روش‌های تولید

تولید چیست؟

تولید یک روش انتقالی است که در آن مواد خام به محصولات جدید قابل استفاده تبدیل می‌شود. برای تهیه یک محصول باارزش ترکیبی از دستهای کارگران، ماشین‌آلات، ابزارهای مخصوص و انرژی بکار گرفته می‌شود تا ماده خاصی به محصولی تبدیل گردد. مراحل ساخت پشت سر یکدیگر قرار دارند و در حقیقت در هر مرحله ماده خام به محصول نهایی نزدیک می‌شود. مهمترین فاکتورهایی که سبب پیشرفت تکنولوژی ساخت شده است یکی بالا رفتن سطح زندگی و مصرف بیشتر است و دیگری افزایش جمعیت می‌باشد که سبب شده راه‌هایی برای استفاده بهتر از مواد طبیعی و یا جایگزین کردن مواد مصنوعی به جای مواد طبیعی و یا استفاده بهتر از ماشین‌آلات و ابزار پیدا شود.

به طور خلاصه تولید شامل سه عامل اصلی مواد- انسان و ماشین‌آلات است. ترکیب صحیحی از این سه پارامتر سبب تولید مناسب و اقتصادی می‌گردد.

در یک شرکت تولیدی- چارت اداره‌کننده به صورت زیر است:

کنترل کیفی ← پرسنلی ← تولیدی ← بازاریابی فروش ← مالی ← صاحب هیئت مدیره

طبقه‌بندی شرکت‌های سازنده

1- کارخانجات یا شرکتهای تک‌سازی (نمونه‌سازی) — 1) Job-Shop Production

2- کارخانجات تولید انبوه — 2) Mass-Production

3- کارخانجات نوع پروسسی — 3) Process type

1) کارخانجات تک‌سازی به کارهانجاتی گفته می‌شود که برای تولیداتی با تعداد کم به کار گرفته می‌شوند و محصولات براساس سفارش مشتری است، لذا ماشین‌آلات بکار گرفته شده بایستی قابلیت

انعطاف زیادی داشته و معمولاً از ماشین‌های چند کاره استفاده می‌شود، تا بتواند محصولات مختلفی را براساس سفارش مشتری به تعداد کم حتی یک واحد تولید نماید. در این کارخانجات مهارت کارگران و تکنسین‌ها مهم بوده و شرط اساسی انجام کاراست. تولید انبوه در این واحدها اقتصادی نیست و معمولاً برای ساخت محصولات نمونه یا کارهای تحقیقاتی بکار گرفته می‌شود.

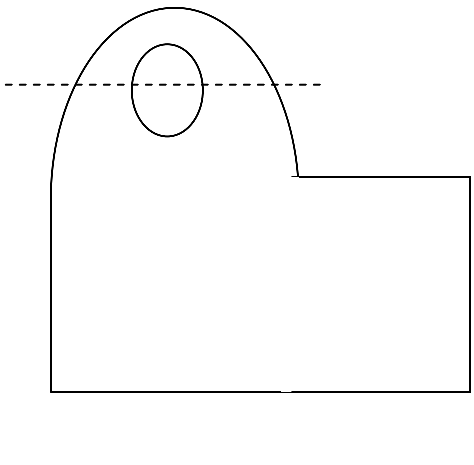
2) تولید انبوه یک خط ممتد تولید است که در آن ماشین‌آلات بکار گرفته شده مخصوص بوده و برای تولید خاصی طراحی شده است. حجم تولید در واحد زمان بسیار زیاد بوده، سرمایه‌گذاری برای ایجاد چنین خطی بسیار بالا بوده، کارگران و تکنسین‌ها مهارت کمی دارند و اگر تعداد تولید کم باشد این خط اصولاً اقتصادی نیست بخاطر سرمایه‌گذاری زیاد آن. تغییر محصول نیز بسادگی امکان‌پذیر نیست.

3) این روش شامل یک خط کامل تولیدی به هم پیوسته است که محصول در انتها بدست می‌آید و در طول تولید محصول نیمه‌تمام نداریم مثل پالایشگاهها، واحدهای شیمیایی، واحدهای مواد غذایی، این روش مورد نظرمان نبوده و راجع به آن بحثی نخواهیم کرد.

بنابراین در هر تولیدی فاکتورهای مختلفی وجود دارد که این فاکتورها روی یکدیگر اثر می‌گذارند و بنابراین تولیدی اقتصادی خواهد بود که مناسب ترین فاکتورها انتخاب شود.

تجزیه شکل محصول

براساس مشخصاتی که روی نقشه داده شده است مراحل تولید مشخص می‌شود:



عوامل مؤثر در انتخاب روش تولید:

بعضی از اصولی که باعث انتخاب روش تولید می‌شود عبارتست از:

1) نوع ماده اولیه‌ای که در انبار موجود است، مثلاً شکل آن، میله چهارگوش، گرد، لوله، ورق و غیره.

2) دقت و تلرانس ابعاد

3) نوع سطح تمام شده

4) حجم تولید در واحد زمان

5) حجم کل تولید

ابتدای بخش ریخته‌گری

روشهای مختلف ساخت محصولات به شرح زیر است:

1-روش‌های ریخته‌گری Casting

2- روش‌های شکل دادن و برش Forming

3- روش‌های ماشین‌کاری که ممکن است همراه با براده و یا بدون براده باشد. Machining

4- عملیات حرارتی Heat Treatment

5- عملیات پرداخت کاری Finishing

6- مونتاژ Assembly

ریخته‌گری

ریخته‌گری شامل تهیه مواد به صورت مذاب یا پودر است که به داخل محفظه‌ای بنام قالب وارد شده و آن را پر می‌کند. با از دست دادن حرارت در حالت مذاب و یا تحت فشار، به شکل قالب در می‌آید. بعد از بیرون آوردن از قالب شکل نهایی محصول بدست می‌آید. ممکن است عملیاتی بعد از

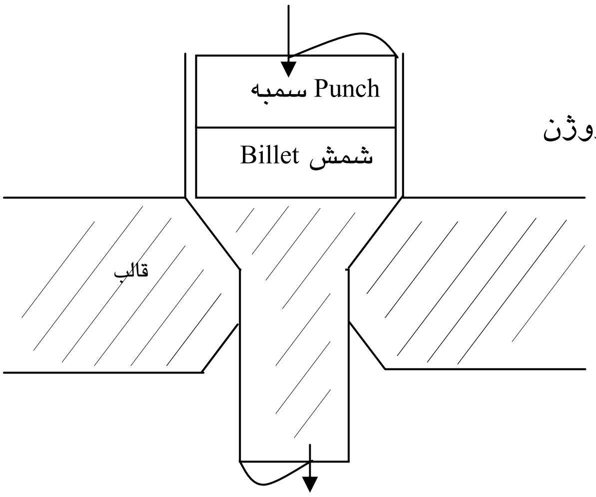
این مرحله روی محصول جهت بدست آوردن سطوح بهتر و یا تلرانس‌های دقیق‌تر انجام گیرد.

در حالت کلی ریخته‌گری معمولاً به دو دسته تقسیم می‌شود:

1- ریخته‌گری در قالبهای دائم و یا 2- ریخته‌گری در قالب هایی که برای هر محصول بایستی تهیه شود.

شکل دادن Forming :

موادی که از فلزات به وسیله ریخته‌گری تهیه شده است معمولاً پس از ریخته‌گری مقدار زیادی کار مکانیکی شکل دادن روی آنها انجام می‌شود. هدف اصلی از شکل دادن، تغییر خواص فیزیکی و شکل محصول است. این عملیات عبارتست از غلتک کاری Rolling- آهنگری Forging- اکستروژن Extrusion- کشیدن drawing (Wire,Tube)- کشش عمیق Beep drawing- خم کردن Bending- اسپینینگ Spining- بریدن Shering { *Piereing*, *Blanking* }



عمل اکستروژن

کشش مثل اکستروژن است با این تفاوت که محصول در قسمت انتهایی کشیده می‌شود و به صورت قرقره تحویل می‌گردد. اگر به صورت لوله باشد که نیاز به پیچیدن ندارد.

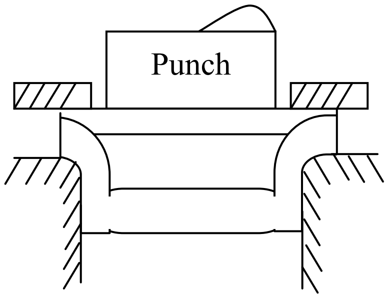
کلیه عملیات شکل دادن بجز کشش عمیق می‌تواند به صورت گرم و یا سرد باشد.

افزایش درجه حرارت تنش تسلیم را کاهش می‌دهد و نیز چکش خواری فلز را زیاد می کند.

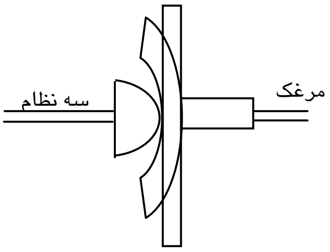
این حالت اجازه می‌دهد که روش گرم را انتخاب کنیم یا در درجه حرارت کم عملیات را انجام دهیم.

عملیات شکل دادن در حالت سرد این مزیت دارد که از اکسید شدن سطح فلز در اثر گرم شدن جلوگیری می کند.

Deep drawing: برای کشش ورق بکار می‌رود و بدین ترتیب است که ورق به اندازه ثابتی بین دو فک قرار گرفته و کشیده می‌شود.

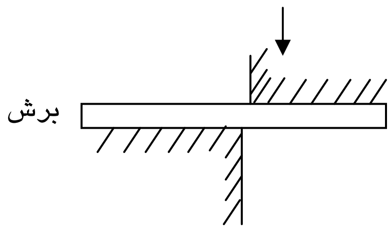


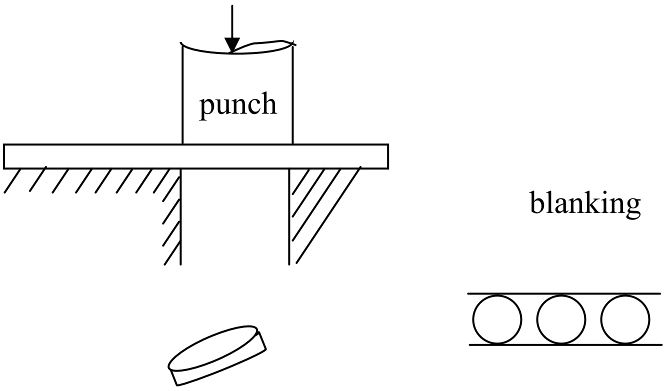
Spining: یک ماشین تراش را در نظر می گیریم.



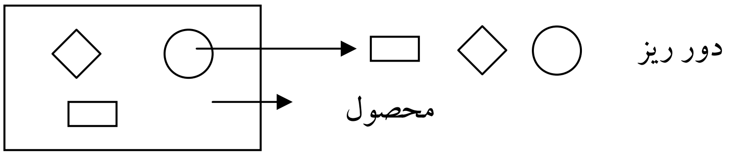
در سماورسازی و ظروف و ساخت قسمتهایی از موشک از این طریق استفاده می‌شود. برای اجسام مدور از این روش استفاده می‌شود.

Shering:





در این روش دور ریز داریم. در این حالت این قسمت خارج شده (قرص گرد) محصول است Blanking. اگر دور ریز همین قرص باشد و محصول باقی مانده ورق است به این عمل Piereing گفته می‌شود.



- روش ماشین‌کاری یا براده‌برداری Machining

روشی است که قسمت‌هایی از مواد بریده شده و از قطعه کار جدا می‌شود تا محصول نهایی بدست آید. این روش را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد.

1- روش های براده‌برداری متداول که براده به وسیله ابزار برنده‌ای که با نیروی لازمی روی قطعه کار اعمال می‌شود بریده شده و جدا می‌شود. این نوع ماشین‌کاری شامل روش‌های مته‌کاری، تراشکاری، فرزکاری، سوراخ‌کاری، سنگ‌زدن، پرداخت‌کاری و بریدن می‌باشد.

Drilling-Turning- Milling- Boring- Grinding- Lapping

در کلیه این عملیات از ابزار مخصوصی استفاده می‌شود که دارای یک لبه برنده است. به غیر از سنگ زدن ابزارهای بکار رفته معمولاً از فولادها هستند (فولادهای HSS) و یا از کاربیدهای تنگستن و یا از سرامیکها می‌باشند. در مورد سنگ ابزار دارای لبه تیز نبوده، بلکه از ذرات ریز سرامیکها تشکیل شده است که به هم چسبیده است. از قبیل اکسیدآلومینیوم یا کاربید سیلیس.

Al_2O_3 SiC

2- نوع دوم ماشین‌کاری که بدون براده می‌باشد، به وسیله روش‌های شیمیایی عمل می‌گردد مانند روش ماشین‌کاری شیمیایی Chemical Machining (CHM) و یا روش الکتروشیمیایی ماشین‌کاری Electro Chemical M(ECM) و یا روش جرقه زدن Spark.

این روش‌ها در موارد خاصی بکار می‌رود ولی دارای اهمیت زیادی است.

3- روش‌های حرارت دادن و ذوب کردن و دور کردن مذاب از سطح قطعه که می‌تواند به وسیله دمیدن انجام شود و یا آنکه مقدار حرارت بحدی بالا باشد که جسم بخار شده از محیط عمل خارج شود. در این روش ها پلاسما، لیزر و ... حرارت بایستی بقدری بالا باشد تا جسم را بصورت بخار درآورد. منبع انرژی بایستی متمرکز باشد.

عملیات حرارتی Heat treatment

شامل عملیات حرارت دادن و خنک کردن فلزات است که در نتیجه تغییر در خواص مکانیکی و متالوژی فلز می‌باشد. شامل روشهای سخت کردن، نرم کردن، تمپر کردن و .....که قبلاً بحث شده است.

عمل Finishing

این روش شامل عملیات تمیز کردن، پرداخت کردن، پوشاندن و آب دادن و غیره می‌باشد. منظور از پوشاندن Coating است.

مونتاژ کردن Assembly

روش مونتاژ، روشی است که قطعات ساخته شده را به طور دائم یا موقت به یکدیگر متصل می‌کند و شامل اتصالات مکانیکی، لحیم‌کاری، جوشکاری، جا زدن $\begin{Bmatrix} Pressfitting \\ Shrinkfitting \end{Bmatrix}$ می‌باشد و نیز

چسباندن می‌باشد. اتصالات مکانیکی شامل روش‌های پیچ و مهره‌ای، پرچ‌کاری و امثال آن می‌شود که در صنعت به طور وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. لحیم‌کاری متصل کردن دو قطعه به یکدیگر به وسیله ذوب کردن فلز ثالث که در حقیقت عمل چسباندن را انجام می‌دهد.

در این حالت قطعات متصل شده به سادگی قابل جدا شدن می‌باشند. جوشکاری چه در فلزات و غیرفلزات شامل حرارت دادن و ذوب کردن قطعه در محل اتصال که ممکن است همراه با فشار و یا بدون فشار باشد. در این روش درجه حرارت خیلی بالاتر از لحیم‌کاری است و جدا کردن قطعات از یکدیگر همراه با تخریب قطعه کار می‌باشد. حرارت مورد لزوم به وسیله قوس الکتریکی، شعله حاصل از سوختن گاز یا مقاومت الکتریکی حاصل می‌شود.

جا زدن شامل روش‌هایی است که به وسیله فشار پرس و یا حرارت دو قطعه روی یکدیگر سوار می‌شوند. به این ترتیب که دو قطعه‌ای که بایستی به هم متصل شوند ابعاد قطعه داخلی را کمی بزرگتر از سوراخ قطعه خارجی گرفته و در نتیجه با فشار پرس و یا ایجاد برودت قطعه داخلی را جا می‌زنند و یا در حالتهایی که امکان‌پذیر باشد قطعه بیرونی حرارت داده شده و در نتیجه قطعه داخلی را می‌توان در آن جا داد.

بحث اول:

ریخته‌گری

مراجع:

1) در دانشگاه موجود است.

1) Principles of Metal Casting By: R.W.Heine, C.R. Loper

2) Foundry Technology By: P.R.Beely

3) Cost Metals Technology By: J.Gerin SylviA

ریخته‌گری مهمترین روش تولیدی است که از زمانهای قدیم شناخته شده بود بخاطر وسایل کمی که احتیاج دارد. این روش گاهی ساده‌ترین و گاهی اقتصادی‌ترین و گاهی تنها راه قابل قبول برای تولید قطعات است.

بعضی از قطعات پس از ریخته‌گری مستقیماً بکار برده می‌شوند در حالیکه ممکن است قطعات بعد از ریخته‌گری عملیات ماشین‌کاری و پرداخت کاری نیز روی آنها انجام گیرد. در این روش به طور کلی مواد به صورت مذاب وارد محفظه‌ای که قبلاً آماده است شده و در اثر از دست دادن حرارت منجمد می‌گردد. بنابراین در یک مرحله محصول چه ساده باشد و یا شکل پیچیده داشته باشد از هر فلزی که قابل ذوب کردن باشد بدست می‌آید. فلزاتی که معمولاً ریخته‌گری می‌شوند عبارتند از: آهن، چدن، فولاد، آلومینیوم، برنج، برنز، منیزیم، و آلیاژهای روی،که آهن و چدن بخاطر سیالیت، انقباض کم، استحکام، صلبیت و سادگی کنترل بیشترین فلزی است که در ریخته‌گری بکار می‌رود.

* مزایای روش تولید ریخته‌گری نسبت به سایر روش‌های تولید:

1- امکان تولید قطعات با اشکال مختلف:

اشکال پیچیده چه از نظر داخلی و یا خارج قطعه را می‌توان ریخته‌گری نمود. قطعاتی که دارای سطوح منحنی‌های بی‌قاعده هستند را می‌توان ریخته‌گری نمود. امروزه ریخته‌گری بحدی پیشرفته بوده که حقیقتاً قطعه‌ای نیست که نتوان آن را ریخته‌گری کرد.

2- بعضی از فلزات را فقط از طریق ریخته‌گری می‌توان تولید نمود.

بعضی از فلزات را فقط می‌توان ریخته‌گری نمود. مثلاً چدنها که از نظر وزن مهم‌ترین ماده مهندسی است که بکار می‌رود فقط به وسیله ریخته‌گری می‌توان محصول بدست آورد.

3- امکان تولید یک مرحله‌ای محصول

محصول یکپارچه و در یک مرحله تولید می‌شود. در حالیکه اگر از روش‌های دیگر استفاده شود بایستی از چندین قطعه ساخته شده که در نهایت بایستی با روشی این قطعات به یکدیگر متصل شوند.

4- امکان تولید برای تعداد کم و نیز تعداد زیاد قطعات

در حالیکه برای تولید تعداد کم محصول می‌توان بکار برد برای تولید انبوه نیز مناسب است و می‌توان تعداد زیادی قطعه را با سرعت زیاد تولید کرد.

5- عدم وجود محدودیت در وزن قطعات

محدودیتی در وزن محصول وجود ندارد. قطعاتی به کوچکی چند میلیمتر و وزن چند گرم تا قطعات خیلی بزرگ مثلاً به ابعاد چندین متر و مثلاً وزن 200 تن را می‌توان ریخته‌گری نمود. مثل پوسته پمپ‌های بزرگ، پایه توربین‌های آبی و غیره.

6- دستیابی به خصوصیات مختلف فیزیکی قطعات

امکان حصول بعضی از خواص فیزیکی مطابق میل طراح از قبیل خاصیت ماشین‌کاری، خاصیت خفه کردن نوسانات Vibration damping در چدنها و یا بدست آوردن مواد یاتاقانی با کیفیت مورد نظر.

* معایب روش ریخته‌گری

در مقابل روش ریخته‌گری دارای معایب زیر است:

1- عدم یکنواختی در خواص مکانیکی قطعات ریخته‌گری شده

خواص مکانیکی قطعه ریخته شده یکنواخت نیست. Ununiform بخاطر وجود ساختمانهای متالوژی مختلف

2- عدم توانایی در ریخته‌گری قطعات با سطح مقطع کم

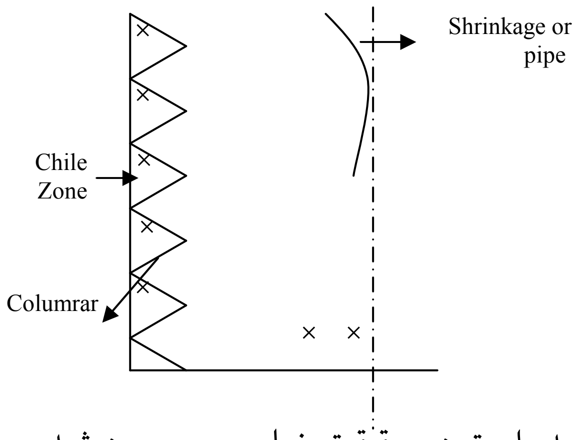
بعضی از اشکال را نمی‌توان اصولاً ریخته‌گری نمود. مثل ورق‌های با سطح مقطع کم و طول زیاد.

