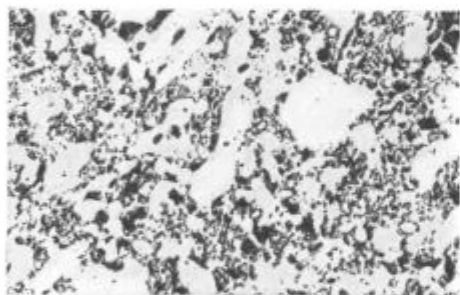


Problematika kompaktnih sintranih gradiv

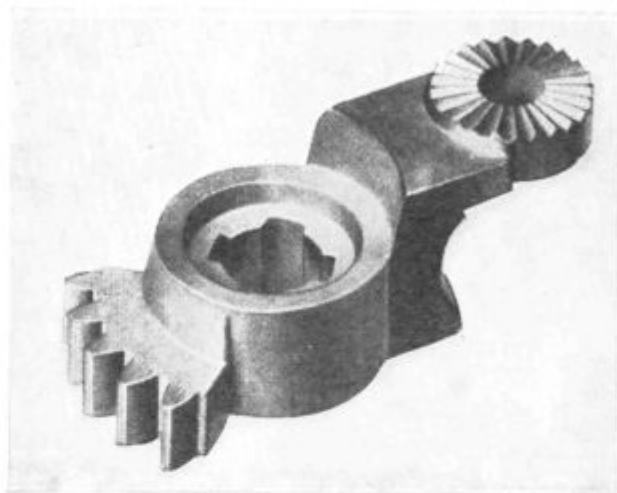
Članek obravnava kompaktna sintrana gradiva, to je neporozne materiale izdelane iz prahov. Podane so bistvene prednosti sintranih materialov v primerjavi z ulitimi; omenjena so področja, kjer bi lahko izkoristili prednosti, ki jih nudi tehnologija sintranja ter današnje stanje na tem področju.

Med sintranimi izdelki so danes gotovo najbolj poznani porozni ležaji (slika 1), katerih gobasto zgradbo napolnimo z oljem, ki se pri ogrevanju močneje širi kot kovina, izstopa zato na površino in tvori poznano drsno blazino. V tem primeru so pore, ki tvorijo več kot petino volumna, sestavni del tega strojnega elementa; pri vseh drugih pri-



Slika 1
Struktura sintrane ležaja $\times 100$

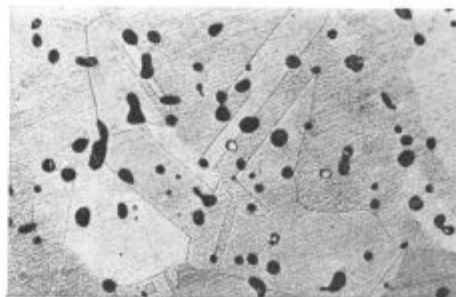
merih sintranih izdelkov — izjema so samo še filtri — pa je poroznost nujna posledica izdelave teh predmetov iz prahov. Volumen, ki ga zavzema pore v sintranih strojnih in konstrukcijskih elementih je sicer manjši kot pri ležajih, vendar predstavlja v vsakem primeru kompromis med zahtevanimi lastnostmi izdelka in ekonomiko izdelave. Vemo, da je tak kompromis mogoč in da uporabljamo v praksi vrsto sintranih strojnih in konstrukcijskih elementov, ki povsem ustrezajo zahtevam uporabe. Slika 2 dokazuje, da je tehnologija sintranih strojnih in konstrukcijskih elementov dozorela do takšne mere, da je kos oblikovno zahtevnim izdelkom pa tudi materialom s trdnostmi do 150 kp/mm^2 . Razvoj, ki je šel od poroznih ležajev k vedno višjim gostotam, pa se seveda ni ustavil pri 94 do 95 % teoretske gostote, kar dosežemo danes v metalurgiji prahu pri železu jeklu s standardno tehniko dela, pač pa so se vprašali, kaj bi dosegli z materiali iz prahov, pri katerih bi zmanjšali preostalo poroznost na minimum.



