"Powder Metallurgy" — P.M.

powder mixing → pre-alloyed powder → particle

ذرات $d_{ave} < 1^{mm}$ [در متالورژی پودر] ، هر یک ذرات پودر particle می‌گویند.

* خصوصیات متالورژی پودر:

① کیفیت سطحی خوب ② شکل پیچیده ③ دقت ابعادی بالا ④ ارزان‌تر از ریخته‌گری و کارشده

(تا بالا ۲۰ درصد وزنی)

⑤ قطعات کوچک: چون باید فشرده شوند ریزتر شوند. از لحاظ میزان فشار اعمالی محدودیت داریم.

⑥ کنترل بهتر روی میکروساختار: اندازه دانه در حد نانو می‌تواند باشد. در ریخته‌گری هم می‌توانیم ریز کنیم

⑦ معایب قطعات پرس‌دانه‌ای:

Green Compact: بعد از فشردن — Sintered part: بعد از زینتر

چگالی:
- هندسی (ظاهری): theoretical (بر حسب بالک)
- apparent (بر حسب پودر)
- green: بعد از فشردن
- Sintered: بعد از زینتر

هدف در PM: ترکیب شدن به ρ_{th}

کاربیدهای Co-WC که اگر کوچک‌تر شوند چون دانه می‌دهند کاربیدها تجزیه می‌شوند

* علت ارزان بودن P.M.: (برای تولید قطعات درگرداری)

① عدم نیاز به ریختن: T_m ② عدم عیوب ریخته‌گری ③ عدم نیاز به تراشکاری

④ تمیز بودن محیط کار و عدم تلفات ماده ⑤ امکان اتوماسیون خط تولید و افزایش تولید

تخلخل:
- باز: در مواردی که خاصیت روغنکاری بخواهیم، implant ها (Ti_base) و مدول یاستخوان تر
- بسته

قطعه متخلخل را با ریخته‌گری هم می‌توان تولید کرد ولی با متالورژی پودر، تخلخل‌ها کنترل‌پذیرتر بوده و قابل کنترل‌تر بوجود می‌آیند.

پودر ریزتر ← امکان قفل مکانیکی درهم‌گیر زیاد چون سطح زیاد است.

آتمایز کردن یا روش atomization: ذرات پودر در زیر فشار Ar یا H_2 سرد شده و منعقد می‌شوند.

محیط اتمیزه آب ← از کروی شکل دور می‌شویم چون انجماد سریع است.

پرس در محیط سرد و ذرات کروی و هم‌اندازه ← تخلخل بیشتر از حالت ذرات غیرکروی است. با پرس تخلخل ↓

ریشت: $d > 10\mu m$ ریز: $d < 10\mu m$

فهرست درس:
- تولید پودر
- آزمایش‌های بررسی خواص فیزیکی: Flow Rate، توزیع اندازه ذرات پودر، استحکام خام
- متراکم‌سازی: پرس (CCP)، (HIP)
- زینترینگ

یکی از کاربردهای P.M.: (a) تولید آلیاژهایی که فازهای کاربیدی دارند: WC-Co [کاربیدهای سخت]

در فازهای بالک WC تجزیه می‌شود ← P.M. تولید می‌شود. (b) کامپوزیت زمینه فلزی Al/Al_2O_3

تاریخ: P.M. P (2)

شماره سفارش باناکتور: از کاربردهای متالورژی پودر:

① * تولید کاربید سمنتد WC – Co : پودر خالص Co و WC را در mixing ← عنصر و آلیاژ . Co نرم بوده و WC را در خود نگه می‌دارد (مثل چسب) . Co

رسید انبار: تنش زیادی هم دارد : جدا گیری از اتم‌های بزرگ حاصل از ذره در مقاومت فازی WC .

② * کامپوزیت زمینه فلزی :

قرارداد: Matrix: Cu – Mg – Al – Ti

Reinforcement: کاربیدها ، اکسیدها

③ ~~Internal Oxidation~~ : پودر Al در محلول شرایطی برای اکسید شدن Al انجام میشود

شماره پرسنلی: Cu – Al_2O_3 ← Discontinuosly Reinforced Alumina (DRA)

Al : { تقویت شده بازارات یا نوار (ویکرز) / تقویت کننده

$\rho_{app} \sim \frac{1}{3} \rho_{th}$

شرح

* مراحل قالب گیری پودر :

① filling position

② press position [سنبه بالایی (پودر طرف) و سنبه پائینی (ثابت) حرکت کرده و پرس را انجام می‌دهند]

③ ejection position : استقرار پیدا کردن اینکه وقتی سنبه پائینی ثابت ماند آنها برای خروج قطعه از آب بیرون

نام و نام خانوادگی: (compaction ratio) $c = \frac{V_i}{V_f} = \frac{\rho_g}{\rho_a} > 1$

(V_i: حجم قبل از پرس، V_f: حجم بعد از پرس، ρ_g: چگالی بعد از پرس، ρ_a: چگالی ظاهری قبل از پرس)

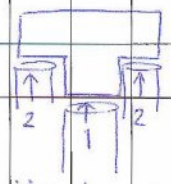
← در غیر اینصورت : نسبت حجم ↑ ، فاصله بزرگتر و سنبه ها هم بزرگتر و حرکت قطعات زیاد و اصطکاک زیاد

یعنی مواقعی c خیلی بزرگ باشد ، مثلا 3 یا 4 کافی است . چیزی که اهمیت دارد

این است که c (در همه جا) به یک نسبت با چگالی در همه جا تغییر یابد .

اگر نمونه (محصول) ارتفاع متفاوتی داشته باشد :

شماره حساب



دو نوع سنبه پائینی داریم .

$c = \frac{V_i}{V_f} = \frac{h_i}{h_f} = \frac{\rho_{\text{محصول}}}{\rho_{\text{ظاهری}}}$

در شرایط m یکسان

if : $h_i = 6$, $h_f = 3$: ① در وقت

با توجه به ارتفاع هایی که باشد

② در وقت $h_i = 4$ باشد

در وقت ② ، h_f باید $\frac{2}{3}$ باشد . تا $c = \frac{4}{2} = \frac{6}{3}$ شود . اگر از یک سنبه استفاده شود .

می گوییم : در وقت ① ، اختلاف ارتفاع 3 $6-3=3$ میشد در وقت ② هم همین

اختلاف ارتفاع را حواهیم داشت یعنی $h_f = 4-3 = 1$ در نتیجه $c = \frac{4}{1} = 4$ در حالیکه در قسمت ① ،

$c = \frac{6}{3} = 2$ است ← چگالی در قسمت 2 بیشتر خواهد بود . (ρ ظاهری یکی است)

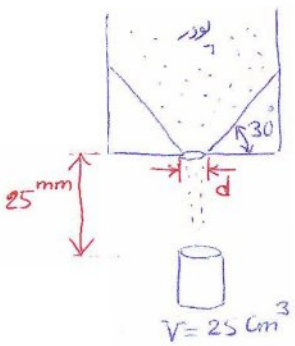
صفحه: ... از ... صفحه

شکل مورد نظر را رسم کنید ↑

متوسط زبری سطح (مقدار متوسط) ... میکرون

P.M. P(3)

* چگالی ظاهری :
$d = 0.1^{in}$ ← Hall Flowmeter
$d = 0.2^{in}$ ← Carney "



وزن ظرف پاشش در حالت پرشدگی کامل ما ترازو خوانده شده

$\rightarrow \rho = \frac{m}{V}$, $V = 25\ Cm^3$, $m = V$ $\rightarrow \rho = V$

عوامل مؤثر روی ρ_{app} :

① شکل ذرات : غیرکروی باشد ← ρ_{app} کم

② اندازه ذرات : ذرات هم اندازه درشت موجب کاهش ρ_{app} می‌شود . ذرات ریز (زیر 5μm) هم ρ_{app} را کم می‌کند چون سطح ذرات زیاد شده و اصطکاک زیاد ← ذرات ایجاد پل می‌کنند و فضای خالی ایجاد می‌شود ← ذرات نانو هم ریز و هم ارتینت باشد .

③ رطوبت

④ صافی سطح ذرات ← مؤثر در میزان اصطکاک .

Carney ← برای پودرهایی که براحتی پاشش نمی‌آیند مثل مرطوب نباشد .

---

* نرخ روانی : (Flow Rate) یا (میزان سیالیت) :

از Hall flowmeter استفاده می‌شود . زمان ریزش پودر را اندازه می‌گیرند برای مقدار خاصی پودر . t

یعنی F.R. ↓ و سرعت تولید ↓ .

---

* تعیین چگالی حجم (نمونه‌های تحکیم) :

$m < 100^{gr}$ ← دقت : 0.001 gr
$m > 100^{gr}$ ← " : 0.01 gr

برای نمونه شکل ساده و غیرمتخلخل : $\rho = \frac{m}{V}$

برای نمونه شکل پیچیده و غیرمتخلخل : $\rho = \frac{A}{A-B}\rho_W$

A : وزن نمونه (خشک) در هوا
B : وزن نمونه (خشک) در آب
ρ_W : چگالی سیال

ارشمیدس = $W(a) - W(\beta) = V_{نمونه} \times \rho_W$
($W(a)$: وزن نمونه در هوا ، $W(\beta)$: وزن نمونه در آب)

$V_{نمونه} = \frac{W(a)}{\rho_{نمونه}} = \frac{W(a)-W(f)}{\rho_W} \rightarrow \rho = \frac{W(a)}{W(a)-W(f)}\rho_W$

شکل پیچیده ← V براحتی بدست نمی‌آید ← از ارشمیدس استفاده می‌کنیم .

برای نمونه متخلخل قبل از زیرینگ : $\rho_G = \frac{A\rho_W}{B-(C-E)}$

A : وزن نمونه بدون روغن (خشک) در هوا
B : وزن نمونه حاوی روغن (تر) در هوا
C : وزن نمونه حاوی روغن (تر) در آب + وزن سیم
E : وزن سیم در آب

میزان تخلخل (بسته) $= \left(1 - \frac{\rho_{حجم}}{\rho_{تئوری}}\right) \times 100$
$= \left(1 - \frac{\rho_G}{\rho_s}\right) \times 100$

ضمیمه سند :

تاریخ :

لیست پیوست کلینگ حسابهای "معین"

صفحه :

P(4)

تاریخ

شماره سفارش بالاکتور

رسید انبار

قرارداد

شماره پرسنلی

شرح

نام ریز حساب

جمع

شماره حساب

حجم روغن = $\frac{B-A}{S}$ ، حجم نمونه = $\frac{B-(C-E)}{1}$

درصد تخلخل باز = $\frac{B-A}{[B-(C-E)]} \times 100 = \frac{\frac{B-A}{S}}{\frac{B-(C-E)}{1}}$ (S: دانسیته روغن)

دانسیته روغن = $1 \frac{gr}{cm^3}$

Dry density : روغن خارج شده / نمونه خشک $= \frac{A}{B-(C-E)} \times \rho_w$

Wet density : روغن جذب شده / نمونه مرطوب $= \frac{B}{(B-(C-E))} \times \rho_w$

* برای نمونه های تخلخل باز، آزمایش فشاری گزارش می شود.

