رسوب سختی- یا پیر سختی Age Hardening

رسوب سختی- یا پیر سختی به منظور تشکیل رسوبات سخت تر در زمینه جهت بهبود خواص آلیاژ و افزایش سختی به کار می رود.

رسوب سختی نوعی عملیات حرارتی است.

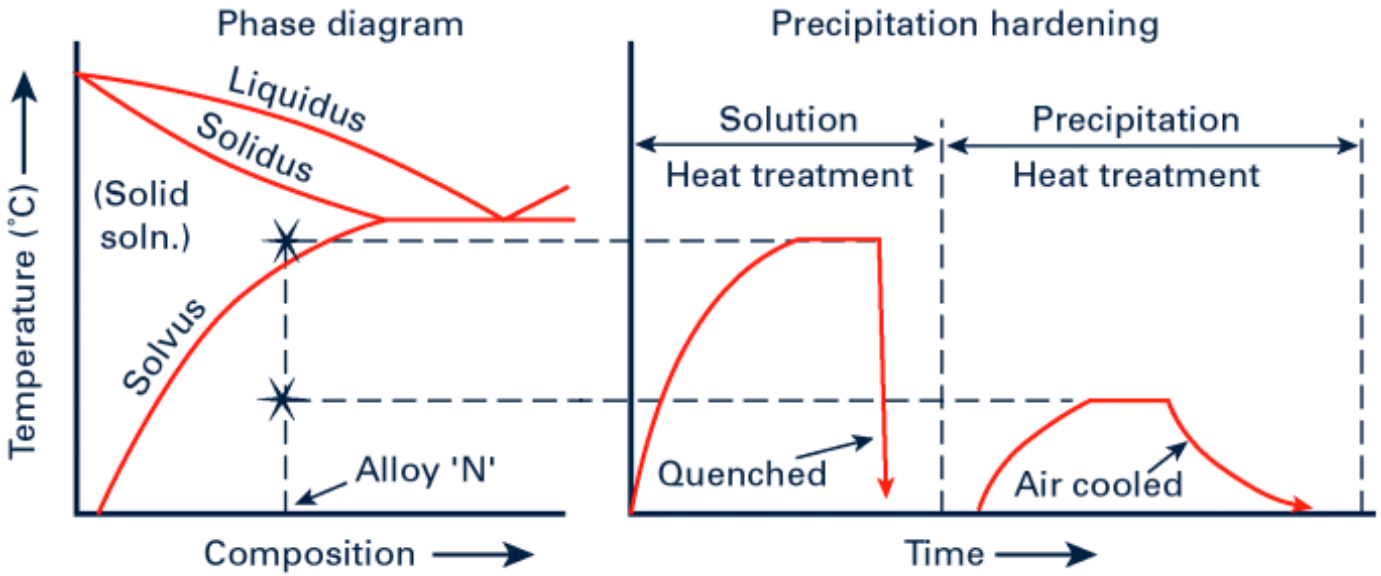
درآلیاژهایی ممکن است که دارای حد حلالیت در حالت جامد باشند.

ابتدا آلیاژ تا دمای محدوده تک فاز گرم و سپس سریع کوئینچ یا سرد می شود.

در این حالت به فاز β اجازه جوانه زنی و رسوب کردن داده نشده و سیستم در حالت فوق اشباع است.

مجددا با افزایش دما تا زیر محدوده تک فاز و نگهداری به مدت طولانی اجازه تشکیل رسوبات بصورت ریز در زمینه داده می شود.

سپس آلیاژسرد می شود.



میکروساختار پس از مرحله کوئینچ بصورت تک فاز ولی اشباع است.

