

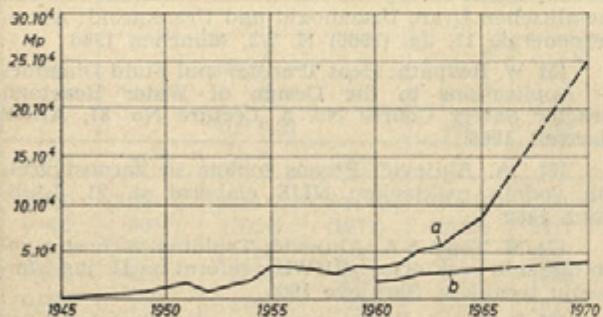
DK 669:621

Sintrana gradiva in njihova uporabnost v strojništvu

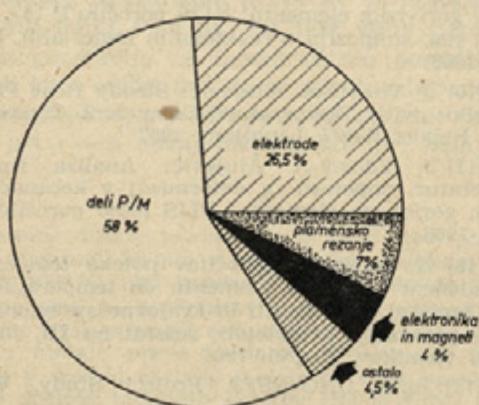
STANE JURCA

Metalurgija prahu je razen ulivanja gotovo najstarejša metalurška veščina. Naši predniki, ki še niso poznali načel rekuperativnega in regenerativnega kurjenja, so namreč s primitivnimi pečmi lahko dosegali le razmeroma nizke temperature, to je temperature, pri kakršnih je redukcija železovih rud dala človeštvu najpomembnejšo kovino v obliki gobe oz. v obliki lup. S kovanjem gob ali predelavo prahu, ki so ga dobivali s piljenjem lup, so stari kovači znali izdelovati mojstrovine, kakršne občudujemo še danes. Znameniti Delhijski steber, ki tehta 6,5 tone, je nedvomno največji spomenik te tehnike; še bolj pa je znana skoraj pravljica kvaliteta damaščanskega jekla. Zaradi majhne produktivnosti tega načina dela so ga drugačni postopki sčasoma potisnili v ozadje, tako da se je pričel moderni razvoj metalurgije prahu šele nekako v začetku našega stoletja. Morda bi lahko vzeli za mejnik Löwendahlovo zamisel oziroma predlog iz leta 1908, da bi izdelovali porozne ležaje, vendar bi bil ta datum gotovo popolnoma arbitralen. Nesporo pa je doživel metalurgija prahu prvi industrijski vzpon med drugo svetovno vojno, ko so Nemci zaradi pomanjkanja bakra izdelovali vodilne obroče topovskih granat iz sintralnega železa, prepojenega s parafinom, in pa, ko so po vojni prevzeli primat v tej panogi Združene države Amerike, kjer je dozorela metalurgija prahu v novo, tehnično in ekonomsko zelo pomembno tehnologijo.

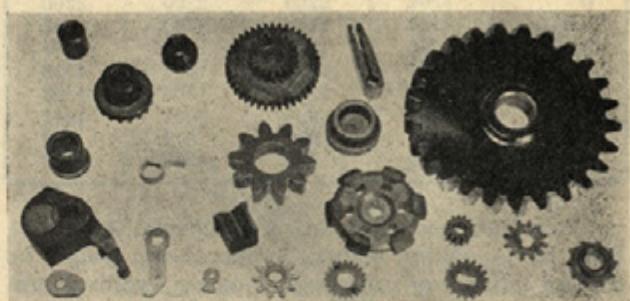
Ta razvoj najbolje ponazarjajo podatki ameriškega strokovnega združenja MPIF — Metal Powder Industry.



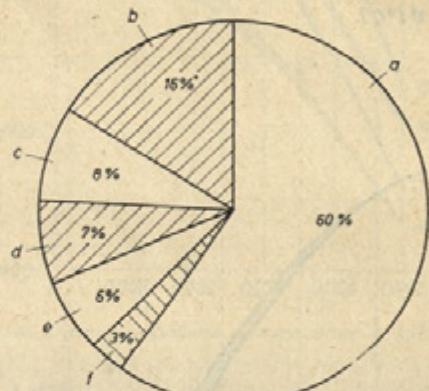
Slika 1. Poraba železovega in bakrovega prahu v ZDA od 1945. do 1970. leta. Po podatkih MPIF
a — železo, b — baker



Slika 2. Poraba železovega prahu v posameznih delovnih področjih. Po podatkih MPIF



Slika 3. Strojni in konstrukcijski deli M/P



Slika 4. Poraba strojnih in konstrukcijskih delov P/M v posameznih industrijskih vejah. (Po American Machinist, October 24, 1966)

a — avtomobilска industrija, d — orodja, fotoaparati,
b — gospodinjski stroji, e — računski stroji,
c — kmetijska oprema, f — ostalo.

stries Federation — o porabi železovega in bakrovega prahu, ki jih navajamo na sliki 1 [1].

