

DK 621.753

O današnji uporabi karbidnih trdin*

J. WITTHOFF

Poseben pomen v mehaničnih delavnicah imajo orodja in pri teh so karbidne trdine posebno važne. V delavnicah v Nemčiji jih poznamo že 28 let; pri vsem tem pa se pojavljajo pri njihovi uporabi še dandanes številne naloge. Njihova rešitev, kakor bomo videli, ni preveč preprosta.

V naslednjih izvajanjih bom poizkušal razložiti vprašanja, ki jih postavlja uporaba karbidnih trdin. Načelno je treba ravnati tako, da odstranimo najprej grobe napake in nato šele začnemo z drobnim delom, ki naj doseže v proizvodnji kar najbolj ekonomične razmere.

Pri kontroli proizvodnje moramo paziti na tri zahteve:

1. kvaliteta izdelkov mora biti zadostna,
2. izdelavni časi ne smejo prekorlačevati določene mere,
3. zlasti je treba paziti na znižanje proizvodnih stroškov.

Poudaril sem te točke zato, ker pripisujejo karbidne trdine svoj veliki uspeh v proizvodnji okoliščini, da posebno olajšujejo izpolnjevanje prej omenjenih zahtev. Orodja iz karbidne trdine dopuščajo hitrejši potek proizvodnje z manjšimi stroški.

Nisem mnenja, da je moja naloga, pokazati vrsto podrobnosti, temveč razmotriti velike odvisnosti, ki so važne za naše ravnanje v proizvodnji. Svoja izvajanja bom razčlenil takole: najprej bom govoril o karbidnih trdinah, nato o orodjih za odrezovanje in naposled čisto na kratko o orodjih za preoblikovanje brez odjemanja ter o delih, ki so izpostavljeni močni obrabi.

I. KARBIDNE TRDINE

Karbidne trdine niso jeklo. So naravno trde, tako da na njihove lastnosti ne moremo vplivati s termično obdelavo, kakršno poznamo pri jeklu. Gre za legure, katerih bistveni sestavni del tvorijo zelo trdi karbidi. V praksi imajo poseben pomen karbidi volframa, titana in tantalna.

Razvijale so se iz lite karbidne trdine. Le-ta je krhka in porozna in jo je vrh tega mogoče izdelovati le pri zelo visokih temperaturah.

Tu so sintrane karbidne trdine, ki jih zdaj v splošnem označujemo kot karbidne trdine, odprle novo področje. Z uporabo pomožne kovine je bilo mogoče bistveno izboljšati žilavost. Razen tega so pri izdelavi sintranih karbidnih trdin prešli na postopke pulverizacije. Pri teh se stekajo vse osnovne surovine v proizvodni proces v obliki prahu. Posebna odlika teh postopkov je v tem, da je bilo mogoče znatno znižati temperaturo pri izdelavi.

Slika 1 prikazuje nastanek karbidne trdine, ki sestoji samo iz volframovega karbida in kobalta. Osnovni surovini sta tukaj volframov in ogljikov prah, ki ju po premešanju karburirajo v posebni peči. Tako nastane volframov karbid WC, ki ga zmlejejo v volfram-karbidov prah. Zatem stopi v proizvodni proces pomožna kovina, prav tako v obliki prahu. Volfram-karbidov in kobaltov prah premešajo in drobno zmlejejo; tako nastane za stiskanje pripravljena mešanica, iz katere izdelujejo večje stiskance. Oblikovanje teh stiskancev pa bi naletelo na precejšnje težave, ker je njihova trdnost neznatna. Kot srečno lahko zato označujemo okoliščino, da je mogoče proces sintranja izvajati v dveh fazah. Po predhodnem sintranju, ki se izvaja v peči pri 800° C, dobimo vnaprej sintrane oblikovance. Njihova trdnost je približno enaka trdnosti krede. Ta je zadostna, da se lahko z običajnimi obde-

lavnimi postopki, n. pr. žaganjem, piljenjem, vrtanjem ali struženjem izdela vsaka želena oblika. Za tem oblikovanjem jih dokončno sintramo pri okoli 1500° C do 1600° C, nakar dobimo gotove oblikovance iz karbidne trdine. Paziti je treba, da se pojavlja pri dokončnem sintranju znatno ukrčenje, ki ga je treba pri oblikovanju upoštevati.