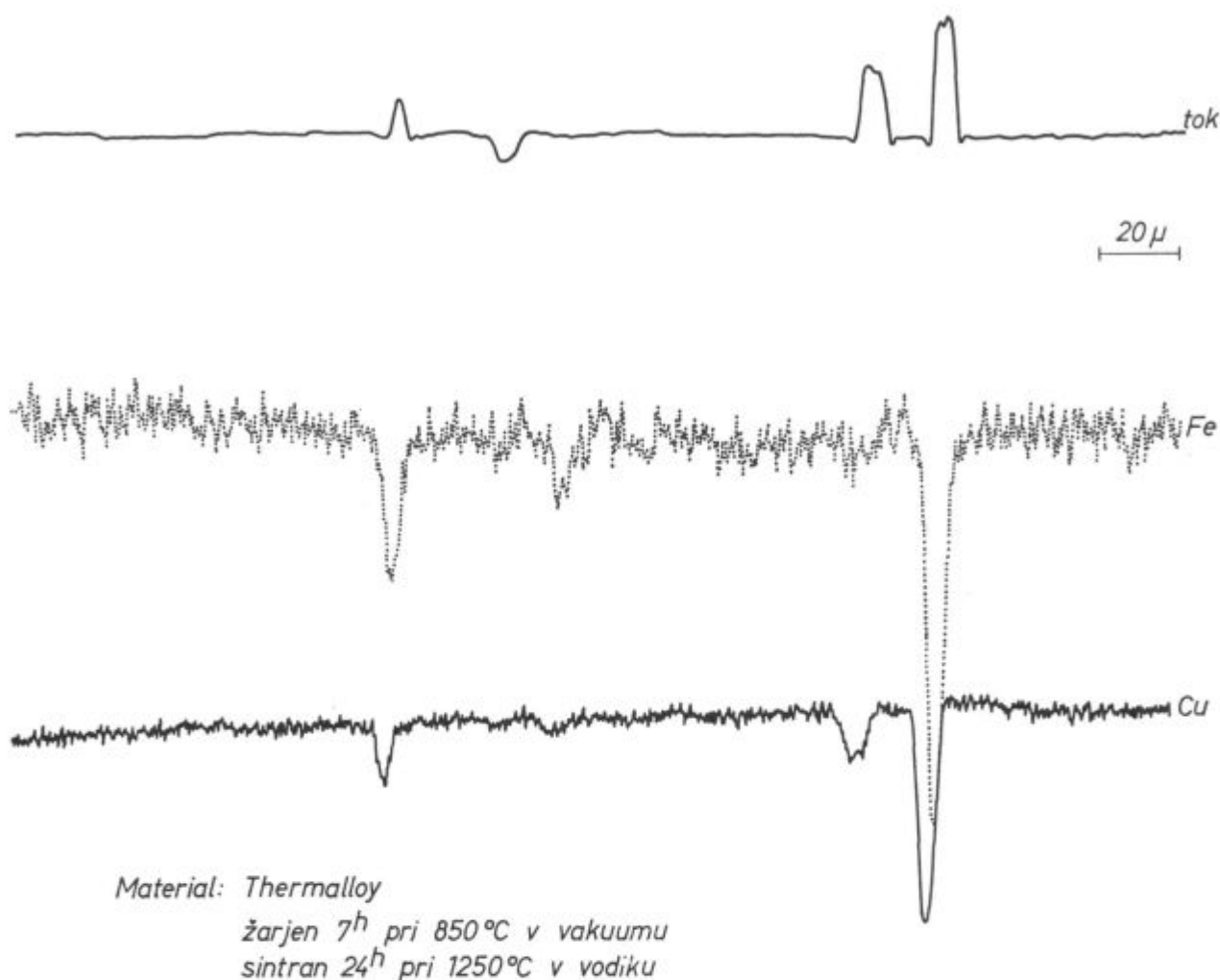
Slika 2
Primer oblikovno zahtevnega sintrane izdelka (po perspektivi firme Mannesmann).

Prvo vprašanje je, kako sploh doseči minimalno poroznost, to je tako gostoto materiala, ki je blizu teoretske vrednosti. V izjemnih primerih, na primer pri karbidnih trdinah, je to sicer mogoče s sintranjem s tekočo fazo; pri pretežni večini materialov pa tudi dvig temperature in podaljšanje časov sintranja ne poveča bistveno gostote, ker se material »zasintra«, to je, pore dobimo v kristalnih zrnih, kar onemogoča nadaljnje zgoščevanje materiala. Take pore pa lahko odstranimo praviloma edino s predelavo materiala v vročem stanju.

