A

ماده شناسی

برمبنای استاندارد درجه یک تراش

کد استاندارد: 34/22/1/2 - 8

تهیه کننده : ناصر رجبی فرد

مرکز آموزش فنی و حرفه ای دزفول

فهرست

عنوان ..... صفحه

شبکه کریستالی فلزات 1

دیاگرام آهن و کربن 3

عملیات حرارتی 5

سخت کردن سطحی 10

عملیات حرارتی شیمیایی فولادها 11

کوره های عملیات حرارتی 15

آزمایش سختی مواد 21

ماده شناسی

عملیات حرارتی فولادها

عملیات حرارتی فولادها به منظور بهینه کردن خواص فولاد و بدست آوردن فلزی با قابلیت های متفاوت می باشد . در عملیات حرارتی خاصیت شیمیایی فولاد ها تغییر نکرده بلکه نظم اتم ها تغییر میکند .
لذا بهتر است قبل از تشریح عملیات حرارتی ، ساختمان داخلی فلزات (شبکه کریستالی فلزات) مورد بررسی قرار گیرد .

شبکه کریستالی فلزات

بطور کلی فلزات مانند تمام مواد دیگر از اتم ها تشکیل شده اند . نحوه قرار گرفتن این اتم ها باعث ایجاد خواص گوناگون در فلزات می شود . هرگاه فلز مذابی به مقدار کافی سرد شود اتم های آن در یک نقش و یا طرح معینی که شبکه فضایی موسم است ، مجتمع می گردد و بدین ترتیب یک جسم منجمد بلوری تشکیل می گردد . مواد غیر فلزی مانند شیشه و سرباره ، گدازه های آتشفشان ها و غیره در حالت جامد دارای نظم و ترتیب مشخص کریستالی نمی باشند که به این مواد **آمورف** یا **بی شکل** گفته می شود .

اکثر فلزات عموماً در سه نوع شبکه فضایی متبلور می شوند :

1 - شبکه مرکزدار

در این شبکه نحوه قرار گرفتن اتم ها تشکیل یک مکعب را می دهند که اتم ها در 8 گوشه مکعب و یک اتم در مرکز آن قرار دارد . این نوع شبکه آهن زیر دمای 911 درجه ، کرم ، ولفرام و وانادیوم دیده می شود .

2 - شبکه مکعبی با سطوح مرکزدار

در این شبکه علاوه بر هر گوشه مکعب یک اتم در وجود دارد ، در مرکز هر کدام از سطوح آن نیز یک اتم قرار می گیرد . این نوع شبکه را در آهن بالای 911 درجه سانتیگراد ، آلومینیم ، مس و نیکل می توان مشاهده نمود .

3 - شبکه منشوری با قاعده شش ضلعی

در این شبکه علاوه بر اینکه در هر گوشه آن یک اتم وجود دارد . در مرکز هر یک از قاعده نیز یک اتم قرار می گیر . این شبکه در فلزاتی مانند روی ، منیزیم و کبالت مشاهده می شود .

چگونگی انجماد فلزات

وقتی فلز مذابی را سرد می کنیم ، نیروی جاذبه آن بین اتم های تشکیل دهنده فلز افزایش می یافته و اتم ها به یکدیگر نزدیک شده و حرکت ارتعاشی آنها نسز کاهش می یابد ، در ادامه سرد شدن ، مذاب به دمای انجماد می رسد و اولین نطفه کریستال های جامد در داخل آن تشکیل می یابد و در امتدادهای معینی رشد می کنند . این امتداد ها در یک جهت نبوده بلکه تمام سطح فلز را فرا می گیرد و رفته رفته کریستال های جامد نقاط مختلف مذاب را تسخیر می کند تا فلز منجمد گردد .

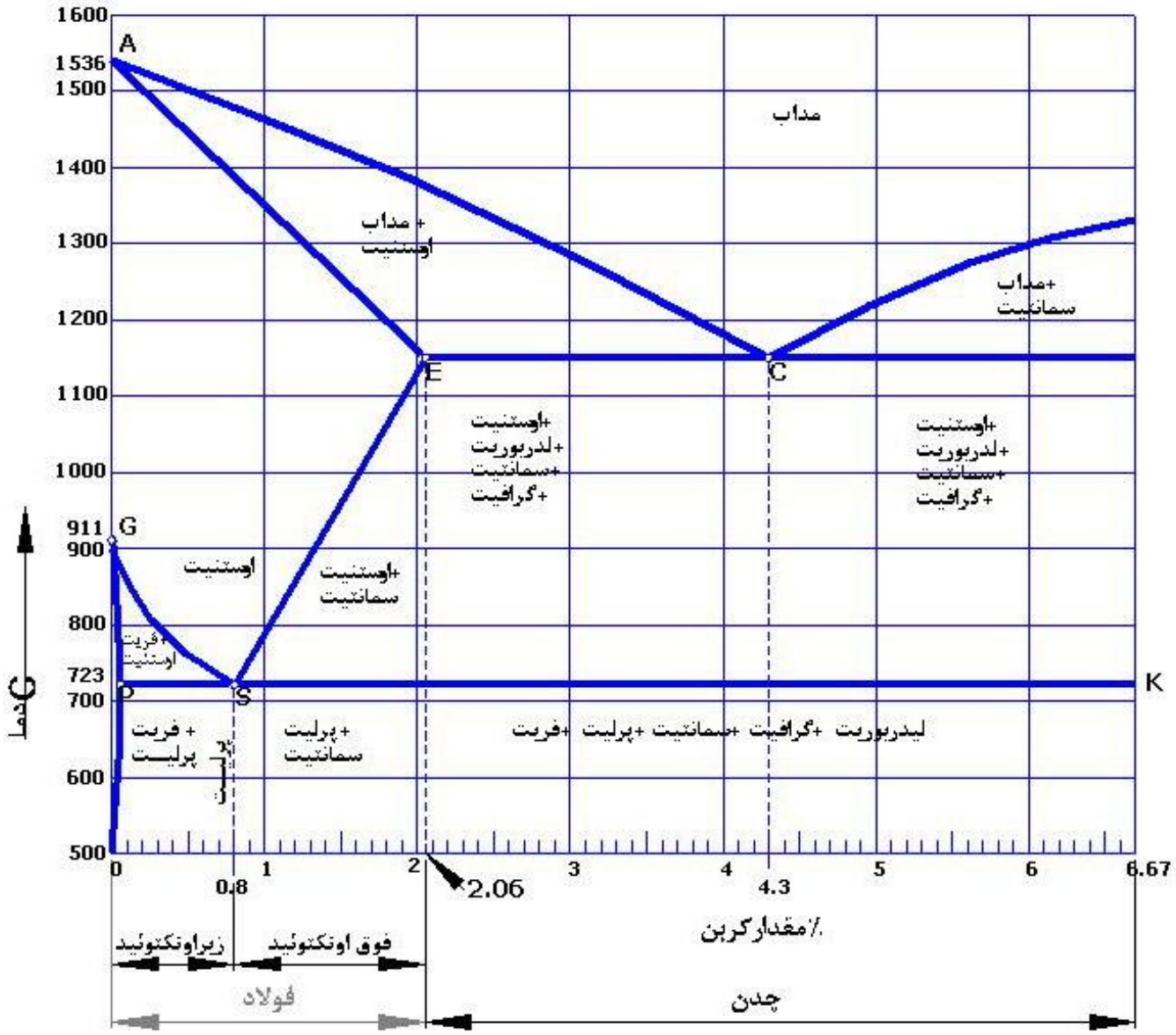
رشد کریستال ها تا بدانجا ادامه می یابد تا به یکدیگر برخورد کرده و در نقاط رشدشان متوقف می شود . این مرز را مرز دانه بندی گویند .

