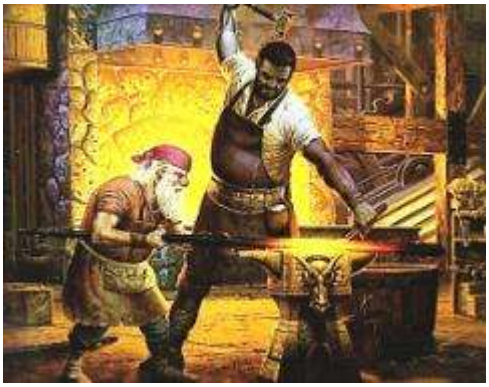
به نام خدا

طراحی قالب های آهنگری

محمود نوری زاده

دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمین

پائیز ۱۳۹۰



طراحی قالب های آهنگری

منابع درس:

۱- آهنگری – رضا مسن آبادی ـ انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۲- مهندسی عملی شکل دادن – Heinz Techatsch- عبدا... ولی نژاد – نشر طراح
۳- طراحی قالب های فورج – دکتر فریدرضا بیگلری – انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۴- مبانی و کاربرد آهنگری سرد و گرم - آلتان ، نگایل ، شن - مترجم : دکتر محمد حسن حجتی - دکتر محمد بخشی - دکتر سید جمال حسینی پور - انتشارات دانشگاه مازندران
۵- ASM Metals Handbook: Forming & Forging; Closed Die Forging in Hammers & Presses
۶- Cold & Hot Forging Fundamentals & Application – Taylor Altan

ارزش یابی:

۱- پایان ترم : ۱۰ نمره
۲- میان ترم : ۴ نمره
۳- تمرین و پرژه : ۵ نمره
۴- کوئیز : ۲ نمره

۲۱ نمره

سر فصل مطالب :

۱- مروری بر روش های شکل دهی فورج
۲- تجهیزات آهنگری
۳- قالب های آهنگری
۴- طراحی قالب های سرکوبی (Upset Forging)
۵- طراحی قالب های فروبری سرد (Cold Hubbing)
۶- طراحی قالب های فورج قالب بسته (Closed Die Forging)

فصل اول:

مروری بر روش های شکل دهی فورج

۱-۱- مقدمه

روش آهنگری یکی از کهن ترین روش های فرم دهی فلزات می باشد. نوع بشر در دوران گذشته فلز مورد نظرشان را تا حد لازم گداخته و سرخ می کردند و بعد با یک انبر آن را بر روی سندان نگه می داشتند و چکش کاری می کردند تا شکل مورد نظر را پیدا کند. گاهی فلز گداخته را با چکش کاری در داخل یک قالب شکل می دادند طوری که فلز گداخته شکل قالب را به خود می گرفت.

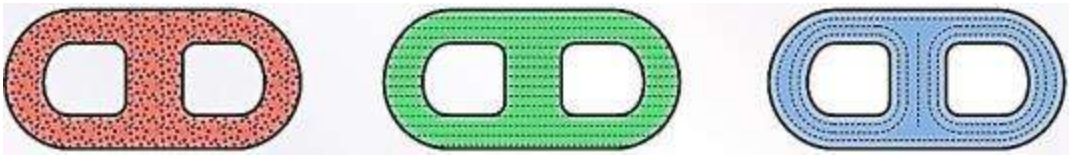
شکل ۱-۱- شکل دهی فلز با استفاده از روش فورج، قطعه ی فلز به تدریج در اثر ضربه شکل تیغه را به خود گرفته است.

پروسه های آهنگری نوین نیز بر همین اساس استوار شده است. در روش فورج، قطعه ی اولیه که گاهی لقمه نامیده می شود در میان دو نیمه ی قالب قرار می گیرد و نیرویی زیاد به صورت آرام و یا ضربه ای به آن وارد می شود. به این ترتیب قطعه ی گداخته در محیط قالب، شکل و فرم داخل قالب را به خود می گیرد و فلز اضافی به حفره ی فلاش یا پلیسه وارد می شود که بعداً از قطعه جدا می شود و دور ریز قطعه ی فورج شده محسوب می گردد.

شکل ۱-۲- آهنگری با استفاده از پرس

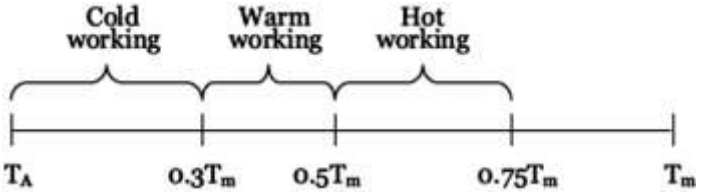
قطعات فورج شده نسبت به روش های دیگر تولیدی از استحکام و خواص مکانیکی عالی تری برخوردار می باشند. اکثر فلزات، قابلیت آهنگری و فورج شدن را دارا هستند. فلزاتی مانند فولادهای آلیاژی و فولادهای کربنی و آلومینیوم و آلیاژهای آن، برنج، مس و آلیاژهای آن ها و... برای فورج مناسب می باشند.

شکل ۱-۳- تغییر شکل دانه های بلور فلز حین آهنگری



شکل ۱-۴- مقایسه شکل دانه های بلور فلز در سه روش ریخته گری، ماشینکاری و آهنگری برای تولید یک قطعه

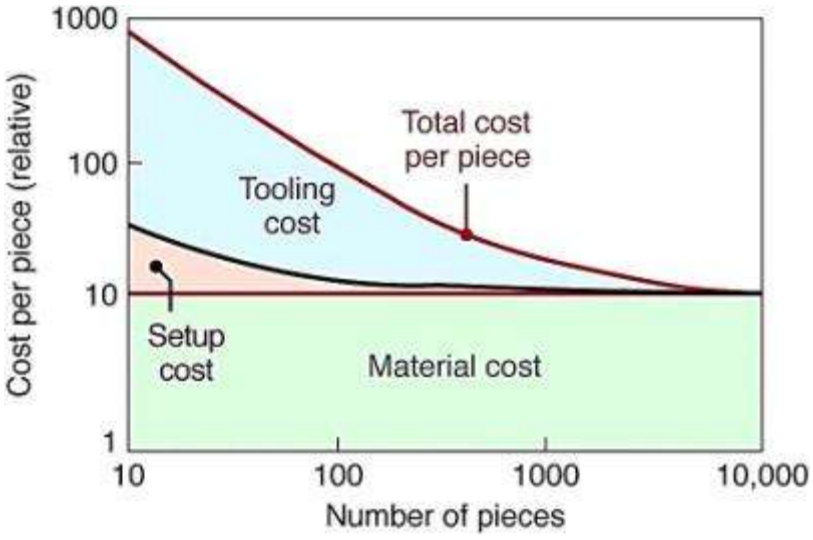
قالب های فورج برای فرم دهی و شکل دهی فلزات در تولید انبوه استفاده می شود که گاهی با حرارت دهی قطعات کار و گاهی بدون حرارت دهی صورت می گیرد.



شکل ۱-۵- گسترهٔ دمایی کار سرد، گرم و داغ (TA دمای محیط و Tm دمای ذوب فلز است.)

Metal or alloy	Approximate range of hot-forging temperatures (°C)
Aluminum alloys	400-550
Magnesium alloys	250-350
Copper alloys	600-900
Carbon- and low-alloy steels	850-1150
Martensitic stainless steels	1100-1250
Austenitic stainless steels	1100-1250
Titanium alloys	700-950
Iron-based superalloys	1050-1180
Cobalt-based superalloys	1180-1250
Tantalum alloys	1050-1350
Molybdenum alloys	1150-1350
Nickel-based superalloys	1050-1200
Tungsten alloys	1200-1300

شکل ۱-۶- دمای تقریبی فورج داغ فلزات مختلف، جدول طوری مرتب شده که قابلیت فورج از بالا به پایین کاهش می یابد.



شکل ۱-۷- مقایسه هزینه های تولید هرقطعه به ازای تیراژ تولید در روش آهنگری (بخش سبز رنگ هزینه مواد، بخش صورتی رنگ هزینه تنظیم و راه اندازی، بخش آبی رنگ هزینه تهیه ابزار)

۱-۲- روش های شکل دهی فورج

دو دسته بندی کلی برای روش های فورج وجود دارد:

الف- براساس تجهیزات

۱- فورج ضربه ای، چکشی یا سقوطی (Forging Hammer or Drop Hammer)

۲- فورج پرسی (Press Forging)

ب- براساس فرایند

۱- فورج قالب باز (Open-Die Forging)

۲- فورج قالب بسته (Closed-Die Forging)

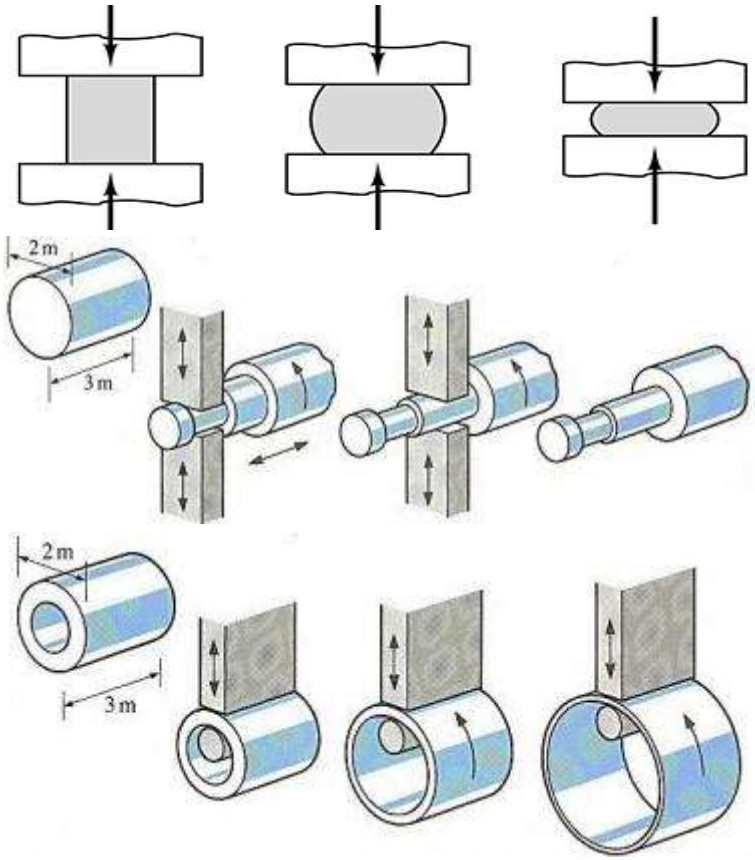
کلیهٔ روش های فورج در دسته بندی فوق جای می گیرند ولی براساس تکنیک اجرای فرایند، روش های فورج تنوع بسیاری دارند. یک دسته بندی روش های فورج به صورت زیر است:

- Open Die Hammer Forging
- Drop Forging Or Closed/impression die forging with flash
- Press Forging
- Upsetting Or Upset Forging Or Heading
- Roll Forging
- Swaging
- Closed/impression die forging without flash
- Electro-upsetting vsx
- Forward extrusion
- Backward extrusion
- Radial forging
- Hobbing
- Isothermal forging

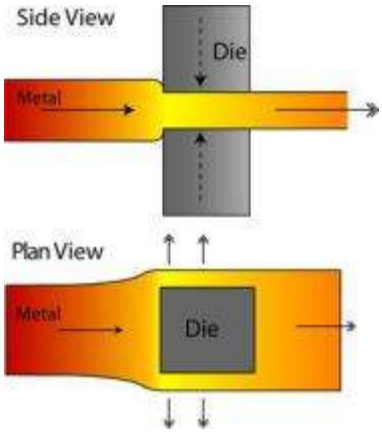
- Open-die forging
- Orbital forging
- Powder metal (P/M) forging
- Nosing
- Coining
- …

۱-۲-۱- آهنگری قالب باز یا چکش کاری Open Die Hammer Forging

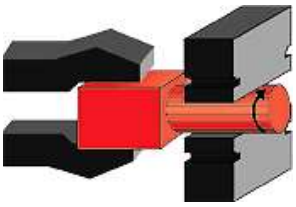
اساساً این عمل همان روش معمول بسیار قدیمی تهیه ابزار فلزی با چکش و سندان است که استفاده از چکش های مکانیکی شکل ظاهری آن را تغییر داده است . برای این کار لازم است پیش از قرار دادن فلز بر روی سندان تمام حجم آن تا دمای مناسب گرم شود. معمولاً فلز را در کوره های نفتی ، زغالی ، و یا برقی حرارت می دهند. گاهی اوقات از کوره های القائی نیز استفاده می کنند که اکثراً برای سرکوبی گرم است. در اکثر موارد سطح چکش و سندان هر دو صاف است و شکل دادن فلز با چرخاندن های متوالی آن در فاصله ضربات چکش توسط کارگر صورت می گیرد. بعلاوه می توان از ابزار با شکل خاص یا قالب با انحنای خیلی کم که بین چکش و قطعه کار، یا قطعه کار و سندان قرار می دهند برای ایجاد سطوح منحنی، محدب، و یا مقعر و همچنین برای ایجاد سوراخ و یا قطع کردن استفاده کرد. برای چرخاندن و جابه جا کردن قطعه می توان از دستگاه های مکانیکی که گاهی اوقات چندین تن وزن دارند، استفاده کرد.



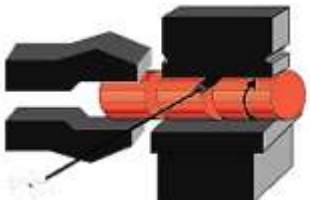
شکل ۱-۸- شماتیک فرایند آهنگری قالب باز



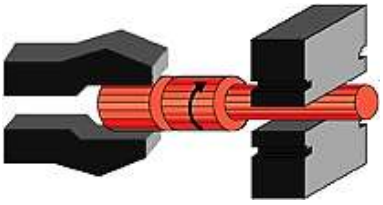
شکل ۱-۹- آهنگری قالب باز



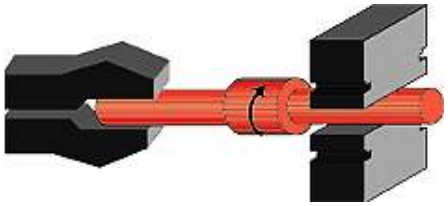
(۱) فورج تا بزرگترین قطر



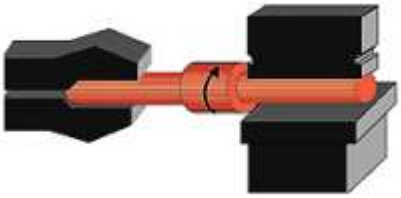
(۲) مارک محل های تغییر قطر با ابزار مخصوص



(۳) فورج سمت راست قطعه



(۴) گرفتن قطعه از طرف مقابل و فورج سمت چپ قطعه

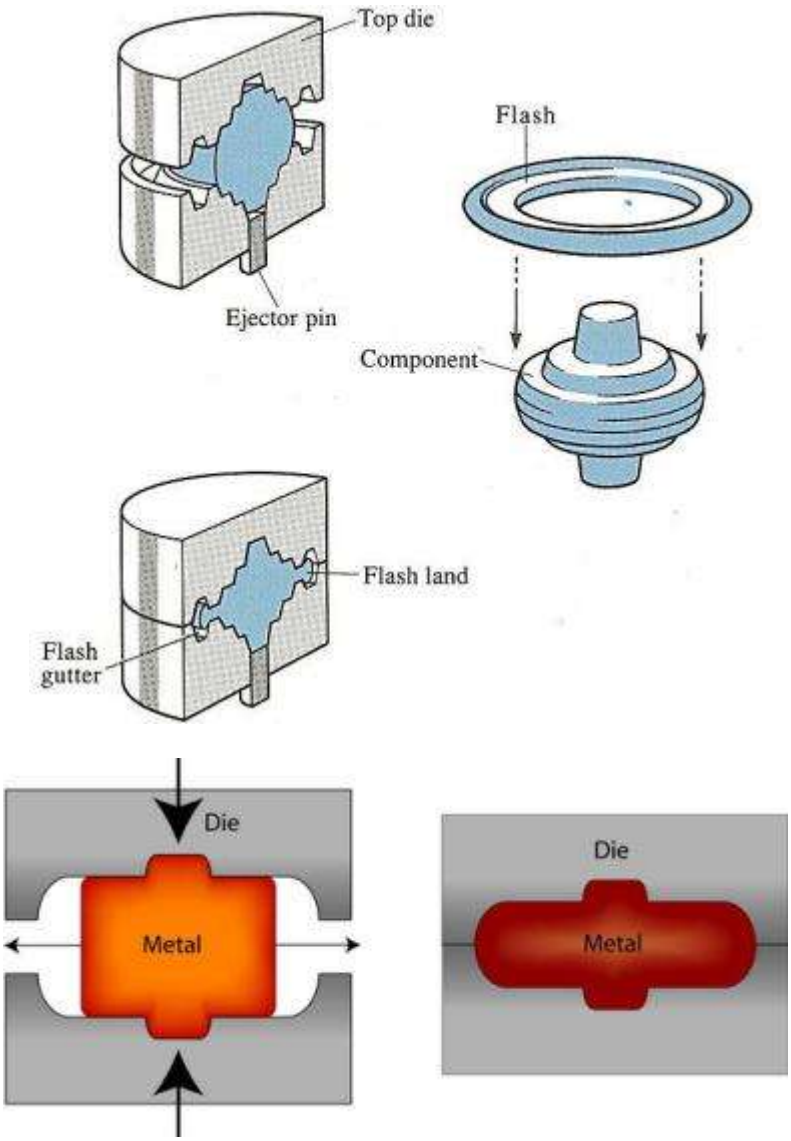


(۵) عملیات پایانی (کنترل یکنواختی ابعاد)

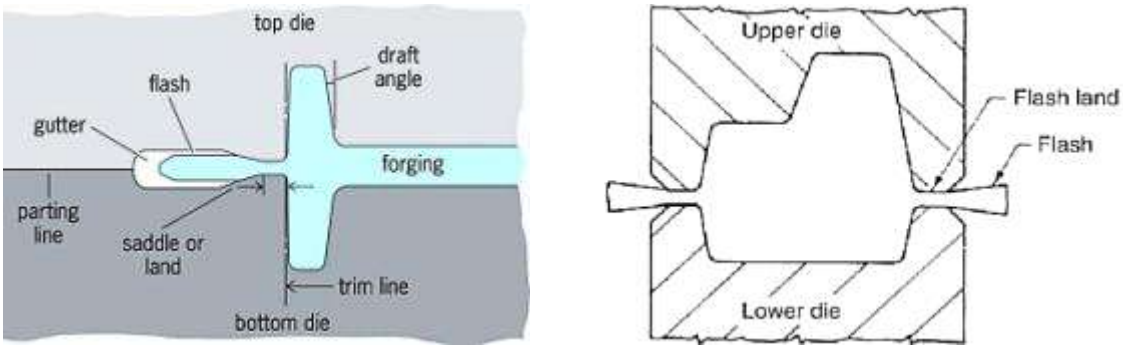
شکل ۱-۱۰- ساخت قطعات مختلف به روش آهنگری قالب باز

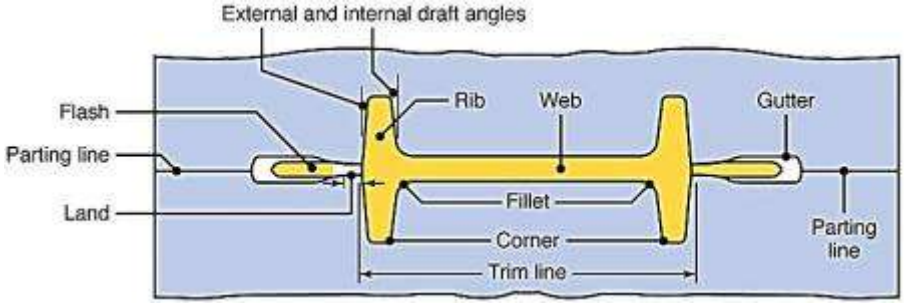
۲-۲-۱- آهنگری قالب بسته Drop / Rot Forging or Closed / Impression Die Forging (With Flash)

با اینکه چکش کاری یکی از راههای ساده و انعطاف پذیر فورجینگ است، به سبب کندی گردش کار و بستگی کیفیت نهائی به دقت و مهارت کارگر، این روش برای تولید تعداد زیادی قطعات مشابه مناسب نیست. برای غلبه بر این اشکالات، میتوان روش فورجینگ قالب بسته را که طی آن قطعه در قالب بسته شکل می گیرد، به کار برد. قالب مورد مصرف، که یک نمونه آن درشکل زیر دیده می شود، دو تکه است. یک نیمه قالب بر روی چکش و نیمه دیگر روی سندان نصب می شود. فلز گداخته را در نیمه پائینی قالب قرار داده و نیمه بالائی را طی یک یا چند ضربه بر روی آن می کوبند، به این ترتیب، فلز در همه جهات جریان یافته و تمام فضای داخل قالب را پر می کند. فلز اضافی بصورت زائده نازکی بین دو سطح تماس قطعات قالب در می آید. پس از خاتمه فورجینگ، این زائده توسط قالب دیگری جدا می شود.



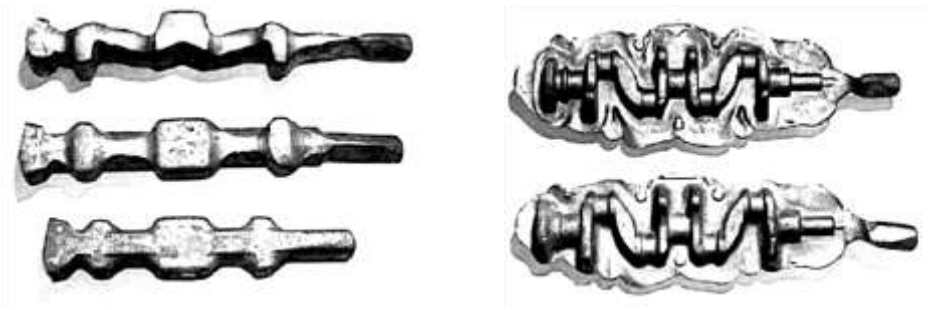
شکل ۱-۱۱- اصول آهنگری قالب بسته



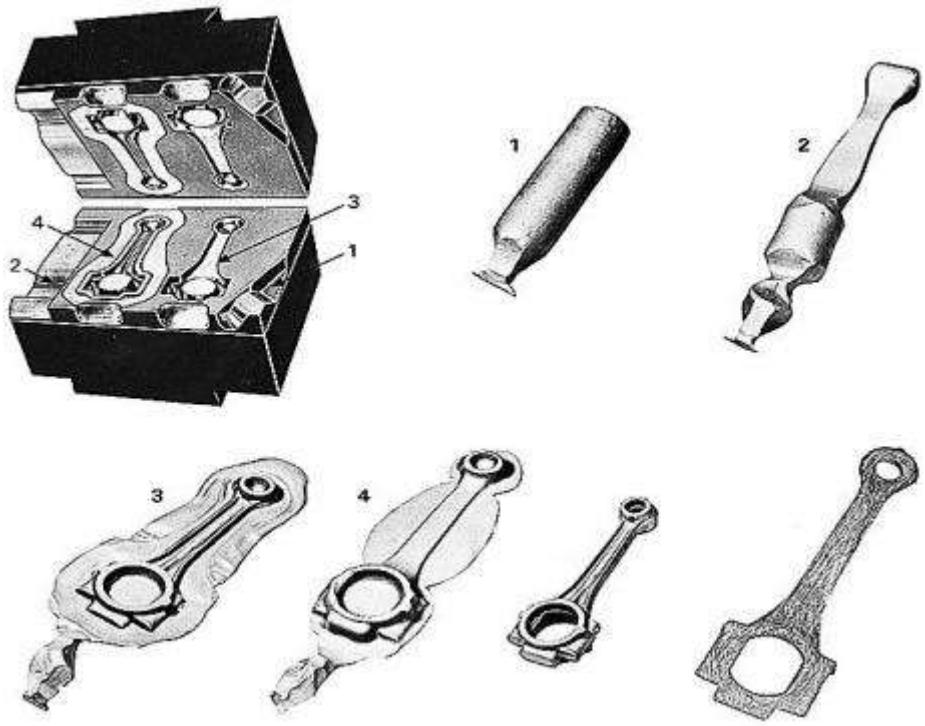


شکل ۱-۱۲- تشکیل پلیسه در آهنگری قالب بسته

بیشتر قالب های فورجینگ قالب بسته بیش از یک محفظه دارند. محفظه اول که غالباً از نوع لبه ساز، شیار دار وخمکن است، برای ایجاد شکل کلی قطعه و پراکندن فلز به شکل مناسب برای محفظه بعدی است. درمحفظه های بعدی فلز مرحله به مرحله به شکل نهائی خود نزدیک می شود. شکل نهائی و اندازه دقیق قطعه در محفظه آخری ایجاد می گردد. این محفظه ها و شکل قطعه پس از گذشتن از هر یک از این مراحل در شکل زیر دیده می شود. چون در تمام قطعات تهیه شده در یک قالب همگی در یک محفظه شکل داده میشوند، الزاماً یکسان هستند و فقط بعلت فرسایش قالب در اثر استفاده زیاد، مختصری اختلاف شکل دارند.