Material na sliki 3 je zlitina thermallov, ki vsebuje 67,5 ut. % Ni, 30,0 % Cu in 2,5 % Fe. Sintrali smo ga 24 ur pri 1250°C v vodiku; slika 4 pa kaže, da je sestava materiala popolnoma homogena, kar dokazuje, da je mogoče izdelati homogene mate-



Slika 3
Primer »zasintranega« materiala $\times 200$



Slika 4
Linijska analiza materiala thermalloy

riale iz mešanic raznih prahov v tehnično sprejemljivih časih in temperaturah, čeprav gre za razmeroma majhne deleže posameznih sestavin, v našem primeru železa. V odvisnosti od materiala in tempe-

rature so časi, ki so potrebni za homogenizacijo, dolgi od 2 do 48 ur.¹

Poznano je, da so prahovi praviloma dražji od kompaktnih kovin; za ilustracijo naj navedemo, da

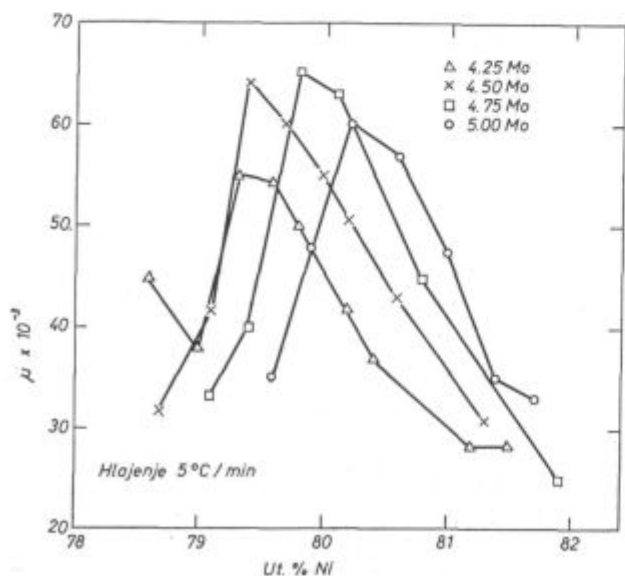
Tabela 1: Magnetske lastnosti materiala orthonol

Sarža št.	B_m^1	B_r/B_m^2	H_i^3	ΔH^4	
1	15490	0.990	0.204	0.017	1. Gauss
2	15500	0.984	0.200	0.017	2. pravokotnost
3	15500	0.986	0.202	0.018	3. Oersted
4	15410	0.988	0.208	0.018	4. Oersted
5	15500	0.981	0.195	0.019	
6	15600	0.983	0.204	0.019	
7	15550	0.986	0.190	0.018	
8	15420	0.985	0.198	0.018	
9	15680	0.989	0.204	0.020	
10	15500	0.990	0.206	0.020	
	15515	0.986	0.201	0.018	
σ	79,74	0.003	0.005	0.001	
variabilnost	0.5 %	0.3 %	2.5 %	5.6 %	

je cena niklja danes približno 80 din/kg, cena nikljevega prahu pa ~ 120 din/kg. Zato je razumljivo, če vprašamo, kaj pridobimo, če izdelamo material iz prahov namesto s poznanimi talilnimi postopki?

Na sliki 5 je podana permeabilnost materiala permalloy v odvisnosti od sestave. Podatki nazorno kažejo, da so optimalne vrednosti odvisne od nihanja sestave v mejah $\pm 0.2\%$, torej v mejah, ki so mnogo ožje od običajnih toleranc talilnega postopka, pri katerem na primer niha vsebina niklja v mejah $\pm 0.75\%$ in molibdena $\pm 0.5\%$. Na drugi strani pa je poznano, da lahko zatehtamo prahove s točnostjo, ki gotovo omogoča izdelavo zlitin v mejah $\pm 0.1\%$.² Posledica te točnosti in pa čistih surovin ni le zelo točna, ampak tudi izredno enakomerna sestava od šarže do šarže, kar kažejo podatki s tabele 1 za material orthonol (48.0 % Ni, 0.25 Mn, ostalo Fe)¹. Gre za 10 zaporednih šarž po 450 kg v traku debeline 0.05 mm.