این دانه بندی را می توان پس از پرداخت کاری زیر میکروسکپ مشاهده نمود .

اندازه دانه بندی به سرعت سرد کردن مذاب بستگی داشته و هر چه سرعت سرد کردن بیشتر باشد دانه بندی ریزتری تشکیل می گردد . خواص مکانیکی فلزات تا حد زیادی به اندازه این دانه بندی بستگی داشته و فلزات با دانه بندی ریزتر دارای استحکام بیشتری می باشند .

کریستال بندی فوق در مورد فلزات خالص مصداق داشته و در مورد آلیاژها دانه بندی ممکن است از کریستال های مختلفی تشکیل شده باشد .
برای بررسی بیشتر دیاگرام آهن و کربن و نحوه کریستال بندی آنها در دمای مختلف را مورد بررسی قرار میدهیم .

دیاگرام آهن و کربن



بررسی دیاگرام تعادل آهن و کربن برای اشخاصی که مایل به مطالعه عملیات حرارتی فولادها هستند بسیار حائز اهمیت می باشد . زیرا بوسیله این دیاگرام می توان در دماهای مختلف تغییرات ساختمان درونی فولادها را برحسب درصد کربن آنها مورد مطالعه قرار داد .

اصطلاحات و اسامی معینی برای اشکال مختلف ساختمان درونی فولادها وضع کرده اند که در زیر به تعریف هریک از آنها می پردازیم :

1 - فریت:

دانه بندی بلورین آهن خالص و یا فولادی که تا 0/05 درصد کربن داشته باشد به اسم فریت یا آهن α معرف می باشد . فریت جسمی است نرم ، با سختی 50 تا 100 برینل و استحکام کششی $330\frac{N}{mm^2}$. فریت در زیر میکروسکپ بصورت دانه های چند ضلعی نامنظم به رنگ سفید دیده می شود و نوع شبکه آن به شکل مکعب مرکز دار می باشد .

2 - پرلیت:

اگر مقدار کربن در آهن خالص به تدریج زیاد شود علاوه بر فریت یک عضو متشکله دیگر بصورت خطوط سیاه و سفید (مانند اثر انگشت) دیده می شود .

این لایه ها متناوب از کربور آهن (سمانتیت) و فریت تشکیل شده است که به نام پرلیت معروف می باشند . اسم پرلیت از آنجا ناشی می شود که منظره مقطع میکرسکپی آن به رنگ صدفی و به فرم مروارید می باشد .

اگر مقدار کربن در فولاد 0/8 درصد باشد ساختمان درونی آن تماماً از پرلیت تشکیل گردیده و به نام اوتکتوئید معروف می باشد . سختی پرلیت تا 350 برینل و استحکام آن تا $600\frac{N}{mm^2}$ می باشد.

3 - سمانتیت:

اگر مقدار کربن در فولاد بیش از 0/8 درصد باشد ، ساختمان درونی فولاد را پرلیت تشکیل می دهد و کربن زیادی به شکل شبکه سفیدی دانه های پرلیت را کاملاً احاطه میکنند که به نام سمانتیت (Fe3C) معروف می باشد .

سمانتیت بسیار سخت و شکننده می باشد . هر چه مقدار سمانتیت در شبکه زیاد باشد بهمان اندازه فولاد سخت و شکننده می گردد . سختی سمانتیت 600 برینل و استحکام کششی آن $350\frac{N}{mm^2}$ می باشد .

4 - اوستنیت:

وقتی فولاد با 0/8 درصد کربن را گرم می کنیم در 723 درجه سانتیگراد ساختمان شبکه کریستالی آن تغییر پیدا کرده و شبکه مکعبی مرکزدار آن (آهن γ) تبدیل می شود . در این حالت یک اتم کربن در وسط شبکه محبوس گردیده و به اصطلاح در آن حل می شود . این حالت را در اصطلاح متالورژی ((محلول جامد)) کربن در آهن و یا اوستنیت گویند .

آهن با بیشتر از 2/06 درصد کربن چدن نام دارد . در چدن ، کربن در موقع انجماد بصورت گرافیت دیده می شود که به فرم مطبق (طبقه – طبقه) خود را نشان می دهد .

5 - لدربوریت :

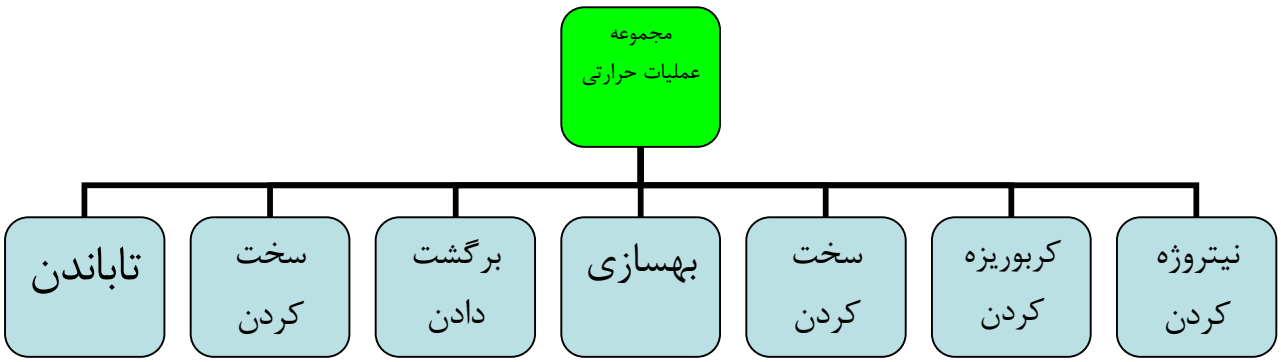
آهن با بیش از 4/3 درصد کربن دارای نقطه ذوب 1150 درجه سانتیگراد بوده و شبکه ای را تشکیل می دهد که به نام لدربوریت معرف می باشد .

عملیات حرارتی

امروزه عملیات حرارتی در صنعت ، نقش حساسی را بعهده داشته و عملاً تمام فولاد ها برای بهتر شدن خواص شان تحت تأثیر عملیات حرارتی قرار می گیرد .
عملیات حرارتی عبارت است از گرمادهی به فلز دراثنای چرخهٔ معین دما – زمان و از سه مرحله تشکیل می شود :

1 - گرمادهی به فولاد تا دمای معین
2 - نگاه داشتن در آن دما در مدتی معین به منظور همگن کردن دمای آن
3 - سرد کردن فولاد با نرخ معین

در زیر مجموعه عملیات حرارتی را مشاهده می نمائید :



الف) تاباندن (آنیلینگ):

منظور از تاباندن گرم کردن بطئی (تا مرکز درونی قطعه) تا دمای معین و نگهداشتن آن در دمای مذکور تا زمان معین و خنک کردن بطئی آن (معمولاً در کوره در بسته) تا دمای محیط می باشد .

عملیات تاباندن برای رسیدن به اهداف زیر اعمال می شود .

1 - رهایی از تنش های داخلی

در اثر ریخته گری ، نوردکاری ، آهنگری و جوشکاری و یا تغییر فرم توسط براده برداری زیاد ، تنش هایی در داخل قطعه بوجود آمده و خاصیت پلاستیکی و استحکام آنرا پایین می آورد .
برای رهایی از این تنش ها قطعه کار را از 550 تا 650 درجه سانتیگراد گرم کرده و به مدت 1 تا 2 ساعت در این دما نگهداشته و سپس به آرامی خنک می کنند .

