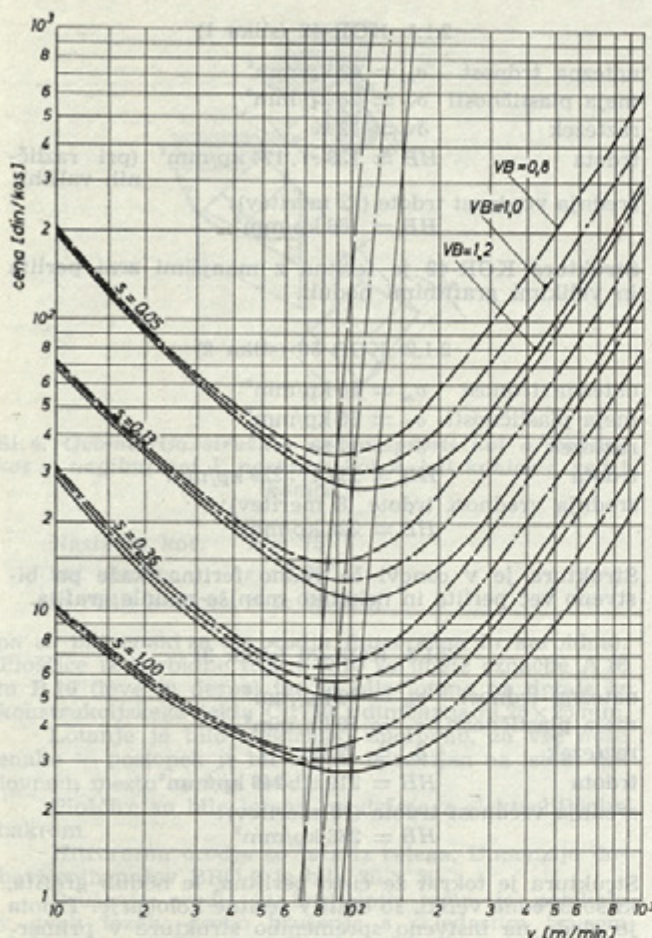




Sl. 5. Cena obdelave v odvisnosti od hitrosti struženja na polavtomatični stružnici in z uporabo ploščic iz karbidne trdine z označbo P 40

UDK 621.9.01:669.131.7

Obdelovalnost konstrukcijske nodularne litine

BORUT JUSTIN

1. Uvod

V letih po drugi svetovni vojni se je na tržiščih Amerike in kmalu tudi zahodne Evrope pojavila nova litina na osnovi železa, ki je glede na kvaliteto in ceno hitro začela prodirati na področje med sivo in jekleno litino. To je bila nodularna (sferoidna) litina, material, ki je po sestavi zelo blizu sive litine, pri katerem pa je z aplikacijo posebnih postopkov pri pridobivanju grafit oblikovan krogličasto. Zaradi tega je mogoče doseči dvoje:

— strukturo grafitni vložki mnogo manj režejo; zaradi tega so trdnostne lastnosti nodularne litine mnogo boljše od sive in se približujejo jekleni (z ekstremno vrednostjo $\sigma_m = 120 \text{ kp/mm}^2$);

— zaradi krogličaste oblike grafit je mogoče dosegati tudi mnogo večjo sposobnost za plastično preoblikovanje kakor pri sivi litini (izdelke iz nodularne litine je mogoče kriviti, zvijati in podobno); ker pa sta surovinska osnova in postopek pridobivanja — razen dodatne metalurške obdelave neposredno pred litjem — skoraj enaka onima pri sivi litini, je cena novega materiala komaj nekoliko višja od cene sive litine.

Nodularna litina si je kmalu odprla pot tudi k nam. Zelezarna v Storah je začela razvijati različne vrste

Optimalne pogoje odrezavanja računamo tako, da upoštevamo celotne stroške obdelave, tj. režijske in neposredne stroške, stroške menjavanja orodja in obdelovancev, merjenje, ceno orodja, ostrenje orodja ipd. Vse te parametre prikažemo v enotni enačbi stroškov za obdelavo, ki jo odvedemo po hitrosti in dobimo optimalno hitrost struženja za določene obdelovalne pogoje in določene obdelovance.

Slika 5 kaže, kako smo ugotavljali celo za vzdolžno obdelavo ležajnega obroča na revolverski stružnici. Iz diagrama je razvidno razmerje med hitrostjo rezanja in ceno obdelave. Razbiramo lahko tudi optimalno hitrost obdelave. Podane so krivulje za več podajanj in za različne stopnje obrabe rezalne ploščice na prosti ploskvi.

LITERATURA

[1] Program makroprojekta »Razvoj in optimizacija obdelovalnih sistemov za individualno maloserijsko in srednjeseerijsko proizvodnjo« (sept. 1970).

[2] Priloga programa »Razvoj in optimizacija obdelovalnih sistemov za individualno, maloserijsko in srednjeseerijsko proizvodnjo«: A. Referati, B. Diskusija (sept. 1970).

