

JERNKONTORETS FORSKNING

Serie	Nr	Datum	Forskningsuppgift nr
D	790	2002-11-11	80089

(TO 80-54)

UPPKOLNING OCH KYLNING AV SINTERSTÅL

Rapporten ingår i Delprojekt 3: Sintring och efterbehandling inom VAMP 17 – Sintrade komponenter med hög densitet

av Sören Segerberg och Eva Troell, IFV Mölndal

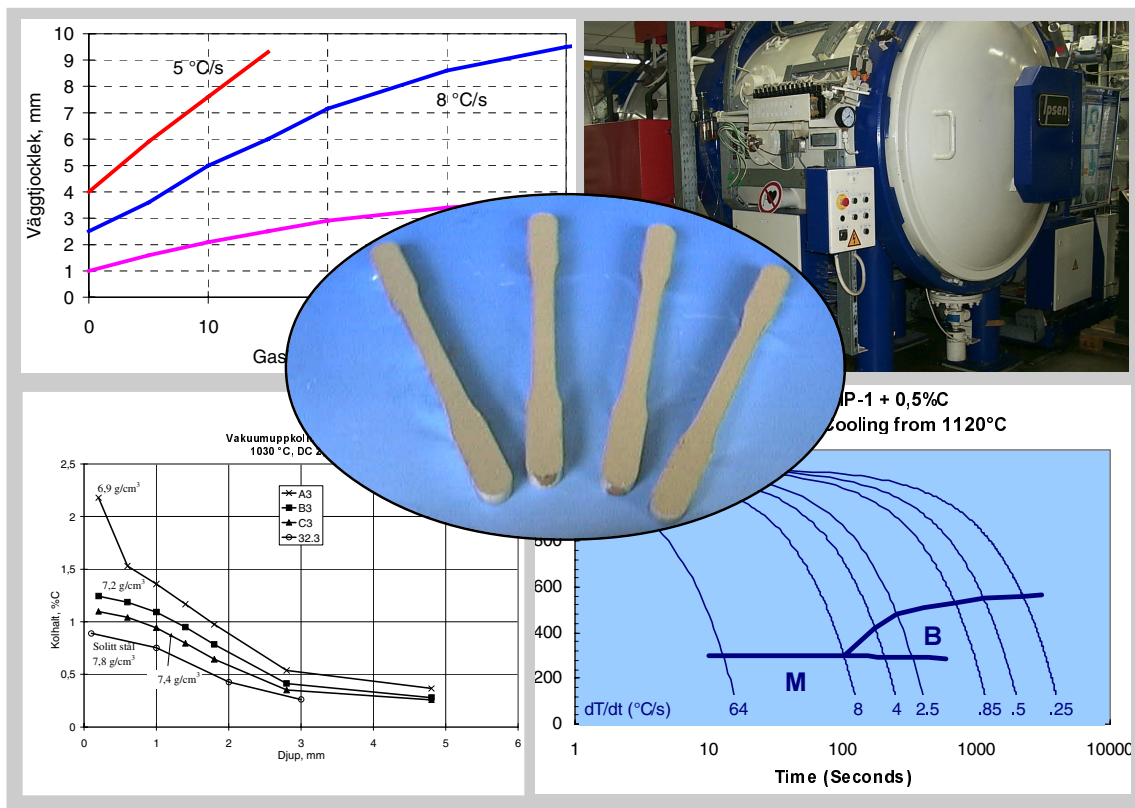
Nyckelord: pulvermetallurgi, sinterstål, uppkolning, kyling, sinterhårdning

SAMMANFATTNING

Se sidan 3.

Uppkolning och kylning av sinterstål

Rapporten ingår i Delprojekt 3:
Sintring och efterbehandling inom
VAMP 17 – Sintrade komponenter med hög densitet



Sören Segerberg och Eva Troell
IVF Mölndal

Förord

Denna rapport är ett delresultat från projektet ”Sintrade komponenter med hög densitet”, VAMP 17, vars huvudmål är att definiera en tillverkningsmetod som möjliggör produktion av sinterstålsdetaljer genom enkelpressning till höga densitetsnivåer. Genomförda sätthärdningsmetoder och kylningsförsök ingår i delprojekt 3 ”Sintring och efterbehandling”. I delprojektets forskningskommitté ingår:

Per Petersson	AGA Gas AB
Christer Åslund	ANVAL/Scandinavian Powder Tech
Jan-Olof Crona	Callo AB
Claes Nordén	GKN Sinter Metals
Tomas Lewin	Kanthal AB
Pauli Sildéus	SKF Mekan AB
Bengt Orrling	Ugnsbolaget Tabo AB
Ola Bergman	IM
Anders Salwén	IM
Sören Segerberg	IVF
Kerstin Fernheden	Jernkontoret

Anknytande publikationer

IM-rapport

Gasuppkolning av sinterstål - Litteraturstudie, förslag till enkel beräkningsmodell samt inledande experiment. IM-1999-043/JK D 766 (TO80-47)

IVF-skrift

Uppkolning av sinterstål – litteraturstudie. IVF-skrift 99834/JK D 767 (TO80-48)

Kylning av sinterstål. IVF-skrift 99835/JK D 768 (TO80-49)

Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
1 Uppkolning i vakuumugn	4
1.1 Försökuppläggning	4
1.1.1 Provtavlar och försök	4
1.1.2 Uppkolning av provtavar	5
1.2 Resultat	7
1.2.1 Gassortens inverkan på uppkolningen	7
1.2.2 Densitetens inverkan på uppkolningen	8
1.2.3 Sintringens inverkan på uppkolningen	9
1.2.4 Pulsningens inverkan på uppkolningen	9
1.3 Diskussion	11
2 Härdning av TS-provtavlar	12
2.1 Sinterhärdning av TS-provtavlar	12
2.2 Resultat av sinterhärdning av TS-provtavlar	14
2.3 Diskussion	16
3 Kylning av sinterstål	17
3.1 Kylning med olika lufthastigheter	17
3.2 Kylning i vakuumugn	21
3.3 Diskussion	22
4 Litteraturreferenser	24

Sammanfattning

Vakuummugn för uppkolning ger möjlighet att använda en högre temperatur för uppkolningen, vilket ger en kortare processtid. Med vakuum avses i detta sammanhang ett tryck som man låter pulsera mellan 1 och 10 mbar. Genom denna pulsering kan den uppkolande gasen ”pumpas” ut och in i porstrukturen som därigenom tillförs ”fräsch” gas med högt innehåll av ett kolavgivande medium. De genomförda försöken visar dock på att effekten inte har någon större inverkan på uppkolningsförloppet. Troligen hinner porstrukturen förslutas alltför snabbt för att pulsningen ska ha någon effekt. Möjligheten att använda en hög temperaturen, i jämförelse med gasuppkolning, gör att processtiden kan kortas avsevärt. Samtidigt är vakuummugnar miljövänligare och energisnålare jämfört med normala hårdugnar. Den lämpligaste processgasen för uppkolning i vakuummugn är acetylen.

Sammanfattning om härdning av TS-provstavar görs senare.

