

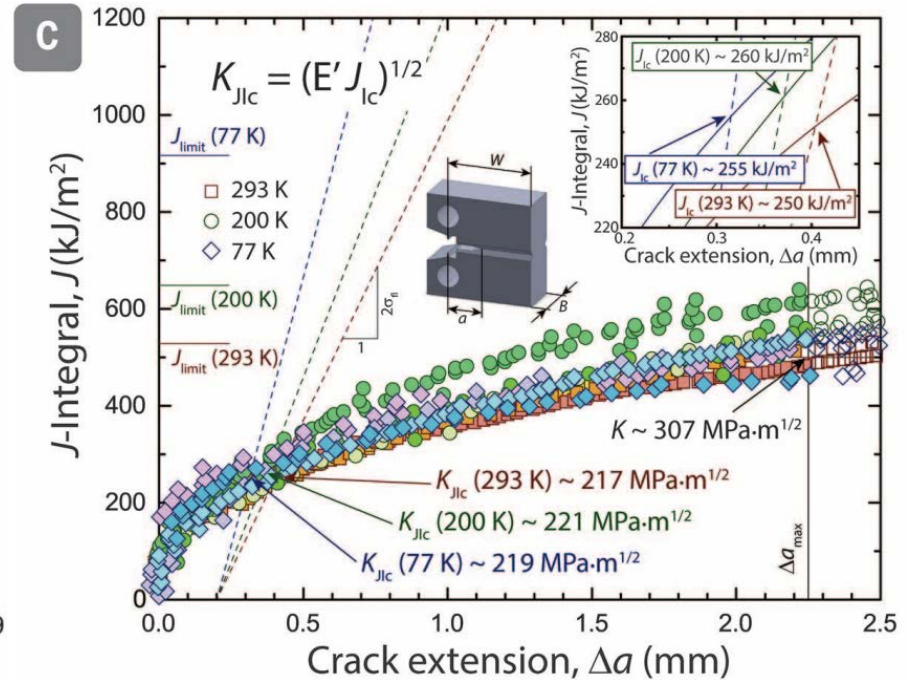
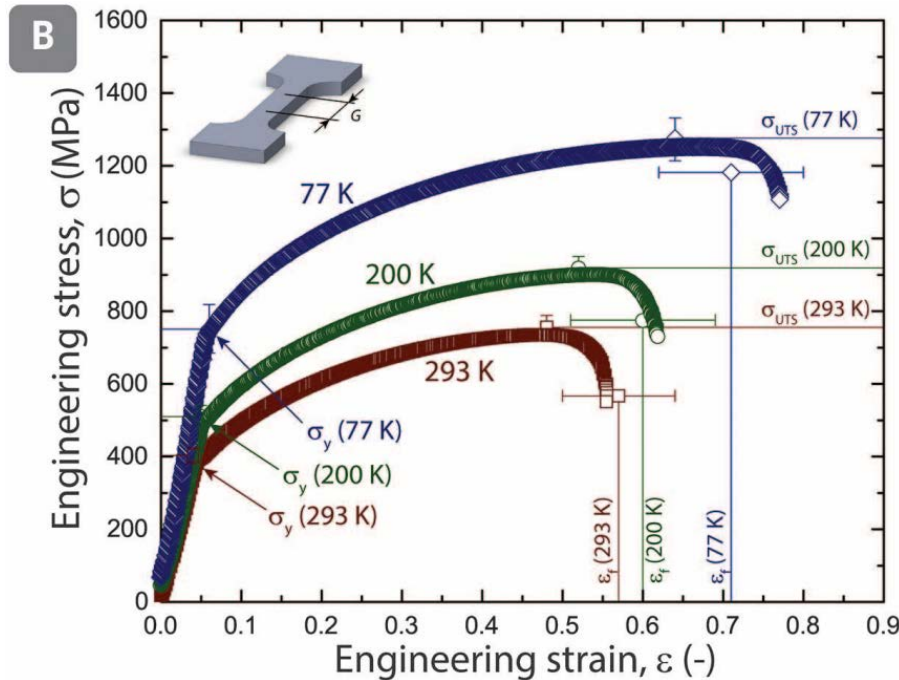
# Low temperature yield strength of BCC refractory alloys