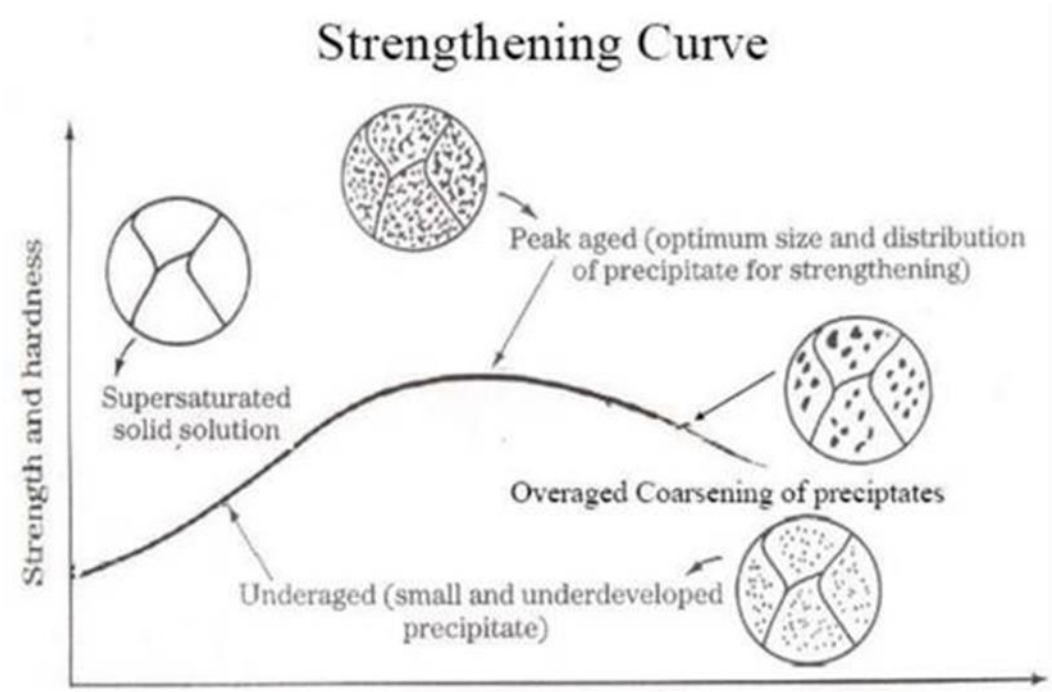
حین نگهداری در دمای پیر سختی تشکیل رسوبات در زمینه باعث افزایش سختی می شود.

نگهداری بیشتر باعث رشد رسوبات و کم شدن سختی می شود که به آن فراپیرسختی یا **Over Aging** گویند.

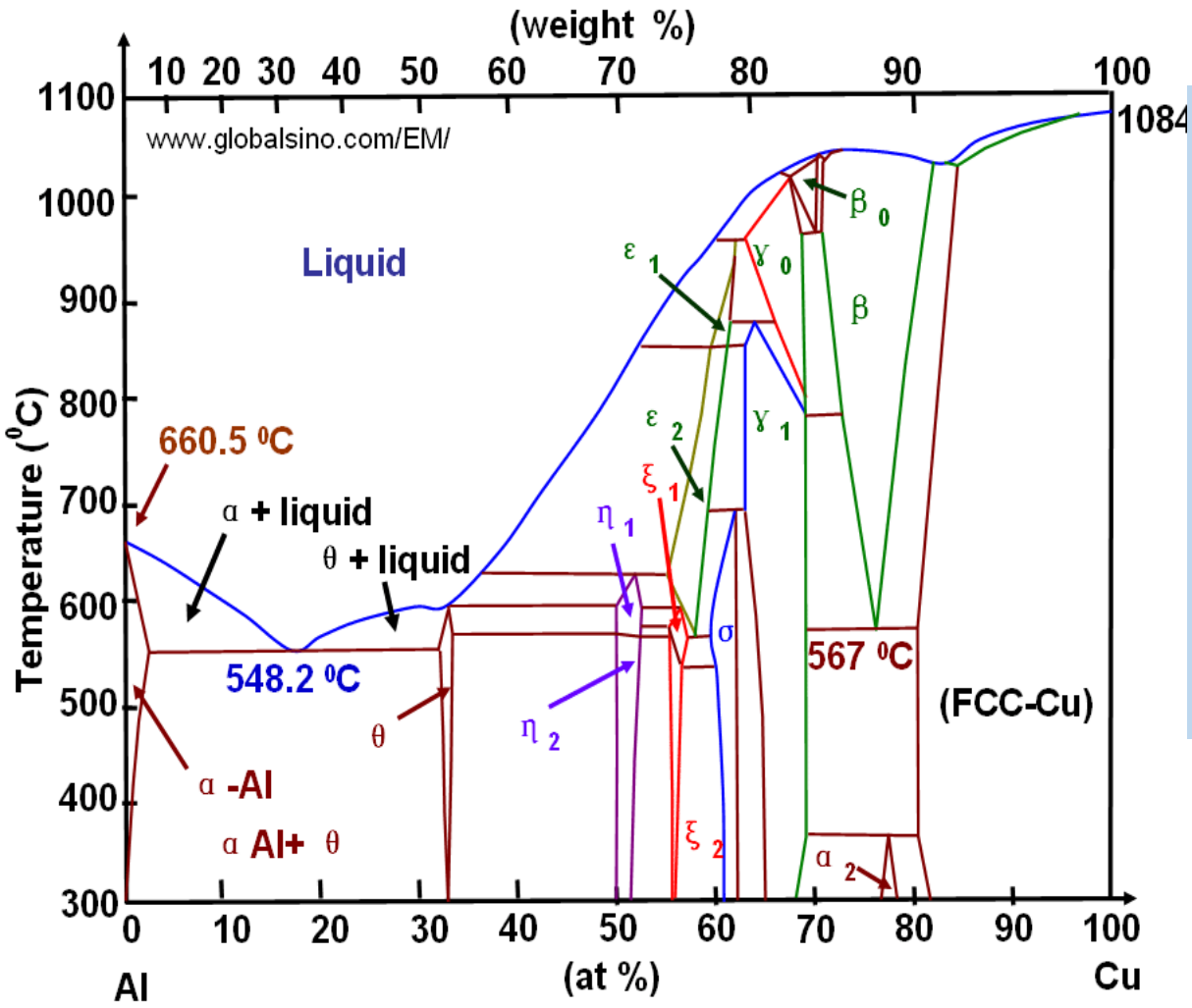
فرایند تشکیل رسوب و رشد رسوب در دمای بالاتر زودتر اتفاق می افتد.