Kylning av sinterstål i en bandugn är idag en begränsande faktor p g a för låga gashastigheter. För många av de härdbara stålpulvren är den kritiska kylningshastigheten 8 °C/s. För att kyla i gas behövs en gashastighet på uppåt 10 m/s för att dessa pulversorter ska få en helt martensitisk struktur om vägg tjockleken är 5 mm eller mer. En ökning till 30 m/s genomhärdat en dubbelt så tjock detalj. Chargens utformning har också stor inverkan på kylningsresultatet och bör utvecklas mer för att dra nytta av den gaskylningsteknik som finns för bandugnar. Vakuummugnar passar för sinterhärdning men är idag för dyra för att komma till allmänt bruk. Kylningsmässigt är den generellt något bättre än bandugnar och den är miljömässigt mycket lämplig.

1 Uppkolning i vakuumugn

Användning av vakuumugn för uppkolning ger möjlighet att använda en högre temperatur för uppkolningen, vilket ger en kortare processtid. Med vakuum avses i detta sammanhang ett tryck som man låter pulsera mellan 1 och 10 mbar. Genom denna pulsering kan den uppkolande gasen ”pumpas” ut och in i porstrukturen som därigenom tillförs ”fräsch” gas med högt innehåll av ett kolavgivande medium.

1.1 Försöksuppläggning

1.1.1 Provstavar och försök

Försök har gjorts med vakuumuppkolning av provstavar i sinterstål med dimensionen $\varnothing 25 \times 10$ mm. Provstavarna pressades till tre olika densiteter:

- A $6,9 \text{ g/cm}^3$
- B $7,2 \text{ g/cm}^3$
- C $7,4 \text{ g/cm}^3$

Både sintrade och osintrade provstavar ingick i försöken. De osintrade benämns Ao, Bo och Co. De sintrade provstavarna benämns As, Bs och Cs.

Som jämförelse ingick provstavar, med samma dimension som ovan, i stål SS 2511 och SS 1312. Stålets kemiska sammansättning visas i *Tabell 1*.

Tabell 1 Provstavarnas kemiska sammansättning.

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
Astaloy Mo	Vattenatomiserat pulver, förlegerat med 1,5 % Mo, utan grafit och smörjmedelstillsatts							
SS 1312 (S235JRG2)	0,20		1,40	0,045	0,045			
SS 2511 (16NiCrS4)	0,15	0,33	0,82	0,016	0,048	0,87	0,86	0,04

Provstavarna uppkolades i vakuumugn med acetylen, metan eller propan som uppkolande gas. Under uppkolningen varierades trycket enligt bestämda frekvenser, dvs gasen pulsades.

Tabell 2 visar försöksupplägget.

Tabell 2 Försök med vakuumuppkolning.

Försök	Uppkolande gas	Temperatur	Pulsning	Provstavar							
				Ao	Bo	Co	As	Bs	Cs	1312	2511
1	Acetylen	930	Pulsad, Dc*=0,8	X	X	X	X	X	X	X	X
2	Acetylen	1030	Pulsad, Dc*=0,8	X	X	X	X	X	X	X	X
3	Acetylen	1030	Pulsad, Dc*=2,0	X	X	X	X	X	X	X	X
4	Acetylen	930	1x10 min	X	X	X		X			
5	Acetylen	930	6x1 min					X			
6	Acetylen	930	10x1 min	X	X	X					
7	Propan	930	6x1 min	X	X	X					
8	Metan	930	6x1 min	X	X	X					

1.1.2 Uppkolning av provstavar

I alla försöken uppkolades provstavarna i vakuumugn. Efter uppkolningen kylades de i kvävgas vid 2 bar.

Uppkolningen i försök 1 - 3 gjordes med pulsering av acetylen enligt *bild 1* - 3. I försök 4 - 8 gjordes pulseringen enligt *Tabell 2* ovan.

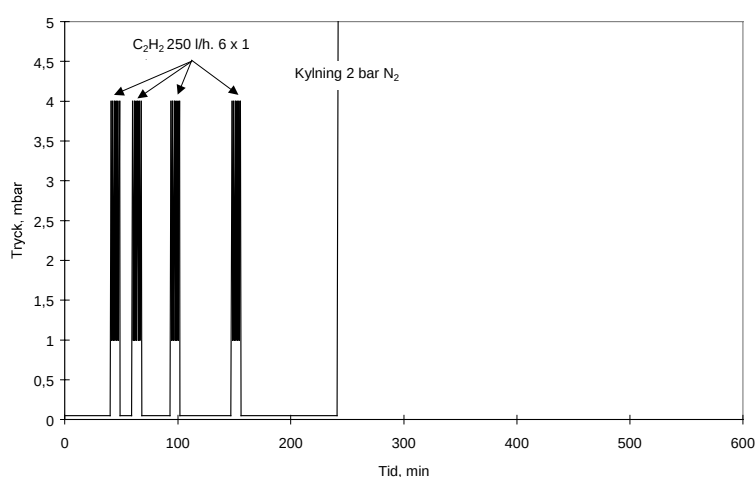


Bild 1 Uppkolning försök 1, 930 °C, DC 0,8 mm.

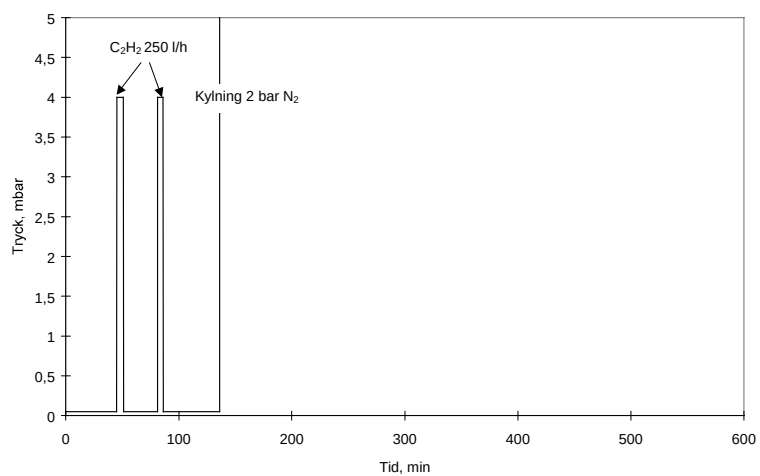


Bild 2 Uppkolning försök 2, 1030 °C, DC 0,8 mm.

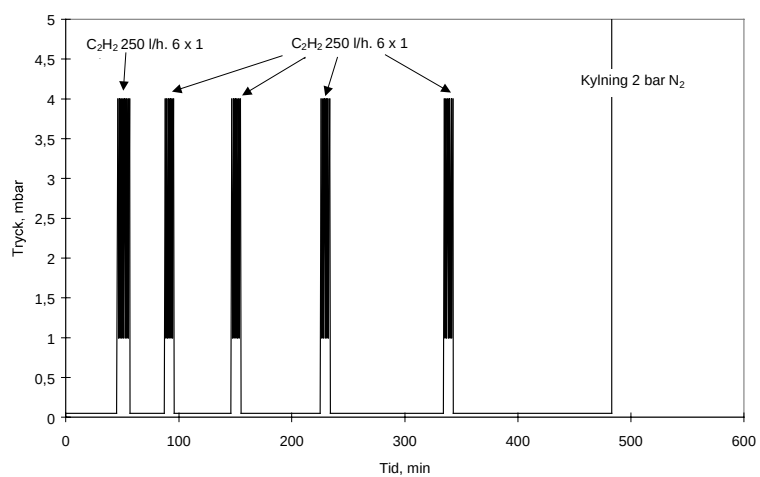


Bild 3 Uppkolning försök 3, 1030 °C, DC 2,0 mm.