2017. 06. 19

ESPark Research Group  
김일환, 김상준

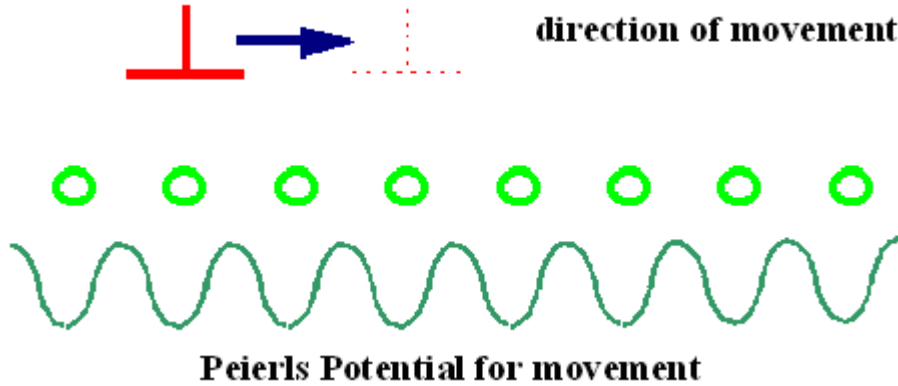
# Low temperature toughness of HEA

Gludovatz, Bernd, et al., *Science* 345.6201 (2014): 1153-1158.



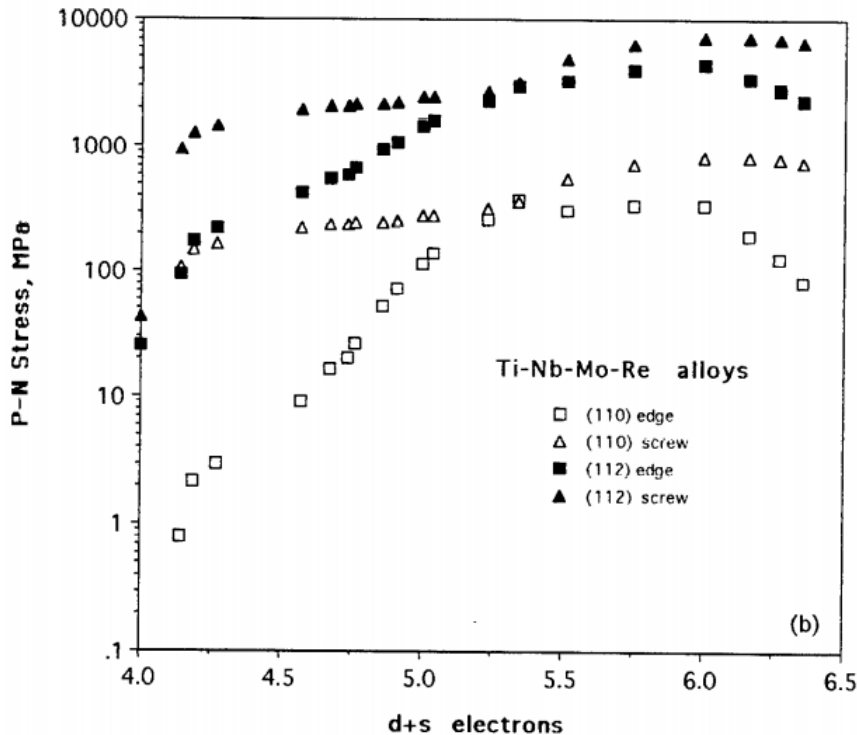
- CrMnFeCoNi alloy showed superior mechanical property in cryogenic temperature.
- HEA is considered as an structural materials for extreme environment.