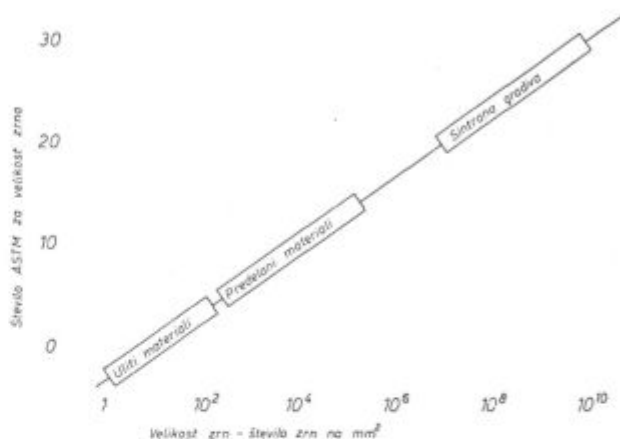
Bistvena prednost materialov iz prahov je torej kvaliteta; vprašanje pa je, če nudi kvalitetnejši in kvalitetno enakomerniji material tolikšne prednosti, da le-te odtehtajo razliko v ceni surovin in morda tudi izdelavnega postopka. Pri oceni odgovora ne smemo in, seveda, ne moremo mimo dejstva, da je izkoristek ulitega materiala razmeroma nizek; navadno se giblje okrog 60 % pri manjših blokih, ostanek pa izgubimo zaradi lunkejev, obdelave površin in odreza. Blok iz prahu pa nima takih napak, oziroma niso toliko pomembne, zato je izkoristek prahu, na primer za trak debeline 0.1 mm, 85 % ter celo 95 % pri palicah in žicah, kar pa v znatni meri kompenzira višjo ceno prahu.



Slika 5

Vpliv vsebine niklja in molibdena na permeabilnost zlitine permalloy debeline 0.35 mm¹

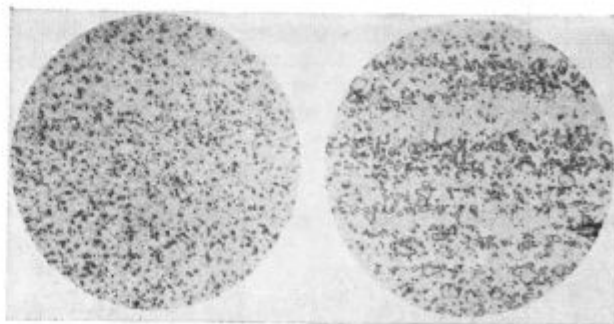
Pomembno je, da je zrno materiala, ki ga izdelamo iz prahu, lahko znatno manjše od zrn ulitega ter kovanega materiala, — slika 6 — kar pomeni med drugim homogenost po celem volumnu ter lažjo predelavo, kar je posebno pomembno, na primer, pri takih materialih kot so super zlitine in brzorezna jekla. Razlika v kvaliteti blokov je zato ogromna in ker vemo, da že izdelujejo bloke težke 500 do 600 kg, to pomeni, da je na voljo oprema, ki omogoča redno proizvodnjo. Normalna teža ingota brzoreznega jekla v Železarni Ravne je, na primer, 250 kg.



Slika 6

Velikost zrn za različne načine izdelave materiala.¹

Ingote iz prahu za zlitine s posebnimi lastnostmi stiskajo izostatično, jih sintrajo, nato pa jih predelajo vroče in hladno po standardnih metodah. Za brzorezna jekla pa sta švedski firmi ASEA in STORA razvili poseben postopek, po katerem pripravijo prah ustrezne sestave, tega stisnejo hladno izostatično; vročo predelavo pa nadomestijo z vročim izostatičnim stiskanjem.⁴ Bistvena prednost brzoreznega jekla izdelanega iz prahu je, da so karbidi razdeljeni izredno enakomerno — slika 7 — material reagira zato hitreje na toplotno obdelavo in je manj občutljiv za razpoke pri brušenju, kar se končno manifestira v daljši življenjski dobi iz njega izdelanih orodij — slika 8.