* Densification Parameter

ρ_{th} را از 100% پیرکس یا از عدد داده شده، ρ_s و ρ_g را درصدی از ρ_{th} محاسبه کنید. مثلاً اگر $\rho_s = 87\%$ شود یعنی 87% آن عدد

$$\text{خام} = \frac{\rho_g - \rho_a}{\rho_{th} - \rho_a}$$

$$\text{پخت} = \frac{\rho_s - \rho_g}{\rho_{th} - \rho_g}$$

ρ_g : دانسیته نمونه بعد از پرس ρ_a : دانسیته قبل از پرس ρ_s : دانسیته نمونه بعد از زینترینگ

دانسیته مخلوط : $\rho_1 \times Vol\%(1) + \rho_2 \times Vol\%(2)$

* تغییرات ابعادی (میزان انقباض پس از زینتر) :

بیشترین بعد نمونه بعد از زینترینگ : l_f

بیشترین بعد قالب : $l_{Die} = l_0$

بعد از زینترینگ، انقباض داریم پس $l_f < l_0$ (مخلوط)

$l_f = l_0 - \Delta l = l_0 \left(1 - \frac{\Delta l}{l_0}\right)$

$\Delta l = l_0 - l_f$

$l_0 = \frac{l_f}{(1 - \frac{\Delta l}{l_0})}$

Dimensional Change $= \frac{\Delta l}{l_0} \times 100$

حجم پس از زینترینگ / حجم نمونه خام

$\frac{\rho_G}{\rho_s} = \frac{V_f}{V_0} = \left(\frac{l_f}{l_0}\right)^3 = \left(1 - \frac{\Delta l}{l_0}\right)^3$

$\frac{\rho_s}{\rho_G} = \frac{1}{(1 - \frac{\Delta l}{l_0})^3}$

درصد انقباض : $\frac{\Delta l}{l_0}$

حین خروج نمونه از پرس، Spring back داریم (تغییر فرم الاستیک) که در رابطه دیده نمی شود. با داشتن ابعاد نهایی نمونه می توان آن را محاسبه کرد.

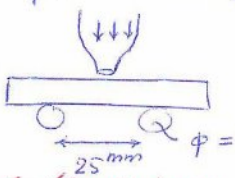
پس Δl کوچکتر خواهد شد چون l_f بزرگتر می شود.

l_0 (l_{Die}) $= \frac{l_f}{(1 - \frac{\Delta l}{l_0})}$

* تعیین استحکام خام (green) و نمونه زینترشده (TRS):
Transverse Rupture Strength

نمونه استاندارد داریم: 31.75 × 12.7 × 6.35

بصورت bending انجام می‌دهیم.



$P = \frac{F}{A}$ ← نیروی پرس

عدد فشردن پودر برای تبدیل نمونه خام (Compression Pressure)

$A = 31.75 \times 12.7$

$S = \frac{3}{2} \frac{F \times L}{t^2 \cdot W}$ ← استحکام نمونه یا زینترشده

F: نیرو قبل از شکست که توسط دستگاه تحمل می‌شود (max)

t: ضخامت، W: عرض

با تغییر ابعاد نمونه اگرچه L, W, t تغییر می‌کند اما S ثابت است چون F هم تغییر می‌کند (متناظر).

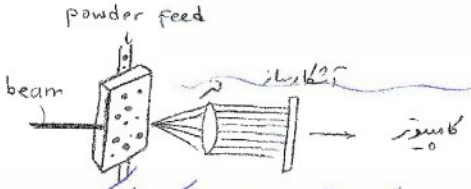
TRS: استحکام نمونه زینترشده است.

---

* برای خروج نمونه از پرس از lubricant استفاده می‌کنیم: بصورت پودر مخلوط شده با پودر اصلی [درصد وزنی آن ابتدا 0.5_3 wt% باشد چون دانسیته کمی دارد و حین زینترینگ خروج راحت و ایجاد تخلخل می‌کند] یا به جداره قالب زده می‌شود. اصطکاک را کم می‌کند.

---

* Laser Particle Size Analyzer:



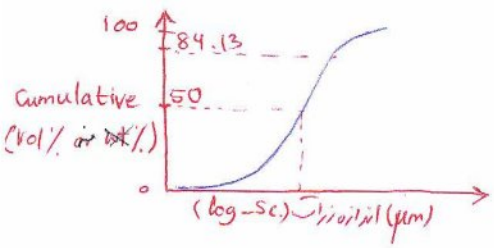
وقتی ذرات خیلی ریزتر از mesh آب باشد، خطا رخ می‌دهد چون ممکن است ذرات با آب گیر کنند و سوراخ آن بسته شود و خطا رخ دهد.

سیستم دستگاه:
- تر ← پودر در مایع (آب مقطر استون) ← پودر باید محلول باشد یا یک جزء (پودر باید دی اگلومره باشد)
- خشک ← پودر در جریان گاز خنثی

اساس کار: برخورد نور لیزر (He, Ne, ...) به پودر معلق است: نور پراکنده شده از اثر برخورد با ذرات به توسط لنز به آشکارساز جمع شده و توسط کامپیوتر آنالیز می‌شود و توزیع اندازه ذرات را بدست می‌دهد.

Small particle → زاویه پراکندگی بزرگتر می‌شود

Large particle → " " کوچکتر " " "



شدت نور رابطه مستقیم با قطر ذرات دارد.

- عدد متناظر 84.13 را بر عدد متناظر 50 تقسیم می‌کنیم: اگر = 1 نزدیک باشد ← ذرات پودر هم اندازه‌اند.

توزیع اندازه ذرات پودر روی خواص جریان‌پذیری پودر اثر دارد و در نتیجه روی پرس قالب و زمان آن اثر خواهد داشت. پودر ریز ← جریان کمتر به دلیل اصطکاک بیشتر.

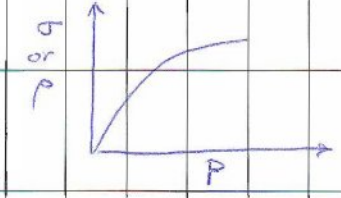
صفحه : تاریخ : صمیمه سند :

لیست پیوست کدینگ حسابهای "معین"

تاریخ			
شماره سفارس یا فاکتور			
رسید انبار			
قرارداد			
شماره پرسنلی			
شرح			
نام ریز حساب			
شماره حساب			

P(6)

با افزایش فشار پرس ، ρ و σ زیاد می‌شود.



رابطه‌ی P و σ : Compactibility

" P و ρ : Compressibility

* افت هیدروژن :

برای تخمین میزان اکسیژن همراه با پودر، تخمین بسیار خوب استفاده می‌شود.

درصد افت هیدروژن بیشتر باشد ← اکسیژن بیشتری داخل پودر است که ناخواسته است چراکه ناخالصی و اکسیداسیون زیاد می‌شود.

وزن نمونه پس از احیا + فاقدک وزن نمونه اولیه + فاقدک

$$H_2 \text{ loss} = \frac{A - B}{C} \times 100$$

C ↓ وزن نمونه اولیه

3^{mm} دورن فاقدک می‌ریزیم ← $30^{min} - 60^{min}$ در معرض گاز هیدروژن ← تغییرات جرمی ← میزان افت هیدروژن بدست می‌آید. یعنی اکسیدهای پودر احیا می‌شود و اکسیژن آن خارج می‌شود

خطا : برخی اکسیدها احیا نمی‌شوند : MgO ، Al_2O_3

پودر رطوبت داشته باشد.

وجود مواد فرار در پودر که کاهش وزن ایجاد می‌کند.

تذکر : lubricant های مورد استفاده در Mechanical Alloying در طول تهیه پودر ، با نمونه‌ها مخلوط شده و سایش ایجاد می‌شود ؛ برای جلوگیری از این کار

سرد پودرها از این مواد استفاده می‌شود.

(PCA) : Process Control Agents (مواد کنترل کننده فرایند)

موادی که موجب می‌شوند فرایند خردشدن بهتر صورت گیرد [کاهش اصطکاک بین ذرات

نمونه و جداره و سنبه] پودرهای ریز تبدیل به درشت‌تر می‌شوند

Mechanical ← alloying

milling ← پودرها فقط مکانیکی درگیر می‌شوند

اگر فقط پرس کنیم ← بهبود خروج از قالب و کاهش اصطکاک و جلوگیری از هدر رفتن

مخلوط پرس با lubricant انجام می‌شود. حتماً بنابر

$$W_L = \frac{(1-f)\rho_L}{(1-f)\rho_L + f\rho_p} \quad \text{(Weight \%)}$$

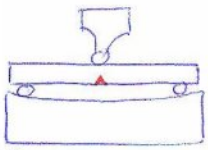
استفاده کرد چون روی خواص اثر می‌گذارد.

چگالی پودر از پرس (G) / ρ_{th} ← f : fractional density

ρ_L : Lubricant density

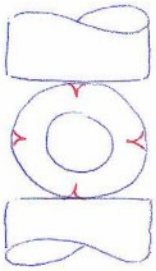
ρ_p : Powder density

○ فشار تراکم روی استحکام نمونه خیلی موثر است. تست های اندازه گیری استحکام:



تست خمش سه نقطه (گسیختگی عرضی)

(a)



(b)

تست خوردشدن شعاعی برای نمونه های استوانه ای

اگر استحکام نمونه زیترشده خیلی بالا باشد، بجای تست های بالا، تست کشش انجام می دهند.

F : نیروی متمایل توسط مته قبل از شکست

(b) → $k = \frac{F(D-T)}{LT^2}$ (D: قطر، T: ضخامت، L: طول مته)

---

* تولید پودر : Powder Production

1- Powder Production Via Atomization } اتمیزه آبی / اتمیزه گازی

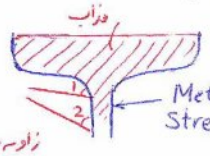
روش صنعتی تولید پودر است. فلز مذاب در معرض جت هایی که هدایت کننده گاز یا آب هستند، قرار می گیرد.

اساس: تولید ذرات و شدن مذاب ذرات ریز.

برخی پودرها را با تبخیر یا اتمیزه گازی تولید نمود. مذاب می تواند آلیاژی باشد و چون انجماد سریع داریم می توانند محلول فوق اشباع هم تولید شود. سرعت انجماد زیاد است ← ساختار ظریفی دارند.

* مزایای روش: ① امکان پودر آلیاژی ② عدم تبعیت از محدودیت های حد حلالیت و فوق اشباع شدن

③ ساختار ظریف و ریزدانه ④ پارامترهای قابل کنترل فرایند: فشار مذاب، زاویه برخورد جت با مذاب، دمای مذاب و ...



زاویه برخورد جت گاز اتمیزه کننده - مذاب

می توان اندازه، شکل و ترکیب شیمیایی پودر را کنترل کرد.

اتمیزه آبی ← شکل پودر نامنظم است و از حالت کروی دور می شود. پودرها معمولاً سریعاً در اثر برخورد با آب اکسیده می شوند.

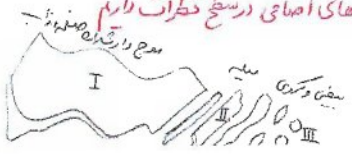
(A.R.) aspect ratio: نسبت بزرگترین بعد پودر به کوچکترین آن

برای کره A.R. = 1 . برای پودر معمولاً A.R.<5 است.

اتمیزه گازی ← شکل پودر کروی می شود که به سرعت سرد شدن مذاب ربط دارد. گاز با برخورد به Metal Stream (شکل بالا) انرژی جنبشی خود را به آن می دهد و به صفحات نازک، بعد سیلیم های نازک و بعد ذرات بیضوی و بعد ذرات کروی تبدیل می کند.

سرعت سرد شدن قطرات در اتمیزه گازی از آبی کمتر است ← نیروهای سطحی و کشش سطحی، مذاب را به کره تبدیل می کند.

نیروهای اصطکاکی در سطح قطرات داریم



با افزایش فشار، قطر متوسط ذرات کمتر می شود.

فشار و سرعت گاز با قطر پودر تحصیلی، نسبت عکس دارد.

ادامه در P(1*).

ضمیمه سند :

تاریخ :

لیست پیوست کدینگ حسابهای "معین"

P(8)

تاریخ | شماره سفارش یا فاکتور | رسید انبار | قرارداد | شماره پرسنلی | نام و شرح حساب | شماره حساب | بدهکار | بستانکار

* ارتفاع برج اتمیزه آبی کمتر از اتمیزه گازی است بعلت سرعت سردشدن بیشتر اتمیزه آبی .