[3] Nove metode za optimiranje maloserijske, srednjeseerijske in individualne proizvodnje — povzetek iz uvodnih raziskav. Strojniški vestnik 1971-6, str. 189-192.

[4] UVODNE RAZISKAVE — poročilo Gospodarski zbornici z dne 10. 8. 1970.

Nosilec raziskovalne naloge: prof. dr. ing. habil. J. Pečlenik, Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani.

Pri raziskovalni nalogi so sodelovali: doc. mag. ing. Polde Leskovar, mag. ing. Borut Justin, pred. mag. ing. Franc Roethel, mag. ing. Zoran Seljak, dipl. ing. Pavle Smarčan, prof. V. T. S., dipl. ing. Adolf Šoštar, pred. V. T. S., dipl. ing. Ivan Grebenc, dipl. ing. Ivan Gantar.

Poročilo so sestavili: doc. mag. ing. Polde Leskovar, mag. ing. Zoran Seljak in dipl. ing. I. Grebenc.

nodularne litine za lasten proizvodni program in tudi za naročnike. Zaradi večjega zanimanja velja v zadnjih nekaj letih posebna pozornost razvijanju konstrukcijskih vrst nodularne litine za nekaj največjih področij uporabe: za motorno in avtomobilsko industrijo, industrijo reduktorjev, poljedelskih in gradbenih strojev, vojno industrijo itd.

Eden poglavitnih pogojev za ekonomsko uspešno uvajanje ulitkov iz nodularne litine v kovinsko predelovalno industrijo je obdelovalnost z odrezavanjem, ki naj ne bo slabša kakor pri konkurenčnih materialih (sivi in jekleni litini). Obdelovalnost je treba preskusiti, za kar pa je potrebna specialna oprema.

2. Preskušanci, orodje in oprema

2.1. Preskušanci

Zelezarna Store izdeluje naslednje kvalitete konstrukcijskih nodularnih litin (po lastnih označbah):

KGR-38, KGR-42, KGR-50, KGR-60, KGR-70.

Za preskuse obdelovalnosti so bile izbrane: KGR-42, KGR-50 in KGR-70.

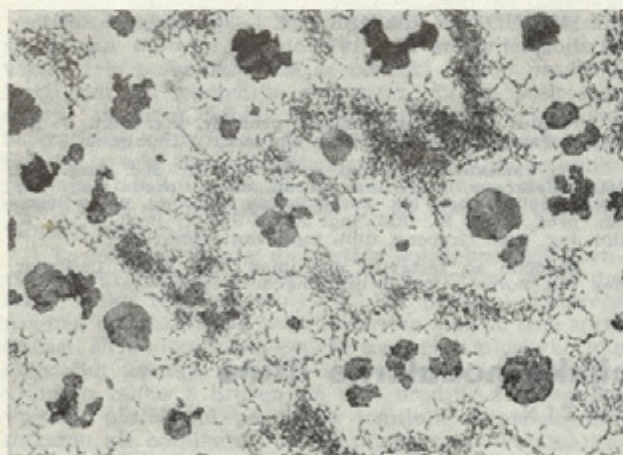
Preskušanci so imeli obliko puš (valjev) s približnimi dimenzijami:

$$\begin{aligned} D_{\text{zunani}} &= 180 \text{ mm} \\ D_{\text{notrani}} &= 80 \text{ mm} \\ L &= 400 \dots 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

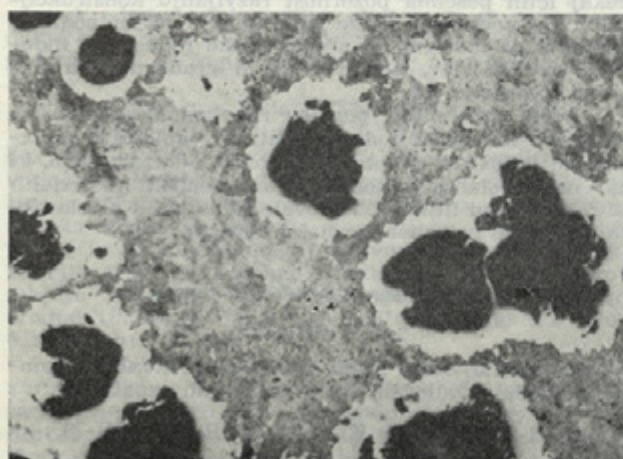
Skupaj s preskušanci je železarna dobavila tudi njihove metalografske in mehanske podatke.



Sl. 1. KGR-42, povečava 100 : 1, nital



Sl. 2. KGR-50, povečava 100 : 1, nital



Sl. 3. KGR-70, povečava 100 : 1, nital

2.1.1. KGR-42 (slika 1)

natezna trdnost $\sigma_m = 42 \text{ kp/mm}^2$
meja plastičnosti $\sigma_v = 28 \text{ kp/mm}^2$
raztezek $\delta = 12 \%$
trdota $HB = 138 \dots 174 \text{ kp/mm}^2$ (pri različnih valjih)

srednja vrednost trdote (52 meritev):
 $HB = 166 \text{ kp/mm}^2$

Struktura KGR-42 je feritna z manjšimi zrni perlita in velikimi grafitnimi noduli.

