تغییرات ابعاد و اثرات آن

- در حین سرد کردن یا گرم کردن قطعه تنش هایی ایجاد می شود که باعث ترک خوردن قطعه یا شکست می شود.

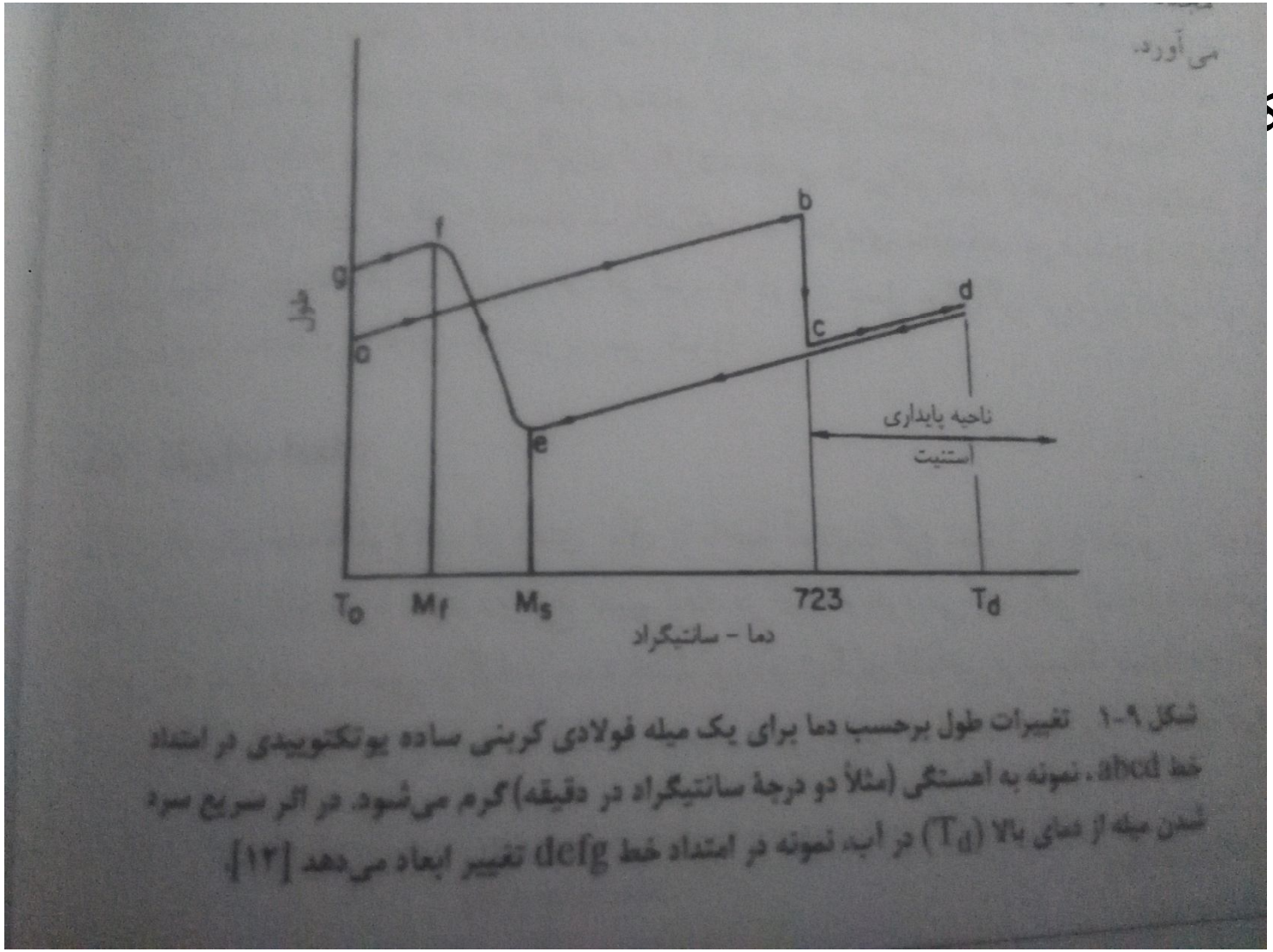
- در این فصل این تنش های و برخی عملیات های حرارتی به منظور جلوگیری از آنها ارائه شده است

تغییرات ابعاد

- 1- انقباض و انبساط
- 2- دگرگونی های فازی

تغییرات ابعادی در گرم و سرد شدن تعادلی

- شکل



شکل ۹-۱ تغییرات طول برحسب دما برای یک میله فولادی کربنی ساده یوتکتوییدی در امتداد خط abcd. نمونه به آهستگی (مثلاً دو درجهٔ سانتیگراد در دقیقه) گرم می‌شود. در اثر سریع سرد شدن میله از دمای بالا (T_d) در آب، نمونه در امتداد خط defg تغییر ابعاد می‌دهد [۱۲].

تغییرات ابعاد حین سریع سرد شدن

جدول ۹-۱ حجم ویژهٔ فازهای موجود در فولادهای ابزار کربنی [۶].

فاز یا مخلوط فازها	گسترهٔ کربن (٪)	حجم مخصوص محاسبه شده در ۲۰ درجهٔ سانتیگراد cm^3/g
آستنیت	۰-۲	۰/۱۲۱۲+۰/۰۰۳۳(٪C)
مارتنزیت	۰-۲	۰/۱۲۷۱+۰/۰۰۲۵(٪C)
فریت	۰-۰/۰۲	۰/۱۲۷۱
سمنتیت	۶/۷±۰/۲	۰/۱۳±۰/۰۰۱
کاربید اپسیلن	۸/۵±۰/۷	۰/۱۴±۰/۰۰۲
گرافیت	۱۰۰	۰/۴۵۱
فریت + سمنتیت	۰-۲	۰/۱۲۷۱+۰/۰۰۰۵(٪C)
مارتنزیت کم‌کربن + کاربیداپسیلن	۰/۲۵-۲	۰/۱۲۷۷+۰/۰۰۱۵(٪C-۰/۲۵)
فریت + کاربید اپسیلن	۰-۲	۰/۱۲۷۱+۰/۰۰۱۵(٪C)

جدول ۹-۲ تغییر حجم در اثر دگرگونی بین فازهای مختلف [۶].