شکل ۱-۱۳- مراحل تولید میلنگ به روش آهنگری قالب بسته



شکل ۱-۱۴- مراحل تولید شاتون به روش آهنگری قالب بسته

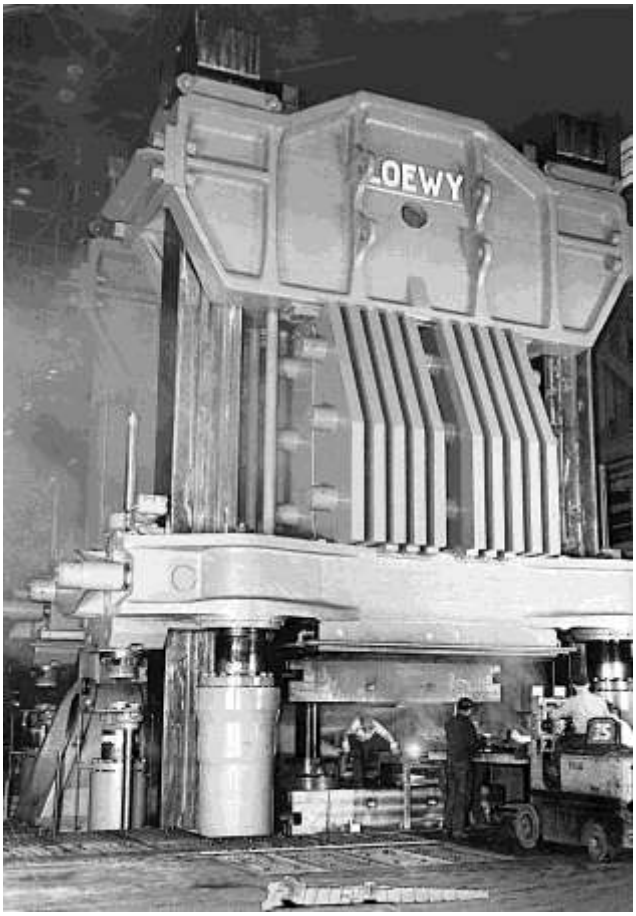
ایجاد مانع در مقابل جریان فلز در جهات خاص سبب جریان فلز در فضای خالی داخل قالب در جهت دلخواه گردیده، و به این ترتیب ساختمان رشته ای مطلوب در قطعه ایجاد میشود. علاوه براین، با قرار دادن فلز به اندازه مورد نیاز در محل های لازم، مناسب ترین مدول مقطع جهت مقابله با تنش های وارده را ایجاد می کنند.

عوامل ذکر شده در بالا، به علاوه این حقیقت که فرآورده های فورجینگ قالب بسته دارای دانه های خیلی ریز بوده و مطمئناً بدون حفره هستند، امکان تهیه قطعات با نسبت استحکام به وزن بیشتر در مقایسه با ریخته گری یا ماشین کاری را فراهم میسازد.

قطعه ریخته شده به عنوان ماده خام است که در حالت گرم از قالب ریخته گری خارج شده و به قالب فورجینگ وارد می شود. در این حالت نیز زائده نازک را به روش های معمول از قطعه جدا می کنند. در برخی موارد چهار مرحله – ریخته گری، انتقال از قالب ریخته گری به قالب فورجینگ، عمل فورجینگ، و حذف زائده ها – کاملاً به صورت مکانیکی در آمده است. این روش عموماً در مورد فلزات غیر آهنی به کار می رود.

۳-۲-۱- آهنگری پرسی یا مُهرِش Press Forging

در فورجینگ ضربه ای قسمت عمده انرژی در حوالی سطح فلز و در پایه دستگاه تلف می شود. در نتیجه، تهیه قطعات بزرگ به روش چکش کاری امکان ندارد. در مقابل، در روش مهرش عمل فشردن فلز آهسته و پیوسته بوده و در تمام حجم قطعه نفوذ می کند، لذا تهیه قطعات بزرگ به این روش صورت می گیرد. از این روش برای فورج سرد و گرم می توان استفاده نمود. مدت زمان انجام فرایند مهرش (تماس دو نیمه قالب) در حد چند ثانیه است برخلاف سایر روش های فورج که در گستره میلی ثانیه قرار دارند. پرسهای فورجینگ مهرشی در اندازه های خیلی بزرگ ساخته می شوند. در ایالات متحده امریکا پرس هائی تا ظرفیت ۵۰/۰۰۰ تن بکار می روند. یکی از این پرس ها که برای تهیه قطعات بسیار بزرگ بدنه هواپیما بصورت یکپارچه طراحی و ساخته شده است، در شکل زیر دیده می شود. در غیر این صورت، این گونه قطعات را باید از سر هم کردن قطعات کوچکتر تهیه کرد که خیلی سنگین تر خواهد بود.



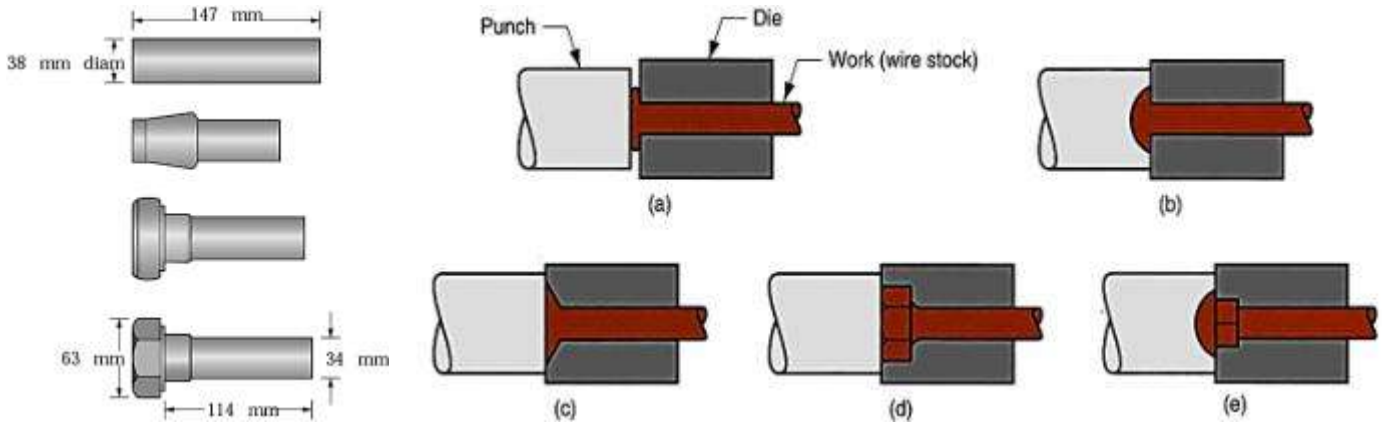
شکل ۱-۱۵- پرس فورجینگ **۵۰۰۰۰** تنی و قطعه آلومینیومی ۱۲۱ اینچی (۳متری) به وزن ۲۶۲پوند (۱۱۹ kg) تهیه شده با این پرس

در فورجینگ مهرش معمولاً شیب قطعات کمتر از فورجینگ قالب بسته است، و در نتیجه دقت ابعاد محصول بهتر است. غالباً عمل شکل دادن به صورت کامل طی یک نوبت بسته شدن قالب صورت می گیرد. در این روش نرخ کرنش به خوبی قابل کنترل است. همچنین در مقایسه با سایر روش ها که بخش زیادی از انرژی به صورت جذب ضربه در ماشین و قالب هدر می رود در آهنگری پرسی درصد بالایی از کار صرف شکل دهی قطعه می شود. از معایب این روش می توان به سرعت پایین، امکان بروز ترک در اثر سرد شدن قطعه در داخل قالب (برای جلوگیری از بروز این مشکل معمولاً قالب را گرم نگه می دارند) اشاره کرد.

۴-۲-۱- سرکوبی یا پرچ کاری Upset Forging

سرکوبی گرم به عمل زیاد کردن قطر یک میله در انتها، یا در قسمت میانی، به وسیله اعمال فشار در جهت طول آن گفته می شود. بر حسب تعداد قطعات، فرآورده های سرکوبی گرم بیش از محصولات هرکدام از روش های دیگر فرآیند فورجینگ است، و در سالهای اخیر میزان تهیه با این روش افزایش فراوانی داشته است. عمل سرکوبی بصورت گرم یا سرد انجام می شود. این عمل توسط دستگاه های مخصوصی انجام می گیرد. برخی از این دستگاه ها قادر به شکل دادن میله هائی تا قطر ۱۰ اینچ (۲۵ سانتیمتر) هستند.

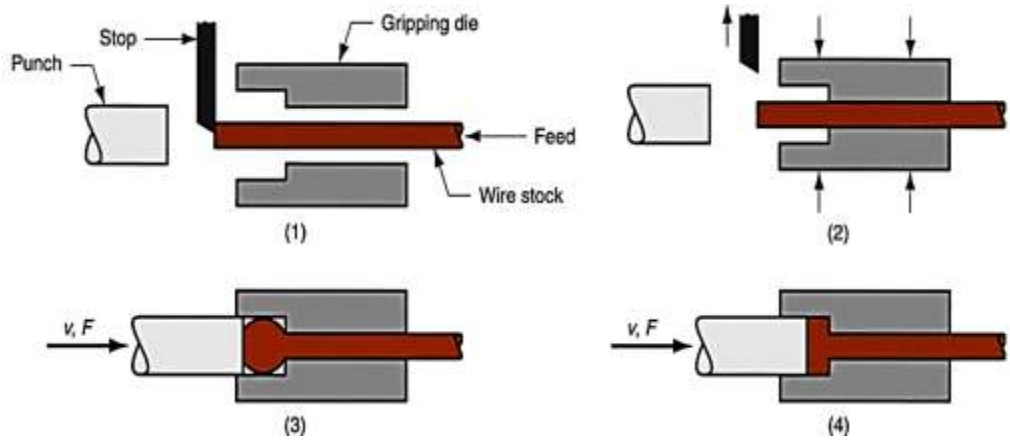
شکل ۱-۱۶- نمونه ای از قطعات محصول سرکوبی



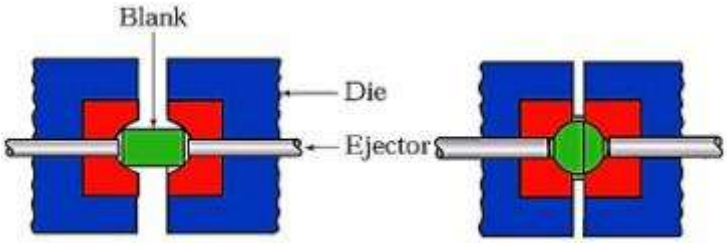
شکل ۱-۱۷- تولید انواع پیچ و میخ پرچ به روش آهنگری (شکل راست) و مراحل تولید سر پیچ به روش سرکوبی (شکل چپ)

قالب های این فرآیند فورجینگ غالباً از دو قسمت یا بیشتر تشکیل شده و هر سری قالب دارای چند محفظه برای مراحل مختلف تغییر شکل است. در شکل زیر نمونه ای از این قالب ها دیده می شود. دو قسمت قالب مختصری از هم دور می شوند تا بتوان میله گداخته را وارد قالب کرده و در موقیت مناسب قرار داد. پس از آن قالب را بسته تا میله را در خود بگیرد. بعد از

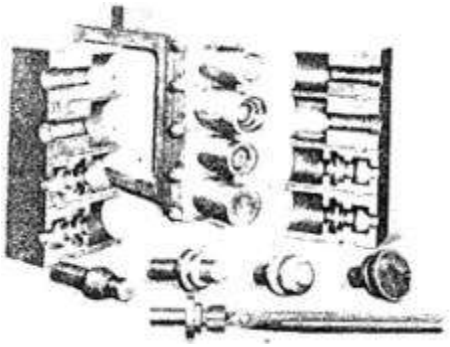
این مرحله پیستون بطور قائم در امتداد محور قالب پائین آمده و میله را در قالب پخش می کند. پس از باز کردن قالب می توان قطعه ساخته شده را بیرون آورد. در نوعی دستگاه سرکوبی گرم میله بلند فلز گداخته وارد قالب شده و پس از قرار گرفتن انتهای آن در ته قالب یک قیچی طول لازم از میله را جدا کرده و قالب بسته می شود. با این روش می توان از یک میله چندین قطعه تهیه نمود.



شکل ۱-۱۸- شماتیک یک نمونه عملیات سرکوبی



شکل ۱-۱۹- تولید کره به روش سرکوبی



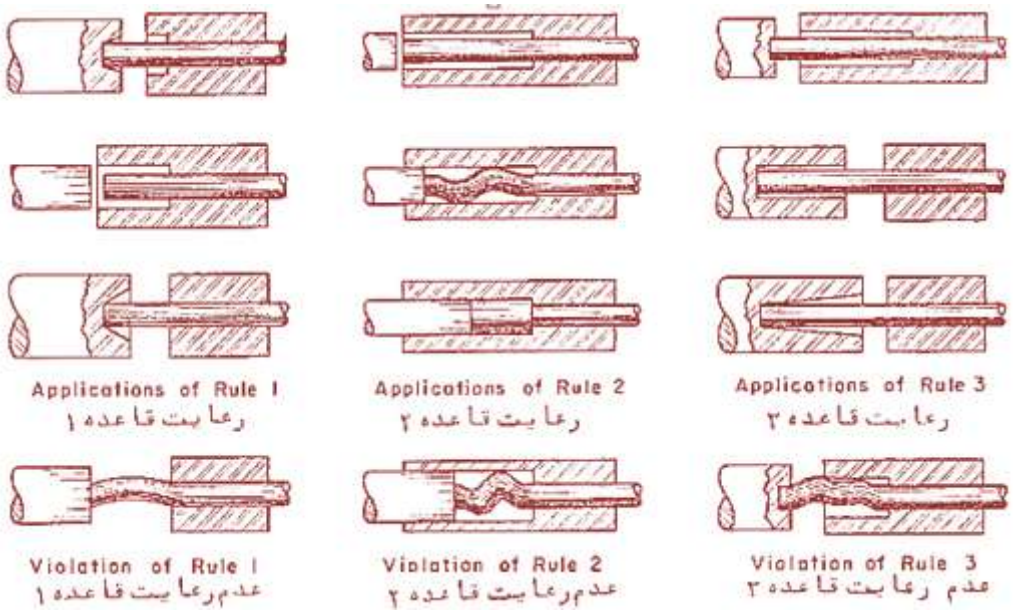
شکل ۱-۲۰- یک مجموعه قالب سرکوبی گرم شامل ۴ محفظه و محصول هر محفظه

تهیه شیر و اتصالات فلزی، ایجاد سر پهن پیچ ها و قطعاتی از این قبیل توسط ماشینهای سرکوبی گرم صورت می گیرد. در طراحی قطعاتی که به روش سرکوبی گرم تهیه می شوند، توجه به سه قائده زیر، که در شکل زیر نیز نشان داده شده است، ضرورت دارد :

۱-حداکثر طول میله بدون تکیه گاه جانبی که بتوان ضمن پرهیز از ایجاد کمانش زیانبار طی یک ضربه پرس کرد، سه برابر قطر آن است.

۲-عمل سرکوبی میله ای که طول آن بیش از سه برابر قطرش باشد، در صورتی موفقیت آمیز خواهد بود که قطر داخلی قالب بیش از ۱/۵ برابر قطر اولیه میله نباشد.

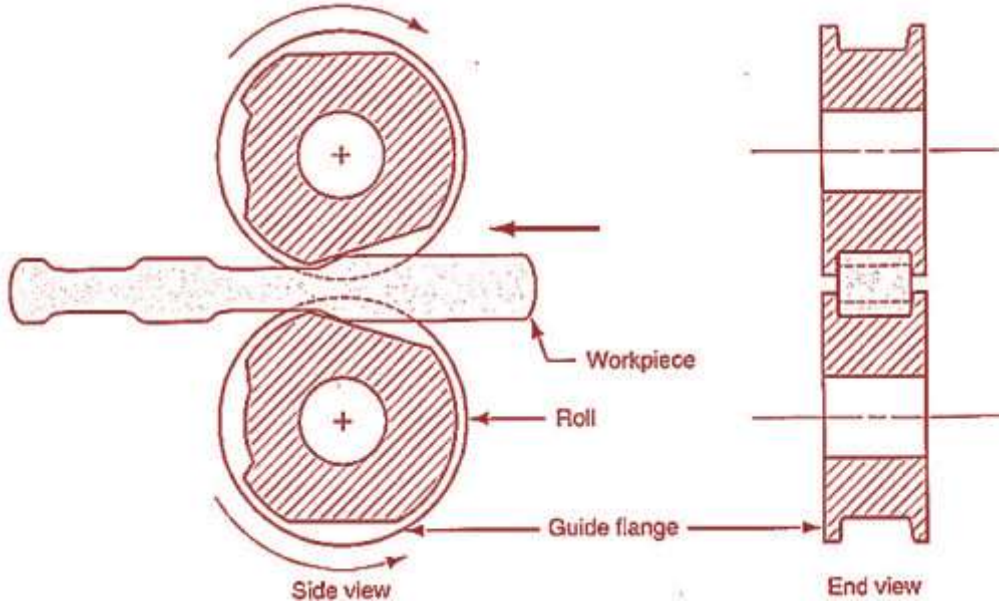
۳-چنانچه بخواهیم قسمتی از میله را که طولش بیش از سه برابرقطر آن است به ضخامتی بیش از ۱/۵ برابر قطر اولیه برسانیم، طول قسمت بدون تکیه گاه میله در خارج از قالب نباید از قطر آن بیشتر باشد.



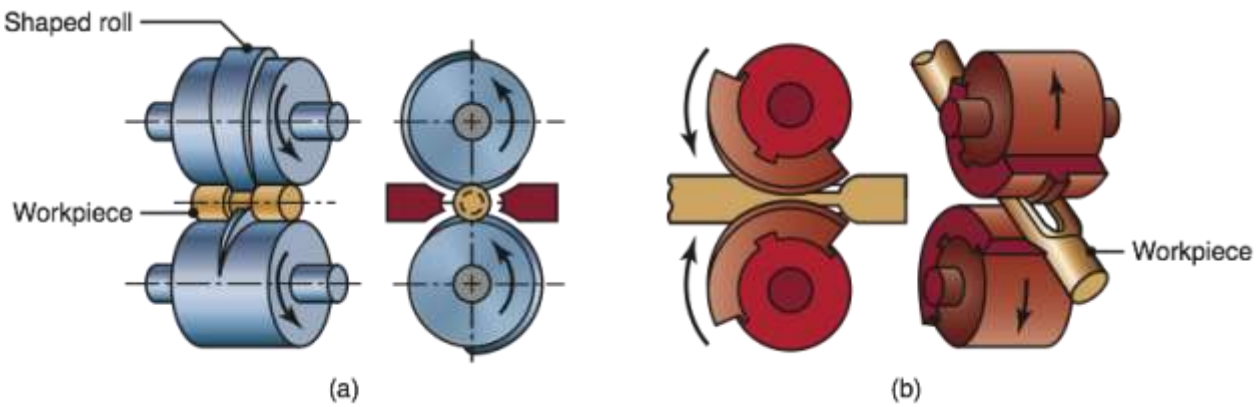
شکل ۱-۲۱- نمایش قواعد حاکم بر سرکوبی گرم

۵-۲-۱-فورجینگ غلطکی Roll Forging

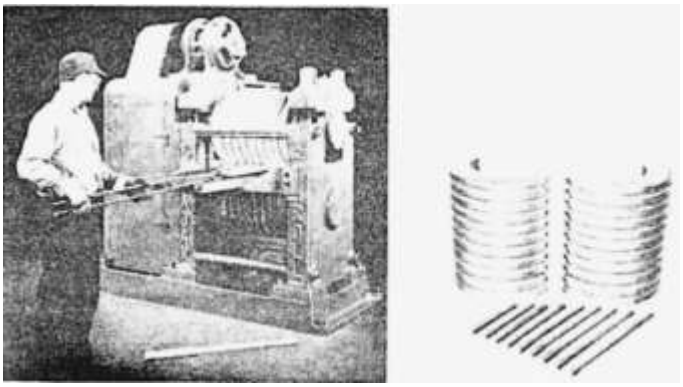
کاهش ضخامت و ازدیاد طول میله های گرد یا مستطیل شکل بمنظور تهیه قطعاتی مانند محور چرخ اتومبیل، میله های با مقطع متغیر و فنر های تیغه ای به روش فورجینگ غلطکی صورت می گیرد. دستگاه فورجینگ غلطکی که در شکل زیر دیده می شود دارای دو غلطک نیمه استوانه ای است که شیار هائی با مقاطع مورد نظر و کمی خارج از مرکز نسبت به محور چرخش بر روی آن ها ایجاد شده است. میله گداخته را هنگامی که غلطک ها باز هستند، در دهانه بین آنها قرار می دهند. در طی نیم دور چرخش غلطک ها، میله بتدریج فشرده شده و از بین شیار طرف جلو دستگاه بیرون می آید. سپس، کارگر میله را بین دو سری غلطک دیگر قرار داده و عمل را آنقدر تکرار می کند تا میله به اندازه و شکل دلخواه در آید.



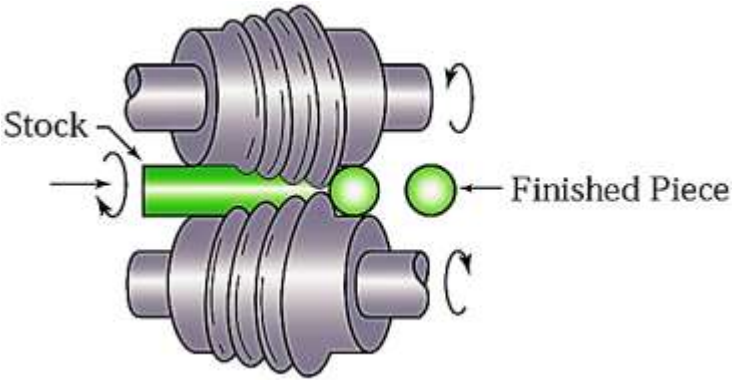
شکل ۱-۲۲- فورجینگ غلطکی



شکل ۱-۲۳- شماتیک فرایند فورجینگ غلطکی (تولید دو نمونه قطعه)



شکل ۱-۲۴- دستگاه فورجینگ غلطکی (چپ)، غلطک های دستگاه فورجینگ غلطکی و مراحل تغییر شکل یک قطعه (راست).