2.1.2. KGR-50 (slika 2)

natezna trdnost $\sigma_m = 50 \text{ kp/mm}^2$
meja plastičnosti $\sigma_v = 35 \text{ kp/mm}^2$
raztezek $\delta = 7 \%$
trdota $HB = 211 \dots 229 \text{ kp/mm}^2$
srednja vrednost trdote (8 meritev):
 $HB = 222 \text{ kp/mm}^2$

Struktura je v osnovi še vedno feritna, kaže pa bistveno več perlita in nekoliko manjše nodule grafita.

2.1.3. KGR-70 (slika 3)

natezna trdnost $\sigma_m = 70 \text{ kp/mm}^2$
meja plastičnosti $\sigma_v = 50 \text{ kp/mm}^2$
raztezek $\delta = 2 \%$
trdota $HB = 219 \dots 249 \text{ kp/mm}^2$
srednja vrednost trdote (10 meritev):
 $HB = 236 \text{ kp/mm}^2$

Struktura je tokrat že čisto perlitna, le noduli grafita, ki so izredno veliki, so oviti v feritne kolobarje. Trdota je glede na bistveno spremembo strukture v primerjavi s KGR-50 le neznatno večja (222 proti 236).

Kemična analiza je v vseh treh primerih enaka razen mangana, in sicer:

C — 3,4 ... 3,6 %
Si — 2,4 ... 2,7 %
P — max 0,040 %
S — max 0,010 %
MG — max 0,080 %

Količina mangana pa je naslednja:

KGR-42 Mn — 0,20 ... 0,28 %
KGR-50 Mn — 0,40 ... 0,60 %
KGR-70 Mn — 0,60 ... 0,80 %

2.2. Orodje

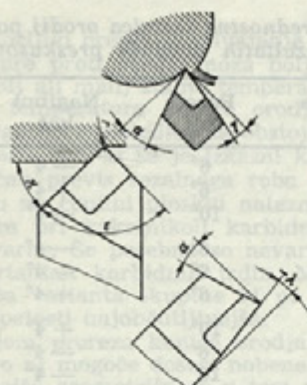
Uporabljeni sta bili dve vrsti orodij: karbidna trdina in hitroreznostno jeklo.

S karbidno trdino M10 (označba ISO) avstrijske proizvodnje TIZIT U1 (Hartmetallwerk Plansee, Tirol) smo obdelovali vse vrste nodularne litine, zajete v teh poskusih.

S hitroreznim jeklom BRC-3 domače proizvodnje (Železarna Ravne) smo preskušali le nodularno litino KGR-42. Odločitev za izbiro omenjenih orodnih materialov je bila sprejeta po skrbnem proučevanju obstoječe literature [1, 2, 3, 4, 5] in konzultaciji s strokovnjaki iz železarne (za izbiro hitroreznega jekla).

Geometrija orodja (sl. 4) je bila naslednja:

prosti kot α , cepilni kot γ in nagibni kot λ smo določili šele z uvodno serijo preskusov.



Sl. 4. Geometrija stružnih nožev: prosti kot α , cepilni kot γ , nagibni kot λ , nastavni kot ξ , kot konice ϵ , radij konice r

Nastavni kot: $\xi = 75^\circ$
 kot konice: $\epsilon = 90^\circ$
 in radij konice: $r = 0,5 \text{ mm}$

pa so bili enaki za vsa orodja (hitroreznna in karbidna). Ploščice iz karbidne trdine M10 so imele označbe A 16 in B 16 (leve in desne) ter so bile lotane na držaje iz konstrukcijskega jekla Č.1730 z dimenzijami $25 \times 25 \text{ mm}$.

Lotanje je bilo električno uporovno, za vse nože enako — postopek je bil hkrati opravljen na istem delovnem mestu za vsa orodja.

Ploščice so bile lotane na držaje z elektrolitičnim bakrom.

Hitroreznna orodja so bila iz celega. Dimenzija dobavljenih nožev BRC-3 je bila 20×20 .

Brušenje orodij iz karbidnih trdin je potekalo v dveh fazah: grobo brušenje s skledastim brusom $\phi 80 \times 20$ iz SiC tovarne Swaty iz Maribora in hitrostjo brušenja $11,7 \text{ m/s}$ ter hlajenjem z »brusogrinom«, nato pa fino brušenje z diamantno brusno ploščo z zrnatostjo D 70 (F. Wendt) z metalno vezavo, s hitrostjo 19 m/s ter brez hlajenja. Primik pri grobem brušenju se je sukal med $0,01$ in $0,03 \text{ mm/gib}$ delovne mize univerzalnega brusilnega stroja MSO, pri finem brušenju pa $0,01 \text{ mm/gib}$.