پس زمان **Over Aging** در دمای بالاتر زودتر فرا می رسد.

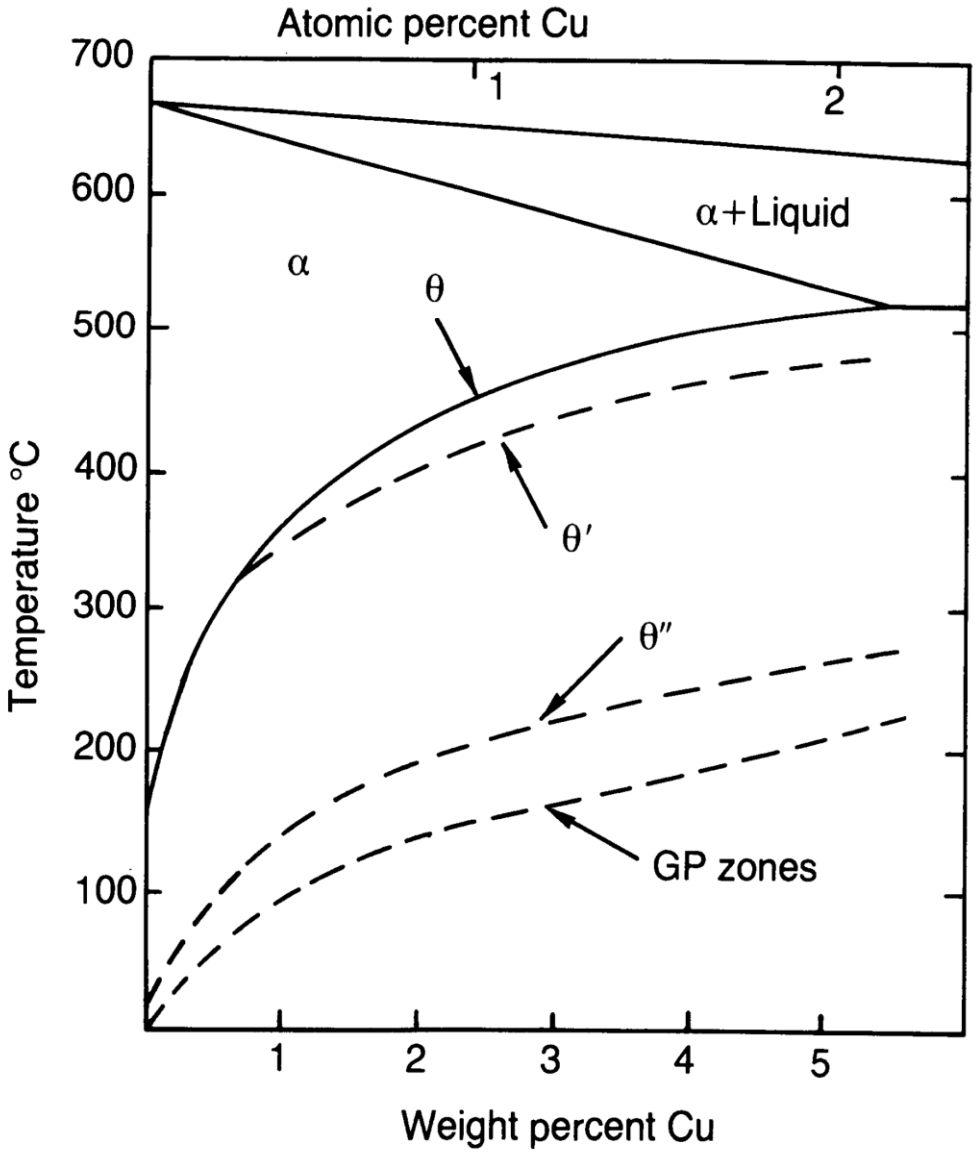
بنابراین یک مقدار ماکزیمم و سپس کاهش سختی با زمان را در طول فرآیند پیر سختی داریم.