1.2 Resultat

1.2.1 Gassortens inverkan på uppkolningen

För att studera gassortens inverkan på uppkolningsdjupet gjordes försök med uppkolning med metan, propan och acetylen. Uppkolningen gjordes vid 930 °C och med pulsering av gasen. Pulseringen gjordes från 1 till 4 mbar 6 x 1 min. Bild 4 visar uppkolningsdjupet efter uppkolning med de olika gaserna. Metan ger det sämsta resultatet med nästan ingen uppkolning alls. Den effektivaste uppkolningen fås med acetylen. Detta stämmer överens med tidigare rapporterade resultat [1]. Acetylen är effektivare än propan eftersom krackning av propan ger en större mängd metan än krackning av acetylen. Metan har en låg uppkolande förmåga.

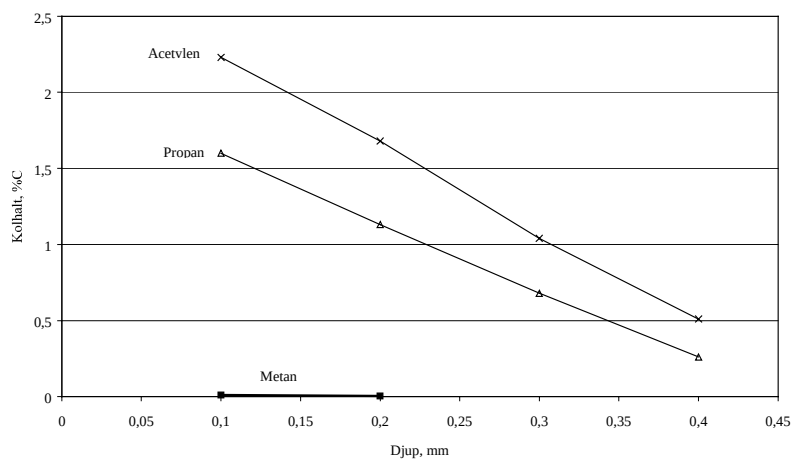


Bild 4 Inverkan av uppkolande gas på uppkolningsdjupet. Uppkolning av osintrad provstav, $\rho = 7,2 \text{ g/cm}^3$. Pulsering 6 x 1 min. Försök 5, 7 och 8.

1.2.2 Densitetens inverkan på uppkolningen

Densitetens inverkan på uppkolningsdjupet visas i *Bild 5*. Ju lägre densitet desto större uppkolningsdjup. Bild 6 visar djupet för 0,5 % kol som funktion av densiteten. Då densiteten ökar $0,1 \text{ g/cm}^3$ minskar upptagen kolmängd med ca 4 - 6 %.

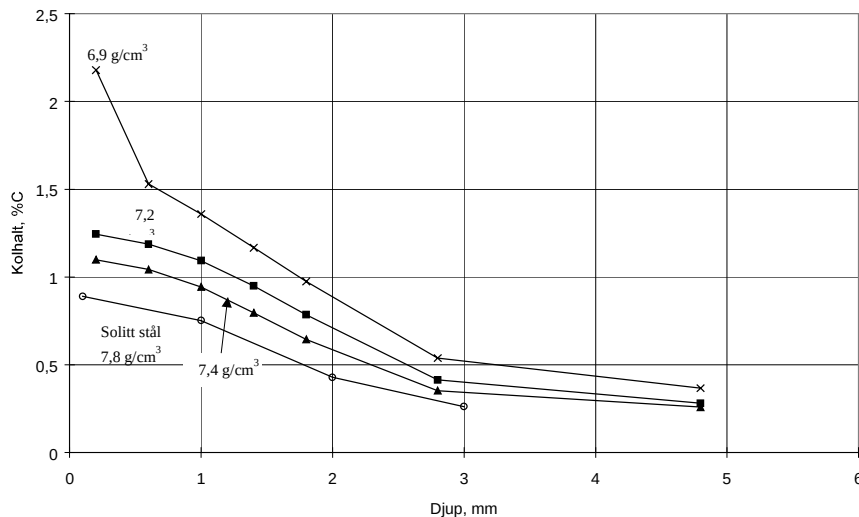


Bild 5 Densitetens inverkan på uppkolningsdjupet. Uppkolning i acetylen, $1\ 030\ ^\circ\text{C}$, pulsning enligt försök 3. Solitt stål är stål SS 2511 och SS 1312.

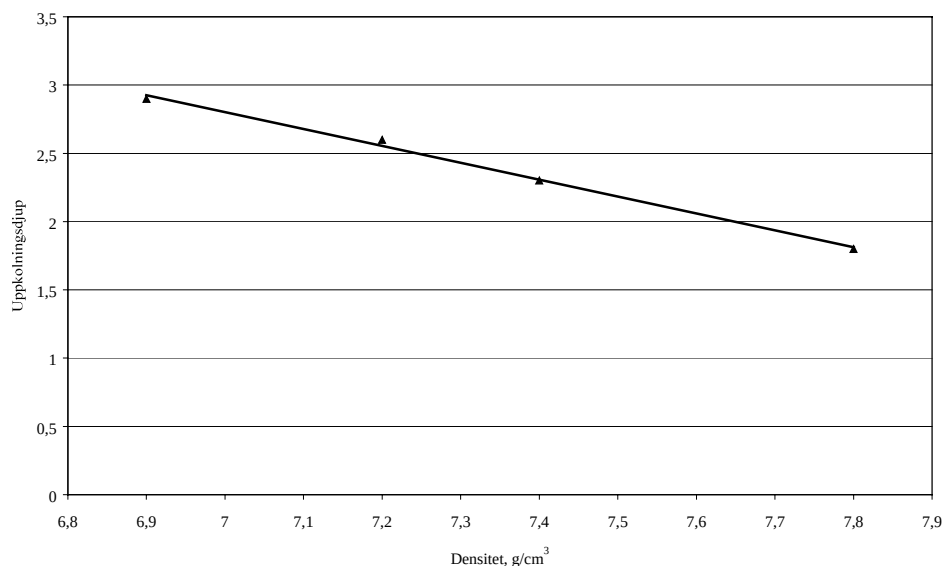


Bild 6 Densitetens inverkan på uppkolningsdjupet, 0,5 % C.

1.2.3 Sintringens inverkan på uppkolningen

Vid försöken användes både sintrade och osintrade provkroppar. Någon riktigt tydlig inverkan av sintringen kan inte noteras. Eventuellt fås ett större uppkolningsdjup vid uppkolning av osintrad detalj. Att det inte blir någon större effekt kan bero på att sintringsprocessen startar så fort som detaljen börjar komma upp i temperatur.

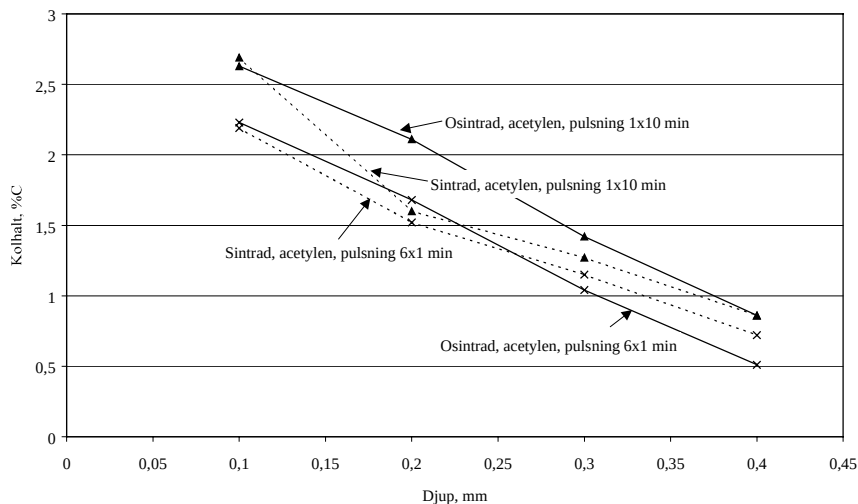


Bild 7 Jämförelse av uppkolning av osintrad och sintrad provdetalj. Uppkolning med acetylen vid 930 °C. Försök 4 och 5.