کوره ذوب { القایی ← بعلت ارتعاش مذاب / مقاومتی ← کوره در خلأ تا اکسیژن نباشد

استوانه روش گازی باریک تر است اما طول بیشتری دارد .

تولید پودر به روش اتمیزه
① آبی
② گازی
③ الکترود گردان (REP)
④ سانتریفیوژی ← مذاب روی یک دیسک گردان ریخته می شود

در اتمیزه گازی وقتی گاز زیر مذاب می رسد ، مخروطی از مذاب ایجاد می کند : حالت موجی روی مذاب ایجاد می کند ← نوارهایی از مذاب ← بیضی ← کروی .
(مخروطی شکل)

ص 16 جزوه صفحه :

زاویه جریان اتمیزه کننده و مذاب

Free Fall (سقوط آزاد)

Confined (محدود) ← جریان مذاب آنازمانی که با سیال اتمیزه برخورد کند در قطعاتی محدود می شود

در Confined : گاز از همان اول پیرامون مذاب خارج می شود و قطرات حاصل کوچکتر خواهند بود چون بیشتر نیروی خارجی دارد تا نیروی کشش . اما ممکن است سوراخ های پاشش یا هدایت کننده گاز مسدود شوند .

در اتمیزه آبی بیشتر از Freefall استفاده می شود .

در Freefall بیشترین نیروی برش برای اتمیزه کاربرد دارد در این حالت مذاب قبل از اتمیزه شدن کشیده می شود .

در اتمیزه آبی ، وقتی آب به مذاب برخورد می کند ، حباب گاز ایجاد می شود که می تواند مذاب را پراکنده کند .
هر مذاب که باشد ← با نیروی فشار گاز به پائین می آید و گرنه تحت نیروی ثقل . در اتمیزه گازی ، اغتشاش در اثر انبساط گاز ایجاد می شود .
اتمیزه گازی معمولا بصورت مخروط با زاویه ی بزرگ است [ص 16 شکل 7]

حالت مطلوب در اتمیزه ، ذرات کروی و عاری از هم (دی اگلومره) است .

* پارامترهای مؤثر : { قطر پاشش : باید جریان مذاب زیاد باشد .
محل خروج پودر باید از پاشش باشد .
موردهای خیلی ریز (fine) می توانند با جریان گاز خروجی بروند و در cyclone جمع آوری شوند .

اتمیزه { اولیه / ثانویه ← اگر سرعت گاز زیاد باشد و انجماد صورت نگیرد ، در قسمت های پائین تر هم اتمیزه صورت می گیرد و ریز می شود . در اتمیزه آبی ، اتمیزه ثانویه نداریم .

در اتمیزه گازی چون مذاب فرصت بیشتری برای انجماد دارد ، در اثر کشش سطحی ، کروی تر و کشیده می شود تا اتمیزه آبی .

تولید پودر کروی { تولید قطعات صنعتی / قطعات متخلخل

صفحه :

$$d_m = d_t \cdot k \left[\frac{V_m}{V_g} \cdot \frac{1+\left(\frac{M}{G}\right)}{We} \right]^{1/2}$$

(d_m قطر متوسط ذرات) d_t: قطر Metal Stream V_g: ویسکوزیته گاز V_m: ویسکوزیته (سینماتیک) فلز

$$\frac{1}{We} = \frac{\sigma}{V^2 \rho d_t}$$

σ: کشش سطحی مذاب — d_t: قطر جریان مذاب — ρ: دانسیته فلز — V: سرعت گاز اتمیزه کننده

$$V = \frac{G}{S \cdot \rho_g}$$

G: آهنگ جریان گاز بصورت جرمی — S: سطح باریکی که گاز از آن خارج می شود — ρ_g: دانسیته گاز

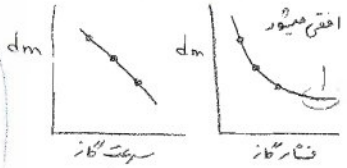
$$\longrightarrow d_m = d_t \cdot k \left[\frac{V_m}{V_g} \cdot \frac{\left(1+\frac{M}{G}\right)}{G^2 \cdot \rho \cdot d_t} \cdot \sigma \cdot S^2 \cdot \rho_g^2 \right]^{1/2}$$

M: جریان مذاب (از تغییر قطر سوراخ مذاب تغییر می کند)

$$G = \left(\frac{G'}{1000} \cdot \rho_g \right) / 1000$$

G: mass flow rate (kg/sec) — G': gas flow rate (L/min)

سرعت گاز ↑ ← d_m ↓

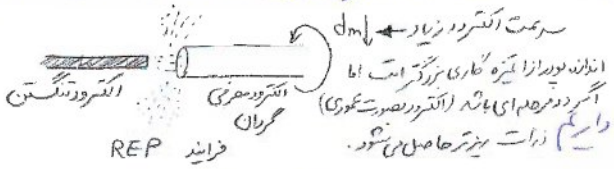


محدودیت در تولید پودر با d_m خیلی کوچک داریم. خواص پودر تولیدی از لحاظ درصد خلوص بخاطر به کاربردن گاز خنثی یا وجود جذب است روی مذاب.

می توان از اتمیزه دومرحله ای استفاده کرد: مذاب بصورت رشته ای وارد قطعه شده، در اثر نیرو گریز از مرکز، بیرون می شود. (الکترود گردان)

* فرایند الکترود گردان: (REP)

الکترود مصرفی همان فلزی است که می خواهیم پودر شود. الکترود دیگر تنگستن است. بین دو الکترود قوس ایجاد می کنیم ← با چرخیدن الکترود، قطرات تشکیل شده در نوک الکترود، به ذرات ریزتر تبدیل می شود. محیط اطراف، گاز خنثی کننده است. الکترود بصورت افقی وارد می شود. ممکن است الکترود عمودی باشد و قطرات روی صفحه دیگری که چرخان است، بپاشد و سپس ریزتر شوند.



محدودیت در سرعت الکترود و کوچک کردن d_m داریم ← دو مرحله ای کار می کنیم.

---

* برای قطعات صنعتی (بدون تخلخل با خواص مکانیکی بالا) پرس گرم استفاده می شود. در پرس سرد پودرهای کروی با اندازه کافی تغییر شکل نمی دهند ← فضای خالی پر نمیشود و بعد از زینتر هم باقی می ماند (برخلاف پرس گرم) ← استحکام پرس گرم ↑.

* در پرس سرد، ذرات ریزتر از 44 μm مایلی بیشتر از 25٪ دارند.

آسیاب مکانیکی: Mechanical Milling

یکی از روش های تولید پودر است که ماده اولیه بصورت جامد بوده. بیشتر برای پودرهای سرامیکی مطرح است تا پودر فلزی.

برای فلزات نرم می توان پودر به روش مکانیکی تولید کرد. مواد اولیه ذرات درحد mm خرد میشوند ← خردشدن بین دو صفحه فلزی (مانند دار و خرد کردن) : Crushing (hammer mill)

صمیمه سند :

تاریخ :

صفحه :

لیست پیوست کدینگ حسابهای "معین"

تاریخ	شماره سفارش یا فاکتور	رسید انبار	قرارداد	شماره پرسنلی	شرح	نام ردیف حساب	جمع	شماره حساب
P(10)								

راندمان بازدهی آسیاب : میزان انرژی که به پودر منتقل است و سرعت ترکار را می‌کند.

حالت ایده‌آل : کل 50٪ حجم با گلوله پر شده باشد: گلوله + پودر

نیروهایی که در Ball mill ← نقش دارد میشود ← نیروهای فیزیکی - سایشی
" برشی
" فشاری

سن ذرات ریز، اصطکاک زیاد پودر و سایش زیاد است.

* یکی از پارامترهای مؤثر در آسیاب‌سازی مکانیکی (Mechanical Alloying (MA)) BPR است. یعنی Ball-to-Powder Ratio : ↑ BPR ← انرژی بیشتر به مواد می‌رسد و زمان را کم می‌کند ← سایش کم میشود و خیلی مطلوب است.

گلوله‌ها معمولاً در ابعاد و اندازه‌های مختلف (ریز و درشت) : حرکت آشفته‌تر و کارآمدتر و سریع‌تر انجام میشود.

50٪ حجم توسط گلوله پر میشود. اتمسفر Ball Mill گاز خنثی یا H_2, N_2 است

PCA : همان lubricant است. نقش: به سطح ذرات چسبیده ← پودر می‌تواند بیشتر شود و از اگلومره شدن جلوگیری می‌کند. [از روی تنش سطحی]

اگر ذرات تر و باشند، عود می‌شوند بر خلاف ذرات راکتیو که تغییر فرم می‌دهند و لایه لایه می‌شوند.

هر زمان بزرگتر از اندازه بحرانی شود که در این حالت Cold Welding می‌گویند.

← در زمان‌های اولیه آسیاب، ذرات به هم می‌چسبند و قطر ذرات بزرگتر از قبل می‌شود و با انجام کار سرد روی ذرات، کارسختی (Strain Hardening) رخ داده و ذرات ترد، شکننده و لایه لایه می‌شوند.

* دوار PCA هیدروکربنی هستند. از یک طرف جذب پودر می‌شوند و از طرفی حضورشان کربن به پودر می‌دهد و کاربید (ترد) ایجاد می‌کند.

ذرات درشت ریز میشوند، سطح زبر شده و هم جوش می‌خورند.

* کارسرد آسیاب مکانیکی:
① آلیاژسازی مکانیکی ② کاهش قطر ذرات پرداختی و غیر فلزی

[نکته: پودر نرم با گلوله [ذرات نرم و راکتیو] ← طی آسیاب تغییر فرم می‌دهد و خیلی ریز می‌شوند]

و PCA هم نرم می‌کردن است؛ اگر ذرات ترد باشد با آسیاب + PCA می‌توان به نانو رسید]

③ فرآیند پودر روی ذرات پودری دیگر : کاربیدهای سخت

④ کامپوزیت‌سازی (Al - SiC) 10٪ vol. Matrix 90٪ vol.

⑤ شناورکردن آلیاژ روی زمینه (ODS)

مرحله‌ی Mixing و Milling روی ساختار زمینه خیلی تأثیرات می‌گذارد. [عمدتاً] (clustring)

می‌خواهیم ذرات SiC پراکنده شوند.

P.M. P(II)

قرار دادن Al_2O_3 در زمینه Cu ← آلیاژسازی مکانیکی نیست بلکه آلیاژ مکانیکی است. [ODS] ابتدا اولیه Mixing و بعد در آلیاژ قرار می‌دهیم. چون تبادل اتم صورت نمی‌گیرد.

* در آلیاژسازی مکانیکی، تبادل اتم داریم:

$$Cu - [Al] + Cu_2O \xrightarrow{M.A.} Al_2O_3 + Cu$$

پودر خالص Cu — پودر Al خالص 1% wt

با XRD می‌توان تشخیص داد: پیک XRD این می‌شود چون:

① انبساط در شبکه در اثر حل شدن عنصر دیگر.
② اندازه را کوچکتر به دلیل مرزهای فرعی.
③ با حل شدن Al در Cu بتش بالا رفته و جای‌های زیادی می‌شود. یا با کار سرد انجام شده تنش بالا می‌رود.

در حین آلیاژ Cu_2O احیا می‌شود و O را به Al می‌دهد و Al اکسید می‌شود و از شبکه خارج می‌شود و Cu زمینه خالص می‌ماند و روی آن Al_2O_3 شکل می‌گیرد.

در نتیجه شبکه انبساط خودش را از دست می‌دهد و پیک آن‌های Cu خالص برمی‌گردد و زاویه بزرگترین پیک به سمت θهای بزرگتر برمی‌گردد.

Al_2O_3 Vol. % زیاد باشد، پیک آن را در XRD می‌بینیم.