نوع دگرگونی	تغییر حجم (٪)
سمنتیت کروی ← آستنیت	$-۴/۶۴+۲/۲۱(٪C)$
آستنیت ← مارتنزیت	$۴/۶۴-۰/۵۳(٪C)^{۰}$
سمنتیت کروی ← مارتنزیت	$۱/۶۸(٪C)$
آستنیت ← بینیت پایینی	$۴/۶۴-۱/۴۳(٪C)$
سمنتیت کروی ← بینیت پایینی	$۰/۷۸(٪C)$
آستنیت ← بینیت بالایی	$۴/۶۴-۲/۲۱(٪C)$
سمنتیت کروی ← بینیت بالایی	

- با تبدیل استونیت به مارتنزیت طول نمونه افزایش می یابد

- افزایش حجم به درصد آستونیت باقی مانده و در نتیجه درصد کربن قطعه بستگی دارد

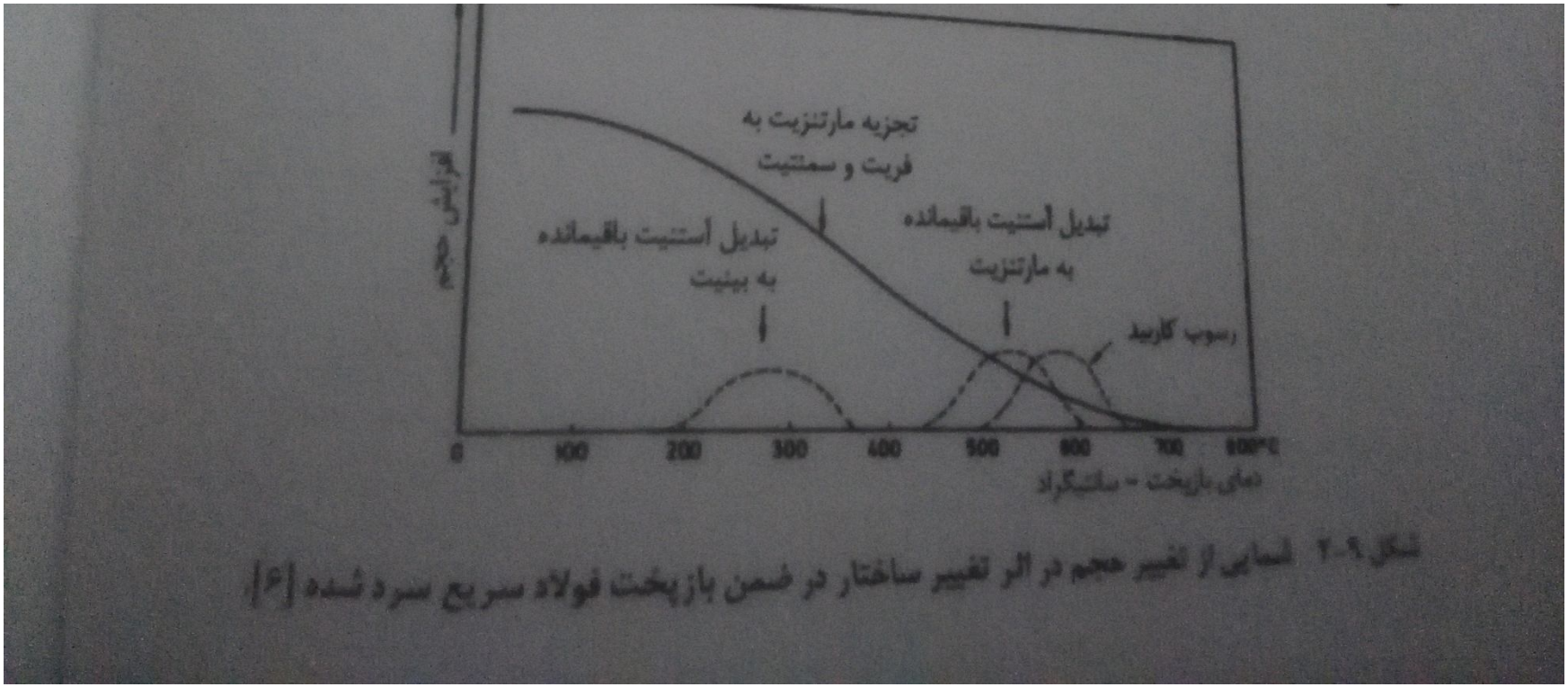
- زیرا با افزایش کربن حجم آستونیت افزایش می یابد و مقدار آستونیت باقی مانده هم با افزایش درصد کربن زیاد می شود

- هرچه مقدار آستونیت باقی مانده بیشتر باشد میزان افزایش حجم کمتر خواهد بود.

تغییرات ابعاد حین بازپخت

- در حین بازپخت مارتنزیت تجزیه شده و بنابراین حجم قطعه کاهش می یابد اما به علت وجود استونیت باقی مانده تغییراتی در رفتار هم مشاهده می شود

- در فولادهای ابزار پر آلیاژ در حین بازپخت در 500-650 کاربیدهای ریز تشکیل شده که باعث افزایش حجم می شود ولی همزمان با کاهش درصد کربن آستونیت باقی مانده Ms افزایش یافته و استونیت به مارتنزیت تبدیل می شودو حجم افزایش می یابد



شکل ۲-۹ نمایی از تغییر حجم در اثر تغییر ساختار در ضمن بازپخت فولاد سریع سرد شده [۶]

اثرات ناشی از تغییرات ابعاد در حین سرد شدن

- مهترین اثر تنش های حرارتی است
- فولادهای پرکربن و فولاد های ابزار به این پدیده حساس تر هستند
- این تنش ها باعث شکست یا تغییر شده یا به صورت تنش باقی مانده در قطعه وجود دارند