# Peierls-Nabarro stress

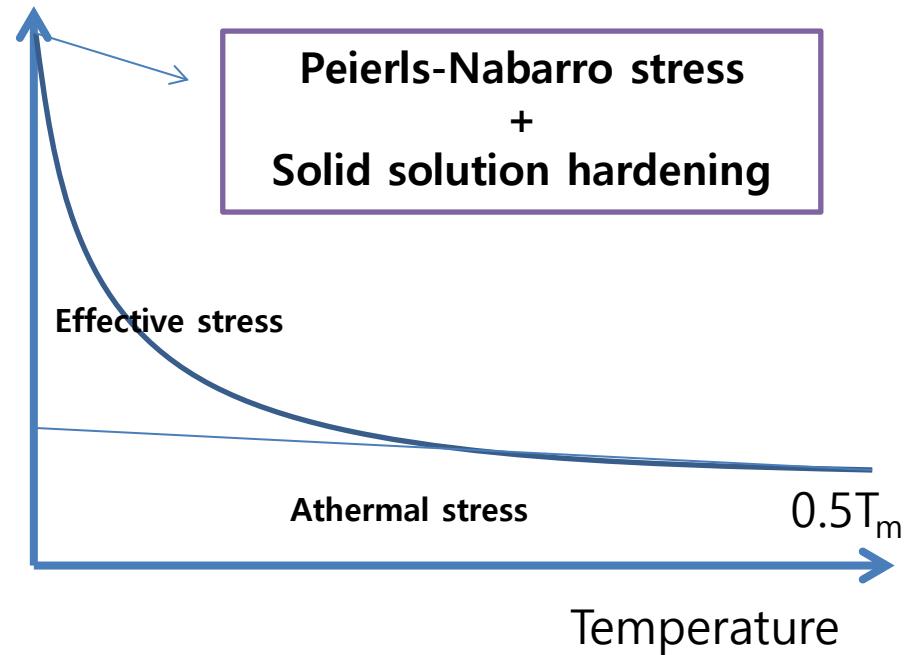


Peierls-Nabarro stress:  
0K에서 전위가 이동하는데  
필요한 stress

$$\tau_p = \frac{G}{(1-\nu)} \exp\left(-\frac{4\pi d}{2b(1-\nu)}\right)$$

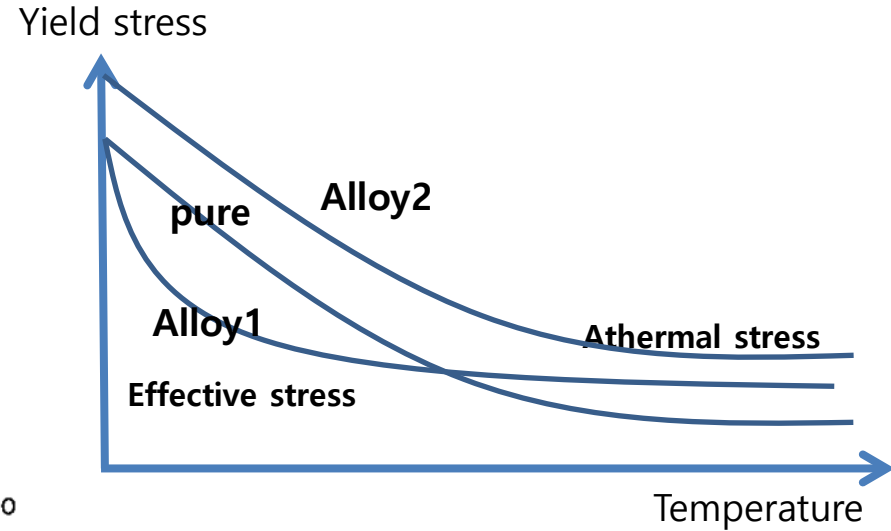
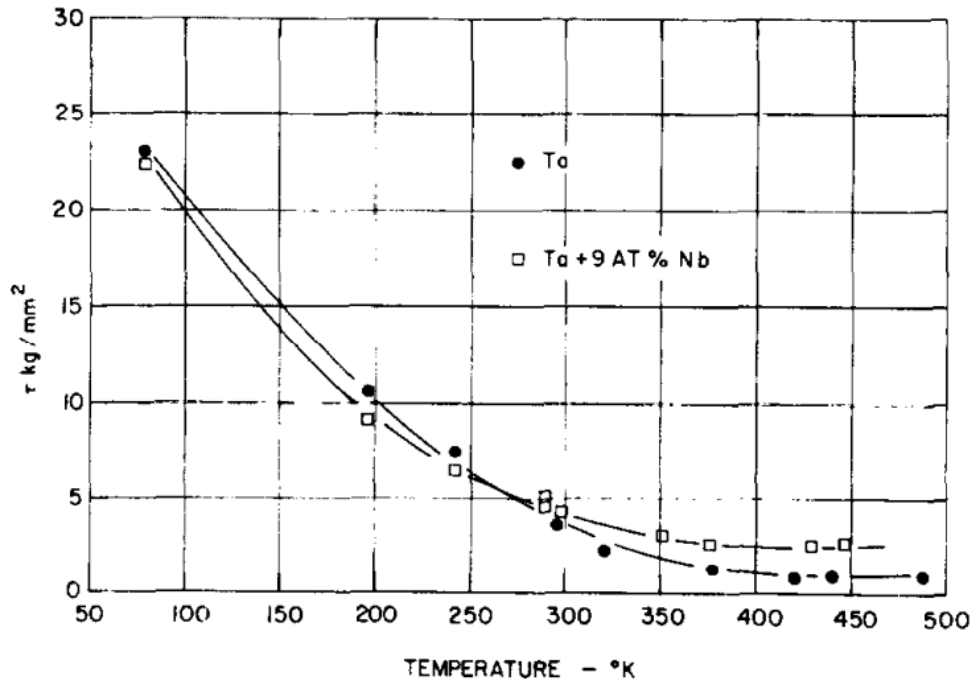