Slika 7

Porazdelitev karbidov v brzoreznem jeklu
levo: standardna izdelava
desno: material iz prahu

Tabela 2: Gostote vroče izostatsko stisnjenih materialov⁵

	temperatura: °C	Tlak: bar	gostota: %
Železov prah MH 100.24	1000	1000	99.9
Brzorezno jeklo BRM-2	1100	1000	99.9
Molibden	1350	1000	99.8
Zircaloy 2	900	1400	99
WC-Co/90-10	1350	1000	99.9
Al ₂ O ₃	1350	1500	99.9
MgO	1300	1000	98
ZrB ₂	1350	1000	99.9

Postopek ASEA — STORA seveda ni primeren le za brzorezna jekla, pač pa tudi za druge materiale, kar kaže tabela 2.

Na kraju ne smemo pozabiti, da poleg vročega valjanja oziroma iztiskovanja ter vročega izostatskega stiskanja obstoja tudi vroče kovanje, ki daje enake rezultate; to je gost material izdelan iz prahu. Narava izdelkov za katere potrebujemo posebne materiale in deloma tudi narava izdelkov iz brzoreznih jekel je taka, da moramo izdelati pol-

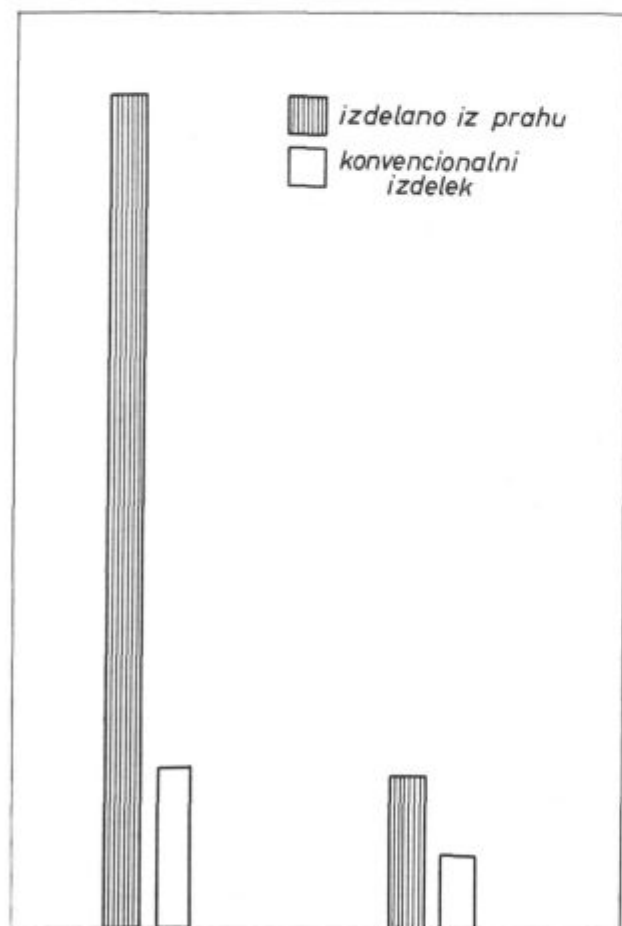
proizvode, to je trakove, palice profile in žico. Za take oblike pa sta vroče valjanje in iztiskovanje najbolj primerna predelavna načina. Vroče kovanje sintra pa je povezano z razvojem kovanja v zaprtih utopih in vročega preciznega kovanja, ki daje končne izdelke, to je strojne in konstrukcijske elemente za dinamične obremenitve. Če tu uporabimo sintrane surovce namesto standardnih oblikovancev, močno zmanjšamo težave z orodji, ki so sicer izpostavljena zelo močnim obremenitvam, kar ravno predstavlja izhodišče za razvoj vročega kovanja sintra.