- تنش های باقی مانده گاهی مفید و گاهی مضر هستند.
- تنش های حرارتی دو نوع هستند

- Thermal stress
- Transformation stress

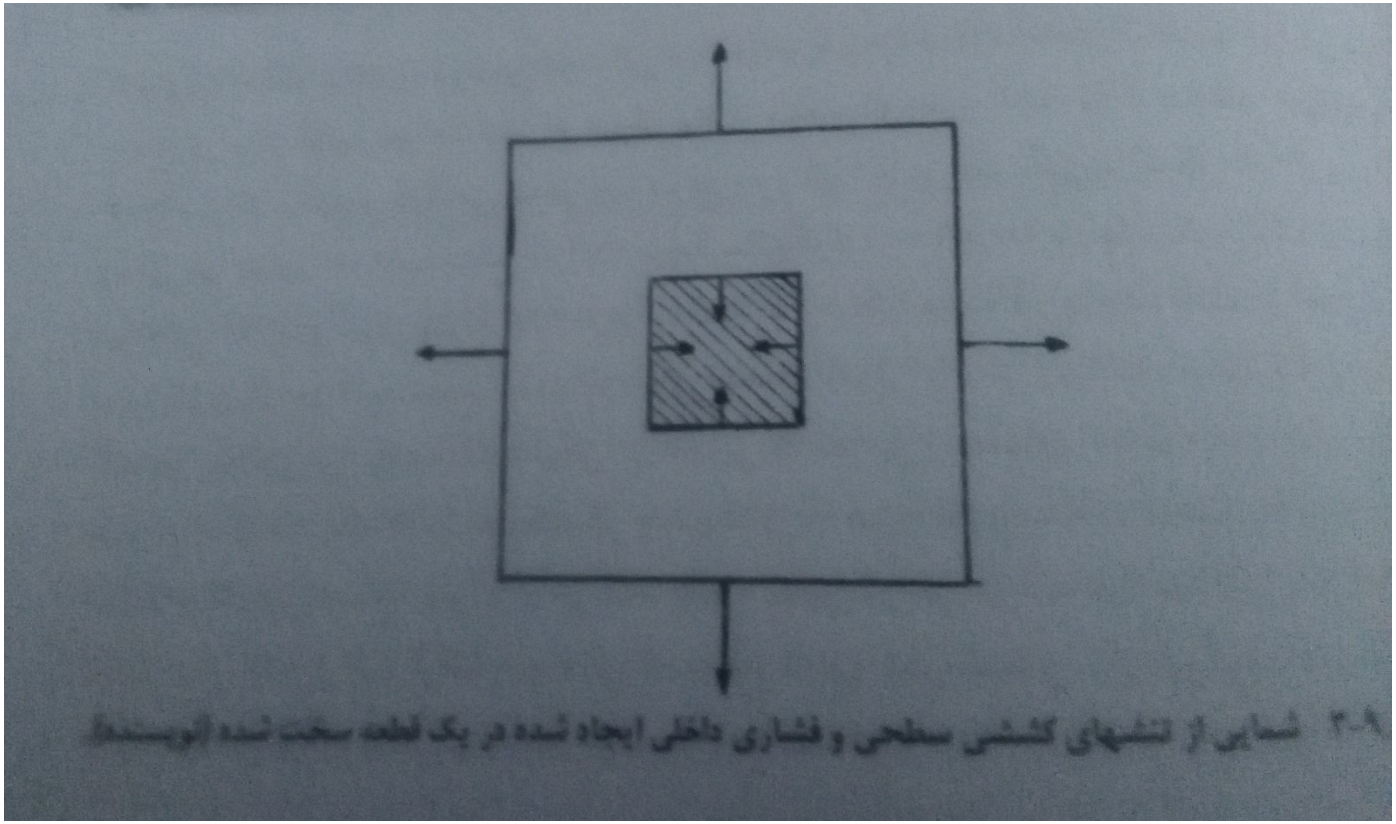
- یکی از مهترین دلایل ایجاد تنش های باقی مانده تفاوت انقباض و انبساط در نقاط مختلف قطعه است

تنش های استحاله ای ناشی از تجزیه آستونیت

- ساختار آستنونیت نسبت به تمام ساختارهای دیگر فشرده تر است و بنابراین دگرگونی آن با افزایش حجم همراه است
- میزان افزایش حجم در اثر ایجاد فاز مارتنزیت در حدود 4/6 درصد است و هر چه Ms پایین تر باشدانبساط حرارتی بیشتر است

تنش ها هنگام ایجاد فاز مارتنزیت

- سطح مارتنزیت شده و منقبض می شود اما چون درون ماده گرم و انعطاف پذیر است داخل ماده تنش ایجا نمی شود. در ادامه ناحیه داخلی دچار دگرگونی شده و افزایش حجم می دهد اما پوسته سخت شده و انعطاف پذیری کمی دارد و سطح تحت کشش قرار می گیرد



۴-۹ نمایی از تنشهای کششی سطحی و فشاری داخلی ایجاد شده در یک قطعه ساخت شده آلومینیوم

- در حالت سرد شدن تعادلی و ایجاد پرلیت امکان ایجاد تنش های داخلی کم است زیرا
- 1- تغییرات حجم کمتر است
- 2- شیب حرارتی کمتر است
- 3- دمای دگرگونی بالا و انعطاف پذیری مناسب بوده و تنش ها قابل تحمل است