Orodja iz hitroreznega jekla smo brusili s skledastim brusom $\phi 125 \times 50 \text{ mm}$, Swaty, SiC z označbo 60 M. Med brušenjem smo orodja hladili z vodo. Hitrost brušenja je bila $18,3 \text{ m/s}$, primik pa $0,01 \text{ mm/gib}$.

Pri brušenju so bili noži vpeti v posebno vpenjalno napravo lastne konstrukcije, ki omogoča nagibanje v vseh treh koordinatah.

Radij konice je bil izdelan z diamantno brusno ploščo.

2.3. Eksperimentalna oprema

Eksperimentalna stružnica, na kateri so bili opravljeni preskusi, je bila konstruirana in izdelana v lastni hiši. Ima brezstopenjsko regulacijo vrtilne hitrosti glavnega vretena (Ward-Leonardov agregat) med 10 in 4500 vrtljaji na minuto. Stružnica omogoča vpenjanje obdelovancev do premera 500 mm in dolžine 1000 mm ter ima na izbiro 24 podajanj od $0,02$ do $1,5 \text{ mm/vrt}$. Moč pogonskega motorja je 20 kW .

Za merjenje rezalne hitrosti je bil uporabljen kolutni tahometer VEB Meßgerätewerk Beierfeld, za merjenje časa laboratorijska stoparica Hartmann & Braun.

Za razbiranje obrabe na prosti ploskvi smo uporabili orodjarski mikroskop Carl Zeiss, Jena z 21-kratno povečavo. Opremljen je s posebno zibko, ki omogoča natančno nastavljanje ploskve, na kateri razbiramo obrabo v horizontalno lego.

3. Uvodni preskusi

3.1. Preskusi so bili opravljeni s predpostavko, da velja že dolgo znana Taylorjeva enačba:

$$v \cdot t^n = C$$

pri čemer pomenijo

v — rezalno hitrost [m/min],
 t — čas trajanja preskusa [min],
 n — Taylorjev eksponent,
 C — Taylorjevo konstanto.

Poenostavljena oblika Taylorjeve enačbe je bila uporabljena zato, ker smo poskrbeli za izločitev ostalih dveh vplivnih faktorjev, ki navadno tudi spadata vanjo s tem, da sta bila ves čas dela konstantna.

podajanje $s = 0,218 \text{ mm/vrt}$,
 globina rezanja $a = 2 \text{ mm}$.

Ker je znano, da povrhi omenjenih vplivajo na rezultate preskusov in praktičnega dela še mnogi nepoznani ali vsaj nekontrolirani faktorji, je mogoče realno ocenjevati obdelovalnost le pri velikem številu ponovljenih preskusov. Obilico rezultatov, ki jih dobimo z njimi, pa je potrebno urediti in vrednotiti s statističnimi metodami. Iz Taylorjeve enačbe je razvidno, da je odvisnost med obema spremenljivkama eksponentialna. Zaradi poenostavitve navadno uporabljamo logaritmčno transformacijo, s katero je mogoče relacijo linearizirati v dvojnologaritmčnem merilu. Množina ponovljenih rezultatov daje v dvojnologaritmčnem polju oblak točk, skozi katerega položimo regresijsko premico tako, da se najbolj prilaga neki srednji vrednosti vseh dobljenih rezultatov. Za to uporabljamo metode najmanjših kvadratov.

Pri izračunavanju rezultatov je treba biti zelo natančen, ker celotni postopek računanja poteka z logaritmi. Ponavadi ne zadoščajo logaritmi s petimi, temveč šele s sedmimi ali — še bolje z devetimi decimalnimi mesti.

Izračunavanje rezultatov je bilo v našem primeru opravljeno na elektronskem računalniku IBM 1130 pri Inštitutu za matematiko, fiziko in mehaniko univerze v Ljubljani. Za kriterij obrabe orodij je bil izbran $0,4 \text{ mm}$ širok obrobni pas na prosti ploskvi orodja.

3.2. Pri uvodnih preskusi smo imeli dva namena:

- ugotoviti najprimernejšo geometrijo orodja (α , γ , λ),
- ugotoviti tri hitrosti, primerne za nadaljnje preskuse.

Uvodne preskuse smo opravili na nodularni litini KGR-42. Za točko a) smo predvideli naslednje kombinacije:

- 2 prosta kota: $\alpha = 6^\circ, 10^\circ$,
- 2 nagibna kota: $\lambda = -4^\circ, +4^\circ$,
- 3 cepilne kote: $\gamma = 0^\circ, 6^\circ, 12^\circ$.

Kombinacije zgornjih vrednosti dajejo dvanaest geometrij, ki jih skupaj z identifikacijsko številko orodij, kakršno so imele, kaže tabela 1.

Iz testov obdelovalnosti, ki smo jih brez planiranja in statističnega vrednotenja opravili pred uvodnimi preskusi, smo dobili naslednje tri rezalne hitrosti za uvodne preskuse:

$v = 200, 300, 400 \text{ m/min}$.