3- وجود مشکلات در کنترل مذاب

مشکلات و نکاتی که در ذوب کردن فلزات وجود دارد بخاطر متفاوت بودن نقطه ذوب فلزات و کنترل شیمیایی مذاب که در خیلی از حالتها الزامی است.

ساختمان متالوژی قطعات ریخته شده

در این مرحله لازم است که در باره انجماد فلزات کمی توضیح دهیم. فلز مذاب دارای انرژی زیادی است و هنگامی که وارد قالب می‌شود در اثر سرد شدن انرژی خود را از دست داده و ساختمان کریستالی پیدا می‌کند. قسمتی از مذاب که در ابتدا با جداره قالب تماس پیدا کرده به علت افت سریع درجه حرارت فوراً منجمد شده و تشکیل لایه Chile Zone را می‌دهد.



مطابق شکل (1) (1-a) این قسمت که به جداره قالب چسبیده است در حقیقت خیلی سریع سرد شده و دارای ساختمان Fine equiaxed می‌باشد که دانه‌های بسیاربسیار ریزی است.

در این حالت درجه حرارت کناره دیواره پایین تر از نقطه انجماد فلز است در حالیکه در مرکز قالب درجه حرارت بالاتر از انجماد فلز بوده و حداکثر است.

پایین بودن درجه حرارت در کناره قالب سبب به وجود آمدن جوانه‌ها شده که مرتباً با کاهش درجه حرارت رشد می‌کند. رشد دانه‌ها عمود بر جداره قالب و به شکل ستونهای مخروطی است و تشکیل دانه‌های ستونی را می‌دهد. مطابق شکل (1-b).

به علت رشد دانه‌ها و کاهش درجه حرارت مایع باقی مانده در مرکز ناگهان تعداد زیادی جوانه در نقاط مختلف به وجود آمده و رشد می‌کند. شکل (1-c) و (1-d). در نتیجه تشکیل دانه‌های Course equieaxed را می‌دهند.

به علت کاهش درجه حرارت و حجم مایع در محصول حفره‌ای به وجود می‌آید بنام (Shrinkage or pipe) در شکل 1-d که همان Void است.

با کنترل و مسیر خنک شدن می‌توان یکی یا هر دو نوع ساختمان را در قطعه موردنظر بدست آورد در صورتی که سرعت خنک شدن کم باشد رشد دانه‌ها بیشتر بوده و در نتیجه دانه‌های بزرگتری تولید می‌شود. در حالیکه اگر سرعت خنک کردن زیاد باشد سبب رشد کمتر دانه‌ها شده و در نتیجه دانه‌های ریزتری حاصل می‌شود.

* یا باید قطعه طوری طراحی گردد که ناحیه Weakness تحت بارگذاری‌های دینامیکی و پریودیک قرار نگیرد.

* باید سعی کرد از ایجاد ناحیه Weakness جلوگیری شود.

* قسمت دانه‌های ریز دارای استحکام بیشتری است.

به علت متفاوت بودن ساختمان متالوژی بدست آمده، خواص محصول نیز در نقاط مختلف متفاوت است. مثلاً سطحی که دانه‌های رشد یافته از سطح افق به سطح عمودی می‌رسند صفحه مشخصی است که از نظر خواص مکانیکی بسیار ضعیف است و آن را Plane of Weakness می‌گویند. در شکل (1-d)

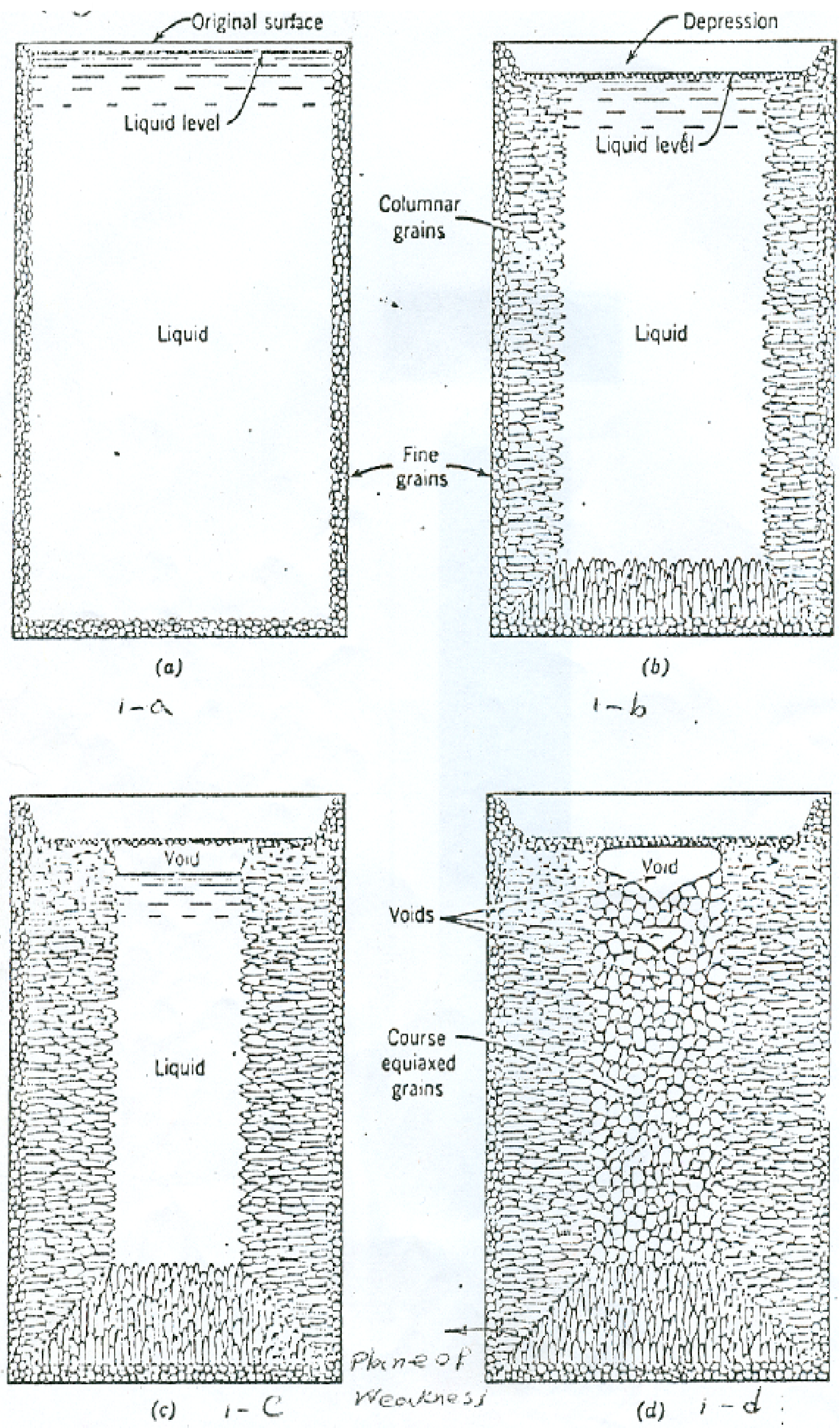


Figure 3-24. Cast structure and shrinkage cavities of an ingot.

مراحل ساخت یک قطعه به وسیله روش ریخته‌گری به شرح زیر است:

1- ساخت مدل Pattern Making

2- ساخت ماهیچه Core Making

3- قالب‌گیری Molding

4- ذوب و ریخته‌گری Melting & Pauring

5- تمیز کردن Cleaning

- ساخت مدل یا مدلسازی

ریخته‌گری در قالبهایی که برای هر محصول بایستی تهیه شود مثل ریخته‌گری در قالبهای ماسه‌ای نیاز است که مدلی تهیه شود. اندازه‌ها و شکل مدل از محصول نهایی بدست می‌آید که قبلاً طراحی شده و

مثلاً به صورت نقشه موجود است. مدل در داخل قالب قرار گرفته تا محفظه‌ای را به وجود آورد تا بعداً با ریختن مذاب به داخل آن محصول نهایی بدست آید.

جنس مدل را تعداد محصول و روش‌های قالب‌گیری تعیین می‌کند. معمولاً چوب، مواد پلاستیکی و فلزات نرم جهت ساخت مدل بکار می‌روند. مدل بایستی در مقابل فرسایش، کوبیدن و رطوبت بتواند مقاومت کند و تغییر شکل ندهد. لذا مدلهای چوبی را با موادی می‌پوشانند تا در مقابل رطوبت و فرسایش مقاومت کند.

نوع چوب بکار برده شده عبارتست از چوب‌های کاج، افرا، صنوبر و ... که نسبتاً ارزان هستند. چنانچه تعداد تولید کم باشد از چوب‌های معمولی استفاده می‌شود و در صورتیکه تعداد زیادی محصول موردنظر باشد از مدل‌های فلزی استفاده می‌شود. در این صورت مدل از جنس آلومینیوم، برنج، قلع و غیره می‌باشد.

آلومینیوم یکی از فلزات مناسب برای ساختن مدل است. به دلیل سبک بودن و نرم بودن و اینکه ساده‌تر می‌توان روی آن کار کرد. مقاومت خوبی در مقابل خوردگی دارد. اما در مقابل فرسایش

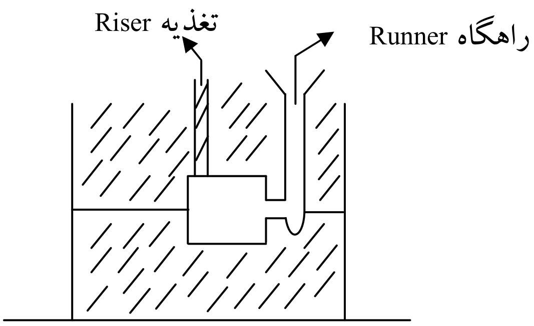
ضعیف است. مدل ممکن است یکپارچه یا از چند تکه مجزا ساخته شده باشد که بهم متصل می‌شوند و معمولاً به وسیله صفحه‌ای به دو قسمت مجزا تقسیم شده که هر قسمت نیمی از حفره قالب را به وجود می‌آورد. این عمل سبب می‌شود که بتوان مدل را از داخل قالب ماسه‌ای بیرون کشید.

انواع مدل‌ها
- مدل‌های چوبی
- مدل‌های فلزی
  - آلومینیوم
    - سبک بودن — آلومینیوم در مقابل فرسایش ضعیف است
    - نرم بودن
    - آسان کار کردن روی Al
    - مقاومت خوب در مقابل خوردگی
  - برنج
  - قلع
  - ...

مدل‌ها
- یکپارچه
- چند تکه

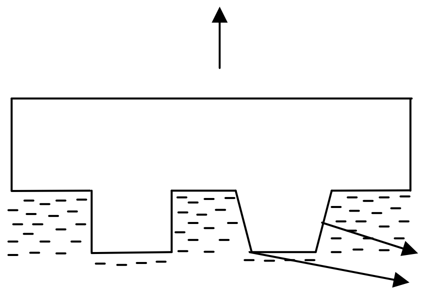
بجای ریختن ماسه و کوبیدن آن با دست این عمل به وسیله ماشین انجام می‌گیرد. این ماشین‌ها که عمل قالب‌گیری راانجام می‌دهند Molding Machine می‌گویند.

مدل علاوه بر آنکه کاملاً مشابه قطعه موردنظر است باید قسمت‌هایی برای راهگاه و تغذیه نیز اضافه نمائیم. که همین‌ها مجاری‌ای هستند که در آنها فلز مذاب جریان می‌یابد تا محفظه قالب را پر کند. برای آنکه محصولی را با ابعاد موردنظر بدست آورد لازم است که به ابعاد مدل مقداری بخاطر انقباض فلز مذاب اضافه نمود که این مقدار بستگی به جنس فلز ریخته‌گری و درجه حرارت مذاب دارد. مثلاً مقدار انقباض برای چدن حدود $\frac{1}{8}\ \frac{in}{ft}$ است و برای فولاد $\frac{1}{4}\ \frac{in}{ft}$ و برای آلومینیوم $\frac{5}{32}\ \frac{in}{ft}$ است.



اگر چنانچه سطح محصول بایستی ماشین‌کاری شود لازم است که مقداری بخاطر ماشین‌کاری به ابعاد مدل اضافه کرد. این مقدار بستگی به روش ریخته‌گری و مقدار براده‌ای که بایستی برداشته شود دارد.

نکته دیگری که در طراحی مدل باید در نظر گرفته شود، شیب سطوح مختلفی است که موازی با جهت بیرون کشیدن مدل از داخل قالب ماسه‌ای باید در نظر گرفت. اگر چنانچه در این نوع سطوح شیب لازم پیش‌بینی نگردد هنگامی که مدل از داخل ماسه به بیرون کشیده می‌شود مقداری از ماسه در بالا جمع شده و مقداری نیز به داخل حفره ریخته می‌شود که در نتیجه محصول دارای سطوح خوبی نخواهد بود. این زاویه متغیر بوده و معمولاً بین $\frac{1}{4}$ تا 2 درجه در نظر گرفته می‌شود.



نکات لازم در مدلسازی

1- در نظر گرفتن مجرای تغذیه

2- در نظر گرفتن راهگاه

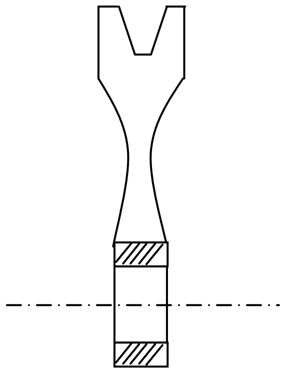
3- در نظر گر فتن انقباض

4- در نظر گرفتن شیب برای سطوح قائم

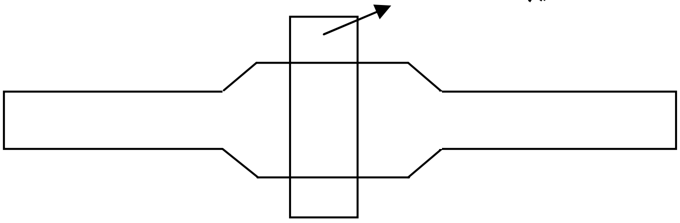
ساختن ماهیچه

اغلب قطعات ریخته‌گری دارای سوراخ یا حفره‌های داخلی هستند. برای آنکه سطوح داخلی در محصول به وجود آید لازم است که از ماهیچه استفاده نمود و این امتیاز روش ریخته‌گری است که کلیه سطوح داخلی همراه با سطوح خارجی در یک مرحله تولید می‌شود. به طوریکه گاهی حتی امکان بوجود آوردن سطوح داخلی به وسیله روش‌های دیگر نیست. مثلاً بدنه موتورهای احتراق داخلی.

طراحی و ساخت ماهیچه، مخارج اضافی برای محصول دارد و در طراحی و ساخت آن نیز مسائل زیادی وجود دارد. مثلاً ساخت یک پولی یا فلکه را در نظر بگیرید.



برای بوجود آوردن سوراخی که محور بایستی از آن عبور کند راه های مختلفی وجود دارد. مثلاً پولی را یکپارچه ریخته‌گری نموده و سپس به وسیله عملیات براده‌برداری در مرکز آن سوراخی به وجود آورد. به اندازه قطر محور موردنظر در این روش مقداری از ماده بصورت براده دور ریخته میشود و مخارج عملیات ماشین‌کاری نیز اضافه می شود. در حالیکه می توان پولی را ریخته‌گری نمود در حالیکه در مرکز آن سوراخی با قطری حدود قطر محور وجود داشته باشد به این ترتیب که ماهیچه-ای با قطری برابر قطر سوراخ در محلی که بایستی به وجود آید قرار داده می‌شود جنس ماهیچه معمولاً از ماسه بوده تا پس از ریخته‌گری به سادگی بتوان آنرا خارج نمود.



ماهیچه بایستی دارای خواص زیر باشد:

1- استحکام آن بایستی کافی باشد تا در مقابل نیروهای ناشی از حمل و نقل و فشار فلز مذاب مقاومت کند.

2- گازها بایستی بتواند از داخل آن عبور نماید.

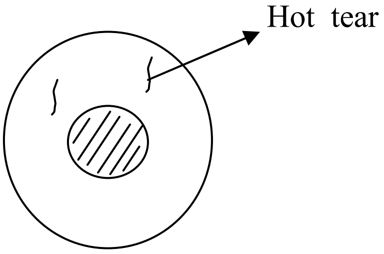
3- در زمان انجماد در اثر انقباض فلز بایستی شکسته شود. تا از ایجاد ترک در محصول جلوگیری نماید و بتوان بسادگی آنرا از محصول جدا نمود.

4- در مقابل حرارت مذاب مقاوم باشد و یا بعبارت دیگر از مواد نسوز بایستی باشد.

5- سطوح صاف داشته باشد تا سطح محصول نیز خوب باشد.

6- بایستی حداقل ممکنه گازها را به وجود آورد.

گاهی اوقات برای آنکه ماهیچه از استحکام کافی برخوردار باشد در داخل آن سیم یا مفتول قرار می دهند تا بتواند در مقابل حمل و نقل و نیروهای ناشی از ریختن فلز مذاب مقاومت کند. در بعضی از حالتها مثل ریخته‌گری فولاد که مقدار انقباض زیاد است ماهیچه را توخالی می سازند تا در اثر فشار انقباض خرد شده و ایجاد نیروی کششی یا بعبارت دیگر تنش‌های حبس شده در محصول ننماید. ترکهایی که در اثر این پدیده در محصول بوجود می آید را Hot tear می گویند.



اگر چنانچه این ترکها نیز ظاهر نشود، مقداری تنش در داخل محصول حبس شده که با خارج کردن ماهیچه نیز از بین نخواهد رفت. معمولاً ماهیچه در جعبه مدلی که تهیه شده است ساخته می شود و برای سخت کردن آن روش‌های مختلفی وجود دارد که در قسمت قالب‌گیری شرح داده می‌شود.

قالب‌گیری

ریخته‌گری خوب بدون قالب‌گیری خوب امکان پذیر نیست. قالب‌گیری شامل روش‌های ساخت قالب و موادی است که مورد مصرف قرار می‌گیرد. اختلاف در روش‌های مختلف قالب‌گیری اصولاً بستگی به روش ساخت قالب و مواد نسوز بکار رفته شده و روش چسباندن قالب به یکدیگر دارد.

قالب در این روش از مونتاژ دو یا چند بلوک فلزی که در آن مواد نسوز طوری به هم چسبیده‌اند که در میان آن محفظه‌ای مطابق شکل محصول بوجود آمده است. علاوه بر این محفظه مجراهایی برای ریختن مذاب و تغذیه محصول وجود دارد. روش‌های مختلف قالب‌گیری به شرح زیر است:

1- قالب‌گیری ماسه‌ای Sand Molding

شامل قالب‌گیری در ماسه تر(Grean Sand Molding) قالب‌گیری در ماسه خشک (Dry- Sand M.)- قالب‌گیری پوسته‌ای(Shell-Molding) - قالب‌گیری به روش CO_2 (Co2 process)

2- قالب‌گیری دقیق Investment Molding

3- قالب‌گیری گچی Plast.M

4- قالب‌گیری گرافیتی Graphit.M

5- قالب‌گیری سرامیکی

1-a قالب‌گیری در ماسه تر: قدیمی‌ترین و متداول ترین روش قالب‌گیری می‌باشد. جنس این نوع قالب‌ها ماسه سیلیسی است که برای ریخته‌گری فولاد، آهن و مواد غیر آهنی بکار می‌رود.به ماسه موادی از قبیل خاک رس و مواد آلی دیگری نیز اضافه می‌شود تا خاصیت چسبندگی بین ذرات ماسه بوجود آید. رنگ این مخلوط در صورتیکه تازه باشد قهوه‌ای و اگر قبلاً مصرف شده باشد خاکستری رنگ است.