Po tem kratkem pregledu prednosti kompaktnih sintranih gradiv je seveda smotno, če vprašamo v kolikšni meri že uporabljamo te postopke, kar je nedvomno neko merilo uspešnosti:

Posebne materiale proizvaja firma Magnetics Inc. (Metals Division), Box 391 Butler, Pa. 16001, USA, ki je po podatkih iz leta 1968 kos šaržam od 15 do 900 kg. Brzorezna jekla iz prahu redno proizvaja ameriška firma Crucible Specialty Metals, Division of Colt Industries Syracuse, N. Y., USA katere produkcija je ~ 550 ton letno;⁷ švedska firma STORA pa je investirala 11 milj. švedskih kron v obrat s kapaciteto 2300 ton, ki bi po poznanih podatkih tudi že moral obratovati;⁸ vroče kovanje sintra pa ima vpeljeno že več proizvajalcev, med katerimi prednjačijo Japonci.

Kaj lahko pokažemo mi na tem področju. Žal ne posebno veliko; nekaj laboratorijskih poskusov s količinami do ~ 700 g, saj večjim izdelkom nismo kos z opremo, ki jo imamo na Metalurškem inštitutu v laboratoriju za metalurgijo prahu. Odveč je najbrže poudariti, da je s tolikšnimi količinami nemogoče vsako resnejše študiranje predelavnosti in s tem lastnosti materialov, saj so laboratorijske razmere predelave bistveno drugačne od tega, kar bi dalo delo na proizvodnih agregatih. Pred kratkim smo s sodelovanjem tovarne Impol iztisnili prvi večji, to je 6 kg težak blok iz srebra z 10 % niklja, kar kaže, da morda le ne bi bilo pretežko osvojiti proizvodnjo tega materiala; vsaj v količinah, ki jo potrebuje naše tržišče. S Kovaško industrijo iz Zreč ter koprskim Tomosom pa smo se lotili vročega kovanja sintra.

Ostaja torej celo področje specialnih zlitin in področje brzoreznega jekla. Prepričan sem, da bi



Slika 8

Življenjska doba svedrov iz brzoreznega jekla:
levo: material s trdoto 300 HB
desno: material s trdoto 235 HB

bili obe področji za nas zanimivi, če bi izkoristili časovno prednost, ki jo verjetno še imamo in če bi se upali spopasti za evropski trg. Seveda pa ne moremo mimo ugotovitve, da so obrati metalurgije prahu velike kapitalne investicije. Tako na primer stane postroj za hladno in vroče izostatično stiskanje firme ASEA pilotne velikosti, to je za blok teže 10 do 15 kg, 250 milijonov starih din; ekstruzijska stiskalnica, ki bi bila primerna za nadaljno predelavo teh blokov pa kakih 300 milijonov starih din. To dvoje daje sliko o količini potrebnega kapitala, ki posebno v današnjih razmerah ni majhna. Ni pa rečeno, da tega ne bi zmogli v skupni akciji zainteresiranih podjetij in tega ne bi smeli pozabiti dokler imamo v rokah vsaj tisto, kar se ne da kupiti, to je čas.

Literatura:

1. J. D. Bitzer: »Recent Developments in the Production of Strip, Rod, and Wire by Powder Metallurgy«, Progress in Powder Metallurgy (New York), MPIF, Vol. 25, 1969
2. P/M Newsletter, Vol. 6, No. 4, 1972. Höganäs Corporation, Riverton, N. J., USA
3. C. P. Mueller — L. M. Bianchi: »Consolidation — Powder Metallurgy Versus Melting and Casting of High Temperature Alloys, Tool Steels and Specialty Alloys«, predavanje na 7. Plansee Seminarju Reutte, 21—25. VI. 1971
4. ASEA Pamphlet AQ 10-103 E
5. ASEA Broschüre AQ 41-101 T
6. Magnetism Bulletin MF-108 10 M(5)68
7. J. J. Obrzut: »New Tool Steels by Particle Metallurgy« Iron Age International (Haag), June, p. 34/35, 1971
8. »Improved High-speed Steels«, Metals and Materials (London), Vol. 4, No. 10, p. 392-394, 1970

