

# فهرست

۴	۱- مقدمه
۵	۲-۱ تعریف اولیه در شکل دهی
۵	۳-۱ فرایندهای شکل دهی در فورج
۶	۱-۳-۱ تعریف فورج داغ، گرم و سرد
۶	۴-۱ فرایند فورج قالب باز
۶	۱-۴-۱ اندازه و وزن قطعه فورج
۷	۲-۴-۱ شکل قطعات
۷	۳-۴-۱ چکش ها و پرس ها در فورج قالب
۸	۴-۴-۱ قالب ها
۸	۵-۴-۱ ابزار کمکی
۱۰	۶-۴-۱ تجهیزات انتقال قطعه کار
۱۰	۷-۴-۱ اصول تولید
۱۱	۵-۱ فرایند فورج قالب بسته
۱۱	۱-۵-۱ تقسیم بندی روش های فورج قالب بسته
۱۱	۶-۱ فرایند ساخت قالب های فورج
۱۲	۱-۶-۱ روش ساخت قالب
۱۴	۲- تحلیل فرایند فورج قالب
۱۴	۱-۲ فورج با قالب باز
۱۴	۱-۱-۲ قالب های موازی و حالت کرنش صفحه ای
۱۵	۳- طراحی قالب بسته فورج
۱۶	۱-۳ محل سطح (خط) جدایش بین دو نیمه قالب
۱۷	۲-۳ طراحی ابعاد حفره قالب نهایی
۱۸	۱-۲-۳ ترتیبات ترمودینامیکی عملیات فورج
۱۹	۲-۲-۳ شیب دیواره قالب
۱۹	۳-۲-۳ ملاحظات ابعادی برای سایش قالب
۱۹	۳-۳ طراحی ابعاد پلیسه در قالب
۲۰	۱-۳-۳ انواع حفره پلیسه در قالب های فورج

- ۲۱ ..... ۴-۳ طراحی ابعاد بلوک قالب فورج
- ۲۲ ..... ۵-۳ استاندارد فولاد قالب های فورج
- ۲۳ ..... ۴- طراحی قالب های پیش شکل دهی فورج
- ۲۴ ..... ۱-۴ انواع قالب های پیش شکل دهنده
- ۲۴ ..... ۱-۱-۴ قالب نازک کاری
- ۲۵ ..... ۲-۱-۴ قالب کلفت کاری
- ۲۵ ..... ۳-۱-۴ قالب خم کن
- ۲۵ ..... ۴-۱-۴ قالب بلوکر
- ۲۶ ..... ۲-۴ روش های طراحی قالب پیش شکل دهنده
- ۲۶ ..... ۵- انواع چکش ها و پرس ها
- ۲۷ ..... ۱-۵ چکش های فورج قالب بسته
- ۲۷ ..... ۲-۵ پرس های فورج
- ۲۸ ..... ۱-۲-۵ انواع پرس های هیدرولیکی و مکانیکی
- ۲۸ ..... ۳-۵ انواع قاب پرس
- ۲۹ ..... ۶- منابع

## ۱- مقدمه

امروزه روش فورج برای ساخت قطعاتی که باید از دوام بالا، ایمنی زیاد و استحکام مکانیکی خوب برخوردار باشد به کار می رود. این فرایند در ساخت و تولید قطعات هواپیما، سازه های فضایی، صنایع دریایی و قطعات خودرو به کار می رود. معمولاً با این فرایند قطعاتی ساخته می شوند که درجه اطمینان بالا برای عملکرد، فیزیکی آنان مورد نیاز باشد.

فورج روش ساخت قطعات فلزی با اعمال فشار و ضربه است و در طی فرآیند شکل دهی نباید تغییر حجم اتفاق بیفتد. گاهی قطعه فورج بین دو یا چند ابزار فشاری شکل می گیرد. ابزارهای شکل دهی در فرایند فورج خواص مکانیکی بالاتری نسبت به قطعات فلزی دارند. نام روش های مختلف فورج که به تدریج برای افزایش کیفیت بهتر و کمیت بالاتر توسعه یافته اند در زیر معرفی می شوند.

