

## عملیات حرارتی بازیابی و تبلور مجدد و رشد دانه

### Recovery and Recrystallization and grain growth

به پدیده افزایش سختی و استحکام فلزات داکتیل (شکل پذیر) حین تغییر شکل کار سختی **Work Hardening** گفته می شود که ضمن مکانیزم سخت شدن مواد در این روش افزایش چگالی عیوب بلوری بخصوص نابجاییها و جای خالی ها اتفاق می افتد.

از جمله اثرات کار سرد عبارت از تغییر شکل دانه ها در جهت اعمال نیرو و ایجاد تنش های داخلی است.

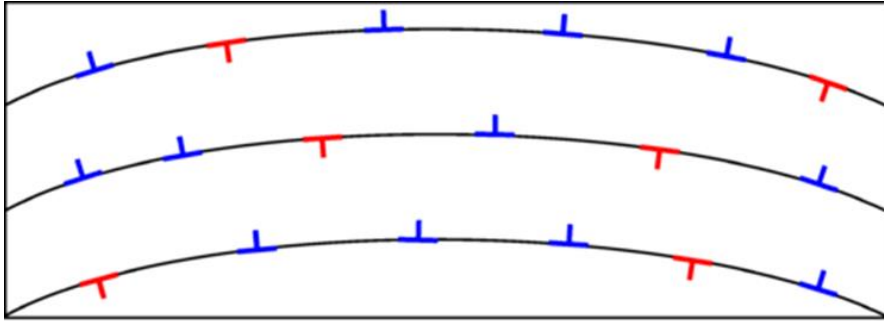
بنابراین جهت کاهش و یا حذف کارسختی حین کار سرد عملیات حرارتی بازیافت توصیه می شود. طی این عملیات معمولاً عملیات های دیگری ممکن است اتفاق بیفتد لذا سه عملیات بصورت زیر داریم:

✓ بازیابی

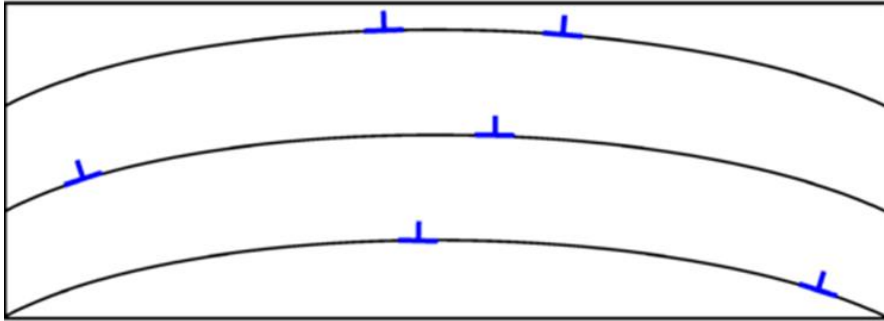
✓ تبلور مجدد

✓ رشد دانه

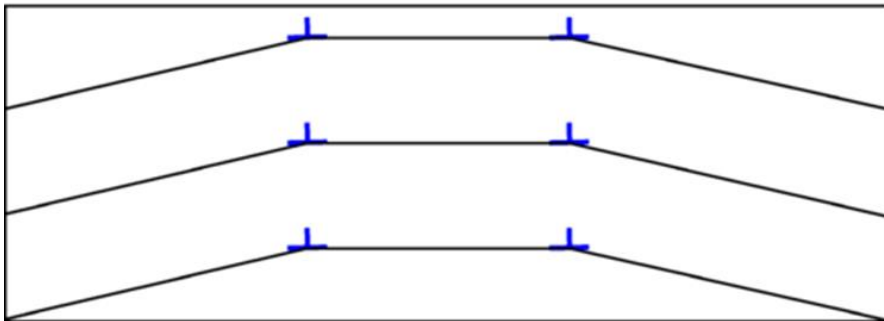
# Recovery



a) Bent lattice with dislocations of both sign



b) Annihilation of dislocations with opposite sign



c) Polygonization of the lattice

✓ حین بازیافت کاهش و یا از بین رفتن معایب بلوری اتفاق می افتد.

✓ عیوب نقطه‌ای نظیر جاهای خالی کم می شوند.

✓ نابجایی‌های پیچی **screw** چپ‌گرد و راست‌گرد و نابجایی‌های لبه‌ای **edge** مثبت و منفی با یکدیگر ادغام شده و حذف می‌شوند و انرژی داخلی کاهش می‌یابد.

✓ ادامه عملیات حرارتی بازیابی همراه با لغزش و صعود نابجایی‌هایی باقیمانده و ردیف قرار گرفتن آنها و تشکیل مرزهای فرعی **sub grain boundary** است.

✓ تشکیل مرزهای فرعی که به چند وجهی شدن **polygranization** موسوم است.

✓ انرژی داخلی میکروساختار با دانه‌های فرعی در مقایسه با قطعه کار سرد شده به کمتر است.

✓ پس فقط با آرایش مجدد و مرتب شدن آنها انرژی داخلی کاهش می‌یابد

## low energy dislocation structures (LEDS)

✓ نیروی محرکه در عملیات حرارتی بازیابی همان کاهش انرژی داخلی ناشی از حذف یا آرایش مجدد معایب بلوری حاصل در ضمن کارسختی است.

