

UDK 621.762:669.138

Deli strojev iz sintranih kovin

JOZE HLEBANJA

1. Uvod

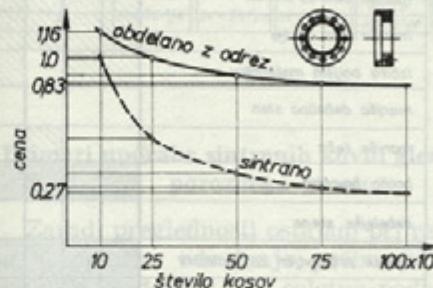
Razvoj aparatov in strojev, ki sproščajo človeka fizičnega dela, se čedalje hitreje stopnjuje, proizvodnja teh naprav pa dosegla izredno velike stroške. To je pripeljalo do tega, da so iskali in vključili v proizvodnjo nove tehnološke postopke, ki pri velikih serijah proizvod pocenijo. Med take tehnološke postopke spada nedvomno tudi tehnika sintranja. Ta se je v Evropi začela po drugi svetovni vojni in je na določenih področjih že prevladujočega pomena (npr. pri izdelavi ležajnih kovin, materialov za električne kontakte). Glede na to, da je izhodiščni material kovinski prah, je mogoče mešati kovine znatno bolj prosti kakor v zlitinah, tako da postopek sintranja omogoča tudi izdelovanje kovin, ki imajo posebne fizikalne in tehnične lastnosti. Posebne mešanice dajejo materiale, ki imajo posebne torne, termične in magnetne lastnosti itd., ki jih navadne zlitine nimajo. Tako postaja tehnologija sintranih materialov pri sodobni izdelavi strojnih delov nepogrešljiva.

Tema je toliko bolj aktualna tudi za Slovenijo, ker se s to problematiko že nekaj let ukvarja Metalurški inštitut v Ljubljani, industrijsko obdelavo pa uvaja tovarna kovanega orodja v Zrečah. Rezultati prizadevanj Metalurškega inštituta so bili prikazani na dveh seminarjih o sintranih gradivih (v l. 1969 in 1972). Oboje narekuje, da tudi vso tehničko javnost pobliže seznanimo s tehniko sintranja strojnih delov.

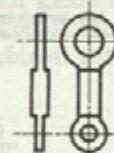
2. Kdaj je umestna izbira sintranih kovin

Za določen tehnološki postopek se odločimo takrat, kadar njegove prednosti pretehtajo ostale tehnološke postopke. Tako ravnamo tudi pri sintranih kovinah. Prednosti delov iz sintranih kovin bomo najrazločneje videli na primerih. Tako kaže slika 1 del sklopke, poleg nje pa diagrama, iz katerih je razvidna njegova cena, če je ta del izdelan s sintranjem ali po postopku z odvzemanjem materiala. Prednost postopka sintranja se vidi tedaj, če predmet izdelamo v zelo velikem številu izdelkov.

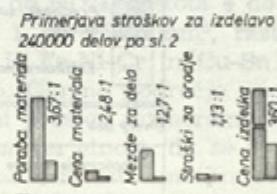
Z naraščanjem števila izdelanih kosov se cena pri sintranih delih znatno bolj manjša (0,27 nasproti 1,0) kakor pri delih, ki so izdelani z odrezavanjem (0,83 nasproti 1,16). Tako bistveno zmanjšanje cene je pri sintranih kosih pogojeno z veliko zdržljivostjo orodja (nad 100 000 kosov/orodje). Posamezni stroški za izdelavo s sintranjem in primer-



Slika 1



Slika 2



Slika 3

java, če bi bil ta del izdelan z odrezavanjem, so za del po sliki 2 za 240 000 kosov prikazani na sliki 3.

Vzporedno s sintranjem so se izpopolnjevali tudi drugi tehnološki postopki. Tako lahko za določena področja uporabe prevladujejo eni, za druga področja pa drugačni tehnološki postopki. Nemško združenje je izdelalo pregled raznih tehnoloških postopkov in v njem označilo področja, na katerih ima določen tehnološki postopek prednost. Področja, ki kažejo prednost določenega tehnološkega postopka, so prikazana na slikah 4 do 6.

Iz ravnokar povedanega izhaja, da imajo sintrani deli tele prednosti:

a) gospodarsko opravičljiv je postopek za serije nad 10 000 kosov,

b) deli, izdelani s sintranjem, navadno ne potrebujejo dodatne obdelave in so pripravljeni za vgraditev,

c) izdelki imajo veliko enakomernost mer in videza (se v isti seriji malo razlikujejo),

d) sintrani materiali omogočajo različno mešanje sestavin, tako da lahko dobivamo materiale s posebnimi lastnostmi (filtre, ležajne kovine, kovine

	kovani deli		finokovani deli		vroče iztiskovanje		hladno iztiskav.		stancanje viščerje		fino stancani deli	
	jeklo	barvne kovine	lahke kovine	jeklo	barvne kovine	lahke kovine	jeklo	barvne kovine	lahke kovine	jeklo	barvne kovine	lahke kovine
večji deli												
manjša cena za en kos												
manjša cena orodja												
izbira boljših materialov												
manjša debelina sten												
manjša teža												
boljše površine												
debeljše stene												
izdelek pripravljen za vgraditev												
večja natančnost												
bolj komplikirane oblike												

Slika 4

Primerjava prednosti med plastično-oblikovanimi in sintranimi deli.

	ulivanje v pesku			ulivanje v masko			plačna litina	umetne mashe				
	stava litina	jeklenca litina	sfero litina	temperna litina	stava litina	jeklenca litina	sfero litina	temperna litina				
								precizna litina	kotikanitna litina	lahke kovine	zink	
večji deli												
komplikirane oblike												
cenejše orodje (model)												
manjša teža												
večja temperaturna vzdržljivost												
kvalitetnejši materiali												
več možnosti za legiranje												
boljša izrabljenočnost materiala												
boljše površine												
utilni pripravljen za vgraditev												
večja natančnost												
večja homogenost materiala v odebeltitvah												

Slika 5

Uvodnički seberi pri vrednostih za električne kontakte itd.), ki jih z navadnimi zlitinami ni mogoče izdelati,

e) sintrane kovine dopuščajo dodatno mehanično in termično obdelavo, kakor npr.: brušenje, lepanje in honanje kakor tudi cementiranje in kaljenje.