Volframov prah W

Ogljikov prah C

Mešanje

Ogljičenje

Mletje

Volfram-karbidov prah WC

Kobaltov prah Co

Mešanje

Fino mletje

Za stiskanje gotova zmes

Stiskanje

Prvo sintranje pri 800° C

Vnaprej sintrani oblikovanci

Oblikovanje

Dokončno sintranje pri ≈ 1500° C

Ploščice iz karbidne trdine

Sl. 1. Shema nastanka sintrane karbidne trdine

Najvažnejše lastnosti sintranih karbidnih trdin so: njihova trdota, trdota pri visokih temperaturah in odpornost proti obrabi.

Žilavost v začetku ni bila povsem zadovoljiva, vendar so jo vprav v zadnjih letih znatno izboljšali.

Znano je, da so v prodaji različne vrste karbidnih trdin, ki so prilagojene vsakokratnemu namenu uporabe. Število teh vrst je v zadnjih letih precej naraslo, tako da si je zdaj že težko ustvariti jasno sliko o uporabnosti različnih karbidnih trdin. Razpredelnica 1 daje pregled o sestavi in najvažnejših lastnostih nemških karbidnih trdin; pri tem so na primer navedene vrste tvrdke Fr. Krupp, WIDIA-Fabrik, Essen. To velja tudi za nadaljnja izvajanja in slike.

Po razpredelnici 1 razlikujemo tri skupine karbidnih trdin, in sicer vrste za obdelavo jekla in jeklene litine, nato skupino vrst, uporabne za različne namene, ki je v letu 1954 obsegala eno samo vrsto, namreč AT, in kot tretjo skupino vrste, ki sestojijo v bistvu samo iz volframovega karbida in kobalta ter so primerne za obdelavo litega železa, aluminija, lesa, kamenin in podobnega, razen tega pa za izdelavo orodij za preoblikovanje brez odjemanja in za dele, ki so izpostavljeni močni obrabi.

Pri drugi skupini je treba pripomniti, da je bila omenjena vrsta AT medtem označena z AT1 in je bila hkrati uvedena druga, bolj žilava vrsta, namreč AT2, ki je uporabna za razne namene.

Za območje prve in tretje skupine je vredno postaviti naslednje: trdota po Vickersu, ki jo jemljemo lahko kot merilo za odpornost proti obrabi, v območju obeh skupin znatno narašča, in sicer v prikazanem vrstnem redu, medtem ko se upogibna trdnost, ki lahko približno velja kot merilo za žilavost, ustrezno zmanjšuje. S posebnim poudarkom bi omenil, da ni mogoče izdelati karbidne trdine, ki bi združevala v sebi največjo odpornost proti obrabi in največjo žilavost. Zadošljivi se je treba s srednjo potjo, pri čemer moramo

* Ta članek je prirejen po predavanju, ki ga je imel g. prof. dr.-ing. dr. J. Witthoff iz Essena dne 24. septembra 1954 v Ljubljani za člane Društva strojnih inženirjev in tehnikov LRS. Prevod za SV je priredil ing. F. Golobranc.