V letu 1967 so torej Amerikanci porabili kakih 100.000 ton železovega prahu, kar ustreza nekako 0,1 % njihove železarske proizvodnje. Slika 2, ki se opira na nekoliko starejše podatke [2], pa pove, da je šlo skoraj 80 % tega prahu v različne strojne in konstrukcijske dele, medtem ko so preostalo količino porabili predvsem za izdelavo elektrod in plamensko rezanje.

Pri strojnih in konstrukcijskih delih P/M*, kakršne prikazuje slika 3, gre pretežno na drobne izdelke, katerih mase navadno ne presegajo nekaj sto gramov. Poglavita prednost pred klasičnimi izdelki je njihova nizka cena, saj zagotavlja, da so izdelki iz prahu navadno za 30 do 50 % cenejši in celo prihranki do 90 % niso ravno redki. Pretežno večino teh izdelkov porablja avtomobilска industrija, saj vsebuje na primer vsak Chryslerjev avtomobil do 100 sintralnih izdelkov, vendar — takor je razvidno s slike 4 — sestavljajo tudi drugi potrošniki pomembno tržišče [3].

Na tako zahtevenem in konkurenčnem tržišču, kakršno je v ZDA, ni mogoče improvizirati. Tehnologija prahu je zato lahko prodrla ne samo zaradi znane ekonomske prednosti v primerjavi s strojno izdelavo, ampak tudi zaradi zaupanja v kakoviteto izdelkov in materialov P/M. Konstrukterjem je zdaj na voljo že kakih 30 kvalitet železnih oziroma jeklenih sintralnih

* Označba P/M pomeni izdelek ali gradivo iz prahu.

gradiv, okoli 20 vrst nerjavnega jekla in nad 30 barvnih kovin oziroma zlitin.

Taka pestrost zahteva neko urejenost in — podobno kakor so izdelali standarde za lite kovine — obstajajo tudi standardi za sintrane izdelke. Teh standardov je več: Nemci iz Nemške demokratične republike, na primer, imajo svoje normative; v Zvezni republiki Nemčiji pa je Fachverband Pulvermetallurgie Schwelm/Westf., izdal »Werkstoffleistungsblätter für Sinterwerkstoffe«. Brez ugovora pa so ameriške norme MPIF oziroma ustrezni standardi ASTM najbolj spopoljeni in tudi najpogosteje v rabi.

Po standardu MPIF 35-61 označujemo sintrane kovine s kombinacijo črk in številk po naslednjem ključu:

— najprej navedemo črkovno označbo materiala po tabeli 1,

Tabela 1 — Črkovna označba gradiv P/M

Črkovna označba	Material	Sestavine
BT	bron	Cu, Sn
BT	svinčev bron	Cu, Sn, Pb
BZ	med	Cu, Zn
BZ	svinčeva med	Cu, Zn, Pb
F	železo	Fe, Fe+C
FC	železo leg.	Fe, Cu
FN	železo leg.	Fe, Ni
FX	železo infiltrirano	Fe, Cu
SS*	nerjavno jeklo	

Opomba: — Broni lahko vsebujejo do 1,75 % trdnega maziva, npr. grafita

Tabela 2 — Sestavna označba gradiv P/M

Črkovna označba	Sestava	Sestavna označba
BT	Cu 90 — Sn 10	BT — 0010
BT	Cu 87-Sn 10-Pb 3	BT — 0310
BZ	Cu 80-Zn 18-Pb 2	BZ — 0218
F	Fe	F — 0000
F	Fe — C 0,5	F — 0005
F	Fe — C 1,0	F — 0010
FC	Fe — Cu 3	FC — 0300
FN	Fe — Ni 2	FN — 0200
FX	Fe — Cu 15/20	FX — 2000
SS*	AISI 303 L	SS — 303
SS*	AISI 316 L	SS — 316
SS*	AISI 410	SS — 410

* Te označbe so dodali pozneje

Tabela 3 — Označba gostote gradiv P/M

K	rezerva
L	rezerva
M	rezerva
N	...6,0 g/cm ³
P	6,0...6,4 g/cm ³
R	6,4...6,8 g/cm ³
S	6,8...7,2 g/cm ³
T	7,2...7,6 g/cm ³
U	7,6...8,0 g/cm ³
W	8,0... g/cm ³
X	rezerva
Y	rezerva
Z	rezerva