روش قالب‌گیری:

به این ترتیب است که نصف مدل که در روی صفحه‌ای سوار است در داخل قابی بنام درجه قرار گرفته، مخلوط ماسه آماده شده را به داخل این قاب و در اطراف مدل می‌ریزند. ماسه را در اطراف

مدل کوبیده به طوریکه شکل کامل مدل در ماسه بوجود آید. بعد از آنکه ماسه به طور کامل کوبیده شد مدل را از داخل آن بیرون کشیده و در نتیجه فضایی مطابق شکل محصول در ماسه باقی می‌ماند. بعد از تهیه نیمه دیگر قالب این دو قسمت روی یکدیگر قرار گرفته و آماده برای ریخته‌گری می‌شوند. عاملی که ذرات ماسه را به یکدیگر می‌چسباند، خاك رس و آب می‌باشد.به همین دلیل این روش را قالب‌گیری در ماسه تر می نامند.

مخلوط ماسه دارای ترکیبات مختلفی است. مثلاً دارای 68 تا 86 درصد وزنی ماسه، 10 تا 20 درصد وزنی خاك رس، 3 تا 6 درصد وزنی آب و 1 تا 6 درصد مواد اضافی دیگر از قبیل پودر سیلیس، پودر زغال و امثال آن برای ریخته‌گری فولاد و چدن بکار می‌رود.

در مورد ریخته‌گری فلزات غیرآهنی این درصدها تغییر می کند.

جنس ماسه سیلیسی: ماسه‌ای که برای ریخته‌گری بکار می‌رود از نوع اکسید سیلیس است SiO_2 که در معادن به صورت سنگ کوارتز وجود دارد و در طول زمان خرد شده و به صورت ماسه در آمده است و یا به وسیله آسیا Crusher خرد شده تا به صورت ماسه درآید. این نوع ماسه‌ها از نظر شکل دانه‌ها و کیفیت پست تراز نوع ماسه‌های طبیعی است.

ماسه زیرکن(زیرکونیوم): Zircon $(Zro_2 \quad Sio_2)$

این ماده خاصیت کوبیدگی و شکل‌گیری بسیار خوبی دارد و حداقل مواد چسبی را نیاز دارد. ضریب انبساطولی آن نیز بسیار جزئی است و نقطه ذوب بسیار بالای آن خاصیت نسوز بودن آن را بهبود می‌بخشد. لذا ریخته‌گری با این نوع ماسه سطوح ریخته‌گری بهتری حاصل می‌شود.

ماسه کرومید

مواد اصلی آن اکسید کرم، اکسید آهن و اکسید آلومینیوم می‌باشد. Cr_2O_3, FeO, Al_2O_3

این نوع ماسه نیز در بعضی از ریخته‌گری ها مورد استفاده قرار می گیرد. به طور کلی مخلوط ماسه تهیه شده برای قالب‌گیری بایستی دارای مشخصات زیر باشد.

خواص مخلوط ماسه

1- نسوز بودن

بالا بودن نقطه ذوب فلزات ایجاب می‌کند که جنس قالب طوری انتخاب شود که بتواند در مقابل حرارت مذاب مقاومت کند و لذا بیشتر از نوع سیلیکا بوده و یا درصد سیلیکای آن بالاست. به طوریکه هنگامی که مذاب وارد قالب شد تغییر حالت نداده و ذوب نشود. ذوب شدن ماسه سبب می-شود که در مذاب حل شده. ضمن آنکه ترکیب شیمیایی محصول را به هم می‌زند، سطح قطعه ریخته شده نیز خراب می‌شود. مثلاً تنگستن را به بعلت بالا بودن نقطه ذوب نمی توان در ماسه ریخته‌گری کرد.

2- قابلیت عبور گازها

به محض ورود ماده مذاب به داخل قالب مقدار زیادی بخارآب و گازهای مختلف تولید می-شوند. لذا ماسه باید توانایی آن را داشته باشد که این گازها را به خارج انتقال دهد. لذا قالب بایستی دارای منافذ زیاد بوده تا گازهای حاصل را به خارج هدایت کند. در غیر این صورت گازها وارد مذاب

شده و در نتیجه ایجاد نقائصی در محصول خواهد کرد. قابلیت عبور گازها بستگی به اندازه دانه-های ماسه دارد. اگر اندازه‌ها درشت و یکنواخت باشد خاصیت عبور گازها بیشتر خواهد بود. قابلیت عبور گازها با عبور دادن مقدار معینی از هوا با فشار مشخصی اندازه‌گیری می‌شود. مثلاً زمانی که لازم است برای عبور $2000\,cm^3$ هوای فشرده شده با فشار $10\frac{gr}{cm^2}$ از نمونه استانداردی که در داخل لوله‌ای قرار گرفته است. به این ترتیب قابلیت عبور گازها برابر است با:

$$P=\frac{V.H}{P.A.t}$$

که در آن:

V: حجم هوای فشرده ات که مثلاً برابر است با $2000\ Cm^3$.

H: ارتفاع نمونه است که برای نمونه استاندارد برابر 2 in است.

P: فشار هوا برحسب $\frac{gr}{cm^2}$.

A: سطح مقطع نمونه است که برابر است با: $(1\times 2.54)^2\pi = 20{,}268\ \ Cm^2$

بنابراین V، H، P، A مقادیر ثابت هستند. بنابراین مقدار عددی قابلیت عبور گازها برابر است با:

$$P = \frac{3007.2}{t(\sec)} = \frac{50.12}{t(\min)}$$

برای بدست آوردن عدد قابلیت عبور گازها از دستگاهی استفاده می‌شود که نیاز به محاسبه ندارد. ولی اصول عمل آن مطابق محاسبات فوق است.

3- استحکام

استحکامی که در مخلوط ماسه به وجود آمده از طریق آزمایش فشاری و برشی اندازه‌گیری می-شود. برای این منظور استوانه‌ای از مخلوط ماسه به ابعاد $2in\times 2in$ تهیه کرده و آن را تحت فشار قرار می‌دهند تا شکسته شود. معمولاً تنش لازم برای شکست حدود $100psi$ می‌باشد. اگر چنانچه شکست

نمونه مورد آزمایش قبل از تبخیر شدن آب موجود در آن باشد، آن را استحکام تر(Green Strength) می نامند.

و در صورتیکه نمونه در داخل کوره تا حدود $225F^\circ$ حرارت داده شود تا آب موجود در آن تبخیر گردد و سپس تحت آزمایش فشاری قرار گیرد، عدد حاصله را استحکام خشک(Dry Strength) می نامند.

قالب بایستی بتواند در مقابل فشار استاتیکی فلز مذاب نیز در درجات حرارت بالا مقاومت کند. لذا استحکام داغ نیز بایستی اندازه‌گیری شود. Hot Strength

این استحکام حدود 30psi تا 18 برای فلزات سنگین و حدود 12 تا 20 psi برای فلزات سبک در $2000F^\circ$ می باشد.

4- قابلیت شکل‌گیری

ماسه قالب‌گیری بایستی دارای قابلیت شکل پذیری باشد تا بتواند تمام قسمت‌های مدل، نظیر گوشه ها و فرورفتگی‌های مدل را پر کند. به طوریکه کلیه نقوش مدل بخوبی و به طور کامل در ماسه منعکس شود.

5- قابلیت مصرف مجدد

ماسه بایستی قابلیت مصرف مجدد را داشته باشد. در غیر این صورت قیمت محصول تمام شده بالا خواهد بود.

قالب‌گیری ماسه خشک

قالب‌گیری در ماسه خشک شبیه قالب‌گیری در ماسه تر می‌باشد با این تفاوت که بعد از ساختن قالب ماسه‌ای آن را در داخل کوره قرار داده و برای چندین ساعت آن را تا حدود $650F^\circ$ حرارت

می‌دهند. در این حالت آب موجود در ماسه تبخیر شده و عمل پلی مریزاسیون در چسب ماسه رخ می‌دهد و در نتیجه باند محکمی بین ذرات ماسه بوجود می آید. این عمل سبب افزایش استحکام داغ میشود و سطح محصول نیز به مراتب بهتر از قالب‌گیری در ماسه تر است و برای ریخته‌گری قطعات سنگین بکار می‌رود. قالب ممکن است از قطعات مجزایی که خشک شده اند مونتاژ گردد. در مورد قالب های بزرگ که امکان خشک کردن آن در داخل کوره وجود ندارد، سطح آن را با حرارت

(با مشعل) خشک می‌کنند. این نوع قالب معمولاً برای ریخته‌گری قطعات فولادی کوچک و متوسط بکار می‌رود و نسبت به روش قبلی گران‌تر بوده و ماسه مصرفی قابل استفاده مجدد می‌باشد.

قالب‌گیری پوسته‌ای Shell Molding

ماسه‌ای که برای این نوع قالب‌گیری بکار می‌رود اغلب ماسه سیلیسی بوده که فاقد خاک رس است و به آن حدود 2 تا 5 درصد وزنی مواد چسبی از نوع ترموستینگ اضافه می‌شود. مواد چسبی از نوع فنل فرمالدئیدها یا پلی استرها می‌باشد که معمولاً در الکل یا حلال دیگری حل شده و سپس به ماسه اضافه می‌شود. به غیر از ماسه سیلیسی از انواع دیگر ماسه ممکن است استفاده شود. در این روش مدل فلزی است و معمولاً از آلومینیوم تهیه می‌گردد که روی صفحه ای نصب می‌شود. مراحل قالب-گیری مطابق شکل به شرح زیر است.

1- مخلوط ماسه و مواد چسبی در داخل جعبه ای قرار می‌گیرد. مدل فلزی که تا حدود $280°C$ حرارت داده شده، درب جعبه قرار می‌گیرد و سپس جعبه واژگون می‌شود.در نتیجه مخلوط ماسه روی مدل داغ ریخته شده و آن را کاملاً می‌پوشاند.

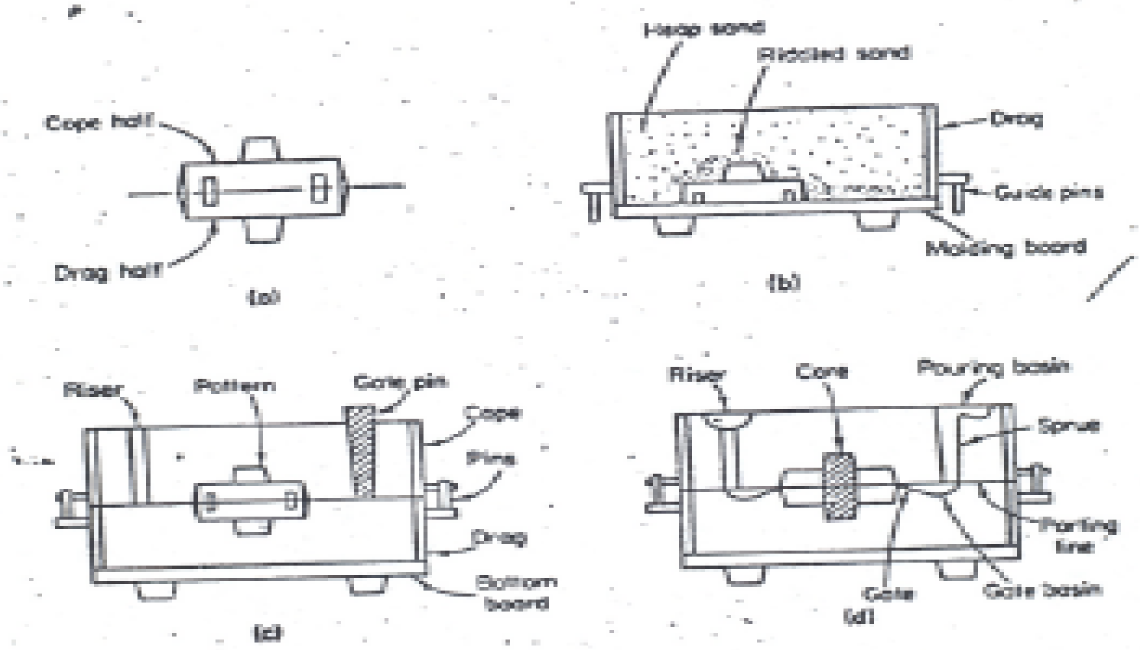
در اثر حرارت مدل عمل پلی‌مریزاسیون رخ داده و در نتیجه ذرات ماسه به یکدیگر می‌چسبند. پس از زمانی حدود 15 ثانیه جعبه به حالت اول برگشته و در نتیجه لایه جامدی به ضخامت $\frac{1}{8}$ تا $\frac{3}{4}$ اینچ روی

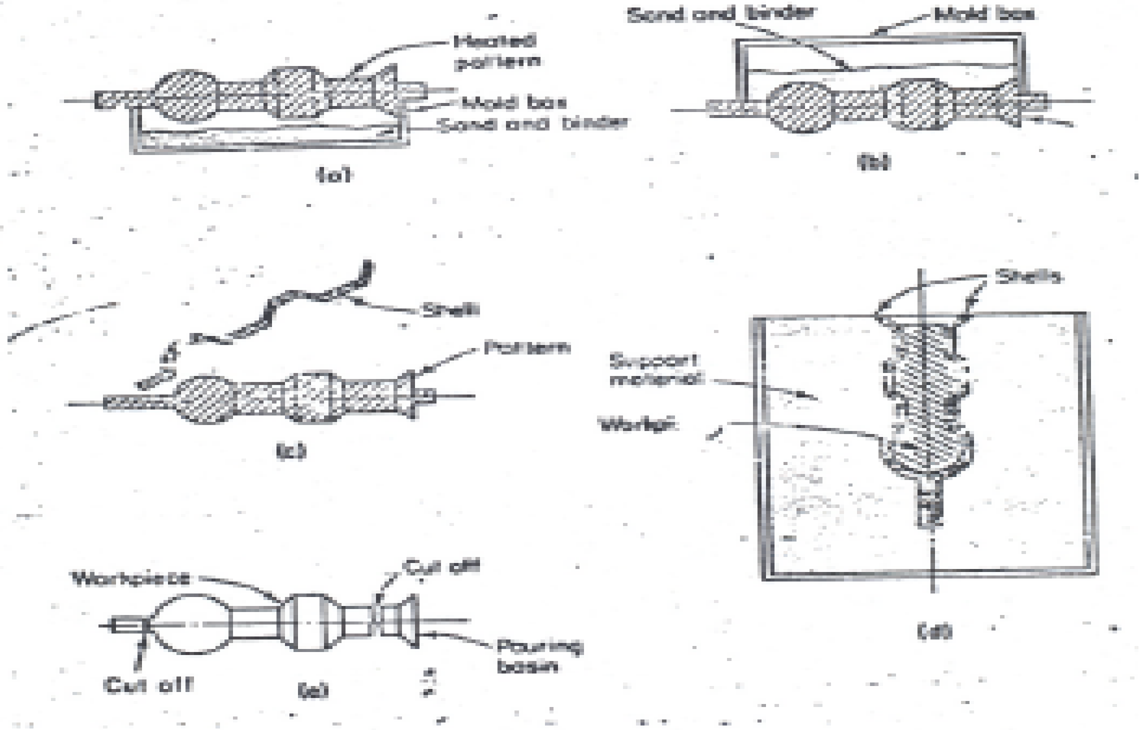
تمامی سطوح مدل پوشانده می‌شود. درجه حرارت مدل و زمان تماس ماسه با مدل، ضخامت لایه را مشخص می‌کند.

2- لایه به وجود آمده را از مدل جدا کرده و به داخل کوره‌ای منتقل می‌کنند. در اثر حرارت کوره عمل پلی‌مریزاسیون کامل شده و استحکام لازم حاصل می‌شود.

3- دو قسمت پوسته به یکدیگر چسبانده یا متصل می‌گردد تا قالب کامل به وجود آید.

4- پوسته آماده شده در داخل جعبه‌ای قرار گرفته که اطراف آن را از ماسه پر می کنند تا ایـن پوشـه را حمایت کند. در نتیجه قالب آماده برای ریخته‌گری می‌شود.





مزایای این روش نسبت به روش‌های گفته شده به شرح زیر است:

1- تلرانس حدود $0.002\frac{in}{in}$ را می توان بدست آورد.

2- زاویه شیب کمتری در مدل مورد احتیاج است.

3- ریخته‌گری سطح مقطع نازکتر را می توان انجام داد و درجه حرارت مذاب نیز کمتر است از ریخته‌گری در ماسه تر.

4- سوراخهایی به $\frac{1}{4}in$ کوچکی قطر و $\frac{1}{2}in$ عمق را می‌توان ریخته‌گری نمود.

5- سطوح بسیار بهتری را می‌توان بدست آورد و در نتیجه عملیات ماشین‌کاری حذف و یا به حداقل می‌رسد.

در مقابل دارای معایب زیر است:

1- لوازمی که برای ساختن مدل بکار می‌رود گرانتر است از لوازمی که برای ساختن مدل برای قالب ماسه‌ای مورد نیاز است.

2- مخارج اضافه سرمایه‌گذاری که برای ماشین‌های قالب‌گیری مورد نیاز است.

3- محدودیت در اندازه و ابعاد مدل وجود دارد.

4- مخارج اضافه کردن چسب به ماسه که در خیلی از حالتها جبران می‌شود بوسیله استفاده کمتر از ماسه.

5- تعداد تولید زیادی باید موردنظر باشد تا مخارج انتخاب این روش را بپوشاند.

6- ماسه مصرفی قابل استفاده مجدد نیست.

به طور کلی این سیستم به سادگی قابل اتوماتیک شدن است و احتیاج به کارگر ماهر ندارد و برای تولید انبوه مناسب است و اغلب در ماهیچه‌سازی نیز بکار گرفته می‌شود.

قالب‌گیری با استفاده از گاز Co_2

در این روش بجای خاک رس 1.5 تا 6 درصد سیلیکات سدیم Na_2O, SiO_2 به ماده سیلیسی و آب اضافه می‌شود. قالب‌گیری کاملاً مشابه به قالب‌گیری در ماسه تر می‌باشد، بعد از آنکه قالب کاملاً ساخته شد گاز Co_2را از داخل آن عبور می‌دهند. در اثر ترکیب شیمیایی گاز Co_2 و سیلیکات سدیم قالب سخت می‌شود. زمان لازم برای سخت شدن قالب حدود چند دقیقه است. این روش برای تهیه ماهیچه نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش برای خشک کردن قالب احتیاج به حرارت نیست و قالب به سرعت سخت می‌شود. ماسه استفاده شده در این سیستم به سادگی ماسه تر قابل استفاده مجدد نیست. سرعت تولید زیاد می‌باشد.

2- قالب‌گیری دقیق Investment Molding

در این روش قالب و مدل فقط یک بار مصرف می‌شود. مدل از جنس موم تهیه می‌شود و گاهی اوقات از بعضی مواد دیگر از قبیل ترموپلاستیکها نیز ساخته می‌شود. خود مدل نیز قبلاً در داخل قالب فلزی ریخته می‌شود. بخاطر آن که نقطه ذوب موادی که برای مدل بکار می‌رود خیلی پایین است، ساختن این قالب کار مشکلی نیست و می‌توان آن را از فلزاتی از قبیل آلومینیوم یا آلیاژهای روی انتخاب کرد. مدل مومی که همراه با راهگاه است به داخل مایع دیرگدازی فرو برده و خارج می‌کنند. این عمل سبب می‌شود که لایه نازکی از پودر نرم سیلیکا روی مدل بنشیند.

به منظور افزایش ضخامت این لایه ممکن است چندین بار این کار تکرار شود. سپس آن را در داخل جعبه‌ای قرار داده و پودر سیلیس درشت تری روی آن ریخته و اجازه داده می‌شود که در همان حال خشک شود و در نتیجه قالب کامل بوجود آید. در حالیکه مدل مومی در داخل آن جای دارد. برای خارج کردن مدل قالب را در داخل کوره‌ای گذاشته و تا حدود $300F°$ حرارت می‌دهند.

در نتیجه مدل ذوب شده و از قالب خارج می گردد پس از خروج موم درجه حرارت را بالاتر برده تا جرمهای احتمالی باقی مانده بسوزد و گاهی اوقات تا نقطه انجماد فلز مذاب حرارت می‌دهند تا ریخته‌گری قطعات نازک را عملی سازد و هم‌چنین تنش‌های حرارتی احتمالی که در داخل قطعه ریخته شده بوجود می‌آید کاهش دهد.

سطح تمام شده محصول،تلرانس خوب، امکان ریخته‌گری قطعات ظریف و نازک و پیچیده از مزایای این روش است و معمولاً برای ریخته‌گری قطعات و موادی بکار می‌رود که امکان شکل دادن یا بعلت سخت بودن امکان ماشین‌کاری وجود ندارد و هدف آن باشد که در یک مرحله بدون هیچگونه کار اضافی محصول موردنظر تولید گردد.