Yield stress



# Solid solution weakening in BCC alloys

Arsenault, R. J., *Acta Metallurgica* 17.10 (1969): 1291-1297.



- Solid solution weakening 현상이 저온 영역에서 관찰됨.
- 고온에서의 항복강도는 저온에서의 강도 변화와 밀접한 관련이 있음.
- Effective stress의 감소 정도를 줄여 athermal stress 유지 목적.

# Experimental setup

- Low temperature



- High temperature

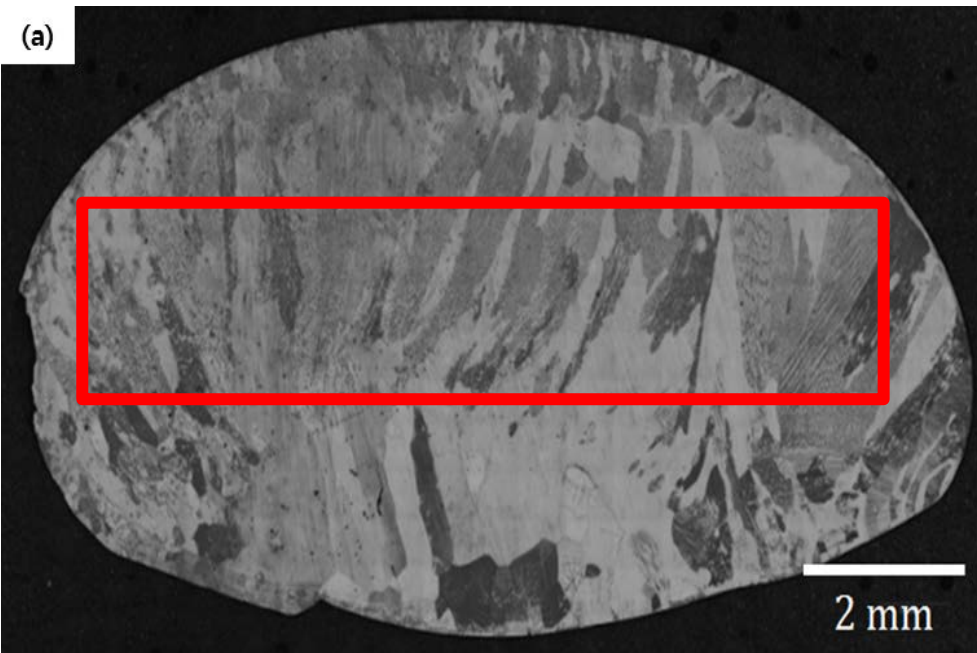
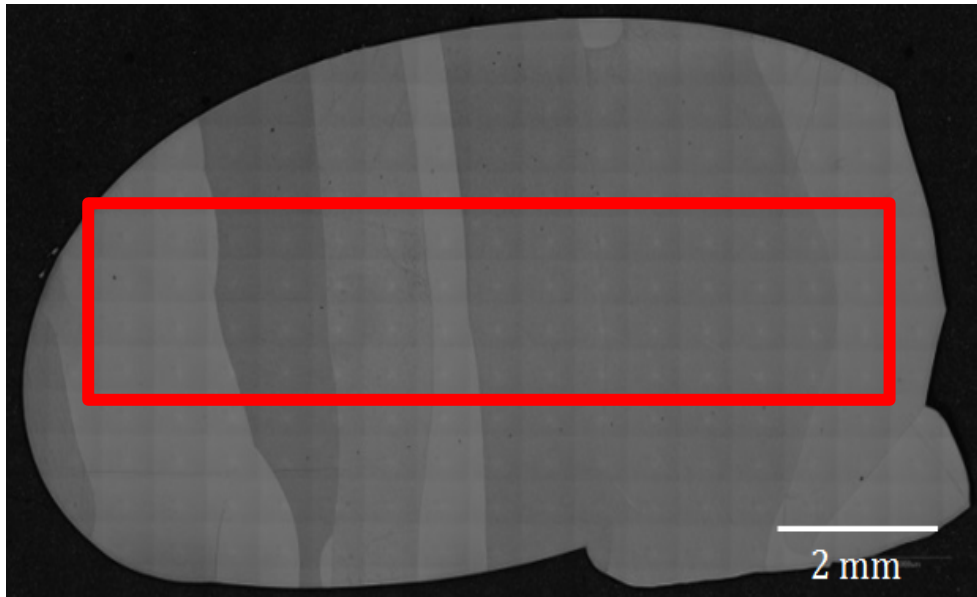