Tabela 4 — Mehanske lastnosti železnih oziroma jeklenih gradiv P/M*
(Trdnost σ_m , meja plastičnosti σ_y , razteznost δ in trdota)

Material	Označba PMPA	Gostota g/cm ³	Stanje	σ_m kp/cm ²	σ_y kp/cm ²	δ %	Trdota
99 Fe min	F-0000-N	5,7...6,1	sintrano	13	10	5	20 HR _B
99 Fe min	F-0000-S	7,0	sintrano	25	18	11	10 HR _B
99 Fe min	F-0000-T	7,3	sintrano	28	18	12	20 HR _B
99 Fe min	F-0000-U	7,5	sintrano	29	19	30	22 HR _B
99 Fe-1C	F-0010-P	6,1...6,5	sintrano	24	19	1,0	50 HR _B
99 Fe-1C	F-0010-P	6,1...6,5	toplotno obdelano	33		0,5	90 HR _B
99 Fe-1C	F-0010-S	7,0	sintrano	42		3,0	
99 Fe-1C	F-0010-S	7,0	toplotno obdelano	45		0,5	100 HR _B
99 Fe-1C	F-0010-T	7,3	sintrano	48		3,0	
99 Fe-1C	F-0010-T	7,3	toplotno obdelano	89		2,5	105 HR _B
Fe-1,5Ni-0,5Mo-0,6C	FN-0206-S	6,8	sintrano	49	41	2,5	80 HR _B
Fe-1,5Ni-0,5Mo-0,6C	FN-0206-S	6,8	toplotno obdelano	63	56	0,5	25 HR _C
Fe-1,5Ni-0,5Mo-0,6C	FN-0206-T	7,2	sintrano	63	50	2,5	95 HR _B
Fe-1,5Ni-0,5Mo-0,6C	FN-0206-T	7,2	toplotno obdelano	98	84	0,5	35 HR _C
90Fe-10Cu	FC-1000-N	5,8...6,2	sintrano	21	18	0,5	
90Fe-10Cu	FC-1000-N	5,8...6,2	toplotno obdelano	38		1,0	30 HR _C
92Fe-7Cu-1C	FC-0710-N	5,8...6,2	sintrano	35	28	0,5	70 HR _B
92Fe-7Cu-1C	FC-0710-N	5,8...6,2	toplotno obdelano	60		1,5	30 HR _C
92Fe-7Cu-1C	FC-0710-S	6,8	sintrano	58	44	1,0	73 HR _B
92Fe-7Cu-1C	FC-0710-S	6,8	toplotno obdelano	77		1,5	40 HR _C
Fe-7Ni-2Cu-1C	FN-0710-S	6,8	sintrano	49	35	2,5	70 HR _B
Fe-7Ni-2Cu-1C	FN-0710-S	6,8	toplotno obdelano	95		1,5	42 HR _C
Fe-7Ni-2Cu-1C	FN-0710-T	7,2	sintrano	84	51	3,5	85 HR _B
Fe-7Ni-2Cu-1C	FN-0710-T	7,2	toplotno obdelano	110		2,0	44 HR _C
80Fe-20Cu	FX-2000-T	7,1 min.	sintrano	49		1,0	75 HR _B
80Fe-20Cu	FX-2000-T	7,1 min.	toplotno obdelano	90		0,5	35 HR _C
79Fe-20Cu-1C	FX-2010-T	7,1 min.	sintrano	77	63	1,0	95 HR _B
79Fe-20Cu-1C	FX-2010-T	7,1 min.	toplotno obdelano	106		1,0	40 HR _C

Tabela 5 — Mehanske lastnosti sintranega nerjavnega jekla
(Trdnost σ_m , meja plastičnosti σ_y , razteznost δ in trdota)

Material	Označba PMMA	Gostota g/cm ³	Stanje	σ_m kp/mm ²	σ_y kp/mm ²	δ %	Trdota
302		6,2...6,5		24...35		2...5	40...60 HR _B
303 L	SS-303 L-P	6,0	sintrano	24	22	2,0	
303 L	SS-303 L-R	6,6	sintrano	36	33	7,0	55 HR _B
304 L		6,0...6,4		24		1,5	
316		6,2...6,6		38		2,0	
316 L	SS-316 L-P	6,2	sintrano	35		4,0	42 HR _B
316 L	SS-316 L-R	6,6	sintrano	42		10	60 HR _B
330		6,2...6,6		21...35		2,4	60...80 HR _B
410	SS-410-N	5,9	sintrano	30	29	1	85 HR _B
410	SS-410-N	5,9	toplotno obdelano	60			15 HR _C
410	SS-410-R	6,4	sintrano	39	38	1	95 HR _B
410	SS-410-R	6,4	toplotno obdelano	77			29 HR _C
410		6,6		46		1	
410		6,6	toplotno obdelano	70			30...45 HR _C
410 L		6,2	sintrano	46		3,5	90 HR _B
410 L		6,2	toplotno obdelano	49		0,8	30 HR _C
410 L		6,8	toplotno obdelano	70		0,8	30 HR _C
430		6,2...6,6		53		1,5	