2 - یکنواخت و همگن نمودن دانه بندی

در مواردی که قطعه کار در حالت سرد تغییر فرم پیدا می کند ، یا فرم دانه بندی آن تغییر می یابد ، در این حالت قطعه کار برای فرم دادن بعدی آمادگی نداشته و لازم است که دانه بندی آن به فرم اولیه خود باز گردد.
برای این منظور فولاد را 550 تا 650 درجه سانتیگراد گرم کرده و در حدود یک ساخت در این دما نگهداشته و سپس به ملایمت خنک می نمایند .

3 - نرم کردن فولاد

دراین حالت قطعه کار بیشترین نرمی ممکنه را بدست آورده و عملیاتی مانند خمکاری ، چکشکاری و براده برداری راحت تر روی آن انجام میگیرد . برای این منظور فولاد را بسته به مقدار کربن آن از 680 تا 700 درجه سانتیگراد گرم کرده و پس از نگهداشتن مدتی طولانی در دمای مذکور آن را بطور بطئی خنک می نمایند .

4 - نرمالیزه کردن

این روش را وقتی بکار می برند که لازم باشد ساختمان دانه بندی فولاد را در اثر نوردکاری ، کوره کاری ، ریخته گری و یا در اثر گداختن درشت دانه شده و یا دانه های نا مساوی پیدا کرده و به حالت اولیه برگردانند .
برای این منظور آنرا تا دما کمی بالاتر از خط GSE (دیاگرام آهن – کربن) حرارت می دهند . زمان گداختن بایستی کوتاه و فقط تا گرم شدن کامل قطعه کار ادامه پیدا کند .

ب) سخت کردن

سخت کردن عبارت است از گرم کردن فولاد تا دمای معین و نگهداشتن آن دتا زمان مشخص در دمای سخت کاری و سرد کردن سیع و ناگهانی آن .

گرم کردن :

گرم کردن فولاد به منظور سخت کاری در دو مرحله انجام میگیرد . در مرحله اول فولاد را به آرامی تا حدود 700 درجه سانتیگراد گرم می کنند تا بدینوسیله اختلاف دمای زیاد در قطعه کار ایجاد تنش نکرده و در موقع سرد کردن ناگهانی بوجود آمدن ترک های ریز جلوگیری شود . در مرحله دوم فولاد را بطور سریع تا دمای سخت کاری گرم می کنند . بدین ترتیب از فرار کربن سطحی و تشکیل دانه بندی درشت پیش گیری می شود .

دمای سخت کاری فولادها معمولاً درحدود 20 تا 60 درجه سانتیگراد بالاتر ازخط GSK (درجه حرارت بحرانی) دیاگرام آهن و کربن می باشد . در این دما با اطمینان بیشتر پرلیت به اوستنیت تبدیل می گردد .

تغییرات دانه بندی در اثر گرما بدین ترتیب انجام می گیرد که شبکه مکعبی مرکزدار فریت تبدیل به شبکه مکعبی سطوح مرکزدار اوستنیت گردیده و بدین وسیله مرکز مکعب از اتم آهن آزاد و اتم کربن جایگزین آن می گردد .

این اتم های کربن در دمای پایین در سمانتیت لایه ای پرلیت قرار داشته و خودشان را در مکعب سطوح مرکزدار اوستنیت حل می کنند . در نتیجه در شبکه ، سمانتیت های لایه ای از بین می روند .

توقف در دمای سخت کاری

برای آنکه تمام مقطع قطعه کار به شبکه اوستنیتی تبدیل شود لازم است که قطعه کار به مدت معینی در دمای سخت کاری نگهداشته شود .

سرد کردن سریع و ناگهانی

عبارت است از سرد کردن قطعه کار گرم شده و با سرعت زیاد . این عمل بوسیله غوطه ور کردن در آب یا روغن و همچنین دمیدن هوا انجام می گیرد .

تحول در شبکه بندی فولاد در موقع سخت کردن

وقتی شبکه اوستنیتی را بطور آهسته خنک می کنیم ، روی خط PSK دیاگرام آهن و کربن ، شبکه مکعبی با سطوح مرکزدار اوستنیت به شبکه مکعبی مرکزدار فریت تبدیل می شود .

در این موقع کربن جدا شده ، بدلیل سرد کردن آهسته زمان کافی خواهد داشت تا با آهن ترکیب شده و بصورت سمانتیت لایه ای بین فریت قرار گرفته و تشکیل شبکه پرلیت دهد.
وقتی عمل سرد کردن با سرعت انجام می گیرد ، در این حالت کربن جدا شده وقت کافی نخواهد داشت تا تشکیل سمانتیت دهد ، بلکه شبکه کریستالی ا به سمت تشکیل یک شبکه سوزنی ریزی که بسیار سخت می باشد سوق می دهد . این شبکه را مارتنزیت گویند .

تأثیر عناصر آلیاژی

با اضافه کردن عناصر آلیاژی به فولاد ، تحولات شبکه ای در موقع سخت کردن با شدت بیشتری انجام می گیرد. معمولاً عناصری مانند کرم ، وانادیوم ، منگنز و نیکل سرعت خنگ کاری برای تشکیل مارتنزیت را کاهش می دهند . یعنی در خنک کاری بطئی نیز امکان تشکیل شبکه سخت وجود خواهد داشت . بنابراین فولادهای آلیاژی به ماده خنک کاری خیلی سرد نیاز نداشته و می توان آنها را در روغن نیز سرد نمود .
در فولادهای پر آلیاژ می توان با خنک کردن در آب نیز به شبکه مارتنزیتی رسید . فولادهای سخت شده در روغن سختی بیشتری نسبت به فولادهای سخت شده در آب خواهند داشت و رد فولادهای سخت شده در هوا تمام مقطع فولاد سخت خواهد شد .

معمولاً فولادهای غیر آلیاژی را در آب ، فولادهای کم آلیاژ را در روغن و فولادهای پر آلیاژ را در هوا خنک می کنند .

مواد خنک کاری

سرعت سرد کردن را می توان با استفاده از مایع خنک کاری مختلف تنظیم نمود . آب یک مایع خنک کننده سریعی به حساب می آید . دمای آب در این حالت معمولاً بایستی در حدود 20 درجه سانتیگراد باشد . اضافه کردن نمک به آب تأثیر خنک کاری را بالا برده و از خطر چسبیدن حباب های بخار به فولاد و در نتیجه پدید آمدن نقاط نرم می کاهد . اضافه کردن اسیدها و یا روغن ها تأتیر سخت کاری را کم کرده و اثر نا مطلوبی در سخت کاری دارند .
روغن ها خاصیت خنک کاری ملایم تری نسبت به آب دارند . برای این منظور معمولاً از روغن های معدنی استفاده می کنند . هوای جریان یافته تأثیر خنک کنندگی کمی را بعهده دارد . انتخاب مواد خنک کاری به ترکیب فولاد ، شکل قطعه کار و اندازه آن بستگی دارد .

ج) برگشت دادن و کهنه کردن

یک فولاد سخت شده نه تنها خیلی سخت است بلکه بدلیل وجود شبکه ماتنزیتی و تنش های محبوس شده خیلی هم شکننده می باشد . بهمین دلیل ضمن بارگذاری می تواند براحتی شکسته شود . بوسیله عمل برگشت و کهنه کردن ، تنش و همچنین شکنندگی فولاد از بین می رود .

برگشت دادن

حرارت دادن فولاد سخت شده تا دما برگشت و نکهداشتن آن در همان دما بمدت معین و سرد کردن سریع و یا تدریجی آن را برگشت دادن گویند . در اثر برگشت سختی فولاد کم شده ، تنش های محبوس شده و شکنندگی آن از بین رفته و فولاد سمج می شود .
در برگشت دادن ابزارهای ساخته شده از فولاد های ابزارسازی غیرآلیاژی آنها را تا دمای 200 تا 350 درجه سانتیگراد مجدداً گرم کرده و پس از نگهداری به مدت معین در همان دما ، آنها را در هوا یا آب خنک می کنند.
لازم به تذکر است که دمای برگشت فولادهای آلیاژی تا 600 درجه سانتیگراد می باشد .
برای گرم کردن می توان از حمام های نمک ، صفحه یا درن گداخته و همچنین شعله مواد سوختنی کمک گرفت .