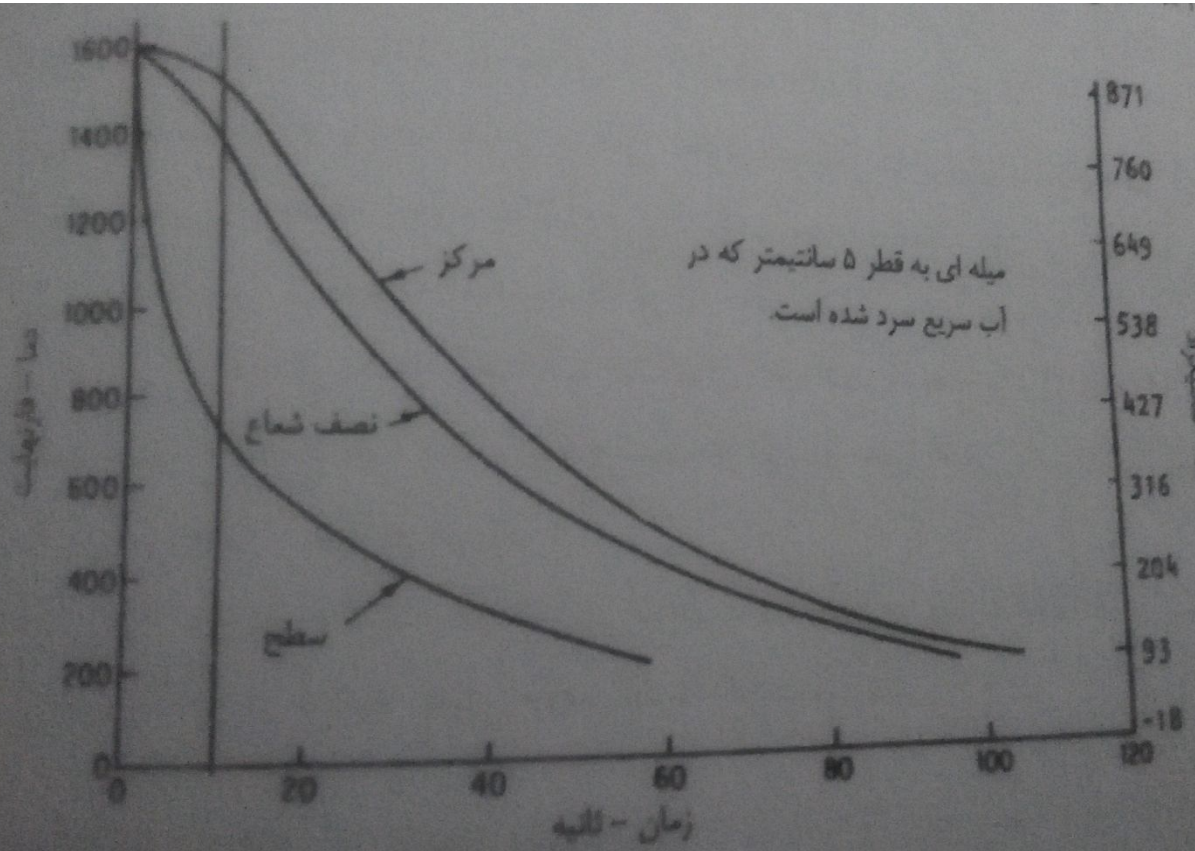
تنش های حرارتی در ضمن سرد شدن

- سطح قطعه با سرعت بیشتری سرد می شوندو شیب حرارتی بین سطح و مرکز قطعه ایجاد می شود

- شکل 4-9

- ناحیه داخلی تحت تنش فشاری
- سطح تحت تنش کششی

- $S=\alpha E \Delta T$



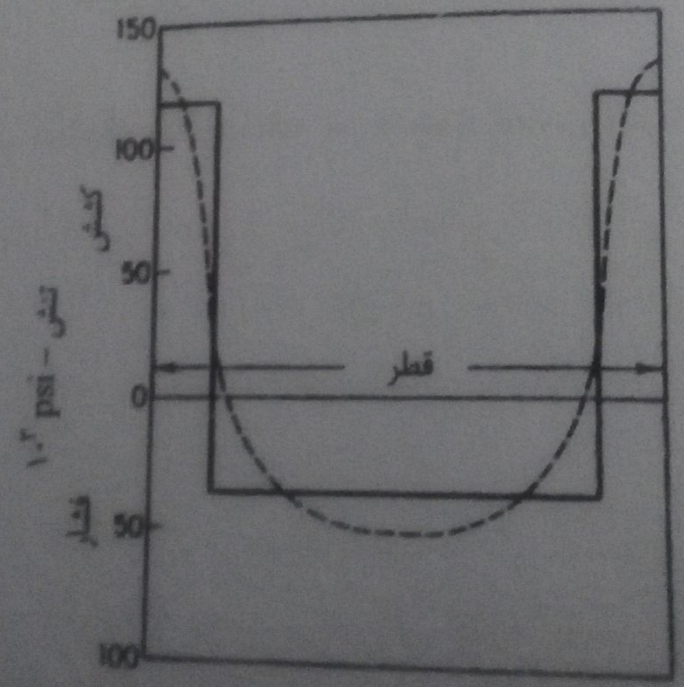
شکل ۴-۹ منحنیهای سرد شدن در سطح، وسط شعاع و مرکز میله‌ای به قطر ۵ سانتیمتر هنگامی که در آب سریع سرد شود [۳۷].

- اگر تفاوت دما بین سطح و مرکز برابر 800 درجه سانتی گراد باشد مقدار تنش های ایجاد شده برابر 1560000 psi خواهد بود.

- این مقدار تنش بین لایه های مختلف سطحی و مرکز تقسیم می شود و میزان تنش متناسب با عکس ضخامت لایه است.

- اگر فرض شود که ضخمات لایه سطحی ¼ ضخامت کل قطعه باشد تنش های ایجاد شده در سطح ¾ کل تنش است که این میزان تنش می تواند باعث شکست یا تغییر شکل قطعه شود.

- شکل 9-5



شکل ۹-۵ شمایی از توزیع تنشهای حرارتی در داخل یک قطعه استوانه‌ای، منحنی ناپیوسته نشان‌دهنده شرایط واقعیتر توزیع تنشها است [۳۷].