Te hitrosti pa so približno 100 % večje od pričakovanih, v literaturi dostopnih podatkov.

Pri uvodnih preskusi smo se omejili na tri preskuse za vsako od 12 geometrij — pri vsaki hitrosti po en. Zaradi tega je njihova zanesljivost majhna.

Tabela 1. Kombiniranje različnih geometrij orodij za uvodne preskuse

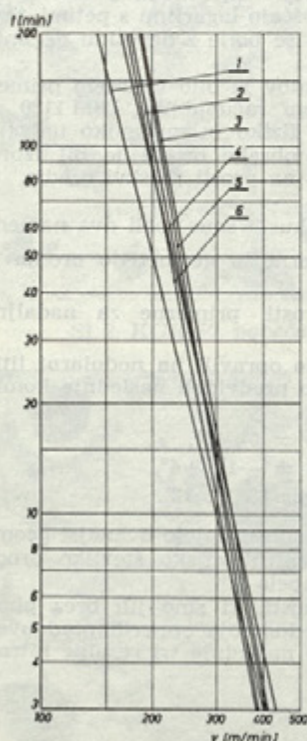
Identifikacijska številka	Prosti kot	Nagibni kot	Cepilni kot
1	6°	-4°	0°
2	6°	-4°	6°
3	6°	-4°	12°
4	6°	+4°	0°
5	6°	+4°	6°
6	6°	+4°	12°
11	10°	-4°	0°
12	10°	-4°	6°
13	10°	-4°	12°
14	10°	+4°	0°
15	10°	+4°	6°
16	10°	+4°	12°

Dobljeni rezultati so ugodni (sliki 5 in 6). Regresijske premice za vseh 12 geometrij orodij ležijo blizu druga druge. Po eni strani dopušča to sklep, da je ponovljivost dobra, po drugi pa, da geometrija ne vpliva zelo močno na obdelovalnost. Rezultati prve skupine (orodja 1–6, $\alpha = 6^\circ$) se bolj skladajo kakor rezultati druge skupine (orodja 11–16, $\alpha = 10^\circ$). Ker je prosti kot edina razlika med skupinama, je na dlani ugotovitev, da povzroča večji prosti kot α večji raztros in manjšo zanesljivost rezultata. Zato je za obdelavo manj primeren. Preskušana orodja so se razvrstila po lestvici v tabeli 2: razen že ugotovljene težnje, da daje manjši prosti kot boljše rezultate, ki je jasno ugotovljiva tudi iz tabele, ni mogoče ločeno soditi o primernosti ostalih dveh kotov, ker so vrednosti po vrednostni lestvici (tabela 2) razporejene po slučajnosti.

Tabela 2. Vrednostna lestvica orodij po doseženih rezultatih uvodnih preskusov

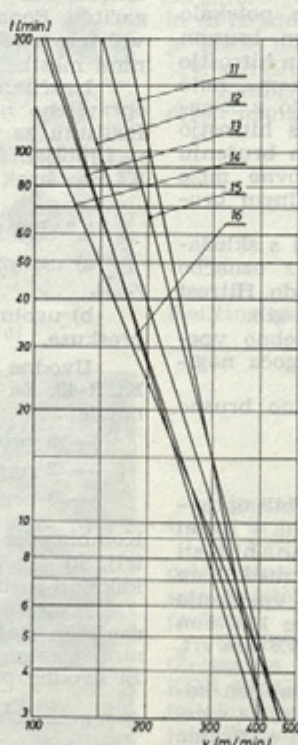
Identifikacijska številka	Prosti kot	Nagibni kot	Cepilni kot
3	6°	-4°	12°
5	6°	+4°	6°
11	10°	-4°	0°
2	6°	-4°	6°
6	6°	+4°	12°
4	6°	+4°	0°
15	10°	+4°	6°
1	6°	-4°	0°
12	10°	-4°	6°
13	10°	-4°	12°
16	10°	+4°	12°
14	10°	+4°	0°

Stirje rezultati, ki so med seboj zelo izenačeni, so močnejše vidni iz poprečja. To so rezultati orodij 3, 5, 11 in 2, ki so ločeno vrisani na sliki 7. Če gledamo kombinacije vseh treh kotov pri teh štirih orodjih, lahko ugotovimo, da imajo vsa precej enak »prezrez konice« ozir. podoben kot klina, če upoštevamo še nagibni kot λ . Hkrati je mogoče ugotoviti, da so orodja z majhnim prerezom ali maso konice na repu tabele 2. Mogoče je torej priti do naslednjega sklepa. Ni zelo pomembno, kakšno geometrijo orodja izberemo, če upoštevamo, da mora imeti konica določen prerez ali maso. Pri rastočem cepilnem kotu je mogoče ohraniti prerez konice s prehodom nagibnega kota v negativno polje in nasprotno. To zahtevo je zelo lahko pojasniti. Znano je namreč, da se precej pri odrezavanju nastajajoče toplote prevaja po orodju. Če je za določeno količino



