

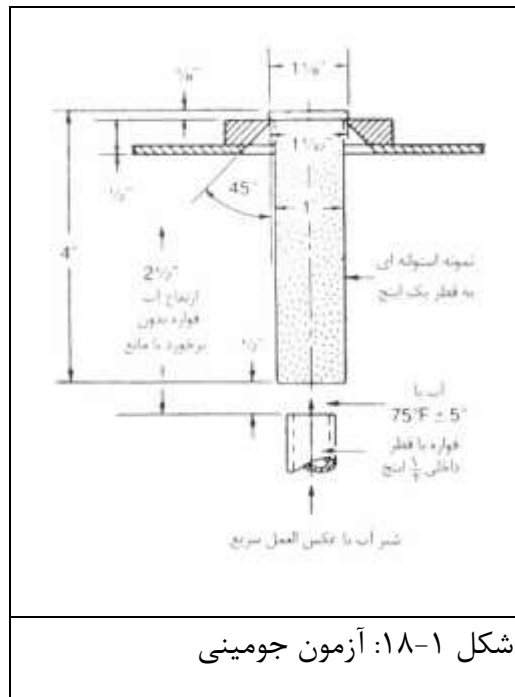
جلسه ششم

دلایل افزایش استحکام و سختی فولاد در اثر خنک کردن آنها، همواره محققین را به خود مشغول کرده است. شاید تئوری تداخل – لغزش بهترین تئوری برای تعبیر آن باشد. اعتقاد بر این است که طی سرد کردن فولاد ذرات خیلی کوچک سمنتیت از داخل محلول (محلول جامد در جامد) به بیرون آمده است و در میان ساختمان کریستالی پخش می شوند. این ذرات نقش خارهای مکانیکی را بازی کرده و بدین ترتیب در مقابل لغزش صفحات روی یکدیگر مقاومت می کنند در نتیجه استحکام الاستیکی ماده را به مقدار زیادی افزایش می دهند. قابلیت سخت کاری یا عمق سخت کاری برای یک طراح بسیار مهم است منحنی هایی مانند آنچه که خواهید دید نشان داده شده است و خواص متوسط حرارت کاری بر روی فولادها را نشان می دهد. در اغلب اوقات داشتن اطلاعات دقیق در مورد قابلیت سنت کاری هر نوع فولاد وارداتی معین لازم است. تست یا آزمون جومینی (Jominy Test) به همین منظور ابداع شده است.

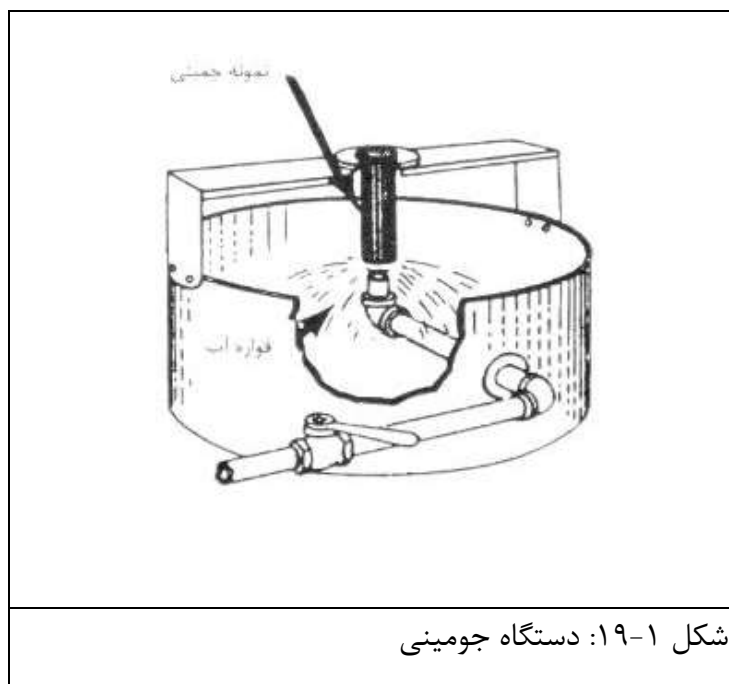
آزمون جومینی (Jominy)

این آزمون برای تعیین سختی پذیری فولادها استفاده می شود. در این آزمون یک نمونه استوانه ای به قطر 25mm و طول 100mm را تا دمای سخت کردن فولاد حرارت داده و به مدت تقریباً ۲۰ دقیقه در آن دما نگه می دارند. سپس به کمک یک فواره ان با فشار و دبی مشخص نمونه را از انتها توسط آب با دمای 25°C سرد می کنند، فاصله فواره از انتهای نمونه حدود 12.5mm است.