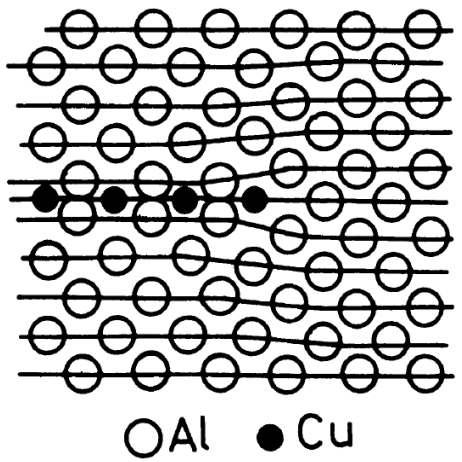
به عنوان مثال فرآیند پیر سختی را برای آلیاژ Al-4wt%Cu بررسی می شود.



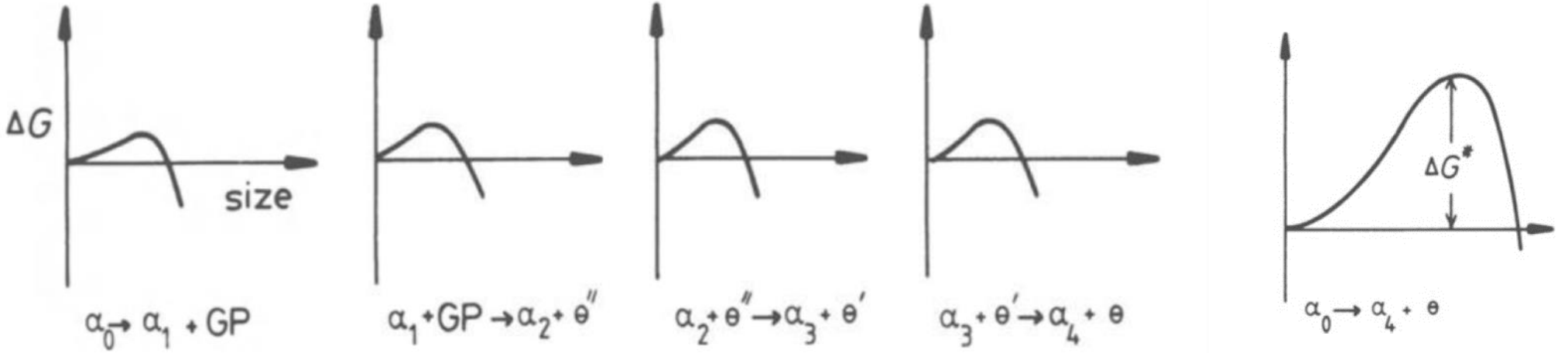
- ✓ فاز های پایدار نهایی در ترکیب آلیاژ مثال α و θ هستند.
- ✓ فاز α بیشتر دارای Al است و مقادیر مس در آن حل می شود.
- ✓ با توجه به کاهش حد حلالیت با دما لذا قابلیت پیر سختی دارد.
- ✓ فاز θ فاز غنی از مس است و اتم مس آن حدود ۲ برابر Al است.
- ✓ پس از کوئینچ (مرحله تهیه محلول فوق اشباع) تنها فاز α داریم.



- ✓ اما در حین پیرسازی مستقیما فاز θ به دلیل سد انرژی تشکیل بالایی که دارد در دمای پایین تشکیل نمی شود.
- ✓ بنابراین ابتدا فازهای انتقالی (واسط) تشکیل می شوند.
- ✓ اولین فاز را GP می نامند.
- ✓ سد انرژی تشکیل GP از α فوق اشباع بسیار کم است.
- ✓ فاز را GP با زمینه فصل مشترک کاملا همدوس دارد.
- ✓ کرنش ناشی از ناجفتی عمود بر صفحه رسوب است.
- ✓ رسوبات GP بسیار کوچک و در ابعاد زیر ۱۰ نانومتر هستند.
- ✓ با تشکیل GP سطح انرژی سیستم به اندازه G_1-G_0 کم می شود