Površinska zaščita pri vseh sintranih kovinah ni enako možna.

Uporaba sintranih kovin je predvsem omejena z velikostjo kosa in tedaj, kadar so pri kosu potrebne posebne trdnostne lastnosti. Za sintranje so primerni majhni deli.

3. Sintrani materiali za strojne dele

Lastnost sintrana materiala je pogojena s kemično sestavo in kompaktnostjo materiala. Kompačnost je določena z velikostjo izpolnjene volumenta oziroma s poroznostjo. Da bi dobili večjo preglednost in bi laže določili uporabnost materiala s posameznega področja, je nemško združenje proizvajalcev sintranih delov celotno področje sintranih kovin razdelilo po velikosti poroznega prostora na osem območij. Tako razdelitev in pripadajoče označbe kaže slika 7. Kemična sestava in lastnosti

Primerjavo prednosti med mehanično obdelanimi in sintranimi deli.

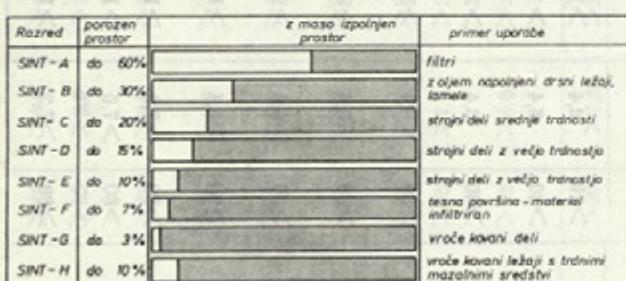
	struženje		frezanje		potiskovanje		režanje razcev		MOŽNO S SINTRANjem
	na stružnici	na avtomati	vrteče	posamezno	paketi	pekarje	posamezno	režanje razcev	
veliki deli									
boljši materiali									
finje konture									
manjša cena za en kos									
večja natančnost									
boljša površina									
manjše investicije za stroje in orodja									
boljša izkoristjenost materiala									

Slika 6

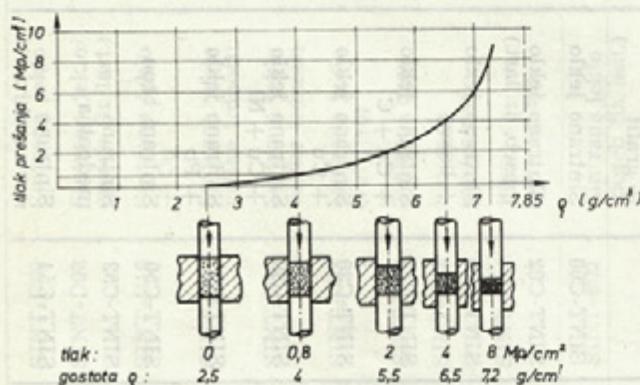
(gre samo za pripomočilo združenja) pa so za nekatere materiale podane v tabeli 1.

Razumljivo je, da dosežemo večjo kompaktnost sintranega materiala z močnejšim prešanjem in s posebnimi postopki. Približne velikosti tlaka pri prešanju sintranega železa za določeno gostoto kaže slika 8. Razen močnejšega prešanja pa so za kompaktnoje materiale potrebni še posebni postopki, ki seveda podražijo izdelek.

Pregled potrebnih teholoških faz za posamezno kvaliteto sintranega materiala je prikazan na sliki 9.



Slika 7



Slika 8

SINT-A	mešanje	formanje	sintranje
SINT-B	mešanje	prešanje	sintranje
SINT-C	mešanje	prešanje	sintranje kalibriran
SINT-D	mešanje	pred prešanje	sintranje prešanje sintranje
SINT-E	mešanje	pred prešanje	sintranje prešanje sintranje kalibriran
SINT-F	mešanje	prešanje	sintranje infiltriran
SINT-G	mešanje	prešanje	sintranje vroče kovanje
SINT-H	mešanje	prešanje	sintranje vroče kovanje

Slika 9

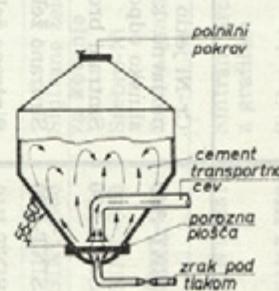
4. Primeri uporabe sintranih kovin glede na velikost porognega prostora

Zaradi preglednosti ostajam pri razdelitvi, ki jo podaja nemško združenje proizvajalcev sintranih delov. Ta razdelitev deli celotno področje glede na poroznost (slika 7) kakor tudi glede na gostoto (tabela 1). Ustrezno glede na gostoto in poroznost, ki je tukaj podana, je možno izbirati ustrezni material poljubnega proizvajalca.

4.1. SINT-A

Poroznost do 60 %, gostota 4 do 5,5 g/cm³, natezna trdnost 1 do 15 kp/mm², razteznost 0,5 do 10 %. Legure iz Fe-Ni-Cr in Cu-Sn so se obnesle posebno dobro. Glavno področje uporabe so filtri. Ker je porozni prostor razmeroma enakomeren in zavit, je velika verjetnost, da se v njem zaustavlja tudi tanke in nitaste smeti in organizmi.