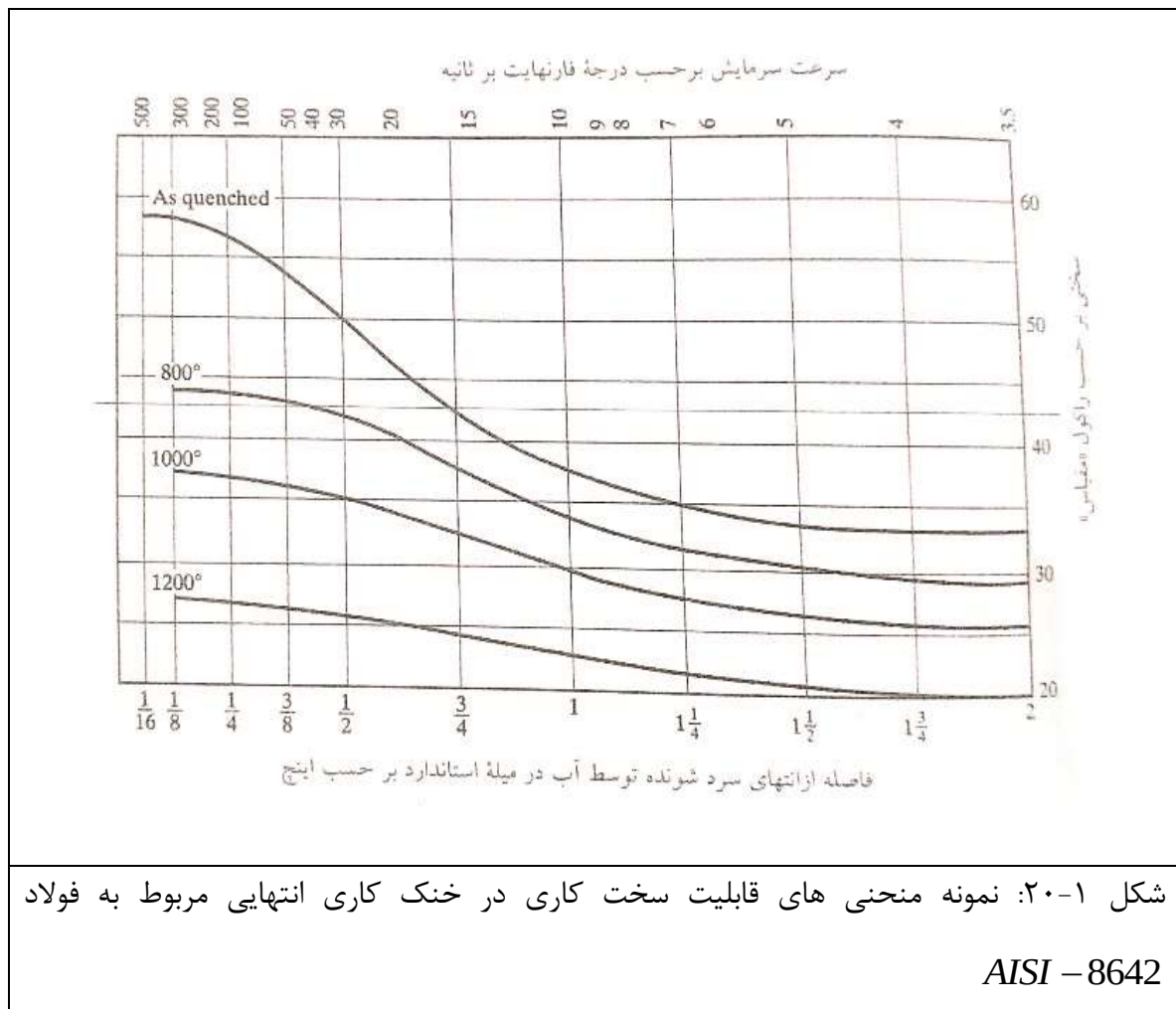
پس از انجام عملیات فوق نمونه را به اندازه $4/0\text{mm}$ از هر دو طرف سنگ می زنند و سختی آن را در فواصل $1/5\text{mm}$ اندازه گیری می کنند. به این ترتیب منحنی تغییرات سختی بر حسب فاصله از انتهای سریع سرد شده رسم می شود که به منحنی جومینی موسوم است.