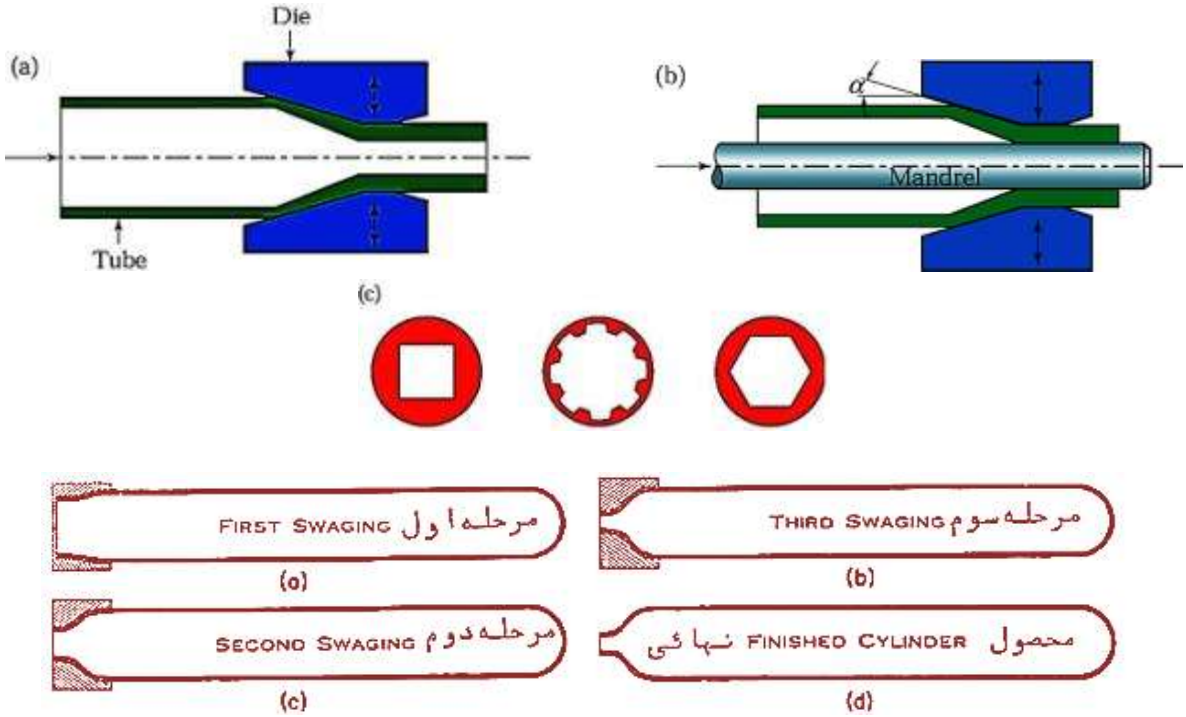


شکل ۱-۲۵- تولید کره با روش فورجینگ غلطکی مایل[1]

۶-۲-۱- فورجینگ قرار Swaging

فورجینگ قرار به عمل کم کردن قطر لوله یا میله با عبور از حدیده در اثر نیروی ضربه ای گفته می شود. این عمل غالباً به صورت گرم انجام شده و حدیده در بیشتر موارد خود چکش قرار است. ضربات متوالی وارد بر فلز آن را به داخل حدیده رانده و به شکل آن در می آورد. در شکل زیر استفاده از روش فورجینگ قرار به منظور تنگ کردن و شکل دادن دهانه مخزن گاز نمایش داده شده است.

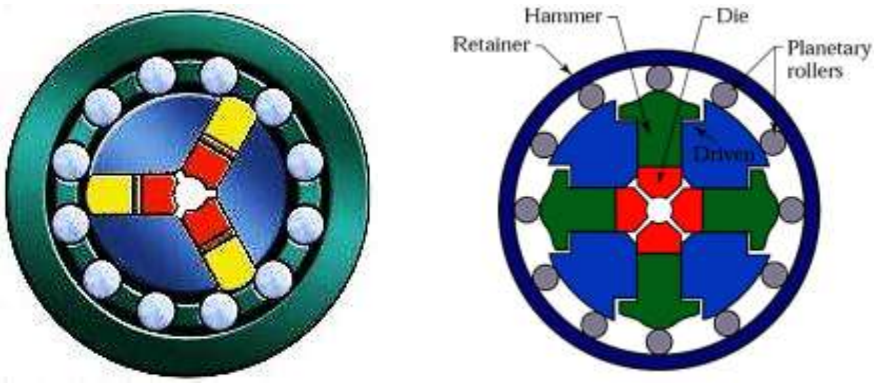
[1] Skew Rolling



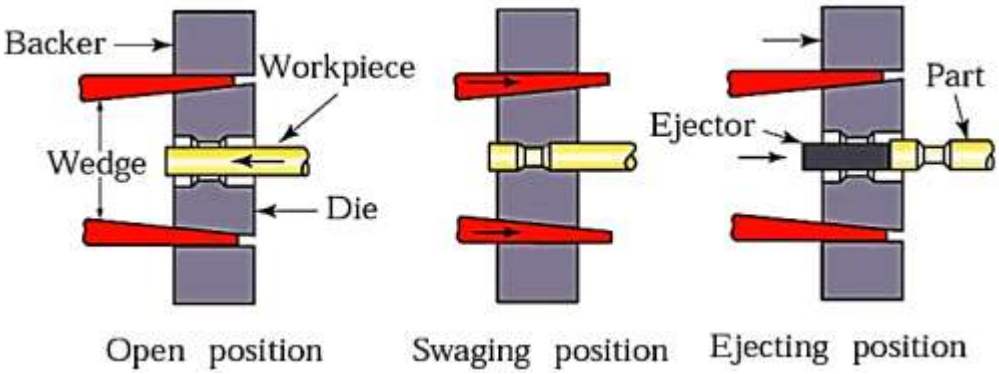
شکل ۱-۲۶- مراحل ایجاد کردن دهانه باریک در یک استوانه

۷-۲-۱-فورجینگ قرار سرد Cold Swaging

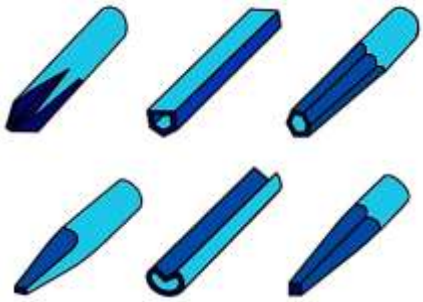
عمل کم کردن قطر ، ایجاد مقطع متغییر در طول و یا نوک تیز کردن لوله و میله های گرد به وسیله چکش کاری، فورجینگ قرار نام دارد. یکی از ابتکارات عمده ای که در این زمینه صورت گرفته است، استفاده از سمبه با مقطع غیر دایره ای برای ایجاد شکل های دیگر است که موجب توسعه موارد استفاده این فرایند گردیده است. فر جینگ قرار در حالت سرد معمولاً به وسیله دستگاه های چرخان که در شکل های زیر مشاهده می شوند، صورت می گیرد. چرخش محور در درون قفس موجب می شود که پشتی های حدیده هنگام عبور از زیر غلطک ها به طرف داخل حرکت کرده و در نتیجه دو قسمت حدیده را به هم بفشارند. برای کم کردن قطر میله یا لوله آن را بین دو قسمت حدیده قرار داده و تدریجاً به درون دستگاه فرو می کنند، تا به ضخامت لازم برسد. همانگونه که در شکل زیر مشاهده می شود، شکل حدیده موجب می گردد که جریان فلز در ضمن کم شدن قطر در خلاف جهت حرکت تغذیه باشد.



شکل ۱-۲۷- شماتیک فرایند فورجینگ قرار دورانی

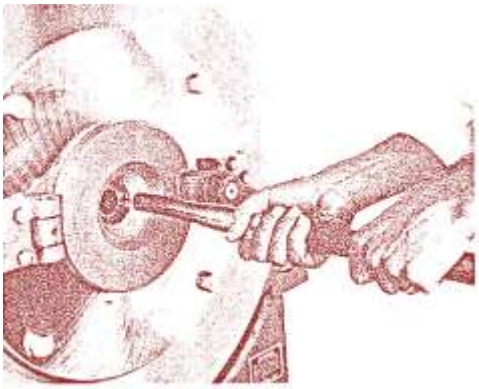


شکل ۱-۲۸- شماتیک یک نمونه ماشین فورجینگ قرار نوع با قالب بسته شونده



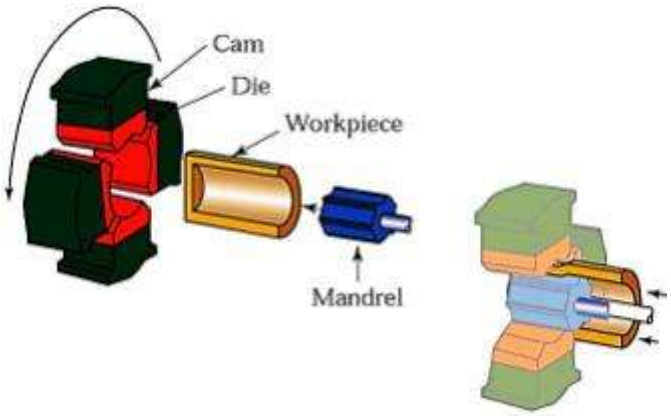
شکل ۱-۲۹- نمونه ای از قطعاتی که می توان با روش فورجینگ قرار تولید کرد

شکل ۱-۳۰- دستگاه فر جینگ قرار چرخان.

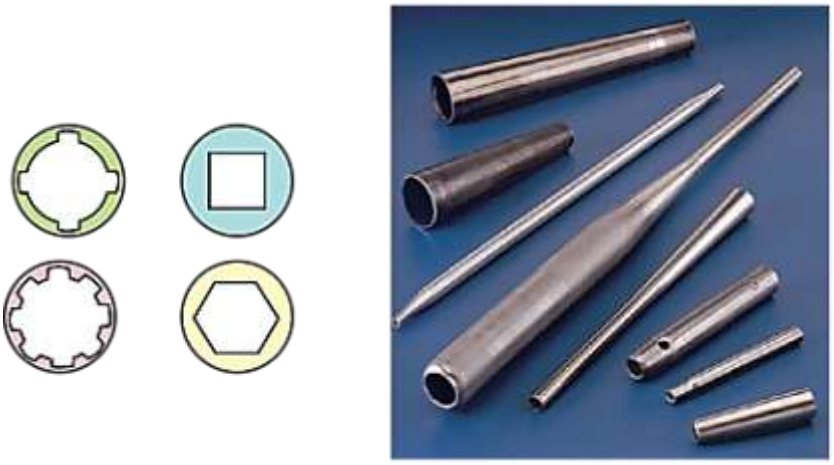


شکل ۱-۳۱- باریک کردن لوله در یک دستگاه فورجینگ قرار چرخان

یک نوع مهم فرآیند تغییر شکل یافته ی فرجینگ قرار چرخان، بر اساس شکل زیر استوار است. در این روش سمبه غیر استوانه ای را در داخل لوله ته بسته یا باز قرار دارده و آن را در حدیده دستگاه فرو می کنند. با حرکت رفت و آمدی و چرخشی حدیده ها، لوله کاملاً سمبه را پوشانیده و شکل داخلی دقیقی ایجاد می شود. تمام این عملیات فقط در چند ثانیه صورت می گیرد، و دقت ابعاد و پرداخت سطح داخلی لوله فوق العاده مطلوب است. گاهی اوقات سمبه را ثابت نگاه داشته و لوله را در ضمن کار از روی آن حرکت می دهند. در این صورت می توان با یک سمبه کوتاه و ارزان قیمت لوله بلندی را شکل داد. این فرآیند برای تولید چرخ دنده و تولید محور خارخوری خیلی مناسب است بعضی از قطعاتی که با این روش تهیه می شوند، در شکل‌نمایش داده شده اند.



شکل ۱-۳۲- شکلدهی پروفیل داخلی به روش فورجینگ قرار (اینترافرم)



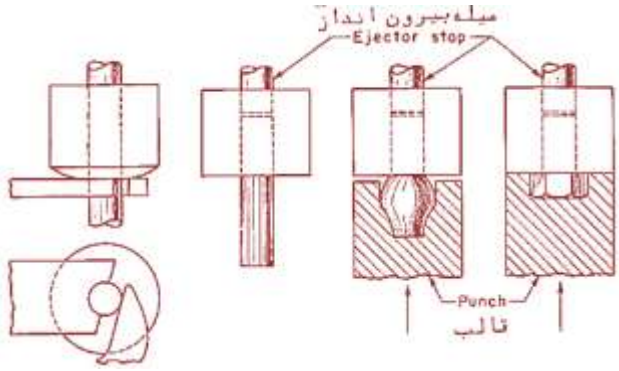
شکل ۱-۳۳- قطعات متعارف تهیه شده به روش اینترافرم (b) و چند نمونه سطح مقطع محصولات این فرایند (a)

۸-۲-۱-فورجینگ سرد Cold Forging

در فرآیند فر جینگ سرد فلز را با فشار به درون قالب می فرستند تا به شکل داخلی آن در آید. در عمل تعداد قطعات تولید شده به روش فرجینگ سرد خیلی زیاد است. عمل سر پخ کردن سرد که در شکل نمایش داده شده است، برای پهن کردن قسمت نهایی میله یا سیم به منظور تهیه پیچ، میخ، پرچ و قطعات مشابه به کار می رود. این عمل به دو روش صورت می گیرد. در روش اول، همان گونه که در شکل مشاهده می شود، در مرحله اول میله به طول لازم بریده شده و سپس به قسمت دوم قالب منتقل می گردد که طی یک یا چند ضربه سر آن پخ می شود. چنان چه عمل سر پخ کردن با بیش از یک ضربه

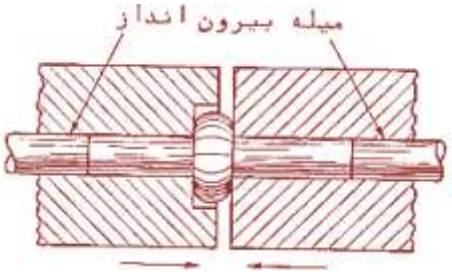
صورت گیرد، تعویض قالب در فاصله بین دو ضربه صورت می گیرد. پس از خاتمه عمل سر پخ کردن، قطعه توسط سمبه از قالب خارج می شود.

در روش دیگر، ابتدا میله را به طول لازم از دهانه گیره خارج کرده و در جا محکم می کنند. پس از عمل سرپخ کردن میله بریده می شود. این روش برای تهیه میخ به کار می رود. نوک تیز میخ در مرحله بریدن ایجاد می شود.



شکل ۱-۳۴- مراحل سرپخ کردن سرد

زیاد کردن ضخامت میله در موقعیتی غیر از دو انتها معمولاً با عمل تغییر مقطع که در شکل زیر نمایش داده شده است صورت می گیرد. در این روش برای خارج کردن قطعه وجود میله بیرون انداز بر روی سنبه و قالب، هردو لازم است. با استفاده از قالب های مختلف و ترکیب دو عمل سرپخ کردن و تغییر مقطع می توان قطعات با اشکال پیچیده را با دقت و ظرافت و سرعت زیاد به وسیله فرآیند فر جینگ سرد تهیه نمود. غالباً در این فرآیند ضایعات وجود ندارد. به عنوان مثال، در شکل بعد طرز تهیه بدنه شمع اتومبیل از یک میله گرد طی یک ضربه فورجینگ دیده می شود. در این روش نه تنها صرفه جویی فراوانی در وقت و مخارج ماشین کاری می شود، بلکه صرفه جویی در ماده اولیه به تنهایی جبران کننده هزینه دستگاه های فورجینگ باشد. با این که فورجینگ سرد برای فلزات شکل پذیر غیر آهنی بسیار مناسب است، ولی برای تهیه قطعات فولادی نیز به میزان وسیعی به کار می رود.



شکل ۱-۳۵- روش تغییر مقطع قسمت میانی یک میله طی عمل تغییر مقطع، هر دو قالب میله را در خود می گیرند

شکل ۱-۳۶- تولید بدنه شمع اتومبیل (اول سمت راست) به روش شکل دادن سرد (دوم سمت راست) بدنه شمع پیش از ایجاد رزوه، (سمت چپ) براده حاصله هنگام تهیه شمع بوسیله ماشینکاری. قطعه کوچک گرد تنها ضایعه فرآیند شکل دادن سرد است.

-۱
-۱-۱
-۱-۲
-۱-۲-۱
-۱-۲-۲
-۱-۲-۳
-۱-۲-۴
-۱-۲-۵
-۱-۲-۶
-۱-۲-۷
-۱-۲-۸

آماده ساختن فلزات برای کار سرد

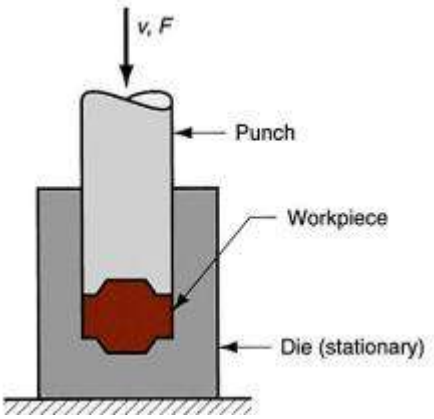
غالباً برای بهره گیری از امتیازات کار سرد، فلزات را قبل از تغییر شکل طی فرآیند های خاصی آماده می سازند. اولاً برای این که پرداخت سطح و دقت ابعاد قطعه بهتر از پرداخت و دقت ابعاد فرآورده های کار گرم باشد، لازم است سطح فلز تا حد امکان بدون زنگ زدگی بوده تا موجب فرسایش غلطک و یا حدیده نگردد. برای از بین بردن زنگار سطحی، فلز را در ظرف اسید فرو برده و سپس در آب می شویند. نام این عمل اسید شویی است. ثانیاً، برای کم کردن خورند محصول نهایی، باید فلز اولیه دارای سطح صاف و ضخامت یکنواخت باشد. برای این منظور غالباً ورقه فلزی را قبل از هر عمل دیگر کار سرد، مختصری نورد سرد می کنند.

سومین عملی که ممکن است پیش از انجام کار سرد بر روی فلز انجام شود، تاباندن است. چناچه کار سرد مورد نظر مستلزم تغییر شکل زیادی باشد، بهتر است فلز دارای حداکثر شکل پذیری ممکن باشد، ولی در بیشتر موارد عمل تاباندن بین دو مرحله کار سرد صورت می گیرد تا از پاره شدن فلز در مراحل نهایی جلوگیری شود. با کنترل دقیق عمل تاباندن می توان اندازه دانه های فلز را به میزان مطلوب رسانید.

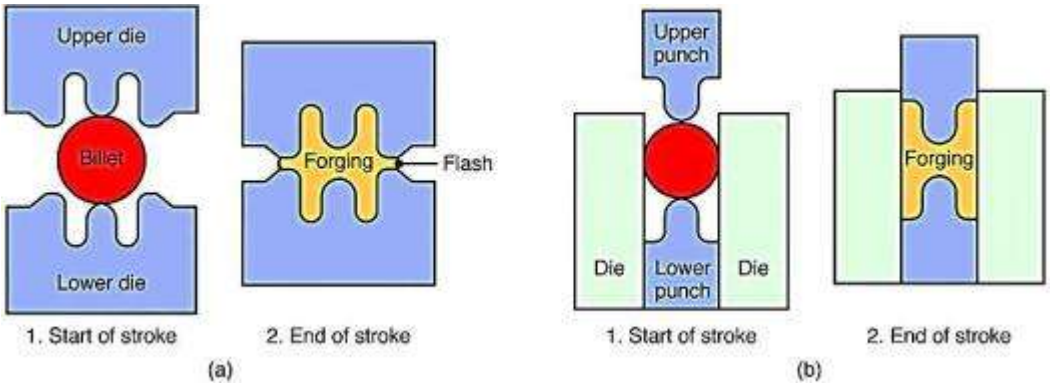
گاهی اوقات لازم است فلز را قبل از انجام کار سرد صاف و مستقیم نمود. برای راست کردن سیم و میله می توان آنها را از غلطک های صاف کاری عبور داد.

۹-۲-۱- آهنگری قالب بسته بدون پلیسه

این فرآیند یکی از روش های فورج دقیق می باشد که در آن شمشال با حجم دقیقاً کنترل شده توسط یک سنبه، تغییر شکل (داغ یا سرد) می یابد تا بدون هیچ گونه اتلاف ماده، حفره یک قالب را پر کند. سنبه و قالب ممکن است از یک یا چند تکه ساخته شده باشند.

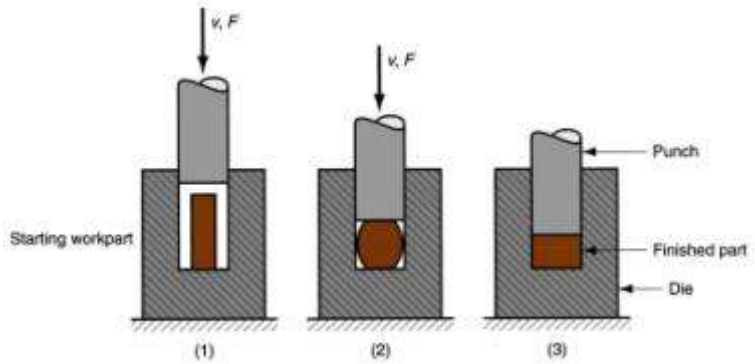


شکل ۱-۳۷- آهنگری قالب بسته بدون پلیسه



شکل ۱-۳۸- مقایسه آهنگری قالب بسته بدون پلیسه (b) و همراه با پلیسه (a)

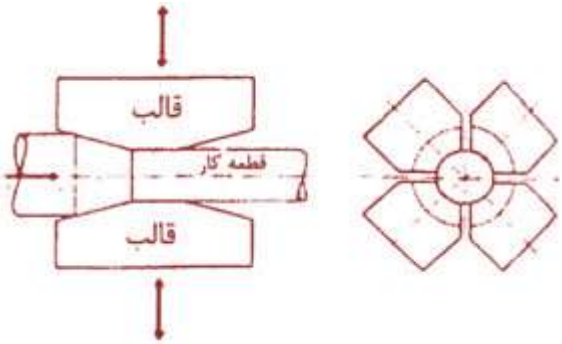
حجم قطعه اولیه برای فورج به این روش باید با حجم قطعه نهایی تا حد تلورانس های خیلی کوچکی برابر باشد. این فرایند برای تولید قطعات با هندسه ساده و متقارن مناسب است (به عنوان مثال آهنگری قطعات توخالی، اتصالات، زانویی ها، تی ها و غیره) و در طی فرایند کنترل دقیق تری نیاز دارد. از پرسهای هیدرولیکی و پرسهای چند کوبه ای مکانیکی می توان استفاده نمود. فولاد های کربنی و آلیاژی، آلیاژی های آلومینیوم و آلیاژ های مس را با این روش می توان فورج نمود.