Material razreda SINT-A se uporablja tudi v transportnih napravah za fini sipki material. Primer s tega področja kaže slika 10. To je posoda za prevoz cementa, ki se prazni pnevmatično. V dno posode je vgrajena porozna plošča, skozi katero pihamo zrak in tako praznimo posodo. Material SINT-A ima zaradi kapilarnega delovanja porognega volumna pri pretoku snovi močno dušenje tlaka. Zato ga v nekaterih napravah uporabljajo tudi kot zaporo plamena. Zaradi enakomerno porazdeljenih por pa jemljejo SINT-A tudi za enakomerno porazdelitev izparjene tekočine v mimo tekoči plin.



Slika 10

Tabela 1. Primeri za sestavo in lastnosti sintranih kovin

Razred	Označba materiala	Ime materiala	Poroznost	Izpolnitvena volumina	Gostota	Natezna trdnost	Razteznost	Trdota (HB) (cup)	Fe	Cu-Cu-zlitine	C	Cr	Ni	Mo	Sn	Pb	Zn	Ostalo
			%	%	g/cm ³	kp/mm ²	%	kp/mm ²	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
SINT-A	SINT-A40	Cr-Ni jeklo nerjavno, kisilinsko odpornič	30...50		4...5,5	1...15	0,5...7		x	—	<0,07	16...19	10...14	2...4	—	—	—	<2
	SINT-A50	Sintrani bron	30...50		5,2...6,4	2...13	2...12		—	x	<0,2	—	—	—	9...11	—	—	<3
SINT-B	SINT-B00	Sintrano železo	>18		5,8...6,3	> 8	>3	>30	x	<1,0	<0,3	—	—	—	—	—	—	<3
	SINT-B10	Sintrano železo + baker	>18		5,8...6,3	>15	>3	>40	x	1...5	<2,0	—	—	—	—	—	—	<3
	SINT-B20	Sintrano železo + baker	>18		5,8...6,3	>18	>2	>45	x	>5	<0,3	—	—	—	—	—	—	<3
	SINT-B50	Sintrani bron	>18		6,4...7,0	> 8	>3	>25	—	x	<0,2	—	—	—	9...11	—	—	<3
	SINT-B51	Sintrani bron + grafit	>18		6,2...6,8	> 7	>2	>23	—	x	0,2...2	—	—	—	9...11	—	—	<3
SINT-C	SINT-C00	Sintrano jeklo		>80	6,4	>15	>3	>45	x	<1,0	<0,3	—	—	—	—	—	—	<3
	SINT-C02	Sintrano jeklo (poseb. fiz. last.)		>80	6,4	>12	>3	>45	x	—	<0,1	—	—	—	—	—	—	<0,5
	SINT-C10	Sintrano jeklo + baker		>80	6,4	>20	>4	>55	x	1...5	<0,3	—	—	—	—	—	—	<3
	SINT-C11	Sintrano jeklo + Cu + C		>80	6,4	>30		>100	x	1...5	0,4...1	—	—	—	—	—	—	<3
	SINT-C20	Sintrano jeklo + Cu		>80	6,4	>23	>2	>60	x	>5	<0,3	—	—	—	—	—	—	<3
	SINT-C30	Sintrano jeklo + Cu + Ni		>80	>6,4	>26	> 2	> 60	x	1...5	<0,3	—	2...5	—	—	—	—	<3
	SINT-C31	Sintrano jeklo + Pb		>80	>6,4	>18	> 3	> 55	x	1...3	0,5...1	—	—	—	—	—	—	<3
	SINT-C50	Sintrani bron		>80	>7,0	>13	> 6	> 35	—	x	<0,2	—	—	—	9...11	—	—	<3
	SINT-C52	Sintrana medenina		>80	>7,0	>11	>11	> 30	<0,25	77...81	—	—	—	—	<2	x	<0,5	<0,5
	SINT-C54	Sintrano novo srebro		>80	>7,2	>14	> 7	> 40	<0,5	65...69	—	16...18	—	—	<6	—	x	<0,5

	SINT-D	SINT-D00	Sintrano jeklo	>85	>6,9	>25	>12	> 50	x	<1,0	<0,3	—	—	—	—	—	—	—	—	<3
	SINT-D	SINT-D02	Sintrano jeklo (poseb. fiz. last.)	>85	>6,9	>20	>10	> 60	x	—	<0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	<0,5
	SINT-D	SINT-D10	Sintrano jeklo + Cu	>85	>6,9	>30	> 7	> 80	x	1...5	<0,3	—	—	—	—	—	—	—	—	<3
	SINT-D	SINT-D11	Sintrano jeklo velike trdnosti	>85	>6,9	>35	1...3,5	>100	x	1...5	0,4...1	—	—	—	—	—	—	—	—	<3
	SINT-D	SINT-D30	Sintrano jeklo velike trdnosti	>85	>6,9	>55	6...10	>100 —140	x	1...5	<0,3	—	0...4	—	—	—	—	—	—	<3
	SINT-D	SINT-D33	Sintrano jeklo (varljivo)	>85	>6,9	>32	> 6	> 80	x	<0,8	<0,2	—	3...6	—	—	—	—	—	—	<1
	SINT-D	SINT-D50	Sintrani bron	>85	>7,7	>22	>20	> 50	—	x	<0,2	—	—	—	—	—	—	9...11	—	<3
	SINT-D	SINT-D52	Sintranina medenina	>85	>7,7	>26	>18	> 50	<0,5	77...81	—	—	—	—	—	—	—	—	—	<0,5
	SINT-D	SINT-D54	Sintranino novo srebro	>85	>8,0	>30	>12	—	<0,5	65...69	—	—	16...18	—	—	—	—	—	x	<0,5
	SINT-E	SINT-E02	Sintranino jeklo (poseb. fiz. last.)	>90	>7,2	>20	>20	>55	x	—	<0,01	—	—	—	—	—	—	—	—	<0,1
	SINT-E	SINT-E10	Sintranino jeklo	>90	>7,2	>35	>10	>100	x	1...5	<0,3	—	—	—	—	—	—	—	—	<3
	SINT-F	SINT-F22	Sintranino jeklo	>93	>7,5	>50	>10	>90	x	>10	<1,5	w	—	—	—	—	—	—	—	<3
	SINT-F	SINT-F60	Volfram-Cu	>99	13...15	—	—	140... 220	—	20...40	—	x	—	—	—	—	—	—	—	—
	SINT-F	SINT-F67	Težka kovina G 17	>99	>17	60...65	—	240... 290	—	5...10	—	x	5...10	—	—	—	—	—	—	—
	SINT-G	SINT-G00	Sintranino železo za kovanje	>97	>7,6	>35	>36	<100	x	<1	>0,3	--	—	—	Ag	—	—	—	—	—
	SINT-G	SINT-G60	Srebro-Ni	>97	9,6...10,2	—	—	—	—	—	—	—	10...40	x	—	—	—	—	—	—
	SINT-G	SINT-G61	Srebro-grafit	>97	6,5...9,5	—	—	—	—	—	1...15	—	—	x	—	—	—	—	—	—
	SINT-H	SINT-H51	Sintranini bron z grafitom	>90	>6,5	> 9	~ 2	>55	—	x	—	—	—	—	—	—	—	11,5... 13,5	—	<0,5
	SINT-H	SINT-H52	Sintranini bron z grafitom	>90	>6,3	>8,5	~ 2	>45	—	x	—	—	—	—	—	—	—	11,5... 13,5	—	7...8,5 <0,5
	SINT-H	SINT-H53	Sintranini bron z grafitom	>90	>7,3	>13	~ 2	>53	—	x	—	—	—	—	—	—	—	11...13	4...6	5...6,5 <0,5

