بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
دانشکده مهندسی و علم مواد

شکل دادن فلزات

جلسه ششم
(فورجینگ)

دکتر رضا اسلامی فارسانی

فورجینگ

فورجینگ (آهنگری)

آهنگری، کار روی فلز توسط پتک کاری یا پرس کاری و تبدیل آن به یک شکل مفید است. آهنگری یکی از قدیمی ترین هنرهای فلزکاری است و منشاء آن به زمان های بسیار دور باز می گردد. هدف از فرجینگ، طویل کردن، پهن کردن، فشردن و تهیه قطعه با شکل و ابعاد مشخص است. آهنگری نوعی تغییرشکل با اعمال فشار و ضربه است که می تواند این تغییرشکل با استفاده از قالب یا به صورت آزاد باشد.

- آهنگری سرد: برای برخی آلیاژها با نقطه ذوب کم نظیر آلیاژهای برنج و برنز
- آهنگری گرم: برای قطعات با نقطه ذوب بالا نظیر چدن و فولاد

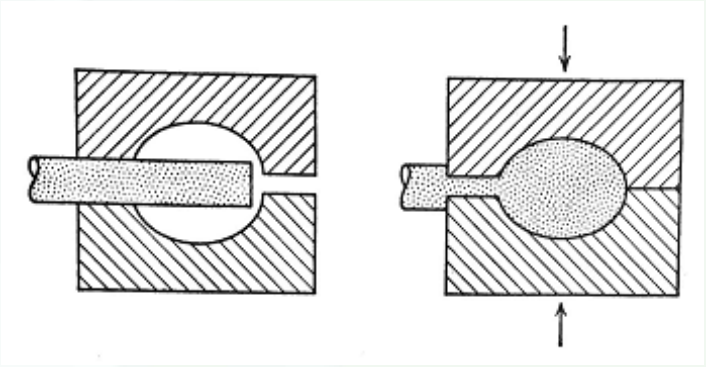
فرآیندهای فورجینگ

فرآیندهای آهنگری به دو دسته اصلی تقسیم می شوند:

- ✓ آهنگری قالب باز یا آزاد (Open- Die Forging): بین قالب های مسطح یا قالب های با اشکال بسیار ساده اجرا می شود. این فرآیند اکثراً برای اشیاء بزرگ یا تعداد کم قطعات تولیدی بکار می رود.
- ✓ آهنگری قالب بسته (Closed- Die Forging): قطعه بین دو نیم قالب که اثر شکل نهایی قطعه بر آنها نقش بسته است، تغییرشکل می یابد. لذا قطعه تحت فشار زیاد در یک حفره بسته با دقت بالا تغییرشکل می دهد.

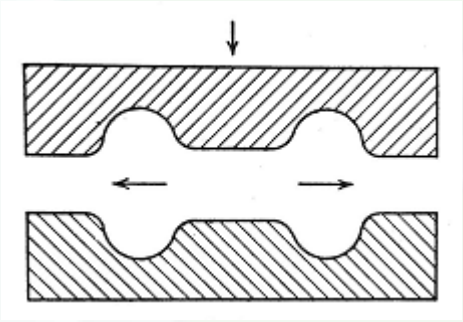
انواع عملیات قابل انجام با آهنگری

- لبه کاری (Edging): قالب های لبه کاری برای شکل دادن انتهای میل گردها و جمع کردن فلز استفاده می شوند. در این حالت، قالب از سیلان فلز در جهت افقی جلوگیری می کند، ولی فلز می تواند از اطراف آزادانه حرکت کرده و قالب را پر کند.