1.2.4 Pulsningens inverkan på uppkolningen

Försök gjordes med pulsning av den uppkolande gasen. Detta innebär att under uppkolningen varierar trycket på gasen med ett visst intervall. Syftet med detta är att öka gascirkulationen och på så sätt få en effektivare uppkolning. Vid dessa försök varierades trycket mellan 1 och 4 mbar i intervall på 1 minut, Bild 8. Bild 9 visar uppkolningsprofilen efter respektive tryckförlopp. Det går inte att notera någon effekt av pulsningen. 1 x 10 min ger det största uppkolningsdjupet. Pulsning 6 x 1 gav minst uppkolningsdjup, vilket är förväntat eftersom detta förlopp innebar kortast tid vid 4 mbar. 1 x 10 min och 10 x 1 min gav liknande uppkolningsdjup. En förklaring till att uppkolningen blev effektivare med en puls, 1 x 10 min, kan vara att pulvret i det andra fallet, 10 x 1 min, hinner sintra ihop vilket bidrar till en sämre koldiffusion.

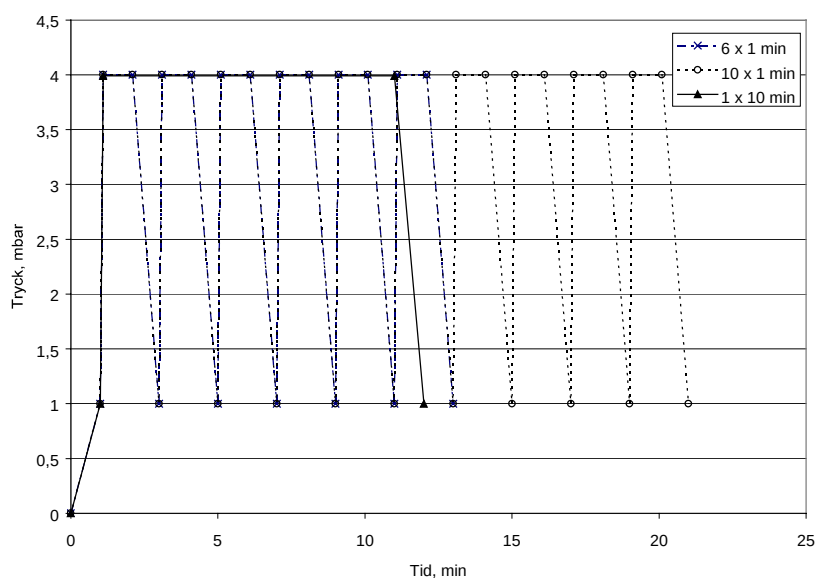


Bild 8 Pulsning av den uppkolande gasens tryck.

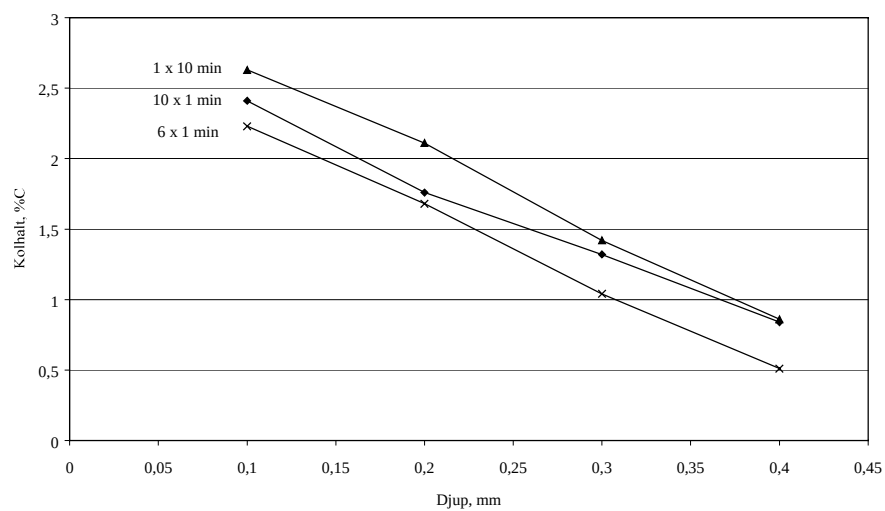


Bild 9 Pulsningens inverkan på uppkolningsdjupet. Uppkolning med acetylen vid 930 °C.

1.3 **Diskussion**

Syftet med försöken, som har redovisats i avsnitt 1 och 2, har varit att studera möjligheterna att använda vakuumuppkolning som en metod för att tillföra kol till pulverkomponenter. Följande förutsättningar finns.

- Vakuumuppkolning ger goda möjligheter för att tillföra kol till pulverkomponenter
- Om en jämn kolprofil önskas låter man kolet diffundera in i komponenten under en bestämd tid
- Acetylen är effektivare som uppkolande medium än metan och propan. Ca 40 % högre kolhalt erhöles med acetylen jämfört med propan. Med metan erhöles en mycket låg uppkolande effekt
- En högre densitet hos pulverkomponenten ger en sämre kolupptagning
- Någon större skillnad mellan sintrad och osintrad detalj kunde inte noteras vid försöken
- Genom att pulsa, variera trycket, hos den uppkolande gasen under processen, är det teoretiskt möjligt att nå ett större uppkolningsdjup. Någon effekt av detta kunde dock inte noteras vid försöken, vilket kan bero på att den öppna porositeten minska snabbt vid hög temperatur
- För att öka effektiviteten hos processen kan uppkolningen göras vid en högre temperatur.

2 Härdning av TS-provstavar

Med resultatet från uppkolningsförsöken i vakuumugn genomfördes sinterhärdning av TS-provstavar i vakuumugn. Tre härdförsök gjordes, ett med och två utan uppkolning. En av pulversorterna är en nytveckling, Astaloy CrM, med förbättrad hårdbarhet och som dessutom ger något mindre dimensionsförändringar i samband med sintringen. Efter härdningen gjordes dragprover på TS-provstavar.

2.1 Sinterhärdning av TS-provstavar

De två pulversorter som ingick i försöken har nedanstående analys, se tabell 3. Inför försöken hade pulvren blandats med grafit och smörjmedel.

Tabell 3 Analys för de två pulversorterna och med tillsatser.