x ... glavni legirni element

4.2. SINT-B

Poroznost 17 do 30 %, gostota 5,8 do 6,8 g/cm³, natezna trdnost 8 do 28 kp/mm², razteznost 2 do 5 %. Zaradi znatnega poroznega volumna, ki ga je možno napolniti z oljem, in ker je materialu mogoče primešati take kovine, ki pri drsenju po drugi kovini ne zajedajo, je to področje prvenstveno namenjeno za ležajne kovine in blazinice drsnih ploskev. Ti deli so lahko samo iz sintranih kovin ali pa narejeni tako, da je na jekleni del ustrezne oblike (iz pločevine) material nasintran. V prvo skupino spadajo vse puše za ležaje brez mazanja, v drugo lamele sklopki in ležajne blazinice drsnih ležajev. V obilici gospodinjskih strojev, kolikor jih je danes v rabi po svetu in v katerih so vgrajeni drski ležaji s samodejnimi mazanjem, teh sicer ne vidimo, lahko pa si predstavljamo, kolikšne količine so zanje potrebne. Enako velja za zgorevalne motorje pri avtomobilih, ki jih ni brez sintranih ležajnih blazinic niti ne brez raznih tornih sklopk s posebnimi lastnostmi, ki jih imajo sintrane lamele.

4.3. SINT-C

Material z relativno srednjo veliko poroznostjo in srednjo gostoto (6,4 do 7,2 g/cm³). Tudi po trdnostnih lastnostih ($\sigma_m = 10$ do 35 kp/cm²) in razteznosti ($\delta = 7$ do 12 %) spada v osrednjo skupino sintranih kovin za strojne dele. Ker je zanj potrebnih malo faz pri izdelavi, spada med cenejše vrste. Glede na povedano izdelujemo iz te skupine materialov strojne dele, ki niso močno obremenjeni, zlasti ne z velikimi sunki in večjimi spremembami obremenitve, torej ne za dinamične obremenitve.

V to skupino spadajo manj obremenjeni zobniki, deli za avtomobilsko industrijo, za šivalne stroje, gospodinjske stroje, pisarniške stroje, pohištveno okovje in deli ključavnic, posebne mešanice z določenimi magnetnimi lastnostmi za elektroindustrijo itd.

4.4. SINT-D

Razlikuje se od SINT-C s tem, da je dvakrat prešan in dvakrat sintran ter seveda tudi gostejši. Gostota 6,9 do 8,0 g/cm³, trdnost $\sigma_m = 25$ do 55 kp/mm² in razteznost $\delta = 7$ do 22 %. Glede na dvakratno prešanje in dvakratno sintranje je SINT-D temu primerno dražji. Področje uporabe je enako kakor za SINT-C le za tiste dele, ki so močno in dinamično obremenjeni.

4.5 SINT-E

Ima enake faze za izdelavo kakor SINT-D, le da je po drugem sintranju izdelek še kovan oziroma kalibriran. Tako dobimo veliko gostoto, trdnost in natančne mere. SINT-E ima podobne lastnosti (ustrezno kemični sestavi) kakor jeklena litina. Uporablja se predvsem za močno obremenjene dele v fini mehaniki in električnih relejih.

4.6. SINT-F

Zaoblsegajo področje sintranih kovin, ki praktično nimajo poroznosti in imajo veliko gostoto. Trdnost in razteznost sta odvisni od kemične sestave. Velika gostota se pri tej skupini kovin dosega z infiltracijo drugega materiala. Osnovni postopek pridobivanja je enak kakor pri SINT-C ali SINT-D, nato pa se v pore infiltrira drug material. To se opravlja tako, da se na površino osnovnega materiala položi toliko infiltracijskega materiala, kolikor ga je mogoče spraviti v pore. Nato se segreje nad talisce infiltracijske kovine, ki jo osnovna kovina po načelu kapilarnega delovanja vsrka (podobno kakor pri lotanju). Kot infiltracijska kovina se zelo dobro obnašajo baker, njegove zlitine in srebro. Po tem postopku izdelani deli so potrebni dodatnega infiltracijskega postopka, hkrati pa je natančnost mer manjša. Zato je potrebno take dele dodatno obdelati mehanično. Z infiltracijo postane površina gladka, tako da jo je mogoče brezhibno galvanizirati. Mehanske lastnosti izdelkov iz SINT-F so podobne onim iz SINT-D. Vse to kaže, naj se SINT-F uporablja samo za izdelke s posebnimi lastnostmi.