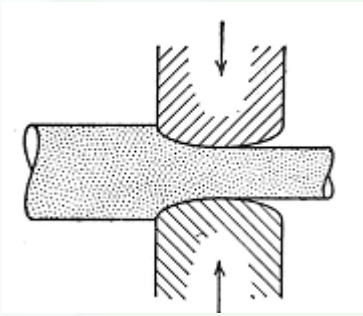


انواع عملیات قابل انجام با آهنگری

- ✓ شیارکاری (Fullering): شیارکاری برای کاهش سطح مقطع بخش هایی از یک قطعه بکار می رود. جریان فلز به سمت خارج و دور از مرکز قالب شیارکاری است (نظیر آهنگری میل لنگ موتورهای درون سوز)

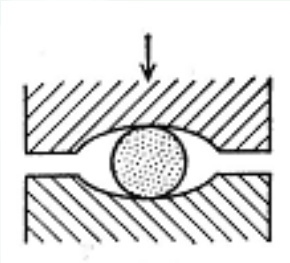


- ✓ کشش (Drawing): نوع دیگری از تغییرشکل، کاهش سطح مقطع همزمان با افزایش طول است.

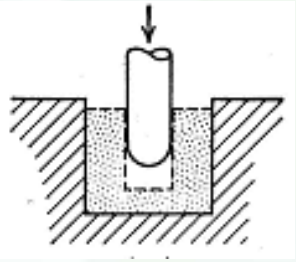


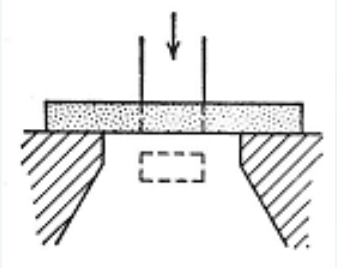
انواع عملیات قابل انجام با آهنگری

- قرارکاری (Swaging): اگر عملیات کشش به تو با قالب های مقعر به گونه ای انجام شود که میل گردی با قطر کمتر بدست آید، این عمل سوراخ گری (قرارکاری) است.



- انواع عملیات دیگری که توسط آهنگری انجام می شود عبارتند از: خم کاری (Bending) و سوراخکاری (Punching).





آهنگری قالب بسته

در آهنگری قالب بسته از قطعات قالب جفت شده و تراشیده برای تولید قطعه آهنگری با حدود ابعاد مجاز دقیقی استفاده می شود. تیراژ زیاد توجیه استفاده از قالب های گران قیمت است که در قالب بسته بکار می روند. در آهنگری قالب بسته، شمشال آهنگری عموماً اول شیارکاری و بعد لبه کاری می شود تا فلز را برای آهنگری بعدی در مکان های درست قرار دهد. شمشال پیش شکل گرفته، سپس در حفره قالب قطعه زنی قرار می گیرد و آهنگری مقدماتی انجام می شود تا شکلی نزدیک شکل نهایی بدست آید. بیشترین تغییر در شکل فلز معمولاً در این مرحله انجام می شود. قطعه سپس به قالب نهایی منتقل میشود و توسط آهنگری، شکل و ابعاد نهایی را بدست می آورد.

آهنگری قالب باز

آهنگری قالب باز عموماً برای قطعات بزرگ با اشکال نسبتاً ساده که بین قالب های ساده در پرس هیدرولیک بزرگ یا پتک قدرتی شکل داده می شوند، بکار می روند. محورهای پروانه، حلقه ها، لوله های توپ و دیگ های بخار نمونه هایی از قطعات شکل گرفته در آهنگری قالب باز هستند. چون همواره قطعه از ابزار بزرگتر است، در هر لحظه تغییرشکل در بخش کوچکی از قطعه انجام می شود. یکی از ساده ترین عملیات آهنگری قالب باز، ضخیم کاری شمشال بین ابزار مسطح برای کاهش سطح مقطع است.