ZUSAMMENFASSUNG

Unter den gesinterten Fertigteilen sind die porösen Lager, bei denen die Poren Bestandteile dieses Maschinenelementes bilden, besonders bekannt. Bei allen anderen gesinterten Fertigteilen, ausnahme bilden nur noch Filter, sind die Poren eine dringende Folge der Fertigung dieser Teile aus Pulver und stellen einen Kompromiss zwischen der verlangten Eigenschaften des Erzeugnisses und der Wirtschaftlichkeit des Erzeugungsverfahrens dar. Mit der üblichen Verfahrenstechnik können etwa 95 % der theoretischen Dichte erreicht werden; die übrige Porosität kann auf ein Minimum — ausser in Ausnahmefällen — nur mit einer Warmformgebung vermindert werden. Metallpulver ist in der Regel teurer als der kompakte Metall, deshalb ist es verständlich, dass das Verfahren nur dort angewendet wird, wo die technischen Vorteile einen höheren Preis abwägen. Die wesentliche Vorteile der kompakten Werkstoffe

aus Pulver sind vor allem eine genaue Zusammensetzung in Grenzen ± 0.1 gew. %, dass heisst in Grenzen welche viel enger sind als sie mit den Schmelzverfahren erreicht werden können, womit ein höheres Qualitätsniveau erreicht wird, eine aussergewöhnlich gleichmässige Qualität und ein feines Korn. Diese Vorteile können bei den Werkstoffen mit besonderen Eigenschaften bei Super-Legierungen und beim Schnelldrehstahl ausgenützt werden.

Die Einrichtung die uns heute zur Verfügung steht ermöglicht die Fertigung von 500—600 kg Blöcken, also eine regelmässige Produktion. Die Literaturangaben zeigen, dass einige Werke eine solche Produktion schon eingeführt haben, und dass es zweckmässig wäre zu überlegen, wenn solches Verfahren nützlich auch bei uns eingeführt werden könnte.

SUMMARY

Among sintered materials the most known are porous bearings where pores are a part of this machine part. In all the other sintered products but the filters, the pores are unavoidable consequence of manufacturing these products from powders and they represent a compromise between the demanded properties of the product and the profitable manufacturing. By standard techniques the achieved densities reach the value of 95 %; the residual porosity can be reduced to a minimum with some exceptions by hot working of material.

Powders are regularly more expensive than compact metals therefore the application of powder metallurgy is profitable only in the fields where technical advantages compensate the higher price. Essential advantages of the

compact materials from powders are mainly in compositional accuracy in the range ± 0.1 wt. %, i. e. in the range which is much closer than that achieved by melting processes, and which enables higher qualities, in the extraordinary uniformity of quality, and in fine grain. These advantages can be usefully applied for materials with special properties, for super-alloys, and for high-speed steels.

Equipment available today enables manufacturing ingots from 500 to 600 kg, i. e. this equipment enables regular production. Data show that some manufacturers already introduced such production and therefore it is necessary to decide whether this process can be usefully applied also with us.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Среди продуктов спекания больше всего известны пористые подшипники, при чём поры представляют собой составную часть этого машинного элемента. С исключением только фильтров, при всех остальных изделиях спекания поры представляют собой неизбежное последствие изготовления этих продуктов из порошка и равновесие между требованиями которые поставлены на качественные свойства изделий и экономики их производства. При

применении унифицированной техники работы можно теперь достигнуть степени до 95 % теоретической плотности. Остаток пористости можно уменьшить — с исключением некоторых примеров — при помощи горячей обработки.

По правилу порошки дороже от плотных металлов и, поэтому понятно, что способ изготовления продуктов спекания из порошков

рекомендуется только в случае преимущества качественных свойств изделий при сравнении увеличения расходов производства.

Существенные преимущества плотных изделий из порошков в их точности качественного состава в пределах ± 0.1 весовых %; это пределы гораздо уже в сравнении с пределами процессов плавления. Компактные изделия из порошков обладают лучшими качествами, чрезвычайной равномерностью качественных свойств и мелкозернистостью. Эти преимущества можно полезно использо-

вать для производства продуктов специальных свойств, при суперсплавах и при производстве быстрорежущей стали.

Оборудование, которое мы теперь имеем в распоряжении, даёт возможность выработки слитков тяжёсти 500—600 кг., т. е. позволяет вести регулярное производство. Известные данные указывают, что несколько предприятий уже ввело это производство. Поэтому целесообразно рассмотреть возможность применения этого способа производства также в нашей стране.