آلیاژ مکانیکی: مخلوط کردن پودر Cu و پودر Al_2O_3،

روش دیگر آلیاژسازی مکانیکی Cu و Al: ذوب هردو ← نوع ← درشت تارک‌تر ایجاد کرده ← حرارت می‌دهیم تا O_2 نفوذ کرده به وسط ورق هم برسد و با Al واکنش دهد. (Internal oxidation Casting)

(ما را با لانگدن داریم تا هم جا گیر نشود و زمان هم می‌دهیم تا استحکام بالا برود. ذوب حاصل را می‌توان اتمیزه کرد تا پودر آلیاژی تولید شود.)

حلالیت Al در Cu زیاد است لذا درصد Al را کم می‌گیریم تا Al_2O_3 کمتر باشد.

پودر Al (0.8% wt) + پودر Cu

↓

آلیاژسازی (96 hr) در آسیاب

↓

deformation (Flattening) ← در اثر کار سرد و کارگیری ورق شده و می‌شکنند و ریزتر می‌شوند. (Fracturing)

پدید آمدن تودهای لایه لایه که هم جوش می‌خورند (Welding)

(چون سطح تمیز شده است) → rewelding (ناخواسته)

برای جلوگیری، از اکل، استون و... استفاده می‌شود.

شرایط آلیاژشدن: تماس خیلی نزدیک ذرات با هم و ریز شدن ذرات، مرزدانه زیاد می‌شود و محل ع‌ی اتمال اتم زیاد می‌شود: بین دو و تنش بالا است.

اکل و استون از ابتدا افزوده می‌شوند و جلوی rewelding را می‌گیرند. [مخصوص برای پودر داکتیل]

بعد از آلیاژسازی پودر اکسیدات Cu_2O اضافه می‌کنیم ← $Cu + Al_2O_3$

* Mechanochemical Synthesis: آسیاب کردن همراه با انجام واکنش شیمیایی:

$$Al + C \longrightarrow Al_4C_3 + Al\,(matrix)$$

[Al_4C_3 واکنش رخ می‌دهد در زمینه پخش می‌شود]

ضمیمه سند :

تاریخ :

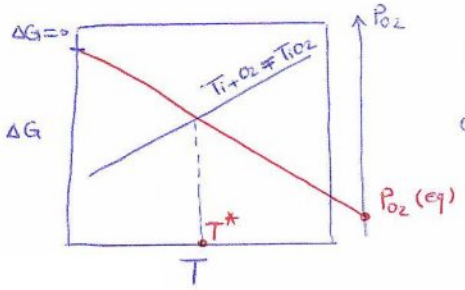
لیست پیوست کدینگ حسابهای "معین"

صفحه :

شماره حساب	نام ریز حساب	شرح
	تاریخ	$Cu[Ti] \xrightarrow[+O_2]{P(12)\ argon} Cu + TiO_2$; Ti از شبکه Cu خارج شده و با O_2 واکنش می‌دهد.
	شماره سفارش بالاکنور	پودر آلیاژی دوباره وارد آسیاب میشود
	رسید انبار	* Double Milling / Double Mechanical Alloying : ابتدا آلیاژسازی مکانیکی (Milling) انجام می‌دهیم ← ریز شدن ذرات ، درهم رفتن ذرات
	قرارداد	← ایجاد تماس بیشتر ← عیب جوانی پودر گهان حالت پودر ← تشکیل ترکیبات بین فلزی
	شماره پرسنلی	← مواد دوباره در آسیاب [جهان ترکیب] ← دانه‌ها کوچک می‌شوند.
	شرح	با انجام M.A. روی مواد پودری در رزینترینگ ، فرایند راحت‌تر میشود . چون با اعمال ضربه و انرژی داخلی ، ضایعات داده‌ایم و فعال شده‌اند
	نام ریز حساب	طول موج اشعه X ; grain size : D = 10-100 nm ; $D = \frac{0.9\lambda}{B\cos\theta}$ (معادله شرر) ; B : پهنای پیک max در وسط پیک ; θ : زاویه براگ ; (در وسط پیک قرار دارد و کوچکترین عضو تشکیل دهنده است) ; $\beta_s = \frac{0.9\lambda}{D\cos\theta} + 2\varepsilon\tan\theta$ (Wiallumsoun-Hall معادله) ; β_s : پهنای پیک اصلاح شده در وسط پیک max ; grain size ; کرنش داخلی شبکه ; $B_s\cos\theta = \frac{0.9\lambda}{D} + 2\varepsilon\sin\theta$
		جمع $B_s\cos\theta$ برحسب $\sin\theta$ خطی میشود.
		$B_s^2 = B_e^2 - B_i^2$; B_e : مربوط به پودر آنیل شده ; B_i : مربوط به پودر آسیاب شده (یعنی آلیاژی شده و کار مکانیکی شده)
		در زمان مختلف ، B_s و θ های مختلف داریم و خط راست می‌گیریم با این D متغیر است.
		$B_s\cos\theta$ برحسب $\sin\theta$: خطی می‌شود.
		* تولید پودر فلزی ، روش احیاء اکسید (Oxide Reduction):
		ماده اولیه اکسید پودر فلزی [پودر اکسید فلزی] ، ماده واکنش داد اگر به صورت پودر باشد بهتر است.
		$M + O_2 \rightarrow MO_2$; $\Delta G_i^\circ = -RT\ln K = RT\ln P_{O_2}$; MO_2 خود خود ، M تبدیل میشود ، از یک عامل احیایی باید استفاده کرد : $CO_2 - H_2 - CO$
		و واکنش‌ها هم باید انجام شود.
		اکسید فلز ابتدا خود میشود.
		آلیاژی ◎ / اجزا بصورت ناقص : احیایی

ضمیمه سند :

با داشتن T و ΔG° ، P_{O_2} بدست می‌آید. از دیاگرام الینگهام نیز می‌توان استفاده نمود.



$P_{O_2}=0.2\,atm$ در شرایط محیط ولی P_{O_2} (تعادلی) معمولاً برای فلزات در حدود $10^{-8}\,atm$ است ← اکسیدها در شرایط محیط پایدارتر هستند ← نیاز به عامل احیاکننده داریم مثل CO.

$$2CO + O_2 \longrightarrow 2CO_2$$

$$\Delta G^\circ = -RT\ln\frac{P_{CO_2}^2}{P_{O_2}\cdot P_{CO}^2} = 2RT\ln\left(\frac{P_{CO}}{P_{CO_2}}\right) + RT\ln(P_{O_2})$$

با داشتن T، ΔG° و P_{O_2} از دیاگرام الینگهام، $\left(\frac{P_{CO}}{P_{CO_2}}\right)$ بدست می‌آید.

$$MO_2 + 2CO \longrightarrow M + 2CO_2 \qquad \Delta G^\circ = -RT\ln\left(\frac{P_{CO_2}}{P_{CO}}\right)^2 = 2RT\ln\left(\frac{P_{CO}}{P_{CO_2}}\right)$$

شرط احیا شدن: $\frac{P_{CO}}{P_{CO_2}}$ بزرگتر از عدد محاسبه شده باشد [در روابط بالا]

در این روش، فلزات‌های مرکزی پودر ممکن است احیا نشود؛ چون گاس، عامل احیاکننده ندارد. ادامه صفحه P(2*)

---

* تولید پودر فلزی به روش الکتروشیمیایی: (Electrodeposition)

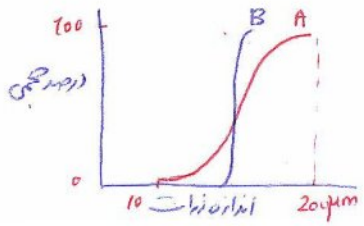
یک محلول با غلظت کم، آمپر بالا درنظر گرفته، اسیدیته بالا و حجم زیاد کم داشته باشیم تا توده‌ی متخلخل روی کاتد بنشیند. یکی از الکترودها هم می‌تواند الکترود مثل سولفات سرب ← می‌توان جریان کمتر در نظر گرفت. با تنظیم پارامترهای مثل: غلظت یون مورد نظر در محلول، pH، T، زمان، حجم الکترولیت، ولتاژ، شدار کاتد و آند، اندازه کاتد و آند، فاصله آند و کاتد، اندازه حمام می‌توان پودر در اندازه نانو هم تولید کرد. ادامه صفحه P(2*)

متراکم‌سازی پودر: Consolidation

1- زینتر پودر: loose Sintering (Pressureless Forming)

فقط با حرارت دادن و بدون اعمال فشار در قالب و اتمسفر خنثی و زمان کافی. پودر شبیه به قالب (یا st. st. یا گرافیتی) چسبیده. روی سطح st. st. Cr_2O_3 داریم.

محصول متخلخل و هم‌شکل با قالب است. اندازه تخلخل، اندازه پودر و ... است. پودر معمولاً کروی و هم‌اندازه استفاده می‌شود.



پودر B توزیع گسترده‌ای دارد و ذرات ریز با هم اندازه‌اند. برای قطعات متخلخل حالت B مناسب است ولی مشکل آن اکسیداسیون ذرات است. اکسید حین زینترینگ احیا میشود و زینتر می‌شود ← پودر خالص

صمیمه سند :

تاریخ :

لیست پیوست کدینگ حسابهای "معین"

تاریخ	شماره سفارش یا فاکتور	رسید انبار	قرارداد	شماره پرسنلی	شـــــرح	نام ریز حساب	جمع

آلیاژهای پایه آرتر هنی در سنتر رینگ هم احیانا نمی‌شود و از تماس مستقیم فلز با فلز جلوگیری می‌کند و اعمال فشار هم نداریم تا خورد شوند.

مشکل رینگر روش بدون فشار: چون اعمال فشار نداریم، باید با قالب در کوره سنتر قرار بگیرد و ← ممکن است قالب بچسبد ← با اعمال فشار جزئی، تخلخل را کم کرده و قطعه را از قالب بیرون می‌آوریم و در کوره سنتر قرار می‌دهیم. میزان فشار هم جزئی و در حد ثانیه است.

2- روش‌های سرد: "Cold forming" یا "Room. Temp."

1- پرس سرد: قالب شبیه تغییر فرم پلاستیک بدهد و الاستیک هم باید کم باشد.

2- پرس ایزواستاتیک سرد (CIP)

3- نورد سرد (Rolling)

3- روش‌های گرم: Sinter + Pressure

در دمای T_s (زینترینگ) اعمال فشار هم داریم. قالب شبیه تغییر فرم دهد و شوک حرارتی ببیند.

1- پرس گرم (hot pressing): قالب وسیله گرانقیمتی است.

2- پرس ایزواستاتیک گرم (HIP)

3- نورد گرم (Hot Rolling)

* پرس سرد:

هدف تراکم قطعه با حفره‌گیری و واکنشی باید به حد قطعات کار شده است.

ساختار زینتری دارد (دو حد قطعات کار شده) خواص مکانیکی دارد

(70-80%) ρ_{th}

ρ

ρ_{app} چگالی ظاهری

Compact Pressure

غیر خطی است چون ذرات دورریخت هم جا می‌شوند.

$\ln(\frac{1}{1-D})$

P

برای HIP ← رابطه‌ی Heckel : $P = \frac{1}{k} \ln\left(\frac{1}{1-D} + B\right)$

برقرار است: ایزواستاتیک

در P برابر، D بیشتر از پرس

میشه‌ورنات را هم چک داریم. در پرس اصطکاک داریم و بازدهی کمتر است.

چگالی نسبی $= \frac{\rho_G}{\rho_{th}}$ دانسیته خام (ρ_G)

رابطه‌ی Balshin : $\ln P = -\frac{A_1}{D} + B_1$

D : تخلخل را نشان می‌دهد. $1-D$

$\uparrow P \leftarrow \uparrow \frac{1}{1-D}$

شماره حساب

صفحه :

(از جوزه) در die pressure ~ 750 MPa شیب نمودار عرض می‌شود. در P بیشتر، شیب کم است به دلیل کارسختی که در این صورت گرفته است و مقاومت نشان می‌دهد ← چگالی کم میشود چون کمتر حرکت داریم. شیب برای مواد مختلف فرق دارد به دلیل σ_y متفاوت.

