Kiseonik na površini reznog alata se pojavljuje i kao rezultat oksidacije hemijskih elemenata kompozita cBN na visokim temperaturama. Oblast gde se ovi procesi intenzivno pojavljuju je udaljena od reznog sečiva na rastojanju do 0.3 mm.

a)

b)

c)

Slika 5 - Položaj kontrolnih zona u kojima se određuje hemijski sastav površine alata : a – cBN + TiN + Si₃N₄; b – cBN + TaN + Si₃N₄ + SiC; c – cBN + Si₃N₄

Na osnovu podataka iz tabela 3-5 i slika 5 formiran je dijagram raspodele kiseonika na grudnoj površini alata od cBN u pravcu upravnom na glavno sečivo (slika 6).

Tabela 3. Hemijski sastav (%) grudne površine alata od kompozita cBN + TiN + Si₃N₄

Kon. zona	B	C	N	O	Si	Ti	Fe
1	9,07	20,57	10,44	7,71	10,14	11,72	4,69
2	6,53	10,37	7,18	3,29	9,85	8,20	7,74
3	2,49	8,08	0,00	0,86	0,61	1,08	2,18
4	8,87	14,54	11,64	3,75	4,24	3,57	3,36
5	25,31	4,93	33,64	8,12	15,29	8,58	1,40
6	19,92	3,94	31,80	12,33	18,99	8,55	1,75
7	24,99	4,68	35,30	8,66	14,55	7,98	1,93
8	26,15	4,95	36,47	5,21	14,69	8,44	3,33
9	25,22	5,41	37,77	4,34	13,78	8,56	4,07
10	24,18	5,01	36,72	4,75	14,37	8,59	5,41
11	27,53	5,00	37,23	4,90	13,38	8,16	2,98
12	21,75	13,05	37,70	4,96	12,14	7,75	2,14

Tabela 4. Hemijski sastav (%) grudne površine alata od kompozita cBN + TaN + Si₃N₄ + SiC

Kon. zona	B	C	N	O	Si	Fe	Ta
1	6,17	29,76	16,73	10,38	7,92	2,53	12,88
2	13,96	14,46	16,20	6,48	6,82	4,84	9,61
3	15,61	17,52	21,01	10,37	6,90	5,25	6,42
4	15,55	13,20	20,50	8,89	7,79	7,43	12,68
5	17,84	8,71	27,40	11,76	11,88	2,29	17,34
6	19,38	4,80	27,17	15,88	12,38	3,78	14,55
7	16,85	4,03	22,06	19,33	15,82	2,94	14,74
8	22,24	6,40	30,73	7,77	11,51	1,39	18,84

Tabela 5. Hemijski sastav (%) grudne površine alata od kompozita cBN + Si₃N₄

Kon. zona	B	C	N	O	Si	Fe
1	29,42	13,62	50,30	5,00	1,48	0,00
2	29,88	13,84	47,29	5,62	2,97	0,29
3	31,69	10,24	51,03	4,85	1,67	0,23
4	28,28	12,38	52,53	4,60	1,87	0,13
5	28,30	16,48	48,50	4,51	1,55	0,51
6	28,18	11,89	50,71	6,26	2,42	0,20
7	27,87	11,72	50,79	7,18	1,56	0,37
8	30,13	11,72	50,87	5,47	1,19	0,15
9	26,88	13,32	51,73	4,92	1,81	0,13
10	22,53	11,88	55,72	5,25	2,01	0,40
11	28,11	8,29	54,79	4,48	2,01	0,26
12	27,30	7,42	58,44	3,97	1,72	0,00
13	29,44	10,18	55,14	3,96	0,78	0,04

Slika 6 - Dijagram raspodele kiseonika ma grudnoj površini alata (%): a – cBN+TiN+Si₃N₄; b – cBN+TaN+Si₃N₄+SiC; c – cBN+Si₃N₄

Kod svih razmatranih alata je uočen nizak sadržaj kiseonika na rastojanju $X=180-200\ \mu\text{m}$ od reznog sečiva.

Pri kontaktu strugotine sa grudnom površinom alata na dužini od $120\ \mu\text{m}$ dolazi do efekta izolacije toga prostora od spoljašnjeg okruženja. Kod ispitivanih alata uočen je porast kiseonika na rastojanju $X=300-600\ \mu\text{m}$ od reznog sečiva. To se može objasniti time što se taj prostor alata nalazi u interakciji sa vazduhom. Osim toga, u ovu zonu doprema se tečna faza produkata interakcije kontaktnih materijala koja takođe sadrži kiseonik. Za ocenu karaktera odnosa između eksploatacionih pokazatelja alata i sadržaja kiseonika na grudnoj površini potrebno je uzeti u razmatranje i promenu količine kiseonika na reznom sečivu u funkciji vremena rezanja. Kako je vreme rezanja kod posmatranih alata različito, određuje se karakteristika - brzina habanja kao odnos širine pojasa habanja na lednoj površini alata i vremena rezanja. Računske vrednosti su prikazane u tab. 6. Rezultati proračuna ukazuju

na korelaciju između srednjeg sadržaja kiseonika na grudnoj površini alata i brzinu njegovog habanja. Na osnovu izvedenih istraživanja, u uslovima rezanja kaljenog čelika pri visokim brzinama rezanja, najveću postojanost ima kompozit sa visokim sadržajem supertvrde faze cBN i alati sa niskim sadržajem cBN i dodatkom TiN i Si₃N₄ (< 15 %).