امروزه از این روش برای تولید قطعات زیادی در صنعت استفاده می‌شود. مثل صنایع هواپیمایی، صنایع نظامی، الکترونیک، دندانپزشکی و غیره.

آلیاژهای مختلفی را می‌توان در این نوع قالبها ریخته‌گری نمود. از قبیل انواع آلیاژهای فولادی، فولادهای مخصوص آلیاژهای مس، آلیاژهای نیکل و کبالت و غیره.

به طور کلی تلرانس خطی بدست آمده در قطعات تولید $\pm 0.13\frac{mm}{25mm}$ است. بنابراین سوراخی با قطر 25mm را می‌توان با تلرانس ± 0.13 با سطح عالی بدست آورد. روی هم رفته این روش احتیاج به کارگر ماهر دارد و مخارج تهیه قالب نیز گران است.

- قالب‌های گچی

در این روش جنس قالب، گچ دندانسازی است همراه با پودر سیلیس. ممکن است حدود 20 تا 30 درصد پودر تالک به آن اضافه شود تا از ترک خوردن قالب جلوگیری نماید. برای تهیه قالب ابتدا گچ را در آب ریخته و بهم می‌زنند تا سیالی بدست آید سپس آن را در اطراف مدل و به داخل قالب می‌ریزند بعد از حدود 20 تا 30 دقیقه مخلوط قالب‌گیری در اطراف مدل خود را گرفته که در این

حال می‌توان مدل را از آن خارج کرد. برای راحت خارج شدن مدل لازم است که سطح آن را با مواد روغنی پوشش دهند. در ضمن مدل بایستی فلزی باشد تا رطوبت گچ در آن نفوذ نکند و خارج کردن از قالب به سهولت انجام گیرد. پس از آنکه خودگیری قالب به حد معینی رسید، آن را تا حدود $400F°$ حرارت داده تا گچ هیدراته شود. عیب این روش زمان زیادی است که برای خودگیری قالب لازم است. معمولاً برای ریخته‌گری فلزاتی بکار می‌رود که نقطه ذوب آنها کمتر از $1100°C$ می‌باشد مشابه آلومینیوم، برنج، برنز، مس و غیره.

به علت آن که ضریب هدایت حرارتی آن پایین است، زمان زیادی فلز ریخته شده به صورت مایع در داخل قالب باقی می‌ماند که سبب می‌شود سطح مقطعهای نازک محصول را نیز پر نماید. به علت صاف و یکنواخت بودن سطوح این نوع قالبها، محصول نیز از سطح خوب و دقت ابعاد مناسب برخوردار است. به طوریکه تقریباً عملیات ماشین‌کاری حذف می‌شود.

4- قالب‌گیری گرافیتی

ریخته‌گری بعضی از فلزات مانند آلیاژهای تیتانیوم بایستی در داخل قالب‌های خنثی انجام گیرد. به این منظور از قالب‌های گرافیتی استفاده می‌شود. در این روش مخلوط گرافیت را روی مدل و در داخل جعبه‌ای ریخته می‌کوبند. به طوریکه عکس مدل به طور کامل در مخلوط کوبیده شده به وجود آید. سپس برای آنکه شکل قالب ثابت بماند آنرا در محیط احیاء تا حدود $2000F°$ حرارت داده تا خشک شود. سپس قالب آماده است تا فلز مذاب به داخل آن ریخته شود. اغلب برای جلوگیری از هرگونه فعل و انفعال بین فلز مذاب و محیط اطراف از ریخته‌گری در خلاء استفاده می‌شود.

ریخته‌گری در قالب‌های دائم Permanent- Molding

روش‌های ریخته‌گری که تاکنون توضیح داده شد همگی دارای این عیب بودند که پس از ساختن قالب و یکبار ریختن ماده مذاب در داخل آن از بین رفته و مجدداً بایستی قالب جدیدی را برای ریخته‌گری مجدد ساخته و آماده نمود. برای رفع این عیب و حذف زمان لازم جهت قالب‌گیری از

قالبهای فلزی استفاده می‌شود که با آنها می‌توان چندین هزار قطعه در داخل یک قالب ریخته-گری نمود. تمامی فلزات را می‌توان با این روش ریخته‌گری نمود ولی معمولاً آلیاژهایی که نقطه ذوب پایینی دارد بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد مثل آلیاژهای آلومینیوم، منیزیم، آلیاژهای مسی، آلیاژهای روی و غیره.

- قالب فلزی معمولاً از دو نیمه که توسط صفحه عمودی از یکدیگر جدا شده است تشکیل می‌شود. به وسیله مکانیزمی این دو قسمت با سرعت از یکدیگر جدا شده و یا به یکدیگر متصل می‌شوند. این قالبها در طول مدت ریخته‌گری بایستی دارای درجه حرارت ثابتی باشند تا ضمن آنکه از سریع سرد شدن مذاب جلوگیری بعمل می‌آورند، اجازه دهند که انجماد نیز صورت گیرد.

به این منظور قالبها را در ابتدا گرم کرده و سپس برای ثابت نگهداشتن درجه حرارت مرتباً به وسیله آب یا هوا خنک می‌شوند. سطح داخل قالب به وسیله مخلوطی از روغنهای گرافیتی پوشانده می‌شود تا بعد از ریختن مذاب و انجماد، قطعه به قالب نچسبد و بسادگی از آن جدا شود. از آنجا که قالبهای فلزی قابلیت عبور گازها را ندارند، لذا بایستی سوراخ‌هایی برای فرار هوا و گاز در داخل قالب پیش-بینی نمود که معمولاً روی صفحه عمودی است که دو نیمه قالب را جدا می‌کنند یا سوراخهای ریزی که در کف قالب جا می‌شوند.

دستگیره درب– کاربراتور– پمپ بنزین را به این روش ریخته‌گری می‌نمایند.

مزایای این روش عبارتند از:

1- تعداد تولید قطعه در واحد زمان در مقایسه با سایر روش‌ها بسیار زیاد است که از نظر اقتصادی امتیاز بزرگی است. حدود 500 قطعه در ساعت

2- قطعات تولیدی با تلرانس بسیار خوبی مثلاً in/in 0.001 ± می‌توان تولید نمود.

3- با این روش می‌توان قطعات با سطح مقطع نازک مثلاً 0.015 اینچ را ریخته‌گری نمود.

4- سطح تمام شده بحدی خوب است که می‌توان مستقیماً مورد استفاده قرار داد. بنابراین عملیات ماشین‌کاری بطور کلی حذف می‌گردد.

5- بعلت سرد شدن سریع استحکام قطعه افزایش می‌یابد. (بعلت اینکه قالب فلزی است).

زمانی که مذاب را به داخل قالب می‌ریزیم اگر فقط در اثر وزن مذاب قالب پر گردد Gravity در این صورت روش ریخته‌گری را Gravity Diecasting می‌نامند. اما اگر پر کردن قالب از مواد مذاب تحت فشار انجام گیرد آن را Pressure Diecasting می‌نامند.

در این روش در حقیقت مذاب به داخل قالب تزریق می‌گردد و بیشتر برای ریخته‌گری فلزات غیرآهنی بکار گرفته می‌شود و ضمن آنکه فلز تحت فشار قالب را پر می‌کند، انجماد نیز تحت فشار صورت می‌گیرد.

دو نوع ماشین ریخته‌گری تحت فشار وجود دارند که عبارتند از:

- ماشین‌های ریخته‌گری تحت فشار با مخزن داغ Hot- Chamber

مطابق شکل (1)- ماشین قالبگیری سرد نمی‌شود.

- ریخته‌گری تحت فشار با مخزن سرد Cold- Chamber

مطابق شکل (2)- ماشین قالبگیری سرد می‌شود.

که استفاده از هر کدام بستگی به نوع آلیاژ دارد. مثلاً برای ریخته‌گری آلیاژهای روی، قلع یا سرب از ماشین‌های مخزن داغ استفاده می‌شود. زیرا مذاب به ماشین آسیبی نمی‌رساند. در حالیکه ریخته‌گری مواد برنجی، منیزیم، آلومینیوم از ماشین‌های مخزن سرد استفاده می‌شود بخاطر نقطه ذوب بالاتر و خاصیت خورندگی که در آهن و فولاد بوجود می‌آید. اخیراً با استفاده از آلیاژهای تیتانیوم در ماشین‌های مخزن داغ، می‌توان قطعات آلومینیومی را نیز با این روش بدست آورد.

فشار اعمال شده روی مذاب حدود 500 تا 1000 bar می‌باشد که معمولاً به وسیله سیلندر و پیستون تأمین می‌گردد. این فشار سبب می‌شود که دو نیمه قالب از هم جدا گردد. بنابراین حتماً بایستی در ماشین مکانیزمی را پیش‌بینی نمود که این نیرو را خنثی نماید. این مکانیزم سیلندرهای هیدرولیکی است و یا بازوهای مکانیکی است که قالب را بسته نگاه می‌دارد.

اگر چنانچه سیلندر اصلی در داخل کوره مذاب قرار گیرد، با حرکت پیستون مقدار معینی مذاب به داخل قالب تزریق می‌گردد در حالیکه در ریخته‌گری با مخزن سرد، سیلندر پیستون و قالبها جدا از کوره می‌باشد و ماده مذاب به وسیله دستی یا پمپ به داخل سیلندر ریخته شده و با حرکت پیستون مذاب با فشار به داخل قالب تزریق می‌گردد. پس از انجماد پیستون حرکت کرده و بجای اول خود برمی‌گردد. سیکل ریخته‌گری تحت فشار با این ماشین‌ها به شرح زیر است:

1- بسته شدن دو نیمه قالب و قفل شدن آنها

2- تزریق مذاب با فشار به داخل قالب و باقی ماندن فشار روی مذاب

3- انجماد مذاب در داخل قالب تحت فشار

4- باز شدن قالبها و جدا شدن دو نیمه از یکدیگر

5- بیرون انداختن محصول منجمد شده از داخل قالب.

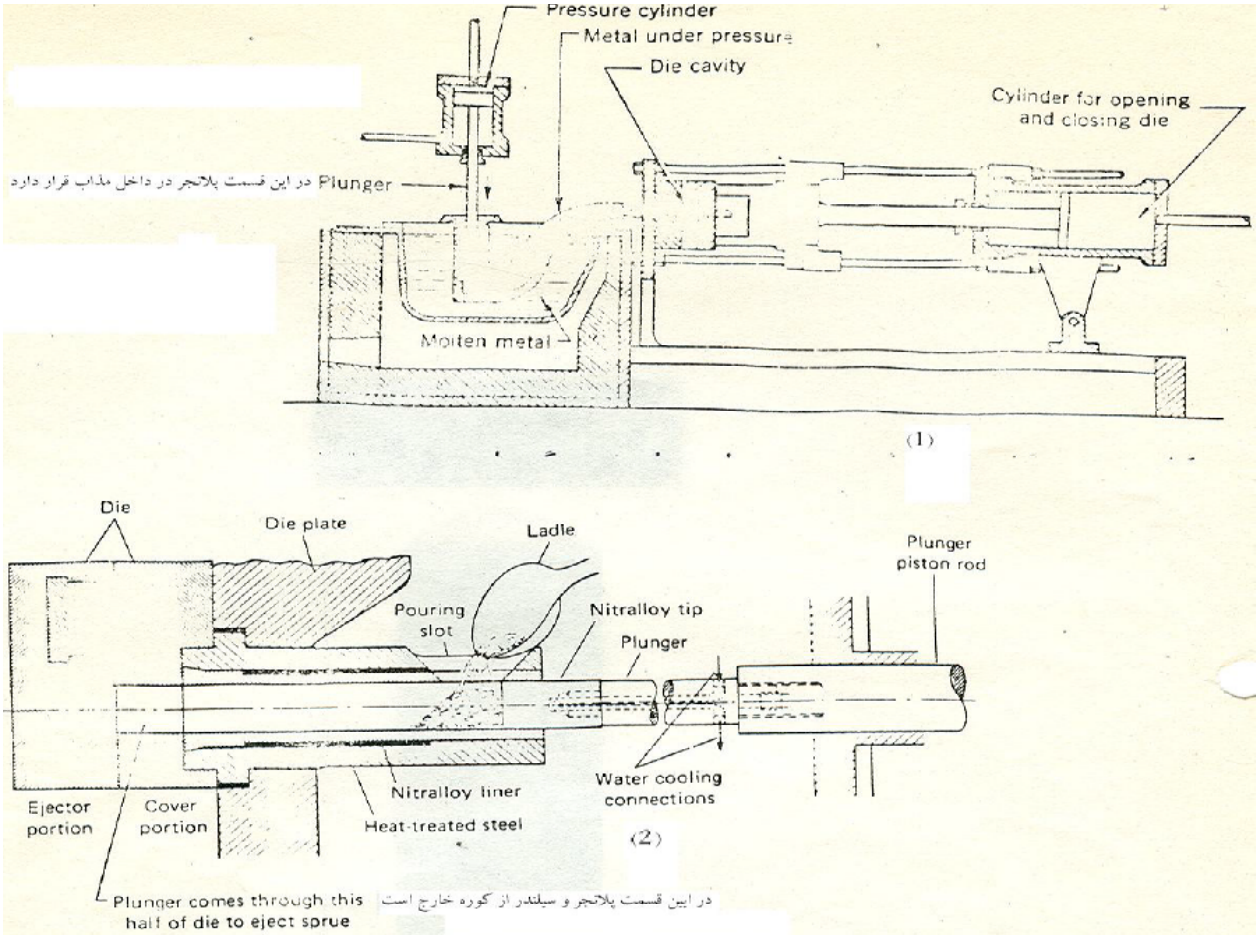
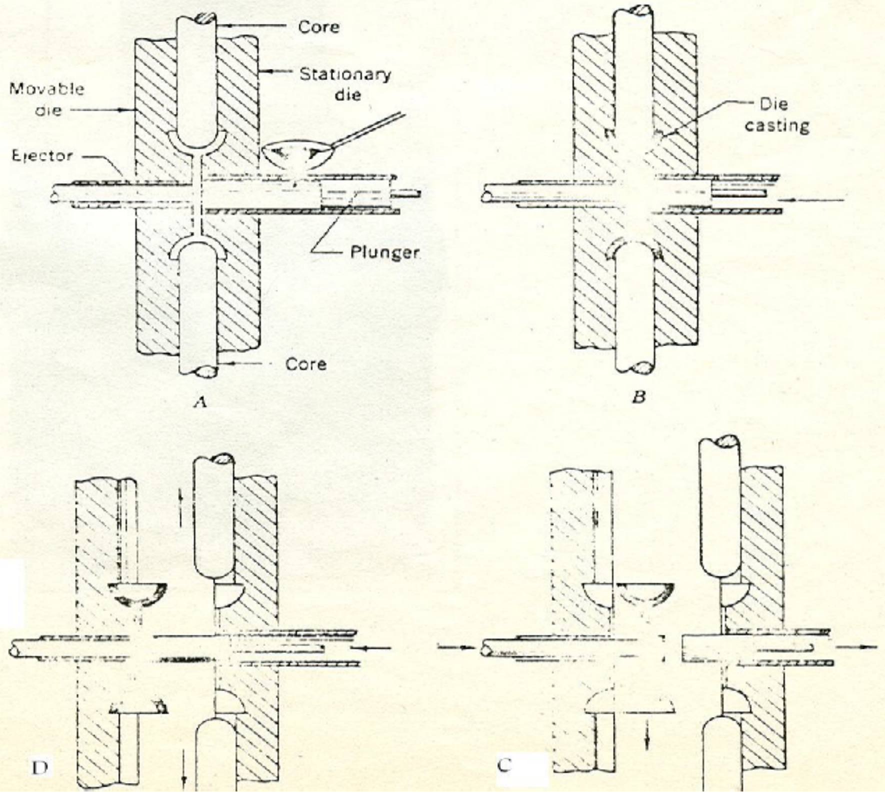


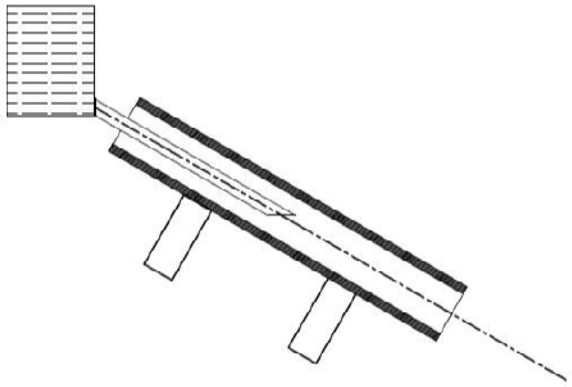
FIGURE 10-23
Schematic view of the cold-chamber die-casting process.



روش ریخته‌گری گریز از مرکز Centrifugal-Casting

برای تولید انبوه ریخته‌گری لوله‌ها و اجسام متقارن ساده از این روش استفاده می‌شود که در آن قالب فلزی استوانه‌ای حول محور افقی یا عمودی با سرعتی بین 300 تا 3000 دور در دقیقه می-چرخد. مذاب به داخل قالب ریخته شده و بر اثر نیروی گریز از مرکز به جداره قالب می‌چسبد و تحت فشار این نیرو منجمد می‌شود. به علت وجود فشار در حال انجماد چگالی محصول بیشتر بوده و از طرف دیگر فلز خالص که سنگین تر است در لایه‌های بیرونی بوده و ناخالصیها در لایه‌های داخلی متمرکز می‌گردد. اگر چدن را با این روش ریخته‌گری نمائیم، UTS آن حدود 50 درصد افزایش خواهد یافت. سطح خارجی محصول سالم و یکنواخت است و از این روش برای تولید استوانه سیلندرهای موتورهای احتراق داخلی، لوله‌ها و غیره استفاده می‌شود.

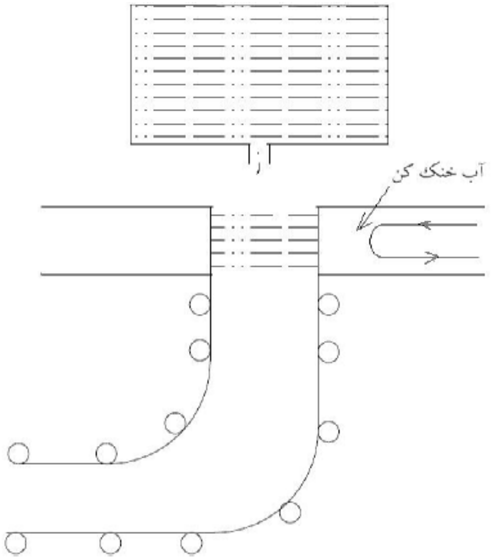
در این روش به علت منجمد شدن تحت فشار، مُک در قطعه وجود ندارد.



ریخته‌گری مداوم Continious-Casting

برای تولید شمش ها (ingot or shab) یا میله‌های گرد و امثال آن این روش بکار می‌رود. محصول حاصله معمولاً محصول نهایی نبوده بلکه پس از این مرحله جهت ساخت عملیات دیگری روی آن بایستی انجام گیرد. در این روش مذاب به طور مداوم به داخل قالب فلزی که با آب خنک

می‌شود، وارد می گردد. سطح مقطع قالب شکل محصول بوده و دارای یکی از اشکال ساده هندسی است. فلز مذاب در اثر تماس با قالب منجمد شده و شکل ابتدایی را به خود می گیرد. پس از خروج از قالب در حالیکه مرتباً خنک می‌شود، به وسیله غلطکها هدایت شده و نهایتاً به اندازه‌های مورد دلخواه بریده می‌شود.



تمیز کردن

بعد از آنکه مذاب در داخل قالب منجمد شد قالب شکسته شده و محصول از آن خارج می‌گردد. در صورتیکه ماسه مصرفی قابل مصرف مجدد باشد، جمع‌آوری شده و برای تصفیه و استفاده مجدد آماده می گردد. تمیز کردن محصول شامل بیرون آوردن ماهیچه‌ها، برداشتن راهگاه و تغذیه، تمیز کردن گوشه ها و سطوح خشن و تعمیر نقاط معیوب است. همه این کارها لازم نیست که برای محصولی انجام گردد. بلکه بستگی به نیاز دارد. تمیز کردن دارای مخارج زیادی است که بایستی در طراحی و انتخاب روش ریخته‌گری طوری در نظر گرفت که حداقل کار برای تمیزکاری لازم باشد.