کهنه کردن

شکنندگی قطعات سخت شده و همچنین تنش های محبوس شده در داخل قطعات را می توان با روش کهنه کردن کاهش داد . در این حالت تنش های داخلی گرفته می شود بدون اینکه از سختی آنها کاسته شود .

کهنه کردن طبیعی در یک مدت زمان طولانی در دمای محیط انجام می گیرد . برای این منظور لازم است قطعات ساخته شده و سخت شده (مانند راپورتر) را تا 12 ماه انبار کرده و سپس با روش سنگ زنی ظریف به اندازه نهائی در آورد .

در کهنه کردن مصنوعی ، عمل تنش زدایی در زمان کوتاه تر (200 ساعت) توسط گرم کردن در دمای 100 تا 150 درجه سانتیگراد انجام می شود

د) بهسازی

سخت کردن فولاد توأم با برگشت در دمای بالا را بهسازی گویند . بدین وسیله سماجت فولاد زیاد شده و استحکام آن نیز بالا می رود . برای این منظور فولاد را در 820 تا 900 درجه سانتیگراد سخت کرده و سپس در دمای 530 تا 670 درجه سانتیگراد می دهند .

در اثر بهسازی می توان استحکام کششی را در فولاد های غیر آلیاژی تا $1000\frac{N}{mm^2}$ و در فولادهای آلیاژی تا $1400\frac{N}{mm^2}$رساند .

قطعاتی از ماشین ها که تحت تأثیر تنش های زیاد قرار می گیرند (مانند محورها ، میل لنگ ها و دسته پیستون ها) بهسازی می شوند .

سخت کردن سطحی

در این روش قطعه کار بطور سریع گرم می کنند که فقط سطح قطعه کار به دمای سخت کاری برسد . سپس آن را سریعاً سرد می کنند . این روش در مواردی بکار می رود که از قطعه کار سماجت زیاد ، سختی متوسط و مقاومت سایشی رضایت بخشی انتظار می رود .

فولاد های آلیاژی و غیر آلیاژی 0/2 تا 0/3 درصد کربن برای سخت کاری سطحی بکار میروند .

برای گرم کردن قطعه کار در این روش می توان از شعله مواد سوختنی و یا حرارت دادن القائی کمک گرفت .

سخت کردن سطحی القائی

در این روش گرما توسط جریان برق با فرکانس زیاد از طریق القا کننده ای (اندوکتور) به سطح قطعه کار می رسد . خاصیت جریان فرکانس زیاد این است که حرارت حاصله بیشتر در سطح قطعه کار جاری شده و کمتر در عمق نفوذ میکند .

در سخت کاری القائی ، قطعه کار در داخل میدان مغناطیسی القا کننده قرار می گرفته و گرم می شود . سپس بوسیله آبی از القا کننده پاشیده می شود و یا بوسیله حمام روغن خنک می گردد . برای گرم شدن یکنواخت بهتر است قطعه کار حرکت دورانی داشته باشد .

در سخت کاری سطحی قطعات استوانه ای بلند علاوه بر حرکت دورانی قطعه کار ، القا کننده نیز بایستی دارای حرکت طولی باشد . در این روش معمولاً آب توسط حلقه ای که به دنبال القا کننده در حرکت است بر روی قطعه کار پاشیده می شود .

مورد مصرف سخت کردن سطحی القائی در محورها ، چرخ دنده ها ، بادامک ها ، راهنماهای ماشین های ابزار و نوردها می باشد .

عملیات حرارتی شیمیایی فولادها

در این عملیات سطح خارجی قطعه کـار توسـط عناصـر و یـا ترکیبـات شـیمیایی مشخصـی در دمـای بـالا اشـباع می شود . بدین وسیله ساختمان شبکه بندی فولاد در سطح خارجی تغییر یافته و به قطعـه کـار خـواص مخصـوص داده و آن را برای کاربردهای گوناگون مناسب می سازد .

عملیات حرارتی شیمیایی را می توان به روش های زیر تقسیم بندی نمود :

الف) کربورنیزه کردن (سمانته کردن)

کربونیزه کردن عبارت است از اشباع سطح خارجی قطعه فولادی با کربن . عمل کربن دادن توسط یک مـاده کـربن زا انجام می شود. مواد کربن زا می تواند بصورت جامد ، مایع و گازی باشد .

1)کربورنیزه کردن جامد :

در این روش مواد کبرن زا را که مخلوطی از پودر زغال ، کربنات باریم ، کربنات کلسیم می باشد داخل جعبـه هـائی از جنس فولاد نسوز ریخته و قطعات فولادی را در داخل آن ها قرار مـی دهنـد . سـپس در جعبـه را بسـته و بـرای جلوگیری از ورود هوا و گازهای دیگر درزهای آن را توسط گل و یا خمیر نسوز مسدود می نمایند .

این جعبه ها در داخل کوره قرار داده شده و بسـته بـه عمـق نفـوذ کـربن آن هـا را در دمـای 880 تـا 930 درجـه سانتیگراد تازمان مشخصی حرارت می دهند .

عمق نفوذ کربن به زمان گداختن بستگی دارد و در مـدت 1 تـا 10 سـاعت مقـدار آن بـین 0/15 تـا 1/8 میلیمتـر خواهد بود .

لازم به تذکر است که عمل کربونیزه کردن معمولاً با آب دادن توأم بوده و لازم است قطعات کربن داده شده را پـس از گرم کردن مجدد در آب یا روغن سخت نموده و در دمای 150 تا 200 درجه سانتی گراد برگشت داد .

2)کربورنیزه کردن گازی

در این روش قطعات فولادی را در داخل کوره الکتریکی قرار داده ، سپس گاز کربن زا (گاز شهری یا منو اکسید کربن) را از داخل کوره عبور می دهند . دمای لازم 850 تا 900 درجه سانتیگراد بوده و قطعات را از 6 تا 10 ساعت در این دما نگهداری می کنند . در این دما کربن موجود در گاز آزاد و با آهن ترکیب شده و تولید سمانتیت می کنند.

3)کربوریزه کردن مایع

در این روش قطعات فولادی را در حمام نمک ها مذاب که دمای آن در حدود 850 تا 930 درجه سانتیگراد می باشد غوطه ور می کنند و به مدت 40 تا 50 دقیقه در آن نگه می دارند.
در این مدت کربن تا عمق 0/5 میلیمتر در سطح فولاد نفوذ می کند . از مزایای این روش می توان زمان کوتاه ، یکنواخت حرارت دیدن قطعه ، درشت دانه نبودن و عدم کربن سوزی را نام برد .
مناسب ترین ترکیبی که بعنوان مواد کربن زا می توان بکار برد عبارتند از مخلوطی از نمک های کربنات سدیم و کلرید سدیم و کاربید سیلیسیم.

ب) نیتروژه کردن (ازت دادن)

نیتروژه کردن عبارت است از اشباع سطح فولاد با نیتروژن (ازت).

این عمل در اتمسفر گاز آمونیم و در دمای حدود 480 تا 650 درجه سانتیگراد انجام می شود . در این روش ازت در سطح قطعه فولادی نفوذ کرده و رد صورتیکه فولاد عناصر آلیاژی دیگری مانند کرم ، آلومینیم و مولیبدن داشته باشد یک ترکیب ظریف به نام نیتریت آهن را بدست می دهد که بسیار سخت می باشد . عمق نفوذ ازت در این حالت معمولاً 0/2 تا 0/4 میلیمتر می باشد .