Podaci o sadržaju kiseonika na površini alata dovode do zaključka, da je povišena postojanost reznih alata sa kompozitom cBN+TaN+Si₃N₄+SiC u poređenju sa alatom koji ima mali sadržaj cBN, povezana sa manjim intenzitetom oksidacionih procesa u zoni rezanja.

Tabela 6. Sadržaj kiseonika i brzina habanja alata

Kompozit	Relativni srednji sadržaj kiseonika % / min	Brzina habanja alata $\mu\text{m} / \text{min}$
cBN + TiN + Si ₃ N ₄	3,28	180
cBN + TaN + Si ₃ N ₄ + SiC	0,85	27
cBN + Si ₃ N ₄	0,51	25

Na slikama 7-9 su prikazani dijagrami promene veličine tangencijalne sile otpora koji se javlja pri skeniranju površine alata mereno od glavnog sečiva.

Na osnovu slika 7-9 i podataka datih u tabeli 7, moguće je dati ocenu uticaja uslova eksploatacije na promenu mehaničkih svojstava površinskog sloja supertvrdih kompozita. U intervalu ravnomernog habanja ($0,1\ \text{mm} < B_L < 0,3\ \text{mm}$) nije uočena promena sile F_τ . Promene sile F_τ je izraženija u intervalu habanja alata $B_L \approx 0,32-0,35\ \text{mm}$. Na rastojanju $X > 200\ \mu\text{m}$ od reznog sečiva sila F_τ se smanjuje, dostiže minimalnu vrednost pri $X=240-270\ \mu\text{m}$ (alat od cBN+TiN+Si₃N₄) i $X = 340-420\ \mu\text{m}$ (alat od cBN+TaN+Si₃N₄+SiC). Ovakav karakter promene sile F_τ u funkciji koordinate X je prisutan kod alata koji su dostigli kritičnu vrednost širine pojasa habanja i pri tome je nastalo krzanje alata. Potrebno je napomenuti da je smanjenje sile F_τ povezano sa lokalnim povećanjem mikro tvrdoće, odnosno manjim prodiranjem utiskivača u površinu alata.

Dužina kontakta strugotine sa grudnom površinom alata pri obradi sa $S=0,1\ \text{mm/o}$ približno je iznosila $\sim 80\ \mu\text{m}$. Tako se oblast alata, u kojoj se uočava značajna promena mehaničkih svojstava kompozita, nalazi izvan kontaktne zone. Na osnovu računsko-eksperimentalne ocene, temperatura površinskog sloja reznog alata od PSTM na bazi cBN, pri obradi sa $V=2.35\ \text{m/s}$ u razmatranim oblastima dostiže $T=1000-950\ ^\circ\text{C}$ i $T = 860-780\ ^\circ\text{C}$.

Slika 7 - Skenirana površina alata od kompozita cBN + TiN + Si_3N_4 : a – kontrolna površina; b – površina kod zone habanja ($B_L = 0,35$ mm)

Slika 8 - Skenirana površina alata od kompozita cBN+TaN+ Si_3N_4 +SiC, a – kontrolna površina; b – površina kod zone habanja ($B_L=0,15$ mm); c – površina kod zone habanja ($B_L=0,35$ mm)

Slika 9 - Skenirana površina alata od kompozita cBN + Si_3N_4 : a – kontrolna površina; b – površina kod zone habanja ($B_L=0,25$ mm);

Tabela 7. Karakteristike fotometrije površine alata

Kompozit	Površina merenja	$M[F_t]$ cN	$\sigma[F_t]$ cN ²
cBN + TiN + Si_3N_4	kontrolna	7,79	0,83
	površina blizu zone habanja ($B_L = 0,35$ mm)	5,71	0,89
cBN + TaN + Si_3N_4 + SiC	kontrolna	6,87	0,69
	površina blizu zone habanja ($B_L = 0,15$ mm)	7,29	0,66
	površina blizu zone habanja ($B_L = 0,35$ mm)	7,3	1,4
cBN + Si_3N_4	kontrolna	7,84	1,49
	površina blizu zone habanja ($B_L = 0,25$ mm)	7,15	1,41

$M[F_t]$ - matematičko očekivanje tangencijalne sile otpora

$\sigma[F_t]$ - disperzija otpora kretanja duž trase skeniranja

Poređenjem dijagrama datog na slici 7 i slikama 7-9 može se zaključiti, da položaj zone u kojoj se uočava smanjenje sile F_t podudara sa početkom rasta sadržaja kiseonika na grudnoj površini alata.