موقعی که یک میلگرد یا قطعه ماشینی را به هر اندازه که باشد به روش معمولی خنک می کنیم سرعت خنک کاری در نقاط سطح و داخل آن مشابه سرعت خنک کاری نقاط مختلف نمونه جومینی خواهد بود.



منحني ها و جداولي براي سرعت يا آهنگ خنك كاري تهيه شده اند.



این منحنی ها و جداول رابطه ای را که بین خواص نقاط نمونه بر حسب فاصله آن ها از انتهای سرد کردن و قطر میلله های مختلف وجود دارد نشان می دهد. یادآور می شویم این منحنی ها و جداول شامل خواص نقاط سطحی و مرکزی نمونه می شوند.

سختی داده شده توسط منحنی جومینی نمونه برای یک نقطه (به فاصله معین از انتهای سرد کردن) برابر با سختی نقطه ای نظیر همان نقطه در روی یک جسم خنک کاری شده است. بنابراین می توان استحکام فولاد معینی که نمونه از جنس آن تهیه شده تخمین زد.

قطر میل گرد	دمای تعمیر کردن	مقاومت کششی (psi)	نقطه تسلیم (psi)	تغییر طول در 2 in	کاهش مساحت	سختی برینل	سختی رافل
1 in.- round center	800	198,000	189,000	13	46	401	43
	1000	170,000	159,000	16	52	341	37
	1200	131,000	115,000	20	61	262	27
2 in.- round 1/2 radius	800	185,000	174,000	14	51	375	40
	1000	158,000	146,000	17	56	321	34
	1200	127,000	110,000	21	62	255	29
3 in.- round 1/2 radius	800	161,000	150,000	17	55	331	35
	1000	145,000	133,000	19	58	293	31
	1200	120,000	102,000	22	63	241	23
4 in.- round 1/2 radius	800	145,000	133,000	19	58	293	31
	1000	131,000	115,000	20	61	262	27
	1200	114,000	96,000	22	64	229	21

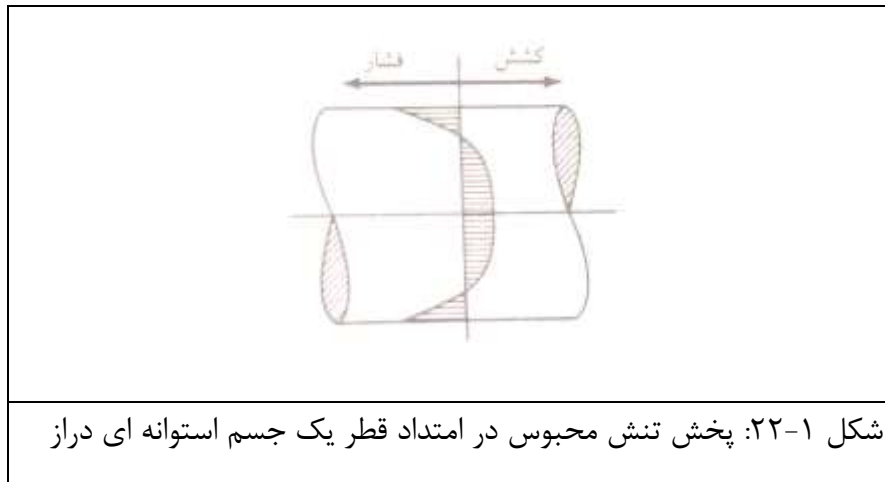
سرد شده از دمای $1550^{\circ}F$ در روغن و سپس تابکاری شده

شکل ۱-۲۱: خواص مکانیکی قابلیت سخت کاری در خنک کاری انتهایی مربوط به فولاد
AISI – 8642

تنش های محبوس حاصل از حرارت کاری

افزایش استحکام و سختی فولاد در اثر انجام عملیات حرارتی معمولاً همراه با بوجود آمدن تنش های محبوس در آن است. چون این تنش ها برای اجزا ماشین ممکن است مفید یا مضر باشند لذا این موضوع باید مورد توجه دقیق طراح قرار گیرد. این تنش ها از تغییر شکل های پلاستیکی بوجود آمده در موقع حرارت دادن فولاد تا دماهای بالا اتفاق می افتد. اولاً اثرات حرارتی خالص حاصل از سرمایش یک فولاد گرم شده تا دمای $1330^{\circ}F$ (دمایی که اندکی از دمای بحرانی تحتانی پایین تر است) را در نظر بگیرید. موقعی که این فولاد گرم شده را در یک ماده خنک کننده قرار می دهیم سطح آن با سرعت بسیار زیادی سرد می شود. هسته گرم فولاد به مقدار زیادی از متراکم شدن لایه های سطحی آن جلوگیری می کند. بدین ترتیب در سطح فولاد تنش های کششی بوجود می آید و این تنش ها توسط تنش های فشاری بوجود آمده در هسته یا داخل