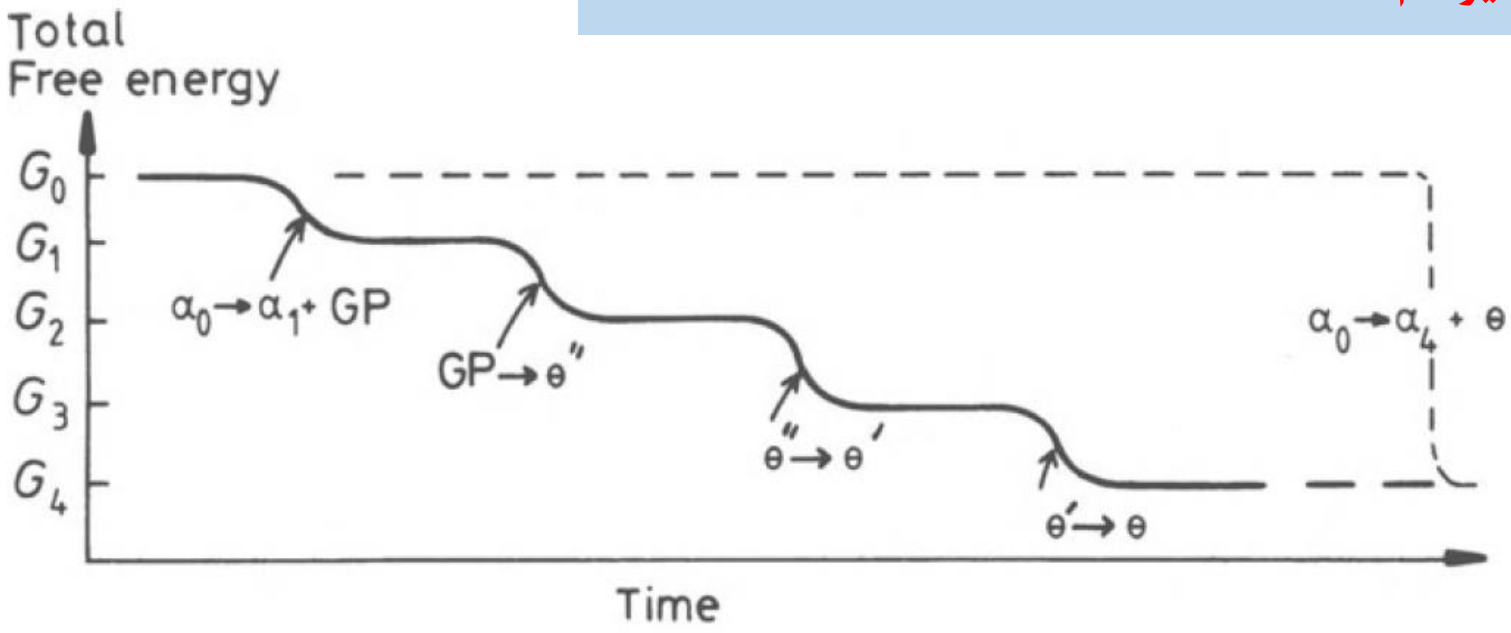


- ✓ در ادامه با رشد رسوب فاز GP به فاز θ" تبدیل می شود.
- ✓ ابعاد فاز θ" بیشتر است و در حدود ۱۰ نانومتر ضخامت و تا ۱۰۰ نانو عرض دارد.
- ✓ کرنش زیاد شده و لی هنوز فصل مشترک همدوس است.
- ✓ سد انرژی تشکیل θ" از GP نیز بسیار کم است.
- ✓ با تشکیل رسوبات θ" سطح انرژی سیستم به اندازه G_2-G_1 کم می شود