Razpr. 1: Sestava in lastnosti karbidnih trdin Widia

Vrsta	Sestava ¹			Trdota po Vickersu ¹	Upogibna trdnost ¹	Toplotni raztezek
	WC	TiC + TaC	Co			
	%	%	%			
TT 4	76	9	15	1300	190	—
TT 3	83	7	10	1500	165	5,5
TT 2	76	14	10	1550	150	6
TT 1	70	21	9	1600	130	6,5
FT 1	51	43	6	1850	90	7,5
AT	84	10	6	1750	135	5,5
G 6	70	—	30	950	280	7,5
G 5	75	—	25	1050	270	7
G 4	80	—	20	1100	260	6,5
G 3	85	—	15	1200	240	6
G 2	89	—	11	1300	210	5,5
G 1	94	—	6	1500	160	5
H 1	94	—	6	1650	150	5
H 2	91,5	1,5 ²⁾	7	1800	135	5

¹ Približne vrednosti.² VC + TaC.

predvsem paziti na zadostno žilavost. Ko je ta zadovoljiva, se lahko poizkuša preiti na karbidno trdino z večjo obrabno trdnostjo.

Opozoril bi še na sestavo vrst G1, H1 in H2. To vemo, da vsebujejo v glavnem do 94% volframovega karbida in 6...7% kobalta in se torej v sestavi praktično ne razlikujejo med seboj. Tu so posebne lastnosti omenjenih vrst karbidnih trdin dosežene z izoblikovanjem strukture.

Vpliv titanovega karbida spoznamo s slike 2. Le-ta predstavlja hitrost rezanja za obstojnost rezila 60 min (v_{60}) v odvisnosti od količine titanovega karbida. Pri tem je z obstojnostjo rezila razumeti čisti čas rezanja med dvema brušenjema. Z naraščajočo količino titanovega karbida narašča tudi hitrost rezanja v_{60} . Potemtakem bi torej kazalo uporabljati karbidno trdino s čimvečjo količino titanovega karbida. Ta pot pa ni običajna, ker žilavost karbidnih trdin s povečano količino titanovega karbida ni zadostna.

Pravkar omenjeni odvisnosti med trdoto po Vickersu in upogibno trdnostjo za karbidne trdine iz tretje skupine so razvidne s slike 3. Tu vidimo, kako se pri vrstah H2 do G6, ki sestojijo praktično samo iz volframovega karbida in kobalta, z naraščajočo upogibno trdnostjo manjša trdota po Vickersu.

Razvoj sintranih karbidnih trdin, ki se je pričel nekako leta 1923, je izšel iz neke delovne faze preoblikovanja brez odjemanja. Pri tvrdki Osram v Berlinu so takrat iskali gradivo, ki bi lahko nadomestilo

Razpr. 2a: Vrste karbidnih trdin Widia, hitrosti rezanja in rezilni koti pri struženju jekla in jeklene litine:

Podajanje		do pribl. 0,6 mm		do pribl. 1,2 mm		do pribl. 2 mm		do pribl. 2,5 mm		Koti pri rezanju	
Vrsta karbidne trdine WIDIA		TT 1		TT 2		TT 3 ali AT 2 ¹⁾		TT 4			
Gradivo		Hitrost rezanja pri globini odrezkov								prosti kot ⁴⁾	cepilni kot ⁴⁾
označba	trdnost	nad 2 mm	pod 2 mm	nad 2 mm	pod 2 mm	nad 2 mm	pod 2 mm	nad 2 mm	pod 2 mm	α	γ
	kp/mm ²	m/min	m/min	m/min	m/min	m/min	m/min	m/min	m/min	stopinj	stopinj
St 34.11, St 37.11											
St 42.11, C 22 . .	do 50	200...100	275...150	150...75	200...110	100...50	150...80	80...40	120...65	8	15...12
St 50.11, C 35 . .	50...60	150...90	250...100	110...70	190...80	80...45	130...50	65...35	105...40	8	12...10
St 60.11, C 45 . .	60...70	140...80	225...90	100...60	170...70	70...40	110...45	55...30	90...35	8	12...10
St 70.11, C 60 . .	70...85	130...70	200...90	95...50	150...70	65...35	100...45	50...30	80...35	8	10...8
St 85, C 75	85...100	120...60	190...80	90...45	145...60	60...30	95...40	45...25	75...30	8	10...8
Cr-Ni-, Cr-Mo-indrugaleg. jekla	85...100	90...40	150...70	70...30	110...50	45...25	80...35	35...20	65...30	8	10...8
Cr-Ni-, Cr-Mo-indrugaleg. jekla	100...140	70...30	100...40	50...25	75...30	35...20	50...25	30...15	40...20	8	6
Nerjavno Cr-Ni-jeklo	60...70	60...30	70...40	45...25	55...30	30...20	35...25	25...15	30...20	8	12
Jeklena litina ²⁾ .	30...50	120...70	160...80	90...55	120...60	60...35	80...40	50...30	65...30	8	10...6
	50...70	100...60	120...75	75...45	90...55	60...40	60...40	40...25	50...30	8	10...6
	nad 70	65...40	90...50	50...30	70...40	35...20	45...30	30...15	35...25	8	10...6
Kovano Mn-trdo jeklo s približno 12% Mn	nad 180	vrsta: TT 2, AT 1 ali AT 2 podajanje: največ 0,5 mm								8	4
Lito Mn-trdo jeklo s približno 12% Mn		vrsta: H 1, AT 1 ³⁾ ali AT 2 hitrost rezanja: 20 do 4 m/min								8	0
Kaljena jekla .		vrsta: H 1 ali AT 1 po trdnosti gradiva								8	0

¹⁾ Pri WIDIA-AT2 lahko izbiramo 20% večje hitrosti rezanja kakor je navedeno zgoraj. — ²⁾ WIDIA-TT1 se priporoča samo pri vnaprej struženem litem jeklu. — ³⁾ Z AT1 so tu dosegljive večje obstojnosti rezil kakor s H1. — ⁴⁾ Navedena sta prosti kot α in cepilni kot γ . Pri brušenju roba na prosti ploskvi znaša kot roba $\alpha_f = \alpha - 2^\circ$.

diamantne kamne, kakršne so do tedaj uporabljali za vlečenje kovinske žice. Po tej poti so dospeli do današnjih sintranih karbidnih trdin. Pokazalo se je, da so bile te zlitine odlične za orodja za preoblikovanje z odrezovanjem. Tako je prišlo do pomembne razširitve pri uporabi karbidnih trdin na tem področju.

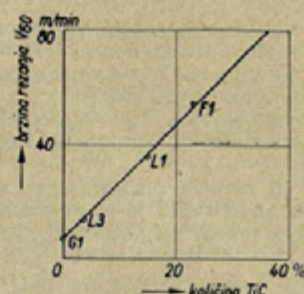
Pri preoblikovanju z odrezovanjem so temeljne naslednje lastnosti karbidnih trdin. Odpornost pri visokih temperaturah dopušča zvišanje hitrosti pri rezanju, in sicer tudi pri gradivih, ki se težko obdelujejo. Iz tega izvira tudi ustrezajoče skrajšanje časa za izdelavo in zmanjšanje proizvodnih stroškov. Zaradi velike odpornosti karbidnih trdin proti obrabi dosežemo tudi velike obstojnosti rezil. Orodje dobi torej med enim in drugim brušenjem velik odrezovalni učinek. Z drugimi besedami: obraba orodja in s tem tudi stroški za orodje se glede na določen učinek pri odrezovanju, ustrezajoče zmanjšajo.

Po vsakokratni potrebi bomo bolj cenili ali najprej omenjeno prednost, torej povečanje hitrosti rezanja, ali pa drugo, namreč zmanjšanje stroškov za orodja. Podrobnosti o tem važnem vprašanju bomo obravnavali pozneje.