فولاد خنثی می گردد بر اثر کاهش دمای هسته و تراکم حرارتی ناشی از آن، تنش موجود در سطح فولاد ممکن است به صفر برسد و سپس به تنش فشاری تبدیل گردد. بنابراین در داخل فولاد یک تنش کششی خنثی کننده بوجود می آید. این حالت در شکل زیر نشان داده شده است.



این شکل حالت نهایی پخش تنش را در راستی قطر یک حجم استوانه ای طویل نشان می دهد. حال فرض کنید ماده تا دمایی بالاتر از دمای بحرانی بطور کامل گرم شده باشد یعنی تا حدود آستنیت رسیده باشد. همچنین فرض کنید این ماده حاوی مقدار کافی کربن یا عناصر آلیاژی باشد تا اینکه بعد از خنک کاری مارتنزیت تشکیل شود. مانند قبل در روی سطح تنش های حرارتی بوجود می آید به هر حال تغییر ماده به مارتنزیت باعث افزایش حجم می شود و این پدیده باعث افزایش تنش کششی در سطح و تنش فشاری در داخل ماده می شود. با ادامه انقباض حرارتی، تنش کششی سطح جسم کاهش می یابد و حتی به تنش فشاری تبدیل می گردد.

این اثرات حرارتی و تبدیل (تغییر ساختار ماده) بطور همزمان اتفاق می افتند ولی نحوه ترکیب آن ها خیلی پیچیده است و هنوز به اندازه ای که بتوان قاعده های ساده ای برای آن تهیه کرد شناخته نشده است. تنش های سطحی نهایی حاصل از خنک کاری بر حسب چند عامل می تواند کششی یا فشاری باشند این عوامل عبارت اند از: دمای خنک کاری، سرعت خنک کاری، اندازه و شکل قطعه، عنصر آلیاژی و کربن موجود در آن و دمایی که در آن ساختار ماده به مارتنزیت تبدیل می شود.

ایزود (lbF)	درصد کاهش مساحت	درصد تغییر طول در ۲ اینچ	مقاومت تسلیم	مقاومت کششی	فولاد
48	41	19	60,000	96,000	1020
33	53	23	59,000	96,000	1117
42	61	22	108,000	138,000	2315
36	54	22	85,000	125,000	3115
	42	16	112,000	137,000	4119
67	66	23	75,000	110,000	4615
	58	23	62,000	104,000	6115
	48	17	108,000	135,000	A8620

شکل ۱-۲۳: خواص هسته فولاد قابل کربن دهی

این اثرات حرارتی و تبدیل (تغییر ساختار ماده) بطور همزمان اتفاق می افتند ولی نحوه ترکیب آن ها خیلی پیچیده است و هنوز به اندازه ای که بتوان قاعده های ساده ای برای آن تهیه کرد شناخته نشده است. تنش های سطحی نهایی حاصل از خنک کاری بر حسب چند عامل می تواند کششی یا فشاری باشند این عوامل عبارت اند از: دمای خنک کاری ، سرعت خنک کاری، اندازه و شکل قطعه، عنصر آلیاژی و کربن موجود در آن و دمایی که در آن ساختار ماده به مارتنزیت تبدیل می شود. توزیع تنش نیز می تواند از آنچه در شکل نشان داده شده پیچیده تر باشد. خنک کاری باید بطور خیلی دقیق انجام گیرد. یک تنش کششی بزرگ در سطح ماده ممکن است موجب تا برداری، آشفستگی یا حتی ترک خوردگی در ناچ ها (شکاف) شیارها، سوراخ ها، گوشه های به داخل برگشته و ... باشد. شدت خنک کاری روغن کمتر از آب است. حرارت با سرعت کمتری به بیرون منتقل می شود و بدین ترتیب اختلاف بین دمای سطح و مرکز قطعه کمتر می شود.