۱- آهنگری سنتی و دستی (چکش و سندان)

۲- فورج با پتک اتوماتیک بدون قالب

۳- فورج قالب باز

۴- فورج قالب بسته

۵- فورج غلتکی

۷- فورج حلقوی

۸- فورج با حرکت وضعی

۹- فورج کله زنی و کلفت کاری برای افزایش قطر

۱۰- فورج جزء به جزء

۱۱- فورج با انرژی بالا

۱۲- فورج با چکش محیطی

۱۳- فورج متالورژی پودر

## ۱۵- فورج هم دما

معمول ترین روش شکل دهی فرایند فورج قالب بسته است. برای تولید اشکال پیچیده شکل دهی در چند مرحله ضروری است. در فرایند فورج قالب بسته چند مرحله ای قالب های متعددی برای تولید قطعات پیش شکل داده شده نیاز به روش های فورج مخصوص دارد. برخی از این روش های فورج بسیار پیشرفته هستند و فقط برای ساخت قطعات پیش شکل داده شده توسعه یافته اند. فرایند های فورج غلتکی و فورج گوه ای نمونه هایی از این روش ها هستند.

## ۱-۲ تعریف اولیه در شکل دهی

شکل دهی صنعتی به تبدیل هندسه یک جسم به شکل دلخواه گفته می شود که در تیراژ بالا و با استفاده از روش های اقتصادی انجام شود. فرایند شکل دهی در اکثر منابع مهندسی به تغییر هندسه اجسام بدون افزایش یا کاهش حجم آنان گفته می شود. تغییر طول نسبی و کرنش از مفاهیم اولیه در تحلیل فرایند شکل دهی هستند.

## ۱-۳ فرایند های شکل دهی در فورج

بی شک فورج با سرعت کم دارای قدمت زیادی است و یکی از قدیمی ترین روشهای تغییر شکل اجسام می باشد. در سالهای اخیر به دلیل نیاز به سرعت های تولیدی بالا فورج فلزات با سرعت زیاد به طور قابل ملاحظه ای رواج پیدا کرده است. با این وجود هنوز هم آن چه که عملیات و طراحی قالب های فورج را هدایت می کند همان تجارب بشر در فرایند فورج است. در این فرایند جریان ماده تا اندازه زیادی تابع شرایط مختلف قالب و متغیر های مربوط به تجهیزات شکل دهی مانند سرعت تغییر شکل، مان تاثیر نیرو و روغن کاری است. هم چنین تغییرات جریان فلز سه بعدی است که باید از طریق معادلات غیر خطی تغییر شکل پلاستیک حل شود. به علاوه طبیعت نامعین اصطکاک در سطح قالب این مساله را مشکل تر می سازد. تاکنون هیچ راه حل دقیقی حتی برای ساده ترین مساله فورج مانند اشکال متقارن محوری و دیسک دایروی گزارش نشده است. پارامتر های زیادی در طی عملیات فورج روی تغییر شکل قطعه اثر می گذارند که متقابلاً با یکدیگر حالت پیچیده ای را به وجود می آورند. عواملی که معمولاً اثر اصلی را دارند شامل اصطکاک سطوح قالب با قطعه، تنش داخلی مواد، هندسه قطعه کار و دمای فرایند

فورج می باشند. در فورج قالب باز قطعه کار بین دو قالب با شکل ساده قرار می گیرد و شکل پذیری قطعه در دو جهت دیگر آزاد است.

### ۱-۳-۱ تعریف فورج داغ، گرم و سرد

فورج داغ عبارتست از تغییر شکل گرم فلزات در دمای تبلور مجدد فلز که با استفاده از فشار یا ضربه صورت می گیرد و جریان فلز در یک یا چند جهت اتفاق می افتد. چنان چه عمل شکل دهی در درجه حرارت محیط صورت بگیرد به آن فورج سرد و اگر در محدوده دمای محیط و درجه حرارت تبلور مجدد انجام شود به آن فورج گرم می گویند.

### ۱-۴-۱ فرایند فورج قالب باز

فرایند فورج قالب باز به نام های گوناگون فورج دستی، چکشی و قالب تخت شناخته شده است. این نوع فورج در موارد زیر به کار می رود.

- ۱- خواص مکانیکی حاصل از فورج قالب باز را نمی توان از طریق تولید قطعه به روش ماشین کاری یا ریخته گری به دست آورد.
  - ۲- تعداد قطعات مورد نیاز به اندازه ای کم است که فورج قالب بسته مقرون به صرفه نیست.
  - ۳- شکل قطعه به اندازه ای ساده است که تولید آن با فورج قالب باز مقرون به صرفه تر از روش قالب بسته می باشد.
  - ۴- قطعه به اندازه ای بزرگ است که با فورج قالب بسته نمی توان آن را شکل دهی کرد.
  - ۵- مهلت تحویل به اندازه ای کم است که فرصت ساخت قالب برای فورج قالب بسته وجود ندارد.
- همه انواع فلزات شکل پذیر را می توان به وسیله ی فورج قالب باز تولید کرد.