Kao hipoteza, kojom se proces evaluacije strukturnog sastava i mehaničkih svojstava površinskog sloja alata na bazi cBN se može uzeti sledeće: Oksidacija površine alata, neposredno uz kontaktnu zonu alat-strugotina, dovodi do povećanja njihove tvrdoće i smanjenja čvrstoće, što u krajnjoj meri dovodi do pojave mikro krzanja alatnog kompozita, a time i ubrzanog habanja alata.

4. ZAKLJUČAK

Modeliranje temperaturnog polja u alatu na bazi cBN, pri obradi kaljenog čelika velikim brzinama, pokazuje da je gradijent temperature grudne površine alata oko 140 K/mm u području koje se graniči sa kontaktom alat-obradak. Granično područje u kojem temperatura prelazi 950 °C i u kojem dolazi do intenzivnih promena u strukturi i fizičko mehaničkih svojstava alatnog materijala, nalazi se na rastojanju 0.27 mm od sečiva alata.

Analizom hemijskog sastava uočen je značajan sadržaj kiseonika u površini alata i da ima najveću vrednost van kontaktne zone, na rastojanju 0.3-0.6 mm od sečiva.

Promena fizičko-mehaničkih svojstava u površini alata dovodi do ubrzanog habanja reznog alata.

Pri obradi kaljenog čelika, najveću postojanost pokazuje alat na bazi cBN + 3 % Si_3N_4 . Kod ovog alata

nisu uočene promene mehaničkih svojstava u površinskom sloju u toku eksploatacije.

LITERATURA

- [1] Angseryd, J, Coronel, E, Elfving, M, Olsson, E, Andren, H. O, The microstructure of the affected zone of a worn PCBN cutting tool characterised with SEM and TEM, *Wear*, 267 (5-8), pp. 1031-1040, 2009.
- [2] Poulachon, G, Bandyopadhyay, B. P, Jawahir, I. S, Pheulpin, S, Seguin, E, Wear behavior of CBN tools while turning various hardened steels, *Wear*, 256 (3-4), pp. 302-310, 2004.
- [3] Huang, Y, Liang, S. Y, Modeling of CBN tool crater wear in finish hard turning, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 24 (9-10), pp. 632-639, 2004.
- [4] Huang, Y, Dawson, Ty. G, Tool crater wear depth modeling in CBN hard turning, *Wear*, 258 (9), pp. 1455-1461, 2005.
- [5] Захарченко П. В., Волкогон В. М, Бочко А. В. и др, Технологические особенности механической обработки инструментом из поликристаллических сверхтвердых материалов, *Наук. думка*, Киев, 188 с, 1992.
- [6] Новиков Н. В, Сверхтвердые материалы. Получение и применение - Обработка материалов лезвийным инструментом, ИСМ им. В. Н. Бакуля, Киев, 316 с, 2006.
- [7] Огородник В. В, Муковоз Ю. А., Клименко С. А. и др, Термохимические свойства поликристаллов на основе кубического нитрида бора, *Сверхтвердые материалы*, Н2, с. 24-28, 1993.
- [8] Пугач Э. А, Постолова Г. Г, Иваськевич Я. В. и др., Высокотемпературное окисление композиционных материалов на основе нитрида бора, *Сверхтвердые материалы*, Н4, с. 23-27, 1989.
- [9] Гриценко Э. И, Дальник П. Е, Чапалюк В. И, Точение жаропрочных сплавов инструментом из кубического нитрида бора, *Наук. думка*, 107 с, Киев, 1992.
- [10] Клименко С. А, Мельничук Ю. А, Петруша И. А, Осипов А. С, Танович Л., Использование двухслойных композитов с алмазосодержащим режущим слоем в лезвийном инструменте, *Tehnika* 60(2), 233-240, 2011.
- [11] Tanovic Lj, Bojanic P, Puzovic R, Klimenko S, Polycrystalline Cubic Boron Nitride (PCBN) Tool Life and Wear in Turning of Amorphous-Crystalline Iron-Based Coatings, *Journal of Mechanical Engineering*, 2011, 5 (12), pp. 904-910.

SUMMARY

WHITE LAYER CHANGES IN CBN TOOLS WHEN TURNING HARDENED STEEL

The paper presents experimental results of investigations in turning of hard machinable steels (60 – 62 HRC) with cutting tools made of cubic boron nitride (cBN) – based polycrystalline superhard material. Modeling of temperature distribution was performed using the finite element method (FEM). Experimental results for tool wear indicate the presence of oxidation process and changes of physical-chemical properties in the cutting tool white layer. Oxidation of the tool white layer, directly next to the tool-chip zone, leads to the increase of tool hardness and decrease of its strength, which ultimately results in the occurrence of tool composite microfracturing, and thereby rapid tool wear.

Key words: turning, cutting tools, cBN, oxidation, tool wear