پلیسه

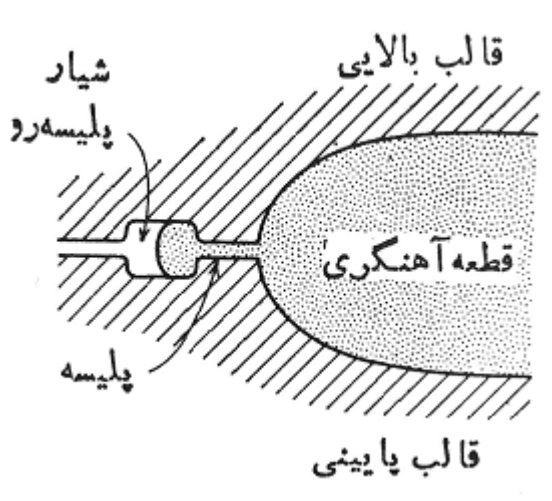
استفاده از فلز به میزان کافی در قطعه آهنگری بطوری که حفره قالب را کاملاً پر کند، مهم است. البته استفاده از کمی فلز اضافی مرسوم است. وقتی قالب ها برای مرحله نهایی بهم نزدیک می شوند، فلز اضافی به صورت نوار نازکی که به پلیسه (Flash) مرسوم است، بیرون می زند. مرحله نهایی در ساخت قطعه آهنگری قالب بسته، زدودن پلیسه توسط قالب پلیسه گیری است.

پلیسه

پلیسه دو کار می کند:

۱. به صورت دریچه اطمینان برای فلز مازاد در حفره قالب بسته عمل می کند.

۲. فرار فلز را تنظیم می کند و لذا پلیسه نازک، مقاومت جریان سیستم را به شدت زیاد می کند، طوری که فشار زیادی ایجاد می شود تا از پر کردن کلیه فرو رفتگی های قالب و قسمت پیچیده اطمینان حاصل شود.



نمای مقطع در آهنگری قالب بسته با وجود پلیسه

پلیسه

فشارکاری فلز در دهانه باریک پلیسه رو باید مشکل تر از پر کردن اجزاء پیچیده در قالب باشد، ولی ابعاد پلیسه نباید بیش از حد بزرگ انتخاب شوند. چون بارهای بزرگ آهنگری را نیاز داشته و در نهایت منجر به سایش و شکست قالب می شوند.

بعد از آهنگری معمولاً عملیات تکمیلی زیر انجام می شود:

- ✓ پلیسه گیری (فلش گیری)
- ✓ سنگ زنی
- ✓ آبکاری
- ✓ تراشکاری و تنظیم ابعاد

تجهیزات آهنگری

در آهنگری دو دسته اصلی تجهیزات بکار می روند:

- ✓ پتک آهنگری یا پتک سقوطی (Forging Hammer):

این نوع پتک ضربه سریعی به سطح فلز وارد می کند.

- ✓ پرس آهنگری (Forging presses):

این نوع پرس نیروی فشاری آرامی به فلز وارد می کند.

تجهیزات آهنگری

الف) پتک های آهنگری:

- ✓ پتک های تخته دار یا سقوطی وزنه ای
- ✓ پتک های قدرتی یا سقوطی قدرتی

پتک های آهنگری از نوع سقوطی هستند، یعنی نیرو توسط یک وزنه سقوطی یا کوبه وارد می شود. این پتک ها، دستگاه های با انرژی محدود هستند، چون تغییرشکل از انتشار انرژی جنبشی کوبه بدست می آید.

تجهیزات آهنگری

ب) پرس های آهنگری:

- ✓ پرس های آهنگری مکانیکی: دستگاه های با ضربه محدود هستند. طول ضربه پرس و بار قابل حصول آنها در وضعیت های مختلف ضربه محدود است و کارایی آنها را تعیین می کند.
- ✓ پرس های هیدرولیک: دستگاه های با بار محدود هستند. کارایی آنها برای اجرای عملیات شکل دادن عمدتاً با حداکثر ظرفیت بار محدود می شود.