### ۱-۴-۱-۱ اندازه و وزن قطعه فورج

اندازه قطعه فورج قالب باز به وسیله ی نوع تجهیزات گرم کننده، انبر انتقال دهنده قطعه و تجهیزات فورج کننده آن محدود می شود. قطعاتی مانند پروانه ها و محور کشتی ها (طول آن ها به ۲۸ متر می رسد) از طریق فورج قالب باز

تولید می شوند. حدود ۸۰ درصد کل قطعات فورج قالب باز بین ۱۵ تا ۵۰۰ کیلوگرم وزن دارند. از طرف دیگر وزن قطعه فورج قالب باز ممکن است به کوچکی نیم کیلوگرم یا به بزرگی ۳۰۰ تن باشد.

## ۱-۴-۲ شکل قطعات

عموماً شکل قطعات تولیدی با فرایند فورج قالب باز ساده است. البته یک کارگر ماهر به کمک ابزارهای مختلف می تواند اشکال نسبتاً پیچیده را از طریق فورج قالب باز به دست آورد. ولی به دلیل هزینه و زمان زیاد صرف شده تولید این نوع قطعات اغلب در شرایط غیر معمول انجام می شود. بیش تر قطعات فورج شده با قالب باز دارای اشکال زیر می باشند.

- ۱- اشکال مدور، مربع شکل، مستطیل شکل، شش ضلعی و هشت ضلعی تولید شده با فورج شمشال که خواص مکانیکی آن ها بیش از میله های نورد شده می باشند. در مواقعی که ترکیب مواد قطعه طوری است که شکل دهی آن به کمک نورد به سادگی امکان پذیر نباشد از این نوع فورج استفاده می شود. این اشکال معمولاً در طول های ۳ تا ۵ متر فورج می شوند، سپس به طول های مورد نیاز بریده می شوند.
- ۲- فورج صفحه ای شامل فشردن یک قسمت از طول قطعه مانند شفت چرخ دنده ها، چرخ قطار و انتهای فرزها می شود.
- ۳- فورج توپی ها که باعث افزایش قطر در انتهای شفت می شود. این توپی ها از طریق ماشین کاری به چرخ دنده، چرخ تسمه و قطعات مشابه مورد نیاز در ماشین آلات تبدیل می شوند.
- ۴- تولید چرخ دنده های اسپیندل و پنیون و ایجاد دندانه با فرایند فورج.
- ۵- تولید ورق فلزی گرد برای فرایند منگنه کاری، سوراخ کاری و حدیده کاری.

## ۱-۴-۳ چکش ها و پرس ها در فورج قالب

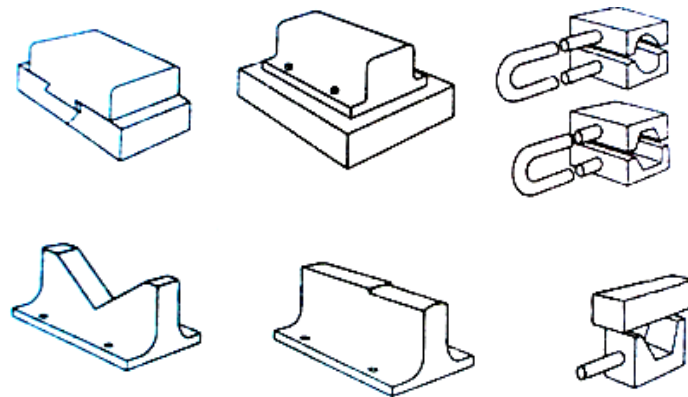
عملیات فورج قالب باز معمولاً در چندین مرحله و با ضربات متعدد و پی در پی انجام می شود. از آن جایی که میزان نیروی وارد شده و تغییر شکل در هر مرحله بایستی قابل کنترل باشد چکش های ثقلی و بیش تر پرس های مکانیکی برای فورج قالب باز مناسب نیستند. چکش های فورج رانشی با فشار هوا یا بخار معمول ترین وسیله برای فورج قالب باز قطعات با وزن تا ۵ تن می باشند. فورج قالب باز قطعات سنگین تر معمولاً به وسیله ی پرس های هیدرولیکی انجام

می شود. تناژ پرس ها با ساختمان بدنه آن ارتباط مستقیم دارد. به طور معمول از نظر شکل کلی و ساختمان بدنه پرس دو نوع پرس بدنه فرد و بدنه زوج در فرایند قالب باز استفاده می شوند.