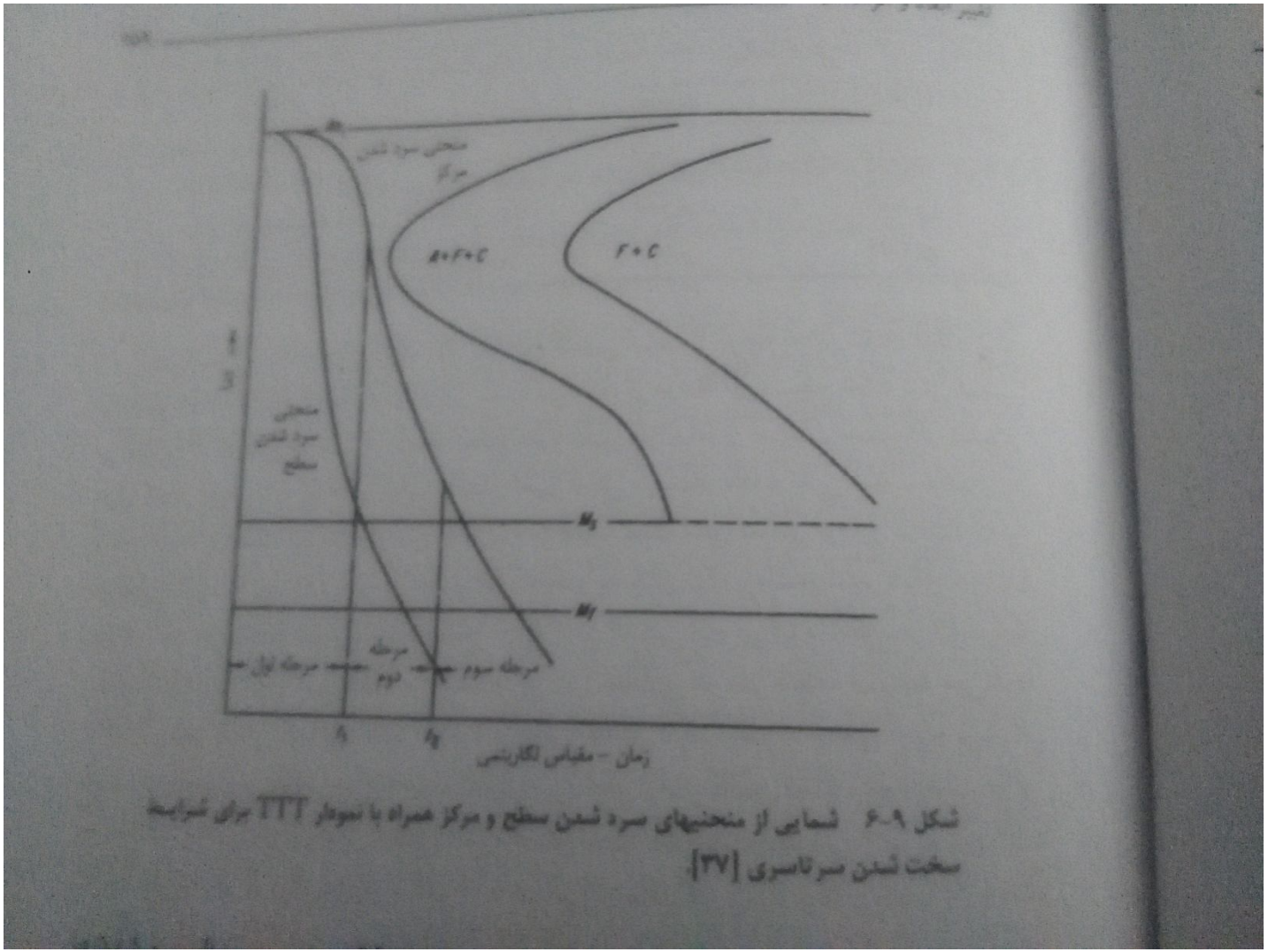
4-9- توزیع تنش های و اثرات تنش های باقی مانده در ضمن سرد شدن

- حین سرد شدن تغییرات ابعادی در اثر سرد شدن و تغییر فاز روی می دهد.

- بنابراین اثرات هر دو عامل باید در نظر گرفته شود
- در حین دگرگونی وابسته به نوع فاز ایجاد شده افزایش حجم مختلفی می تواند ایجاد شود

- نوع فازهای ایجاد شده به
- 1- سختی پذیری
- 2- شدت سردکنندگی محیط
- 3- ضخامت قطعه بستگی دارد. در دادامه دوحالت بررسی می شود
- 1- سختی کامل قطعه
- 2- سختی سطحی قطعه

1- تنش باقی مانده در سخت شدن کل قطعه

- 

شکل ۹-۶ شمایی از منحنیهای سرد شدن سطح و مرکز همراه با نمودار TTT برای شرایط سخت شدن سرتاسری [۳۷].

- در این حالت سه مرحله وجود دارد
- 1- تا زمان t1: در اینحالت تنش های ایجاد شده به علت تفاوت دما است

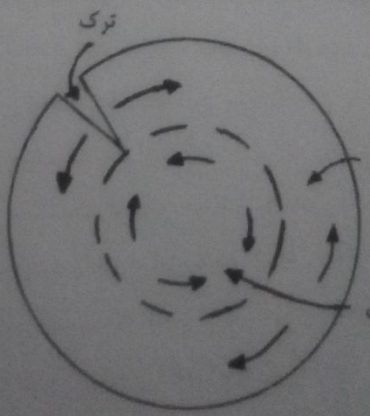
- t1 -2 تا t2: سطح مارتنزیت شده ولی مرکز همچنان در حال سرد شدن و انقباض است

- 3- بعد از زمان t3: مغز به دمای MS رسیده و شروع به انبساط می کند

مرحله	شرایط تنشی	
	پوسته	مغز
اول (شیب حرارتی)	کششی	فشاری
دوم (در سطح آستنیت ← مارتنزیت)	فشاری	کششی
سوم (در مغز آستنیت ← مارتنزیت)	کششی	فشاری

- در مرحله اول احتمال ترک خوردن کم است چرا؟
- در مرحله دوم هم احتمال ترک خوردن کم است اما در مرحله 3 احتمال ترک زیاد است