جدا کردن ماهیچه از محصول به وسیله دستگاه ویبره انجام می گردد. در بعضی از حالتها با وارد کردن محصول در محلولی که حلال چسب ماسه است آن را از قطعه ریخته شده جدا می کنند. راهگاه و تغذیه که روی محصول باقی مانده است بعضی اوقات با ضربه جدا شده و در اغلب موارد بریده می‌شود. در فلزات غیرآهنی و چدن به وسیله سنگ فیبری بریده شده و یا بوسیله اره‌های لنگ و یا اره نواری بریده می‌شود.

در صورتیکه اندازه قطعه خیلی بزرگ باشد از دستگاههای جوش برای برش استفاده می‌شود. برای تمیز کردن سطح محصول معمولاً از هوای فشرده شده که همراه آن ماده ساینده ای مثل ماسه یا ساچمه‌های فولادی ریز وجود دارد استفاده می‌شود هوای فشرده شده همراه با ذرات ماسه به سطح قطعه برخورد کرده و آن را تمیز می کند و به این روش Sand-blasting گفته می‌شودودر صورتیکه از ساچمه‌های ریز فولادی استفاده شود به آن Shot-blasting می گویند.

این عمل در یک اتاق در بسته انجام می‌شود.

با توجه به اینکه فلزات و آلیاژهای مختلفی ریخته گری می‌شود، لازم است که بعد از عملیات ریخته گری روی آنها عملیات حرارتی نیز انجام گردد. تنش‌های حبس شده در قطعه از بین بروند در این صورت قسمتی نیز وجود دارد که در آن کوره‌های عملیات حرارتی قرار می گیرند.

ذوب و ریختن

در روش‌های ریخته گری به طور کلی احتیاج به مذاب است برای تهیه مذاب احتیاج به کوره- هایی است که بتواند وظایف زیر را به نحو مطلوب برآورده نماید.

1- بتواند درجه حرارت کافی برای ذوب کردن فلز بوجود آورد.

2- قادر باشد مذاب را در درجه حرارت مشخص برای مدت زمانی نگهداری نماید. به منظور تغییر ترکیب شیمیایی و اضافه کردن عناصر آلیاژ.

3- میزان آلودگی هوا و محیط اطراف آن حداقل باشد.

4- استفاده از آن اقتصادی باشد.

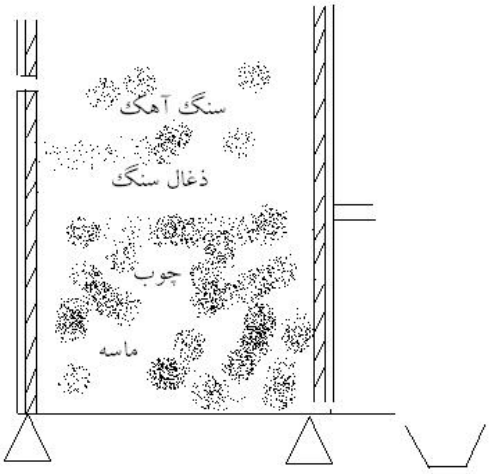
به طور کلی در همه واحدهای ریخته گری برای ذوب کردن فلزات از کوره‌های Copola، کوره های زمینی، کوره‌های قوس الکتریکی Electric-Arc، کوره‌های القائی Electric Induction استفاده می‌شود.

- در واحدهای ریخته‌گری فولاد که مستقیماً قطعات فولادی غلطک کاری می‌شوند از کوره‌های زیمنس- مارتین و یا از کوره‌های بسمر Bessmer نیز استفاده می‌شود.

کوره کوپل Copolas

اکثر چدن‌های سفید و خاکستری در کوره‌های کوپل ذوب می‌شوند. این کوره از یک پوسته استوانه فولادی تشکیل شده است که در داخل آن لایه‌هایی از آجر و مواد نسوز که دیواره کوره را تشکیل می‌دهد به آن چسبیده است. این استوانه فلزی روی پایه‌های فولادی قرار گرفته که حدود یک یا 1.5 متر از سطح زمین بالاتر است. کف کوره از یک ورق فولادی تشکیل شده که به بدنه کوره لولا شده است تا بتوان با باز کردن آن داخل کوره را تمیز و یا تعمیر نمود.

روی این ورقه لایه‌ای به ضخامت حدود 4 تا 6 اینچ ماسه ریخته شده که دارای شیبی به طرف مجرای خروجی کوره می‌باشد. مجرای خروجی مخروطی شکل بوده که حدود 2 اینچ قطر دارد روی لایه‌های ماسه‌ای مقداری چوب ریخته و روی آن زغال کک قرار می‌دهند. سپس مواد فلزی لایه لایه در داخل کوره قرار می‌گیرد که تقریباً در مقابل یک قسمت زغال کک 8 تا 10 قسمت آهن و مقداری مواد زودگداز مثل سنگ آهک اضافه می‌شود.



پر کردن کوره از دربی که در بالای کوره قرار دارد انجام می‌شود. این لایه‌ها تا زیر این در چیده می‌شود. ابتدا چوب‌ها را آتش زده و در نتیجه پس از مدتی زغال کک آتش می‌گیرد، حدوداًنیم

ساعت زمان لازم دارد تا زغال کک تحت جریان طبیعی هوا آتش بگیرد. سپس هوا به وسیله دمنده‌هایی به داخل کوره دمیده می‌شود و سبب افزایش سریع درجه حرارت می‌گردد.

در نتیجه آهن و سایر مواد شروع به ذوب شدن می‌کند و به طرف پایین کوره جریان می‌یابد. درقسمت پایینی کوره ولی بالای مذاب دریچه‌ای است از شیشه‌های کوارتز که می‌توان داخل کوره را دید، به محض مشاهده شروع ذوب شدن سوراخ مجرای مذاب به وسیله یک درپوش مخروطی از جنس خاک نسوز بسته می‌شود. مذاب در حوضچه پایینی کوره جمع شده در حالیکه سرباره روی مذاب شناور است. سر باره را می‌توان از مجرای مخصوصی که در بالای مذاب قرار دارد از کوره خارج نمود. زمانی که مقدار مذاب به حد کافی رسید دمنده‌ها قطع شده و درپوش نسوز مجرای خروجی کوره را برداشته و اجازه داده می‌شود که فلز مذاب از داخل کوره خارج شده و به داخل بوته جریان یابد. پس از گرفتن مذاب مجرای خروجی مجدداً بسته شده و کوره مجدداً بارگذاری می‌شود و هوا نیز از طریق دمنده‌ها مجدداً جریان می‌یابد.

با این وسیله می‌توان چدن با کیفیت عالی بدست آورد و این به شرطی است که مواد اولیه مناسب بکار برده شده مثلاً از زغال سنگ با سولفور زیاد استفاده نشود. این کوره‌ها ساده و اقتصادی هستند و جهت جلوگیری از آلودگی محیط زیست سیستم‌هایی به کوره اضافه شده که گازهای خروجی کوره را قبل از آنکه در هوا رها کنند، تصفیه می‌کنند.

کوره‌های قوس الکتریکی

استفاده از این نوع کوره‌ها در واحدهای ریخته‌گری به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. بعلت سرعت زیاد ذوب کردن و قادر بودن به نگهداری مذاب برای مدت زمان لازم جهت تهیه آلیاژ و یا مصارف دیگر. در ضمن استفاده از این نوع کوره‌ها تا حدود زیادی از آلودگی هوا می‌کاهد. درب این نوع کوره‌ها می‌تواند به طرف بالا و راست و چپ حرکت نماید.

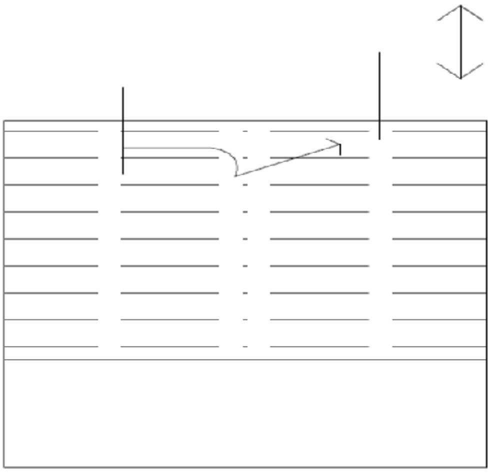
در نتیجه بالا بردن درب و حرکت آن به یک طرف امکان آنرا می‌دهد که کوره را از مواد لازم برای ذوب کردن پر نمائیم. سپس درب کوره بسته شده و الکترودهایی وارد کوره می‌شوند. در داخل کوره قوس الکتریکی مابین الکترودها برقرار می‌شود که در نتیجه حرارت این قوس فلز ذوب می‌گردد. با کنترل شدت جریان الکتریسیته طول قوس الکتریکی به طور اتوماتیک کنترل می‌شود.

در این نوع کوره‌ها نیز از مواد زودگداز استفاده می‌شود و پس از ذوب شدن روی مذاب به صورت سرباره قرار می‌گیرد و مذاب را پوشش می‌دهد با توجه به کنترل آسان و توانایی نگهداری مذاب در آنها امکان آن را می‌دهد که هر نوع فلزی را با کیفیت بالا با هر نوع ترکیب شیمیایی بدست آورد. امتیاز دیگر آن دسترسی به درجات حرارت خیلی بالاست که امکان سرعت نسبی ذوب بالایی را می‌دهد.

ظرفیت این نوع کوره‌ها متفاوت بوده و تا حدود 100 تن می‌رسد ولی اندازه‌ای که بیشتر مصرف می‌شود و عمومیت دارد کوره‌های 25 تنی است.

هر جا فولاد ریزی داشته باشد این نوع کوره دارد.

الکترودها از جنس گرافیت هستند.



کوره‌های القایی

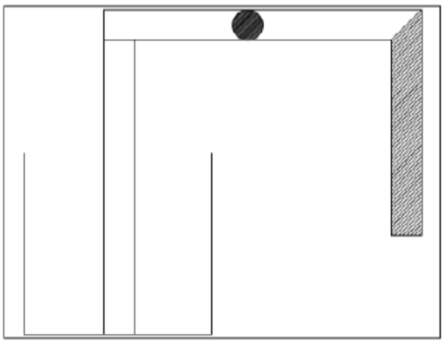
این نوع کوره ها اغلب برای نگهداری مذاب و ذوب کردن در واحدهای ریخته‌گری مصرف می‌شود. دارای سرعت ذوب خیلی بالا بوده، کنترل آلودگی محیط آن نیز ساده‌تر است و در صنعت به طور وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این کوره‌ها جریان الکتریکی با فرکانس بسیار زیاد از داخل یک سیم‌پیچ مسی عبور می‌کند که در نتیجه میدان مغناطیسی متناوبی بوجود می‌آید در نتیجه

جریان ثانویه‌ای که در فلزی کـه در بوتـه وجـود دارد القـاء مـی‌شـود ایـن جریـان ثانویـه، سـبب حرارت سریع و ذوب فلز می‌گردد. ظرفیت این نوع کوره‌ها از حـدود چنـد کیلـوگرم تـا حـدود 6 تـن می‌باشد. البته زمان کوتاه ذوب کردن فلز سبب می‌شود که ظرفیت بالاتری به تولید بدهد. با این کوره-ها مذاب خالص تهیه می‌شود و بهمین دلیل فولادهایی با کیفیت عالی را مـی‌تـوان بـه وسـیله آنهـا تهیـه کرد.

تجهیزات ریختن مذاب

انتقال فلز مذاب از کوره به قالب‌ها معمولاً به وسیله بوته انجام مـی‌شـود. بوتـه‌هـا بایـستی بتواننـد درجه حرارت مذاب را تحمل نموده و کیفیت آنرا تغییر ندهند. نوع بوتـه بـستگی بـه تعـداد محـصول و اندازه آن دارد. برای ریخته‌گری‌های قطعات کوچک و تعداد کم از بوته‌های دستی اسـتفاده مـی‌شـود. در حالیکه اگر تعداد قطعه زیاد باشد و یا وزن محصول بالا در این صورت از بوته‌هایی که بـه جرثقیـل-های سقفی متصل بوده استفاده می‌شود.

در این نوع بوته هاتخلیه مذاب ممکن است به وسیله چرخ دستی که روی بوته نصب شـده اسـت استفاده کرد.این نـوع بوتـه هـا را Tea pot مینامنـد.کـه بـا آن مقـدار زیـادی مـذاب را میتـوان جابجـا کرد.نوع دیگری از این بوته ها در کف آن سوراخی برای تخلیه مذاب وجود داردکه بوسیله اهرمی در موقع مناسب باز و بسته می شود.زمانی که این نوع بوته ها دارای مذاب است سرباره و فلز اکسیده شـده روی مذاب قرار گرفته و در نتیجه همیشه از فلز خالص که در زیر سرباره است قالب ها پر می شود.



متالوژی پودر powder metalurgy

در این روش محصول نهایی از طریق پرس کردن پودر ریز فلزات تحت فشار زیاد و درجه حرارت تولید می‌شود حرارت اعمال شده ممکن است در حین عمل پرس کردن و یا پس از آنکه محصول از قالب خارج شد وارد گردد. حرارت اعمال شده از نقطه ذوب فلز کمتر بوده و معمولاً حدود 0.6 تا0.8 T_m می‌باشد. که T_m درجه حرارت مطلق ذوب فلز است. مراحل اصلی این روش تولید به شرح زیر است:

1- تولید پودر فلزات

2- مخلوط کردن و آماده نمودن

3- پرس کردن پودر و تولید شکل موردنظر

4- حرارت دادن محصول Sintering

سؤال: با استفاده از نمودار توزیع چگالی در قطعات تولید شده در متالوژی پودر، در خصوص اصلاح ابزارهای سخت که از این طریق تولید می‌شوند چه قضاوتی دارید؟.

تولید پودر فلزات

کیفیت محصولات بدست آمده از این روش بستگی کامل به اندازه و کیفیت پودر مورد استفاده دارد. مهمترین فاکتورهایی که در مورد پودر بایستی در نظر داشت اندازه ذرات پودر، توزیع اندازه‌ها، شکل ذرات و درجه خلوص پودر است. اندازه ذرات پودر که مناسب این روش تولیدی است معمولاً بین 5 تا 20 میکرون است. اندازه‌های کوچکتر از 5 میکرون برای تولیدهای خاصی بکار می‌رود. برای تولید پودر فلزات روش‌های مختلفی وجود دارد که مهمترین آنها عبارتست از

1- احیای اکسید فلزات یا سنگ معدن Reduction of Oxides

2- رسوب الکترولیتی از محلولها یا نمک‌ها.Electrolytic deposition

3- اتمیزه کردن فلزات

4- سنگ زدن

5- تجزیه حرارتی و غیره

انتخاب روش تولید پودر نقش مهمی در تعیین فاکتورهای اندازه، شکل، ساختمان و ترکیب شیمیایی پودر حاصله دارد. به طور کلی روش احیا برای تولید پودرهای آهن، نیکل، کبالت، مولیبدین و تنگستن بکار می‌رود. مثلاً تنگستن در طبیعت به صورت ولفرامیت می‌باشد.Wolframite

$(M_n)wo4$ $\qquad$ $1\mu m = 10^{-6} m = 10^{-4} cm = 10^{-3} mm$

که در مراحل اولیه با مخلوط کردن و شستشو با مواد شیمیایی تبدیل به اکسید تنگستن می‌گردد. (wo_3) پودر تنگستن از احیای این اکسید بوسیله هیدروژن حاصله از آمونیوم و غیره بدست می‌آید که در آن هیدروژن با اکسیژن ترکیب شده و تولید آب می‌نماید که از محیط عمل خارج می‌شود.

$$Wo_3 + 3H_2 \rightarrow W + 3H_2O$$

با تغییر دادن شرایط احیا، اندازه‌های دانه‌های پودر تنگستن تغییر خواهد کرد. اگر عمل احیا همراه با هیدروژن زیاد باشد و درجه حرارت پایین و مقدار اکسید تنگستن کم باشد، دانه‌های پودر تنگستنن بسیار ریز خواهد بود. شرایط برعکس سبب تولید دانه‌های درشت‌تر می‌گردد. با این روش اندازه ذرات پودر تنگستن بین یک تا 20 میکرون است. این روش اقتصادی است ولی امکان وجود ناخالصی نیز هست.

- رسوبات الکترولیتی به طور وسیعی برای تهیه پودر فلزات آهن، نقره، مس و تانتالیم بکار می‌رود. پودر بدست آمده به وسیله این روش خالص بوده ولی احتیاج به آسیاب کردن دارد.

- اتمیزه کردن برای تولید پودرهای برنج و برنز بکار می‌رود. برای تهیه پودر فلز به این روش معمولاً از دو طریق استفاده می‌شود.

فلز مذاب در حالیکه به صورت یک رشته نازک از کوره خارج می‌شود، با دمیدن هوا سبب شکستن ذرات مذاب شده و در نتیجه پودر فلز بدست می‌آید و یا با ذوب کردن و دمیدن همزمان به وسیله شعله با سرعت زیاد پودر فلز بدست می‌آید.

- سنگ زدن برای تولید پودرهای آهن و فولادهای آلیاژی استفاده می‌شود، علاوه بر این راههای دیگری نیز برای تهیه پودر وجود دارد، ولی کمتر مورد استفاده قرار می گیرد.

پودر مصرفی در این صنعت علاوه بر آنکه بایستی دارای سیلان خوب باشد تا بتواند ضمن خوب پر کردن قالب فشار اعمال شده توسط پرس را به نقاط مختلف منتقل نماید. این خاصیت تعین کننده دو پارامتر تعداد سیکل پرس و وزن مخصوص محصول می‌باشد. در صورتیکه پودر سیلان موردنظر را نداشته باشد، امکان وجود حفره‌های بزرگ در محصول می‌باشد و هم‌چنین فشار زیادی لازم است تا محصول هموژن گردد.

استحکام نهایی در محصول بستگی کامل به وزن مخصوص بدست آمده دارد. ذرات ریز و یکنواخت ممکن است بیشترین چگالی را بدهد ولی تجربه این را نشان نداده است. برای تهیه محصولات آلیاژی، می‌توان پودرهای فلزات و غیرفلزات را مخلوط نموده و داخل قالب تحت فشار قرار داد و یا می‌توان از پودر آلیاژ مناسب استفاده نمود. مثلاً برای تولید قطعات فولادی جنس Stainless Steel می‌توان از پودر آلیاژ آن استفاده کرد و یا آنکه از آلیاژهای نیکل، کبالت و فولاد با نسبت معینی استفاده نمود. فقط بایستی توجه داشت که مخلوط تهیه شده از پودرهای مختلف که هر کدام دارای اندازه‌های مختلف و وزن مخصوص‌های متفاوت می‌باشد امکان دارد در حین جابجایی و مخلوط کردن از هم جدا شده و محصول یکنواختی حاصل نشود. بعضی از پودرها که ممکت است اکسید شوند، آنها را پوشش داده تا در مقابل خوردگی مقاومت زیاد پیدا کنند.

مخلوط کردن Mixing

قبل از آنکه پودر جهت پرس شدن به داخل قالب ریخته شود بایستی مخلوط مناسبی از پودر یا پودرها تهیه نمود تا نتیجه بهتری حاصل شود. دلائل تهیه مخلوط به شرح زیر است:

1- برای بدست آوردن توزیع اندازه ذرات به طور یکنواخت

2- مخلوط کردن پودرهای مختلف

3- پوشاندن ذرات پودر با مواد روغنی

مخلوط کردن پودرها ممکن است به طور خشک یا تر انجام گیرد. آب یا حلالهایی که ممکن است برای مخلوط شدن بهتر مورد استفاده قرار گیرند. ابتدا مواد روغنی را که معمولاً مشابه گرافیت است در آب یا الکل یا حلال‌های مشابه حل کرده و سپس پودر به آن اضافه می‌شود. پس از تبخیر حلال ذرات پودر آغشته به مواد روغنی خواهند بود. و این سبب می‌شود تا خاصیت سیلان پودر بهبود یافته و در نتیجه میزان سائیدگی قالبها را کاهش دهد. و همچنین کمک می‌کند به بدست آوردن مخلوط یکنواخت تر که خود سبب بهبود و توزیع یکنواخت وزن مخصوص در طول قطعه کار می‌شود.

پرس کردن Pressing

مخلوط تهیه شده تحت سنگینی وزن خود وارد قالب گشته و تحت فشار قرار می‌گیرد. در این مرحله شکل مورد نظر و توزیع چگالی انجام می‌گیرد. پرس بایستی بتواند فشاری حدود 5 تا 50 تن بر اینچ مربع را تأمین نماید. معمولاً فشارهای مورد لزوم حدود 30 تن بر اینچ مربع است.