Pulversort	Cr	Mo	Cu	Ni	Grafit	Amid wax
Astaloy CrM	3,0	0,5	-	-	0,35	0,6
Astaloy CrM	3,0	0,5	-	-	0,55	0,6
Distaloy HP-1	-	1,5	2,0	4,0	0,60	0,6

Två av härdförsöken, hos Ipsen, genomfördes i två steg p g a tekniska begränsningar. Det var nödvändigt att använda två vakuumugnar. Ugnen som är kapabel att nå sintringstemperaturen på 1 300 °C har inte tillräcklig kylningskapacitet. I den genomfördes sintring och uppkolning med långsam avsvälning av TS-provstavar. Därefter värmdes TS-provstavar, alla samtidigt, på nytt i en annan vakuumugn som har tillräcklig kylningskapacitet. Sinterhärdningsförsöken är sammanställda i tabell 4.

Tabell 4 Sinterhårdning med användning av två ugnar.

Ugn 1	Försök 1	Försök 2
Avdrivning av smörjmedel med 2 bar kvävgasatmosfär	600 °C, 30 min	600 °C, 30 min
Sintring i vakuum, 1 mbar	1300 °C, 30 min	1300 °C, 30 min
Uppkolning till 0,5 mm, 0,7 % C	-	1050 °C, 2+6 min
Svalning med 2 bar kvävgasatmosfär	1050 – 30 °C	1050 – 30 °C
Överföring av provstavarna från både försök 1 och 2 till ugn 2 för att gemensamt hårdas		
Värmning i vakuum, 1 mbar	950 °C, 15 min	
Kylning med kvävgas	7 bar, 30 m/s	
Anlöpning	200 °C, 60 min	

Det tredje försöket genomfördes i två vakuumugnar utan uppkolning hos Ipsen respektive Järfälla Härdverkstad, se tabell 5. Denna gång användes en lägre sintringstemperatur varför hela sintringen genomfördes i samma ugn. Provstaven var Astaloy CrM med 0,55 % grafit.

Tabell 5 Sinterhårdning hos Ipsen och Järfälla.

Processteg	Ipsen	Järfälla
Avdrivning av smörjmedel med 2 bar kvävgasatmosfär	600 °C, 30 min	600 °C, 30 min
Sintring i vakuum, 1 mbar	1220 °C, 30 min	1250 °C, 30 min
Svalning till hårdtemperatur	950 °C, 15 min	950 °C, 15 min
Kylning med kvävgas	7 bar, 30 m/s kall kylkammare	9 bar, 13 m/s varm kylkammare
Anlöpning	200 °C, 60 min	200 °C, 60 min

2.2 Resultat av sinterhårdning av TS-provstavar

TS-provstavar har analyserats med avseende på: hållfasthet, förlängning, hårdhet samt innehåll av kol, syre, och kväve, vilket är sammanställt i tabell 6 och 7.

Tabell 6 Egenskaper hos sinterhårdade TS-provstavar i försök 1.

Pulver	Brottgräns, MPa	Sträckgräns, MPa	Förlängning, A%	Hårdhet, HV10	Täthet, g/cm ³	Kol, %	Syre, %	Kväve, %
CrM 0,35	1228	950	2,01	313	7,20	0,21	0,004	0,0883
CrM 0,55	1590	1270	1,02	416	7,21	0,40	0,005	0,0708
HP-1	1455	1166	0,54	471	7,44	0,52	0,002	0,0095

Tabell 7 Egenskaper hos sinterhårdade TS-provstavar i försök 2

Pulver	Brottgräns, MPa	Sträckgräns, MPa	Förlängning, A%	Hårdhet, HV10	Täthet, g/cm ³	Kol, %	Syre, %	Kväve, %
CrM 0,35	862	499	0,14	513	7,22	0,37	0,003	0,0208
CrM 0,55	898	459	0,05	534	7,22	0,56	0,003	0,0156
HP-1	1373	898	1,39	397	7,37	0,63	0,001	0,0003

Sintringen på 1 300 °C gav tyvärr upphov till att en del av TS-provstavar blev deformerade, böjda, vilket medförde att de blev snedbelastade i samband med dragprovningen, se bild 10, och gav missvisande resultat. Det är svårt att göra dragprover på provstavar som är uppkolade p g a deras sprödhet. De har därför inte ingått i själva hållfasthetsprovningen.



Bild 10 Exempel på böjda TS-provstavar, den till vänster är bra.

Resultatet från försök 3 finns sammanställt i tabell 8. I detta försök var TS-provstavarerna chargerade på ett korrekt sätt och bibehöll sin rakhet vid sinterhärddningen.

Tabell 8 Egenskaper hos sinterhårdade TS-provstavar i försök 3.

Sinterhårdare	Brottgräns, MPa	Sträckgräns, MPa	Förlängning, A %	Hårdhet, HV10	Täthet, g/cm ³	Kol, %	Syre, %	Kväve, %
Ipsen	1339	1027	1,85	386	7,21	0,36	0,049	0,0006
Järfälla	1392	1012	1,69	399	7,24	0,40	0,035	0,0056

Erhållna egenskaper överensstämmer mycket väl mellan de båda vakuumugnarna. Den enda skillnaden är egentligen att kvävehalten hos Ipsen är mycket lägre.

Brotthållfastheten för försök 1 (neutralhårdad utan uppkolning) ligger mellan 1 300 – 1 600 MPa, vilket är mycket högt för att vara sinterstål. Att CrM 0,35 ligger lägst beror på dess lägre kolhalt. För försök 2 har de uppkolade CrM-provstavarerna fått mycket låga värden troligen beroende på att ytans höga hårdhet ger en sprödhet som förstärks av porositeten. HP-1 har fått en mera normal hållfasthet som beror på att hårdheten är lägre. Att hårdheten är lägre beror på att det bildas mycket restaustenit i ytan p g a den höga Ni-halten i HP-1. I försök 3 är brotthållfastheten lägre än motsvarande hos försök 1, vilket kan bero på att en lägre sintringstemperatur användes.

Förlängningsvärdena för HP-1 i försök 1 är något lågt och för CrM provstavarerna i försök 2 är det mycket för lågt. Det är helt avhängligt ytans höga hårdhet för dessa prover. De övriga har normala värden.

Hårdheten på provstavarna har mätts på ytan och provstavarna i försök 1 stämmer väl överens med uppmätt kolhalt. För provstavarna i försök 2, som är uppkolade, mäts ythårdheten i det uppkolade skiktet. Hårdheten för CrM-provstavarna får därför en hög hårdhet medan HP-1-provstavarna inte får samma hårdhet då dess Ni-halt på 4 % ger mycket restaustenit.

Tätheten är ca 7,20 för CrM och ca 7,40 för HP-1 som ju är mer lättpressad.

Kolhalten i försök 1 ligger för CrM ca 0,15 % lägre än tillsatt grafitmängd. Detta beror på att pulvret innehåller mer syre, bl a i form av adsorberat syre på partikelns yta, i jämförelse med HP-1 som binder en del av kolet under sintringen. HP-1 har 0,08 % lägre kolhalt än tillsatt grafit, vilket är normalt. De högre kolhalterna vid uppkolningen är ett genomsnitt av hela tvärsnittet.

Både syre- och kvävehalten är högre för CrM i jämförelse med HP-1.

2.3 Diskussion

Syftet med försöken, som har redovisats i avsnitt 1 till 3, har varit att studera möjligheterna att utvärdera vakuumsintring med gaskylning vid höga tryck. Försöken har gjorts med och utan uppkolning. Ett förlegerat stålpulvret, Astaloy CrM, med hög hårdbarhet användes för att kunna få en högre hållfasthet än som är möjligt med konventionell teknik. Med konventionell teknik avses sintring med efterföljande separat härdning med kylning i olja.