## ۱-۴-۴ قالب ها

بیش تر فرایندهای فورج قالب باز به وسیله ی یک جفت قالب تخت انجام می شوند. یکی از قالب ها به محور پرس و دیگری به فک ثابت (سندان) متصل می شوند.

قالب های منحنی شکل، V شکل، ترکیب V و تخت در شکل ۱ نشان داده شده است. در برخی موارد فرایند فورج با قالب های تخت و منحنی به صورت ترکیبی انجام می شود.



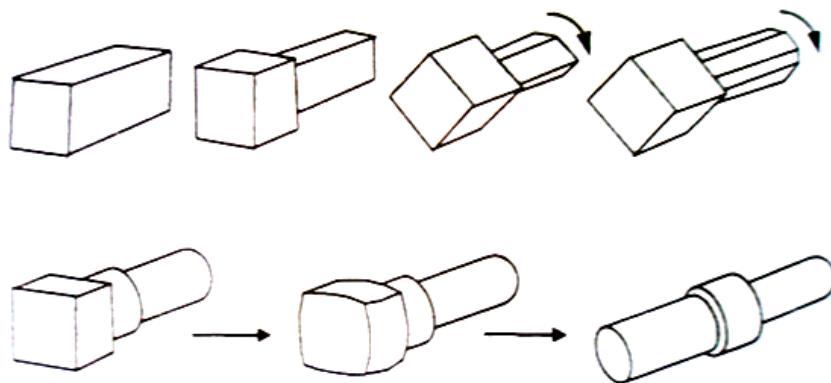
شکل ۱: انواع قالب های باز فورج (ASM,1988)

## ۱-۴-۵ ابزار کمکی

در فرایند فورج قالب باز معمولاً از ابزارهای کمکی مانند ماندول، پایه های زمین شکل، جداکننده ها، ابزار حلقه ای شکل زیرقالبی، فیلرها (پرکننده ها)، سنبه های سوراخ کن و ابزارهای متنوع مخصوص استفاده می شود. به دلیل این که بیش تر ابزارهای کمکی در معرض حرارت زیاد قرار دارند معمولاً آن ها را از جنس فولاد قالب ها می سازند.

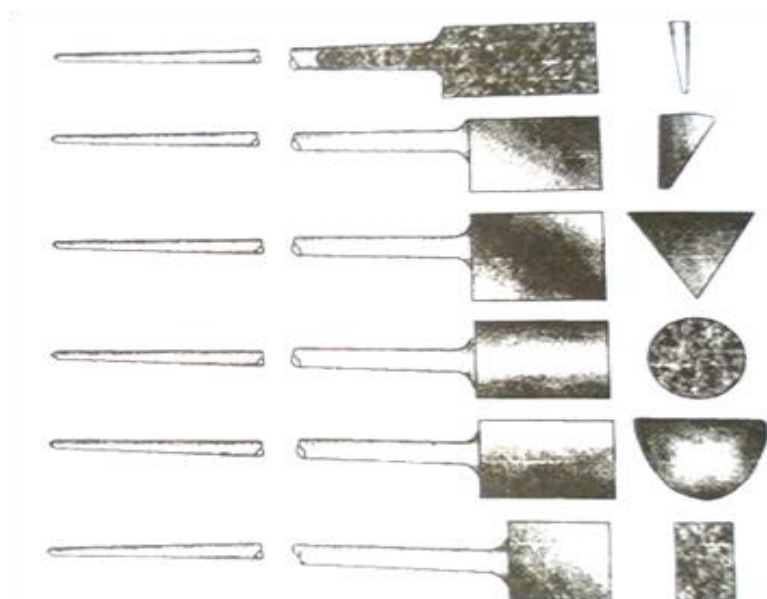
قالب های نازک کاری برای کاهش سطح مقطع و پله ای کردن قطعاتی مانند محورها به کار می روند. در شکل (۲) فرایند نازک کاری یک محور نشان داده شده است. قالب های نازک کاری اغلب به صورت جفت به کار می روند

و در حین شکل دهی قطعه بین آن ها چرخانده می شود. در نتیجه ضربات از زوایای مختلف بر روی قطعه وارد می شوند.