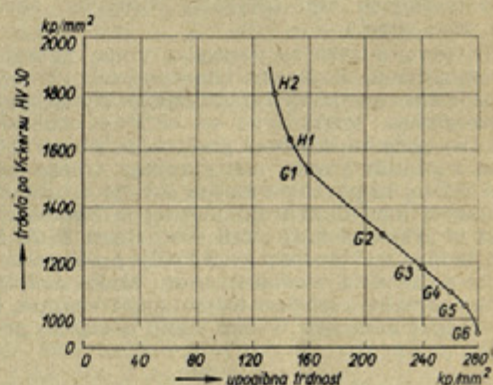
Sintrane karbidne trdine ustvarjajo spricho svojih lastnosti vrsto nadaljnjih prednosti, ki naj bodo v naslednjem kratko našteje:

1. Omogočajo ekonomično odrezovanje gradiv, ki se z orodji iz jekla ne dajo ali jih ni mogoče ekonomično obdelovati, n. pr. manganova trda jekla in kamenine.

2. Karbidne trdine lahko prerezujejo izredno trde plasti gradiva, medtem ko je treba pri uporabi orodij iz brzoreznega jekla te plasti izpodrezovati. V številnih primerih pomeni to znaten prihranek na gradivu in povečanje časa za uporabnost obdelovanca. Najvažnejši primer te vrste je obdelava rabljenih kolesnih zlogov za železniška vozila.



Sl. 2. Vpliv vsebine TiC na hitrost rezanja v_{60} . (Material: jeklo s trdnostjo 100 kp/mm², globina odrezkov: 1 mm, podajanje: 0,18 mm)



Sl. 3. Trdota po Vickersu in upogibna trdnost karbidnih trdin Widia

Razpr. 2b: Vrste karbidnih trdin Widia, hitrosti rezanja in rezilni koti pri struženju litega železa in drugih gradiv:

Gradivo		Vrsta karbidne trdine WIDIA	Hitrost rezanja pri globini odrezkov		Koti pri rezanju	
označba	trdota HB ali Shore		nad 2 mm	pod 2 mm	prosti kot ²⁾ α	cepilni kot ²⁾ γ
	kp/mm ²		m/min	m/min	stopinj	stopinj
Siva litina GG 12, GG 14 . .	HB do 200	G 1, H 1, TT 3, AT 1, AT 2 ¹⁾	60...40	100...50	8	6
Siva litina GG 18, GG 26 . .	HB 200...250	H 1, G 1, TT 3, AT 1, AT 2 ¹⁾	50...25	60...30	8	6...3
Legirana siva litina	HB nad 250	H 1, AT 1, AT 2	30...15	50...20	8	0
Temprana litina		H 1, TT 2, AT 1, AT 2	70...40	100...50	8	6...3
Perlitna cepljena litina . . .	HB 230...280	AT 2, H 1	50...30	60...40	10...8	12...10
Feritna cepljena litina . . .	HB 140...180	AT 2, H 1	60...35	70...50	10...8	12...10
Kokilna trda litina	do 85 Shore	H 1, H 2, AT 2	6...4	8...5	8	0
Kokilna trda litina	nad 85 Shore	H 2, AT 2	4...2	6...3	8	0
Baker		G 1	200...120	300...150	10	15
Bakrove zlitine (med, bron)		G 1, H 1, AT 1	300...150	400...200	8	15...10
Zlitine lahkih kovin	HB do 50	G 1	nad 400	nad 500	8	35...20
Zlitine lahkih kovin	HB 50...80	G 1, H 1, AT 1	600...200	700...250	6	20...12
Zlitine lahkih kovin	HB 80...100	H 1, AT 1	300...100	350...150	6	15...8
Zlitine lahkih kovin z veliko količino silicija	HB nad 120	H 1, H 2, AT 1	120...60	200...100	6	10...5
Umetne mase		H 1, H 2, AT 1	200...50	350...150	18...10	15...0

¹⁾ Pri veliki obremenitvi zaradi obrabe je koristno uporabljati vrsti H 1 in AT 1, pri večjih zahtevah glede žilavosti rezilnega materiala G 1, pri močnih peščenih gnezdih in strjevalnih votlinah AT 2, pri prekinjivah pri rezanju TT 3.