V tej skupini so kovine s posebnimi fizikalnimi lastnostmi, kakršnih z navadnim načinom pridobivanja zlitin s taljenjem ni mogoče narediti. Sem spadajo posebne kovine za električne kontakte in posebne težke zlitine za vztrajnike pri urah.

Pri električnih kontaktih za visoke napetosti se pri izklapljanju pojavlja obločni plamen, ki poškoduje površino kontakta. Te poškodbe so manjše pri kontaktih iz posebnih kovin, npr. volframa. Izdelali pa so sintrano kovino na osnovi voltrama in je infiltrirana z bakrom oziroma srebrom. Taka kovina ima zelo dobre prevodnostne lastnosti, hkrati pa je zaradi volframa ali molibdena zelo odporna proti obžigu površine. Izkazalo se je, da so kontakti iz takih sintranih kovin odpornejši in boljši kakor iz čistega volframa. Zaradi opisanih lastnosti se te kovine uporabljajo tudi za elektrode aparativ in elektroerozivnih strojev.

Za majhne vztrajnike pri urah in podobnih instrumentih so primerne kovine s čim večjo maso. Taka kovina je nedvomno volfram z gostoto 19,3 g/cm³. Toda izdelovati dele iz čistega volframa je neracionalno. Mnogo ceneje je take dele izdelovati s sintranjem, nato pa v sintrane dele kot vezivo infiltrirati nikelj ali baker, kar povečuje elastičnost materiala. Gostota tako dobljenega materiala znaša 17 do 18 g/cm³.

4.7. SINT-G

Ta tip kovine je praktično brez poroznosti. Izdelujejo ga tako, da dele po prvem sintranju vroče kujejo. Material ima domala take lastnosti, kakršne imajo s taljenjem pridobljene kovine. Toda, podobno kakor pri SINT-F je tudi pri SINT-G mogoče izdelati kovine s posebnimi lastnostmi, če

dodamo mešanici prahu ustrezone legirne sestavine. Tako je npr. mogoče primešati nekovinske okside, ki se pri sintranju razpršijo v kovini. Ta postopek je za pridobivanje nekaterih kovin s posebnimi fizikalnimi lastnostmi racionalnejši od načina pridobivanja s taljenjem.

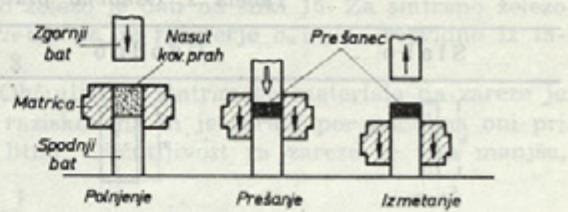
4.8. SINT-H

V to skupino so uvrščeni materiali, ki so namenjeni za drsne ležaje. Vsebujejo večjo količino trdnih mazalnih snovi, s katerimi dobijo posebne tekalne lastnosti. Taki ležaji so sposobni za tek pri višjih temperaturah.

Primeri za vse vrste sintranih kovin so zajeti v tabeli 1.

5. Konstruiranje sintranih predmetov

Postopek prešanja sintranih delov ponazarja slika 11, iz katere je razvidno, da se matrica premika relativno nasproti spodnjemu in zgornjemu batu. V prvi fazi se matrica napolni s prahom. Nato se prah preša tako, da matrica in zgornji bat potuje navzdol z različnima hitrostma, po prešanju pa potuje matrica še nadalje navzdol, zgornji bat pa se umakne navzgor in sprosti prešanec, da ga lahko odvzamemo. Iz tega se vidi, da prešanec in s tem sintran predmet ne more imeti nobenega previsnega roba, enako kakor niso možne pravokotne na smer



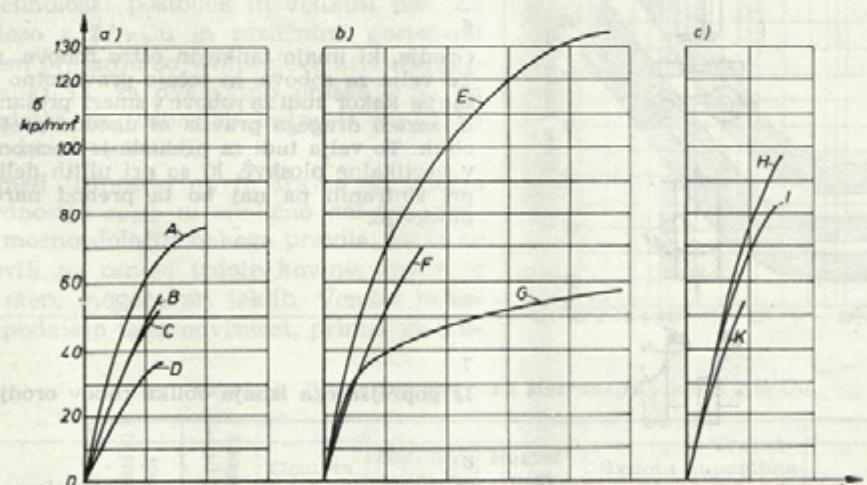
Slika 11

gibanja deli s prečno izvrtino. Ostala osnovna pravila za oblikovanje sintranih delov so zbrana v tabeli 2.

V rabi so še posebni deli iz sintranih kovin, med katere spadajo npr. ležajne puše, drsni elementi, deli za električne kontakte itd. V teh primerih veljajo še dodatna pravila za konstruiranje, ki pa ne sodijo več v obravnavano temo.