تجهیزات آهنگری

برای تولید قطعات مختلف بر اساس شکل قطعه و خواص مورد نظر و مشخصات انرژی و بار مورد نیاز برای شکل دهی و همچنان مشخصات زمانی و کارایی دستگاه، یکی از این دستگاه ها بکار می روند. برای تکمیل موفقیت آمیز هر عملیات آهنگری، بار قابل حصول از دستگاه باید از بار لازم در هر نقطه واقع در فرآیند بیشتر بوده و انرژی حاصل از دستگاه نیز از انرژی مورد نیاز فرآیند برای ضربه کامل زیادتر شود.

تجهیزات آهنگری

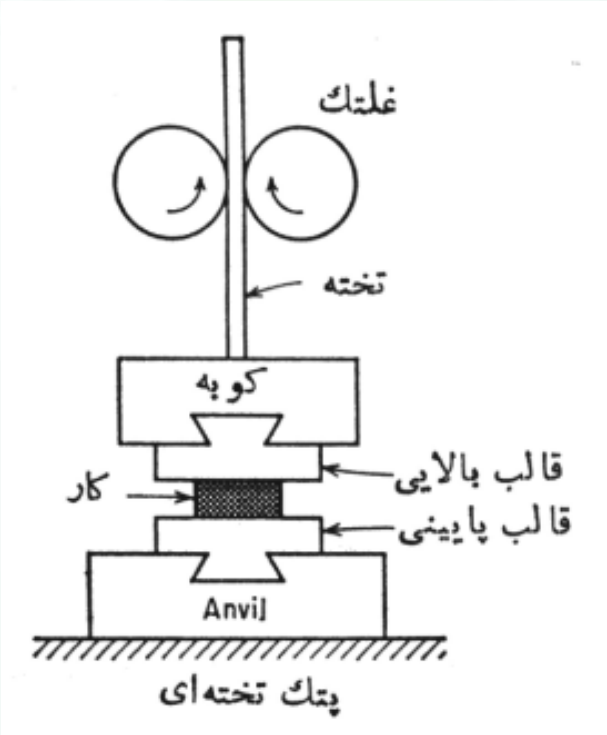
مهمترین مشخصه هر دستگاه تعداد ضربات آن در هر دقیقه است، چون این پارامتر میزان تولید را تعیین می کند. V_p (سرعت در اثر فشار)، سرعت لغزش دستگاه تحت بار است. مقادیر مشخصه V_p در جدول آمده اند:

دستگاه آهنگری	دامنه سرعت	
	ft/s	m/s
پتك سقوطی وزنی	۱۲ — ۱۶	۳٫۶ — ۴٫۸
پتك سقوطی قدرتی	۱۰ — ۳۰	۳ — ۹
دستگاههای HERF	۲۰ — ۸۰	۶ — ۲۴
پرس مکانیکی	۰٫۲ — ۵	۰٫۰۶ — ۱٫۵
پرس هیدرولیك	۰٫۲ — ۱	۰٫۰۶ — ۰٫۳

پتک تخته دار

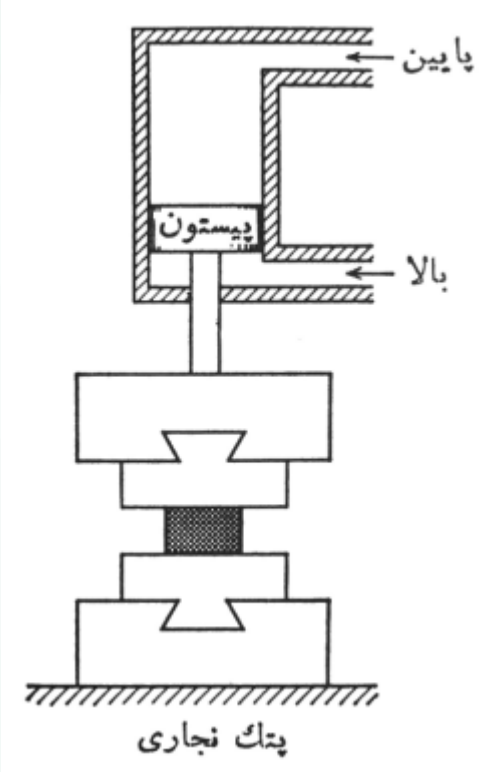
در پتک تخته دار، کوبه و قالب بالایی با چسبیدن غلتک های اصطکاکی به تخته و بالا رفتن آن، بلند می شوند. وقتی تخته رها می شود، کوبه تحت تاثیر ثقل می افتد تا انرژی ضربه ای تولید کند. بلافاصله تخته برای زدن ضربه دیگری بالا می رود.