عمل پرس کردن توسط پرس‌های مکانیکی یا هیدرولیکی انجام می‌شود که معمولاً قدرت آنها حدود 200 تا 300 تن می‌باشد. سطح مقطع محصولات تولیدی معمولاً کمتر از 3 اینچ مربع می‌باشد. اما در بعضی موارد ممکن است سطوحی تا 10 اینچ مربع نیز تولید گردند. اندازه‌گیری پودر مورد لزوم به

وسیله حجم یا وزن مشخص می گردد. از آنجا که پودر فلزات مانند مایعات سیلان پیدا نمی کند، لذا قالب را نمی‌تواند کاملاً پر کند. هدف از پرس کردن، پر کردن قالب است به طوریکه بتوان وزن مخصوص محصول بدست آمده را برابر وزن مخصوص تئوری نمود و از طرف دیگر توزیع یکنواخت وزن مخصوص در تمامی طول قطعه حاصل گردد.

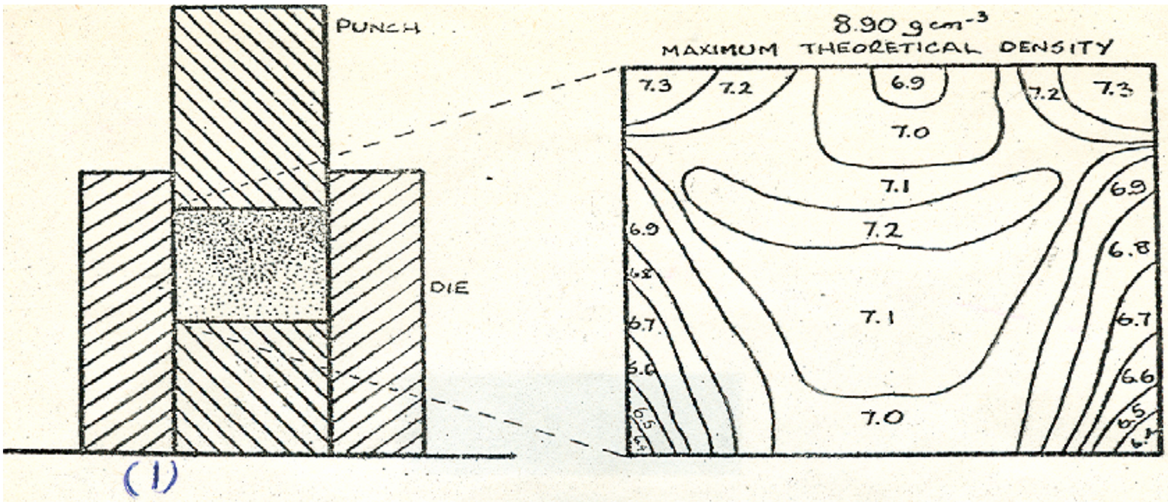


Fig. 16.6. Green density distribution for pure nickel

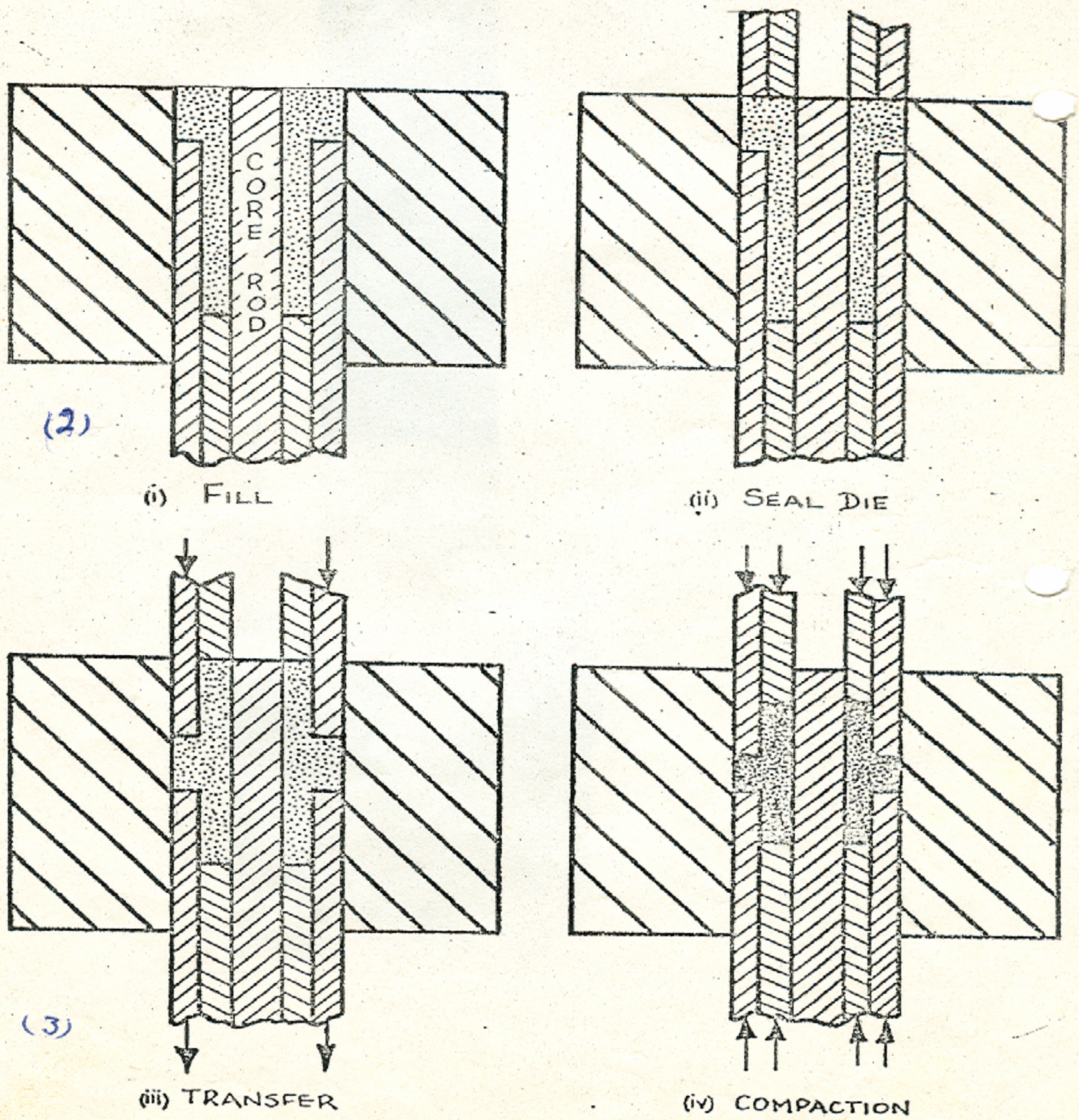


Fig. 16.7. Compaction sequence for the production of a hollow bush with a central outer flange.

مهمترین روش‌های پرس کردن پودر به شرح زیر است:

1- پرس‌های یک محوره Single Action Press

در این نوع پرس فقط یک محور متحرک وجود دارد که سمبه نیز به آن متصل است و بوسیله آن پودرها فشرده می‌شوند. مطابق (Fig-6)

محدودیت این نوع پرس‌ها آن است که فقط قطعات نازک را می‌توان تولید نمود. زیرا نیروی پرس به طور یکنواخت منتقل نمی‌گردد. بعلت وجود اصطحکاک بین ذرات و بین ذرات و دیواره‌های قالب. بنابراین چگالی محصول متفاوت بوده و هر قدر که از سطح سمبه فاصله گرفته شود، کمتر خواهد بود. نمونه‌ای از توزیع وزن مخصوص در (1) نشان داده شده است. برای بهبود انتقال نیرو از روغن‌های مناسب استفاده می‌شود که به دیواره‌های قالب نیز مالیده می‌شود تا علاوه بر انتقال نیروی بهتر از سائیدگی قالب نیز جلوگیری بعمل آید. و در ضمن نیروی لازم برای بیرون انداختن محصول نیز کاهش می‌یابد. بخاطر جلوگیری از غیریکنواختی چگالی، نسبت ارتفاع به قطر محدودیت دارد (فاکتور محدود کننده است).

2- پرس‌های دو محوره Duble Action Press

در این نوع پرس‌ها دو محور متحرک وجود دارد که همزمان حرکت می‌کنند ولی عمل آنها از یکدیگر مجزا است. در نتیجه فشار وارده به پودر از دو طرف پایین و بالا می‌باشد. در این حالت توزیع چگالی بهتر بوده و قطعات ضخیم‌تر را می‌توان پرس نموده ولی باز هم نسبت ارتفاع به قطر فاکتور محدود کننده می‌باشد.

3- پرس‌های چند محوره Multiple Action Press

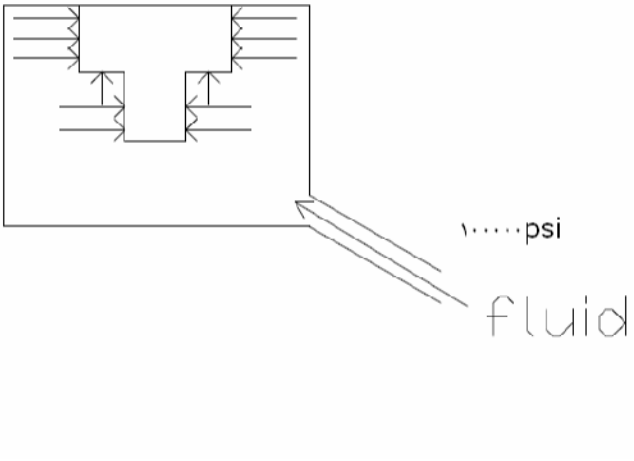
این نوع پرس‌ها برای تولید اشکال پیچیده‌تر بکار می‌روند و در آنها معمولاً بیشتر از 2 سمبه از بالا و پایین عمل می‌کنند تا عمل فشردن بهتر انجام گیرد. این محورها جداگانه و به طور مستقل عمل می‌کنند. مطابق شکل (2)

به طور کلی بعد از عمل پرس کردن محصول دارای استحکام کافی شده تا نیروهای ناشی از حمل و نقل را تحمل کند. علاوه بر روش‌های ذکر شده، روش‌های دیگری از قبیل غلطک کاری نیز وجود دارد. این روش برای تهیه ورق‌های Stainless Steel بکار می‌رود.

روش‌های پرس کردن ایزواستاتیک Isostatic

روشی است که تا حدودی معایب روش‌های پرس‌کاری قبلی در آن مرتفع شده است. در این روش عمل تراکم پودر به وسیله مایعات انجام می‌گیرد. در این صورت اصطکاک بین پودر و دیواره قالب از بین می‌رود در این روش پودر فلزات را به داخل قالب یا کیسه پلاستیکی ریخته که این کیسه تا حدودی قدرت تحمل فشار را دارد (می‌تواند وزن پودر را تحمل نماید) به طوریکه پودرهای وارد شده به داخل کیسه شکل نهایی محصول را به خود می‌گیرند.

سپس در اطراف این کیسه فشاری حدود 100000 psi به وسیله سیالی وارد می‌شود. و در نتیجه عمل فشردن پودرها به یکدیگر انجام می‌گیرد. در این روش توزیع چگالی به مراتب یکنواخت - تر است تا روش‌های دیگر.



4- حرارت دادن محصول یا Sintering

حرارت دادن محصول معمولاً در درجه حرارتی کمتر از نقطه ذوب فلز در داخل کوره انجام می‌گیرد. درجه حرارت کوره حدود 70 تا 80 درصد نقطه ذوب فلز است. بعضی از مواد ممکن است تا حدود 90 درصد نقطه ذوب نیز حرارت داده شوند. در صورتیکه محصول از پودر فلزات مختلف بوجود آمده باشد، درجه حرارت پخت ممکن است بالای درجه حرارت ذوب بعضی از آنها باشد. در آن صورت در طول عمل پخت، این نوع فلزات ذوب شده و اطراف ذرات جامد را می‌پوشانند.

زمان پخت متغیر بوده و از 30 دقیقه تا چندین ساعت طول می‌کشد. در طول این زمان مواد فرار و روغن که همراه پودر پرس شده‌اند تبخیر شده و از محیط عمل خارج می‌شود. در صورتیکه مقدار موجودی این نوع مواد زیاد باشد، محصول نیز دارای خلل و فرج زیادی خواهد بود. این مطلب برای بعضی از محصولات مشابه یاتاقانها و فیلترهای فلزی، نکته مثبتی است.

اتمسفر کوره بایستی به دقت کنترل شود تا از هر نوع اکسیداسیون یا احتراق جلوگیری شود. زیرا ذرات ریز پودر به راحتی در درجات حرارت بالا اکسید می‌گردند. معمولاً اتمسفر کوره به وسیله

هیدروژن کنترل می‌شود. عمل پخت ممکن است در کوره‌های در بسته و به صورت دسته دسته انجام گیرد و یا در کوره‌های ممتد.

محصولات متالوژی پودر

محصولاتی که به طور کلی به وسیله متالوژی پودر تولید می‌شود را می‌توان به چهار دسته زیر تقسیم‌بندی نمود.

1- تولید اجسام متخلخل مثل یاتاقانها، فیلترها و غیره

2- محصولاتی که شکل‌های پیچیده دارند و احتیاج به مقدار زیادی ماشین‌کاری است مثل چرخ‌دنده‌ها.

3- محصولاتی که از موادی ساخته شده‌اند که خیلی مشکل بتوان آنها را ماشین‌کاری نمود مثل کاربید تنگستن، کاربید سیلیس و یا کاربیدهای مختلف.

4- محصولاتی که ترکیبی از دو خواص فلزی و غیرفلزی است. مشابه زغال موتورهای الکتریکی و یا اتصالات الکتریکی.

توجه: محصولات پیچیده که در این روش تولید می‌شوند دارای پیچیدگی در سطح مقطع هستند نه اینکه در عمق دارای پیچیدگی باشند.

- یاتاقانهای متخلخل احتمالاً بیشترین محصولات تولیدی متالوژی پودرند که از آهن و یا آلیاژهای مس ساخته می‌شوند که حدود 10 تا 40 درصد حجمی مواد روغنی به آن اضافه شده است. این نوع یاتاقانها احتیاج به روغنکاری در طول استفاده ندارند بهمین خاطر بیشتر در وسایل مصرفی خانه و خودروها مصرف می‌شوند. از همین مواد برای ساختن فیلترهای فلزی نیز استفاده می‌شود ممکن است دارای سوراخهایی به ریزی $\frac{1}{1000}$ اینچ باشند.

- تعداد زیادی از چرخ‌دنده‌های کوچک به وسیله متالوژی پودر تولید می‌شوند. به طوریکه بخاطر دقت زیاد و سطح تمام شده خوب احتیاج به عملیات ماشین‌کاری ندارند.

- این روش برای تولید قطعات کوچک بسیار مناسب است. مهمترین مصرف آن تولید ابزارهای الماسه یا کاربید تنگستن می‌باشد.

خاصیت دیگر این روش تولید مخلوط‌های فلزی و غیرفلزی است و مثلاً در صنعت الکتریسته، مس و گرافیت اغلب مخلوط شده و به عنوان زغال در موتورها و ژنراتورهای الکتریکی بکار می‌روند. ترکیب دو فلز نیز از مزایای دیگر این روش است. مثلاً اتصالات الکتریکی که ترکیبی از مس؛ نقره، تنگستن، نیکل و یا مولیبدین است. مس و یا نقره ضریب هدایت الکتریکی بالایی دارند در حالیکه تنگستن، نیکل و مولیبدین مقاومت زیادی در مقابل ذوب شدن دارند، در نتیجه در اثر حرارت حاصله از قوس الکتریکی که در موقع اتصال به وجود می‌آید مقاومت می کند.

مزایا و معایب

متالوژی پودر مشابه سایر روش‌های تولیدی دارای مزایا و معایبی است که طراح بایستی با توجه به این اطلاعات روش مناسب و اقتصادی تولیدی را انتخاب نماید. مزایای این روش به شرح زیر است:

مزایا

1- حذف ماشین کاری: دقت ابعاد و سطح تمام شده طوری است که احتیاج به هیچگونه عملیات ماشین کاری یا پرداخت کاری ندارد.

2- تولید زیاد: تمام مراحل تولید ساده بوده در نتیجه تعداد زیادی محصول را می‌توان در زمان کوتاهی تولید نمود. کارگر ساده نیاز دارد و در اغلب موارد این روش اتوماتیک است. یکنواختی در قطعات تولیدی بسیار خوب است.

3- ضایعات وجود ندارد. متالوژی پودر تنها روش تولیدی است که هیچ گونه مواد به صورت ضایعات از بین نمی‌رود. در حالیکه در روش‌های دیگر مثل ریخته گری، ماشین کاری و شکل دادن

مقداری ضایعات وجود دارد. این بزرگترین امتیاز این روش است. بخصوص در مواردی که مواد اولیه مصرفی گران قیمت در جریان تولید باشد.

4- امکان تولید اشکال پیچیده با توجه به محدودیت‌هایی که قبلاً گفته شد. اغلب امکان تولید قطعاتی که نمی‌توان ماشین‌کاری نمود یا ماشین‌کاری آنها اقتصادی نیست با این روش تولید می‌گردند. قطعات متخلخل را با هیچ روش دیگری نمی‌توان ساخت.

5- ترکیب شیمیایی مختلف می‌توان بدست آورد. قطعاتی با درجه خلوص بسیار بالا یا محصولاتی با ترکیبات مختلف فلزی و غیرفلزی.

معایب

مهمترین معایب این روش تولیدی به شرح زیراند:

1- استحکام پایین: در اغلب موارد قطعات تولیدی به وسیله روش متالوژی پودر دارای خواص فیزیکی به خوبی قطعات تولید شده به وسیله روش ریخته‌گری یا روش‌های دیگر نیست. در نتیجه موارد استفاده آنها محدود است جاهایی که تنش‌های زیاد اعمال نشود. هر چند با استفاده از مواد مختلف می‌توان استحکام آن را بالا برد.

2- مخارج قالب‌سازی آن بسیار زیاد است. بخاطر وجود فشار زیاد و سائیدگی که در این روش در پرس‌ها وجود دارد، مجبوراً قالبها از مواد گران قیمت تهیه می‌شوند و به طور کلی برای تولید محصولات کمتر از 10000 عدد اصلاً اقتصادی نیست.

3- مواد اولیه گران قیمت. پودر فلزات گران‌تر از خود فلزات است. هر چند حذف ضایعات و ماشین-کاری اغلب گران بودن قیمت مواد اولیه را جبران می‌کند ولی از آنجایی که متالوژی پودر برای تولید قطعات کوچک بکار برده می‌شود، قیمت مواد اولیه نقش خیلی مهمی بازی نمی‌کند.

4- محدودیت در طراحی. روش متالوژی پودر برای تولید اشکال مختلف مناسب نیست. قطعه بایستی دارای سطح مقطع یکنواخت در طول محور فشردگی باشد. نسبت طول به قطر نیز محدودیت دیگری است که بایستی متناسب با ظرفیت پرس و نوع آن باشد.

شکل دادن فلزات Metal forming

مزایای انتخاب این روش و کارایی آن به شرح زیر است:

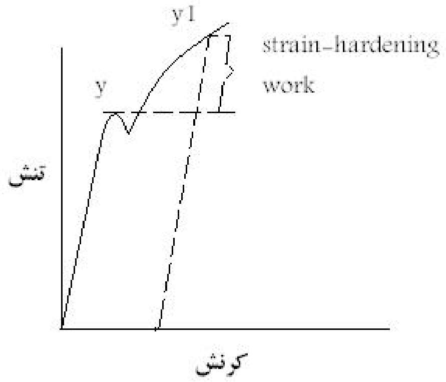
1- عملاً ضایعات وجود ندارد و یا حداقل است. در حالی که ممکن است قطعه مشابه آن که مثلاً به وسیله روش ماشین‌کاری تهیه شود، حدوداً 80٪ دور ریز داشته باشد.

2- نسبت به سایر روش‌های تولیدی از سرعت تولید بالاتری برخوردار است مثلاً حداقل 15 برابر سرعت آن بیشتر است از قطعه‌ای که در سریعترین و مدرنترین ماشینها براده‌برداری می‌شود.

3- روش شکل دادن بخصوص در حالت‌های سرد سبب بهبود خواص مکانیکی محصول می‌شود که این خود کمک می‌کند به کمتر مصرف شدن ماده. در طراحی که می‌توان بخاطر استحکام زیاد قطعه سطح مقطع نازکتری را انتخاب کرد.