کاربرد رواناساز: کم کردن اصطکاک بین لوبه و دیواره ← افزایش راندمان و یکنواختی و چگالی. موقع خروج از قالب هم آسیب کمتر می‌شود.

شکل رواناساز: ① چگالی کم ← با برداشتن بار ← رفتار الاستیک متفاوت از لوبه و انبساط بیشتر ← آسیب قطعه
← موقع خروج، سنبه بالایی فشارش $\frac{1}{3}$ کاهش می‌یابد و یکدفعه حذف نمیشود.
② قبل از زینترینگ باید از قطعه خارج شود.

$\frac{H}{D}$ ↑ و x ↑ ← غیریکنواختی در چگالی ↑

تولید قطعات کاربید سمنته با استفاده از پرس سرد:

فاز تقویت‌کننده: additive reinforcement Carbides (Nb, Ta)C ← WC میشوند

WC، Co را در حود حل می‌کند اما Co حدود 20% WC را در خود حل می‌کند. با کاهش دما این حلالیت کم می‌شود.

اگر آلیاژ 10% Co باشد، فاز WC + liq در 1400°C داریم که در liq حدود 40% Co داریم.

با گلوله شدن زمان تکیه‌گاه کمتر میشود. فاز WC بیشتر گوشه‌دار نیست و کروی میشود و چسبندگی زیاد شده است و چون سایز زیادشده ← سطح کم میشود.

← زینترینگ برای آن را liq. phase sintering می‌گویند.

10% Co + 90% (WC, VC) ← این 3 را وارد قالب کرده و چون ریزهستند ← VC ضخیم کم

و اصطکاک زیاد است ← گلوله می‌کنیم. اندازه ذرات را با دستگاه Spray Dryer زیاد می‌کنیم. بهترتیب زیر:

← حرارت ← Spray Dryer [مثل آشپزخانه: ورغاب یکجای مذاب و N یکجای Ar]

← آسیاب Attrition Ball-Mill (Wet) ← 11 (hr) ← مواد ورغابی در Mixer با سوسپانسیون

← گلوله خواهد شد ← پرس انجام میشود ← زینترینگ (با پارامتر بیشتر روانساز زیاد)

(ذرات کروی شکل و بزرگ و هم سایز که سطح تماس را کم کرده‌ایم) و نرخ روانی زیاد شده است.

liq. phase sintering: حفره‌ها و تخلخل‌ها بهتر پر شده میشود چون نفوذ بهتر شده و زینترینگ کوتاه میشود.

معایب: کنترل ابعاد با دقت صورت بگیرد.

مقداری تخلخل داریم و P_{th} نمی‌رسیم

اما می‌خواهیم تخلخل صفر باشد چون مقاومت، سایش مطرح است ← یک مرحله HIP نیز روی محصول انجام میشود.

در حالت معمولی باید از قوطی تراز داد اما در اینجا نمونه زینترشده است و قوطی نیاز نداریم ← در سوئد فشار Ar گرم ← دما بالاست و P کمتر نیاز است.

صفحه :

لیست پیوست کدینگ حسابهای "معین"

صمیمه سند :

تاریخ :

تاریخ	شماره سفارش یا فاکتور	رسید انبار	قرارداد	شماره پرسنلی	شرح	نام ردیف حساب	جمع

P(16)

پرس ایزواستاتیک سرد (Cold Isostatic Pressing) or (CIP) :

یک قالب (bag) داریم که Flexible است از جنس رزین و پلیمر، نادلی که

قالب را داریم، شکل ماده را دارد و با قطع شدن، به حالت اول برمی‌گردد.

در bag، پودر یا قطعه پرس نشده قرار می‌دهیم و در محفظه قرار می‌دهیم.

در این روش محدودیت طول نداریم چون قالب هم جامد است اما محدودیت ضخامت داریم چون می‌خواهیم هم

یکنواخت باشد

مزیت: از lubricant استفاده نمی‌شود و سطح آن طوری خواهد بود، به دلیل عدم اصطکاک

هیچگاه بهتر است بعلی نیروی کمتری نیاز داریم.

Wet bag ← کندتر از Dry bag ولی می‌توان چند قالب را با هم پرس کرد. در wet

Dry bag } از هم جهت مزه تحت فشار است ولی dry اینطور نیست.

عیوب: ① کیفیت سطحی قطعه بالا نیست و دقت ابعادی سطح داخلی bag است.

② هزینه این کم است اما پلی یورتان خیلی هزینه‌بر می‌تواند استفاده شود.

③ روش کندی است

④ تجهیزات گران است اما قالب (bag) ارزان

در CIP هم مثل پرس سرد، قطعه آرام آرام برداشته می‌شود هم‌چنین lubricant

نداریم چون تنش الاستیک جزء قطعه داریم.

محصول CIP را می‌توان بورد، اکسترود شده کرد.

* فورج سرد : (Cold Rolling)

محصول strip (نوار) است.

شماره حساب

پودر شل

$P\sin\theta$ ← P → F → $F\cos\theta$

$F\cos\theta > P\sin\theta$

$\frac{F}{P} > \tan\theta \rightarrow \mu > \tan\theta$

$\tan^{-1}\mu > \theta$

ماکزیمم عکس و پودر اصطکاک (μ)

با لله تا فورج انجام شود.

$\mu \uparrow \rightarrow$ تنش حمال تر خواهد بود.

P.M. P(17)

$D_s = D_p \frac{1+Re^2}{h}$ ← شعاع غلتک

D_s: چیگالی محصول — D_p: چیگالی پودر — h: فاصله بین غلتک‌ها (roll gap)

عوامل اثر بر چیگالی:

(1) اثر بر چیگالی پودر

(2) اثر بر اصطکاک بین پودر و غلتک

(3) اثر بر R

افزایش h، چیگالی را زیاد نمی‌کند. $h \downarrow \leftarrow$ حتی ممکن است تقسیم

برای افزایش حتی ممکن است h را زیاد کنیم بلکه قطر غلتک را زیاد می‌کنیم تا h کم نشود

نهم از نوع معماری تغییر نرم الاستیک برمی‌گردد.

تغذیه قبل از نوع همیشه باید ارتفاع ثابتی داشته باشد، فشار پشت نوار ثابت باشد.

انجام نورد سرد در چندین پاس ← بین هر پاس باید آنیل صورت بگیرد.

برای عدم اکسیداسیون، ۲٪ نرمانیدهای قبلی باید در اتمسفر خنثی صورت بگیرد.

---

* پرس گرم (Hot Pressing):

هم‌زمان با اعمال فشار، زینترینگ هم داریم: دو عرض با هم داریم ← به فشار کمتری نیاز داریم نسبت به پرس سرد.

در پرس سرد بهتر بود پودر همگن‌تری باشد، شکل نامنظم باشد تا هم قفل مکانیکی شوند. در پرس گرم این موارد اهمیتی ندارد.

توزیع اندازه ذرات پودر مهم نیست یعنی شکل نامنظم ذرات مثل پرس سرد باعث قفل شدن ذرات در هم نمی‌شود.

عیوب: تجهیزات پیچیده‌تر از پرس سرد / میزان کوره در اطراف سنبه (الگاری، مقاومتی). قالب معمولاً گرافیت است چون P کم است و شوک حرارتی را تحمل می‌کند و تراشکاری ساده‌تر آن / اغلب باید اصلاح شود تا شکل نهایی با اکسیداسیون برخورد نشود.

مزایا: پودر با تنظیم خام. قطعه خام بهتر است چون اکسیداسیون کمتر بوده و تخلخل هم کمتر است.

شکل اعمال فشار و حرارت می‌تواند مثل HIP باشد.

پرس ایزواستاتیک گرم: (HIP) or (Hot Isostatic Pressing)

فشار آن از پرس گرم بیشتر است. قالب از ورق (Can) یا (قوطی) است از جنس فولاد کم کربن (نه کوره مثل پرس گرم است. شکل مثل پرس گرم است. داخل قوطی، قطعه یا پودر داریم. فشار از طریق گاز H_2، Ar اعمال می‌شود (مثل CIP واسطه نداریم اما نه مایع [برای CIP مایع است اینجا گاز]).

در CIP، bag از جنس رزین داشتیم اما در HIP، Can داریم از جنس ورق فولاد.

از عایق استفاده می‌شود تا حرارت بیرون نرود ← بدنه HIP سرد است.

محاسن روش مثل پرس گرم است { زینتر و فشار توأمان / فشار کمتر نسبت به حالت سرد

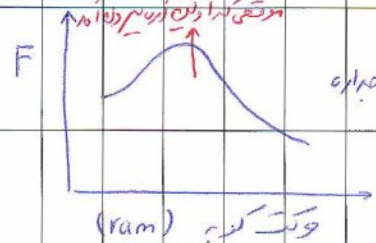
لیست پیوست کدینگ حسابهای "معین"

ضمیمه سند :
تاریخ :
صفحه :

P(18)

در اکستروژن گرم که به یک نیرویی به پودر یا قطعه پرس شده و از تنش سیده وارد می کند:

$F \propto \ln(R)$ $R = \frac{A_0}{A_f}$ نسبت اکستروژن



ماده بیرون آمد ← کاهش اصطکاک بین مواد و جداره قالب ← کاهش نیروی لازم.

بهتر است پودر را اکستروژن گرم کنیم و قطعه را داخل قوطی پرس کرده و سپس سطح بالای قوطی را می بندند و سپس داخل اتوکلاو گرم کرده و سپس سوراخ را باز کرده و پیش گرم کرده و سپس مجموعه را اکستروژن می کنند. قبل از پیش گرم باید گاز زدایی هم بشود.

$\uparrow R$ ← فشار بیشتری لازم داریم و قطعه چگال تر می شود.

به دلیل نیروهای برشی، ذرات بهتر به هم چسبیده می شوند. اگر بخواهیم R را زیاد در نظر بگیریم

اگر R کم باشد، چگالی قطعه کم خواهد بود.

اکستروژن فرات فقط گرم است چون پیوستگی بین ذرات از روزنه $R \approx 10$ مشکل است.

$\uparrow R$ ← فشار اکستروژن ↑ و اگر خیلی زیاد باشد، چسبندگی بیشتر می شود

$\downarrow R \rightarrow \downarrow P$

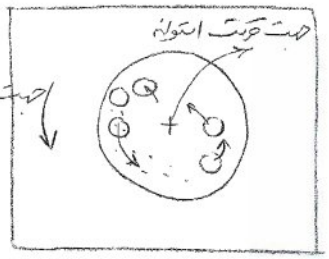
$\max(R) = 2.5$

تاریخ | شماره سفارش یا فاکتور | رسید انبار | قرارداد | شماره پرسنلی | شرح | نام ریز حساب | شماره حساب | جمع

P(o*)

• آسیاب : دو نوع است : سیاره‌ای ، attrition .

• Planetary ball mill: (سیاره‌ای)



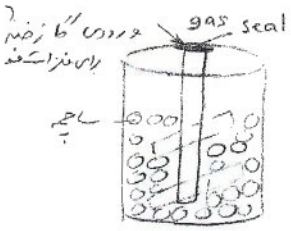
چهار استوانه روی صفحه است و در خلاف جهت هم دوران می‌کنند.

← یک نیروی سانتریفیوژی داریم. ضربه در اثر سقوط ساچمه هم داریم.

بوده تر ← خرد می‌شود.