آهنگری با پتک عموماً با ضربه های مکرر انجام می شود. پتک ها با توجه به اندازه و ظرفیت خود می توانند بین ۶۰ تا ۱۵۰ ضربه در دقیقه وارد کنند. انرژی ایجاد شده توسط ضربه مساوی انرژی پتانسیل ناشی از وزن کوبه و ارتفاع سقوط است.



پتک قدرتی

در پتک قدرتی، کوبه در ضربه پایینی توسط بخار یا فشار هوا به اضافه ثقل، شتاب می گیرد و ظرفیت بیشتری دارد. بخار یا هوا برای بالا بردن کوبه نیز بکار می رود. انرژی کل ایجاد شده برای ضربه زدن در پتک سقوطی قدرتی از رابطه زیر بدست می آید:



M: وزن کوبه
V: سرعت کوبه در شروع تغییر شکل
P: فشار بخار یا هوای وارد بر استوانه کوبه در ضربه پایینی
g: شتاب ثقل
A: مساحت استوانه کوبه
H: ارتفاع سقوط کوبه

$$W = \frac{1}{2}\frac{mV^2}{g} + PAH = (m + PA)H$$

پتک های آهنگری

در پتک قدرتی، انرژی ضربه می تواند کنترل شود، اما در پتک تخته ای امکان پذیر نیست. چون جرم و ارتفاع سقوط ثابت هستند.

برای آهنگری قالب بسته، پتک های قدرتی بر تخته ای ارجحیت دارند و می توانند قطعاتی از چند گرم تا چند تن تولید کنند.

پتک های آهنگری معمولاً توسط وزن کوبه شان برآورد می شوند که از چند صد کیلوگرم تا چند ده هزار کیلوگرم هستند (مثلاً پتک ۱۴۰۰ کیلوگرمی).

تجهیزات آهنگری

پتک آهنگری دارای زمان تماس بسیار کم (۱ تا ۱۰ میلی ثانیه) است، اما دقت آن به میزان پرس نیست. همچنین به علت مشخصه ضربه ای ذاتی آنها، باید مشکلات مربوط به تکان زمین، صدا و ارتعاش برطرف شود. البته برخی مشکلات را می توان با پتک ضربه متقابل که در آن دو کوبه مخالف هم بطور همزمان به قطعه ضربه می زنند (به گونه ای که عملاً اکثر انرژی به صورت کار جذب می شود و انرژی کمی به صورت ارتعاش در پی ریزی و محیط اطراف تلف می شود)، به حداقل رساند.

پرس مکانیکی

بیشتر پرس های مکانیکی دارای یک میل لنگ خارج از مرکز هستند که حرکت دورانی را به حرکت خطی متقابل کشویی پرس تبدیل می کنند. ضربه کوبه این پرس ها کوتاه تر از پرس هیدرولیک است، لذا این نوع پرس ها برای قطعات آهنگری با برجستگی کم کاملاً مناسب هستند.

ظرفیت پرس های مکانیکی عموماً ۱۲۰۰۰-۳۰۰ تن است. ضربه پرس بیشتر شبیه فشار دادن است تا این که شبیه ضربه پتک باشد. لذا قالب ها می توانند سبک تر بوده و عمر قالب نیز نسبت به قالب پتک بیشتر است. البته قیمت پرس بسیار بالاتر از پتک است، لذا لازم است میزان تولید زیاد باشد.