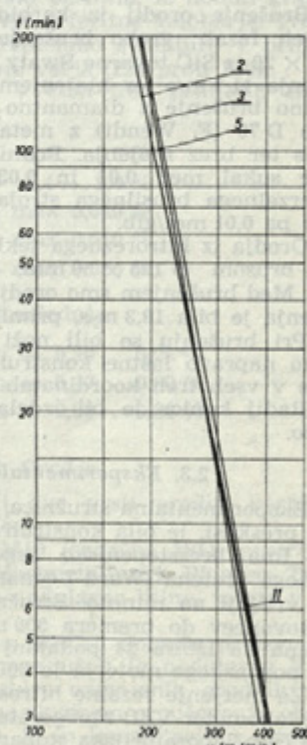
Sl. 5. Uvodni preskusi z nodularno litino KGR-42 — rezultati, dobljeni z orodji 1 do 6

HB = 138 ... 174 kp/mm²
 $\alpha = 2$ mm, $s = 0,218$ mm/vrt, B = 0,4 mm



Sl. 6. Uvodni preskusi z nodularno litino KGR-42 — rezultati, dobljeni z orodji 11 do 16

HB = 138 ... 174 kp/mm²
 $\alpha = 2$ mm, $s = 0,218$ mm/vrt, B = 0,4 mm



Sl. 7. Uvodni preskusi z nodularno litino KGR-42 — najboljši štirje rezultati

HB = 138 ... 174 kp/mm²
 $\alpha = 2$ mm, $s = 0,218$ mm/vrt, B = 0,4 mm

toplote razpoložljivi prerez za odvajanje manjši, bo padec temperature proti vpetju noža bolj strm; ker pa ima suport bolj ali manj stalno temperaturo, bo zaradi tega narasla temperatura konice orodja. To pa ima lahko zelo negativne posledice za obstojnost orodja.

Velik prosti kot, ki se je izkazal kot neprimeren, povzroča močan previs rezalnega roba orodja. Zaradi tega nastajajo na cepilni ploskvi natezne napetosti, ki so v splošnem pri kakršnikoli karbidni trdnini nezaželene in nevarne. Še posebno so nevarne pri trših in krhkejših variantah karbidnih trdnin. M10 je najtrša in najkrhkejša varianta skupine M po ISO in zaradi tega za te napetosti najbolj občutljivejša.

Z večanjem prereza konice orodja nad neogibno potrebno mero ni mogoče doseči nobene prednosti. Zaradi neugodnejše geometrije se v tem primeru večajo specifične sile pri odrezavanju, ki lahko povzročajo plastično deformacijo in — ali povečano razvijanje toplote zaradi neugodnih razmer v transformacijski coni. Zaradi tega se obstojnost takih orodij zmanjšuje.

Po gornjem komentarju je bila določena geometrija orodja za naslednje preskuse obdelovalnosti nodularnih litin:

KGR-42, KGR-50 in KGR-70:

$$\alpha = 6^\circ, \gamma = 6^\circ, \lambda = 0^\circ.$$

Približno ugotovljena hitrost pri enourni obstojnosti orodja (v_{60}) — slika 7 — je znašala

$$v_{60} = 220 \text{ m/min.}$$

Na tej osnovi so bile izbrane za preskušanje KGR-42 hitrosti:

$$v = 250, 320, 400 \text{ m/min.}$$

4. Obdelovalnost KGR-42

Rezultati, doseženi v uvodni seriji preskusov, so za 100 % boljši od pričakovanih. Zaradi tega je bila porabljen vsa preskusna zalog nodularne litine KGR-42. Železarna Štore je za nadaljevanje preskusov dobavila novo količino materiala. Nova šarža se po metalografskih in mehanskih lastnostih ni ločila od prve. Pri preskusih pa smo ugotovili, da je obdelovalnost bistveno slabša.

Preskusi, opravljeni z geometrijo in hitrostmi, ugotovljenimi v uvodni seriji so dali rezultate po sliki 8. Hitrost v_{60} se je zmanjšala na 135 m/min. Med delom je bilo opaziti tudi precej raztrosa pri rezultatih obdelovalnosti med različnimi valji. Včasih se je pojavljala komaj opazna poroznost, ki pa je zelo verjetno neugodno vplivala na obstojnost orodij.

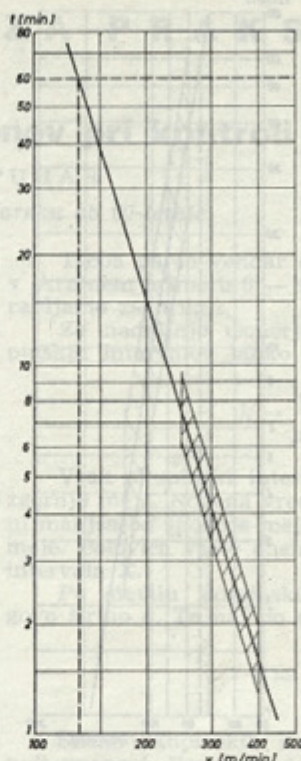
Na sliki 8 je vrisano tudi območje 95 % statistične zanesljivosti dobljenih rezultatov, vendar le v mejah od spodnje do zgornje testne hitrosti odrezavanja.