za njo so uvrščene štiri številke, ki označujejo kemično sestavo. Prvi dve številki pomenita vsebino zlitinskega elementa, ki je navzoč v manjši količini; zadnji dve številki pa vsebino glavnega zlitinskega elementa, če gre za barvne kovine oziroma vsebino ogljika pri železu ali jeklu.

Vsebine ogljika do vključno 0,25 % ne podajamo. Ustrezne označbe so navedene v tabeli 2.

in na koncu označimo s črko po tabeli 3 prečno gostoto izdelka.

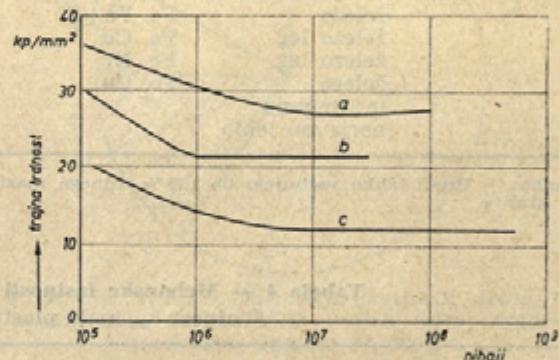
Označba BT-0010-R pomeni torej sintrani bron, ki vsebuje 10 % kositra in nima drugih namerno dodanih snovi, katerega gostota je 6,4 do manj kakor 6,8 g/cm³. Lahko pa vsebuje tudi bron do 1,75 % grafita.

Podatki za sintrana gradiva, ki so konstrukterjem že na uporabo, so zbrani v tabelah 4, 5 in 6.

Strižna trdnost sintranih izdelkov dosega 60 do 75 % natezne trdnosti. Zilavost gradij P/M je majhna, saj je ustrezna vrednost za sintrano železo le 0,3 do 1,9 kpm. Večje vrednosti dosegamo samo pri jeklih, ki vsebujejo nikelj. Vrednost elastičnega modula za železo oz. jeklo P/M je od 8400 do 17500 kp/mm². Če gre za dinamične obremenitve, so zanimivi predvsem podatki o trajni trdnosti. Železo in jeklo P/M imajo navadno izrazito mejo v območju 10^6 do 10^7 nihajev. Vrednosti trajne trdnosti pa so seveda različne, odvisno pač od materiala in njegove gostote. Nekaj primerov je zbranih v tabeli 7 in na sliki 5 [4].

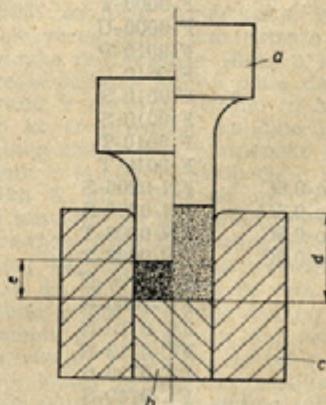
Izdelava sintranih predmetov je v bistvu preprosta in obsega pravzaprav samo tri delovne operacije, to je, pripravo prahu, stiskanje in sintranje. Pri pripravi prahu gre za pripravo mešanice prahu z legirimi dodatki ter z dodatkom cinkovega oziroma litijevega stearata, ki rabi kot mazivo pri stiskanju. Ta mešanica mora imeti potrebno stisljivost in določeno stiskalno razmerje ter lastnosti, da dobro zapolnjuje vse votline stiskalnega orodja oziroma — natančneje — matrice. Mešanico nasujemo v matrico in jo stisnemo. Vrednosti tlakov, ki jih uporabljamo pri tem, so za nekatera gradiva in izdelke podane v tabeli 8.