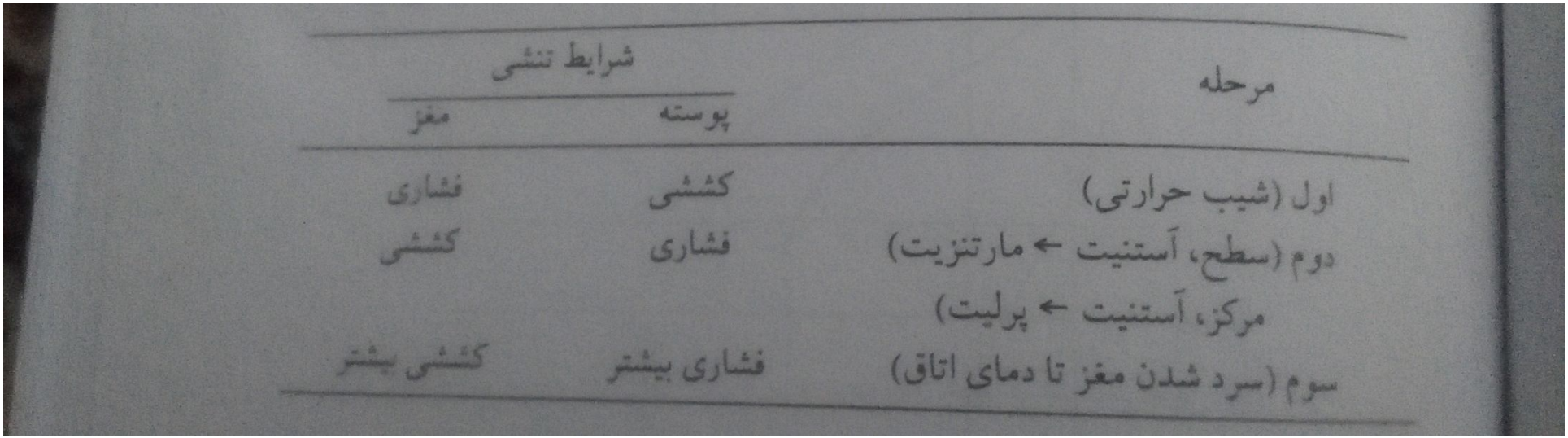
شکسته می‌شود. با مطالعه میکروسکوپی ترک



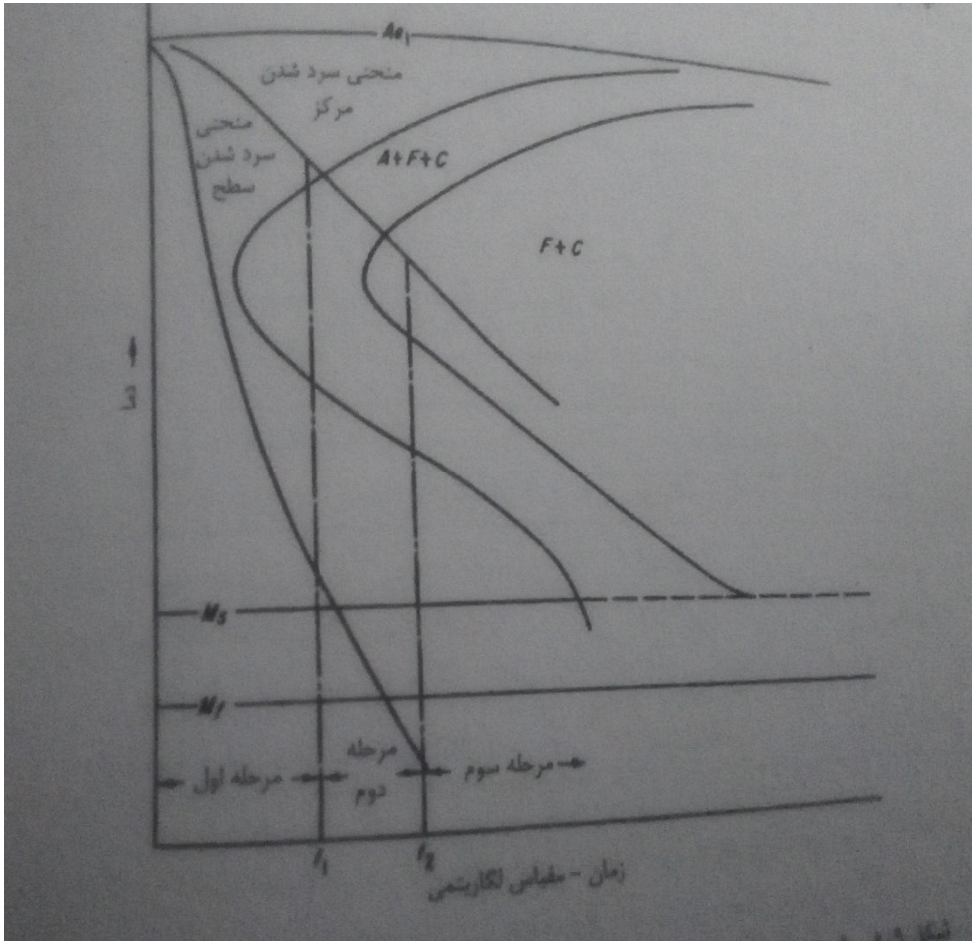
شکل ۲-۹ نمایی از چگونگی شروع و پیشرفت ترک در شرایط سخت شدن سرتاسری [۳۷].

توزیع تنش ها هنگام سخت شدن سطحی

- شکل 8-9



مرحله	شرایط تنشی	
	پوسته	مغز
اول (شیب حرارتی)	کششی	فشاری
دوم (سطح، آستنیت ← مارتنزیت)	فشاری	کششی
مرکز، آستنیت ← پرلیت)		
سوم (سرد شدن مغز تا دمای اتاق)	فشاری بیشتر	کششی بیشتر


Ae_1
منحنی سرد شدن
مرکز
منحنی
سرد شدن
سطح
A+F+C
F+C
M_s
M_f
مرحله
دوم
مرحله اول
مرحله سوم
t_1
t_2
زمان - مقیاس لگاریتمی

- مرحله اول : تا T1 : تنش های به علت حرارت

- مرحله دوم: سطم به مارتنزیت و مرکز به پرلیت تبدیل می شود. پوسته تمایل به انبساط بیشتر دارد و تحت فشار و مغز تحت کشش است

- مرحله 3: پوسته مارتنزیتی از انقباض مغز جلوگیری می کند. بنابراین مغز تحت تنش کششی بیشتر و سطح تحت تنش فشاری بیشتر قرار می گیرد.