سد انرژی تشکیل در هر مرحله

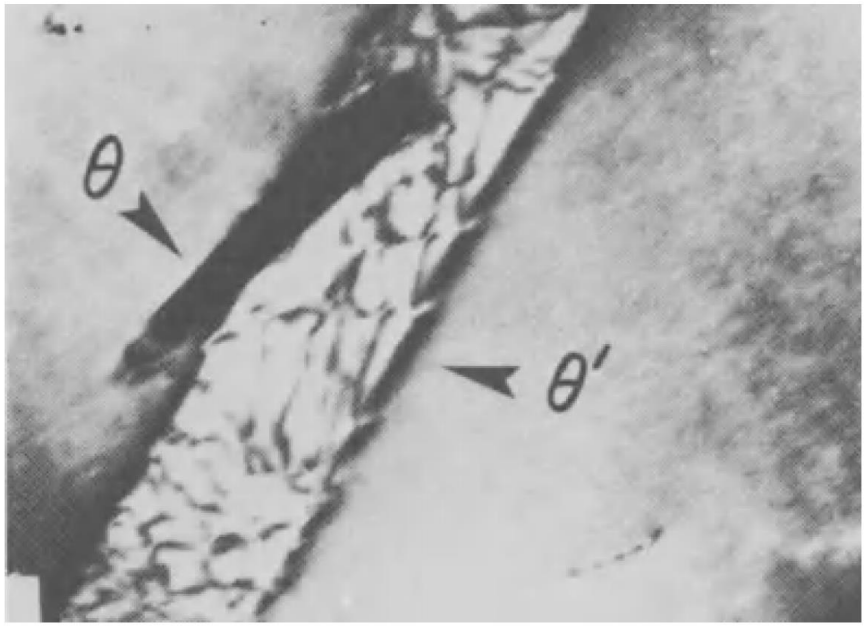
- ✓ فاز بعدی θ’ است تبدیل می شود.
- ✓ به دلیل درشت تر بودن θ’ همدوسی رسوب و زمینه از بین می رود.
- ✓ رسوب تنها در جهت (001) با زمینه فصل مشتر نیمه همدوس دارد.
- ✓ اندازه رسوبات θ’ به ۱ میکرون می رسد.
- ✓ با تشکیل رسوبات θ’ سطح انرژی سیستم به اندازه G_3-G_2 کم می شود.
- ✓ سد انرژی تشکیل θ’ از فاز θ” نیز کم است.



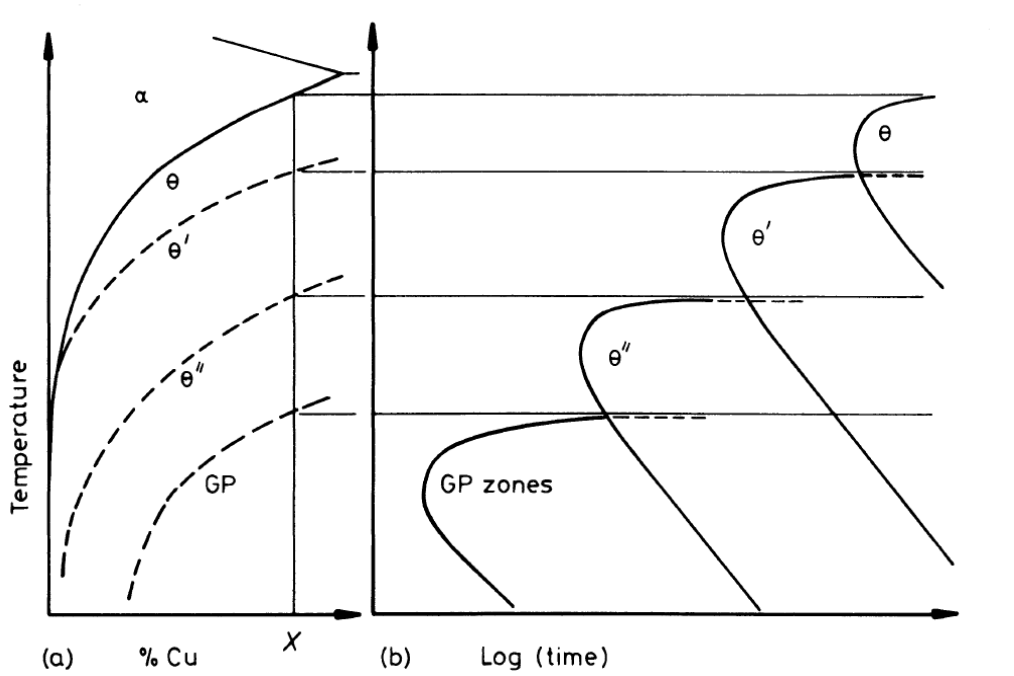
کاهش سطح انرژی سیستم حین تشکیل رسوبات

$$\alpha_0 \rightarrow \alpha_1 + \text{GP zones} \rightarrow \alpha_2 + \theta'' \rightarrow \alpha_3 + \theta' \rightarrow \alpha_4 + \theta$$