- Pure W(6),  $W_{60}Ta_{40}$ (5.6)
- WTaVTi(5), WTaVTiCr(5.2)
- WTaVTiNb(5), MoTaVTiNb(5)

**Ductile** **Brittle**

4.0 5.0 6.0

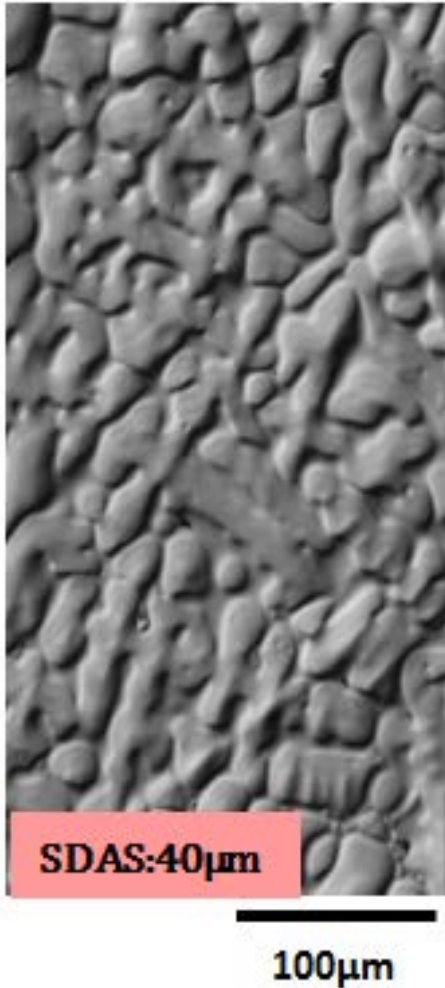
3d:	22 Ti	23 V	24 Cr
4d:	40 Zr	41 Nb	42 Mo
5d:	72 Hf	73 Ta	74 W



- 결정립 크기 Pure W: 약 1mm
- W60Ta40: 약 500 $\mu$ m
- Hall-petch relation에 적용 받지 않는 범위.