لازم به تذکر است که بعد از عمل ازت دادن ، آب دادن لزومی ندارد زیرا در اثر تیروژه کردن قطعه کار ، سختی لازم را بدست می آورد . سختی حاصل از نیتروژه کردن تا دمای بالاتر از 500 درجه سانتیگراد محفوظ می ماند .

عمل نیتروژه کردن در مورد قطعاتی بکار می رود که در دمای زیادی کار کرده و مقاومت در مقابل سایش و همچنین خورندگی از آنها انتظار میرود : مانند بوش سیلندر ها ، چرخ دنده پمپ ها ، بادامک ها و پاره ای از قالب ها .

برای نیتروژه کردن از دو روش استفاده می کنند :

1) نیتروژه کردن مایع

در این روش قطعات را در حمام نمک سیانور در دمای 500 تا 550 درجه سانتی گراد گرم کرده و به مدت 10 تا 90 دقیقه نگه می دارند . سپس آنرا در هوا خنک نموده و با آب می شویند.

2) نیتروژه کردن گازی

در این روش قطعات را در یک کوره که در مقابل خروج گاز آبندی شده است ، 500 تا 520 درجه سانتی گراد و در اتمسفر گاز آمونیاک به مدت12 تا 96 ساعت حرارت می دهند .

توجه : نمک سیانور حتی به اندازه کم نیز خطر مرگ به همراه دارد .

ج) کربونیتروژه کردن

کربونیتروژه کردن عبارت از روشی است که در آن کربن و ازت متفقاً به سطح فولاد نفوذ داده می شود که به نام سیانور دادن نیز معروف است . این روش معمولاً در مورد قطعات با اندازه های کوچک و متوسط مانند چرخ دنده ها ، پیستون ها ، محورهای کوچک ، پین ها ، خارها و پیچ و مهره ها انجام می گیرد .

عمل کربونیتروژه کردن در مورد فولادهای غیر آلیاژی در دمای زیاد 850 تا 900 درجه سانتی گراد و در مورد فولادهای آلیاژی در دمای کم 540 تا 560 درجه سانتی گراد انجام می گیرد .

برای عمل کربونیتروژه کردن از دوروش استفاده می شود :

1) کربونیتروژه کردن مایع

در این روش از حمام نمک سیانور استفاده می شده و برای سرعت عمل بیشتر به داخل حمام هوا دمیده می شود . دمای حمام 550 تا 850 درجه سانتی گراد می باشد . زمان نگهداری در حمام بین 90 تا 180 دقیقه بوده و عمق کربن و ازت بستگی به زمان نگهداری و همچنین ترکیب فولاد دارد ولی در هر صورت کم عمق تر از کربوریزه کردن می باشد .

2)کربونیتروژه کردن گازی

این روش نیز مانند کربوریزه کردن گازی در یک کوره آب بندی شده در مقابل خروج گاز انجام مـی گیـرد و بـه عنوان گاز مصرفی مخلوطی از گاز منواکسید کربن CO و آمونیاک NH3 بکار برده می شود .

لازم به تذکر است قطعات کربونیترژه شده احتیاج به آبکاری دارند .

کوره ها ی عملیات حرارتی

برای اجرای عملیات حرارتی بر روی فلزات آهنی و غیر آهنی انواع گوناگونی از کوره ها طراحی شده است . انـدازه و شکل قطعات ، حجم فراوری ، نوع عملیات مورد نیاز و نیز ملاحظات اقتصادی و کارآیی همه عواملی هسـتند کـه در انتخاب کوره عملیات حرارتی بایستی مورد توجه قرار گیرند .
به طور کلی کوره های عملیات حرارتی را می توان برحسب موارد زیر طبقه بندی کرد :

1 - منبع حرارتی که می توان گازی ، نفتی و یا برقی باشد .
2 - روش اعمال حرارت همچون فاسوز ، فروسوز ، بازیافتی و همرفتی اجباری
3 - روش مهار حرارت همچون دستی یا خودکار
4 - محافظت قطعه کار همچون نوع تنظیم هوای کوره
5 - روال عملیات پیوسته

انواع کوره ها

کوره ها را براساس کاربرد یا وظایف ویژه در انواع همچون تند سوز ، پیشران ، اجاق گَرد ، بوته گـرد نوسـانی ، چالـه ای ، پاتیلی ، جعبه ای ، ابزاری ، هوابازپختی ، پُردمای پیوسته و کربن خورانی طراحی می شوند .
کوره ها براساس بیشینهٔ دمایی که برای آن طراحی شده اند طبقه بندی می شوند .

1 - پایین ($300°C$ **یا** $600°F$)
2 - متوسط ($650°C$ **یا** $1200°F$)
3 - بالا ($1000°C$ **یا** $1800°F$)
4 - بسیاربالا ($1400°C$ **یا** $2600°F$)

هر خط فرآوری ساده ممکن است از چهار کوره تشکیل شده باشد . این کوره ها بـه ترتیـب کـاربرد عبارتند از :

1 - پیش گرم
2 - پس گرم
3 - سرمادهی
4 - تاباندن یا آب گرفتن (فلز) و باز پخت یا دما کاری

کوره های گاز سوز

این کوره ها اساساً دارای بدنه یا پوسته اصلی محکمی استوار بر پایه هـای چـدنی هسـتند و نـاودانی هـای فـولادی سنگین زیر بدنهٔ آنها برای پیشگیری از شکم انداختن کوره بکار می رود . بسـیاری از کـوره هـا دارای دری بـا وزنـه تعادل و ساز و کار بالا بر هستند . بسته به ابعاد کوره دیواره های درونی آنها از آجر نسوز 120 تـا 130 میلیمتـری و لایهٔ پشت آجر از عایق تشکیل می شود . اجاق کوره از انواع گل نسوز پیش پخته یکنواخت ساخته می شود .

مشعل ها درست به گونه ای در کوره گذارده می شوند که آتش بدون آنکه به دیوارهٔ آجری نسوز یا قطعه کـار بتابـد در زیر اجاق برافروخته می شود .این گونه نصب مشعل برای عملیات حرارتی فولادهای کم کربن بکار می رود .

برای دماهای بسیار بالا مشعلی در زیر اجاق و مشعل دیگری درست در طرف مقابل آن رو به سـقف یـا گنبـد کـوره گذارده می شود . این گونه آرایش مشعل موجب می شود تا فراورده های داغ سوخت به گـردش در آینـد و گرمـای آن را یکنواخت و زود منتقل کنند . مزیت دیگر این گونه آرایش پیشگیری از گرم شدن بیش از اندازه اجـاق اسـت . دمای کار این کوره بسته به نوع مشعل به کـار رفتـه از 850 تـا 1300 درجـهٔ سـانتیگراد (1600 تـا 2400 درجـهٔ فارنهایت) متغیر است .

کوره های برقی

گرمای کوره های عملیات حرارتی را می توان با برق هم تأمین کرد . این روش سـاده اسـت و بـه دود کـش نیـازی ندارد ، دقیقتر تنظیم می شود و در بعضی از موارد می تواند گرمای بیشتری هم تولید کند .

کوره های برقی را می توان در چهار دسته طبقه بندی کرد :

1- المان باز (المان حرارتی در معرض هوای کوره)
2- المان بسته (المان حرارتی در دیواره یا کف اتاقک حرارتی)
3- نوع شناور (المان حرارتی از نوع مقاومتی عایق شده و شناور در حمـام مـذاب بـا دمـای معمـولاً ($600°C$ یا $1200°F$)
4- نوع قطبی (الکترودی) قطب ها در نمک رسانای برق آویخته شده باشند و جریان برق بـرای گـذر از یـک قطب به قطب دیگر از درون نمک عبور می کند .این کوره دارای این مزیـت هـم هسـت کـه جریـان بـرق موجب گردش نمک و در نتیجه یکنواختی دمای کوره می شود .