5. Obdelovalnost KGR-50

Nekateri valji iz nodularne litine KGR-50 so bili na različnih mestih porozni. Navadno se je poroznost širila z zunanje strani navznoter do globine ok. 20 mm. Vendar smo imeli tudi primere, ko je bil preskušanelec porozen ob notranji strani ali v sredini. V splošnem ni bilo mogoče ugotoviti nobene zakonitosti, po kateri bi bilo mogoče poroznost predvidevati.

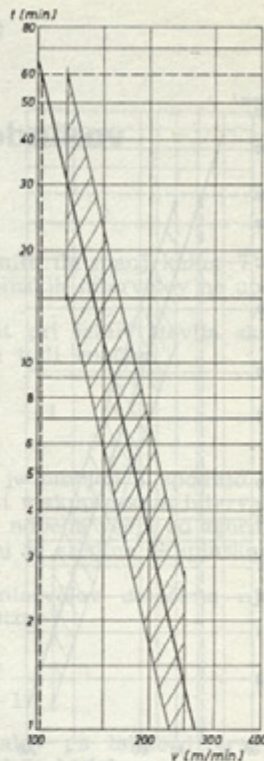
Poroznih območij ni bilo mogoče uporabljati za preskuse, marveč jih je bilo potrebno izrezovati.

Tudi sicer litina KGR-50 ni bila homogena. Trdota se je spreminjala vsekakor manj kakor pri KGR-42 (primerjaj odstavka 2.1.1. in 2.1.2.), vendar je včasih nastajala nenavadna obraba konice orodja, ki bi lahko bila posledica za obdelavo neugodnih vključkov, če bi se pojavljala v manjši meri in praviloma. Ker pa se



Sl. 8. Rezultati preskušanja nodularne litine KGR-42

HB = 138...174 kp/mm²
a = 2 mm,
s = 0,218 mm/vrt,
B = 0,4 mm



Sl. 9. Rezultati preskušanja nodularne litine KGR-50

HB = 211...229 kp/mm²
a = 2 mm,
s = 0,218 mm/vrt,
B = 0,4 mm

je to dogajalo le od primera do primera, sklepamo, da so bila v materialu trda zrna, ki so močno slabila obstojnost orodja.

Po nekaj uvodnih testih smo se odločili za naslednje hitrosti preskušanja KGR-50:

$$v = 120, 170, 250 \text{ m/min.}$$

Statistično ovrednoteni rezultati preskusov so razvidni s slike 9. Območje 95 % zanesljivosti je širše kakor pri KGR-42, kar je posledica večjega raztrosa eksperimentalnih rezultatov. Hitrost v_{60} znaša 102 m/min.

6. Obdelovalnost KGR-70

Pri obdelavi KGR-70 ni bilo podobnih težav kakor pri KGR-50. Litina je bila celo bolj homogena kakor KGR-42. Zaradi večje trdote (glej 2.1.3.) in slabše obdelovalnosti je bil sicer raztros približno enak kakor pri KGR-50, kar je v tem primeru zadovoljivo, kaže pa se s približno enako širino pasu 95 % zanesljivosti na sliki 10.

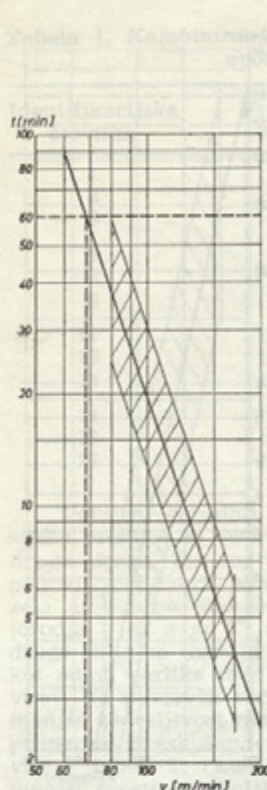
Poprej preskušane hitrosti odrezavanja, kakršne smo uporabili pri preskusih, so:

$$v = 80, 120, 170 \text{ m/min.}$$

Tokrat je bila dosežena hitrost $v_{60} = 68 \text{ m/min.}$

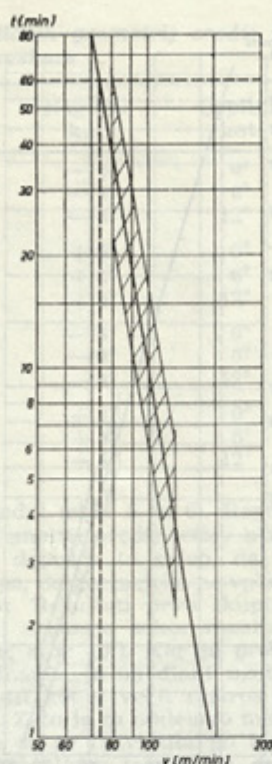
7. Obdelovalnost KGR-42 z orodji iz hitroreznega jekla BRC-3