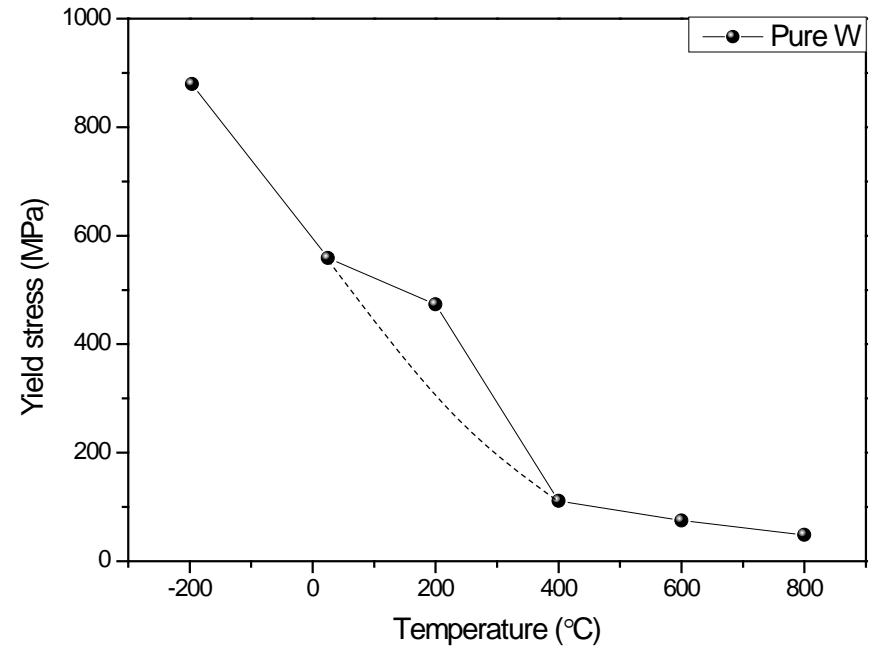
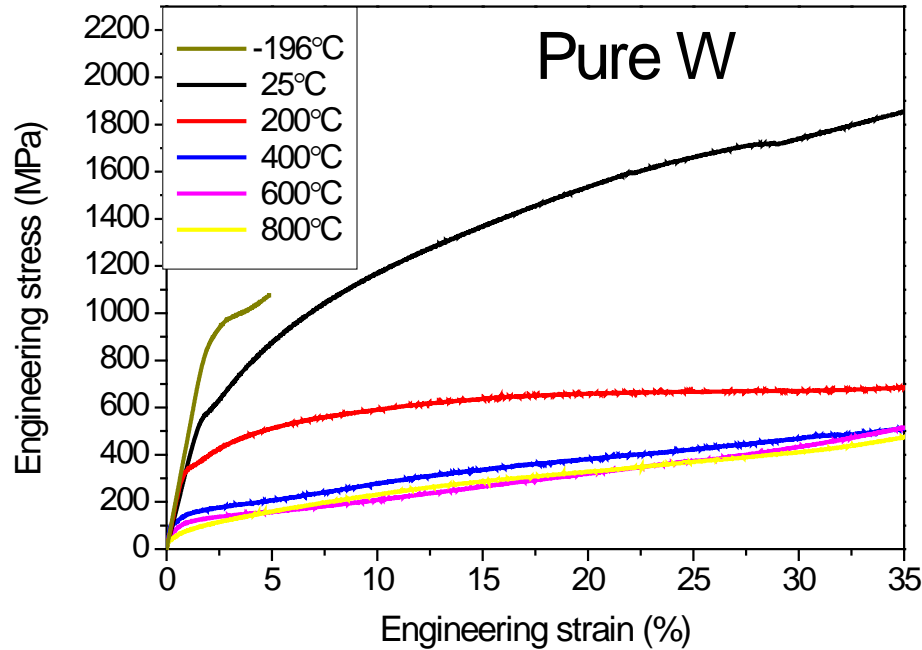
WTaVTi