" نرم ← تغییر فرم پلاستیک

• Attrition ball mill:



بازوهای افقی که هم زاویه دارند

بازوها یک شفت متصل هستند

فولاد Ni ، Cr دار ، Al_2O_3 ، کاربید تنگستن

* پارامترهای مؤثر در آسیاب :

1- نوع آسیاب 2- جنس و ظرفیت محفظه آسیاب (ضربه‌ای)

3- سرعت آسیاب 4- زمان آسیاب

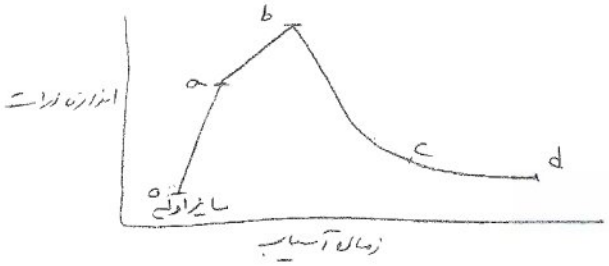
5- نوع، اندازه و توزیع اندازه ساچمه‌ها و شکل ساچمه‌ها

6- BPR (نسبت جرم ساچمه به پودر (نسبت وزنی))

7- اتمسفر محفظه آسیاب (N_2 ، Inert)

8- PCA (کنترل کننده فرایند) 9- زمان آسیاب.

نیروهای اسیاب شدن در آلیاژ { ضربه‌ای ← BPRT انرژی بیشتر ← سطوح داخلی ساچمه‌ها زیاد شده، ضربه‌ها کم می‌شود. ← زمان کم می‌شود.
اصطکاکی
برشی ← وقتی توزیع اندازه ذرات پودر، ساچمه‌ها، نیروهای برشی مؤثرتر می‌شود و زمان آسیاب کم و سرعت بهینه می‌شود.
فشاری ← از سطح، شکل پودر را تغییر می‌کند.



o ← a : خرد شدن سرد، تغییر فرم پلاستیک

a ← b : "

a تا b جوش cold welding اندازه ذرات بزرگ می‌شود

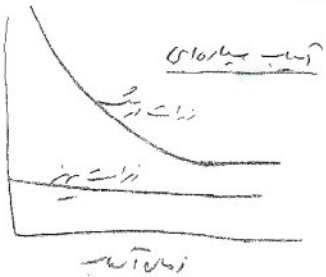
به دلیل کارسختی و ترد شدن، در c خرد می‌شود.

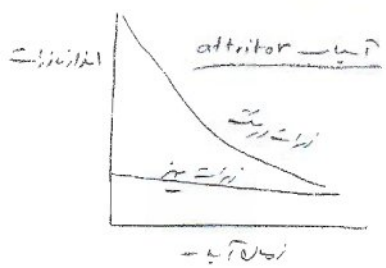
d : پایان آسیاب.

استون، اکس

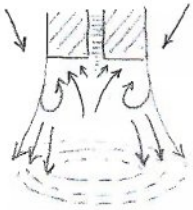
PCA مخفف Lubricant است : اسید استاریک (روان‌ساز) ، به ذرات پودر می‌چسبد و ذرات پودر را از هم دور نگه می‌دارد.

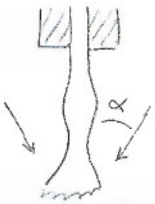
اینها ریزتر می‌شوند و در اگلومره می‌شوند. دیگر در برش سطحی ذرات اثر ندارد.





تولید پودر ← روش اتمیزه :



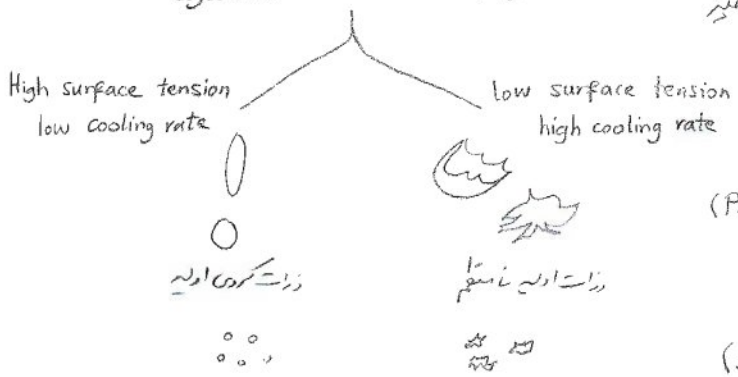


I: wave Formation

α : زاویه برخورد سیال اتمیزه کننده ← metal stream . α کوچکتر باشد، ذرات درشت‌تری میشوند ولی α بزرگتر ← برخورد زودتر ← ذرات ریزتر

تذکر: در اتمیزه‌ای سرعت سرد کردن بالاست و S.A. را نداریم

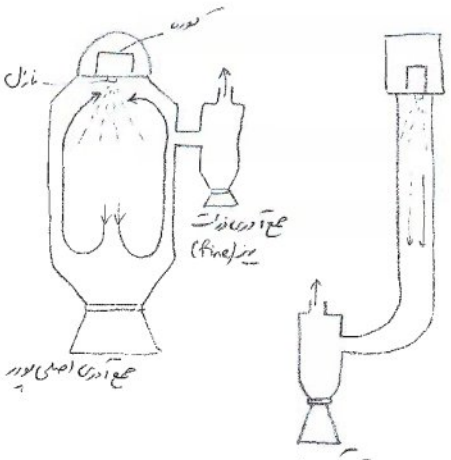
در اتمیزه گازی اگر سرعت و فشار گاز بالا باشد، در پایین‌تر بازهم لیگامنت‌ها خرد میشوند (معمولاً در اتمیزه گازی انجماد سریع نداریم) ← اثر گاز اتمیزه وجود دارد و ذرات بازهم کوچکتر میشوند بشرط عدم انجماد.



(Primary atomization)

(Secondary atomization)
(S.A.)

تذکر: محصول اتمیزه بهتر است ذرات ریز و همه‌ها ازهم باشد.



قطر قطره بهتر است کم باشد.

خروج پودر بهتر است از پایین باشد.

قطر قطره بهتر است کم باشد. در ریخت جت عمده پودر از پایین خارج میشود و ممکن است به بالا برود و با ذرات برخورد کند پس خروج پودر باید طوری باشد که با ذرات برخورد نکند و بالا نرود ذرات fine همراه با گاز خروجی خارج میشوند.

محصول: ذرات پودر کروی + همه‌ها ازهم

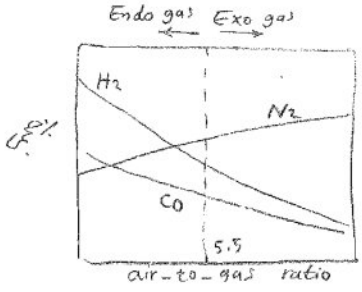
محصول: ذرات پودر کروی همه‌ها ازهم

---

* در تولید پودر آهن ← روش اتمیزه‌ی آهن کم کربن:

بعد از تولید پودر در کوره کمی‌بندی یک عملیات آنیل شکل می‌گیرد برای اینکه جذب اکسیژن نداشته باشیم، محیط را احیایی می‌کنیم؛ N_2 هم دارد لقمه میشود تا اکسیدی نباشد احیایی ← آمونیاک را تجزیه می‌کنه به H_2 و N_2

بعد از فرایند آنیل ذرات دوباره بهم می‌چسبند و باید دوباره خرد شوند. ذرات کوچکتر بهتر احیایی میشوند پس قبل از احیا یک مرحله خرد کردن داریم یا دانه‌بندی. در کوره، می‌توان درصد کربن را نیز کم کرد. (Exothermic Gas) ؛ Page 23



$\frac{air}{gas} > 5.5$ ⟶ گرمازا ؛ درصد CO و H_2 کم است

$\frac{air}{gas} < 5.5$ ⟶ گرماگیر ؛ عمدتاً احیایی از CO, H_2 درصدبندی دارد.

○ در کوره نزدیک محیط به احیایی N_2 و H_2O حفظ محتوای است.

IRON powder By atomization: Melt High C → atomize (air or H_2O)

control C/oxide ratio → Grind → beam furnace → Anneal → Grind → iron Powder

حذف کربن زیاد تا اکسیدها بهتر صورت بگیرد.

کربن و O_2 باهم از پودر گرفته میشود. کربن و O_2 حذف شان کیفیت اکسیدها را تنظیم می‌کند

اگر پودر محصول غیر کوره‌ای بود ← اکسیژن آن بالا بود و اگر متخلخل بود یعنی اکسیژن آن زیاد است و تخلخل حین خروج گاز ایجاد شده است.

---

* مراحل تولید پودر آهن به روش احیای اکسید:

• IRON by carbon reduction

بتونه کربن گیر — امیاکننده

سنگ آهن + کک + سنگ آهن → Kiln reduction → توده هم چیده با اسفنجی → خوردن

کوره طبقه طبقه

در کوره‌های SiC

→ جدا کردن مغناطیسی → خوردن → جدا کردن مواد کاملاً غیرمغناطیسی →

→ کوره کمربندی با اتمسفر H_2 و N_2 برای احیا → آنیل → پودر آهن

میزان O_2 هم کم میشود.

زمان احیا طولانی است چون در حالت جامد صورت می‌گیرد. بدلیل خروج گاز CO، تخلخل هم ایجاد می‌شود.

• IRON by hydrogen reduction

حرارت در حضور هوا (اکسید) → جدا کردن مغناطیسی → Grind → پوسته‌های اکسیدی حاصل نورد گرم (Mill Scale)

← هم اکسیدها به Fe_2O_3 تبدیل می‌شوند

احیا راحت‌تر انجام می‌شود. چون ΔG° آن کم‌تر است.

→ Grind → توده هم چیده → احیا → کوره کمربندی با اتمسفر H_2

→ آنیل → Iron powder

بعلت افت فشار زیاد Papp چون در روش احیا تخلخل زیاد است و Papp کم است

در این تخلخل‌ها نسبت به قبل کوچک‌تر است.

---

* تولید پودر مس به روش الکتروشیمیایی:

سل الکترولیز

آند مس، محلول $CuSO_4$، کاتد Pb، آنیزال → رسوب پودری روی کاتد

احیا → کوره کمربندی → خشک کردن، پودر زیر دانه‌بندی → تراشیدن، فیلتر و شستن →

(اکسید یا کربنات روی پایه احیا شده اند روی آن احیا شده خودش باقی می‌ماند)

→ Grind → Cu Powder

شکل ذرات به روش خرد کردن بستگی دارد

شکل ذرات به صورت خرد شده کاملاً زبر است

قبل از قرار دادن در کوره، روی پودر را می‌شوید. تمیز کردن سطح کاتد در انتهای پودر روی آن می‌شوید.

* ادامه تولید پودر به روش الکتروشیمیایی:

بعد از پودر روی کاتد جمع شده و شسته می‌شود تا الکترولیت حذف شود و از فیلتر استفاده می‌کنیم. پودر روی فیلتر جمع می‌شود و بعد خشک شده و دانه‌بندی می‌شود. جریان مورد استفاده DC است.

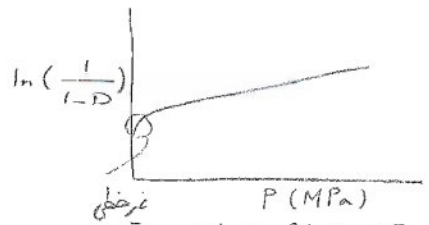
برای تولید توده سل روی کاتد، در الکترولیت غلظت یون مس را کم می‌گیریم و دانسیته جریان را بالا گرفته و اسیدیته محلول نیز بالا و البته سرعت به هم زدن محلول کمتر ← پودر پوری متخلخل خواهیم داشت.