شکل ۱-۳۹- مراحل آهنگری قالب بسته بدون پلیسه

۱۰-۲-۱- آهنگری شعاعی

فرآیند آهنگری شعاعی (داغ یا سرد)، از دو یا چند سندان یا قالبی که بطور شعاعی حرکت می کند، استفاده نموده و قطعات توپر یا لوله ای تولید می کند که در راستای طولشان دارای سطح مقطع ثابت یا متغیر می باشند. فولادهای کربنی و آلیاژی، آلیاژهای تیتانیوم، تنگستن، بریلیم و سوپر آلیاژهای دما- بالا را می توان با این فرایند شکل داد.



شکل ۱-۴۰- فرآیند آهنگری شعاعی

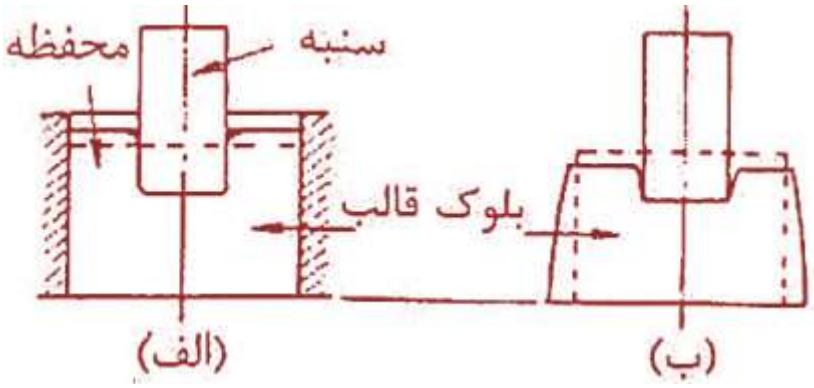
این تکنیک برای تولید قطعات متقارن محوری استفاده می شود. کاستن از قطر شمش ها و میله ها، آهنگری محورهای پله ای و اکسل ها، آهنگری لوله های انواع تفنگ، تولید قطعات لوله ای با شکل پروفیلهای داخلی مختلف از جمله کاربردهای این روش است.

شکل ۱-۴۱- دستگاه آهنگری شعاعی (فورج چهار چکشه)

۱۱-۲-۱- سنبه کاری یا فروبری[۲]

سنبه کاری فرآیند ایجاد یک نقش در درون یک بلوک قالب سرد یا داغ است که با پرسکاری توسط یک سنبه انجام می شود. قطعه می تواند به دو صورت بدون قید و یا مقید داخل ماتریس باشد. توسط این فرایند می توان فولادهای کربنی و آلیاژی را نیز شکل داد. کاربرد عمده این فرایند ساخت قالب ها و پیش فرم ها با نقش های نسبتاً کم عمق می باشد.

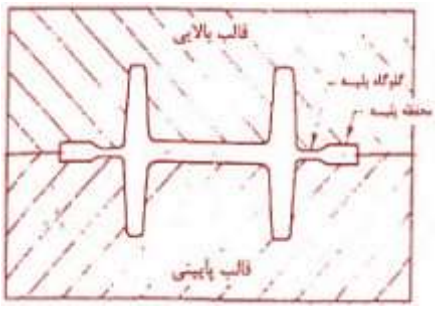
[2] Hubbing



شکل ۱-۴۲- فرایند فروبری (الف) در محفظه (ب) بدون قید

۱۲-۲-۱- آهنگری تکدما

آهنگری تکدما فرآیندی است که در آن قطعه خام و قالب تقریباً در یک دمای یکسان بالا قرار دارند. این روش برای آهنگری آلیاژهای تیتانیوم و آلیاژهای آلومینیوم مناسب است.کاربرد عمده این روش آهنگری شکل نهایی یا نزدیک به شکل نهایی برای صنعت هواپیمایی است.

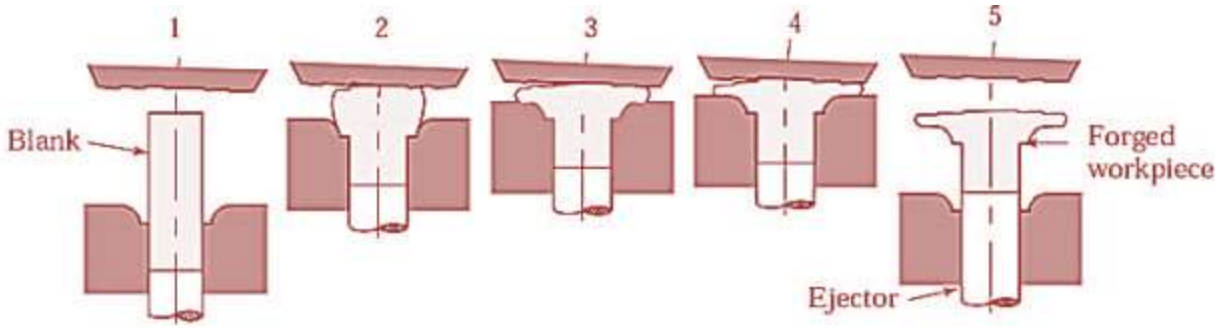


شکل ۱-۴۳- آهنگری تکدما با قالب و قطعه کار تقریباً در دمای یکسان

۱۳-۲-۱- آهنگری مداری[3]

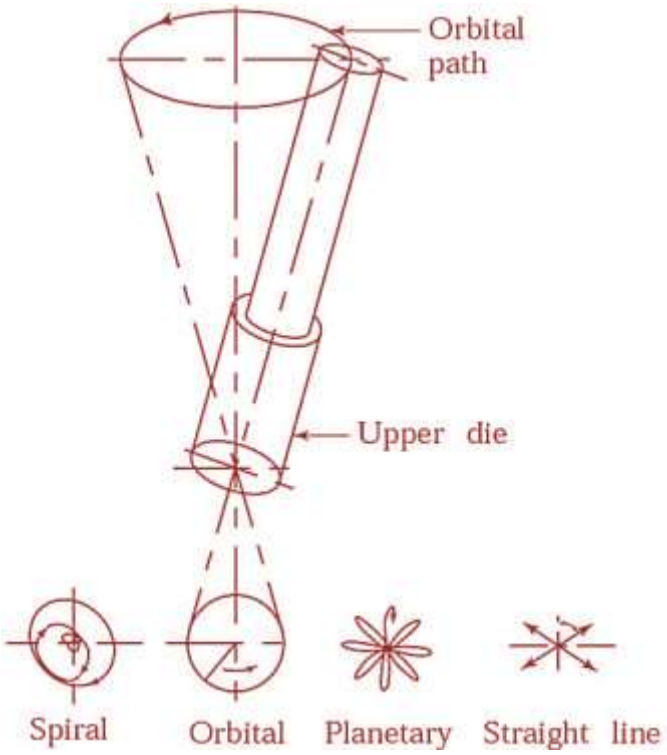
این فرآیند، آهنگری دورانی[4]، آهنگری پاندولی[5]، یا آهنگری با قالب تکانی[6] نیز نامیده می شود. در این فرایند عملیات آهنگری بطور تدریجی (داغ یا سرد) بر روی یک شمشال بین قالب بالایی با حرکت مداری و قالب پایینی غیردوار انجام می شود. البته در برخی موارد، قالب پایینی هم ممکن است دوران کند. قالب پایینی در امتداد محور به سمت قالب بالایی بالا برده می شود. قالب بالایی در امتداد محور ثابت است اما حول محورش ایجاد حرکت های مداری، مارپیچی، سیاره ای یا خط مستقیم می کند.

[3] Orbital Forging
[4] Rotary Forging
[5] Swing Forging
[6] Rocking-die Forging



شکل ۱-۴۴- مراحل آهنگری مداری

این فرایند نسبتاً کم سر و صدا می باشد و قطعات طی ۱۰ تا ۲۰ سیکل حرکت مداری تولید می شوند. فولادهای کربنی و کم آلیاژی، آلیاژهای آلومینیوم، برنج ها، فولادهای زنگ نزن و تمام مواد دارای قابلیت آهنگری را می توان به این روش آهنگری شکل داد.



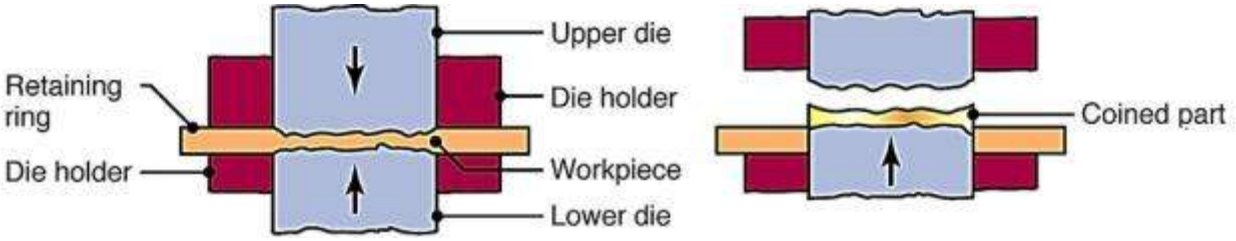
شکل ۱-۴۵- حرکت های مداری، مارپیچی، سیاره ای یا خط مستقیم قالب بالایی در آهنگری مداری

این فرایند برای تولید قطعات دیسکی و مخروطی مانند چرخ دنده های مخروطی، قطعات کلاچ شاخکی، دیسکهای چرخ با توپی، رینگهای یاتاقان، رینگهای با پروفیل های مختلف، پوشش های انتهای یاتاقان و ... به کار می رود.

۱۴-۲-۱- سکه زنی

درعملیات فلزکاری ورقها، سکه زنی برای شکل دادن فرورفتگی ها یا برآمدگی های مقاطع در قطعه استفاده می شود. در طی فرآیند، فلز بدلخواه نازک یا کلفت می شود تا پستی یا بلندی های مطلوب در مقطع ایجاد شود. از این روش بطور گسترده برای حروف زنی روی ورق فلزی یا قطعاتی نظیر سکه ها استفاده می شود. پایین زنی، نوعی فرآیند سکه زنی است که در آن

فشار عملیات باعث کاهش ضخامت در ناحیه خمشی می شود. سکه های اولیه را به روش آهنگری قالب باز تولید می کردند که نقش های ظریف در سکه را نمی توانست بوجود آورد.



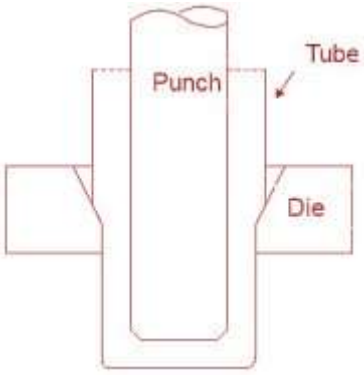
شکل ۱-۴۶- فرایند سکه زنی

فولادهای کربنی و آلیاژی، فولادهای زنگ نزن، آلیاژهای مقاوم در برابر حرارت، آلیاژهای آلومینیوم، آلیاژهای مس، آلیاژهای نقره و طلا را می توان با این روش می توان شکل داد. سکه های فلزی، قطعات زینتی مانند ظروف غذا خوری طرحدار، دکمه های فلزی و نشانه ها با این روش ساخته می شوند و اندازه سازی قطعات موتور هواپیما نیز با استفاده از این روش انجام می شود.

شکل ۱-۴۷- محصولات فرایند سکه زنی

۱۵-۲-۱- اتوکاری

اتوکاری فرآیند صاف کردن و نازک کردن جداره یک پوسته یا فنجان (سرد یا داغ) است که در آن پوسته توسط یک سنبه به درون قالب فشار داده می شود. فولادهای کربنی و آلیاژی، آلومینیوم و آلیاژهای آن و آلیاژهای تیتانیوم را به این روش می توان شکل داد.



شکل ۱-۴۸- فرایند اتوکاری

طراحی قالب های سرکوبی

۴-۱ تعریف

سرکوبی یک فرآیند تغییر شکل یکپارچه است که جهت فشار در آن، در راستای محور قطعه قرار دارد.

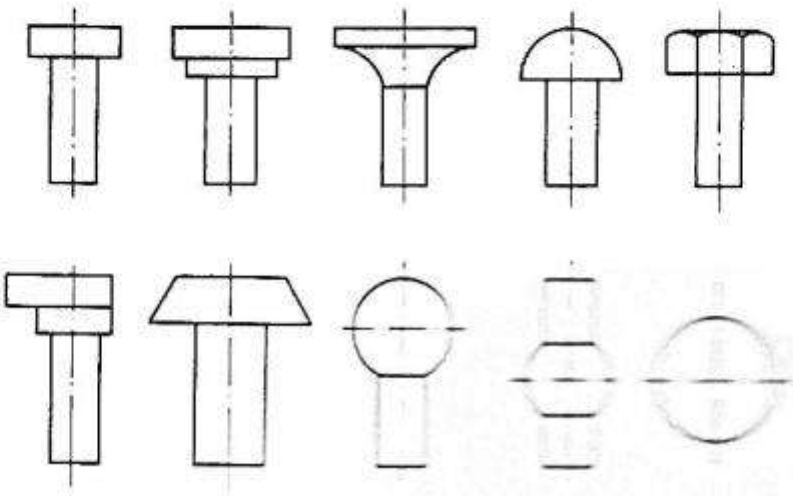
۴-۲ کاربرد

اغلب در تولید قطعات انبوه مثل پیچها، پرچها، میله های سرپخ، سوپاپ و غیره بـه کـار مـی رود (**شـکلهای ۴-۱ و ۴-۲ و ۴-۳**).

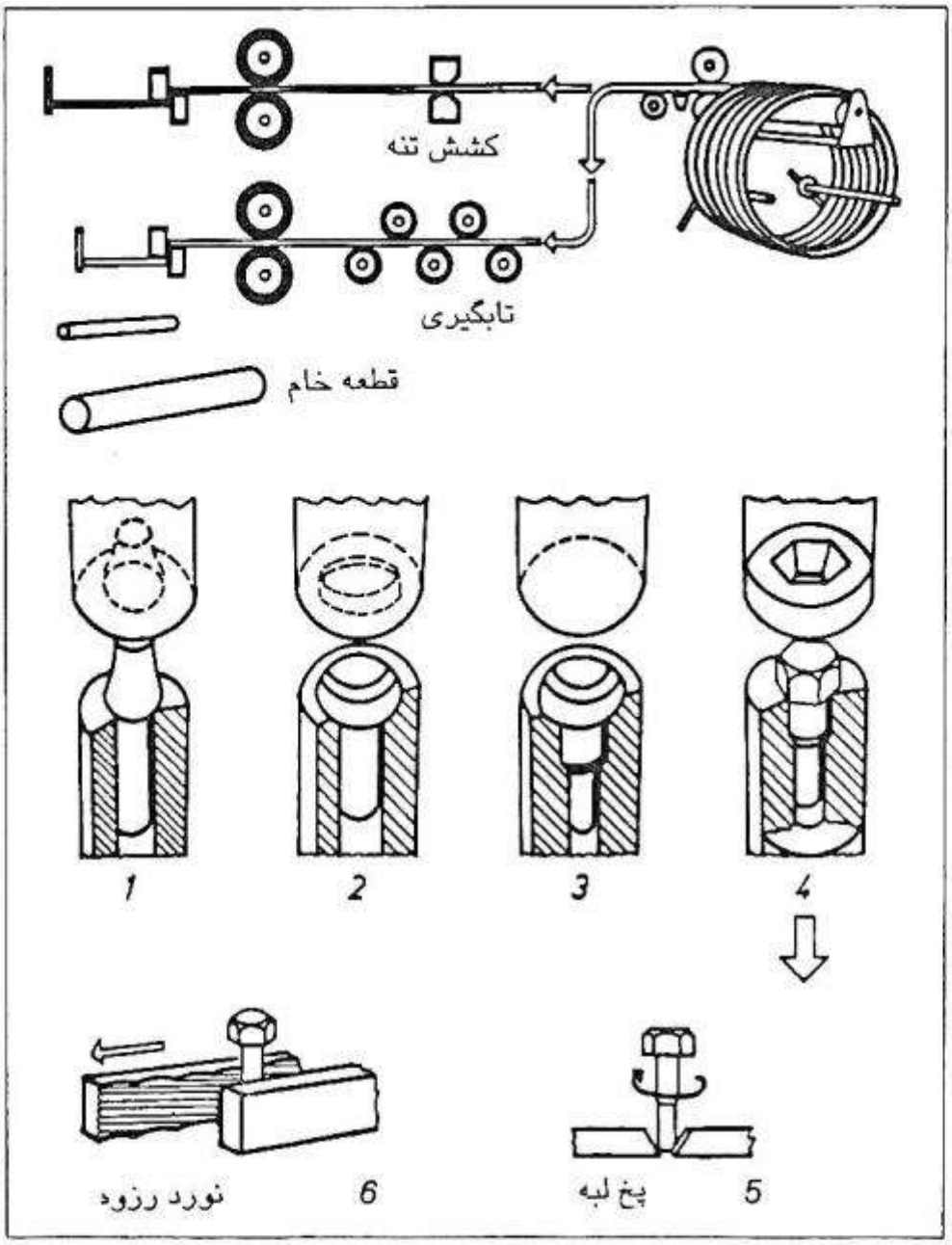
۴-۳ قطعه خام اولیه

قطعه خام اولیه یک قطعه بریده شده از میله یا قسمتی از پروفیل می باشد.

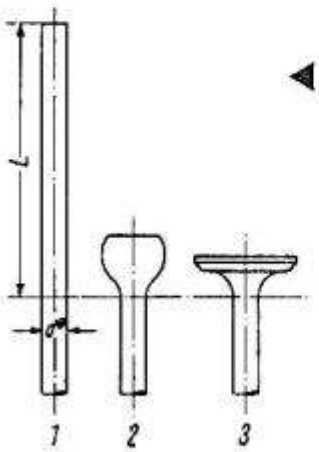
در بسیاری از موارد، به خصوص در تولید پیچها از مفتول (**شکل ۴-۲**) استفاده می شود، زیرا مواد نورد شـده ارزان‌تر از مواد کشیده شده هستند.



شکل ۴-۱ نمونه قطعات سرکوبی شده



شـــکل ۴-۲ مراحـــل کاری تولید یـک پیـچ توسط یک پرس چنـد مرحله ایـی بـا نـورد رزوه. 0 برش قطعـه خـام، 1 ســرکوبی اولیـه، 2 ســرکوبی نهایی، 3 کشش تنـه تا حد لازم، 4 شـش گوش کردن سرپیـچ، 5 پـخ زدن ابتـدای رزوه، 6 نورد رزوه



شکل ۴-۳ ساخت یک سوپـاپ، 1 قطعه خام اولیه، 2 سرکوبی اولیه، 3 سرکوبی نهایی ◀

۴-۳ تغییر شکل مجاز

در اینجا بایستی به دو مطلب دقت شود :

۴-۳-۱ اندازه مقدار تغییر شکل

این مقدار طبق شرایط ماده مورد تغییر شکل (قابلیت تغییر شکل پذیری) معین می گردد.

درصد کرنش سرکوبی ε_h

$$\varepsilon_h = \frac{h_0 - h_1}{h_0}$$

$\varphi_h = \ln\frac{h_0}{h_1}$ $\varphi_h = \left(\ln\frac{h_1}{h_0}\right)\cdot 100[\%]$	درجه سرکوبی φ_h φ_h به $\% = \varphi_h \cdot 100$
$h_0 = h_1 \cdot e^{\varphi h}$ طول قبل از سرکوبی به mm h_0 طول بعد از سرکوبی به mm h_1	طول ابتدایی و همچنین طول بعد از سرکوبی (برای مواردی که تغییر شکل مجاز وجود دارد).
$\varphi_h = \ln(1-\varepsilon_h)$	محاسبه φ_h از ε_h

جدول ۴-۱ تغییر شکل مجاز

جنس	$\varphi_{h\,zul}$
Al 99,8	2,5
Al MgSil	1,5 – 2,0
Ms 63 – 85 CuZn 37 – CuZn 15	1,2 – 1,5
Ck 10 – Ck 22 St 42 – St 50	1,3 – 1,5
Ck 35 – Ck 45 St 60 – St 70	1,2 – 1,4
Cf 53	1,3
16 MnCr 5 34 CrMo 4	0,8 – 0,9
15 CrNi 6 42 CrMo 4	0,7 – 0,8

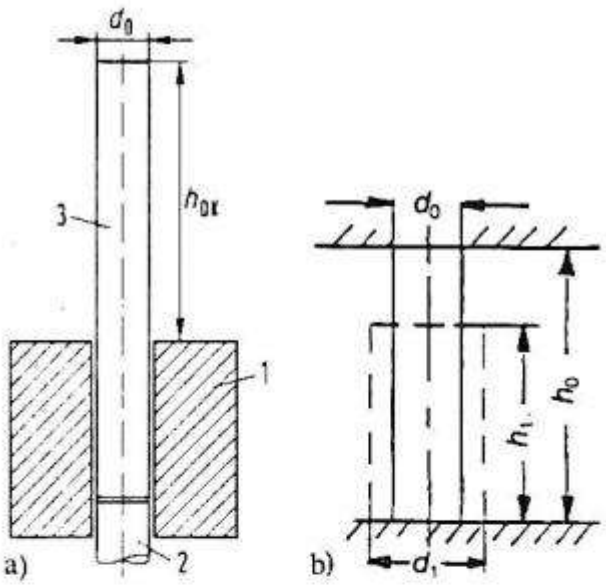
۴-۴-۲ نسبت سرکوبی

نسبت سرکوبی s تعیین کننده حدود ابعاد قطعه خام نسبت به خطر کمانش در ضمن عمل سرکوبی است. نسبت سرکوبی نسبت طول آزاد قطعه خام که در داخل قالب قرار نگرفته به قطر اولیه آن تعریف می شود (شکل ۴-۴).

نسبت سرکوبی s

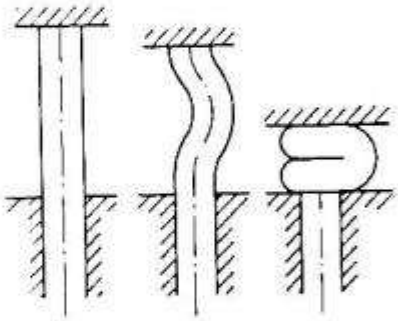
$$s = \frac{h_0}{d_0} = \frac{h_{0_k}}{d_0}$$

طول قطعه خام	به mm	h_0
طول بعد از سرکوبی	به mm	h_1
قطر ابتدایی	به mm	d_0
طول آزاد	به mm	h_{0_k}



شکل ۴-۴ a سرکوبی یک سر مهار شده
1 ماتریس، 2 پران، 3 قطعه خام قبل از سرکوبی b سرکوبی آزاد بین دو صفحه موازی

چنانچه نسبت سرکوبی از حد مجاز بیشتر گردد، آنگاه تنه قطعه خمیده می گردد (چین می خورد) شکل ۴-۵).