Hitrorezna jekla so nasploh zelo občutljiva za temperaturno preobremenitev. Ko konica orodja doseže kritično temperaturo, se v trenutku poruši. Nasproti temu



Sl. 10. Rezultati preiskovanja nodularne litine KGR-70

HB = 219 ... 249 kp/mm²
 $\alpha = 2$ mm,
 $s = 0,218$ mm/vrt,
 $B = 0,4$ mm



Sl. 11. Rezultati preiskovanja nodularne litine KGR-42 z orodji iz hitroreznega jekla BRC-3

HB = 138 ... 174 kp/mm²
 $\alpha = 2$ mm,
 $s = 0,218$ mm/vrt,
 $B = 0,2$ mm

pa je naraščanje obrabnega pasu na prosti ploskvi mnogo počasnejše kakor pri orodjih iz karbidne trdine. To je seveda posledica mnogo manjših hitrosti pri obdelavi.

Zaradi obeh vzrokov je lega regresijske premice v dvojnolgaritemskem diagramu $v-t$ precej bolj pokončna. Če lahko pri obdelavi s karbidno trdino računamo z naklonskim kotom regresijske premice okoli 70°, se pri hitroreznem orodju le-ta približa 80°.

Zaradi izredno počasnega naraščanja obrabnega pasu pri izbranih hitrostih

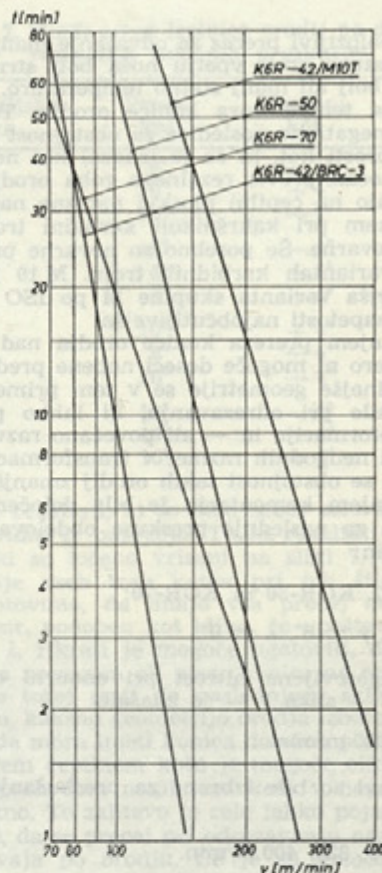
$$v = 80, 95, 120 \text{ m/min},$$

je bilo potrebno znižati kriterij obrabe od 0,4 mm na 0,2 mm.

Na sliki 11 so zbrani rezultati preskusov, pri katerih se je pokazalo, da je BRC-3 primeren orodni material, saj je dosežena hitrost v_{80} kar 74 m/min.

8. Sklep

Pregled doseženih rezultatov na sliki 12 daje pričakovano sliko. Najboljša je nedvomno obdelovalnost KGR-42, ki je najmehkejša preskušana nodularna litina. Pri KRG-50 smo dobili bolj strmo regresijsko premico. Ker je bila homogenost tega materiala najslabša, je število preskusov najmanjše in zanesljivost najslabša od vseh preskusov. Ni izključeno, da je nenavadno strma lega regresijske premice posledica eksperimentalnih napak, katerih vzrok je naveden v 5. odstavku. KGR-70 pa je po pričakovanju — kot najtrša litina — najslabše obdelovalna.



Sl. 12. Zbrani rezultati preskusov

Obdelovalnost KGR-42 s hitroreznim jeklom BRC-3 je potrebno obravnavati ločeno od prejšnjih treh rezultatov. Za tako vrsto obdelave je prvenstveno pomembna hitrost odrezavanja. Pod kritično mejo toplotne obstojnosti orodja je življenjska doba orodja zelo velika ob minimalni obrabi. Kritična hitrost je dovolj velika in za prakso še zelo zanimiva. Če pa to hitrost presežemo, pa lahko računamo s trenutno otopitvijo orodja.

LITERATURA

- [1] K. Kämmer: Die spanabhebende Bearbeitung von Gußeisen mit Kugelgraphit, Zwf 1967, Nr. 1.
- [2] K. Hitomi, G. L. Thuering: Machinability of Nodular Cast Irons Part III — Tool Life of Carbide and Ceramic Cutting Tools, Trans ASME, Journal of engineering for Industry, May 1964.
- [3] G. Hug: Determining Tool Life on Nodular Cast Iron, The Tool Engineer, May 1958.
- [4] Tizit: Werkstattberatung für die Zerspanungstechnik.
- [5] Coromant — SANDVIK, prospekt in navodila za izbiro kvalitete orodij in rezalnih hitrosti.

Avtorjev naslov:

mag. ing. Borut Justin,
 Fakulteta za strojništvo
 Univerze v Ljubljani