کوره های چاله ای

کوره های عمودی نوع چاله ای برای گرما دهی به قطعات بلند و باریک به کار می روند . این کوره ها در کف کارگاه به صورت حفره ای با درپوش چرخان که برای باز کردن کوره به کار می رود ساخته می شوند .
با آویختن قطعات بلند به صورت عمودی از تاب برداشتن آنها جلوگیری می شود . از کوره های چاله ای می توان برای اجرای عملیات حرارتی قطعات کوچک هم استفاده کرد ، بدین منظور قطعات کوچک در سبدی چیده و سبد در کوره گذارده می شود . کوره های چاله ای را می توان با گاز ، نفت یا جریان برق گرم کرد .

کوره های سخت سازی پاتیلی

کوره های پاتیلی برای گرمادهی نا سرراست طراحی می شوند . در این کوره ها قطعه در محیط مایع انتقال دهندهٔ حرارت گذارده می شود .
این روش همان روش شناوری برای اجرای عملیات حرارتی قطعات کوچک است . روش شناوری برای سخت سازی سربی ، کربن خورانی مایعی ، نیتروژن خورانی مایعی ، تاباندن یا گرم کاری دوباره و باز دمایی بکار می رود .
امروزهٔ کوره پاتیلی به عنوان ابزار معمول تولید صنعتی شناخته می شود زیرا ساده ، پاکیزه ، دقیق ، اقتصادی و سریع است و کمتر موجب تابیدگی قطعه می شود و قطعه را زنگاربند نمی کند .

کوره های پاتیلی را در سه نوع گازی ، نفتی و برقی می سازند . اجزای اصلی این کوره ها عبارتند از :

1 - کوره
2 - پاتیل
3 - مجرای تخلیه
4 - دودکش

خود کوره پوسته ای گرد یا چهار پهلو با پوشش عایق نسوز درونی است . تکیه گاه پاتیل پایه ای چدنی است . مجرای تخلیه برای توقف اتفاقی کارپاتیل بکار می رود و درِ آن با توپی آب بندی می شود تا در هنگام کار کوره هوا وارد اتاقک سوخت نشود .
کلاهک فولادی در هنگام کارِ کوره با سرب ، سیانید یا نمک های مذاب مورد نیاز است تا از ورود دودهای مضر و خطر ناک به محیط جلوگیر شود . دسترسی به درون کوره برای بارگیری و تخلیهٔ آن از راه دریچه های لولایی تأمین می شود .
هرگاه از نوع گاز سوز یا نفت سوز باشد مشعل های آن به گونه ای نصب می شوند که از راه دالان های به دقت شکل داده شده به گونه ای مماسی به اتاقک احتراق برسد .
این کار از برخود شعله با پاتیل جلوگیری می کند و موجب مخلوط شدن همهٔ گازهای احتراق و تأمین گرمای یکنواخت می شود . مشعل ها ، هواکش ها و روزنه های ویژهٔ افروختن مشعل ها برای انجام خدمات ضروری در جای

مناسب نصب و پیش بینی می شوند. برای عملیات سخت سازی مشعل هایی به کار می رود که ظرفیت آنها تا 900 درجه سانتی گراد ($1650F^\circ$) باشد . برای عملیات باز پخت در دماهای پایینی در حد 180 درجه سانتی گراد ($350F^\circ$) همان کوره همراه با تجهیزات تأمین گاز با فشار پایین و دو مخلوط کنندهٔ نسبی که تنها یکی از آنها برای دماهای پایین لازم است بکار می رود .

در کوره هایی که مجهز به تجهیزات تأمین گاز پرفشار باشند تجهیزات دیگری برای کاهش فشار گاز لازم نیست زیرا هریک از مشعل ها را می توان به تنهایی قطع و وصل کرد . در ساختمان کوره پاتیلی برقی المان حرارتی کوره از مارپیچ پیوستهٔ یک پارچه ساخته شده از میلهٔ کرم نیکلی بس سنگین و بسته به ابعاد کوره به شکل گرد یا چهار پر استفاده شده است .المان حرارتی که از نظر شکل و فاصله حلقه ها دارای دقت بسیار است به گونه ای گرداگرد جدارهٔ سفالی اتاقک نصب می شود که گرمای آن به طور یکنواخت در کوره پخش شود . اندازه و طول بزرگتر سیم پیچ برای دمای معین حمام موجب پایین آمدن توان مصرفی و دمای سیم پیچ می شود .

پایانه های المان حرارتی میله های ضخیمی از همان جنس هستند که از میان لوله هایی گذرانده و به بیرون هدایت می شوند که برای جلوگیری از اتلاف گرما و ایجاد مدار کوتاه پر از پنبهٔ نسوز شده باشند . برای اتصال الملن به منبع برق از تبدیل های برنزی بدون لحیم استفاده می شود .

بسیاری از کوره های پاتیلی در صنعت از نوع برقی هستند . برای گرم کردن حمام و ثابت نگهداشتن گرمای آن در دمای دلخواه بین 180 تا 1300 درجه سانتی گراد (350 تا 2350 درجهٔ فارنهایت) از مقاومت حمام در برابر جریان برق استفاده می شود .این نوع کوره بسیار کار آمد و دارای ابعادم متوسط و از نظر حمل و نقل بسیار مناسب است .
مهار و تنظیم آن به دقت انجام می شود و هزینهٔ تعمیر و نگهداری آن بسیار اندک است . بسیار مناسب برای اجرای عملیات حرارتی فولادهای تندبر و برای دماهای بالاتر میتوان از پاتیل های سرامیکی استفاده کرد .

علت اصلی افزایش استفاده از کوره های قطبی (الکترودی) گسترش کاربرد حمام های نمک در صنعت کوره هاست .

در این کوره ها تابیدگی قطعه به آسانی مهار می شود . حمام نمک دست کم یک چهارم وزن قطعه را تحمل می کند . با پیش گرم کردن حمام نمک تنش های شکل دهی یا ماشن کاری برطرف می شود .

حمام های نمک در سه نوع طبقه بندی می شوند :

1 - نمک های خنثی

2 - نمک های نیترات

3 - نمک ها مقاوم سیانید

حمام نمک خنثی محیط حرارتی مذابی فراهم می آورد که نسبت به قطعه کار خنثی است . فرایند عملیات حرارتی خنثی تنها برای تغییر خواص فیزیکی فلز ابداع شده است .ترکیب نمک در این حمام به گونه ای است که بر ترکیب شیمیایی قطعه کار اثر نمی گذارد و حین اجرای عملیات حرارتی حفظت بیشتری برای فلز فراهم می کند .

از حمام نیترات اصولاً برای گرمادهی در دماهای 150 تا 600 درجه سانتی گراد (350 تا 1100 درجه فارنهایت) استفاده می شود . کابرد این حمام ثابت نگهداشتن خواص فیزیکی فلز یا فراهم ساختن امکان گذار ساختمان مولکولی آن به ریز ساختاری خاص در طی دورهٔ سردسازی است . این حمام برای از بین بردن تابیدگی و نیز ترک های ناشی از سرد کردن سریع قطعه کار بسیار کرآمد است . همچنین برای اجرای فرایند عملیات حرارتی بر روی قطعات پرداخت شده ای که ابعاد آنها باید بطور دقیق حفظ شود بسیار مناسب است .