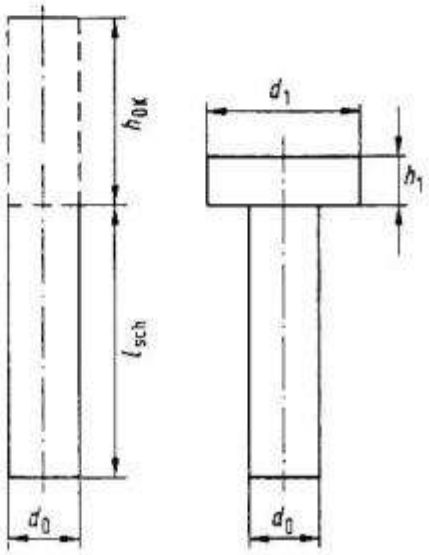
شکل ۴-۵ کمانش قطعه خام بیش از مجاز سرکوبی

نسبت سرکوبی مجاز :

اگر :

$$s \leq 2.6$$

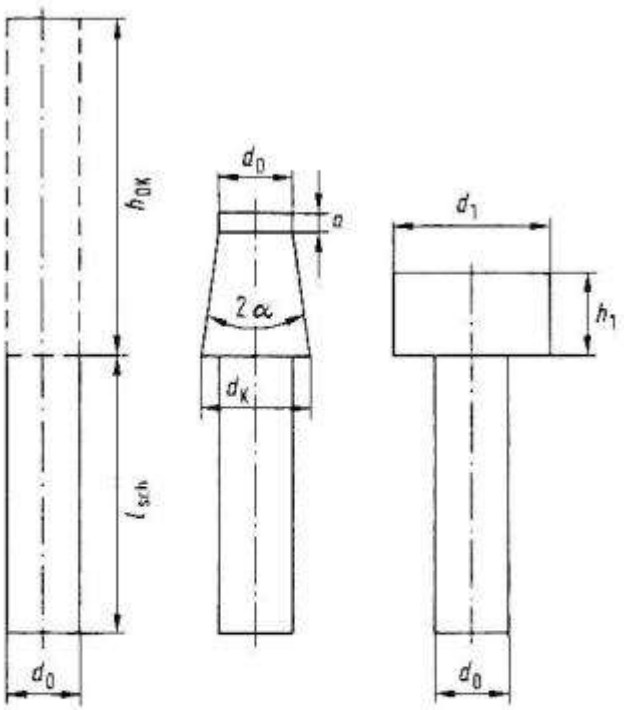
- قطعه کار را می توان در یک مرحله تولید کرد.



شکل ۴-۶ تولید یک میل کلگی در یک مرحله

اگر : $s \leq 4,5$

قطعه ای در دو مرحله کاری بایستی تولید گردد (**شکل ۴-۷**).

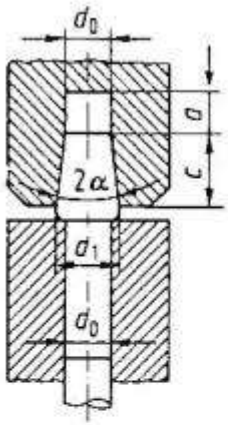


شکل ۴-۷ با دو مرحله سرکوبی یک میل کلگی با سرکوبی اولیه با قالب مخروطی تولید شده است.

برای سرکوبی اولیه از قالب مخروطی (**شکل ۴-۸**) استفاده می شود زیرا آنها شرایط سیلان مناسب‌تری دارند.

جدول ۴-۲ اندازه ثابت سرکوبی اولیه، استخراج از دستوالعملهای VDI-3171

نسبت سرکوبی $s = h_0/d_0$	زاویه مخروط 2α [درجه]	طول قسمت راهنما a [mm]	طول قسمت مخروطی قالب سرکوبی اولیه c [mm]
2,5	15	0,6 d_0	1,37 d_0
3,3	15	1,0 d_0	1,56 d_0
3,9	15	1,4 d_0	1,56 d_0
4,3	20	1,7 d_0	1,56 d_0
4,5	25	1,9 d_0	1,45 d_0



شکل ۴-۸ اندازه های قالب سرکوبی اولیه

در صورتی که حجم قطعه مشخص باشد (برای مثال حجم قسمت سر یک میل کلگی در **شکل ۴-۶**) آنگاه می توان از رابطه زیر مقدار قطر ابتدایی را برای یک نسبت سرکوبی مشخص s محاسبه نمود.

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot s}}$$

قطر قطعه خام	به mm	d_0
حجمی که در ضمن کار تغییر شکل می یابد	به mm^2	V
نسبت سرکوبی	–	s

۴-۵ نیروی سرکوبی

۴-۵-۱ برای قطعات مدور متقارن

نیروی سرکوبی	F	N	به
سطح بعد از سرکوبی	A_1	mm^2	به
مقاومت تغییر در پایان سرکوبی	k_{f_1}	N/mm^2	به
ضریب اصطکاک	μ	–	به
قطر بعد از سرکوبی	d_1	mm	به
ارتفاع بعد از سرکوبی	h_1	mm	به

$$F = A_1 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \frac{d_1}{h_1}\right)$$

۴-۵-۲ برای قطعه با شکل دلخواه

بازده شکل پذیری	η_F	–	به

$$F = \frac{A_1 \cdot k_{f_1}}{\eta_F}$$

۴-۶ کار سرکوبی

کار سرکوبی	W	Nmm	به
حجمی که در تغییر شکل شرکت دارد	V	mm^3	به
استحکام شکل پذیری متوسط	k_{f_m}	N/mm^2	به
تغییر شکل اصلی	φ_h	–	به
بازده شکل پذیری ($\eta_F = 0,6 - 0,9$)	η_F	–	به
ارتفاع قطعه خام	h_0	mm	به
ضریب فرآیند	X	–	به
نیروی معادل متوسط	F_m	N	به
بیشترین مقدار نیرو	F_{max}	N	به

$$W = \frac{V \cdot k_{f_m} \cdot \varphi_h}{\eta_F}$$

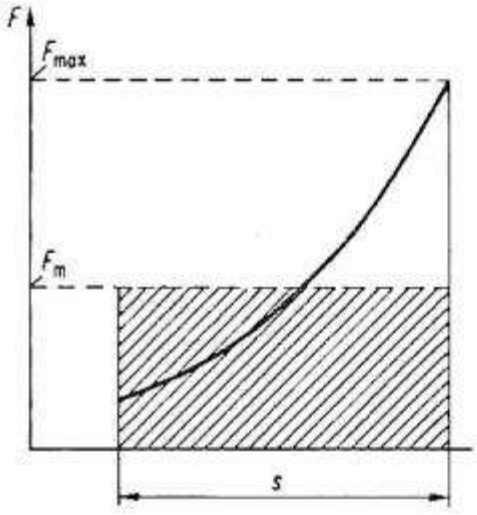
یا از نیرو و اندازه تغییر شکل :

$$W = F \cdot s \cdot x$$

$$W = F(h_0 - h_1) \cdot x$$

$$x = \frac{F_m}{F_{max}} \qquad x \cong 0,6$$

ضریب فرآیند x از طریق نیروی معادل متوسط ایده آل که در تمام مسیر تغییر شکل، ثابت فرض می شود نسبت به بیشترین مقدار نیرو (**شکل ۴-۹**) به دست می آید. نیروی معادل متوسط چنین معین می شود که مساحت مستطیل برابر مساحت زیر منحنی گردد (قسمت هاشور زده **شکل ۴-۹**).



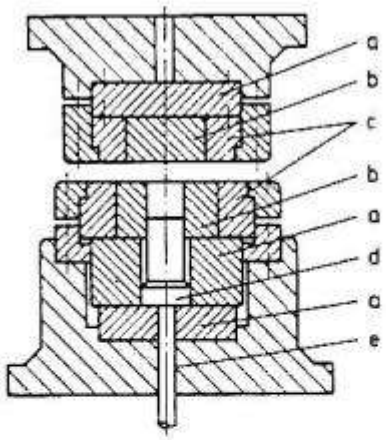
شکل ۴-۹ نمودار نیرو- جابه‌جایی در سرکوبی

۴-۷ قالبهای سرکوبی

قالبهای سرکوبی به طور کلی تحت تاثیر نیروهای فشاری و اصطکاک قرار می گیرند. لذا آنها بایستی در مقابل شکست و سایش مقاوم باشند.

ساختار شماتیک یک قالب سرکوبی طبق دستورالعملهای VDI – 3186 برگه 1 در **شکل ۴-۱۰** نمایش داده شده است.

جنس اجزاء مهم قالب (**شکل ۴-۱۱**) در **جدول ۴-۳** نشان داده شده است.

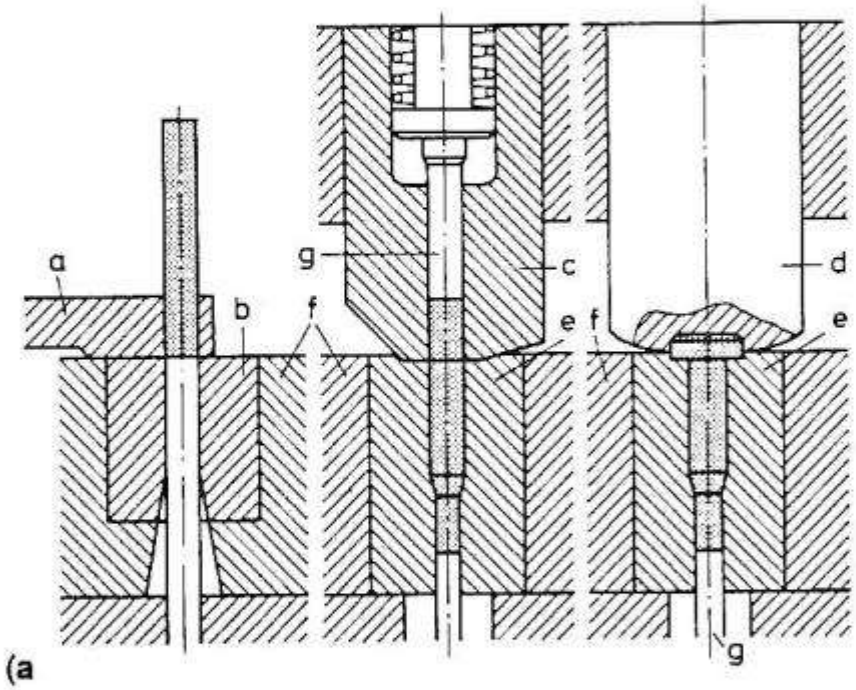


شکل ۴-۱۰ ساختمان شماتیک یک قالب سرکوبی، **a** صفحه پشت بند، **b** سنبه، **c** حلقه انقباضی، **d** سنبه سمت ماتریس، **e** پران (طبق دستورالعمل VDI – 3186 برگه 1)

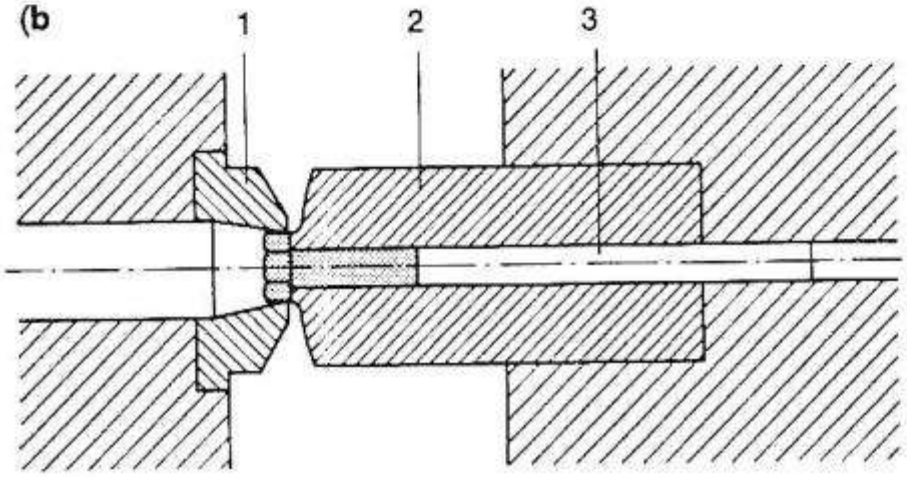
جدول ۴-۳ جنس قالب

نام اجزاء قالب	انواع فولادهای قالب		سختی قالب HRC
	علامت کوتاه	شماره جنس	
a تیغه برش	X 155 CrVMo 12 1	1.2379	57-60
	X 165 CrMo V 12	1.2601	57-60
	S 6-5-2	1.3343	57-60
	60 WCr V 7	1.2550	48-55
b ماتریس برش	X 155 CrVMo 12 1	1.2379	57-60
	X 165 CrMo V 12	1.2601	57-60
	S 6-5-2	1.3343	57-60
	60 WCrV 7	1.2550	54-58
c سنبه سرکوبی اولیه	C 105 W 1	1.1545	57-60
	100 V 1	1.2833	75-60
	145 V 33	1.2838	57-60
c سنبه سرکوبی اولیه تحت پیش تنش	X 165 CrMo V 12	1.2601	60-63
	S 6-5-2	1.3343	60-63
d سنبه سرکوبی نهایی	C 105 W 1	1.1545	58-61
	100 V 1	1.2833	58-61
	145 V 33	1.2838	58-61
d سنبه سرکوبی نهایی تحت پیش تنش	X 165 CrMo V 12	1.2601	60-63
	S 6-5-2	1.3343	60-63
e ماتریس یکپارچه	C 105 W 1	1.1545	58-61
	100 V 1	1.2833	58-61
	145 V 33	1.2838	58-61
e ماتریس تحت پیش تنش	S 6-5-2	1.3343	60-63
	X 155 CrVMo 12 1	1.2379	58-61
	X 165 CrMo V 12	1.2601	58-61

f حلقه انقباضی	56 NiCrMoV 7 X 40 CrMoV 5 1 X 3 NiCoMoTi 18 9 5	1.2714 1.2344 1.2709	41-47 41-47 50-53
g پران (بیرون انداز)	X 40 CrMoV 5 1 60 WCrV 7	1.2344 1.2550	53-56 55-58
قالب برش (شکل ۴b-۱۱)			
1 ماتریس	S 6-5-2	1.3343	58-61
2 سنبه	60 WCrV 7 X 155 CrVMo 12 1 X 165 CrMo V 12	1.2550 1.2379 1.2601	58-61 58-61 58-61
3 پران	X 40 CrMoV 5 1 60 WCrV 7	1.2344 1.2550	53-56 55-58



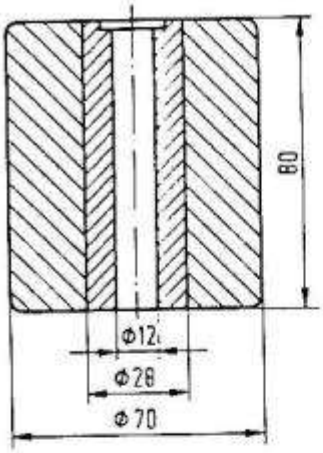
شکل ۴-۱۱ a) مهمترین اجزاء یک قالب سرکوبی.
a تیغه برش
b ماتریس برش
c سنبه سرکوبی اولیه
d سنبه کلگی
e ماتریس/ حلقه کشش
f حلقه انقباضی
g پران (بیرون انداز)



شکل ۴-۱۱ b) قالب برش برای ایجاد شش پر
1 ماتریس
2 سنبه
3 پران

در صورت استفاده از حلقه انقباضی (**شکل ۴-۱۲**) می توان بـه جـای ماتریس فولادی از ماتریسهای مواد سـخت (هـارد متـال یـا الماسـه) استفاده کرد. زیرا آنها در مقابل سایش مقاوم هستند.

انواع مواد سخت مناسب در مقایسه با فولادها بـرای شـکل دهـی در **جدول ۴-۴** ارائه شده اند.



شکل ۴-۱۲ ماتریس با مغزی
مواد سخت برای تولید پیچ M 12

جدول ۴-۴ مواد سخت (Hard-metals HM) برای شکل دادن

قالب	نوع HM	HV 30 $N/mm^2 \cdot 10^3$	فولاد مشابه	
			شماره جنس	مشخصه
سنبه	GT 20	13	1.3343	S 6-5-2
سنبه	GT 30	12	1.3207	S 10-4-3-10
سنبه + ماتریس	GT 40	10,5	1.2601	X 165 CrMoV 12
سنبه + ماتریس	GT 55	8,5	1.2080	X 210 Cr 12
سنبه + ماتریس	BT 30	11,5	1.2550	60 WCrV 7
سنبه + ماتریس	BT 40	11,0	1.2542	45 WCrv 7

۴-۸ دقتهای قابل دسترس

۴-۸-۱ سرکوبی سرد

دقتهای قابل انتظار برای قطعات با تولید انبوه از طریق روشهای غیر بـراده بـرداری بسـتگی بـه نـوع روش، وضعیت ماشین و قالب دارد.

ارائه تلرانس همواره به استفاده بهینه از قالب (عمر) بستگی دارد. از نظر تکنیکـی تلرانسـهای تنـگ ممکـن می باشد.

جدول ۴-۵ دقت اندازه‌ها در سرکوبی سرد

اندازه نامی به mm	5	10	20	30	40	50	100
تلرانس- ارتفاع کلگی به mm	0,18	0,22	0,28	0,33	0,38	0,42	0,5
تلرانس قطر کلگی به mm	0,12	0,15	0,18	0,20	0,22	0,25	0,3

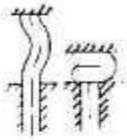
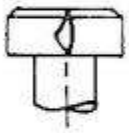
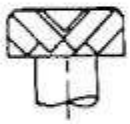
۴-۸-۲ سرکوبی گرم

تلرانسهای و خطاهای مجاز گرم در 7526 و DIN 7524 معین شده است.

تلرانسهای قطر و ارتفاع در سرکوبی گرم حدوداً 5 برابر مقادیر سرکوبی سرد هستند.

۴-۹ عیوب ممکن در سرکوبی

جدول ۴-۶ عیوب سرکوبی و علل آن

روش پیشگیری	علت	عیب
مقدار s با سرکوبی اولیه کم شود	نسبت سرکوبی s بیش از حد است	کمانش تنه 
ماده اولیه از نظر نداشتن عیوب کنترل شود	شیارهای کشش و یا عیوب سطحی در قطعه خام	شکاف طولی در سر 
درجه تغییر شکل کم شود. تغییر شکل در 2 مرحله انجام شود	بیش از قابلیت تغییر شکل بارگذاری شده $\varphi_h > \varphi_{zul.}$	ترکهای برشی در سر  ترکهای داخلی در سر

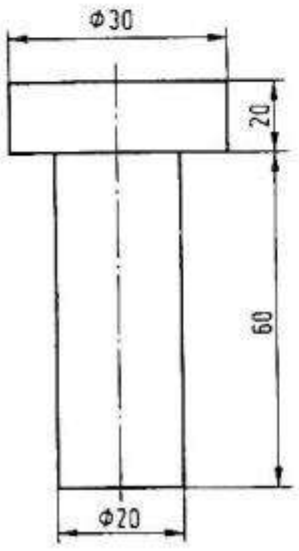
۴-۱۰ مثالهای محاسباتی

مثال ۱

میل کلگی طبق نقشه (شکل ۴-۱۳) از Ck 35 ساخته شود.

داده ها : $\eta_F = 0,8$; $\mu = 0,15$

مطلوب است تعیین : اندازه قطعه خام،
تعداد مراحل کاری،
نیروی سرکوبی و
کار سرکوبی.



شکل ۴-۱۳ میل کلگی

حل :

۱. حجم کله پین ساخته شده

$$V_k = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot h = \frac{(30\,mm)^2 \cdot \pi \cdot 20\,mm}{4}$$

$$= 14\,137\,mm^3$$

به این حجم معمولاً یک مقدار در حدود 2% – 1 به جهت اتلاف اکسیدی و اسیدشویی اضافه مـی شـود. از این مقدار اضافی در اینجا به دلیل ساده سازی صرف نظر می شود.

۲. تعیین قطر ابتدایی

از آنجایی که تنه، قطری برابر 20 mm دارد قطر ابتدایی انتخاب می گردد :

$$d_0 = 20\,mm.$$

آنگاه مقدار سطح مقطع اولیه برابر خواهد بود :

$$A_0 = \frac{d_0^2 \pi}{4} = 314{,}2\,mm^2.$$

۳. ارتفاع ابتدایی برای کلگی (شکل ۴-۶) :

$$h_{0_k} = \frac{V_k}{A_0} = \frac{14137\,mm^3}{314{,}2\,mm^2} = 45\,mm.$$

٤. طول قطعه خام اولیه :

$$L = h_{0_k}\ h_{sch} = 45\,mm + 60\,mm = 105\,mm.$$

آنگاه مقادیر قطعه خام اولیه خواهد بود :

طول $\phi\,20 \times 105$

۵. نسبت سرکوبی :

$$s = \frac{h_{0_k}}{d_0} = \frac{45\,mm}{20\,mm} = 2{,}25.$$

چون s کوچکتر از حد مجاز 2,6 می باشد، لذا قطعه می تواند به جهت خم نشدن و عـدم کمـانش در یـک مرحله ساخته شود.

٦. اندازه تغییر شکل اصلی :

$$\varphi_h = \ln\frac{h_{0_k}}{h_1} = \ln\frac{45\,mm}{20\,mm} = 0{,}81 \rightarrow 81\%.$$

حد مجاز تغییر شکل از **جدول ۱** برابر است با :

$\varphi_{h\,zul.} = 140\%$.

چون مقدار واقعی تغییر شکل اصلی φ_h کوچکتر از مقدار توانایی تغییر شکل مجاز می باشد، لذا مـی تـوان قطعه را از نظر قابلیت شکل پذیری در یک مرحله تولید کرد.

۰ استحکام شکل پذیری

مقدار k_f از منحنی سیلان و یا از **جدول ۱** قسمت III برای فولاد Ck 35 تعیین می گردد :

$k_{f_0} = 340\ N/mm^2$: برای $\varphi_h = 0\%$,

$k_{f_1} = 920\ N/mm^2$: برای $\varphi_h = 81\%$,

$$k_{f_m} = \frac{k_{f_0} + k_{f_1}}{2} = \frac{340 + 920}{2} = \mathbf{630\ N/mm^2}.$$

۰ نیروی سرکوبی

$$F = A_1 \cdot k_{f_1}\left(1 + \frac{1}{3}\mu \cdot \frac{d_1}{h_1}\right)$$

$$= \frac{(30\ mm)^2 \cdot \pi}{4} \cdot 920\frac{N}{mm^2}\left(1 + \frac{1}{3} \cdot 0{,}15 \cdot \frac{30\ mm}{20\ mm}\right),$$

$$F = 699082{,}8\ N = \mathbf{699\ kN},$$

۰ کار سرکوبی

$$W = \frac{V_k \cdot k_{f_m} \cdot \varphi_h}{\eta_F \cdot 10^3\ mm/m} = \frac{14137\ mm^3 \cdot 630\ N/mm^2 \cdot 0{,}81}{0{,}8 \cdot 10^3\ mm/m},$$

$$W = 9017{,}6 = \mathbf{9\ kNm}.$$

مثال ۲

قطعه ای با قطر 30 mm از فولاد 42 CrMo 4 بسازید. مقدار قطر قطعه اولیه طوری انتخاب شود که مقـدار درجه سرکوبی $s = 2{,}6$ گردد.

داده ها : $\eta_F = 0{,}8$; $\mu = 0{,}15$

مطلوب است :

۱- حجم گلوله،

۲- قطر قطعه خام اولیه d_0 برای $s = 2{,}6$،

۳- اندازه قطعه ابتدایی،

۴- نسبت واقعی سرکوبی،

۵- نیروی سرکوبی و

۶- کار سرکوبی

حل :

۱- تعیین حجم گلوله :

$$V = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3 = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (15\,mm)^3 = \mathbf{14137{,}16\ mm^3.}$$

۲- تعیین قطر اولیه از نسبت سرکوبی :

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot s}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 14137{,}16\,mm^3}{\pi \cdot 2{,}6}} = \mathbf{19{,}05\ mm.}$$

چون ماده (فولاد نورد شده) در اندازه هایی با قطـر 19,05 رایـج نیسـت لـذا قطـر $d_0 = 20\ mm$ انتخـاب می گردد. با این انتخاب ضریب اطمینان بیشتری نیز حاصل می گردد زیرا مقدار نسبت سرکوبی کوچکـتر از 2,6 می شود.