Följande förutsättningar finns.

- Sinterhärdning i vakuum ger en högre hållfasthet i jämförelse med konventionell tillverkning
- Sinterhärdning med uppkolning ger, för Astaloy CrM, en hög ythårdhet som p g a ytskiktets sprödhet inte ger motsvarande höga hållfasthet. Om komponenten dock bara utsätts för slitage kan den högre ythårdheten utnyttjas. Sintring i gas med metanol som kolavgivande medium är inte bra då syret i metanolen bidrar till ökad syrehalt i pulvret då det lätt binds till kromet
- Vid de genomförda försöken användes 200 °C anlöpningstemperatur. Genom att höja och optimera den kan troligen bättre egenskaper fås
- Astaloy CrM ger i jämförelse med Distaloy HP-1 något högre hållfasthet och förlängning. De använda TS-provstavarna har ett litet tvärsnitt vilket har gjort att dessa höga hårdheter har uppnåtts. Vid grövre dimensioner på komponenter kommer skillnaden i hårdhet att öka då Astaloy CrM har en högre hårdbarhet
- Böjda provstavar ger upphov till snedbelastning vid dragprovningen som lokalt ger stora spänningar. Detta ger låga hållfasthetsvärden p g a ytans sprödhet.

3 Kylning av sinterstål

I dagens sintringsugnar kan kylningshastigheter på upp till 3 °C/s erhållas mätt med en TS-provstav. De flesta härdbara stålpulver som finns tillgängliga idag kräver dock snabbare kylning för att härdas. För att kunna integrera härdningen i sintringsugnen, som i flesta fall är en bandugn, behövs en kylningshastighet på ca 10 °C/s med hänsyn till dagens "härdbara" stålpulver. Det kan fås genom användning, främst av högre gashastighet, även om högre gstryck också är tänkbart.

Med kännedom om kylningshastigheten i kylningszonen kan lämpligt stålpulver väljas, med hänsyn till detaljens dimension. Valet av rätt stålpulver kan också göras efter beräkningar via värmeövergångstal eller empiriska erfarenheter. Genom konstruktion av en kylningszon, där även kylningshastigheter över 10 °C/s kan erhållas, är det möjligt att använda lägre legerat stålpulver som är billigare.

Användning av vakuumugn är också en möjlig metod då alla processtegen kan utföras i samma utrustning. Detta exempel kräver normalt dock satsvis behandling av de pressade detaljerna.

3.1 Kylning med olika lufthastigheter

För att bestämma inverkan av lufthastigheten vid kylning tillverkades cylindriska provstavar, $\varnothing 9,6 \times 23$ mm. De svarvades från pressade och sintrade provkroppar i Astaloy Mo, 1,5 % Mo, utan grafittillsats. Tre olika tätheter har använts, 6,9, 7,2 och 7,4 g/cm³. Ett termoelement pressades fast i provstavens centrum. Provstaverna värmdes under skyddsgas och flyttades snabbt över från ugnen in i luftströmmen. Tre lufthastigheter har använts, 10, 25 och 40 m/s. I bild 11 visas kylkurvorna för provstav med tätheten 7,2 g/cm³. Motsvarande kurvor har också tagits upp för de båda andra tätheterna.

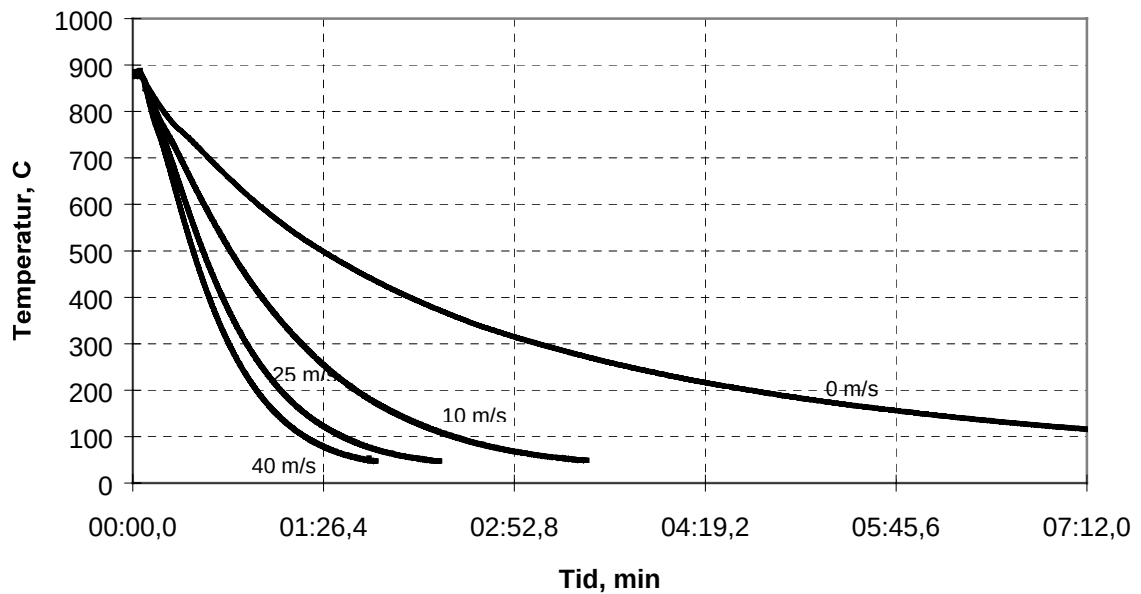


Bild 11 Kylkurvor för provstav med täthet $7,2 \text{ g/cm}^3$ med olika lufthastigheter.

Från bilden framgår det vilken stor inverkan lufthastigheten har. Inverkan avtar dock snabbt med högre hastigheter. Genom att beräkna lutningen, derivatan, för respektive kurva fås kylningshastigheten. I bild 12 framgår det hur kylningshastighet varierar med lufthastigheten.

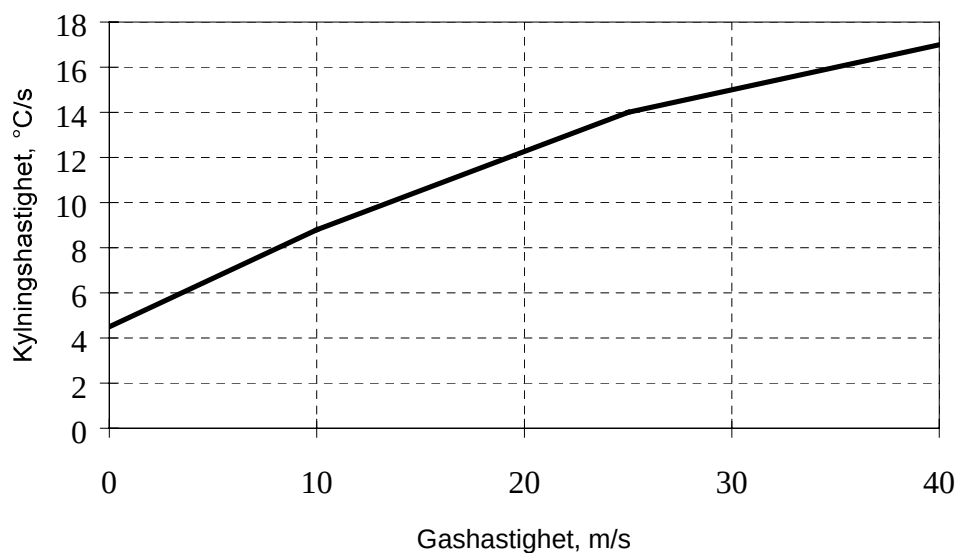


Bild 12 Kylningshastighetsvariation med lufthastigheten för en $9,6 \times 23 \text{ mm}$ provstav med tätheten $7,2 \text{ g/cm}^3$.