حمام های نمک سیانیده یرای اجرای عملیات حرارتی و سخت سازی سطحی فلزات آهنی بکار می رود . این حمام ها را میتوان برای برافزودن کربن فولادهای کم کربن به کار برد تا بدین ترتیب سطح فلز سخت گردد و بتواند در عین اینکه مغز نرم آن موجب چقرمگی ، چکش خواری و مقاومت بیشتر کل قطعه می شود ، در برابر سایش و فرسایش هم مقاومت کند .

عمق پوسته سخت را می توان براساس ضرورت های قطعه کار تغییر داد . نیتریده کردن که فرایند خاصی از این دسته عملیات است در دماهای نسبتاً پایین (بین 500 تا 650 درجه سانتی گراد یا 950 تا 1200 درجه فارنهایت) پوسته ای بی اندازه سخت بر روی بعضی از انواع فولاد پدید آورد .

این فرایند عبارت است از گذاردن قطعهٔ ماشینکاری شدهٔ آبداده سنگ خورده در محیط نیتروژنی با دمای لازم و برای مدت از پیش معلوم است .این نوع فولاد باید دارای عناصر آلیاژی مانند آلومینیوم ، کرم یا مولیبدن باشد . درجهٔ سخت کاری پوسته به سردکاری بستگی ندارد و قطعه سختی خود را تا دمای 650 درجه سانتی گراد (1200 درجه فارنهایت) حفظ می کند . قطعه را میتوان پس از نیتریده کردن با صیقل زدن یا جلادادن پرداختکاری نمود .

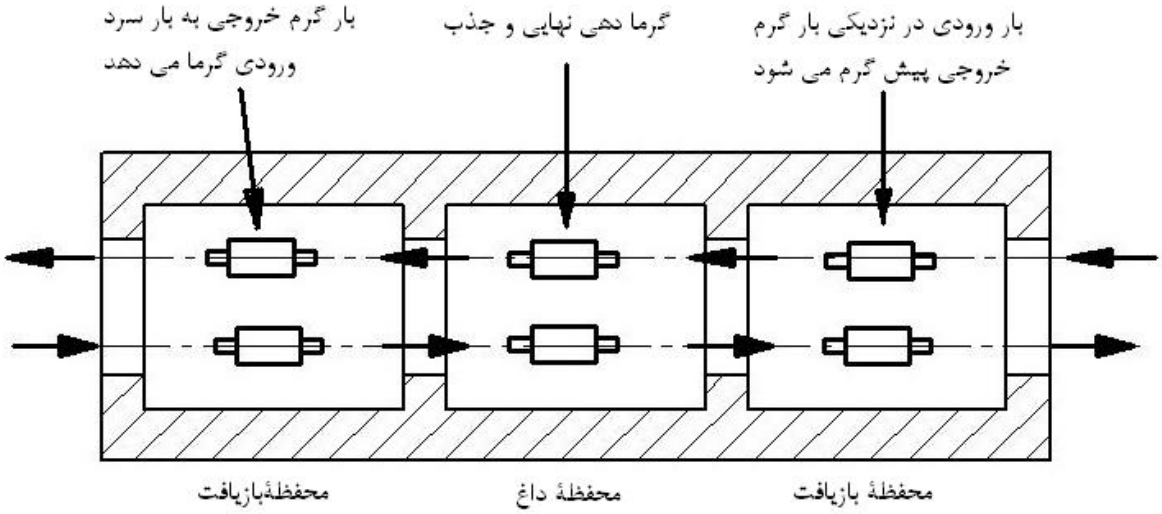
کوره های بازیافتی

کورهٔ بازیافتی به گونه ای طراحی می شود که گرما در طی سرد کردن قطعهٔ گرم شده تا حد امکان بازیافت شود . در کوره های معمول ((یکباره)) یا فله ای بار سرد در کوره گذارده می شود ، دمای آن بالا برده می شود و سپس هوای آزادگذارده می شود تا بار دیگر سرد شود . این روش در صنایع جدید کاری پر هزینه است زیرا تقریباً صد در صد گرما مفید به هدر می رود .
این کوره ها به ویژه در صورت نیاز به سرد کردن کند کوره پر هزینه ترند زیرا گرمای اضافی بسیار زیادی برای باز گرداندن دمای زرهٔ بدنه کوره تا دمای کار برای بارگذاری بعدی لازم خواهد بود . هزینه عملیات کورهٔ ((یکباره)) یا فله ای را می توان با گذاردن محفظهٔ تبادل در کنار آن که دارای فضای کافی برای دو فلهٔ بار باشد تا اندازه ای کاهش داد .

بدین منظور بار گرم شده در کوره در کنار فلۀ بار سرد در محفظۀ تبادل گذارده می شود تا بخشی از گرمـای خـود را به بار سر بدهد .

بدین ترتیب هر چند نیمی از گرمای نهان بار گرم را می توان برای پیش گرم کردن بار سرد بـه کـار بـرد ولـی قابـل بازیافت به دلیل اتلاف زیاد گرما از دیواره ها به
واقع اندک است .

شماتیک کورۀ بازیافتی



با استفاده از محفظه تبادل توان مصرفی حدود 10 تا 15 درصد کاهش می یابد ولی این صرفه جـویی واقعـی نیسـت زیرا مقداری از آن صرف هزینۀ جابجایی اضافی می شود .

نتیجه بهتر هنگامی به دست می آید که کوره براساس گردش دوطرفه طراحی شده باشد تا از اتـلاف گرمـا در هنگـام بیرون رفتن بار کاسته شود . ماده برای عملیات حرارتی در این محفظه ها در دو جهت مخالف پیش برده مـی شـوند . بار سرد ورودی وارد محفظۀ بازیافت می شود و پیوسته بیشتر با بار گرم خروجی نزدیک و درنتیجـه پـیش گـرم مـی شود . هنگامی که قطعه ورودی به محفظه گرم می رسد دمای آن بسیار زیاد است و برای رسیدن به دمای دلخواه بـه اندکی گرما و زمان توقف نیاز دارد .

بار گرم در هنگام عبور از محفظه دوم بازیافت گرمایی را که دیگر نیازی به آن ندارد به صورت تابش به قطعه سرد بـاز پس می دهد و دمای پایین تری از کوره خارج می شود .

آزمایش سختی مواد

سختی عبارت است از مقاومتی که جسم در مقابل نفوذ یک جسم خارجی از خود نشان می دهد . برای اندازه گیری این مقاومت روش های مختلف وجود دارد که عبارتند از :

1 - روش سختی سنجی برینل HB

2 - روش سختی سنجی ویکرز HV

3 - روش سختی سنجی راکول HRC **و** HRB

روش سختی سنجی برینل

در این روش یک ساچمه فولادی سخت شده و یا ساچمه ای از جنس فلزات سخت با قطر معین روی نمونه گذارده شده و با نیروی معین به مدت 10 تا 30 ثانیه در روی آن فشرده شده و اثری از خود برجای می گذارد . از حاصل تقسیم نیروی وارده (برحسب نیوتن) بر سطح اثر (سطح عرقچین کره برحسب میلیمتر مربع) عددی بدست می آید که آن را سختی برینل می گویند و با علامت اختصاری HB نمایش می دهند .

آزمایش سختی سنجی برینل

$HB =$ علامت سختی سنجی برینل

$D =$ قطر ساچمه

$d =$ قطر اثر ساچمه

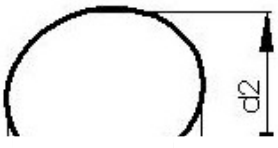
$A =$ سطح مقطع اثر ساچمه

$F =$ مقدار نیروئی که بر ساچمه وارد می شود

$$HB = 0.102 \times \frac{F}{A} = \frac{0.102 \times 2 \times F}{\pi \times D \times (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

در رابطه فوق D قطر ساچمه و d معدل قطر اثر آن روی نمونه می باشد .