---

* Die Pressing (پرس سرد):

تخلخل: $1-D$

$$D = \frac{\rho_g}{\rho_{th}}$$



برای فشردن پودر از روانساز استفاده می‌شود } بصورت پودر مخلوط شده با پودر اصلی در صد (وزنی)
به دیواره قالب زده می‌شود

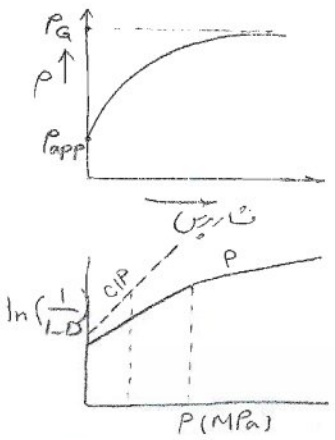
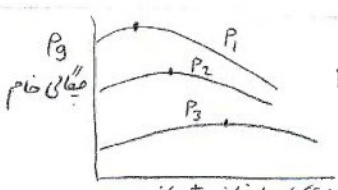


Fig 4 – 36 صفحه



عنوان‌ها متخلخل هستند

در هر فشاری، max چگالی در یک درصد خاص از روانساز فراهم می‌شود.

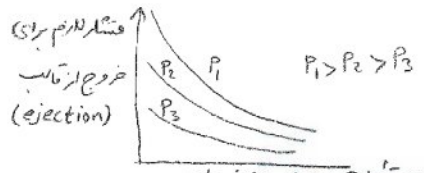
W_L: میزان روانساز $= \dfrac{(1-f)\rho_L}{\rho_L(1-f)+\rho_P f}$

f: چگالی نسبی ρ_L: چگالی روانساز

فشار زیاد ← f ↑ ← W_L ↓

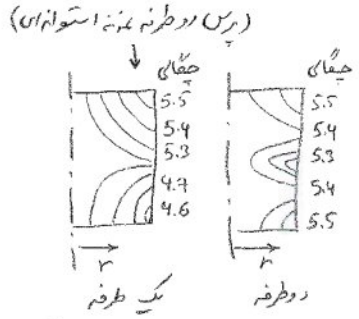
هدف استفاده از روانساز: کم کردن اصطکاک بین پودر و دیواره و پودرها با هم ← چگالی ↑ و راندمان ↑ و غیریکنواختی در تکه خام. موقع خروج از قالب تکه خام است و کمک به خروج آن می‌کند

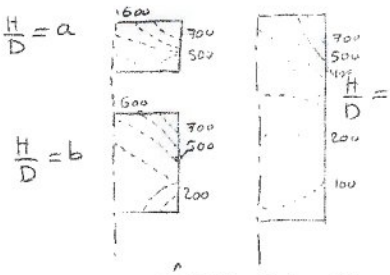
شکل روانساز: چگالی کم ← با برداشتن بار، کمی تکه منبسط می‌شود و تکه آسیب می‌بیند ← فشار را کم کم برمی‌داریم ← قبل از زینترینگ باید زدوده شود.
مقدار زیاد آن، حجم زیادی دارد و بعد از زینترینگ تخلخل ایجاد می‌کند.



فشار لازم برای خروج، توسط سنبه پائینی اعمال می‌شود و با افزایش W_L، فشار لازم ↓ اما W_L نمی‌تواند زیاد باشد دلیل عدم رسیدن بالا.

یک شکل پرس، غیریکنواختی چگالی است:





مخصوص وقتی $\frac{H}{D}$ ↑ چون اصطکاک بین دیواره پودر با هم و با دیواره زیاد می‌شود

پس $\frac{H}{D}$ ↑ ← عدم یکنواختی چگالی ↑

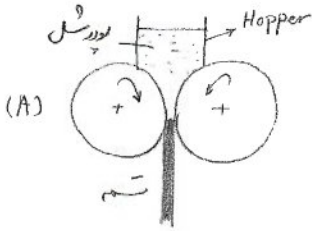
در دو طرفه، در وسط کمترین چگالی را داریم اما در یک طرفه در انتها چون از سنبه دور است.

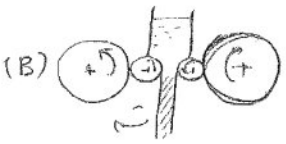
برای نمونه با $h = 6^{mm}$ ارتفاع، غیریکنواختی نداریم اگر شکل نمونه مکعب مستطیل باشد و اختلاف سطح نداشته باشد [در حالت یک طرفه]

در حالت دو طرفه، یکنواختی بیشتر است.

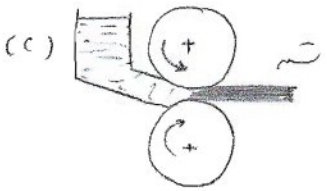
ادامه پرس سرد
پشت صفحه

P(4*)





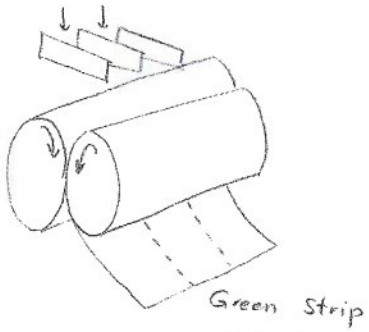
برای اعمال فشار بیشتر و چگالی بیشتر



در حالت اقتی هوا نیروی ثقل داریم اما در حالت عمودی باید فشار ثابت پودر همیشه بیش نیروی ثقل نداریم.

* نورد :

با نورد می‌توان strip را بصورت چندلایه هم تولید کرد.



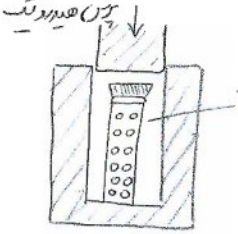
بصورت چندلایه

در حالت (A) فشار ثابت پودر حال ارتفاع پودر (ثقل) است پس باید همواره ارتفاع پودر ثابت باشد یعنی سطح تغذیه باید یک ارتفاع معین داشته باشد تا فشار ثابت ← چگالی یکنواخت

در نورد گرم فشار رکتری لازم است چون قطعه گرم است. بعد از نورد سرد داشیم بالاست و برای پس سردی نورد سرد باید دوباره آنیل شود. بعد از ریتر شد نورد سرد، نورد گرم هم صورت نمی‌گیرد معمولاً بعد سرد شده و بصورت coil جمع می‌شود.

---

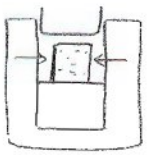
* پرس ایزواستاتیک:



پودر داخل bag و bag داخل perforated tube قرار می‌گیرد که سوراخ سوراخ است. bag بصورت پلاستیکی است و برای اینکه شکل قالب را کاملاً پر کند درون ورق سوراخ سوراخ قرار می‌گیرد. سوراخ بودن بدلیل اینکه فشار سیال bag منتقل شود.

شرط کم بودن قطر bag، چگالی یکنواختی داریم بدلیل فشار هم‌طرفه. در جهت شعاعی افت فشار داریم.

Dry bag (fixed mold or bag)



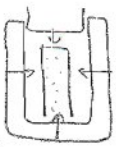
bag در قطعه fix است و بیرون می‌آید و پودر داخل آن ریخته می‌شود. بعد محصول بیرون می‌آید.

در این حالت قابلیت اعمال فشار چند قطعه را نداریم.

از اتها یتر فت نداریم. اگر در پرس تغییر شکل مقاومت کند در اتها فشرده شده نداریم.

بدون در پرس کمتر از bag است و کمتر تغییر شکل می‌دهد.

wet bag (removable mold)



bag بصورت شناور است. بعد از اعمال فشار، bag حالت اولیه خود برمی‌گردد چون flexible است.

این فرایند کندتر است اما قابلیت استفاده از هزار مرتبه چندین bag را دارد. bag بیرون قطعه از پودر پر می‌شود و بعد قطعه آب‌بندی و بعد از اعمال فشار بیرون آمده و تخلیه می‌شود.

قطعه شناور است ← از همه طرف فشار داریم.

P(5*)

* در hot pressing محصولی گرمی خواهد بود که پودر یا قطعه خام باشد. قطعه خام گرفته شده از قبل در قالب ریخته شده و این قالب هم جایگذاری شده و بین آن با فضای خالی گرفته شده هم همین اکسید اسیون هم گرفته است

---

* آلیاژسازی مکانیکی: Mechanical Alloying (M.A.):

Ball mill ← مخلوط کردن پودرها ← Steel Can ← M.A.

مخلوط از glovebox استفاده میشود

↓

پرس سرد هم انجام می‌دهند قبل از اکستروژن تا حراط بعدی کوتاه‌تر شود

به دلیل کاهش تخلخل [پودر غیرمتال]

M.A. ← عملیات حرارتی ← ماشینکاری ← Hot Rolling ← اکستروژن (پودر پیش گرم شده)

تذکر: پودر غیرفعال را پرس سرد می‌کنیم اما پودر فعال را در glovebox قرار می‌دهیم. بعد degassing و بعد گرم کردن

Double mechanical alloying (dMA) or Double Milling:

elemental or/and prealloyed powders — اگر استون، اسیداستیک

Al Fe Mn PCA

M.A. I

↓

فازها بصورت تعادلی یا غیرتعادلی ایجاد می‌شوند. غیرتعادلی مثل آمورف بهتر

بدون نظم و تعادلی ← در XRD پیک نمی‌دهد چون شبکه کریستالی ندارد

مواد نانوکریستالاین (اندازه دانه <100nm) و محلول جامد اشباع هم غیرتعادلی اند

↓

Heat Treatment (ایجاد ترکیبات بین فلزی Fe-Al)

↓

M.A. II

(خرد کردن ترکیبات بین فلزی ایجاد شده و ریز کردن دانه‌ها بیشتر آسیاب بدید)

↓

Degassing

معمولاً در قوطی می‌ریزیم و پرس سرد انجام می‌دهیم و هوا را خارج می‌کنیم و قوطی حاوی مواد خام را پیش گرم کرده و بعد

↓

Extrusion

(بصورت گرم انجام میشود)

از PCA تا حد ممکن کم استفاده می‌کنیم چرا که ذرات هیدروکربن دارد و می‌تواند rewelding ایجاد کند که PCA را خنثی می‌کند

بعد از M.A. II پودر در قوطی ریخته ← پرس سرد ← پیش گرم ← اکستروژن گرم

dMA:

کپی بار M.A. کردن ایم که برای ریزتر کردن و تماس بیشتر و مرتبه کردن ذرات. در همان حالت پودری خارج از آسیاب حرارت می‌دهیم تا ترکیبات بین فلزی ایجاد شود که فازهای مطلوب هستند. بعد دوباره در آسیاب قرار می‌دهیم این بار دیگر عامل نداریم و ترکیب فلزی داریم ← اندازه دانه و ذرات کوچکتر می‌شود.

mechanochemical Synthesis:

یعنی آسیاب همراه با واکنش شیمیایی:

$Al + C \longrightarrow Al_4C_3 + Al$ (زائد)

ذرات پراکنده در زمینه

عامل گازی: آرگون حاوی O_2

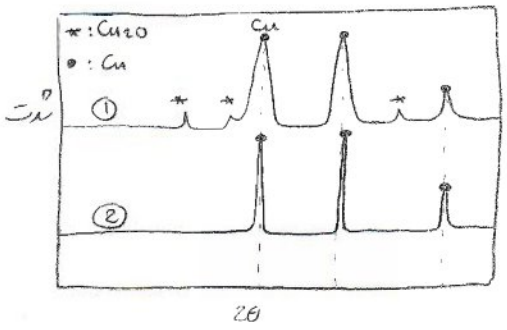
$Cu[Ti] + O_2 \longrightarrow Cu + TiO_2$

Ti از شبکه Cu خارج میشود در داخل آسیاب این فرایند را داریم.

پس: عامل گازی حین آسیاب با پودر واکنش می‌دهد.

با انجام M.A. زمینه نیز ساده‌تر می‌شود چون پودر حل شده است، ضربه‌ها روی اتم‌ها.