²⁾ Navedena sta prosti kot α in cepilni kot γ. Pri brušenju roba na prosti ploskvi znaša kot roba α_z = α - 2°.

3. Zaradi velike odpornosti karbidnih trdin proti obrabi je pri obdelavi možno doseči zelo točne površine. Zaradi tega se lahko pogosto odpovedujemo nadaljnjim delovnim postopkom, n. pr. brušenju.

4. Ker se obdelovanci v velikih serijah mersko ujema, je znatno olajšana montaža delov, ki spadajo skupaj.

Leta 1950 so nemški proizvajalci karbidnih trdin dali v prodajo nove vrste z izboljšanimi lastnostmi. V splošnem kaže razvoj na področju proizvodnje karbidnih trdin v zadnjih letih naslednje značilnosti:

1. Karbidne trdine so postale bolj žilave. V tej zvezi moram opozoriti na uvedbo vrst G4, G5 in G6, ki se uporabljajo v tehniki preoblikovanja. Za obdelavo jekla in jeklene litine si je vrsta TT4 osvojila veliko področje, ker je kos izredno velikim zahtevam po žilavosti.

2. Možno je bilo izboljšati odpornost karbidnih trdin proti obrabi.

3. Od leta 1950 so napredaj vrste, uporabne za različne namene, ki so zelo odporne proti obrabi, vendar glede žilavosti ne smejo biti izpostavljene največjim obremenitvam. Pogosto so se odlično obnašale kot specialne vrste za določena gradiva, n. pr. za obdelavo močno legiranih gradiv, manganovega trdega jekla in litega železa, ki povzročajo močno obrabo z izdolbenjem.

Razvoj karbidnih trdin je izšel iz Nemčije. Z leti se mu je pridružil tudi ostali svet, zlasti ZDA. Zaradi vojne je bilo razvojno delo v Nemčiji prekinjeno, medtem ko so se dela v ostalem svetu lahko nadaljevala. Zdaj so nemške karbidne trdine zopet vodilne, ker je uspelo zopet nadomestiti med vojno doseženo prednost drugih.

II. ORODJA ZA OBDELAVO Z ODJEMANJEM

1. Konstrukcija orodja

Običajno orodje iz karbidne trdine sestoji iz rezilne ploščice in jeklene držala, ki sta med seboj zlotana. Pri oblikovanju orodja je treba upoštevati posebnosti karbidnih trdin; to velja zlasti za izbiro vrste karbidne trdine in izbiro kotov rezila.

O izbiri vrste sem najvažnejše že omenil. Podrobnosti vsebuje razpredelnica 2. Nadaljnje podatke je možno povzeti iz literature. Tudi tehnični nasveti proizvajalcev karbidnih trdin bodo podjetjem v drago ceno pomoč.

V temeljni razdelitvi karbidnih trdin v tri skupine — kakor je bila obravnavana prej — je nekaj izjem, ki pa so le navidezne.

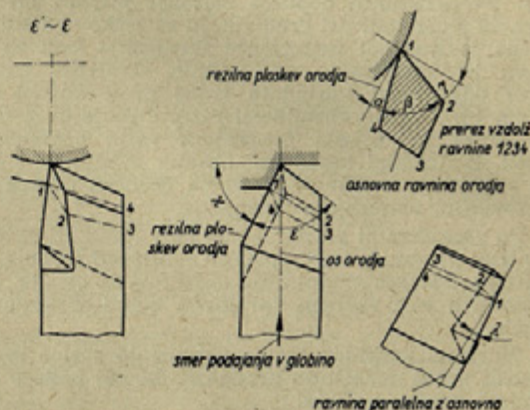
Jeklo z majhno trdnostjo se da obdelovati tudi z G1, ker je razvijajoča se toplota le neznatna. Za obdelavo mehkih jekel za avtomate in sličnih gradiv je bila v zadnjem času uvedena dodatna vrsta, ki je označena z G2A. Trdo sivo litino lahko najboljše obdelujemo s H1. Za trdo litino kakor tudi za fino obdelavo trdih legiranih litin je primerna vrsta H2. Za obdelavo tempne litine se je zlasti odlično obnesla vrsta AT2. Skobljanje sive litine lahko razen z vrsto G1 izvajamo tudi s TT3. Kot najprimernejša za skobljanje jekla se bo skoraj zmerom pokazala vrsta TT4.