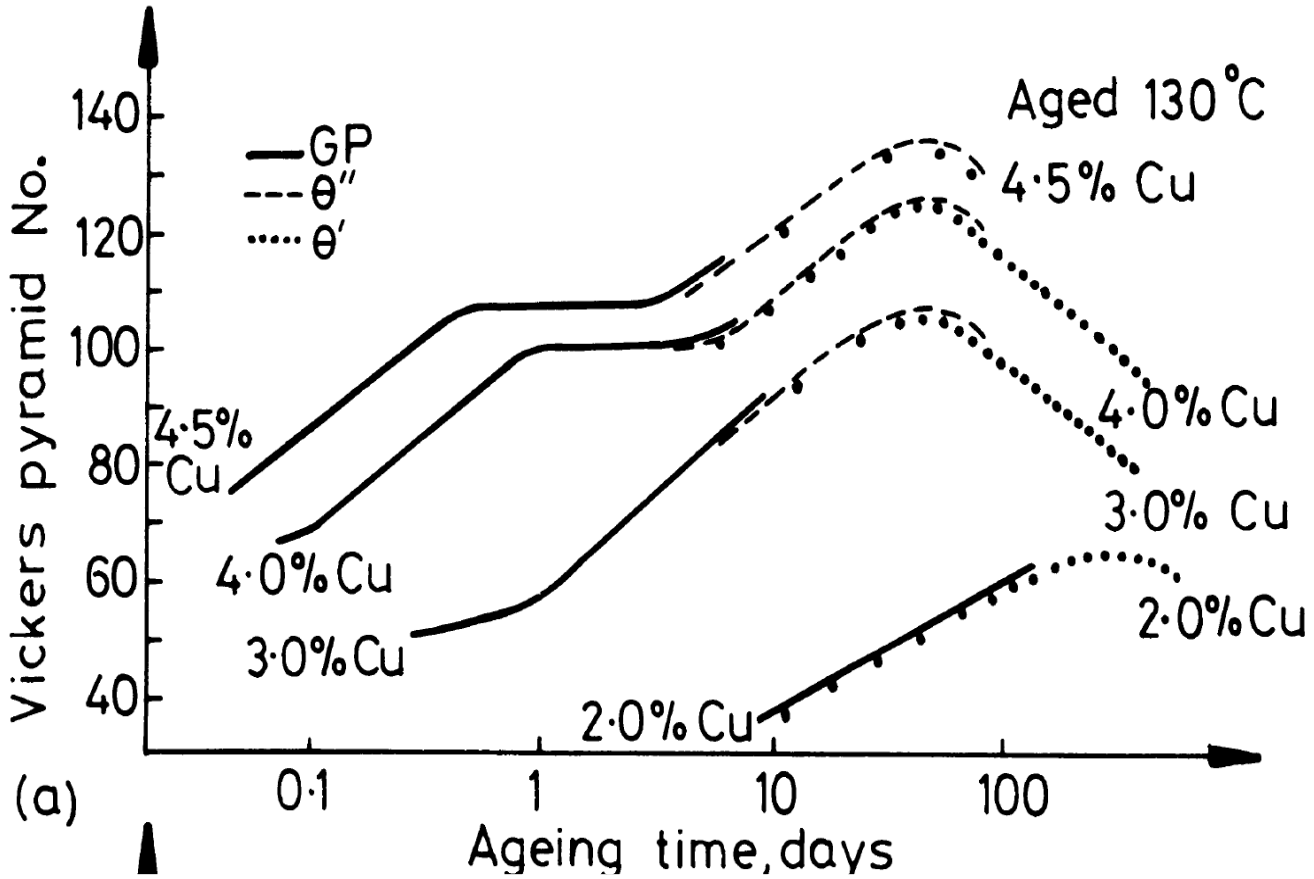
- ✓ فاز نهایی فاز θ است که از θ’ تشکیل می شود.
- ✓ فاز θ فاز تعادلی در دیاگرام فاز است.
- ✓ به دلیل درشت بودن θ یک رسوب کاملا غیر همدوس است.
- ✓ با تشکیل θ سطح انرژی سیستم به اندازه G_4-G_3 کم می شود.
- ✓ سد انرژی تشکیل θ از θ’ نیز کم است.



جوانه زنی فاز θ بر روی θ’