* ادامه آلیاژسازی مکانیکی:



Cu2O : اکسیدایت

① به پودر آلیاژی Cu2O اضافه کرده و 48hr آسیاب می‌کنیم.

② پودر مرحله قبل پرس شده و بعد زینترشده است (همین زینترینگ اصلایاریم) و فقط پیک Cu خالص داریم. پیک Al2O3 نداریم چون کم است.

حاصل شدن Al در شبکه Cu [مرحله اول آسیاب که پودر Al و Cu خالص داریم] ← پیک Al حذف شده و پیک بلند Cu کوتاه و پهن می‌شود. وقتی پیک Al را داریم یعنی آلیاژسازی هنوز صورت نگرفته است. البته با انجام آلیاژسازی بلندترین پیک Cu علاوه بر کوتاه و پهن شدن، جابجایی‌هایی کوچکتر هم می‌دهد. میزان آلیاژشدن، زمان آسیاب بستگی دارد و به گونه آسیاب، سرعت آسیاب و عامل مرد...

در مرحله سوم Cu2O اضافه می‌شود (اکسیدایت) و خروج Al از شبکه Cu، پیک Cu حالت اولیه برمی‌گردد.

کصدل: (دوزینگ) Cu+Al2O3

کاهش آلیاژشدن در مرحله اول آسیاب، تبادل اتمی است و کاهش تبادل اتمی، ترکیب‌شدن فواصل و بازگشت دانه‌ها و افزایش سطح ذرات آن.

* پهن شدن پیک: تنش (کرنش) داخل شبکه مربوط به عیوب آسیاب مکانیکی، اندازه دانه کوچکتر شده (حالت نانو) [نه اندازه ذرات] مربوط می‌شود.

$\phi_{Al} > \phi_{Cu}$ ϕ: قطر اتمی

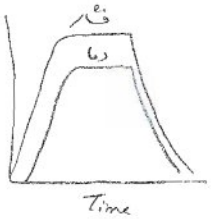
Al وارد Cu میشود ← d↑ ← θ↓

$\lambda = 2d\sin\theta$ $\quad d = \frac{a}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}}$

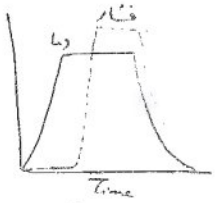
---

* پرس ایزواستاتیک گرم: (HIP)

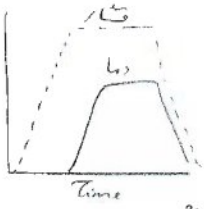
بیشتر برای کاهش پرسیتی و کنترل کاربرد دارد. سیکل‌های مختلف دما و اعمال فشار داریم:



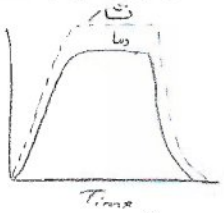
برای جلوگیری از ترک خوردگی



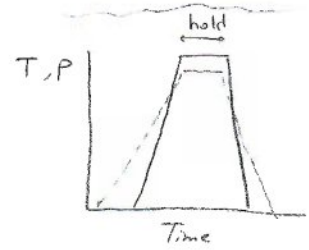
حرارت برای نرم کردن کوره و بعد اعمال فشار؛ "شدت" برای متوقف کردن



اول فشار دادیم بعد کار سرد روی نمونه انجام شده و بعد دما اعمال میشود کار سرد شرایط تبلور مجدد را تغییر داده و دمای تبلور مجدد کم میشود

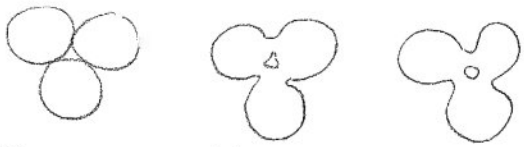


از لحاظ اقتصادی بودن و کوتاه بودن زمان مطرح است.



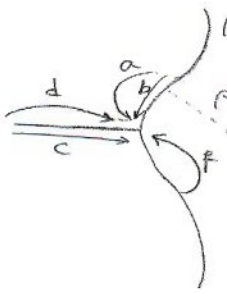
فشار توسط گاز Ar اعمال میشود یعنی سیال گاز است چون دما بالاست.

زینترینگ در حالت جامد: (Sintering)



در ابتدا تکنیک‌ها گوشه‌دار هستند اما در مراحل نهایی زینترینگ به صورت گرد در می‌آیند.

برای از بین بردن این حفره، اعمال فشار خارجی Ar در دمای بالا (HIP) و بعد زینترینگ. بعد از چی آر زینترینگ کنیم، هموار حفره داریم.

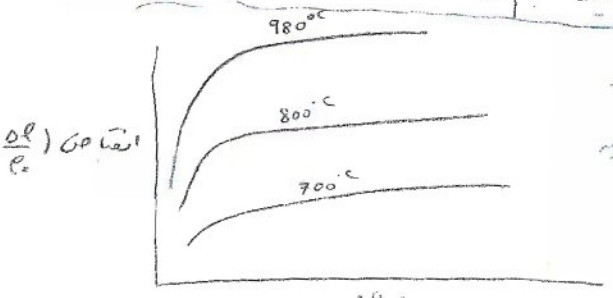


برای ترک‌های چون T_b ایجاد و نشر بار کم

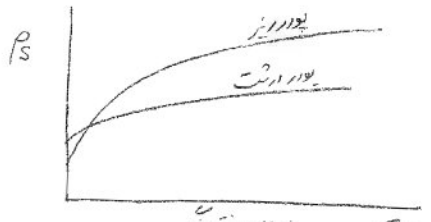
میرهای نقوذ
- سطحی
  - تبخیر و میعان (EC) : f
  - نفوذ سطحی (b)
- حجمی
  - نفوذ مرزدانه‌ای (GB) — مرز بین دو پودر / مرز داخل خود پودر
  - نفوذ حجمی (VD)
  - جریان پلاستیک (Plastic Flow)

• میرهای سطحی در دمای پایین و میرهای حجمی در دماهای بالا صورت می‌گیرد.

جریان پلاستیک: با تغییر فرم نابجایی‌های ایجاد شده و گیر با جای خالی سازگار این که ... صعود نابجایی که جریان پلاستیک است چون پودر تغییر شکل پلاستیک انجام داده است.



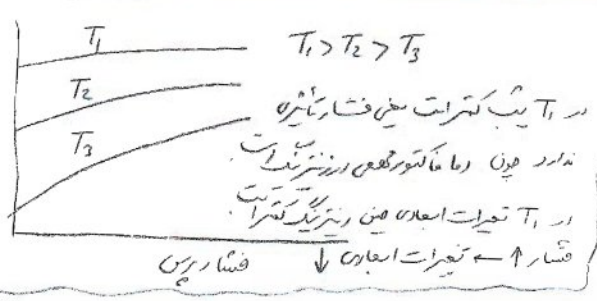
با افزایش زمان، شیب منحنی کم میشود. در 980° شیب منحنی بیشتر است چون سینتیک بیشتر است.



$t=0$ → چگالی پودر ریز کمتر است چون سطح ذرات زیاد است و ایجاد پل می‌کند و اصطکاک هم زیاد است.

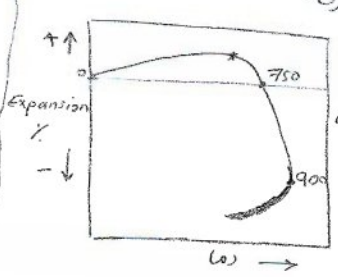
$t>0$ → دانسیته پودر ریز بیشتر است چون:

① انرژی سطحی ↑ ، ② سطوح ذرات محدب‌تر است، ③ میر نفوذ کوتاه‌تر است.



در T_1 شیب کمتر است یعنی فشار تأثیر ندارد چون ما فاکتور مهمی در زینترینگ است. در T_1 تغییرات ابعادی حین زینترینگ کمتر است.

منحنی دیلاتومتری:



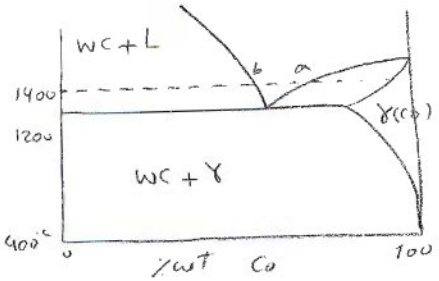
نمونه پرس شده را با rate کم تا 925° رسانده و بدون نگهداری با همان rate سرد کرده‌اند

از صفر با افزایش T، انبساط داریم (+) چون پودر فنری منبسط می‌شود. بعد از یک زمانی انقباض داریم (750) چون زینترینگ داریم همراه انقباض است و تخلخل کم می‌شود. و بعد از 900° انقباض را از سر گذرانده‌ایم.

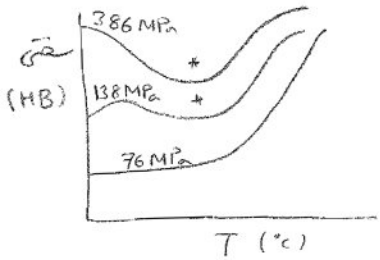
با انجام زینترینگ، موقعیت ذرات پودر ملوض می‌شود و یک پودر خاص را نمی‌توان شناسایی کرد.

وجود اکسیدهای خرد شده در سطح ذرات اصلاً مطلوب نیست و چقرگی و انعطاف‌پذیری را کم می‌کند.

* زینترینگ کاربیدهای سمنته: (Liquid phase sintering)



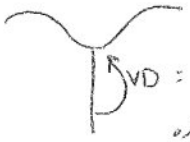
برای زینترینگ، دما 1400° می‌رود. برای قطعه Co=10٪، در T=1400°C، W و مذاب برقرار هستند، فازها ترکیب b دارد. در این حالت Liquid phase sintering می‌گویند. Co یک مقدار WC را حل می‌کند تا Co در WC حل نشود.



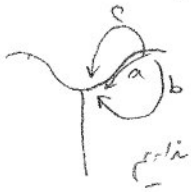
هرچه کمتر کم شود، سختی زیاد می‌شود. افت سختی به دلیل چسبیدن کارسختی ایجاد شده (از اثر فشار پرس) که تقریباً همه قطعات گرفته شده پس از دمای تقریباً همه کم شده‌است و به دلیل sinter دوباره زیاد می‌شود.

نفوذ حجمی: مبدأ داخل شبکه است ← اتم‌ها می‌توانند از هم دور شوند و تا صد میکرون ذرات هم ترکیب بشوند

نفوذ سطحی: انقباض در نمونه نداریم، در دمای کمتر است و تغییرات ابعادی نداریم ولی ذرات اتصال ایجاد می‌شود.



مبدأ داخل شبکه است: سطح در این حالت دو ذره هم ترکیب می‌شوند.



در a و b، انقباض نداریم

بین نفوذ سطحی است هم چنین در c.

شرط استفاده از نفوذ راحت‌تر، دمای نسبتاً پایین شبکه‌ای است.

مرز دانه‌ها جای خالی و ناخالصی‌ها راحت‌تر اتم‌ها را جذب می‌کنند. گلوگاه بیشترین جای خالی را دارد در سطح اتم‌ها هم سطح‌ها زیاد است.

تغییرات ابعادی با زمان در ابتدا زیاد و با گذشت زمان کم می‌شود. همین‌طور هم گلوگاه کم می‌شود. در ابتدا گلوگاه حالت تیز دارد و با گذشت زمان رشد می‌کند و شعاع انحنا بیشتر می‌شود یا $\frac{x}{D}$ ↑ می‌شود.

با ثابت بودن حجم: $D' = 1.26D$ ← سطح کم می‌شود:

$S_1 = 2(\pi D^2)$ $\quad S_2 = \pi(1.26D)^2$

← انرژی سطحی کم می‌شود.

حین زینترینگ هر سطح غیر مستقیم می‌خواهد صاف شود چه محدب و چه مقعر.