6. Dimenzioniranje delov iz sintranih kovin glede na trdnost

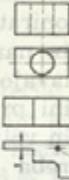
Strojne dele je potrebno dimenzionirati tako, da se pri obremenitvi ne zlomijo. V ta namen so izdelani trdnostni izračuni, ki obravnavajo napetosti in deformacije, pri čemer v večini primerov predpostavlja homogenost materiala in veljavnost Hookovega zakona. Prav tako je treba za dimenzioniranje strojnih delov poznati zdržljivost



Krivulja	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K
Sestava materiala	8Cu 0,75C	5Cu 0,75C	5Cu 0,75C	5Cu 0,75C	7Ni 0,6C	6Ni 0,7C	4Ni 0,7C	1,8Ni 0,3Mo	1,8Ni 0,3Mo	1,8Ni 0,3Mo
Ostanek	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe
Gostota	7,4	6,4	6,4	5,7	7,4	6,6	6,9	7,3	7,2	6,8
Obdelava	infilt.	topl. abd.	topl. abd.	topl. abd.						
Meja proporc.	207	200	200	140	35,5	260	18,9	45,2	33,3	31,0
Modul elast.	E = 18400	12100	12100	8200	17300	11450	15250	15050	14500	12380
Meja plast.	σ_{pl} = 54,4	48,0	43,5	30,5	74,8	57,9	32,1	89,3	75,6	—
Trdnost	σ_m = 75,0	51,8	47,5	33,5	130,0	66,8	55,8	91,3	76,6	48,5
Raztegnost	δ = 0,6	0,2	0,2	0,2	2,3	1,8	2,0	0,13	0,12	0,03
										%

Slika 12

Tabela 2. Osnovna pravila za oblikovanje sintranih delov

Slabo	Ugodno	Pojasnilo
		<p>1 Pri velikih višinah prešanca je gostota vzdolž višine različna. Da dobimo enakomerno strukturo, naj bo $H/D = 2,5$ do 3.</p>
		<p>2 Ce se spodnji in zgornji bat pri prešanju dotikata, je nadaljnje prešanje onemogočeno. Zato mora biti med zgornjim in spodnjim batom razdalja vsaj 0,3 mm.</p>
		<p>3 To je razlog (pravilo 2), da dell v ravnini prešanja ne morejo biti zaokroženi, temveč je ugodnejše, če so robovi posneti z ravnnimi ploskvami.</p>
		<p>4 Če so v smeri prešanja velike razlike debelin, tedaj nastajajo na tankih površinah zaradi intenzivnejšega stiskanja večje obremenitve orodja in zato možnosti za poškodbe. Zato naj bo minimalna debelina prešanca (pri različnih debelinah) vsaj 1 mm.</p>
		<p>5 Pri različnih debelinah sten je prešanje neenakomerno, pri manjših debelinah pa je tisti del orodja, ki pripada k manjši debelini, bolj obremenjen, tako da je nevarno, da se zlomi. Zato naj bo minimalna debelina sten pravokotno na smer prešanja $s \leq 2$ mm. Enako velja za luknje v smeri prešanja $d \geq 2$ mm.</p>
		<p>6 Orodja, ki imajo tanke in ostre robove, niso obstojna. To velja za robove, ki tečejo pravokotno na smer prešanja, kakor tudi za robove v smeri prešanja. Zategadelj in zaradi drugega pravila ni ugodno prešati kroglastih oblik. To velja tudi za prehode iz horizontalnih ravnin v vertikalne ploskve, ki so pri ulitih delih zaokroženi, pri sintranih pa naj bo ta prehod narejen z ravno ploskvijo.</p>
		<p>7 Za podprtje in ustrezno narevanje in podprtja in iz poprejnjega izhaja oblika robov orodja (batov).</p>
		<p>8 Tudi zobnike lahko delamo s sintranjem. Upoštevati je treba: modul $m \geq 0,4$ zaradi iztiskavanja; širina $b \leq 40 \dots 45$ mm (pri večjih zobjnikih), sicer pa naj velja prvo pravilo; dosegljiva kvaliteta brez brušenja IT 7, venec zaradi majhne razteznosti sintrana materiala in velike obremenitve ne sme biti pretanek.</p>
		<p>9 Površina je lahko narebrena samo z robovi v smeri prešanja. Križno narebrenje ni možno. Prednost imajo nizka in odprta rebra.</p>
		<p>10 Zaradi enostavnnejšega orodja imajo v smeri prešanja prednost okrogle luknje.</p>

materiala, iz katerega so narejeni. Pri sintranih materialih je treba torej misliti na dva problema, in sicer na veljavnost splošnih trdnostnih enačb za dimenzioniranje ter poznavanje podatkov o trdnosti materiala.

O veljavnosti trdnostnih enačb lahko rečemo, da veljajo tem bolj, kolikor homogenejši je material, tako da jih za sintrane materiale z večjo gostoto prav gotovo smemo uporabljati. Podatkov o tovrstnih raziskavah ni na vpogled.

Nekoliko več podatkov je dosegljivih o trdnostnih lastnostih nekaterih sintranih materialov. Med osnovne podatke trdnostnih lastnosti spada diagram $\sigma - \varepsilon$, ki se da za sintrane materiale izmeriti. Podoba diagrama $\sigma - \varepsilon$ za nekatere sintrane materiale kaže slika 12.

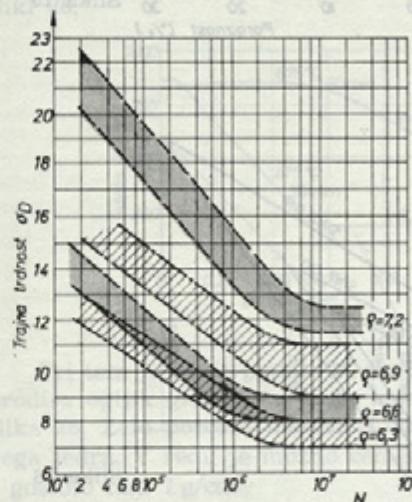
V večini primerov diagram $\sigma - \varepsilon$ nima izrazite meje plastičnosti ter je po videzu podoben onemu za sivo litino. Na trdnostne lastnosti sintranih kovin bistveno vplivata razen kemične sestave tehnološki postopek (prešanje, čas sintranja, drugo prešanje, infiltriranje itd.) ter granulacija prahu. Od tega je odvisna velikost por, ki vplivajo na trdnostne lastnosti.