۳- طول قطعه خام اولیه

$$h_0 = \frac{V}{A_0} = \frac{14137{,}16\,mm^3}{(20\,mm)^2 \cdot \pi/4} = \mathbf{44{,}99\ mm.}$$

انتخاب می شود :

$$h_0 = 45\,mm$$

٤- نسبت واقعی سرکوبی از ابعاد قطعه خام :

$$s = \frac{h_0}{d_0} = \frac{45\,mm}{20\,mm} = \mathbf{2{,}25.}$$

چون $s_{tat} < s_{zul}$ (نسبت سرکوبی مجاز × نسبت سرکوبی واقعی)

$2{,}25 < 2{,}6$

می باشد، می توان گلوله را مطمئناً بدون خطر کمانش از این قطعه خام تولید کرد.

۵- نیروی سرکوبی

۵-۱

$$\varphi_h = \ln\frac{h_1}{h_0} = \ln\frac{30\,mm}{45\,mm} = 0{,}4 \rightarrow \mathbf{40\%}$$

$\varphi_{h\,zul.} = 80\%$ (از **جدول** ۱)، لذا از نظر توانایی شکل پذیری، ساخت در یک مرحله کاری ممکن است.

۵-۲ از منحنی سیلان مقدار k_f انتخاب می گردد :

$$k_{f_0} = 420\ N/mm^2, \quad k_{f_1} = 960\ N/mm^2$$

$$k_{f_m} = \frac{k_{f_0} + k_{f_1}}{2} = \frac{420 + 960}{2} = 690\ N/mm^2$$

$$F = A_1 \cdot k_{f_1} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \cdot \frac{d_1}{h_1}\right)$$

$$= (30\,mm)^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 960\,N/mm^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot 0{,}15 \cdot \frac{30\,mm}{30\,mm}\right)$$

$$F = 712513{,}2\ N = \mathbf{712\ kN.}$$

۴- کار سرکوبی

$$W = \frac{V \cdot k_{f_m} \cdot \varphi_h}{\eta_F \cdot 10^3\ mm/m} = \frac{14137{,}16\,mm^3 \cdot 690\,n/mm^2 \cdot 0{,}4}{0{,}8 \cdot 10^3\ mm/m}$$

$$W = 4877{,}3\,Nm = \mathbf{4{,}7\ kNm}$$

نرم محاسبه : سرکوبی

۱- جنس : _____

۲-

۳- حجم

۴-

$$V = \qquad = \underline{\qquad mm^3}$$

۵-

$$h_0 = \frac{V}{A_0} = \frac{\qquad}{\qquad} = \underline{\qquad mm}$$

۶-

$$s = \frac{h_0}{d_0} = \frac{\qquad}{\qquad} = \underline{\qquad}$$

۷-

$$\varphi_h = \ln\frac{h_0}{h_1} = \ln\frac{\qquad}{\qquad} = \ln \qquad = \underline{\qquad \%}$$

۸-

$$k_{f_0} = \underline{\qquad},\ k_{f_1} = \underline{\qquad},\ k_{f_m} = \underline{\qquad N/mm^2}$$

۹-

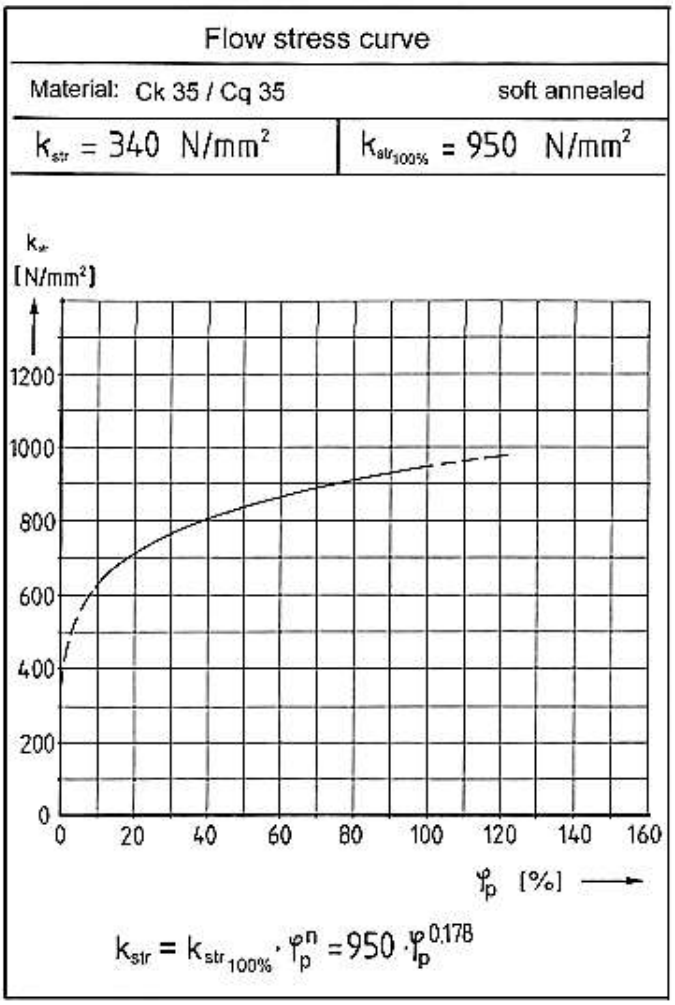
$$F = A_1 \cdot k_{f_1}\left(1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \cdot \frac{d_1}{h_1}\right)$$

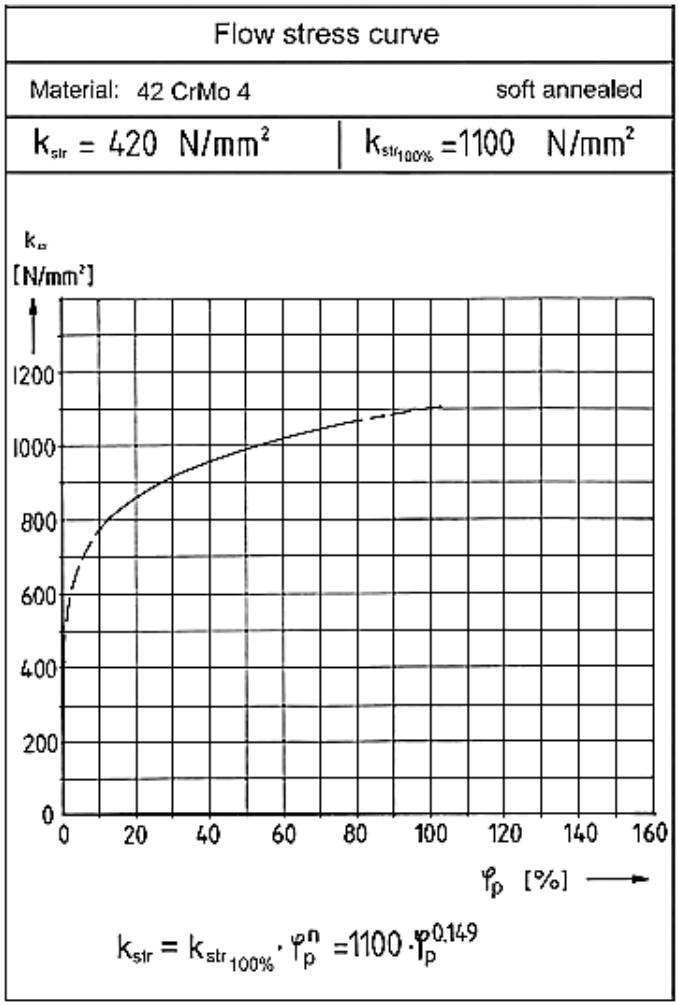
$$F = \qquad \left(1 + \frac{1}{3} \cdot 0{,}15 \cdot \frac{\qquad}{\qquad}\right)$$

$$F = \qquad N = \underline{\qquad kN}$$

۱۰-

$$F = \frac{A_1 \cdot k_{f_1}}{\mu_F} = \frac{\qquad}{0{,}7 \cdot 10^3} = \underline{\qquad kN}$$


Flow stress curve
Material: Ck 35 / Cq 35
soft annealed
k_{str} = 340 N/mm²
$k_{str_{100\%}}$ = 950 N/mm²
k_{str} [N/mm²]
1200
1000
800
600
400
200
0
0 20 40 60 80 100 120 140 160
φ_p [%]
$k_{str} = k_{str_{100\%}} \cdot \varphi_p^n = 950 \cdot \varphi_p^{0.178}$


Flow stress curve
Material: 42 CrMo 4
soft annealed
k_{str} = 420 N/mm²
$k_{str_{100\%}}$ =1100 N/mm²
k_{str} [N/mm²]
1200
1000
800
600
400
200
0
0 20 40 60 80 100 120 140 160
φ_p [%]
$k_{str} = k_{str_{100\%}} \cdot \varphi_p^n = 1100 \cdot \varphi_p^{0.149}$

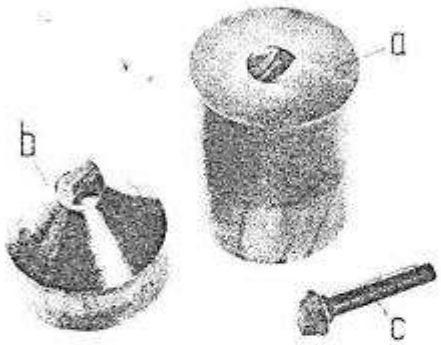
فصل سوم: طراحی قالب های فروبری سرد

۱-۱ تعریف

فروبری سرد عبارت است از یک فرآیند تغییر شکل که در آن یک سنبه سخت با سرعت کم (کمتر از ۱۰ میلی ثانیه) در ماده مورد تغییر شکل نفوذ می کند.

۱-۲ کاربرد

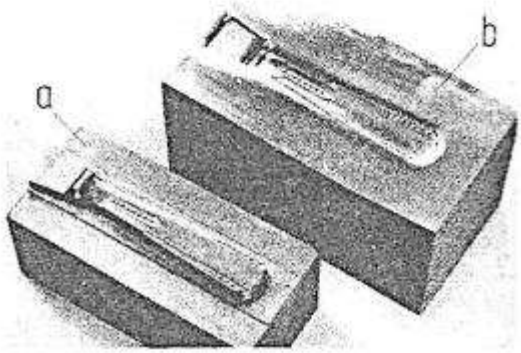
برای ساخت حفره در قالبهای - برجسته کاری، - پلاستیک و نیز، - بسته آهنگری به کار می رود.



شکل ۷-۱ a ماتریس سر پیچ، فرو بری سرد شده. b سنبه فروبری، c پیچ تولید شده با سرکوبی

ساخت پیچ (شکل ۷-۱)

فروبری سنبه در ماتریس سرپیچ

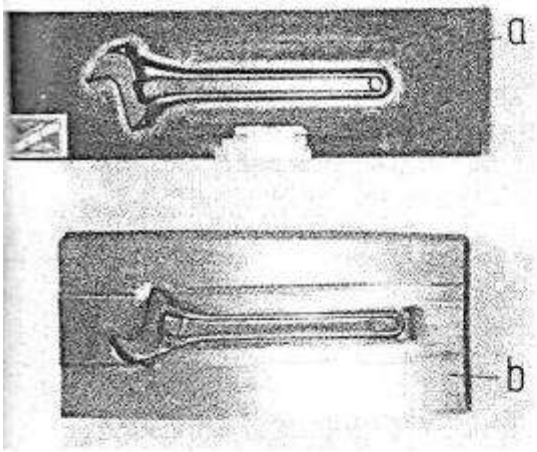


شکل ۷-۲ قالب قاشق. a سنبه فروبری، b ماتریس فروبری شده

ساخت قاشق و چنگال (شکل ۷-۲)

ساخت قالب قاشق و چنگال با روش فروبری سرد

ساخت قالب (شکل ۷-۳) فروبری حفره قالب آهنگری بسته



شکل ۷-۳ حفره فروبری سرد یک قالب آهنگری بسته. a سنبه فروبری، b حفره فروبری شده (ماتریس)

۷-۳ تغییر شکل مجاز

حدود فروبری سرد بستگی به قابلیت شکل پذیری فولاد قالب و بیشترین مقدار مجاز تنش سطحی (لهیدگی) سنبه قالب دارد.

یک روش محاسبه دقیق برای این منظور هنوز وجود *ندارد*.

۷-۴ محاسبه نیرو و کار

۷-۴-۱ نیروی فروبری

$$F = p_{max} \cdot A$$

F	N	به	نیروی فروبری
A	mm^2	به	سطح موثر سنبه
d	mm	به	قطر سنبه
t	mm	به	عمق فروبری
p_{max}	N/mm^2	به	نیروی ویژه فروبری

d قطر جایگزین

$$D = 1{,}13 \cdot \sqrt{A}$$

(از جدول ۷-۱)

برای سنبه هایی که گرد نیستند می توان از سطح موثر سنبه یک قطر جایگزین d را محاسبه کرد.

جدول ۷-۱ نیروی ویژه فروبری p_{max} به $N/mm^2 = f\left(\text{ماده و } \frac{t}{d}\right)$

$\frac{t}{d}$		0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
گروه مواد	I	1700	2000	2300	2600	2800	2900
	II	2400	2750	3200	–	–	–
	III	3100	[4000]	–	–	–	–

۷-۴-۲ کار فروبری

$$W = F \cdot t$$

کار فروبری به Nmm W

۷-۵ جنس قالبهای قابل فروبری

جدول ۷-۲ فولادهای قابل فروبری سرد

توضیحات خاص برای اهداف تولید	شماره ماده	نام کوتاه طبق DIN 17006	گروه مواد
قالب پیچ			
سر سنبه و ماتریس برای کار سرد	1.1540 1.2835	C 100 W 1 95 V 4	I یا II
سر سنبه و ماتریس برای کار گرم	1.2365 1.2343 1.2603 1.2567 1.2581	X 32 CrMoV 3 3 X 38 CrMoV 5 1 45 CrMoW 5 8 X 30 WCrV 5 1 X 30 WCrV 9 3	II III
قالبهای آهنگری بسته			
قالب پتک	1.1520	C 70 W 1	II
قالب برای فلزات سبک	1.2323	45 CrMoV 6 7	II
قالب برای فلزات رنگین و فولادها	1.2365	X 32 CrMoV 3 3	
قالب برای فولادهای آهنگری	1.2713 1.2714	55 NiCrMoV 6 56 NiCrMoV 7	III
قالب دایکاست			
قطعات دایکاست روی	1.2342	X 8 CrMoV 5	I
قطعات دایکاست روی و فلزات سبک،	1.2323	45 CrMoV 6 7	II
قطعات دایکاست فلزات سبک،	1.2365	X 32 CrMoV 3 3	
قطعات دایکاست فلزات سبک،	1.2343	X 38 CrMoV 5 1	
قطعات دایکاست برنجی	1.2365	X 32 CrMoV 3 3	
قالبهای ضرب حکاکی (سکه زنی)			
سنبه ضرب	1.1540 1.2056	C 100 W 1 90 Cr 3	I یا II II
قالب قطعات زینتی، برقی و یراق آلات (ضرب)	1.2323 1.2718 1.2767 1.2601	45 CrMoV 6 7 55 NiCr 10 X 45 NiCrMo 4 X 165 CrMoV 12	II III

۶-۷ سرعت فروبری

سرعت فروبری حدود :

$r = 0{,}01\ mm/s$ تا $4\ mm/s$

است، ضمن آنکه فولادهای با مقاومت بیشتر و شکلهای پیچیده با سرعت کمتری فروبری می شوند.

۷-۷ روغنکاری در فروبری سرد

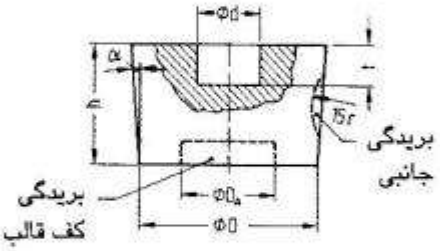
برای پیشگیری از جوش سرد بین سنبه فروبری و قطعه رعایت موارد زیر الزامی است :

- سطح سنبه فروبری بایستی در نقاطی که با قطعه در تماس می باشد پرداخت شده باشد،
- سطح سنبه قالب را باید با محلول مس (Vitriol) سولفات مس‌ترد (به عنوان سطح حامل روغنکاری عمل می کند) و
- روغنکاری با دی سولفید مولبیدن (MoS_2).

۸-۷ طراحی قطعه مورد فروبری

- قطعات مورد فروبری بایستی دارای نسبت مشخص قطر خارجی و ارتفاع به قطر و عمق فروبری داشته باشند.

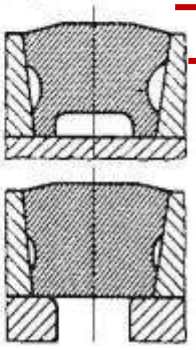
$D = 2.5 \cdot d$
$D_A = 1.5 \cdot d$
$h \geq 2.5 \cdot t$
$\alpha = 1.5$ تا $2.5°$



شکل ۷-۴ ابعاد قطعاتی که بایستی فروبری شوند.
d قطر فروبری، t عمق فروبری، D قطر خارجی، D_A قطر حفره کف، r شعاع بریدگیهای جانبی، α زاویه شیب ≅ 1°

- قطعه مورد فروبری باید در پیرامون و در کف حفره هایی داشته باشد. بدین طریق جریان ماده ساده تر و قابلیت فروبری بیشتر می گردد.

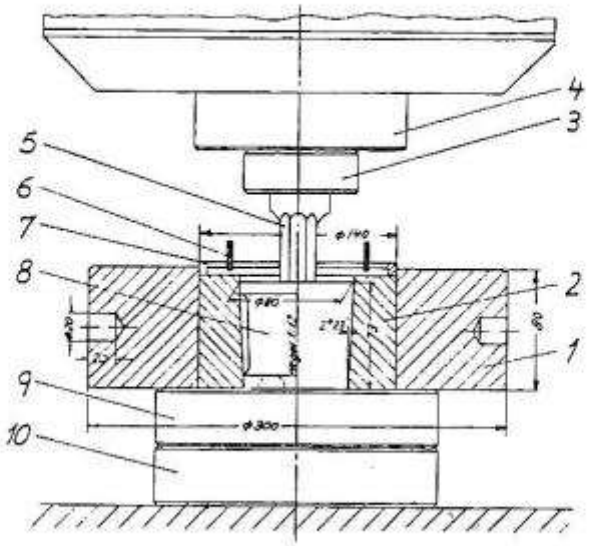
عملیاتی که باعث تاخیر در کار سخت می شود



شکل ۷-۵ بریدگیهای پیرامون قطعه فروبری

۷-۹ قالب فروبری

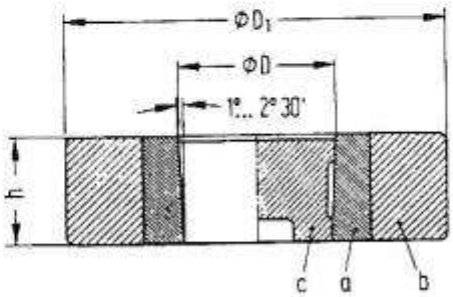
قالب فروبری از سنبه قالب، حلقه تقویت، حلقه نگهدارنده، زیر بند و قید بستهای سخت شده تشکیل شده است. قید و بستها وظیفه دارند که سنبه و حلقه نگهدارنده را در جای خود نگهدارند.



شکل ۷-۶ قالب فروبری، 1 حلقه نگهدارنده، 2 حلقه تقویت، 3 قطعه زیر سنبه، 4 پشت بند سنبه، 5 سنبه فروبری، 6 پین، 7 حلقه مرکز کننده، 8 ماتریس فروبری، 9 ، 10 پشت بندهای ماتریس

حلقه های تقویت کننده (حلقه های انقباضی) (شکل ۷-۷)

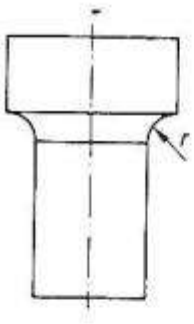
در آنجایی که در ضمن فروبری نیروهای شعاعی بزرگی در قالب فروبری ایجاد می گردد و باعث تنشهای برش مماسی می گردد، بایستی قالب با حلقه های تقویت و یا اصطلاحاً حلقه انقباضی تقویت گردد. ایجاد تنش اولیه در حلقه انقباضی باعث مقابله با تنش برشی مماسی ایجاد شده می گردد. ارتفاع حلقه تقویت h با ارتفاع قطعه برابر است. حلقه تقویت داخلی a سخت کاری شده دارای سختی 58 ± 2HRC می باشد. حلقه تقویت خارجی نیزی سخت کاری شده است. مقاومت آن بایستی در حد 1200 N/mm^2 باشد. قطر خارجی D بایستی برابر 2,5 D باشد.



شکل ۷-۷ ترتیب حلقه تقویت اول، حلقه تقویت دوم و قطعه فروبری. a حلقه تقویت اول، b حلقه تقویت دوم، c ماتریس فروبری

قسمت اصلی قالب فروبری، سنبه آن است (شکل ۷-۸)، سنبه :

- نباید لبه های تیز داشته باشد.
- تنه سنبه بایستی 20 mm بزرگتر از سر سنبه باشد.
- قوس گذر از تنه تا لبه سر سنبه بایستی بدقت سنگ زنی و پرداخت شده باشد.



شکل ۷-۸ سنبه فروبری

جدول ۷-۳ جنس سنبه و تنش مجاز سطحی (لهیدگی)

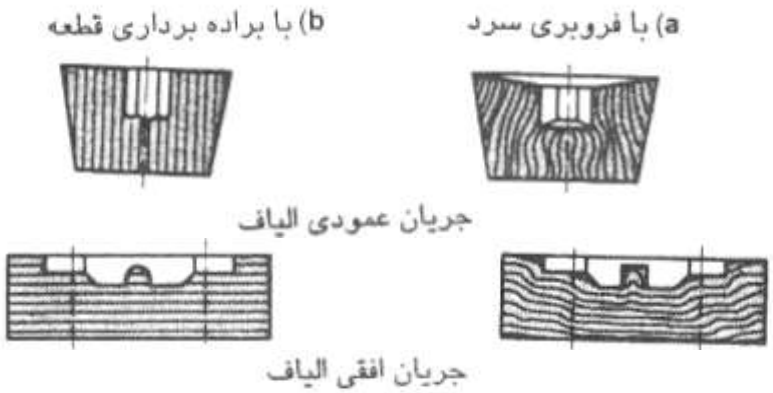
سختی HRC	p_{zul} به N/mm^2	شماره ماده
63	3200	1.3343
62	3000	1.2601
61	2600	1.2762

۷-۱ مزایای فروبری سرد

- جریان الیاف سالم و پیوسته (شکل ۷-۹)،
- سطوح براق و پرسی شکل فروبری شده،
- دقت بالای قسمتهای فروبری سرد شده،

تلرانس : 0,01 – 0,02 mm

- عمر زیاد قالب به جهت جریان بهتر الیاف و کیفیت سطحی بالاتر و
- مدت زمان تولید به مراتب کوتاه تر نسبت به روشهای براده برداری.