Poznavanje kotov na rezilnem orodju je za pravilno uporabo karbidnih trdin največjega pomena. Na točno upoštevanje določenih kotov je namreč tu mnogo bolj gledati kakor pri orodjih iz brzoreznega jekla.

Posebne pomena je razlikovanje kotov orodja in delovnih kotov. Prvi so podani z orodjem in so odločilni za njegovo obliko in vzdrževanje. Temu nasproti pa so delovni koti določeni z lego orodja nasproti obdelovancu.

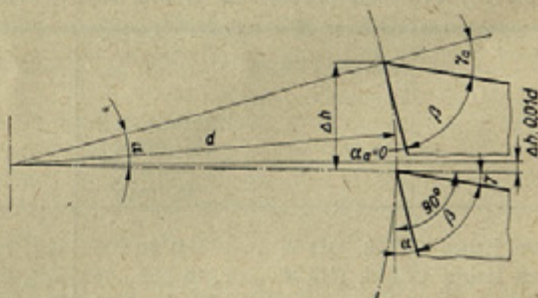
Slika 4 kaže kote na stružnem nožu. Prerez, ki je pravokoten na glavno rezilo vzdolž ravnine 1, 2, 3, 4, določa pri tem prosti kot α , kot klina β in cepilni kot γ . Kot konice ϵ in nastavni kot κ sta razvidna iz srednje skice. Posebno pomemben je tudi nagibni kot λ . Če je le-ta, kakor je pokazano na desni spodnji skici,

takšen, da leži konica orodja bliže spodnji naležni ploskvi kakor ostali del rezila, tedaj govorimo o pozitivnem nagibnem kotu. Tega posebno pogosto srečujemo pri orodjih iz karbidnih trdin, ker pomaga varovati konico. Kajti pri pozitivnem nagibnem kotu ne odreže gradiva konica, temveč nekoliko odmaknjeni del rezila.



Sl. 4. Koti orodja na stružnem nožu

Preprost primer za razlikovanje kotov na orodju in delovnih kotov kaže slika 5. Le-ta predstavlja nož za odrezovanje v dveh položajih. V spodnjem se koti orodja in delovni koti ujemajo. Če premaknemo orodje vzporedno s samim seboj navzgor, je v pokazanem položaju postal delovni prosti kot enak 0, medtem ko se je delovni cepilni kot ustrezno povečal. Orodje torej »pritiska«, ker ni več delovnega prostega kota, tako da je onemogočeno pravilno delo.



Sl. 5. Prosti kot orodja α in prosti delovni kot α_w

(Zaključek v naslednji številki!)

KONGRESI V LETU 1956

17. IV. ... 21. IV. — Blackpoole:
Letna konferenca Inštituta za obdelavo kovin.
17. VI. ... 23. VI. — Wien:
Svetovna konferenca za energetiko (V. plenarni sestanek).
28. VIII. ... 2. IX. — Bruxelles:
IX. mednarodni kongres za teoretično in uporabno mehaniko.
1. IX. ... 9. IX. — Düsseldorf:
Mednarodni kongres za litje.
5. IX. ... 7. IX. — Göttingen:
Kolokvij Mednarodne zveze za teoretično in uporabno mehaniko — o mehaniki tekočin.