Kakor pri ostalih materialih je tudi pri sintranih kovinah njihova trdnost odvisna od načina obremenitve. Tako imajo tudi sintrane kovine izrazito Wöhlerjevo krivuljo s časovno in trajno trdnostjo. Na potek Wöhlerjeve krivulje razen kemične sestave bistveno vplivajo dosežena gostota materiala, tehnološki postopek in velikost por. Za sintrano železo z 2% Cu in različnimi gostotami pri enkratnem prešanju so Wöhlerjeve krivulje prikazane na sliki 13, za dvakratno prešanje pa na sliki 14. Podatki za trdnostne lastnosti za enake kovine so podani v tabeli 3.

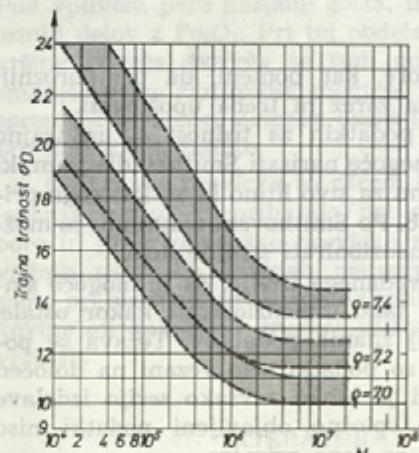
Zveza med trdnostjo σ_m in trajno izmenično upogibno trdnostjo σ_{WD} ni enolično določena kakor tudi ni možno določiti nekega pravila, da bi to zvezo ugotovili na osnovi trdote kovine, kakor je to do neke mere mogoče pri jeklih. Vendar nekateri avtorji podajajo tako odvisnost, primer za sin-

trano železo je dan na sliki 15. Za sintrano železo z 2% Cu pa je razmerje σ_{WD}/σ_m razvidno iz tabele 3.

Občutljivost sintranega materiala na zareze je bila raziskovana in je zaradi por podobna oni pri sivi litini. Občutljivost za zareze je tem manjša,



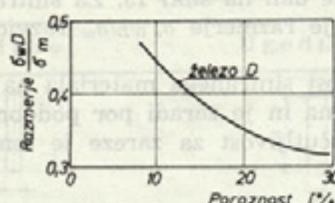
Slika 13



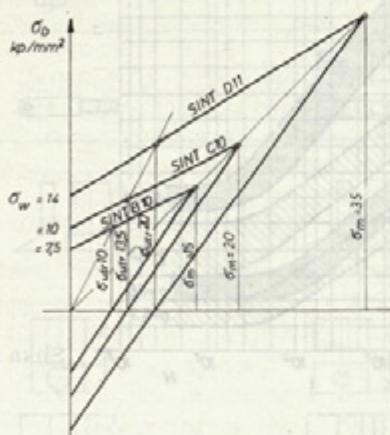
Slika 14

Tabela 3. Trdnostne lastnosti sintranega jekla z 2% Cu

Tehnološki postopek	Serijski preizkušancev	Gostota ρ g/cm³	Natezna trdnost σ_m kp/mm²	Raztegnost δ %	Trdota HB kp/mm²	Trajna upogibna trdnost σ_{WD} kp/mm²	σ_m
enkrat prešano	A	6,37	19,16	2,9	57	7,5	0,383
	B	6,65	23,7	3,2	69	8,5	0,359
	C	6,95	29,3	5,1	78	10,0	0,341
	D	7,22	34,0	6,4	93	12,0	0,353
dvakrat prešano	E	6,97	34,9	6,0	80	10,5	0,344
	F	7,11	37,3	7,1	90	12,0	0,377
	G	7,36	39,1	10,7	97	14,0	0,411



Slika 15



Slika 16

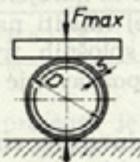
čim večje so pore, kar pomeni, da pri poroznih materialih vpliva zarez ni treba upoštevati.

Pri znanih podatkih za trdnost σ_m in trajno trdnost σ_{WD} je mogoče narisati Smithov diagram, ki je podoben onemu za sivo litino in za katerega primer kaže slika 16. Po Smithovem diagramu je možno računsko dimenzionirati strojne dele.

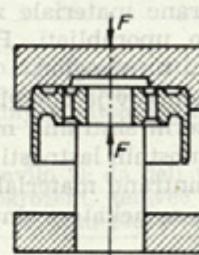
Iz doslej povedanega izhaja, da je mogoče sintrane dele prav tako dimenzionirati kakor ostale, če imamo dovolj znanih podatkov. Težava se pojavlja tedaj, če so podatki zelo vezani na določen tip materiala, ki je lahko z vsako serijo izdelave drugačen. Tako splošno objavljeni podatki niso vedno zanesljivi za dane primere.

Drug način določanja vzdržljivosti strojnih delov je preizkus pri obratovalni (ali večji) obremenitvi. Glede na to, da se po postopku sintranja vedno izdelujejo samo velike serije enakih kosov, je ugotavljanje vzdržljivosti sintranih delov s preizkušanjem več kakor upravičeno. Glede na veliko enakomernost kvalitete pri kosih iz iste serije lahko z veliko gotovostjo računamo z zanesljivostjo rezultata, ki ga dobimo s preizkusom. Zato se tudi pri dimenzioniranju sintranih delov čedalje bolj uveljavlja trdnostni preizkus. Tak preizkus lahko velja tudi kot kriterij pri prevzemanju izdelkov.