Motsvarande kylkurvor har också tagits upp för provstavarna med tätheten 6,9 och 7,4 g/cm³. De ger ungefär samma resultat oavsett tätheten, se bild 13. Resultatet är förvånande då det inte skiljer något för de olika tätheterna. Orsaken är att värmeledningsförmågan är lägre för provstaven med de lägre tätheterna, men att det samtidigt är mindre massa som ska kylas. Dessa båda effekter motverkar varandra ger det visade resultatet.

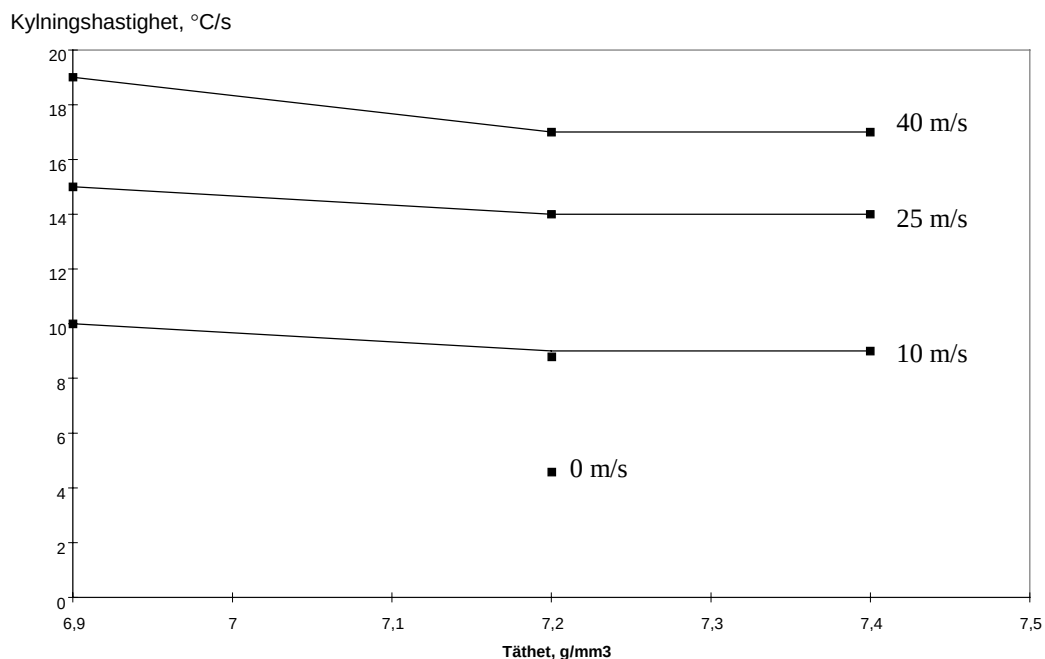


Bild 13 Kylningshastigheten för olika tätheter vid olika lufthastigheter med en provstav med diametern 9,6 och längden 23 mm.

Med kännedom om provstavens dimensioner, termoelementets placering, täthet, och temperaturberoende materialparametrar kan man beräkna värmeövergångstalet för olika lufthastigheter. Värmeövergångstalet varierar nästan linjärt mellan 70 W/m² C för stillastående luft upp till 270 W/m² C för 40 m/s. När värmeövergångstalet för de olika lufthastigheterna är känd kan man beräkna vilken maximal vägg tjocklek som kan kylas av ett stålpulver för att få en helt martensitisk struktur, se bild 14.

Stålpulvret Distaloy HP-1 med tillsats av 0,5 % C har t ex en kritisk kylningshastighet på 8 °C/s för att få en helt martensitisk struktur. En detalj med 5 mm vägg tjocklek behöver då en lufthastighet på 10 m/s. Är vägg tjockleken det dubbla, 10 mm, krävs lite mer än 40 m/s. Denna höga hastighet kan vara svår att uppnå. Genom byte till en pulversort med en kritisk kylningshastighet på 5 °C/s behöver den 10 mm tjocka detaljen drygt 15 m/s. För pulversorter med den kritiska kylningshastigheten 20 °C/s är det realistiskt att max 3 mm kan hädas.

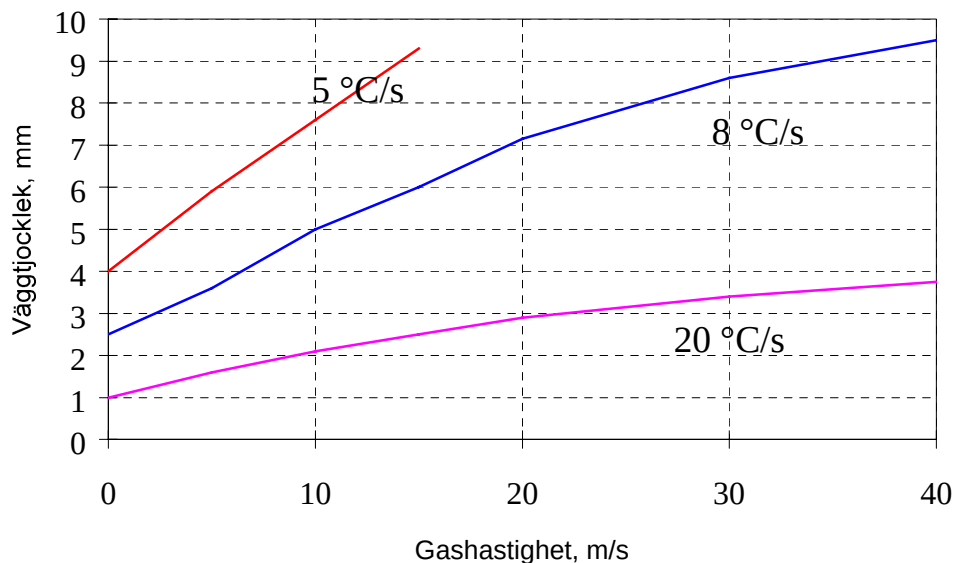


Bild 14 Härdbar väggjocklek för pulver med olika kritisk kylningshastighet för olika lufthastigheter.

Detaljernas placering på bandet eller på en transportplatta har också en stor inverkan på kylningen. I bild 15 nedan visas exempel på två olika packningstätheter. I den täta chargen är 79 % av den tillgängliga chargeytan täckt av detaljer. Vid den glesare chargeringen används 39 % av ytan. Vid den glesa chargeringen är chargevikten hälften av vad den är hos den tätpackade. Kylningshastigheten för den glesa packningen är 3,7 gånger högre än för den tätpackade.

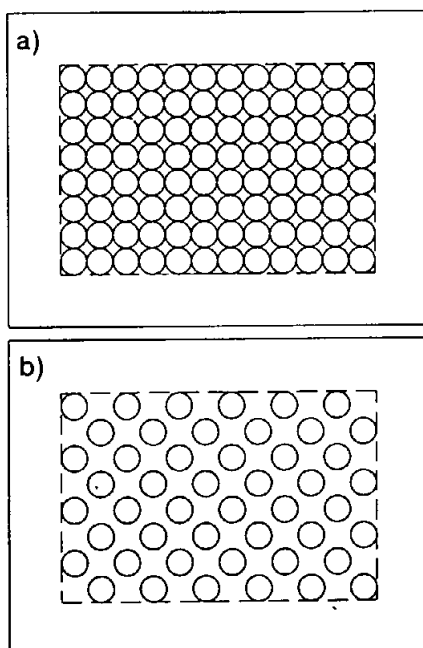


Bild 15 Exempel på olika packningstäthet.