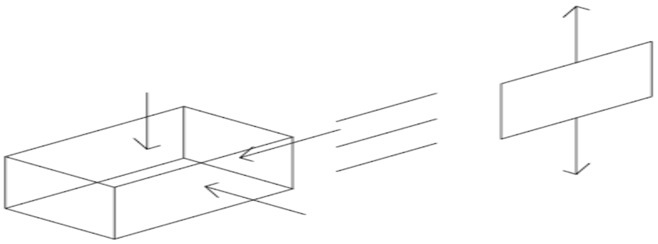
4- روش شکل دادن برای تولید انبوه مناسب است.

5- سطح تمام شده محصول در شکل دادن سرد بهتر است از حالت داغ و در هر حال در حد قابل قبول می‌باشد.



یکی دیگر از روش‌های تولید تغییر فرم پلاستیکی مواد است که در آن مواد تحت تنش‌های مرکب از حالت الاستیک خارج شده و در آن تغییر فرم دائم بوجود می‌آید. اگر چنانچه کشش یا تنش فشاری ساده را در نظر بگیریم، نیرو در امتداد یک محور عمل می‌کند. در حالی که در اغلب حالت-های شکل دادن تنش‌های مرکب و پیچیده‌ای اعمال می‌شود. خواص مواد به وسیله آزمایشات کشش

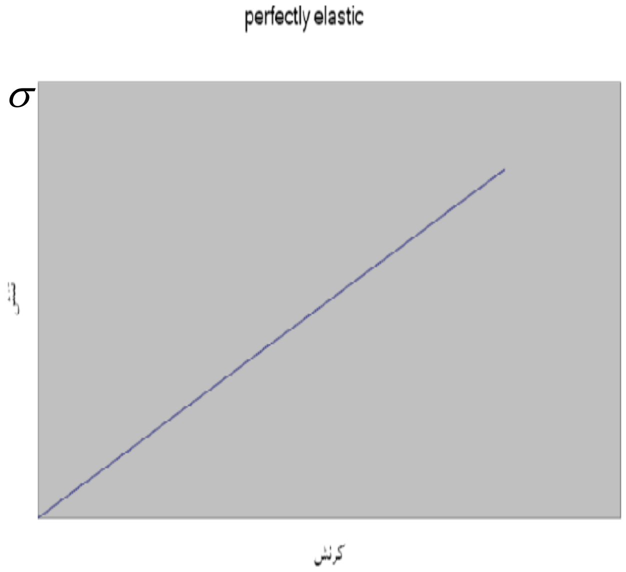
ساده یا فشاری ساده تعیین می‌شود. چگونه می‌توان این نتایج را در حالت کلی مورد بررسی قرار داد. در این حالت از تنش یا تغییر بعد نسبی مؤثر یا معادل استفاده می‌شود.

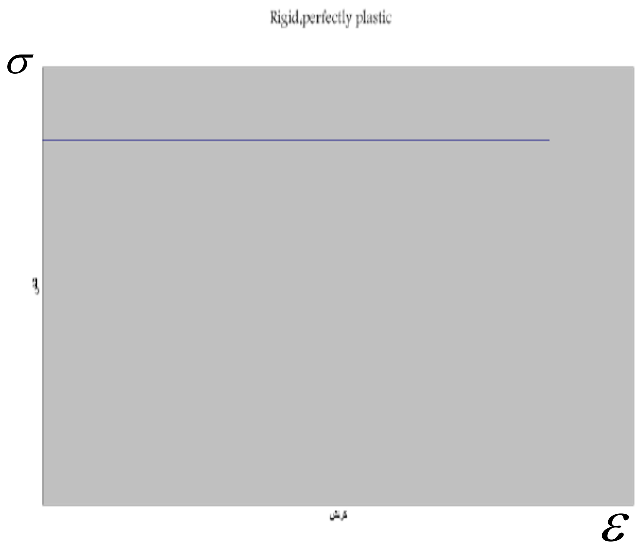


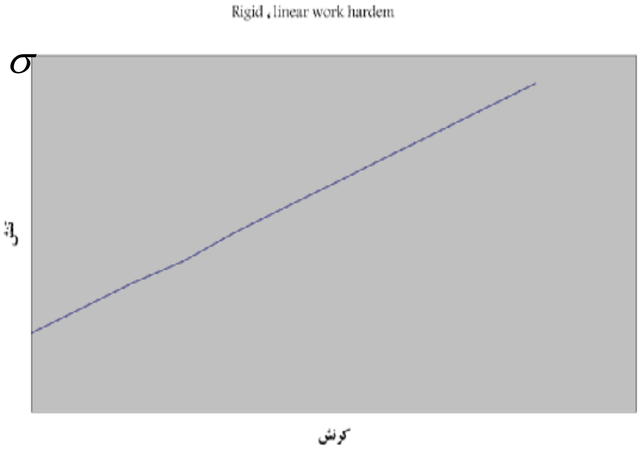
تئوری پلاستیسیته راجع به روش‌های محاسبه تنش تغییر بعد نسبی بعد از نقطه تسلیم ماده صحبت می‌کند که در آن برای ساده‌تر کردن محاسبات فرضیات زیر را در نظر می‌گیرند:

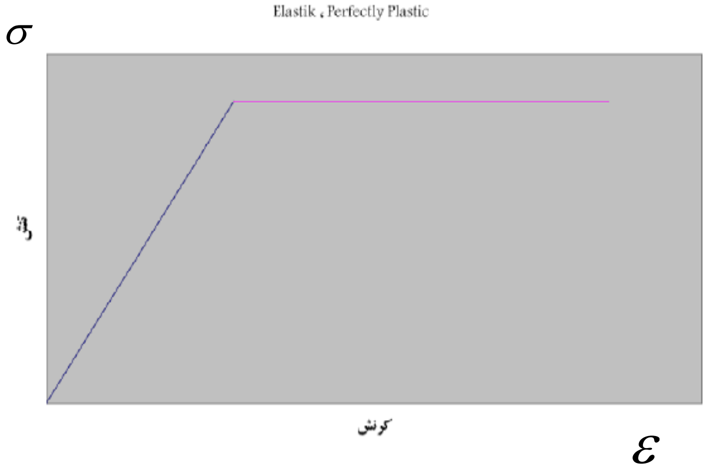
1- از تغییر فرم الاستیک ماده در مقابل تغییر فرم پلاستیک آن صرفنظر می‌شود.

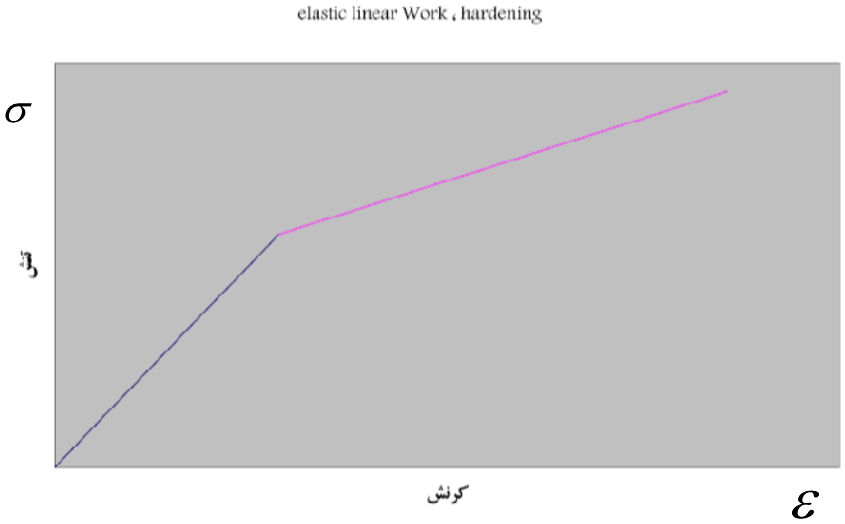
2- از آنجا که روابط پلاستیکی تنش و تغییر بعد نسبی باید کار سختی را شامل شود، منحنی‌های تنش و تغییر بعد نسبی مواد را به شکل زیر دسته‌بندی می‌کنند.











3- موادی که تغییر فرم پلاستیک می‌یابند آنها را هموژن و آیزوتروپ فرض می‌نمایند. Isotropic

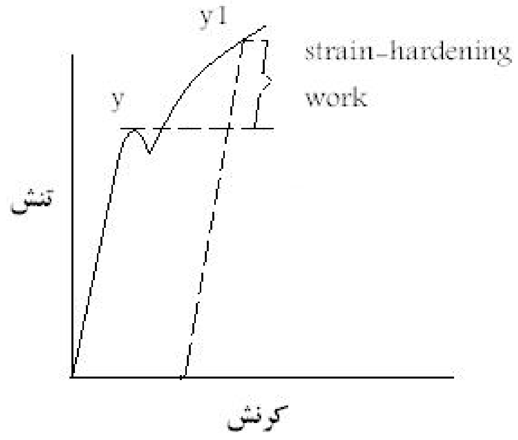
(در هموژن خواص دو نقطه یکی است ولی در جهات مختلف خواص مکانیکی متفاوت ولـی در ایزوتروپ خواص هم در تمام جهات یکی است)

به طور کلی مجموعه مؤلفه‌های تنش‌های اعمال شده به مـاده عبارتنـد از سـه مؤلفـه تـنش نرمـال یعنی $\sigma_z,\sigma_y,\sigma_x$ و سه مؤلفه تنش برشی. $\tau_{xy'},\tau_{yz},\tau_{zx}$ که برای ساده‌تر کردن می‌توان این شش مؤلفـه را به سه مؤلفه تنش نرمال معادل نمود. که این تنشها را تنش‌های اصلی نامیده که در صفحاتی عمـل مـی-کنند که تنش برشی در آن صفحات صفر است و با $\sigma_3,\sigma_2,\sigma_1$ نشان داده می‌شوند.

قضیه تسلیم یا سیلان ماده

نقطه تسلیم مواد در حقیقت حد الاستیسیته را مشخص می‌کند. در آزمایش کشش ساده که نیرو در امتداد یک محور اعمال می‌شود، سیلان ماده از نقطه تسلیم ماده شروع می‌ود یعنی $\sigma = y$

اگر چنانچه این ماده تحت نیروی کششی قرار گرفت که از حد تسلیم بگذرد مقداری تغییر بعد نسبی ε_1 در آن بوجود می‌آید که با حذف نیرو جسم به حالت اول خود برنمی‌گردد. و اگر در این حالت بارگذاری مجدد شود، تنش تسلیم دیگر در نقطه y نبوده بلکه در نقطه y_1 است که $y_1 > y$ می‌باشد.



اگر چنانچه مطابق شکل به قطعه‌ای که در حالت کششی ساده است تنش σ_c در امتداد عمود بر محور اصلی تنش اعمال شود دیگر تنش در نقطه y رخ نمی‌دهد، هیچ نوع تئوری وجود ندارد که بتواند پیش‌بینی کند که در این صورت چه موقع تسلیم رخ می‌دهد. بلکه از قوانین تجربی استفاده شده و پیش‌بینی می‌شود که تسلیم یا سیلان چه زمانی رخ خواهد داد. به این ترتیب که هرگاه به جسم سه تنش $\sigma_3, \sigma_2, \sigma_1$ داده شود تسلیم زمانی رخ می‌دهد که تابعی از این سه متغیر برابر مقدار ثابت باشد.

مقدار ثابت $f(\sigma_3, \sigma_2, \sigma_1) = const$

برای پیدا کردن مقدار ثابت دو روش متداول است و در حل مسائل پلاستیسیته بکار گرفته می‌شود. یکی قضیه ترسکا (Tresca) و دیگری Von Mises است.

قضیه Tresca

Tresca پیشنهاد نمود سیلان زمانی رخ می‌دهد که ماکزیمم تنش برشی به مقدار معینی برسد. به همین دلیل این قضیه را گاهی اوقات به تئوری ماکزیمم تنش برشی نامیده می‌شود. تنش برشی ماکزیمم برابر است با نصف اختلاف بین تنش‌های اصلی ماکزیمم و مینیمم.

$\tau_{\max} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) =$ مقدار ثابت

(اگر از این مقدار تجاوز کرد ماده تسلیم شده و سیلان رخ می‌دهد).

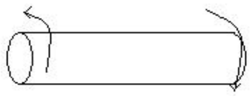
$\Rightarrow \sigma_1 - \sigma_3$ مقدار ثابت

و این در صورتی است که $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$

برای پیدا کردن مقدار ثابت از طریق تجربی عمل می‌شود. بدین ترتیب که در حالت کشش ساده:

$\begin{cases} \sigma_1 = y \\ \sigma_2 = \sigma_3 = 0 \end{cases} \Rightarrow$ مقدار ثابت $= \frac{1}{2} y \Rightarrow y =$ مقدار ثابت

در حالت پیچشی که دو تنش برشی $\pm k$ داریم:



$$\begin{cases} \sigma_1 = +k \\ \sigma 2 = 0 \\ \sigma_3 = -k \qquad \Rightarrow \sigma_1 - \sigma_3 = \text{ثابت} = k + k = 2k = y = \text{ثابت} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \sigma_1 - \sigma_3 = y = 2k$$

پس در این روش حد تسلیم بستگی به σ_2 ندارد. در عمل تشخیص تنش ماکزیمم و مینیمم کار مشکلی است ولی سادگی فرمول سبب می‌شود که بیشتر در محاسبات مورد استفاده قرار گیرد.

معیار تسلیم Von-Mises

این معیار به این نحو بیان شد که تسلیم زمانی رخ می‌دهد که انرژی برشی ماده از حد معینی تجاوز کند که براساس تنش‌های اعمال شده بصورت زیر بیان می‌شود:

$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 =$ مقدار ثابت

و اگر براساس تنش‌های کلی بنوسیم رابطه زیر حاصل می‌شود.

$$\left(\sigma_x-\sigma_y\right)^2+\left(\sigma_y-\sigma_z\right)^2+\left(\sigma_z-\sigma_x\right)^2+6\left(\tau_{xy}^2+\tau_{yz}^2+\tau_{zx}^2\right)=\text{مقدار ثابت}$$

برای یافتن مقدار ثابت بایستی نتایج حاصله از عملیات تجربی در این رابطه صدق کند لذا در حالت کشش ساده که:

$$\sigma_1=y \qquad \sigma_2=\sigma_3=0$$

خواهیم داشت:

$$y^2+y^2=2y^2=\text{مقدار ثابت}$$

در حالت پیچش که:

$$\sigma_1=+k \quad , \quad \sigma_2=0 \quad , \quad \sigma_3=-k$$

خواهیم داشت: $\text{cte}=6k^2$

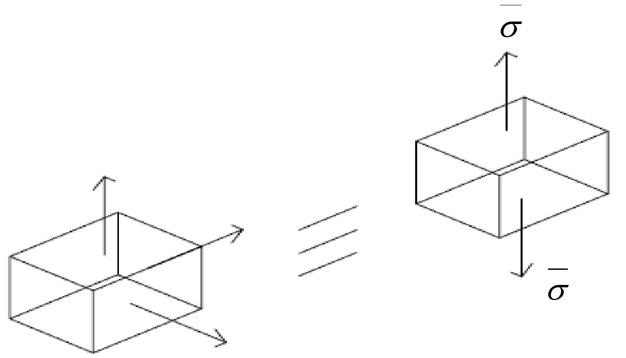
$$k^2+k^2+4k^2=\text{مقدار ثابت}$$

بنابراین براساس قضیه:

$$\text{مقدار ثابت}=2y^2=6k^2\Rightarrow y=\sqrt{3}k$$

در این صورت تنش معادل برابر خواهد بود با:

$$\text{تنش معادل}\ \bar{\sigma}=y=\frac{1}{\sqrt{2}}\left[\left(\sigma_1-\sigma_2\right)^2+\left(\sigma_2-\sigma_3\right)^2+\left(\sigma_3-\sigma_1\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

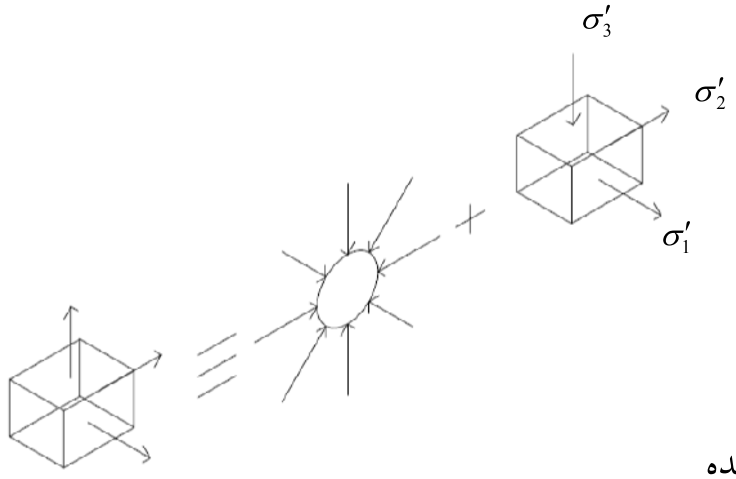


در مقایسه این دو رابطه مشخص می‌شود که روش Tresca بسیار ساده‌تر است و به همین دلیل بیشتر در حل مسائل پلاستیسیته بکار برده می‌شود. در پلاستیسیته متوسط تنش‌های اعمال شده به قطعه را تنش متوسط می‌نامند و با σ_n نشان می‌دهند.

$$\bar{\sigma}=\sigma_n=\frac{1}{3}\left(\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3\right)\ \text{تنش هیدرواستاتیک}$$

از لحاظ تجربی ثابت شده است که این تنش روی نقطه تسلیم ماده اثر ندارد و به آن تنش هیدرواستاتیکی می گویند.

بنابراین به جسمی که سه تنش نرمال $\sigma_3,\sigma_2,\sigma_1$ اعمال شده است را می‌توان تبدیل به یک مجموعه‌ای نمود که در آن تنش‌های هیدرواستاتیکی اعمال شود و تنش‌های تغییر شکل‌دهنده:



تنش‌های تغییر شکل‌دهنده

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1' = \sigma_1 - \sigma_M \\ \sigma_2' = \sigma_2 - \sigma_M \\ \sigma_3' = \sigma_3 - \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \end{Bmatrix}$$

تغییر بعد نسبی معادل:

$$\bar{\theta} = \frac{\sqrt{2}}{3}\left[(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2\right]^{1/2}$$

به همان ترتیب بدست می‌آید.

رابطه تنش و تغییر بعد نسبی

رابطه تنش و تغییر بعد نسبی در منطقه الاستیک از قانون هوک پیروی می کند. در منطقه پلاستیک روابط زیر به وسیله tery Miss بصورت زیر بیان می‌شود:

$$\frac{\varepsilon_x}{\sigma_x'} = \frac{\varepsilon_y}{\sigma_y'} = \frac{\varepsilon_z}{\sigma_z'} = \frac{\gamma_{xy}}{\tau_{xy}} = \frac{\gamma_{yz}}{\tau_{yz}} = \frac{\gamma_{xz}}{\tau_{xz}} = \lambda$$

λ مقدار ثابت است که در طول بارگذاری تغییر می کند، در این روابط از تغییر بعد نسبی الاستیک صرفنظر شده و ماده صلب کامل فرض شده است. بنابراین روابط زیر حاصل می‌شود:

$$\varepsilon x = \frac{2}{3}\lambda\left[\sigma_x - \frac{1}{2}\left(\sigma_y + \sigma_z\right)\right]$$

$$\varepsilon y = \frac{2}{3}\lambda\left[\sigma_y - \frac{1}{2}\left(\sigma_z + \sigma_x\right)\right]$$

اگر در روابط فوق معادل تنش معادل و تغییر بعد نسبی معادل را قرار دهیم نتیجه می‌شود که:

رابطه tery Mises: $\bar{\varepsilon} = \frac{2}{3}\lambda.\bar{\sigma}$

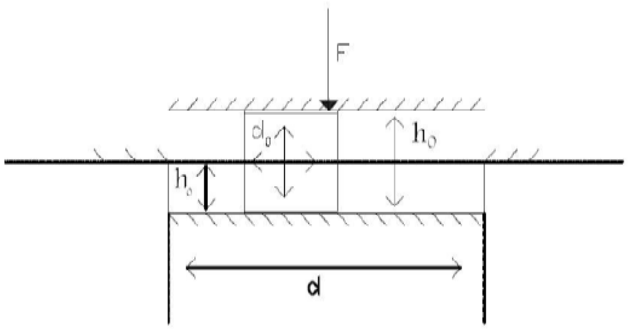
تعیین عملی نقطه تسلیم

برای حل مسائل پلاستیسیته دانستن منحنی دقیق تغییرات تنش و تغییر بعد نسبی بسیار اهمیت دارد. روش‌های مختلفی جهت این اندازه‌گیری بکار می‌رود که در هر کدام مزایا و معایبی وجود دارد. ساده‌ترین نوع اندازه‌گیری آزمایش کشش ساده می‌باشد. اما منحنی حاصله کاربردی در حل مسائل پلاستیسیته ندارد. زیرا بعد از مقدار کمی بارگذاری به علت ایجاد گلویی مقدار واقعی تغییر فرم پلاستیکی ماده را نشان نمی‌دهد. به این دلیل از آزمایش‌های دیگری مثل آزمایش فشاری، آزمایش پیچش، آزمایش صفحه، آزمایش حلقه استفاده می‌شود که در زیر در مورد هر یک از این حالتها توضیح داده می‌شود.