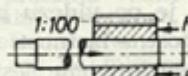
Nekaj primerov trdnostnih preizkusov ponazarjajo slike 17 do 20. Slika 17 kaže kriterij, ki mora biti izpolnjen pri pušah drsnih ležajev. Slika 18 prikazuje vzdržljivost bata neke tlačne naprave. Slika 19



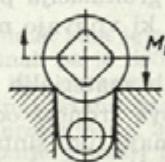
Slika 17
Sila F_{max} je predpisana



Slika 18



Slika 19



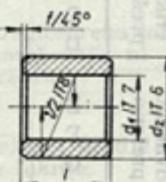
Slika 20

podaja elastičnost zobjnika (venca). Zobjnik potiskajo prek koničnega trna z določenim nagibom, pri čemer ne sme počiti. Tako kontroliramo elastičnost. Slika 20 kaže kontrolo vzdržljivosti ročice pri obremenitvi z momentom M_t .

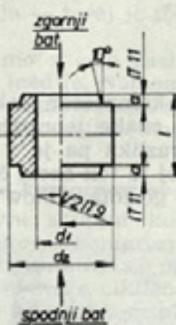
7. Dosegljive tolerance pri delih iz sintranih kovin

Razlikujemo tolerance mer, ki so pravokotne na smer prešanja, od toleranc mer, ki so v smeri prešanja. Prve so odvisne samo od natančnosti orodja in so lahko natančnejše, medtem ko so mere v smeri prešanja odvisne od nasutja in sile prešanja, tako da slednje potrebujejo večje tolerance. Minimalni tolerančni razred prečnih mer naj bo IT 7, vzdolžnih (v smeri prešanja) pa IT 12.

Minimalni odstopki ostalih mer so razvidni iz primerov na slikah 21 do 25. Slika 21 prikazuje minimalno ekscentričnost okrogle luknje nasproti valjastemu plašču, slika 22 minimalno ekscentričnost okrogle luknje nasproti stopničastemu plašču, slika 23 minimalno možni odstopek paralelnosti, slika 24 pa minimalno paralelnost dveh osi izvrtil in slika 25 minimalno ekscentričnost neokroglih luknenj.

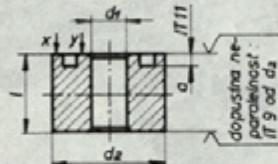


Slika 21

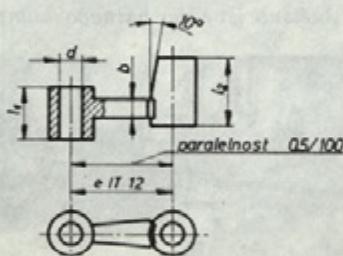


Slika 22

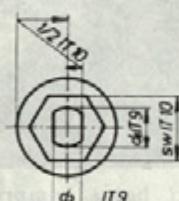
Razlika višin xy v območju IT 8 od d₂



Slika 23



Slika 24

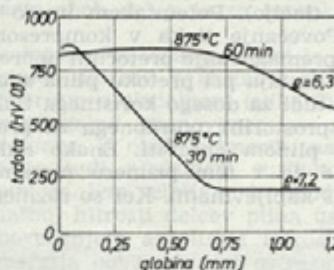


Slika 25

8. Možnosti za termično in površinsko obdelavo sintranih delov

Termična obdelava jeklenih delov je odvisna od količine ogljika, kar velja tudi za sintrane dele. Glede na količino ogljika jih je mogoče kalit, poboljšati, cementirati itd. Vendar je pri tem pomembno dvoje: pri termični obdelavi se spreminja mre in s tem kvalitetni razred izdelka, tako da je v nekaterih primerih po termični obdelavi potrebna še dodatna mehanična obdelava, kar se-

veda bistveno podraži postopek. Razen tega pa za termično obdelavo sintranih delov niso primerne solne kopeli. Raztaljene soli prodirajo v pore, iz katerih jih po obdelavi ni možno odstraniti ter največkrat povečajo korozionsko delovanje. Potek trdote površine cementiranega sintrana dela je viden na sliki 26.



Slika 26

Pri tem je treba poudariti, da pri cementiraju prodira ogljik globoko v pore, kar prav tako kaže slika 26. Zelo porozni materiali ostajajo brez žilavega jedra. V redu je možno cementirati materiale z gostoto nad 7 g/cm^3 .

Omembne vredne je površinska obdelava s pregreto paro pri okrog 500°C , ki traja eno do dve uri. Pod vplivom pare nastane gosta, trda prevleka železnih delov z Fe_3O_4 . Pri tej obdelavi se trdota površine poveča, poveča se tudi gostota materiala, zmanjša pa se razteznost, medtem ko se trdnost ne spremeni bistveno. Zelezov oksid (Fe_3O_4) tvori dobro korozionsko zaščito.

Galvanske prevleke so zaradi korozionskega delovanja kislin, ki prihajajo pri galvaniziraju v pore in jih z galvansko prevleko zapremo, pri navadnih sintranih kovinah neuporabne. Možne so samo pri kovinah, pri katerih z infiltriranjem druge kovine ali kakorkoli drugače zapremo pore na površinah.

LITERATURA

- [1] Dr. Zapf: Über die Dauerfestigkeit der Sinterwerkstoffe, Industriezeiger 88 (1966), Nr. 47, 61, 67.
- [2] S. W. McGee, E. R. Anderotti: "SINTRED METALS IN ENGINEERING DESIGN". International Journal of Powder Metallurgy 2 (1) 1966.
- [3] Fachverband Pulvermetallurgie, Schwelm 1968. Maschinenelemente aus gesinterten Metallen.
- [4] Fachverband Pulvermetallurgie, Schwelm 1971. Sinterenteile, ihre Eigenschaften und Anwendung.
- [5] K. H. Sieker, K. Rabe: Fertigungs- und stoffgerechte Gestalten in der Feinwerktechnik.
- [6] Powder Metallurgy Parts Association, PMPA BULLETIN.
- [7] Seminar o sintranih kovinah 1969, Metalurški inštitut v Ljubljani.

Avtorjev naslov:

prof. dr. ing. Jože Hlebanja,
Fakulteta za strojništvo
Univerze v Ljubljani