شکل ۲: قطعه فورج با اشکال محور و شفت پله دار

در شکل (۳) برخی از ابزارهای مخصوص برش و شیارزنی قطعه نشان داده شده اند. می توان اغلب شیارهای پیچیده را در عملیات فورج قالب باز به وسیله ی این ابزارها تولید کرد. بسته به نوع و شکل سطح مقطع شیارها می توان گاهی از دو ابزار با اشکال مختلف و یکی پس از دیگری استفاده کرد.



شکل ۳: وسایل و ابزارهای کمکی در فورج قالب باز



## ۱-۴-۶ تجهیزات انتقال قطعه کار

قطعات سنگین که در فورج آنان با قالب بسته ممکن نباشد با فرایند فورج قالب باز ساخته می شوند. انتقال قطعات سنگین در فورج قالب باز بسیار مشکل است. در فورج قالب باز معمولاً قطعات در طول یک سیکل تولید چندین بار جابجا یا چرخانده می شوند.

در اکثر موارد قطعات کوچک با وزن کم تر از ۵۰ کیلوگرم با دست و انبر یا یک بازوی برقی جابجا می شوند. بازوهای برقی معمولاً از سقف آویزان شده اند. قطعات بزرگ تر با وزن حدود ۱۰۰ کیلوگرم معمولاً با جرثقیل برقی و به ندرت با انبر یا لوازم باربری جابجا می شوند. قطعات با وزن بیش تر از ۱۰۰۰ کیلوگرم با جرثقیل بزرگ سقفی یا ستون های باربر متصل به جثقیل های ریلی جابجا می شوند و جرثقیل های ریلی الکتریکی قطعات نیمه فورج شده یا شمشال را وسایل مخصوص بالابرنده به درون کوره های گرم کن و سپس زیر ماشین های فورج انتقال می دهند.

## ۱-۴-۷ اصول تولید

برای برش ماده اولیه در فورج قالب باز معمولاً برش قطعه کار به وسیله اهر سرد انجام می شود. در فرایند اهر کاری شمشال به میزان محاسبه شده (برای تامین وزن مورد نیاز) بریده می شود. در فورج قطعات بزرگ از شمشالای ریخته گری شده استفاده می شود. روش گرم کردن قطعه کار در فرایند فورج قالب باز مانند فورج قالب بسته است.

در فورج قالب باز دمای قالب اهمیت کمتری در مقایسه با فورج قالب بسته دارد. قالب های تخت پیش گرم نمی شوند. قالب های منحنی شکل و V شکل پیش گرم می شوند. پیش گرم کردن قالب معمولاً با نزدیک کردن تختال فولادی داغ به قالب انجام می شود. معمولاً در فرایند فورج با قالب باز قطعات بدون سوراخ به روان کاری نیازی ندارند.

برخلاف فورج قالب بسته که بر روی همه سطح فلز کار مکانیکی انجام می شود در فورج قالب باز تنها بر روی قسمتی از فلز کار مکانیکی انجام می شود. بنابراین در فورج قالب باز نیروی کم تری برای شکل دهی لازم است. در مقایسه با فورج قالب بسته یک چکش معین با قالب باز می تواند قطعه را با وزن و اندازه بزرگ تری تولید کند. در فرایند فورج با قالب باز تنوع زیادی در تجهیزات و ابزار وجود دارد. فورج یک قطعه معین با قالب باز به طور قابل

ملاحظه ای به مهارت اپراتور ارتباط دارد و تعداد مراحل آن از یک کارگاه به کارگاه دیگر تغییر می کند. این تفاوت معمولاً به نوع شکل دهی در هر مرحله ارتباط دارد.

## ۱-۵ فرایند فورج قالب بسته

به شکل دهی فلز داخل فضای حفره ای شل دو نیمه قالب فورج قالب بسته می گویند. با نزدیک شدن قالب ها به هم فلز شکل نهایی حفره بسته شده را می گیرد. فرایند فورج قالب بسته در مقایسه با قالب باز قادر به تولید قطعات پیچیده با تolerانس های دقیق است.