روش آزمایش فشاری

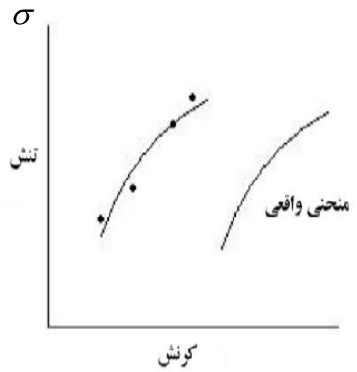
در این روش یک استوانه فلزی مابین دو فک پرس تحت فشار قرار می گیرد.

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi d^2}$$



F نیرو در لحظه‌ای که سطح مقطع را اندازه‌گیری کردیم است.

قانون بقای جرم: $h_0 d_0^{\,2} = hd^{\,2}$



حجم اولیه= حجم ثانویه

$$\sigma = \frac{4F.h}{\pi d_0^{\,2}.h_0} \qquad d\varepsilon = \frac{dl}{l} \;,\; \varepsilon = \int \frac{dl}{l} = Ln(l)\big|h_0 : h$$

$$\varepsilon = Ln(\frac{h}{h_0}) \qquad \Rightarrow \varepsilon = Ln(\frac{h}{h_0})$$

مقداری از این نیرو صرف تغییر فرم پلاستیکی قطعه و مقداری صرف غلبه بر اصطحکاک بین سطوح (شکل بشکه‌ای می‌شود) یکی از مشکلات فشاری روغنکاری است که اصطکاک وجود نداشته باشد چون حتی جوش می‌خورد، سطح نسبت به قطعه. با اندازه‌گیری نیروی وارده و مقدار تغییرا رتفاع با توجه به روابط فوق می‌توان منحنی تنش و تغییر بعد نسبی را بدست آورد و این بشرطی است که اصطکاک صفر باشد. اما در عمل حذف نیروی اصطکاک عملی نیست و یا حداقل کار بسیار مشکلی است.

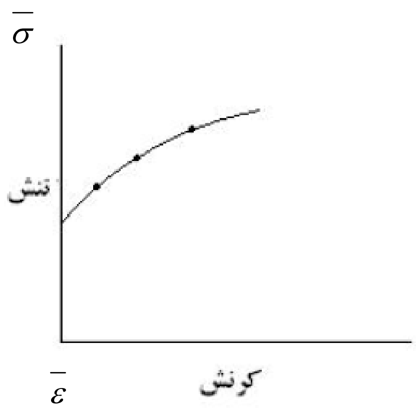
به همین دلیل استوانه به شکل هموژن تغییر شکل نمی‌یابد. روش‌های مختلفی برای حل این مشکل پیشنهاد شده است که در حقیقت میزان اصطکاک را کاهش می‌دهد. نسبت $\frac{do}{ho}$ در این آزمایشات برابر (1) گرفته می‌شود. (لذا تفلون می‌گذارند و یا کف را شیاردار کرده و گریس قرار می‌دهند)

2- روش آزمایش صفحه Plan- Strain test

نمونه‌ای از مواد به صورت ورق یا تسمه انتخاب کرده و در میان دو فک پرس تحت فشار قرار می‌دهیم از این راه تقریباً می‌توان گفت که منحنی تنش و تغییر بعد نسبی یک ماده را می‌توان با دقت خوبی بدست آورد. حذف کردن اصطکاک در این آزمایش با استفاده از روغن‌های مناسب انجام می‌شود. مطابق شکل (1)

ابعاد تسمه و شرایط آزمایش طوری انتخاب می‌گردد که تغییر بعد نسبی فقط در دو امتداد b و t انجام پذیرد و مقدار تغییر بعد نسبی در امتداد w صفر باشد. یعنی در حقیقت $\varepsilon_w = 0$.

برای بدست آوردن چنین شرایطی لازم است که نکات زیر رعایت شود:



1- نسبت $\frac{b}{t}$ بایستی بین 2 و 4 باشد. $4>\frac{b}{t}>2$ و این مستلزم آن است که در طول آزمایش قالب‌ها چندین بار عوض شوند.

2- w بایستی بزرگتر یا مساوی $10t_o$ باشد. $w \geq 10\,t_0$

3- $w \geq 6b$.

چنانچه این شرایط برقرار باشد تغییر فرم در امتداد w صفر است. اگر w، b و t امتداد سه محور اصلی باشد با توجه به اینکه $\varepsilon_w = 0$ است خواهیم داشت:

$\varepsilon_w + \varepsilon_b + \varepsilon_t = 0$ شرط غیرقابل تراکم بودن $\quad \rightarrow \varepsilon_b = -\varepsilon_t$

در امتداد محور b نیرویی که سبب به وجود آمدن تنش گردد صفر است. بنابراین $6b = 0$ براساس رابطه میسس (Mises) می‌توان نوشت:

$$\frac{\varepsilon_b}{6b - \frac{1}{2}(\sigma_w + \sigma_t)} = \frac{\varepsilon_t}{6t - \frac{1}{2}(\sigma_b + \sigma_w)}$$

$$\Rightarrow \sigma_t = 2\sigma_w$$

بنابراین تنش مؤثر برابر است با:

$$\bar{\sigma}=\frac{1}{\sqrt{2}}\left[(\sigma_w-\sigma_t)^2+(\sigma_t-\sigma_b)^2+(\sigma_b-\sigma_w)^2\right]^{1/2}$$

$$\Rightarrow\bar{\sigma}=\frac{\sqrt{3}}{2}\sigma_t$$

و همچنین ε معادل برابر است با:

$$\bar{\varepsilon}=\frac{\sqrt{2}}{3}\left[(\varepsilon_w-\varepsilon_t)^2+(\varepsilon_t-\varepsilon_b)^2+(\varepsilon_b-\varepsilon_w)^2\right]^{\frac{1}{2}}=\frac{2}{\sqrt{3}}\varepsilon_t$$

با بدست آوردن $\bar{\sigma},\bar{\varepsilon}$ می‌توان منحنی تنش و تغییر بعد نسبی ماده را بدست آورد.

$$\varepsilon_T = Ln\,\frac{t}{to} \qquad\qquad \sigma_t=\frac{F}{\text{سطح فک پرس}}$$

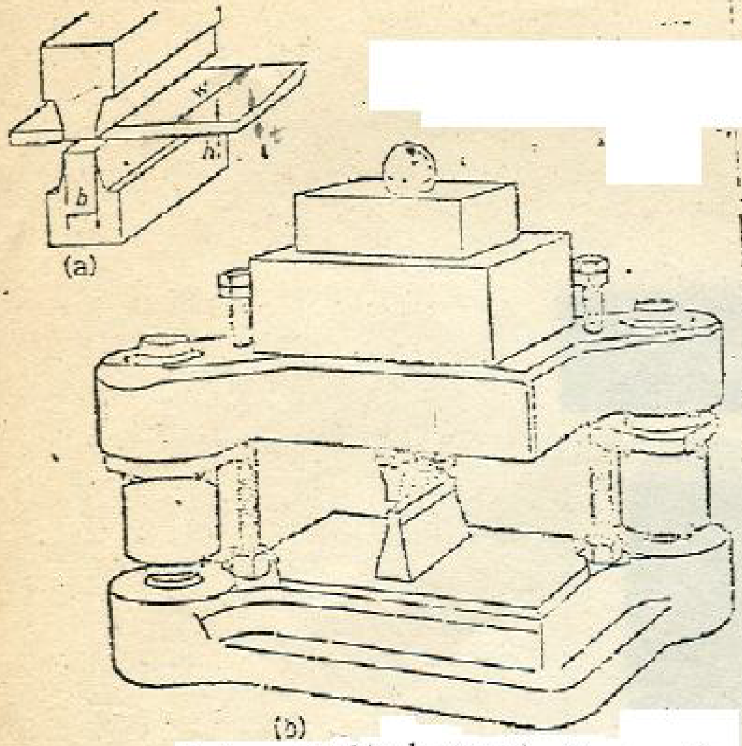
شکل دادن فلزات با روش‌های مختلفی امکان‌پذیر است اما در تمامی این روش‌ها نیروهای اعمال شده با یکی از روش‌های فشاری مستقیم، فشاری غیرمستقیم، کششی، خمشی و برشی انجام می‌شود.

در روش‌های مختلف شکل دادن شامل روش‌های اولیه که در آن محصول نهایی تهیه نمی‌شود و روش‌های ثانویه که در آن محصول نهایی تهیه می گردد، تقسیم‌بندی‌های زیر را می توان انجام داد.

1- برحسب درجه حرارت: یکی از تقسیم‌بندی‌هایی که در شکل دادن فلزات بکار می‌رود استفاده از درجه حرارت است که آن را به دو دسته مختلف تقسیم می‌نمایند. یکی کار داغ Hot Working و دیگری کار سرد است Cold Working. کار داغ به کاری گفته می‌شود که در اثر حرارت و یا تغییر بعد نسبی نسبت به زمان $(\varepsilon'\ strain-rate)$ کریستالیزاسیون مجدد رخ دهد از طرف دیگر کار سرد بکاری گفته می‌شود که در محصول کریستالیزاسیون مجدد رخ ندهد. در درجات حرارت بالا ضمن آنکه تنش سیلان کاهش می‌یابد مقدار تغییر بعد نسبی شکست نیز افزایش می‌یابد یا بعبارت دیگر Ductility، افزایش می‌یابد. بنابراین انرژی کمتری برای تغییر شکل فلزات در حالت داغ نسبت به حالت سرد لازم است. در حالیکه در کار سرد تنش سیلان افزایش یافته و مقدار تغییر فرم پلاستیکی نیز کاهش می‌یابد. اختلاف کار سرد و کار داغ بستگی به درجه حرارت مشخصی ندارد.

در حالیکه در بیشتر آلیاژها کار داغ در درجات حرارت بالا انجام می‌شود. اما فلزاتی مانند قلع و سرب که درجه حرارت ذوب آنها بسیار پایین است، درجه حرارت اتاق برای کریستالیزاسیون مجدد

کافی است. بطور کلی درجه حرارت کریستالیزاسیون مجدد تابعی از نقطه ذوب ماده است و حدوداً بین $\frac{1}{3}$ تا $\frac{1}{2}$ درجه حرارت مطلق ذوب فلز است.



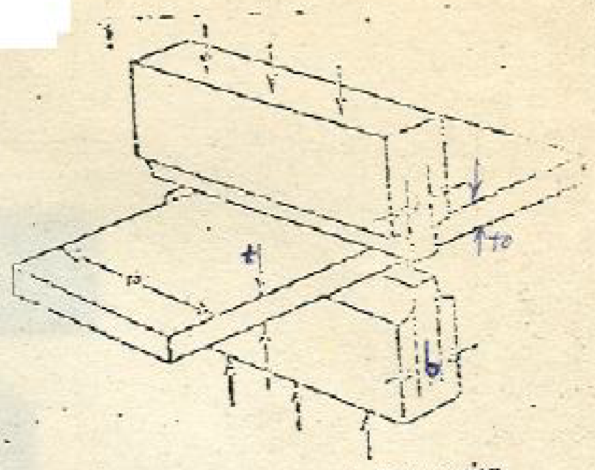
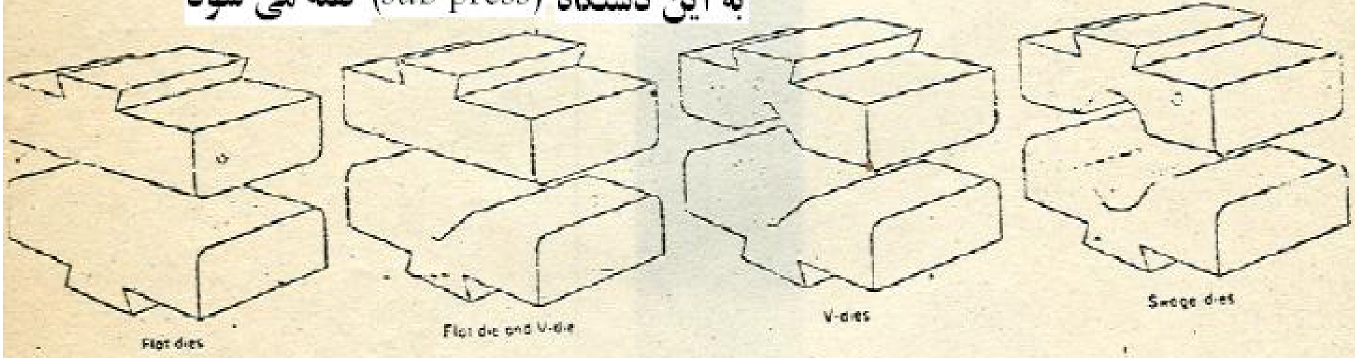
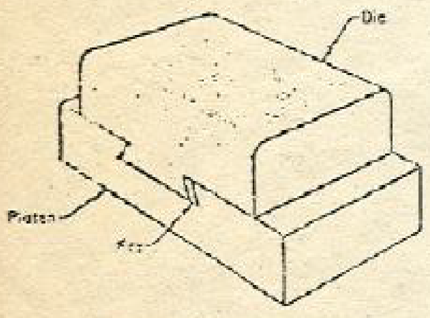


Fig. 1. Deformation in Compression

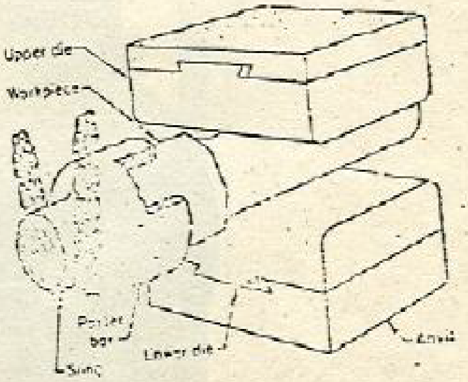
(1)

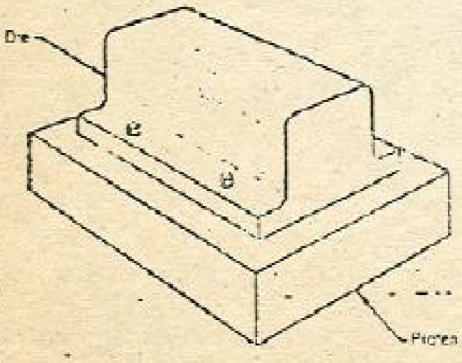
به این دستگاه (sub press) گفته می شود



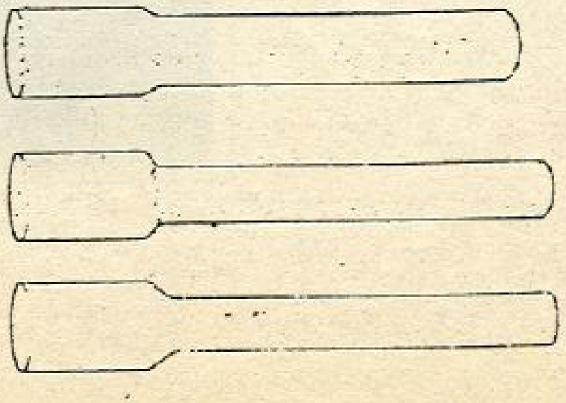


Die mounted with dovetail and key





Flange-mounted die



با افزایش درجه حرارت در شکل دادن فلزات نه تنها تنش سیلان کاهش می‌یابد بلکه ماده ساده‌تر سیلان یافته و تغییر فرم پلاستیکی می‌دهد، بدون آنکه در آن ترک ظاهر شود. در این روش حفره‌های بوجود آمده در اثر ریخته‌گری بهم جوش خورده و از بین می‌روند و دانه‌های ستونی (Columar) شکسته شده و به دانه‌های (equiaxed) تبدیل می‌شوند. این تغییرات در ساختمان کریستالی مواد سبب افزایش Ductility و بهبود خواص مکانیکی ماده می‌شود.

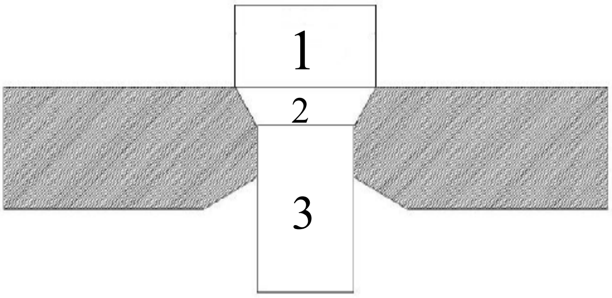
در هر صورت این روش تولیدی نیز دارای معایبی است بحث بالا بودن درجه حرارت معمولاً سطح فلز اکسیده می‌گردد و در نتیجه مقداری از ماده از بین می‌رود. بعضی از فلزات در درجات حرارت بالا اکسیژن را جذب نموده و خاصیت شکنندگی پیدا می‌کنند مثل تیتانیوم. بنابراین لازم است که اتمسفر داخل کوره خنثی باشد، اشکال عمده دیگری که در فولادهای پر کربن بوجود می‌آید آن است که کربن لایه‌های رویی فولاد سوخته شده که اصطلاحاً آن را Decarburizing می‌نامند. و در نتیجه نرم شده که معمولاً بعد از عمل شکل دادن به وسیله روش‌های براده‌برداری این لایه‌ها از سطح قطعه جدا می‌گردند. سطوح تمام شده در این روش خوب نبوده و قطعه از تلرانس‌های خوبی نیز برخوردار نیست و به دلیل سرد شدن غیریکنواخت محصول، خواص مکانیکی آن نیز متفاوت است.

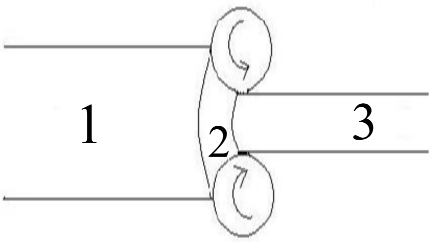
در مورد کار سرد که ممکن است حتی حرارت نیز وجود داشته باشد ولی بایستی درجه حرارت و شرایط تغییر شکل فلز طوری باشد که در محصول کریستالیزاسیون مجدد رخ ندهد. مزایایی از قبیل کنترل ابعاد قطعه، سطح تمام شده خوب قطعه، افزایش استحکام قطعه و اینکه در محیط عمل احتیاج به کوره و حرارت نیست وجود دارد ولی در مقابل دارای معایبی نظیر احتیاج به نیروی زیاد جهت تغییر فرم و در نتیجه ماشین‌آلات سنگین‌تر و با قدرت زیادتر است. در عمل برای افزایش مقدار تغییر فرم پلاستیکی قطعه را در حالت سرد در چندین نوبت تغییر شکل می‌دهند که بین این مراحل عمل آنیلینگ انجام می‌گیرد. (در تغییر شکل مواد حجم ماده همواره ثابت است).

$$\varepsilon_b + \varepsilon_t + \varepsilon_w = 0$$

2- نحوه تغییر فرم پلاستیکی ماده

قطعه‌ای که در حال تغییر فرم پلاستیکی است را می‌توان به سه ناحیه تبدیل نمود که ناحیـه 1 و 3 هیچگونه تغییر فرم پلاستیکی در آن انجام نمی‌شود و صرفاً ناحیه 2 است که تغییر فرم پلاستیکی در آن رخ می‌دهد.





در منطقه 2 که تغییر فرم پلاستیکی ماده رخ می‌دهد و شامل توزیع تنش، توزیع تغییر بعد نسبی و سرعت ذرات است واضح است که نیروی اعمال شده بایستی سبب تسلیم و سیلان ماده گردد، اما تـنش حاصله نبایستی از حد انقطاعی فلز در هیچ جا تجاوز نماید، در صورت تجاوز شکست یا پارگی محلی خواهیم داشت. تنش سیلان مواد تابعی از درجه حرارت و تغییر بعد نسبی نسبت به زمان است.