شکل ۷-۹ جریان الیاف. a) در قالب فروبری سرد ، b) در قالب ماشینکاری شده

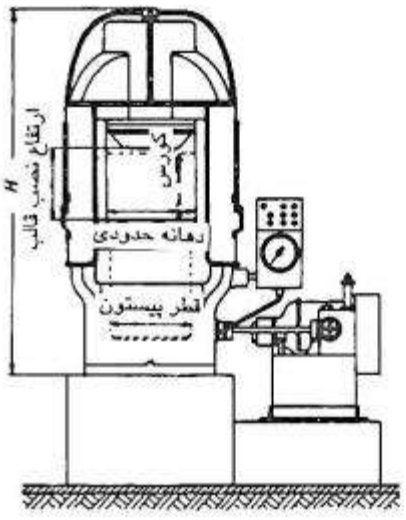
۷-۱۱ معایب فروبری سرد

جدول ۷-۴ عیوب فروبری و علت آنها

پیشگیری	علت	عیب
قطعه را قبل از فروبری تقویت کرده و در صورت امکان با پیش فرم اولیه مناسب فروبری شود.	بدون حلقه تقویت فروبری شده است.	قطعه در جهت شعاعی ترک پیدا می کند.
در قطعه بریدگی ایجاد شود.	در کف و پیرامون بدنه بریدگی ایجاد نشده (شکل ۷-۴) و ماده نمی تواند جریان پیدا کند.	کار سختی سرد بالا در فروبری
قطعه در بین مراحل فروبری آنیل نرم سازی شود. شکل تنه سنبه را از نظر جریان مناسب مواد درست طراحی کنید.	تنش سطحی (تنش لهیدگی) از حد مجاز بیشتر شده است. طراحی شکل تنه سنبه مناسب نیست.	سنبه فروبری می شکند.

۷-۱۲ ماشینهای فروبری سرد

برای فروبری سرد از پرس مخصوص هیدرولیکی استفاده می شود. این ماشینها باید مشخصه ساختمان محکم، پایدار و نیز قابلیت کنترل دقیق سرعت فروبری را داشته باشند.



شکل ۷-۱۰ پرس فروبری

جدول ۷-۵ اندازه پرسهای فروبری

F به kN	H به mm	قطر ستبه به mm	دهانه حدودی به mm	کورس به mm
1 600	1 700	210	220	160
3 150	2000	285	320	250
6 300	2 245	400	415	275
12 500	2 300	570	585	355
25 000	2 700	800	830	380
|	|	|	|	|
200 000	5 600	–	1 640	400

۷-۱۳ مثالهای محاسباتی

مثال ۱

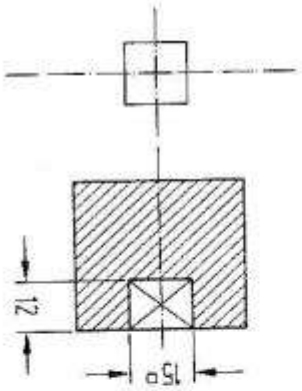
در یک ماتریس (شکل ۷-۱۱) بایستی فرم چهارگوش با ابعاد 15 mm و عمق 12 mm فروبری شود.

جنس :

از گروه مواد I X 8 CrMoV 5

مطلوبست :

نیروی فروبری



شکل ۷-۱۱ ماتریس

حل :

قطر جایگزین d :

$$d = 1{,}13\sqrt{A} = 1{,}13 \cdot \sqrt{(15\ \text{mm})^2} = 16{,}95\ \text{mm}$$

$$t/d = 12\ \text{mm}/16{,}95\ \text{mm} = 0{,}707$$

p_{max} از **جدول ۷-۱** برای $t/d = 0{,}71$ و گروه مواد I :

$$p_{max} = 2710\ \text{N/mm}^2$$

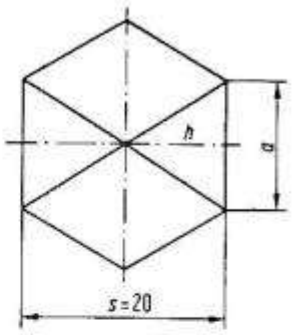
$$F_{max} = p_{max} \cdot A = 2710\ \text{N/mm}^2 \cdot (15\ \text{mm})^2 = 609750\ \text{N} = \mathbf{609{,}7\ kN}$$

مثال ۲

در یک ماتریس پیچ از 45 CrMoW 5 8 یک حفره شش گوش برای سرپیچ با عرض آچار خود $s = 20$ mm و عمق 4,2 mm بایستی فروبری شود.

مطلوبست : نیرو و کار.

حل :



شکل ۷-۱۲ اندازه های شش گوش

$$A = \frac{a \cdot h}{2} \cdot 6$$

$$h = \frac{s}{2} = 10\,mm \quad : \text{داده شده}$$

$$a^2 - \frac{a^2}{4} = h^2$$

$$h^2 = \frac{3}{4}a^2$$

$$a = \sqrt{\frac{4}{3}} \cdot h = \sqrt{\frac{4}{3}} \cdot 10 = 11{,}54\,mm$$

$$A = \frac{a \cdot h}{2} \cdot 6 = \frac{11{,}54 \cdot 10}{2} \cdot 6 = \mathbf{346{,}2\,mm^2}$$

$$d_{ers.} = 1{,}13 \cdot \sqrt{A} = 1{,}13 \cdot \sqrt{346{,}2} = \mathbf{21{,}0\,mm}$$

$$F = p_{max} \cdot A = \frac{4000\,N/mm^2 \cdot 346{,}2\,mm^2}{10^3} = \mathbf{1384{,}8\,kN}$$

$$\frac{t}{d} = \frac{4{,}2}{21} = \mathbf{0{,}2}$$

$$W = F \cdot t = 1384{,}8\,kN \cdot 0{,}0042\,m = \mathbf{5{,}8\,kNm}$$

۷-۱۴ پرسشهای فصل ۷

۱- منظور از واژه فروبری سرد چیست؟

۲- برای چه منظوری روش فروبری سرد استفاده می شود؟

۳- نظرتان در مورد قالبهای فروبری سرد چیست؟

۴- چه علتی منجر به ایجاد ترک در ضمن فروبری می‌شود؟

فصل چهارم: طراحی قالب های بسته فورج

۱-۱۳ تعریف

آهنگری قالب بسته یک فرآیند تغییر شکل همه جانبه (یکپارچه) گرم است. طبق DIN 8583 این فرآیند جزو فرآیندهای شکل دادن فشاری با قالبهای فرم دار متحرک مقابل هم است که مواد در راستای معینی نفوذ کرده و شکل موجود در قالب را به خود می گیرد (به **جدول ۱۳-۱**، صفحه ۱۱۴ ر.ک.).

۲-۱۳ قطعه خام

۱-۲-۱۳ نوع جنس

جدول ۱۳-۲ مواد اولیه در فرآیند آهنگری قالب بسته

فرآیند	نوع مواد
آهنگری مفتولها	مفتول تا قطر حدود 40
آهنگری شمش ها	تکه های مفتول از شمش با مقطع گرد یا مستطیلی
آهنگری ورق های بریده شده	ورقهای نورد شده

۲-۲-۱۳ جرم قطعه خام

$$m_A = m_E + m_G + m_Z$$

جرم ماده خام	به kg	m_A
جرم قطعه نهایی آهنگری شده	به kg	m_E
جرم مازاد	به kg	m_G
جرم پوسته های اکسیدی	به kg	m_Z

جرم قطعه خام اولیه بستگی به شکل و وزن قطعه کار دارد.

از آنجا که *نمی توان* برای هر قطعه مقدار دقیق جرم مازاد و تلف اکسیدی و سوخت را تعیین کرد مقدار حدودی در نظر گرفته می شود. در این مقادیر حدودی، ضریب نسبت جرمی W داده می شود که بیان می‌کند جرم قطعه خام m_A چند برابر بزرگتر از جرم قطعه نهایی است. چون طراحی مازاد بستگی زیادی به شکل قطعه آهنگری دارد این ضریب W نه فقط جرم قطعه آهنگری نهایی بلکه شکل قطعه آهنگری را نیز در نظر می گیرد. شکلهای معینی که مشکلات یکسانی از نظر شکل دادن دارند در گروههای یکسانی آورده می شوند. **جدول ۱۳-۳** صفحه بعد بخش کوچکی از این گروه‌های شکلی را نشان می دهند.

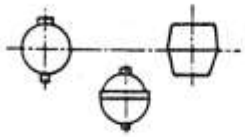
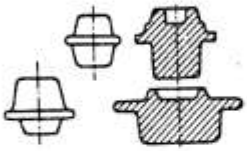
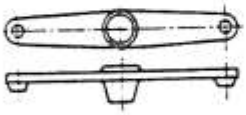
۳-۱۳ تقسیم بندی و کاربرد فرآیندها

محدوده کاربرد	معایب	مزایا	توضیح	فرآیند	نقشه شماتیک
برای قطعات بلند با جرم کم (2-3 kg)	وزن زیاد قطعه خام، زیرا تعیین دقیق آن ممکن نیست.	کارکردن راحت و بدون نیاز به نیروی زیاد انبر. صرفه جویی در وقت به واسطه قرار دادن ساده در قالب	مفتول آهنگری تقریباً به طول 2 m، گرم شده و در قالب بسته کوبیده می شود. بعد از آهنگری این قطعه با آخرین پتک از مفتول جدا می شود.	آهنگری مفتولها شمش ها	a b c آهنگری مفتول a) آهنگری، b) جدا کردن، c) دوره بری کردن
برای قطعات قرصی شکل	تا حدودی وزن قطعه خام زیاد است.	راستای الیاف به صورت ایده آل به شکل خطوط خارجی قطعه است.	قطعه خام اولیه اره شده یا قیچی می شود.	آهنگری قطعه کار	r فلانج
			وقتی تغییر فرم در راستای الیاف انجام می گیرد.	آهنگری طولی :	
قطعات با مشخصه محور طولی، مثلاً میل لنگها	تا حدودی وزن قطعه خام زیاد است.	راستای الیاف به صورت ایده آل به شکل خطوط خارجی قطعه است.	وقتی تغییر شکل عمود بر الیاف است.	آهنگری ورق های بریده شده	a b c ساخت میل لنگ a) قطعه خام b) شکل مرحله میانی c) میل لنگ نهایی
برای اجزایی که تحت تنشهای بالایی قرار نمی گیرند مانند چاقو، قیچی، انبر، آچار.	راستای الیاف را نمی توان به طور ایده آل با شکل قطعه کار مطابقت نمود.	مصرف کم جنس- حجم دقیق قطعه خام- بدین جهت تشکیل پلیسه کم است- مدت زمان آهنگری کوتاه است زیرا توزیع جرم پایین است.	شکل اولیه تقریباً به صورت بدون مازاد برش می خورد. بعد از آن با سرکوبی و خمکاری شکل میانی ایجاد می شود. شکل نهایی با آهنگری قالب به دست می آید.	آهنگری قطعه خام	ایجاد بازوهای انبر 1 برش قطعه خام 2 سرکوبی 3 آهنگری نهایی

از این جدول و وزن نهایی قطعه آهنگری شده جدول عددی برای پارامترW به دست می‌آید. به کمک جدول ۱۳-۴ می توان جرم قطعه خام m_A را بآسانی تعیین کرد.

$$m_A = W \cdot m_E$$

جدول ۱۳-۳ تقسیم بندی شکلها (استخراج از Billigmann/Feldmann، سرکوبی و پرسکاری)

توضیح	گروه شکل	مثالهای کاربردی
قطعات گوی شکل و مکعبی شکل، توپی پر با فلانچ کوچک، استوانه ها و قطعات بدون اجزاء فرعی.	1.1	
قطعات گوی شکل و مکعبی شکل، استوانه با اجزاء فرعی جانبی	1.2	
توپی با فلانچ کوچک، گاهی شکل دادن با نفوذ مواد در قالب بالایی و گاهی با نفوذ مواد در قالب پایینی	2.1	
قطعات آهنگری متقارن دایروی با توپی سوراخدار و تاج خارجی. توپی سوراخدار و تاج خارجی با منطقه نازکی به همدیگر وصل هستند.	2.2	
اهرمهای دوبازویی با مقطع پر و افزایش ضخامت در وسط و در دو انتها، این اجزا باید پیش آهنگری شود، مثلاً پدالها و بازوی کلاجها	3.1	
قطعات آهنگری خیلی دراز با مقطع بزرگ و تکراری، که مواد باید به طور کامل به این نقاط نفوذ کنند، میل لنگهای با وزنه متعادل متقابل و با تعداد بیش از شش عدد، مازاد به واسطه دوره بری میانی متعدد خیلی بالاست.	3.2	

جدول ۱۳-۴ ضریب نسبت جرمی W به عنوان (m_E و گروه شکلی) f

kg به m_E		1,0	2,5	4,0	6,3	20	100
W در گروه شکلی	1	1,1	1,08	1,07	1,06	1,05	1,03
	2	1,25	1,19	1,17	1,15	1,08	1,06
	3	1,5	1,46	1,41	1,35	1,20	–

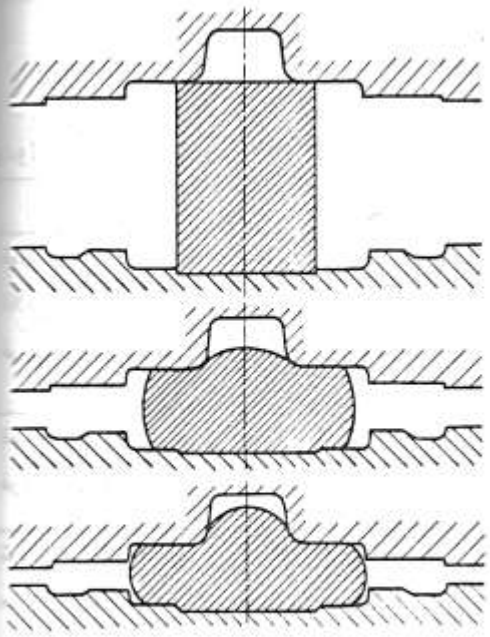
۱۳-۴ فرآیند شکل دادن در قالب آهنگری بسته

این فرآیند به سه مرحله تقسیم شده است :

۱. سرکوبی،

۲. پهن شدن و

۳. نفوذ کردن.



شکل ۱۳-۱ فرآیند شکل دادن در آهنگری قالب بسته

سرکوبی

در سرکوبی ارتفاع قطعه خام بدون لغزش قابل توجهی در دیواره های قالب، کاهش می یابد.

پهن شدن

پهن شدن قبل از هر حالتی، غالباً در وضعیتی که جریان مواد عمود بر حرکت قالب می باشد روی می دهد. مسیر لغزش که مواد با دیواره های قالب در تماس است نسبتاً طولانی است. بدین جهت اصطکاک زیادی ایجاد شده و نیروی شکل دهی بالایی لازم است.

نفوذ کردن

نفوذ مواد در قالب آخرین مرحله شکل دادن در قالب آهنگری بسته است. ضمناً جریان مواد درست در خلاف جا به جایی کاری است. ارتفاع قطعه کار به طور موضعی بیشتر می شود.

برای اینکه عمل نفوذ در قالب ایجاد شود باید مقاومت جریان در فضای مازاد (یا فضای قی!) بزرگتر از نیروی نفوذ در قالب باشد. تازه موقعی که قالب کاملاً پر شد مواد از فضای مازاد جریان پیدا می کند.

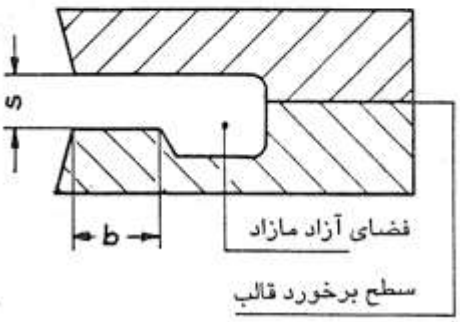
مقاومت جریان در فضای مازاد به نسبت پهنای مازاد به ضخامت مازاد (b/s) بستگی دارد.

۱۳-۴-۱ محاسبه جریان مواد در فضای مازاد

طبق زیبل در سرکوبی بین سطوح موازی می توان نوشت :

$$p_{fl} = 2\mu \cdot k_f \cdot \frac{b}{s}$$

مقاومت سیلان مواد	p_{fl}	به N/mm^2
پهنای مازاد	b	به mm
ضخامت مازاد	s	به mm
ضریب اصطکاک	μ	-
استحکام شکل پذیری	k_f	به N/mm^2



شکل ۱۳-۲ طرح مسیر مازاد

با تغییر نسبت مازاد b/s می توان فشار داخلی را آنقدر تغییر داد که با نیاز قطعه کار مطابقت داشته باشد. قطعاتی که در آن مواد خیلی در قالب نفوذ می کند به فشار داخلی بالایی و بدین ترتیب نسبت مازاد بالایی نیاز دارد (مثلاً 10 تا 5 = b/s).

۱۳-۴-۲ محاسبه فضای مازاد

ضخامت مازاد به طور تقریبی محاسبه می شود :

$$s = 0{,}015 \cdot \sqrt{A_s}$$

ضخامت مازاد	به mm	s
آهنگری شده بدون پلیسه سطح تصویر شده قطعه	به mm^2	A_s

جدول ۱۳-۵ نسبت مازاد b/s (A_s و نوع شکل دادن)

A_s به mm^2	b/s برای		
	سرکوبی	پهن شدن	نفوذ کردن
تا 2000	8	10	13
2 001 – 5 000	7	8	10
5 001 – 10 000	5,5	6	7
10 001 – 25 000	4	4,5	5,5
26 000 – 70 000	3	3,5	4,5
71 000 – 150 000	2	2,5	3,5

۱۳-۵ محاسبه نیرو و کار

محاسبه دقیق نیرو و کار در آهنگری قالب بسته ممکن نیست زیرا کمیتهای موثر زیادی مانند دمای تغییر شکل، فرآیندهای بین کریستالی در مواد، سرعت شکل دادن، شکل قطعه کار، جنس قطعه کار و نوع پرس به طور همزمان بر فرآیند شکل دادن تاثیر دارند.

نیرو و کار به طور تقریبی به صورت زیر محاسبه می شود :

فرآیند محاسبه

۱- سرعت شکل دادن

$$\dot{\varphi} = \frac{v}{h_0}$$

سرعت شکل دادن	به s^{-1}	$\dot{\varphi}$
سرعت برخورد سینه یا کوبه پرس	به m/s	v
ارتفاع اولیه قطعه خام	به m	h_0

مقادیر v برای پرسهای معمولی در **جدول ۱۳-۶** آمده است.

جدول ۱۳-۶ سرعت شکل دادن : (v و ارتفاع اولیه قطعه خام) $\dot{\varphi} = f$

پرس		سرعت سینه یا کوبه پرس به m/s	$\dot{\varphi} = \frac{v}{h_0}$ (s^{-1})												
			برای $h_0 =$ (mm)												
		$h_0 \rightarrow$	5	10	20	30	40	50	100	150	200	250	300	400	500
چکش	سقوطی	5,6	1120	560	280	187	140	112	56	37,3	28	22,4	18,6	14	11,2
	فشار بالا	6	1200	600	300	200	150	120	60	40	30	24	20	15	12
	دو طرفه	12	2400	1200	600	400	300	240	120	80	60	48	40	30	24
پرس پیچی		1,0	200	100	50	33,3	25	20	10	6,7	5,0	4,0	3,3	2,5	2,0
پرس هیدرولیکی		0,25	50	25	12,5	8,3	6,2	5	2,5	1,7	1,25	1,0	0,83	0,6	0,5
پرس لنگ در $\alpha = 30°$		0,6	120	60	30	20	15	12	6,0	4,0	3,0	2,4	2,0	1,5	1,2

۲- استحکام شکل پذیری

$$k_f = k_{f_1} \cdot \dot{\varphi}^m$$

نمای جنس	–	m
استحکام شکل پذیری در سرعت شکل دادن $\dot{\varphi}$ و دمای تغییر شکل T	به N/mm^2	k_f
استحکام شکل پذیری برای $\dot{\varphi} = 1\ (s^{-1})$ در دمای شکل دادن T	به N/mm^2	k_{f_1}
سرعت شکل دادن (برای $\dot{\varphi}$ از $1\ s^{-1}$ تا $300\ s^{-1}$ می توان k_f را از جدول ۱۳-۷ نیز به دست آورد)	به s^{-1}	$\dot{\varphi}$

۳- مقاومت شکل پذیری در انتهای شکل دادن

$$k_{we} = y \cdot k_f$$

مقاومت شکل پذیری در انتهای شکل دادن	به N/mm^2	k_{we}
y را از جدول ۱۳-۸ به دست آورید!	–	y

۴- حداکثر نیروی پرسکاری

$$F = A_d \cdot k_{we}$$

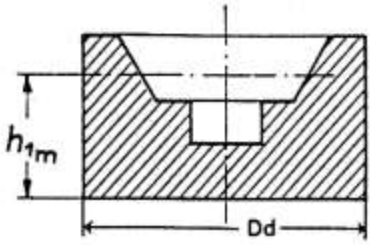
حداکثر نیروی پرسکاری	به N	F
سطح تصویر شده قطعه آهنگری همراه مازاد	به mm^2	A_1

۵- درجه تغییر شکل اصلی میانگین

چون ارتفاع h_1 قطعه آهنگری را نمی توان دقیقاً تعریف کرد ارتفاع نهایی میانگین h_{1_m} را می توان از حجم و سطح تصویر شده قطعه آهنگری (شکل۱۳-۳) تعیین کرد.

$$\varphi_h = \ln\frac{h_1}{h_0}, \qquad h_{1_m} = \frac{V}{A_d}$$

$$\varphi_{h_m} = \ln\frac{V}{A_d \cdot h_0}$$



ارتفاع بعد از تغییر شکل	به mm	h_1
ارتفاع قطعه خام	به mm	h_0
حجم قطعه آهنگری شده	به mm^3	V
درجه تغییر شکل اصلی میانگین	–	φ_{h_m}

جنس	T (°C)	برای : ثابت = T — k_f به N/mm² — $k_1 = f(\dot{\varphi})$						
		$\dot{\varphi} = 1$ (s^{-1})	$\dot{\varphi} = 2$ (s^{-1})	$\dot{\varphi} = 4$ (s^{-1})	$\dot{\varphi} = 6$ (s^{-1})	$\dot{\varphi} = 10$ (s^{-1})	$\dot{\varphi} = 20$ (s^{-1})	$\dot{\varphi} = 30$ (s^{-1})
C 15	1200	84	93	104	110	120	133	141
C 35	1200	72	80	88	93	100	111	118
C 45	1200	70	78	88	94	102	114	122
C 60	1200	68	76	86	92	100	112	120
X 10 Cr 13	1250	88	94	100	104	109	116	120
X 5 CrNi 18 9	1250	116	124	132	137	144	154	160
X 10 CrNiTi 18 9	1250	74	84	94	101	111	125	135
E-Cu	800	56	61	67	70	75	82	86
CuZn 28	800	51	59	68	75	83	96	105
CuZn 37	750	44	51	58	63	70	80	87
CuZn 40 Pb 2	650	35	41	47	51	58	67	73
CuZn 20 Al	800	70	79	90	97	106	120	129
CuZn 28 Sn	800	68	76	85	91	99	110	118
CuAl 5	800	102	114	128	137	148	166	178
Al 99,5	450	24	27	30	32	35	39	41
AlMn	480	36	40	44	46	49	54	57
AlCuMg 1	450	72	78	85	90	95	104	109
AlCuMg 2	450	77	84	92	97	104	114	120
AlMgSi 1	450	48	52	56	58	62	66	69
AlMgMn	480	70	80	92	99	109	125	135
AlMg 3	450	80	85	91	94	99	105	109
AlMg 5	450	102	110	119	124	131	142	148
AlZnMgCu 1,5	450	81	89	98	103	110	121	128

جدول۱۳-۷ استحکام شکل پذیری در ارتباط با سرعت شکل دادن در دمای شکل دادن ثابت = T

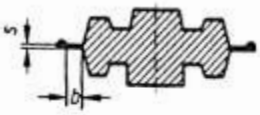
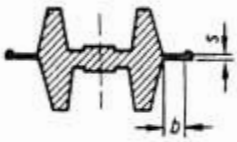
	$\dot{\varphi}$ = 40 (s^{-1})	$\dot{\varphi}$ = 50 (s^{-1})	$\dot{\varphi}$ = 70 (s^{-1})	$\dot{\varphi}$ =100 (s^{-1})	$\dot{\varphi}$ = 150 (s^{-1})	$\dot{\varphi}$ = 200 (s^{-1})	$\dot{\varphi}$ = 250 (s^{-1})	$\dot{\varphi}$ = 300 (s^{-1})
	145	153	161	170	181	189	196	201
	122	126	133	140	148	154	159	164
	128	132	140	148	158	166	172	177
	126	131	138	147	157	164	171	176
	123	126	130	134	139	143	145	148
	164	168	173	179	186	191	195	198
	142	147	156	166	179	188	196	202
	89	92	96	101	106	110	113	116
	111	117	126	135	148	157	164	171
	92	97	103	111	120	128	133	138
	78	82	88	96	104	111	117	121
	136	142	150	160	172	182	189	195
	124	128	135	143	153	160	166	171
	186	193	204	216	231	242	251	258
	43	45	47	50	53	56	58	59
	59	61	64	67	71	74	76	78
	113	116	121	126	133	137	141	144
	125	129	134	141	148	154	159	163
	71	73	76	79	82	85	87	89
	143	150	160	171	185	196	204	212
	112	114	118	122	126	130	132	134
	153	157	163	169	177	183	187	191
	133	137	143	150	159	165	170	174

۶- کار تغییر شکل

$$W = \frac{V \cdot \varphi_{h_m} \cdot k_f}{\eta_F}$$

کار تغییر شکل	به N/mm	W
استحکام شکل پذیری میانگین	به N/mm^2	k_f
بازده شکل پذیری	–	η_F
حجم قطعه آهنگری	به mm^3	V
درجه شکل پذیری از ارتفاع نهایی میانگین h_m	–	φ_{h_m}

جدول ۱۳-۸ ضریب شکل y ، بازده شکل پذیری η_F و نسبت مازاد b/s در ارتباط با شکل قطعه آهنگری

شکل	قطعه کار	y	η_F	b/s
1	سرکوبی در قالب بسته بدون تشکیل مازاد	4	0,5	3
2	سرکوبی در قالب بسته با تشکیل مازاد کم	5,5	0,45	4
3	آهنگری در قالب بسته قطعات ساده با تشکیل مازاد 	7,5	0,4	6 – 8
4	آهنگری در قالب بسته قطعات پیچیده با مازاد 	9	0,35	9 – 12

$$k_{we} = y \cdot k_f$$

۱۳-۶ قالب

قالبهای آهنگری بسته تحت تنشهای مکانیکی و حرارتی بالایی قرار می گیرند.