Definicijo stiskalnega razmerja, to je razmerja višina nasutega prahu in stisnjence, pojasnjuje slika 6. Vrednost tega razmerja se v praksi navadno giblje med 2,2 do 2,7 in je pomembna zategadelj, ker določa največjo višino izdelka, ki ga lahko stisnemo v določenem orodju oziroma stiskalnici. Pri stiskanju nastaja trenje med prahom in stenami matrice, zaradi česar se z oddaljenostjo od bata manjša stiskalna sila. Posledica trenja je, da lahko uspešno stiskamo samo predmete,



Sl. 5. Trajne trdnosti železa oz. jekla P/M. (Po Materials Engineering, July, 1967)

a — jeklo s 4 % Ni (7 g/cm³, natezna trdnost 73 kp/mm²),
b — jeklo z 2 % Cu (7,1 g/cm³, natezna trdnost 62 kp/mm²),
c — elektrolitično železo (7,4 g/cm³, natezna trdnost 25 kp/mm²)



Sl. 6. Stiskalno razmerje pri stiskanju prahu $R = d/c$
a — zgornji bat, b — spodnji bat, c — matrica, d — nasuti prah, e — stisnjenc

pri kakršnih je razmerja med premerom in višino enako največ 1:3, navadno samo do 1:1 ter samo v posebnih primerih 1:5 in več. Gostota stisnjence mora biti namreč kar najbolj enakomerna; to pa pomeni, da je treba prah vedno stiskati z obeh strani, razen če

Tabela 6 — Mehanske lastnosti barvnih kovin in zlitin P/M
(Trdnost σ_m , meja plastičnosti σ_r , razteznost δ in trdota)

Material	Označba PMPA	Gostota g/cm ³	Stanje	σ_m kp/mm ²	σ_r kp/mm ²	δ %	Trdota
<i>Aluminijeve zlitine</i>							
90,5Al-5Sn-4Cu		2,2...2,3		13		1,5	
88Al-5Sn-4Pb-3Cu		2,2...2,3		10		1,0	
<i>Baker</i>							
baker		7,2...8,4		13...17		10...15	
baker	B-0000-U	8,0	sintrano	18	10	8	50 HR _F
baker	B-0000-W	8,5	sintrano	21	10	29	70 HR _F
baker		8,6	kovano	24		18	70 HR _F
<i>Medi</i>							
90Cu-10Zn		7,6		16		7	
90Cu-10Zn-0,5Pb		7,9	sintrano	23		29	69 HR _H
90Cu-10Zn-0,5Pb		8,2	kovano	29		7	96 HR _H
90Cu-10Zn-0,5Pb		8,2	kov. sintrano	27		43	78 HR _H
78,5Cu-20Zn-1,5Pb	BZ-0218-T	7,2 min.	sintrano	14	10	10	37 HR _F
78,5Cu-20Zn-1,5Pb	BZ-0218-U	7,7 min.	sintrano	16	13	12	42 HR _F
78,5Cu-20Zn-1,5Pb	BZ-0218-W	8,0 min.	sintrano	21	20	21	50 HR _F
78,5Cu-20Zn-1,5Pb		7,8	sintrano	20		15	74 HR _H
78,5Cu-20Zn-1,5Pb		8,1	kovano	29		3	97 HR _H
78,5Cu-20Zn-1,5Pb		8,1	kov. sintrano	24		20	82 HR _H
70Cu-30Zn		7,5	sintrano	19		8	81 HR _H
<i>Broni</i>							
90Cu-10Sn	BT-0010-N	5,8...6,2	sintrano	6	5	1	11 HR _B
90Cu-10Sn	BT-0010-R	6,4...6,8	sintrano	10	8	1	30 HR _F
90Cu-10Sn	BT-0010-S	6,8...7,2	sintrano	14	14	2...3	43 HR _F
90Cu-10Sn	BT-0010-W	8,0	sintrano	32	21	11...15	80 HR _F
77Cu-15Pb-7Sn-1Fe-1C		6,8...7,2		6		1	
<i>Zlitine baker-nikelj</i>							
90Cu-10Ni	BN-0010-S	6,8	sintrano	6	6	3	22 HR _H
90Cu-10Ni	BN-0010-W	8,0	sintrano	32	11	11	80 HR _F
73Cu-25Ni-0,5Fe-0,3C		7,8 min.		21		10	
64Cu-18Ni-18Zn		7,2	sintrano	18	11	15	65 HR _F
64Cu-18Ni-18Zn		7,7		23		10	
64Cu-18Ni-18Zn		7,9	sintrano	29	18	14	90 HR _F
64Cu-18Ni-18Zn		8,3	sintrano	32	21	30	32 HR _B
64Cu-18Ni-16,5Zn-1,5Pb		7,6	sintrano	19		8	76 HR _H
62Cu-18Ni-18Zn-2Sn		7,3	sintrano	19		7	74 HR _H
64Cu-18Ni-16,5Zn-1,5Pb		8,0	kov. žarjeno	24		15	80 HR _H
62Cu-18Ni-18Zn-2Sn		7,9	sintrano	24		15	84 HR _H
<i>Nikelj in nikljeve zlitine</i>							
nikelj	N-0000-W	8,6	sintrano	51		34	45 HR _B
67Ni-30Cu-3Fe	BN-0330-T	7,0...7,4	sintrano	21	13	8	34 HR _B
67Ni-30Cu-3Fe	BN-0330-W	8,0	sintrano	36	15	19,5	50 HR _B