پرس مکانیکی

انرژی کل بوجود آمده در حین ضربه پرس از رابطه زیر بدست می آید.

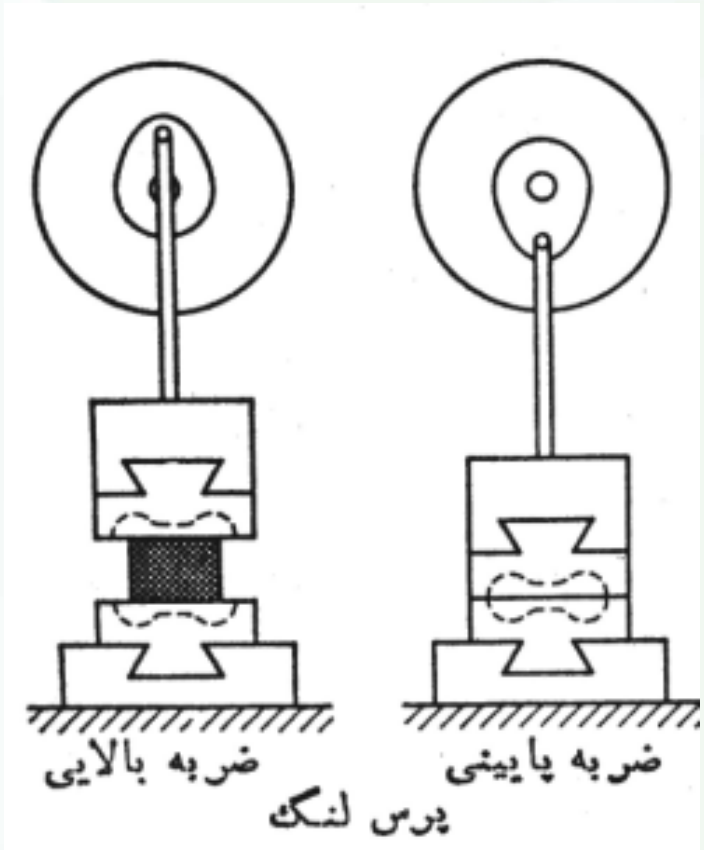
$$W = \frac{1}{2} I(w_0^2 - w_f^2) = \frac{1}{2} I \left(\frac{\pi}{30}\right)^2 (n_0^2 - n_f^2)$$