Den glesare chargeringen medför att mer gas strömmar igenom chargen utan att komma i kontakt med de varma detaljerna, vilket medför en lägre verkningsgrad för gasen. Den ökade kylningshastigheten, som erhålls genom en glesare chargering, måste sättas i relation till det ökande antalet charger som krävs för att kunna producera på ett ekonomiskt optimalt sätt.

3.2 Kylning i vakuumugn

Kylning i en vakuumugn sker vanligen med kvävgas under högt tryck. Idag är 10 bar ett vanligt tryck. Kylning kan också ske med helium men är mindre vanligt p g a den höga kostnaden. Gasen cirkuleras med hjälp av en fläkt och en inbyggd värmeväxlare kyler gasen som värme av sinterdetaljerna.

Kylningsförsök har gjorts i en vakuumugn av normal "standardkvalitet" med provstavarna $\varnothing 9,6 \times 23$ mm och tätheterna 6,9, 7,2 och 7,4 g/cm³. Trycket i ugnen under kylningen var 9 bar och gashastigheten ca 10 m/s. Kylningshastigheten blev ca 15 m/s vilket motsvarar 30 m/s i det tidigare undersökningarna, se bild 12.

För sinterhärdförsök i denna vakuumugn och en vakuumugn med kall kylkammare tillverkades provstavar i samma stålpulver, som för luftkylningen ovan, Astaloy Mo med tillsats av 0,5 % C. Dimensionerna var $\varnothing 25 \times 10$ mm med tätheterna 6,9, 7,2 och 7,4 g/cm³. Vakuumugnen med kall kylkammare finns hos Ipsen i Kleve och användes också för sinterhärdföring av injektoroken, del 5, i VAMP 17-projektet. Då det inte finns tekniska möjligheter att mäta kylningshastigheten i Ipsenugnen görs jämförelsen istället genom att hårdheten mäts. Försöksparametrarna är sammanfattade i tabell 7 och hårdhetsresultatet i bild 16. De angivna gashastigheterna för Ipsenugnen är inte uppmätta utan angivna av tillverkaren.

Tabell 7 Försök med gaskylning av sinterprovstavar.

Försök	Gas	Ugn	Tryck, bar	Gashastighet, m/s	Antal lager
1	He	Ipsen	2	35	1
2	N ₂	Ipsen	2	35	1
3	N ₂	Ipsen	2	35	2
4	N ₂	Ipsen	10	17	1
5	N ₂	Vakuumugn	9	10	1

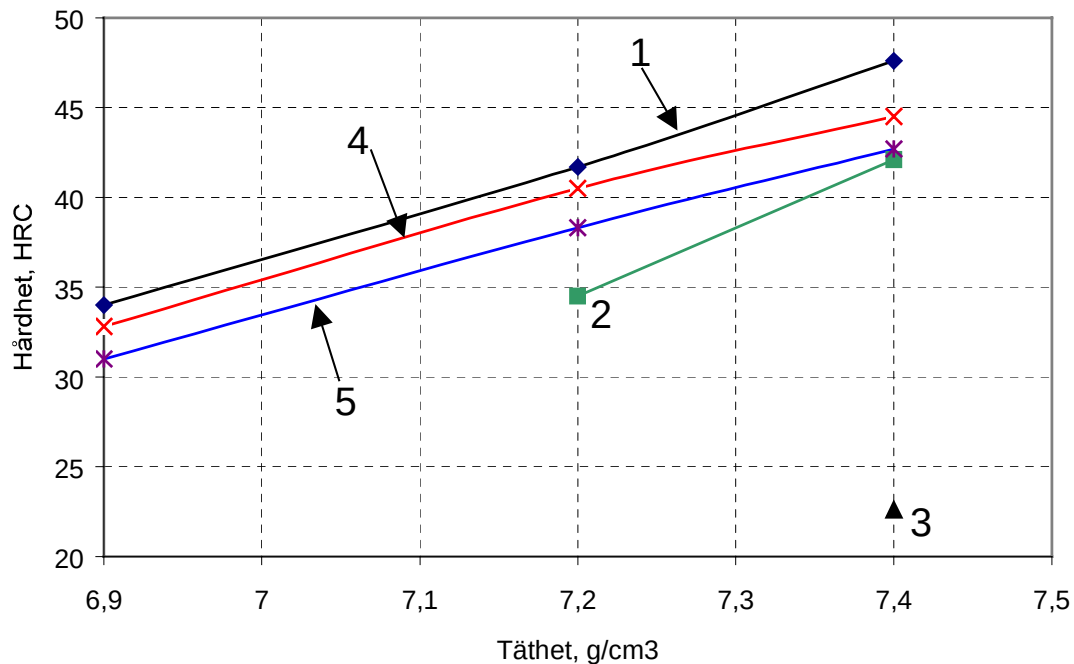


Bild 16 Hårdheter som funktion av sinterstålets täthet vid härdning i vakuum ugn med olika kylningsparametrar.

Kylning med He, försök 1, ger högre hårdhet än med kväve, försök 4, vilket är naturligt. I försök 3 där två lager har använts har hårdheten blivit låg p g a mer gods som ska kylas och att det övre lagret bromsar gasströmmen. Försök 4 och 5 med kvävgas och höga tryck ger den högsta hårdheten även om gashastigheten här är hälften jämfört med de andra försöken. Att Ipsenugnen har en kall kylkammare gör att den kyler effektivare än motsvarande vakuumugn.

3.3 Diskussion

Syftet med försöken, som redovisas i avsnitt 1 och 2, har varit att utreda möjligheten och svårigheterna att öka kylningskapaciteten i sintringsugnen så att sinterhärdning kan genomföras i ett steg.

Följande förutsättningar finns.

- Lufthastigheter på upp till ca 10 m/s är relativt lätta att erhålla med många kommersiella utrustningar. Det medger att dubbelt så tjocka detaljer kan härdas i jämförelse med stillastående luft
- Charegutformningen är en mycket vital fråga och påverkar kraftigt kylningsresultatet. Ett nytänkande behövs inom detta område, men det är inte lätt att kombinera det med en bandugns-konstruktion. Vid användning av vakuumugn är det också viktigt att ta hänsyn till charegutformningen

- Vakuummugnar passar väl för sinterhårdning då sintring, uppkolning och kylning kan genomföras i samma operation. Kylningsmässigt motsvarar de ca 30 m/s i lufthastighet vilket är relativt högt. Nackdelen är deras höga kostnad, men ökad användning inom industrin gör att kostnaden relativt en bandugn bör minska. För sinterhårdning, utan uppkolning, är det möjligt att utveckla enklare vakuummugnar som är direkt anpassade till sinterbranschen.

4 Litteraturreferenser

- [1] Gräfen, W: Advances in Low-Pressure Carburising and Gas-Quenching. Föredrag vid SHTEs konferens "Aktuellt om material- och värmebehandlingsteknik", Västerås 8 - 9 september 1999.