Tabela 7 — Trajne trdnosti gradiv P/M*

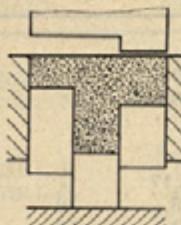
Material	Gostota g/cm ³	Trdnost σ_m kp/mm ²	Trajna trdnost
Fe-9Cu-0,3C	5,8...6,2	24	9
Fe-2,25Cu-0,75C	6,1...6,4	35	10
Fe-5Cu-0,75C	6,1...6,4	35	10
Fe-20Cu-0,8C	7,1 min	63	12
Fe-2Cu-0,8C	7,0 min	84	20
Fe-4Ni-2Cu-0,4C	6,8 min	84	28
304 L nerjavno jeklo	6,0...6,4	24	18

* Za 10⁷ nihajev**Tabela 8 — Tlaki za stiskanje prahov**

izdelki iz medi	4,5...8,0 MPa/cm ²
bronasti ležaji	2,5...3,0 MPa/cm ²
karbidne trdine	1,5...4,5 MPa/cm ²
železni ležaji	2,5...4,0 MPa/cm ²
žezezo/jeklo	4,0...9,5 MPa/cm ²

gre za izdelke z zelo majhno višino. Iz istega razloga mora biti tudi stiskalno razmerje za vsak prerez izdelka enako, kar je združeno z delitvijo batov pri izdelkih, ki imajo več ravnin — slika 7 — ter njihovim samostojnim gibanjem.

Ze po teh podatkih lahko vidimo, da je prav stiskanje tista delovna operacija, ki je odločujoča glede



Sl. 7. Za stiskanje izdelkov z več ravninami morajo biti bati deljeni

možnosti za izdelavo predmeta iz prahu. Pri pregledu kapacitet v ZDA leta 1960 so ugotovili, da so bile stiskalnice za prah močne pretežno 25 do 75 MP. Za jeklo potrebujemo tlak kakih 5 MP/cm², zato je razumljivo, da so bili izdelki majhni. Zaradi že omenjene široke izbire sintranih gradiv pa nastajajo nove možnosti za uporabo izdelkov P/M. Zlasti avtomobilска industrija si prizadeva, da bi uvedla sintrana gradiva na račun temprane in sive litine. Prav to pa je usmerilo moderni razvoj stiskalnic za prah, za katerega je značilen znaten premik k večjim močem in večjemu številu delovnih batov. Največja sedanja standardna stiskalnica za prah ima kapaciteto 1000 MP in polnilno višino 250 mm ter lahko izdeluje predmete z eno do petih ravnin in prezom do 180 cm². Tak izdelek pa lahko tehta nad 10 kg [5].

Po stiskanju izdelke sintramo, to je, ogrevamo jih v ustreznih zaščitnih atmosferi do tako visoke temperature, da omogočamo potek potrebnih difuzijskih in drugih procesov, ki dajejo izdelku potrebne mehanske in fizikalne lastnosti. Za sintranje potrebne temperature, čase sintranja in za posamezne materiale primerne zaščitne atmosfere navaja tabela 9.

Z opisanimi tremi operacijami dobivamo že porabne izdelke; takšni izdelki sestavljajo pretežno proizvodnjo delov P/M. Ce pa želimo material z večjo

gostoto ali pa strožjo toleranco izdelka, ponovno stiskamo sintrane predmete, to je, jih kujemo ali infiltriramo, se pravi, prepajamo jih z zlitinami na osnovi bakra ali, če gre samo za strožje tolerance, jih kalibriramo. S temi delovnimi operacijami lahko izdelujemo predmete s poljubnimi mehanskimi lastnostmi; tolerance, ki jih dosegamo, navajamo v tabeli 10.

Korozijo konstrukcijskih delov P/M preprečujemo navadno tako, da jih namakamo v olju; ležaje pa se veda impregniramo z visoko kvalitetnimi olji, ki se ne smolijo. Ce so v izdelku konstrukcijski elementi, na primer vrtine, utori in podobno, ki niso v smeri stiskanja prahu, jih lahko izdelamo s poznejšo strojno obdelavo. Izdelke P/M lahko topotno obdelujemo enako kakor standardne kovine. Upoštevati moramo le razlike in specifične zahteve zaradi poroznosti izdelka. Enako velja za razne galvanske prevleke, kakor sta nikljanje in kromanje. Posebnost sintranih izdelkov na osnovi železa pa je obdelava z vodno paro, ki daje za oko lepo, sivo modro površino s povečano odpornostjo proti koroziji in obrabi.