تنش مکانیکی : با نیروی آهنگری (تنش ضربه) تا $p = 2000\ N/mm^2$.

نتیجه : ترکهای برشی در سطح حفره.

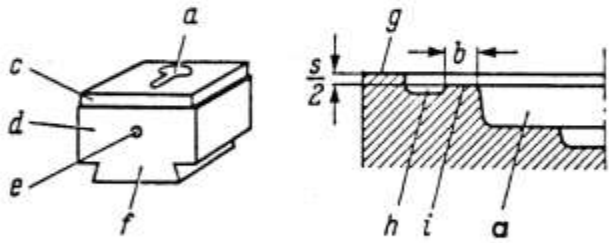
تنش حرارتی : در نتیجه تماس با قطعه خام گرم شده تا دمای آهنگری، نوسان دمایی تا 200 °C در قالب به وجود می آید که تنش حرارتی متناوبی را به دنبال دارد. این عمل منجر به تشکیل ترکهای سطحی شبکه مانند می شود.

از آنجا که مدت زمان تماس بین قالب و قطعه کار به پرس بستگی دارد بین دو حالت تمایز قائل می شوند :

قالب پرسهای پتکی : تنش مکانیکی بالاست،

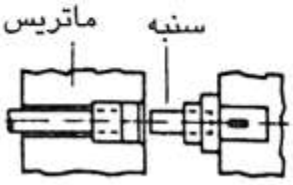
قالب پرسهای غیر پتکی : چون مدت زمان تماس بالاست تنش حرارتی بالاست.

شکل ۱۳-۴ اجزاء یک قالب آهنگری بسته و جدول ۱۳-۹ جنس اجزاء آن و سختی آنها را نشان می دهد.

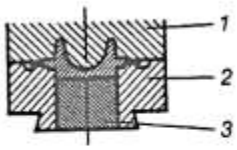
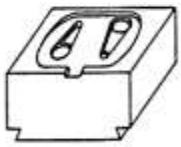
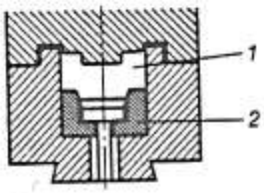
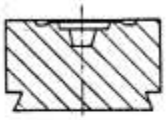
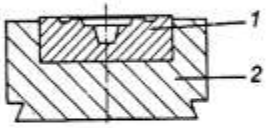
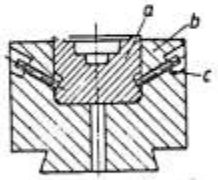
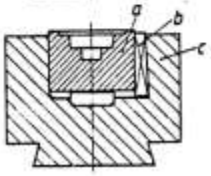


شکل ۱۳-۴ اجزاء یک قالب بسته. a حفره، b سطوح مبنا، d تنه، e سوراخ حمل، f قسمت بست، g سطح ضربه، h شیار مازاد، l مسیر مازاد.

جدول ۱۳-۹ جنس قالبهای بسته سرکوبی پرسهای پتکی و پرسهای غیر پتکی

قالب	پتک		پرس		پرس آهنگری افقی		
	جنس	سختی N/mm²	جنس	سختی N/mm²	قالب	جنس	سختی N/mm²
قالب تکه	1.2713 1.2714	1200 – 1360 1200 – 1800	1.2713 1.2714 1.2343 1.2344 1.2365 1.2367	1200 – 1350 1200 – 1800 1300 – 1700 1300 – 1700 1300 – 1700 1300 – 1700	ماتریس سنبه درن	1.2344 1.2365 1.2367 1.2889 1.2365 1.2367 1.2889	1300 – 1800 1300 – 1800 1300 – 1800 1500 – 1900 1500 – 1800 1500 – 1800 1500 – 1900
هولدر ماتریس	1.2713	1020 – 1360	1.2713	1000 – 1200			
مغزی ماتریس	1.2714 1.2344	1300 – 1800 1300 – 1800	1.2343 1.2344 1.2367 1.2606	1300 – 1800 1300 – 1800 1300 – 1800 1300 – 1800			
مغزی حفره	1.2365 1.2889	1500 – 1800 1500 – 1800	1.2365 1.2889	1500 – 1800 1500 – 1800			

جدول ۱۳-۱۰ شکل قالب

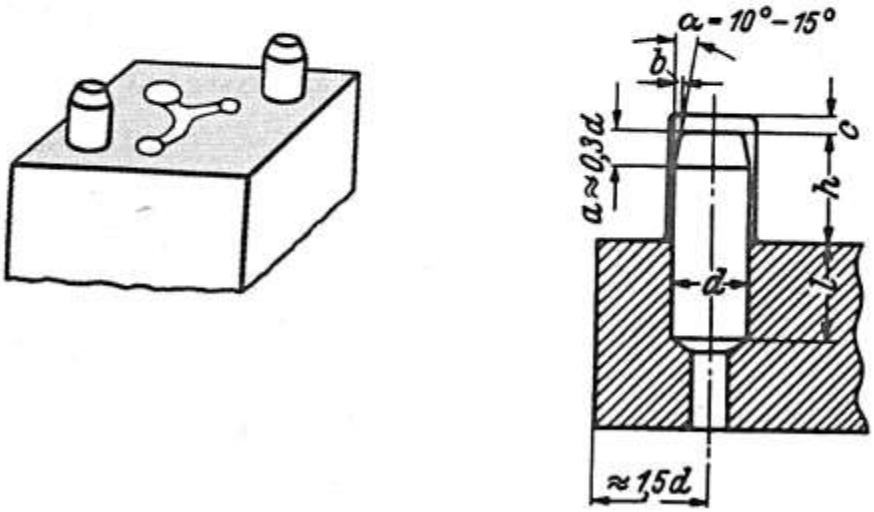
وجه تمایز : فضای مازاد	
قالب با فضای مازاد (قالب باز) در این قالب حجم اضافی به فضای مازاد راه پیدا می کند.	 1 قالب بالایی، 2 قالب پایینی، 3 بیرون انداز
قالب ساده اگر یک حفره برای یک قطعه کار باشد به آن قالب ساده گویند.	
اگر قالبی چند حفره داشته باشد، برای دو یا چند قطعه، مثلاً یک حفره برای پیش فرم و یک حفره برای شکل نهایی، به آن **قالب چند مرحله ای** گویند.	
قالب بدون فضای مازاد (قالب بسته) در اینجا باید حجم قطعه خام دقیقاً برابر با حجم قطعه نهایی باشد، زیرا مواد اضافی نمی توانند از قالب بیرون روند. کاربرد : برای قطعات آهنگری دقیق	 1 سنبه پرس، 2 قطعه کار
وجه تمایز : جنس قالب	
قالب یک تکه قسمت بالای قالب و پایین قالب به صورت یک پارچه از جنس فولاد کیفی است.	 (a
قالب با مغزی حفره قالب مادر و قالب مغزی از جنسهای متفاوتی ساخته می شود. فقط مغزی قالب از فولاد با ارزش می باشد. در اینجا تقسیم بندی بر اساس نحوه بستن مغزی قالب است : a) مغزی با روش بستن نیرویی مغزی به صورت پرسی جا زده می شود (تنش تماس $p \sim 50 - 70\ N/mm^2$) اضافه اندازه حدود 1% قطر b) مغزی با روش بستن شکلی b1 - با محکم کردن پیچی b2 - با محکم کردن گوه ای	 1 مغزی قالب، 2 قالب مادر  b1  b2

۱۳-۶-۱ راهنمای قالب

برای اینکه قطعه کار دچار هیچ گونه پیچیدگی *نباشد* باید قالب بالا و پایین به طور دقیق نسبت به هم هدایت شوند.

راهنمای تخت، گرد و پینی نوع راهنمای رایج قالب هستند.

چون راهنمای پینی ارزانتر ساخته می شوند و نیز در صورت ساییدگی اجزای راهنما، (میل راهنماها و بوشها) باسانی تعویض می شوند، عملاً ترجیح داده می شود (**شکل ۱۳-۵**).



شکل ۱۳-۵ راهنمای پینی

۱۳-۶-۲ ابعاد بلوک قالب

ابعاد در ارتباط با عمق حفره انتخاب می شود.

جدول ۱۳-۱۱ ابعاد حداقل بلوک

عمق حفره h به mm	ضخامت حداقل a به mm	ارتفاع حداقل بلوک H به mm
10	20	100
25	40	160
40	56	200
63	80	250
100	110	315

۱۳-۷ طراحی قطعه (محصول) آهنگری قالب بسته

در DIN 7523 T1-T3 اصول عمومی طراحی قطعات آهنگری قالب بسته داده شده است. محتوی این استاندارد به صورت خلاصه چنین است :

- قطعه را به صورت شکلها و فرمهای ساده طراحی کنید، ضمناً در طراحی به حجم مواد هم توجه کنید!
- از تغییر مقطع های ناگهانی و لبه های تیز پرهیز کنید.
- در شکل دادن به نحوه بستن قطعه آهنگری شده جهت ماشینکاری توجه کنید.
- بررسی کنید که آیا می توان شکلهای پیچیده را با روشهای دیگر به صورت مناسبی تولید کرد.

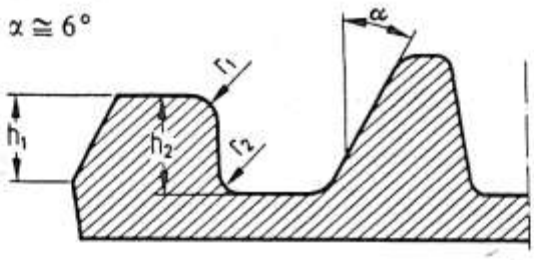
طبق این اصول، در طراحی قطعات آهنگری به ویژه توجه کنید :

۱۳-۷-۱ شیب دیواره ها (شکل ۱۳-۶)

سطوح داخلی قطعه کار، که توسط یک درن ایجاد می شود خطر گیر کردن آن روی درن انتظار می رود. بدین جهت سطوح داخلی باید شیبی معادل :

$\alpha \cong 6^\circ$

داشته باشد. از آنجا که برای آزاد شدن سطوح خارجی غالباً بیرون انداز به کار می رود شیبی به اندازه $\alpha = 1-3^\circ$ کافی است.



شکل ۱۳-۶ شعاع گردی لبه ها و گوشه ها و زاویه روی دیواره ها

۱۳-۷-۲ لبه و گوشه های گرد

لبه های تیز باعث افزایش خطر ایجاد ترک و کوتاه شدن عمر قالب می شود. بدین جهت دقت شود که شعاع این گردیها به اندازه مقادیر حداقل سفارش شده باشند. اندازه شعاع گردی r_1 و r_2 به طور تقریبی در ارتباط با ارتفاع پره های h_1 و h_2 تعیین می شوند.

برای h_1 و h_2 تا 100 m

$$r = \frac{1}{10} \cdot h$$

برای h_1 و h_2 تا 120 – 250 m

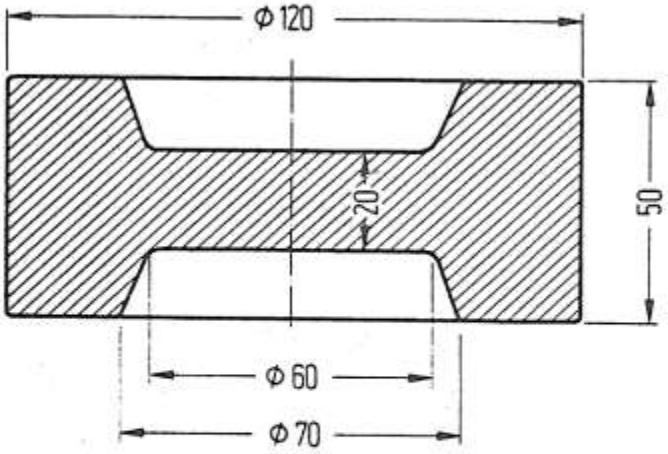
$$r = \frac{1}{20} \cdot h$$

۱۳-۸ دقت قابل دست یابی

دقت قابل دستیابی در آهنگری قالب بسته طبق DIN 7526 بین IT 12 و IT 16 است. در موارد استثنایی (مثلاً آهنگری دقیق) برای اندازه خاصی روی قطعه آهنگری می توان تلرانس IT 8 را نیز به دست آورد.

۱۳-۹ مثال

طبق شکل ۱۳-۷، پولی تسمه باید از جنس C 45 ساخته شود. پرس موجود یک پرس میل لنگی با سرعت سینه پرس برابر v = 600 mm/s در محدوده کاری، در اختیار است.



شکل ۱۳-۷ پولی تسمه

مطلوب است :

۱- وزن قطعه خام،

۲- ضخامت مازاد و پهنای مازاد،

۳- نیروی شکل دادن و

٤- کار شکل دادن.

حل :

۱- وزن قطعه خام m_A

۱-۱ وزن قطعه آهنگری نهایی

$$m_E = \left(D^2 \cdot h_1 - d_m^2 \cdot h_2\right)\frac{\pi}{4} \cdot \rho$$

$$= \left[(1{,}2\ \text{dm})^2 \cdot 0{,}5\ \text{dm} - (0{,}65\ \text{dm})^2 \cdot 0{,}3\ \text{dm}\right]\frac{\pi}{4} \cdot 7{,}85\ \text{kg/dm}^3 = 3{,}63\ \text{kg}$$

$$V = \frac{\pi \cdot h}{12} \cdot (D^2 + d^2 + D \cdot d)$$

فرمول حجم مخروط ناقص:

۱-۲ انتخاب ضریب وزنی (m_E و گروه شکلی 2) W = f از جدول ۱۳-۴ و صفحه ۱۱۵.

جدول ۱۳-۴ ضریب نسبت جرمی W به عنوان (m_E و گروه شکلی) f

kg به m_E		1,0	2,5	4,0	6,3	20	100
W در گروه شکلی	1	1,1	1,08	1,07	1,06	1,05	1,03
	2	1,25	1,19	1,17	1,15	1,08	1,06
	3	1,5	1,46	1,41	1,35	1,20	–

انتخاب : W = 1,18

۱-۳ وزن قطعه خام m_A

$$m_A = W \cdot m_E = 1{,}18 \cdot 3{,}63\ \text{kg} = 4{,}28\ \text{kg}$$

۱-٤ حجم قطعه خام

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{4{,}28\ \text{kg}}{7{,}85\ \text{kg/dm}^3} = 0{,}545223\ \text{dm}^3 = 545\,223\ \text{mm}^3$$

۱-۵ ابعاد قطعه خام

انتخاب $D_0 = 110\ mm$ قطر اولیه

$$h_0 = \frac{V}{A_0} = \frac{545\,223\ mm^3}{\frac{(110\ mm)^2\,\pi}{4}} = 57{,}40\ mm$$

$h_0 = 60\ mm$ انتخاب

۲- ضخامت مازاد s

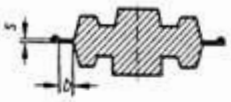
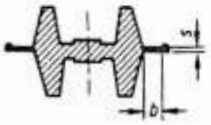
$A_s = 120^2 \quad \pi/4 = 11309\ mm^2$

$s = 0{,}015 \quad \sqrt{A_s} = 0{,}015 \quad \sqrt{11309} = 1{,}59\ mm$

$s = \mathbf{1{,}6}$ انتخاب

قطعه کار با گروه شکل 2 مطابقت دارد (**جدول ۱۳-۸** قطعه سرکوبی با مازاد کم). بدین جهت نسبت مازاد $b/s = 4$ فرض می شود (**جدول ۱۳-۵**).

جدول ۱۳-۸ ضریب شکل y، بازده شکل پذیری η_F و نسبت مازاد b/s در ارتباط با شکل قطعه آهنگری

شکل	قطعه کار	y	η_F	b/s
1	سرکوبی در قالب بسته بدون تشکیل مازاد	4	0,5	3
2	سرکوبی در قالب بسته با تشکیل مازاد کم	5,5	0,45	4
3	آهنگری در قالب بسته قطعات ساده با تشکیل مازاد 	7,5	0,4	6 – 8
4	آهنگری در قالب بسته قطعات پیچیده با مازاد 	9	0,35	9 – 12

در نتیجه :

$b = 4 \cdot s = 4 \cdot 1{,}6\ mm = 6{,}4\ mm \qquad b = \mathbf{6{,}0\ mm}$ انتخاب :

از پهنای مازاد و قطر قطعه نهایی، قطر تصویر شده D_d و سطح تصویر شده قطعه آهنگری همراه با مسیر مازاد A_d تعیین می شود.

قطر تصویر شده :

$D_d = D + 2 \quad b = 120\ mm + 2 \quad 6\ mm = 132\ mm$ انتخاب :

سطح تصویر شده A_d :

$$A_d = D_d^2 \frac{\pi}{4} = \frac{(132\ mm)^2\,\pi}{4} = 13678\ mm^2$$

۳- نیروی شکل دادن و کار شکل دادن

۳-۱ سرعت شکل دادن $\dot{\varphi}$

$$\dot{\varphi} = \frac{v}{h_0} = \frac{600\ mm/s}{60\ mm} = 10\ s^{-1}$$

۳-۲ استحکام شکل پذیری

$$k_f = k_{f_1} \qquad \varphi^m = 70\ N/mm^2 \cdot 10^{0,163} = 102\ N/mm^2$$

از **جدول ۱۲-۴**

برای : $T = 1200\,^{\circ}C$ $\qquad m = 0,163 \quad k_{f_1} = 70\ N/mm^2$

یا از **جدول ۱۳-۷**، مقدار k_f برای $\dot{\varphi} = 10\ s^{-1}$.

۳-۳ مقاومت تغییر شکل در انتهای فرآیند شکل دادن

از **جدول ۱۳-۸** گروه شکل 2 $\qquad y = 5,5$

$$k_{we} = y \cdot k_f = 5,5 \cdot 102\ N/mm^2 = 561\ N/mm^2$$

۳-۴ نیروی شکل دادن

$$F = A_d \cdot k_{we} = 13678\ mm^2 \cdot 561\ N/mm^2 = 7673358\ N = \mathbf{7673\ kN}$$

۳-۵ درجه تغییر شکل اصلی میانگین

$$\varphi_{h_m} = \ln \frac{V_E}{A_d \cdot h_0} = \ln \frac{110^2 \cdot \pi \cdot mm^2 \cdot 60\ mm}{4 \cdot 13678\ mm^2 \cdot 60\ mm} = 0,364$$

V_E حجم قطعه خام با $h_0 = 60\ mm$

۳-۶ کار شکل دادن

$$W = \frac{V_E \cdot {}_{h_m} \cdot k_f}{\eta_F} = \frac{570199\ mm^3 \cdot 0,364 \cdot 102\ N/mm^2}{0,45 \cdot 10^6} = \mathbf{52,9\ kNm}$$

از **جدول ۱۳-۸** $\eta_F = 0,45$

10^6 ضریب تبدیل به kNm

جدول ۱۳-۱۲ $k_{f_1} = f(T)$ برای $\dot{\varphi}_1 = 1s^{-1}$ (۱۲-٤)

جنس		m	k_{f_1} در $\dot{\varphi}_1 = 1s^{-1}$ (N/mm^2)	T $(^\circ C)$
St	C 15	0,154	99/84	1100/1200
	C 35	0,144	89/72	
	C 45	0,163	90/70	
	C 60	0,167	85/68	
	X 10 Cr 13	0,091	105/88	1100/1250
	X 5 CrNi 18 9	0,094	137/116	
	X 10 CrNiTi 18 9	0,176	100/74	
Cu	E-Cu	0,127	56	800
	CuZn 28	0,212	51	800
	CuZn 37	0,201	44	750
	CuZn 40 Pb 2	0,218	35	650
	CuZn 20 Al	0,180	70	800
	CuZn 28 Sn	0,162	68	800
	CuAl 5	0,163	102	800
Al	Al 99,5	0,159	24	450
	AlMn	0,135	36	480
	AlCuMg 1	0,122	72	450
	AlCuMg 2	0,131	77	450
	AlMgSi 1	0,108	48	450
	AlMgMn	0,194	70	480
	AlMg 3	0,091	80	450
	AlMg 5	0,110	102	450
	AlZnMgCu 1,5	0,134	81	450

$$k_f = k_{f_1}\left(\frac{\dot{\varphi}}{\dot{\varphi}_1}\right)^m$$

برای $\dot{\varphi}_1 = 1s^{-1}$: $\boxed{k_f = k_{f_1} \cdot \dot{\varphi}^m}$