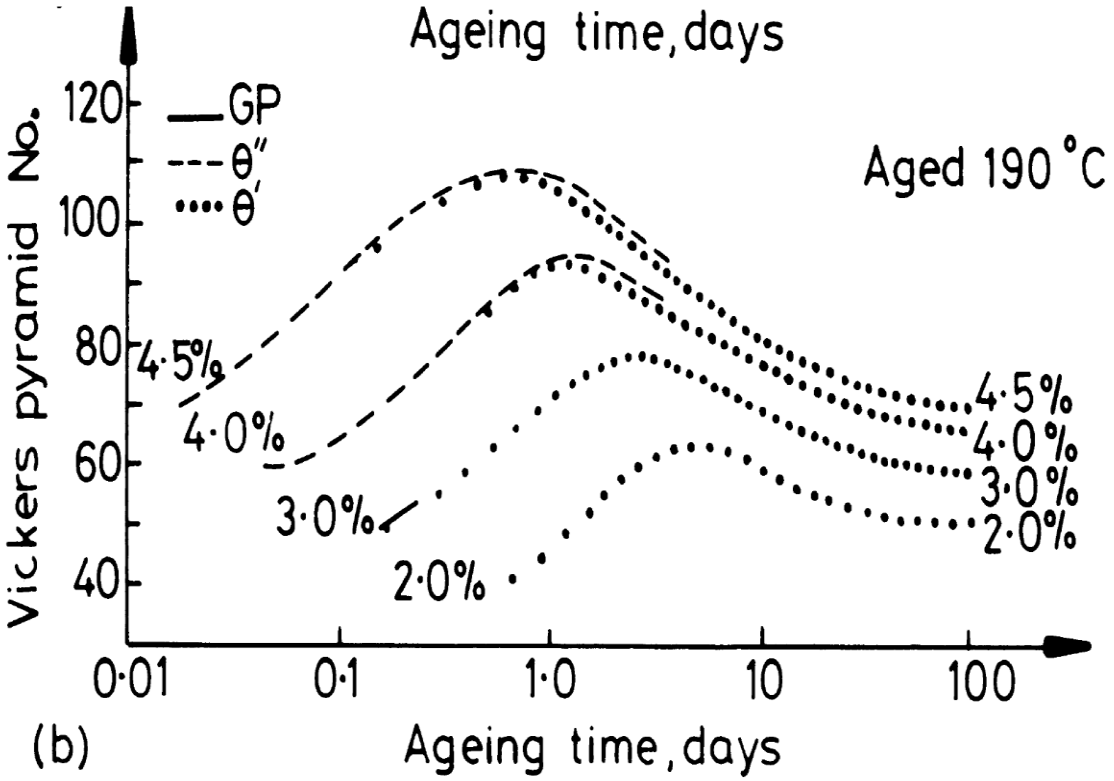


ترتیب دماغه تشکیل فازهای انتقالی در دیاگرام TTT



تغییرات سختی حین پیر سختی با زمان و ترکیب در 130 °C

- ✓ سختی دارای یک نقطه ماکزیمم است.
- ✓ با افزایش زمان، سختی ابتدا زیاد و سپس کم می شود.
- ✓ ابتدا رسوبات GP و سپس θ″ و بعدا θ′ تشکیل می شود.
- ✓ افزایش مس آلیاژ باعث افزایش ماکزیمم سختی می شود.
- ✓ تشکیل رسوبات با افزایش مقدارمس زودتر اتفاق می افتد.
- ✓ ضمن شروع تشکیل رسوبات سختیی افزایش می یابد.
- ✓ با تشکیل رسوبات θ″ سختی بیشتر می شود.
- ✓ پس از فراپیر سختی سختی کم می شود.
- ✓ حین تشکیل و رشد رسوبات θ′ سختی افت می کند.
- ✓ بیشترین مقدار سختی حدود 130MPa با 4.5%wt Cu در ۵۰ ساعت پیر کردن در 130 °C حاصل می شود.



تغییرات سختی حین پیر سختی با زمان و ترکیب در 190 °C

- ✓ تغییرات منحنی 190 °C نسبت به 130 °C به سمت چپ شیفت کرده اند.
- ✓ در دمای بالا تحولات زودتر و سریع تر پیشرفت کرده اند.
- ✓ با افزایش زمان، سختی ابتدا زیاد و سپس کم می شود.
- ✓ ابتدا رسوبات θ″ و سپس θ′ تشکیل می شود.
- ✓ در دمای 190 °C رسوبات GP کمتر تشکیل می شوند.
- ✓ افزایش مس آلیاژ باعث افزایش ماکزیمم سختی می شود.
- ✓ بیشترین مقدار سختی حدود 110MPa با 4.5%wt Cu در ۱ ساعت پیر کردن در 190 °C حاصل می شود.
- ✓ ماکزیمم سختی در 190 °C نسبت به 130 °C کمتر است ولی زودتر حاصل می شود.

مناطق خالی از رسوب PFZ

- بدلیل عدم غلظت کافی از جای خالی غیر تعادلی مورد نیاز جهت جوانه زنی رسوب
- بدلیل عدم غلظت کافی از اتم های رسوب مورد نیاز جهت جوانه زنی رسوب