Nekatera gradiva ali izdelke, na primer porozne ležaje, karbidne trdine in nekatere vrste električnih kontaktov lahko izdelujemo samo iz prahu. Pri finančni oceni ustrezne tehnike gre torej samo za oceno ekonomičnosti proizvodnje. Pri strojnih in konstrukcijskih delih P/M pa gre tudi za vprašanje konkurenčnosti z drugimi tehnično možnimi procesi, kakor so strojna obdelava, štancanje, litje in podobno. Pri tej oceni je treba upoštevati, da ima metalurgija prahu predvsem dve prednosti:

1. Izkoristek prahu je redno večji od 95 %. Iz tabele 11 lahko vidimo, da je cena prahu v nekaterih primerih celo nižja od cene materiala v obliki pločevine ali palic; to pa pomeni, da lahko dosegamo z uporabo prahu precejšnje prihranke zaradi manjše porabe materiala. Ta razlika je lahko posebno pomembna pri štancanju, pri katerem včasih ne izkorisčamo niti 60 % pločevine.

2. Metalurgija prahu je izredno produktivna proizvodna panoga, saj dajejo moderne stiskalnice tudi po 20 kosov v minutni, če gre za enostavne izdelke, in po 6 do 10 kosov v minutni pri bolj zapletenih oblikah. Gre samo za tri vrste delovnih operacij, za katere niso potrebne visoko kvalificirane delovne sile, zato je

Tabela 9 — Pogoji za sintranje za razne materiale P/M

Material	Temperatura °C	Čas min.	Atmosfera*
bron	760...870	10...20	H ₂ , H ₂ +N ₂ , EXO, ENDO
baker	840...900	30...45	H ₂ , H ₂ +N ₂ , EXO, ENDO
med 80/20	840...900	30...45	H ₂ , H ₂ +N ₂ , EXO, ENDO
želeso	1000...1150	30...45	H ₂ , H ₂ +N ₂ , EXO, ENDO
nerjavno jeklo	1180...1260	30...45	H ₂ , vakuum
ALNICO magneti	1200...1300	120...150	H ₂ , vakuum
WC-Co trdine	1430...1480	20...30	H ₂ , vakuum

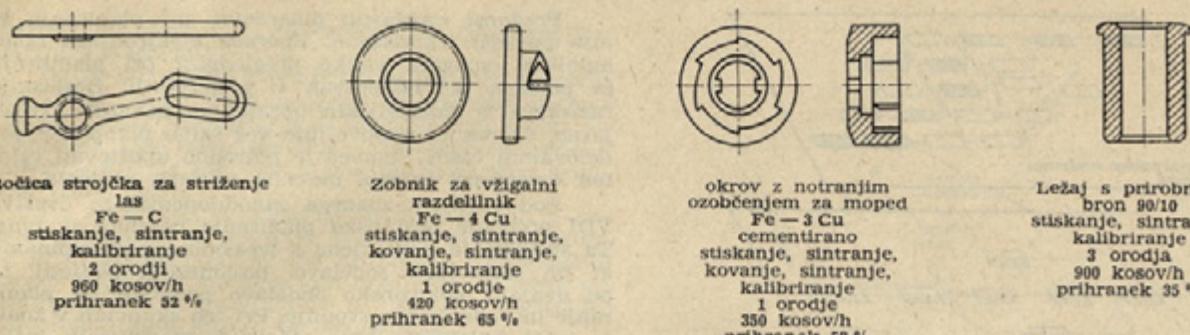
* Podatki so samo grobo orientacijski

Tabela 10 — Tolerance izdelkov P/M

Delovna operacija	Radialne tolerance	Aksialne tolerance
sintranje kalibriranje kovanje	+0,05...0,07 mm ...0,013	+0,13 mm ...0,025 mm

Tabela 11 — Cene medi in nikljevega srebra v \$/kg

Material	Pločevina	Palice	Prah
med	1,07	0,80	0,87
nikljevo srebro	1,51	1,69	1,24



(Računamo za serijo 20 000 kosov)

Sl. 8. Nekaj sintranih izdelkov in ekonomski pokazalniki. (Po H. Silbereisnu)

razumljivo, da postopek lahko konkurira strojni obdelavi, posebno če je potrebnih več delovnih operacij. Nekaj praktičnih primerov prikazujemo na sliki 8 [6].