جای اثر ساچمه ممکن است بصورت بیضی باشد



$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \qquad (23)$$

برای اینکه ساچمه روی نمونه اثر مناسبی بگذارد لازم است که قطر اثر ساچمه بیشتر از 0.2D و کمتر از 0.7D باشد . برای اندازه گیری سختی های مختلف مواد معمولاً از ساچمه هایی با قطر های 1 و 2/5 و 5 و 10 میلیمتر استفاده می کنند .
مقدار نیرویی که از طرف ساچمه به قطعه نمونه وارد می شود برحسب قطر آن تغییر می کند .

در جدول زیر مقدار این نیروها داده شده است :

مقدار نیروی لازم برای آزمایش سختی فولاد و چدن				
قطر ساچمه برحسب mm	1	2/5	5	10
ضخامت نمونه برحسب mm	0/6 تا 1/2	1/2 تا 3	6	بیشتر از 6
مقدار نیرو برحسب نیوتن	294	1840	7355	29420

با روش برینل می توان سختی مواد نرم و یا سختی متوسط را آزمایش نمود . در غیر اینصورت خود ساچمه تغییر فرم می دهد و در نتیجه سختی اندازه گیری شده دقیق نخواهد بود .

ضخامت قطعه نمونه نباید کمتر از 10 برابر عمق اثر باشد و سطح آن بایستی سنگ زده و براق و صاف بوده و عمود بر امتداد نیرو واقع شود .

آزمایش سختی امروزه معمولاً با دستگاه های سختی سنج اونیورسال انجام می گیرد . در این دستگاه اثر فرورفتگی بوسیله پروژکتوری روی صفحه ماتی منتقل می شود . در نتیجه می توان براحتی و با دقت زیاد آن را اندازه گرفت .

برای نشان دادن مقدار سختی برینل از علائم اختصاری کمک می گیرند .

150 HB5/250/30

150	HB	5 /	250 /	30
عدد سختی	علامت اختصاری آزمایش	قطر ساچمه برحسب mm	نیروی آزمایش به 0.120N	زمان آزمایش برحسب ثانیه

در مواردی که مقدار نیرو 3000 کیلو پوند (29420 N) ، قطر ساچمه 10 میلیمتر و زمان تأثیر نیرو 15 ثانیه باشد از علامت اختصاری اعداد مربوط حذف می گردد مانند : 300HB در فولاد های غیر آلیاژی رابطه زیر بین استحکام کششی و سختی برینل وجود دارد :

$$\sigma_B = 3.5 \times HB$$ استحکام کششی

آزمایش سختی سنجی ویکرز

در این روش به جای ساچمه از یک الماس به شکل هرم مربع القاعده با زاویه رأس 136 درجه استفاده می شود . این هرم را به مدت 10 تا 30 ثانیه در سطح خارجی قطعه نمونه فشرده و قطر اثر المس را اندازه می گیرند.

از حاصل تقسیم مقدار نیرو بر سطح اثر ، عددی بدست می اید که به عدد سختی ویکرز معروف می باشد .

$HV =$ علامت سختی سنجی ویکرز

$d =$ قطر اثر هرم

$A =$ سطح مقطع اثر الماس هرم مربع القاعده با زاویه 136 درجه

$$HV = 0.102 \times \frac{F}{A} = 0.189 \frac{F}{d^2}$$

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

مقدار نیروی وارده در این روش می تواند بطور دلخواه از 49 تا 980 نیتون انتخاب شود ولی معمولاً مقدار آن را 98 و 294 و 490 نیوتن انتخاب می کنند .

علامت اختصاری این روش را عدد سختی ، حروف HV ، مقدار نیروی اعمال شده بر حسب کیلو پوند و زمان تأثیر نیرو برحسب ثانیه تشکیل می دهد .

250HV100/30

250	HV	100	/	30
عدد سختی	علامت اختصاری	نیروی آزمایش برحسب 0.102N		زمان آزمایش برحسب ثانیه

در صورتیکه زمان اعمال نیرو 10 تا 15 ثانیه باشد عدد مربوط به آن از علامت اختصاری حذف می شود . مانند :

$$380HV50$$

برای مواد نرم و نیمه سخت (تا سختی تقریبی 350 HV) اعداد سختی ویکرز با اعداد سختی برینل مساوی می باشند ، ولی در اجسام سخت تناسبی بین آن دو وجود ندارد .
این روش برای آزمایش سختی قطعات سخت کاری شده وسخت کاری سطحی به کار می رود . روش ویکرز را می توان با دستگاه سختی انیورسال انجام داد .

روش سختی سنجی راکول

در این روش از یک ساچمه به قطر $\frac{1}{16}$ اینچ و یا از یک مخروط با زاویه رأس 120 درجه که جنس آن از الماس و نوک آن گرد شده است ،استفاده می گردد .برای آزمایش سختی ، ساچمه و یا الماس مخروطی تحت فشار معینی روی قطعه نمونه فشار داده می شود ، عمق اثر ، معرف سختی فلز می باشد .

آزمایش با ساچمه را روش راکول B و آزمایش با مخروط را روش راکول C می نامند .

روش سختی سنجی راکول C

در این روش ابتدا الماس مخروطی را روی سطح قطعه نمونه نشانیده و سپس نیروی اولیه ای به اندازه 98 نیوتن روی آن اعمال می شود ، تا آثار ناصافی و تغییر شکل ارتجاعی اثر ار خنثی نمایند . حال حال صفحه مدرج ساعت اندازه گیر روی عدد 100 تنظیم می شود . اینک قطعه نمونه به مدت 6 ثانیه با نیروی ثانویه ای به اندازه 1373 نیوتن بارگذاری می شود . بدیهی است که در این حالت نیروی کلی برابر 1471 نیوتن روی قطعه اثر کرده و به اندازه t در قطعه نفوذ می کند . حال نیروی ثانویه حذف می گردد .
در این حالت مخروط الماس در ارتفاع t_b قرار گرفته و عقربه مقدار سختی را برحسب راکول C نشان می دهد .
بیشترین عمق نفوذ در آزمایش HRC برابر 0/2 میلیمتر بوده و در این صورت سختی راکول برابر صفر می باشد ، در صورتیکه قطعه نفوذکننده اصلاً در قطعه نمونه نفوذ نند مقدار سختی برابر 100 HRC خواهد بود . مقدار نفوذ

از صفر تا 0/2 میلیمتر را در اغلب سختی سنج ها روی صفحه مدرج به 100 قسمت مساوی تقسیم کرده و هر یک را معادل 1 HRC قرار داده اند .

دستگاه هایی نیز وجود دارند که مقدار نفوذ t_b را نشان می دهند ، در این صورت برای بدست آوردن مقدار سختی از رابطه زیر استفاده می گردد .

$$HRC = 100 - \frac{t_b}{0.002}$$

این روش معمولاً برای آزمایش سختی فولادهای سخت شده بکار می رود و در محدوده 20 تا 67 HRC از دقت عمل خوبی برخوردار می باشند .

روش سختی سنجی راکول B

روش اندازه گیری در اینجا نیز مانند روش راکول C بوده و تنها تفاوت آن در مقدار نیروی اعمال شده می باشد . در روش راکولB نیروی اولیه 98 نیوتن ، نیروی ثانویه 883 نیوتن و نیرو کل 981 نیوتن می باشد . بیشترین عمق نفوذ در روش راکولB به اندازه 0/26 میلیمتر بوده و صفحه مدرج به 130 قسمت مساوی تقسیم شده است . با این روش سختی های 35 تا 100HRC اندازه گیری می شود . این روش فقط برای اندازه گیری سختی مواد نرم بکار می رود .

$$HRB = 130 - \frac{t_b}{0.002}$$

پایان