I : گشتاور ماند چرخ طیار

w : سرعت زاویه ای

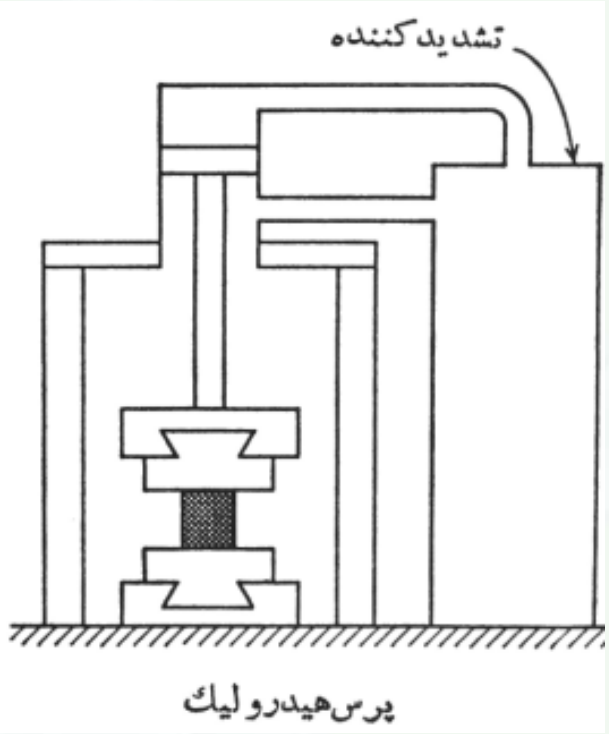
n_0 : سرعت اولیه چرخ طیار

n_f : سرعت چرخ طیار پس از تغییرشکل



پرس لنگ

پرس هیدرولیک



پرس هیدرولیک

پرس های هیدرولیک، دستگاه هایی با بار محدود هستند که درآنها فشار هیدرولیک، پیستون را در داخل سیلندر حرکت می دهد. ویژگی اصلی این پرس آن است که در هر نقطه از مسیر حرکت کوبه می توان از تمام بار پرس استفاده کرد. این ویژگی برتری پرس برای آهنگری است. سرعت کوبه می تواند کنترل شده و حتی حین ضربه تغییر کند.

پرس های هیدرولیک، دستگاه هایی با سرعت نسبتاً کم بوده و ظرفیت آنها عموماً ۱۸۰۰۰-۵۰۰ تن و در مواردی تا ۵۰۰۰۰ تن است.

دیگر انواع پرس های آهنگری

انواع دیگری از دستگاه های آهنگری نیز وجود دارند که عبارتند از:

- ✓ پرس های پیچی (Screw Presses): حرکت دورانی یک چرخ طیار، توسط مارپیچ چند راهه روی هرز گرد و مهره آن به حرکت خطی تبدیل می شود.
- ✓ پرس افقی (Horizontal Mechanical Presses): پرس مکانیکی افقی برای تولید انبوه قطعات آهنگری با اشکال متقارن نظیر پیچ و میخ پرچ. مثلاً قطر لوله بطور موضعی با اعمال ضربات چکش یا فشردن پرس در جهت محور میله زیاد می شود.

کوره های آهنگری

برای آهنگری گرم باید دستگاه آهنگری (مثلاً پرس) به گونه ای باشد که ضمن حرارت دادن و گرم کردن، نیروی لازم را نیز تامین کند و یا آن که از کوره مجزا برای گرم کردن استفاده شود. کوره های آهنگری بر اساس نوع سوخت به ٤ گروه سوخت جامد، مایع، گاز و الکتریکی تقسیم می شوند.

کوره های آهنگری

کوره های اطاق دار (نظیر بخاری) برای آهنگری بخصوص آهنگری آزاد مناسب هستند. برای قطعات کوچک و متوسط عمدتاً از کوره های دو اطاقه استفاده می شود. در یک اطاق، قطعه تا دمای آهنگری گرم شده و در اطاق دیگر که توسط گازهای حاصله از سوخت اطاق اول گرم شده است، قطعه مقداری حرارت دیده و پیش گرم می شود تا در اطاق اول سریع تر به دمای آهنگری برسد. کوره های اجاق دار می توانند دارای ریل برای جابجایی قطعات باشند.

قالب های آهنگری

قالب های آهنگری بخصوص برای کار گرم، باید در دمای بالا استحکام کافی داشته و برای جلوگیری از ازدیاد دمای قالب، دارای هدایت حرارتی مناسب باشند. بهترین مواد، فولادهای آلیاژی هستند.

مزایای آهنگری

- ✓ تغییر ساختار ریختگی (حذف حفرات گازی و ریز کردن دانه های درشت)
- ✓ صرفه جویی در مواد اولیه
- ✓ افزایش استحکام قطعه
- ✓ امکان تولید قطعات مشابه با اندازه معین
- ✓ تولید قطعات مختلف توسط یک پرس

معایب آهنگری

- ✓ نیاز به پرس های بزرگ و مخارج بالا
- ✓ مشکلات ناشی از تغییرشکل سریع
- ✓ مسائل قالب سازی، طراحی، نیروی متخصص و مواد قالب
- ✓ داشتن حداقل مقدار به تعداد زیاد (مناسب برای تولید انبوه)
- ✓ هزینه ایجاد گرما در بسیاری موارد
- ✓ مراحل تولید متعدد برای تولید و تغییرشکل قطعات پیچیده
- ✓ مشکل در تراشکاری بعدی به علت استحکام بالای قطعه