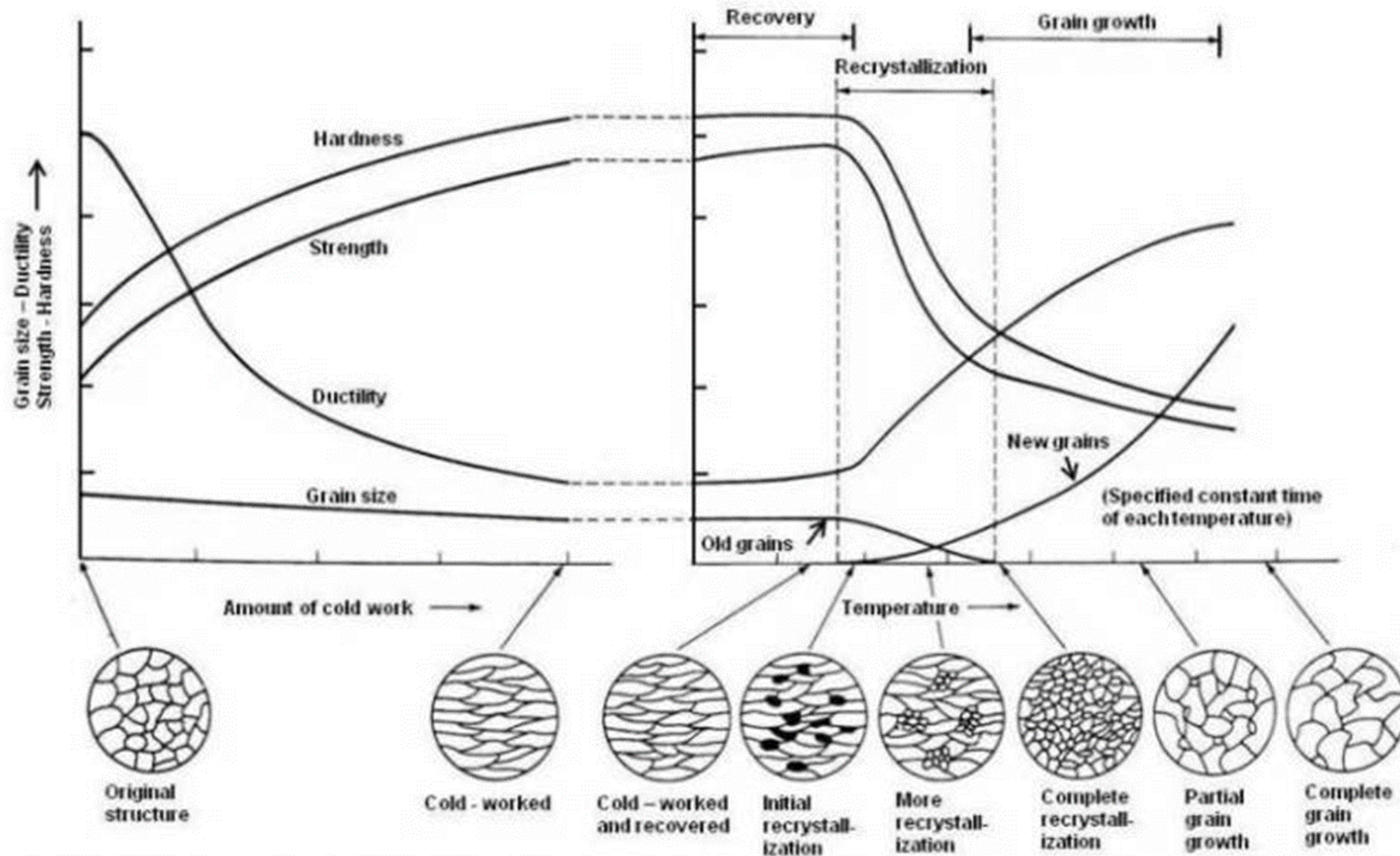
## Recrystallization

- ✓ در اثر حرارت دادن دانه‌های جدید هم محور و عاری از تنش در فلز کار سرد شده به وجود می‌آید.
- ✓ حین تبلور مجدد خواص مکانیکی قطعه به حالت قبل از کار سرد برمی‌گردد.
- ✓ تبلور مجدد عملیات بازیابی است و در آن دانه‌های عاری از تنش می‌توانند از دانه‌های فرعی به وجود آیند.
- ✓ فرایند تبلور مجدد شامل جوانه‌زنی و رشد است.
- ✓ که نیروی محرکه برای این عملیات، ناشی از کاهش انرژی آزاد حجمی در اثر کاهش نابجایی هاست.
- ✓ اگر حرارت دهی در دمای مناسب و به مدت زمان کافی هیچ‌گونه اثری از انجام کار سرد نمی‌ماند.

### دمای تبلور مجدد

- حضور عناصر ناخالصی و اتم‌های محلول باعث افزایش دمای تبلور مجدد می‌شود.
- درصد کار سرد انجام شده هر چه بیشتر باشد  $\Delta\mu$  یا پتانسیل شبکه زیاد شده و دمای تبلور مجدد کم می‌شود.
- اندازه دانه‌ها هر چه کمتر باشد مرز بیشتری داریم و دمای تبلور مجدد کم می‌شود.

# تغییرات حین عملیات کار سرد و بازیابی و تبلور مجدد و رشد دانه



Schematic Representation of the Cold-worked and Anneal Cycle showing the effects on Properties and Microstructure

## Grain growth

- ✓ پس از پایان تبلور مجدد به رسید دانه‌های هم‌محور موجود شروع به درشت شدن می‌کنند. این عملیات به رشد دانه grain growth موسوم است.
- ✓ حین رشد دانه‌ها با مهاجرت مرز دانه‌ها، دانه‌های ریز به ترتیب به دانه‌های درشت مجاور ملحق می‌شوند.
- ✓ در این حالت نیروی محرکه یا عامل ترمودینامیکی رشد دانه‌ها همان انرژی مرز دانه‌هاست.
- ✓ با درشت شدن دانه‌ها، مرز دانه‌ها کاهش می‌یابد و بنابراین انرژی داخلی سیستم نیز کاهش خواهد یافت.