## ۱-۵-۱ تقسیم بندی روش های فورج قالب بسته

فرایند فورج قالب بسته از نظر دقت و کیفیت به انواع زیر گروه های ورج با قالب بسته تقسیم می شود.

الف- فورج با قالب کم دقت نیمه کامل

ب- شکل دهی با قالب نهایی کامل یا فینیشر

پ- فورج با قالب های دقیق اندازه کننده نهایی با تolerانس کم

## ۱-۶ فرایند ساخت قالب های فورج

فرایند ساخت قالب های فورج به نقشه قالب بستگی دارد. مراحل تهیه قالب های فورج به شرح زیر است:

۱- دریافت نقشه قطعه از سفارش دهنده

۲- محاسبه و تهیه نقشه گرم قطعه و قالب

۳- تعیین مراحل شکل دهی

۴- طراحی قالب

۵- انتقال طرح قالب به کارگاه قالب سازی

- ۶- انتخاب بلوک مناسب از فولاد خام گرم کار
- ۷- عملیات خشن کاری بر روی بلوک فولاد خام گرم کار
- ۸- انتقال قالب به کارگاه عملیات حرارتی و حرارت دهی در کوره
- ۹- خروج قالب از کوره، آبکاری و سختی دهی حجمی
- ۱۰- انتقال دوباره قالب به کارگاه قالب سازی
- ۱۱- انجام عملیات پولیش کاری یا ماشین کاری EDM
- ۱۲- انتقال قالب به خط تولید

## ۱-۶-۱ روش ساخت قالب

ساخت قالب های فورج مسیر متفاوتی را در تاریخ صنعت قالب سازی طی کرده است. این سیر تاریخی از روش های سنتی فرزکاری شروع شد و سپس با کاربرد روش های نوین ماشین کاری الکتروفیزیکال توسعه یافت. ولی به دلیل کند بودن ماشین کاری الکتروفیزیکال امروزه از روش های مدرن ابتدا خشن کاری با فرز و سپس ظریف کاری یا پولیش کاری یا ماشین فرز سریع انجام می شود. این ماشین تیغه فرز را با سرعت ۱۰ الی ۵۰ هزار دور در دقیقه روی سطح قالب حرکت می دهد و قادر است با سرعت برشی زیاد مقادیر زیادی از ماده را در کم ترین زمان ماشین کاری کند. سطح ماشین کاری شده در این روش بسیار صاف و صیقلی است. در نتیجه فرایند طراحی و ساخت الکتروود ماشین کاری الکتروفیزیکال حذف می شود و هزینه ساخت قالب و ماشین کاری کاهش می یابد.

روش های ساخت قالب را می توان به سه دسته زیر تقسیم کرد:

### ۱- روش سنتی ساخت قالب فورج

الف) خشن کاری با ماشین فرز معمولی یا کپی تراش هیدرولیکی

ب) ظریف کاری با ماشین فرز یا کپی تراش هیدرولیکی

پ) پولیش کاری با سوهان و سنباده

ت) عملیات حرارتی و آبکاری

ث) پولیش کاری با سنباده

۲- ساخت قالب فورج با ماشین کاری الکتروفیزیکال

الف) خشن کاری با ماشین فرز معمولی، کپی تراش هیدرولیکی یا CNC

ب) ظریف کاری با ماشین فرز معمولی، کپی تراش هیدرولیکی یا CNC

پ) ظریف کاری ثانویه با سوهان و ماشین کاری الکتروفیزیکال

ت) عملیات حرارتی و آبکاری

ث) پولیش کاری با سنباده یا ماشین کاری الکتروفیزیکال

۳- ساخت قالب فورج با روش های مدرن

الف) خشن کاری با ماشین فرز CNC سریع

ب) ظریف کاری با ماشین فرز CNC سریع

پ) عملیات حرارتی و تابکاری

ت) پولیش کاری با سنباده یا ماشین کاری با فرز CNC سریع

پس از فرایند عملیات حرارتی و آبکاری سختی فولاد به مقدار قابل ملاحظه ای افزایش می یابد و ماشین کاری ثانویه با روش های سنتی مقرون به صرفه نیست. گاهی سختی فولاد قالب تا حدود ۴۰ الی ۶۲ راکول C افزایش می یابد. در این شرایط فقط سنگ زنی با فرز CNC سریع و ماشین کاری الکتروفیزیکال امکان پذیر است.