WTaVTiCr

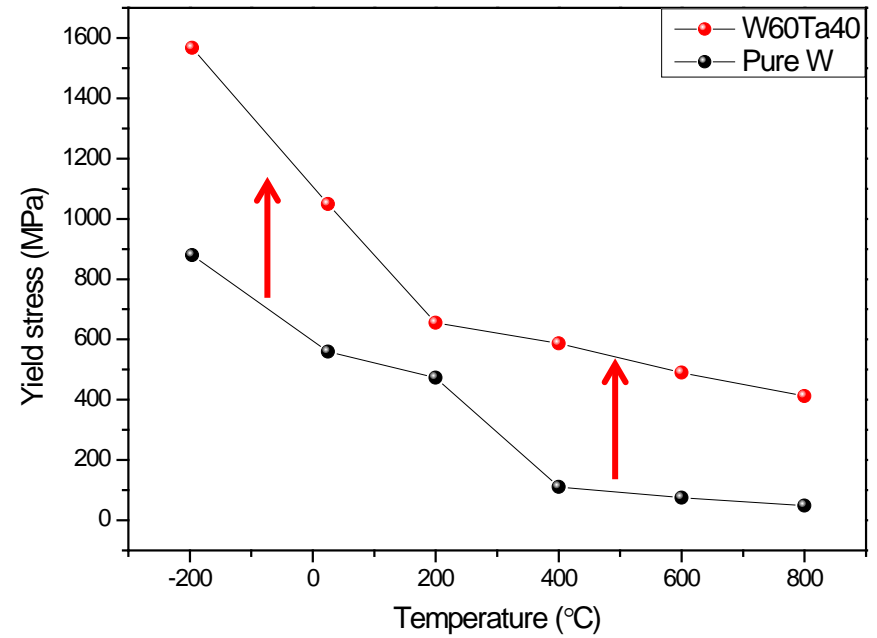
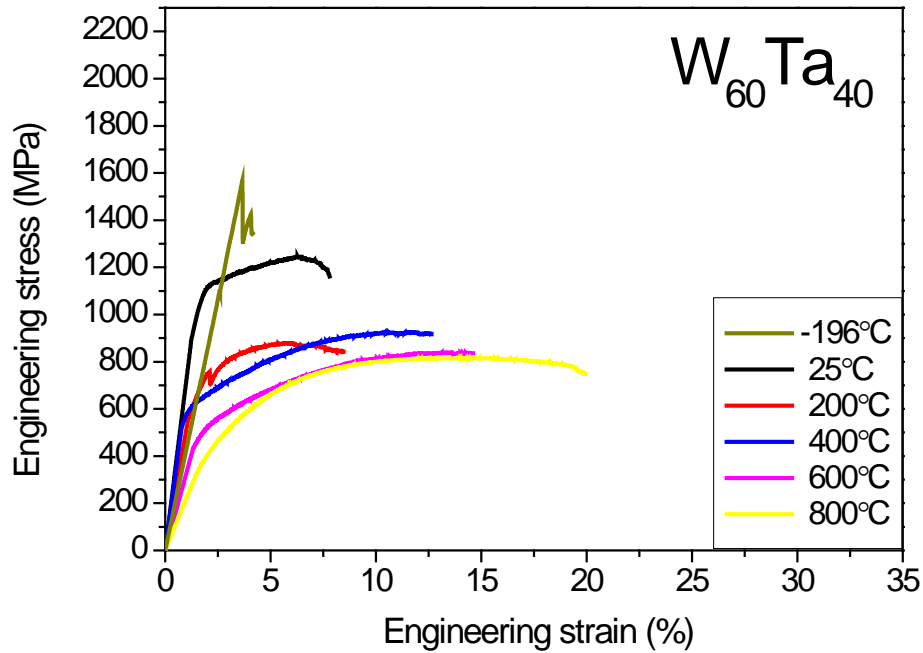


- 같은 미세구조.
- 결정립 크기 약 200 $\mu\text{m}$ .
- 수지상의 분율차이. (정량 분석 x)