- در مرحله 1 احتمال ترک کم است
- در مرحله 2 چون سطح و مغز هر دو در حالت انبساط هستند میزان تنش کششی کم است

- مرحله 3: خطر ترک مغز وجود دارد چون مغز پرلیتی و ترد است

- وجود تنش های فشاری سطحی از گسترش ترک جلوگیری می کند.

- بنابراین در برخی از قطعات سختی پذیری کم و یا سخت کردن سطحی مهم است.

- بررسی ترک های داخلی مشکل است.

تنش ها حین گرم شدن

- همان تنش ها حین گرم شدن هم وجود دارند.
- مانند عملیات تنش گیری یا آستونیته کردن فولاد های پرکربن و آلیاژی

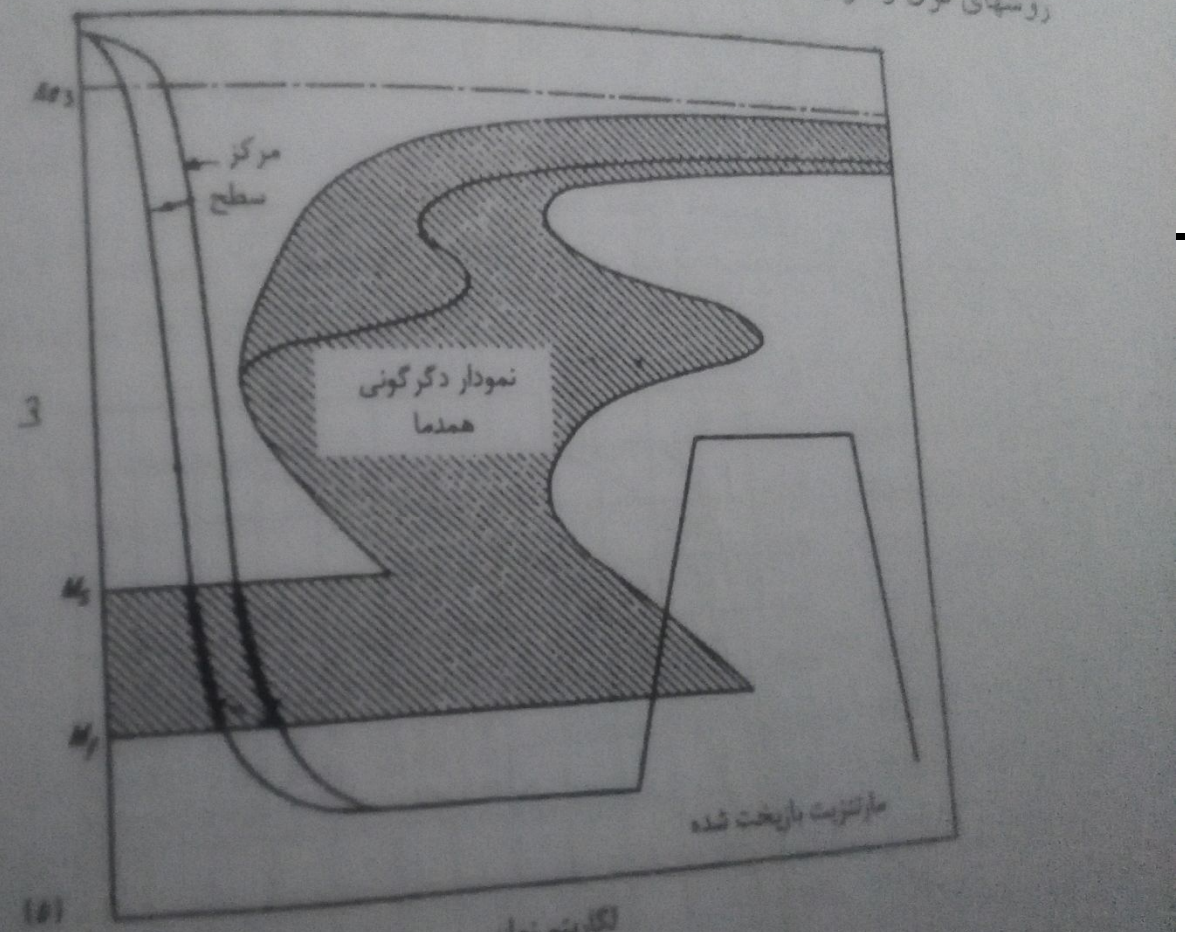
6-9- راه های جلوگیری از تغییر شکل ، ترک برداشتن قطعه و ایجاد تنش های داخلی

- 1- کنترل سرعت گرم کردن
- به صورت کلی برای کم کردن تنش ها باید حداقل شیب حرارتی یا تغییرات حجم ناشی از دگرگونی در قطعه ایجاد شود.
- عوامل مهم
- نوع کوره
- پیشگرم کردن قطعه
- اندازه قطعات

سرد کردن کنترل شده

- روش سرد کردن به نوع فولاد، شکل و ابعاد قطعه و خواص مکانیکی مورد نظر بستگی دارد
- سه روش سرد کردن
- 1- سرد کردن مستقیم
- 2- مارتمپرینگ
- 3- آستمپرینگ