Seveda ima tudi metalurgija prahu nekatere lastne probleme; med njimi je zlasti pomemben problem stiskalnih orodij. Orodje za zobnike stane, na primer, 1300 \$, če je izdelano iz jekla z mnogo kroma in mnogo ogljika (naše jeklo OCR 12) ter kakih 2000 \$, če je izdelano iz karbidnih trdin. Že ti številki povesta, da je stvar rentabilna predvsem pri večjih serijah, zato je razumljivo, če meni večina proizvajalcev, da je najmanjša sprejemljiva serija okrog 20.000 do 30.000 enakih kosov. Kakor vsa pravila, tudi to ni brez izjem, saj je znano, da so v posebnih primerih rentabilne tudi serije s samo 2000 in celo 1500 kosi. Drži pa, da je rentabilnost največja takrat, če je serija tolikšna, da popolnoma izkoristimo orodje, to je od 50.000 do 250.000 kosov za orodje iz jekla in pa nekaj milijonov kosov za orodja iz karbidnih trdin.

Literatura:

[1] K. H. Roll: "State of the Industry Report-1967", v Progress in Powder Metallurgy-1967, New York, MPIF, 1967.

[2] K. H. Roll: "Metal Powder Statistical Report: 1962-1963" v Progress in Powder Metallurgy-1963, New York, MPIF, 1963.

[3] G. De Groat: "What's New in Powder Metallurgy", American Machinist, October 24, 1966.

[4] J. A. Vaccari: "P/M Parts", Materials and Processes Manual No. 242, Materials Engineering, July 1967.

[5] APMIMPIF Information Bulletin, July 1968 — No. 250.

[6] H. Silbereisen: »Auswahl, Herstellung und Verwendung metallischer Sinterteile«, Brošura.

Avtorjev naslov:
dipl. ing. Stane Jurca
Metalurški institut, Ljubljana

P O R O Č I L A

DK 621.01.002

Moderna pota v tehnologiji

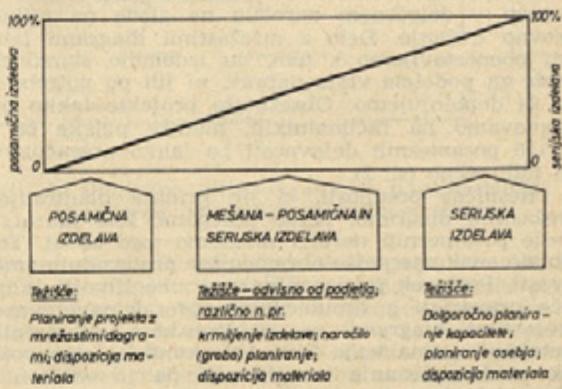
»Hitreje, ceneje in bolje« je bilo poglavito geslo na 13. aachenskem kolokviju za obdelovalne stroje v juniju 1968. Na tem zboru se je zbral 1400 strokovnjakov in znanstvenikov iz 19 držav s področja obdelovalnih strojev in tehnologije materialov. Kolokvij je trajal dva dne in je bil razdeljen po področjih na 4 polovične dneve. Tu je bilo podanih 11 skupinskih referatov s področij planiranja in vrednotenja preskuševalnih podatkov, konstruiranja obdelovalnih strojev, razvoja avtomatiziranja in racionaliziranja v proizvodnji, uporabe elektronskih računalnikov, optimiziranja rezalnih pogojev na avtomatičnih obdelovalnih strojih in novejših postopkov pri obdelavi z odvezanjem materiala.

Planiranje terminov z elektronsko obdelavo podatkov je bil prvi skupinski referat, ki je bil na vrsti na omenjenem razgovoru. Planiranju podatkov je bila posvečena velika pozornost, še posebno odkar obstaja obdelava in vrednotenje podatkov z elektronskimi napravami. Če imamo pred očmi obilico podatkov in odločitev, ki lahko vplivajo na delo v obratu, pride na jasno, da je do sedaj uspevalo dobro delovanje terminske službe v določeni tovarni le z velikim številom ljudi, ki so spremljali izpolnjevanje terminov.

Planiranje zajema samo časovno obdobje delavnikega naročila. Z raziskavami je bilo ugotovljeno, da pri posamični izdelavi določenega stroja ali naprave odpada na konstrukcijo, pripravo dela in nabavo materiala ter orodja 51 do 70 %, na izdelavo samo pa le 11 do 30 % ter montažo 11 do 30 % potrebnega časa za realizacijo naročila. S planiranjem terminov pri izdelavi je možno vplivati samo na 11 do 30 % celotnega časa.

Planiranje sloni na podatkih iz preteklosti, izkušnjah in predvidenem razvoju v prihodnje. Na planiranje v prihodnosti lahko vplivajo različni mobilni dejavniki, zaradi česar je planiranje, ki je časovno

odmaknjeno, lahko znatno manj natančno. To je tudi vzrok, da delimo planiranje v dolgoročno, srednjeročno in kratkoročno in s temu ustrezajočo natančnostjo.



Sl. 1. Težišče terminskega planiranja