روشهای فوق و موارد استفاده آنها بررسی

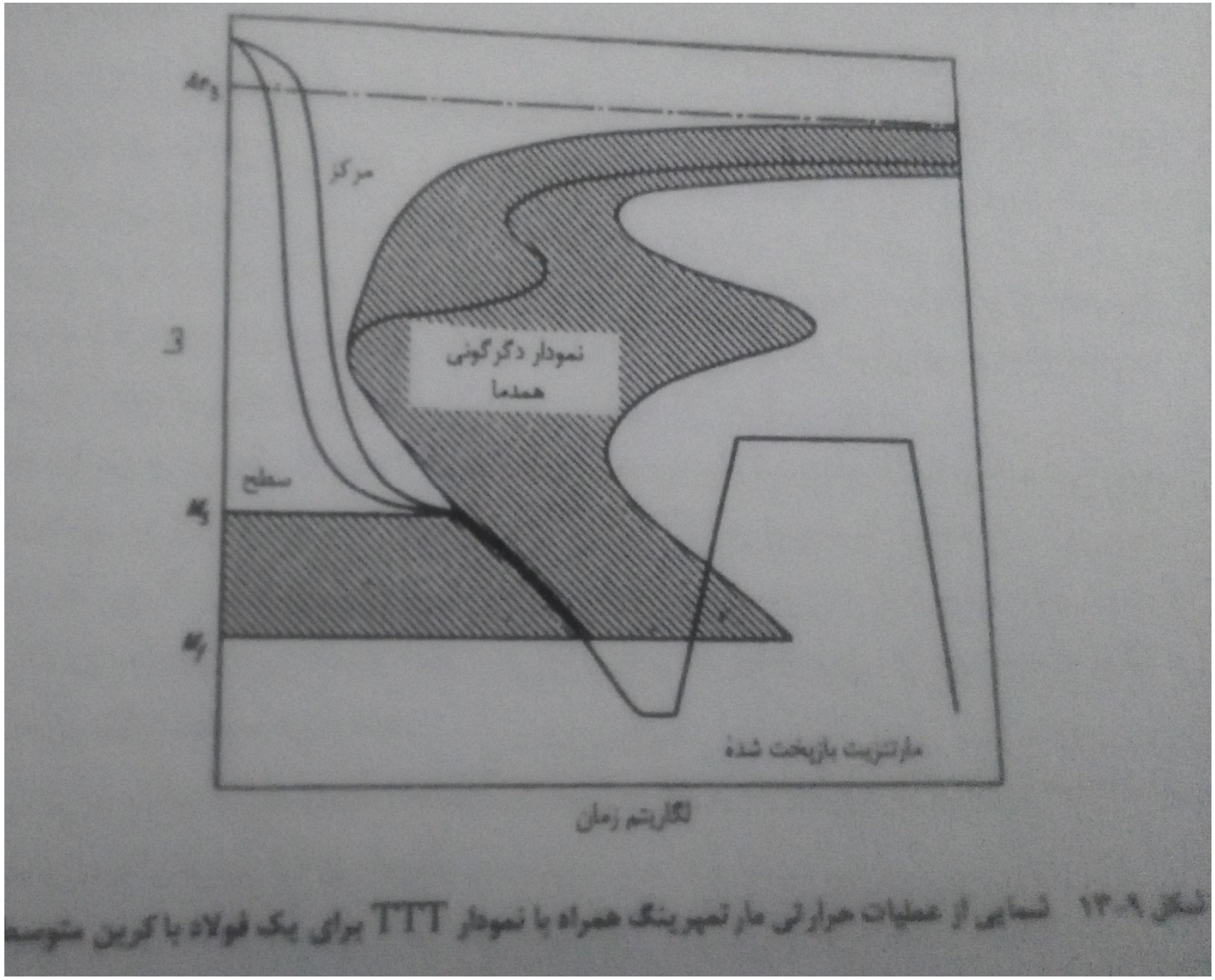


شکل ۱۲.۹ شمایی از عملیات حرارتی صریح سرد کردن یک

-9 •

مارتمپرینگ

- Marquenching
- 1- آستونیته کردن فولاد
- 2- سرد کردن در روغن داغ یا نمک مذاب تا درست قبل یا بعد از دمای Ms
- 3- نگه داری در این دما برای مدت زمان خاص
- 4-سرد کردن در هوا یا محیط مشابه زیر دمای Ms
- 5- بازپخت



شکل ۹-۱۴ نمایی از عملیات حرارتی مارتمپرینگ همراه با نمودار TTT برای یک فولاد با کربن متوسط

Austempering

- 1- آستونیته کردن
- 2- سرد کردن سریع بالای Ms
- 3- ایجاد ساختار بنیتی
- 4- سرد کردن در هوا تا دمای اتاق

- اهداف
- 1- افزایش استحکام و انعطاف پذیری در یک سختی مشخص
- 2- حذف یا کاهش تنش های احتمالی
- 3- قطعات نازک با سختی حدود 50 راکول C

- فولادهایی برای مارتمپرینگ و آستمپرینگ باید سختی پذیری مناسبی داشته باشند.

عملیات های حرارتی themomechaical

- تغییر شکل پلاستیک به همراه عملیات حرارتی
- هدف: افزایش استحکام، انعطاف پذیری

Ausforming

- شکل دادن آستونیت در دمای بین A1 و Ms

- در فولادهای پرآلیاژ با آستونیت شبه پایدار است
- پدیده Trip

جدول ۹-۴ دماهای آستنیته و مارتمپر کردن برای برخی از معروفترین فولادهای ابزار [۶]

نوع فولاد AISI BS	نوع فولاد SIS	دمای آستنیته کردن °C	دمای مارتمپر کردن °C	حداکثر قطر نمونه mm	حداکثر قطر نمونه in
–	۲۰۹۲	۸۵۰-۸۸۰	۲۲۵-۲۵۰	۷۵	۳
O۱	۲۱۴۰	۸۱۰-۸۴۰	۲۲۵-۲۵۰	۶۰	۲$\frac{۱}{۲}$
A۲	۲۲۶۰	۹۵۰-۹۸۰	۲۲۵-۲۵۰	۱۵۰	۶
D۳	۲۳۱۰	۱۰۰۰-۱۰۲۰	۲۲۵-۵۰۰	۲۰۰	۸
D۶	۲۳۱۲	۹۶۰-۱۰۰۰	۲۲۵-۵۰۰	۲۰۰	۸
–	۲۵۵۰	۸۲۰-۸۴۰	۲۲۵-۳۰۰	۱۲۵	۵
S۱	۲۷۱۰	۸۸۰-۹۲۰	۳۵۰-۴۰۰	۲۵	۱
H۱۳	۲۲۴۲	۱۰۰۰-۱۰۵۰	۳۰۰-۵۰۰	۳۰۰	۱۲
H۱۰A	–	۱۰۰۰-۱۰۵۰	۳۰۰-۵۰۰	۱۰۰	۴