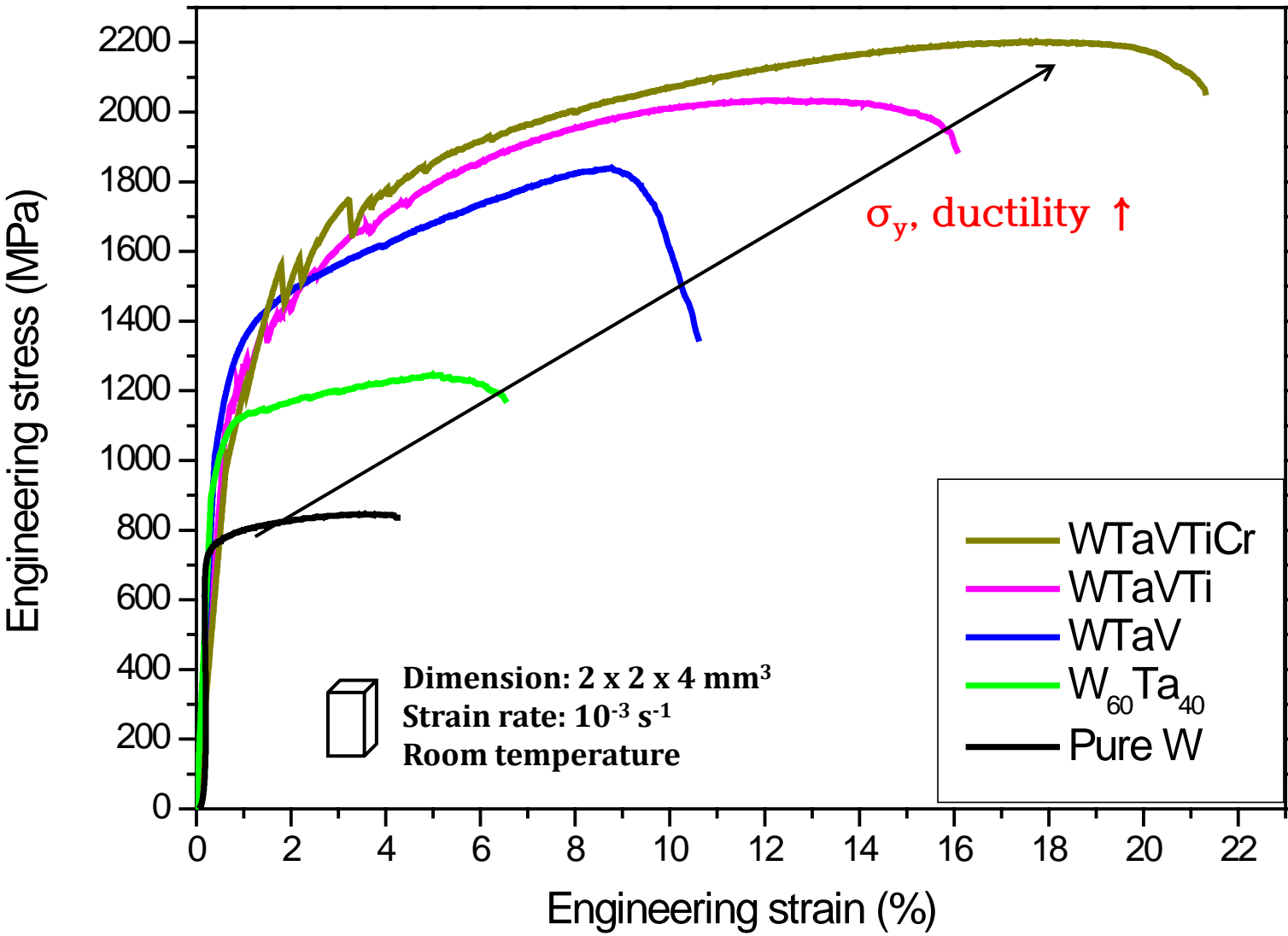


- 순 텅스텐의 경우 -196°C 항복강도 약 900MPa (결정립 크기:1mm)  
(ref. 결정립 크기 40 $\mu$ m: 1380MPa)
- 900MPa  $\rightarrow$  50MPa의 급격한 항복강도 감소
- 200  $^{\circ}$ C 부근에서 abnormal 포인트 관찰

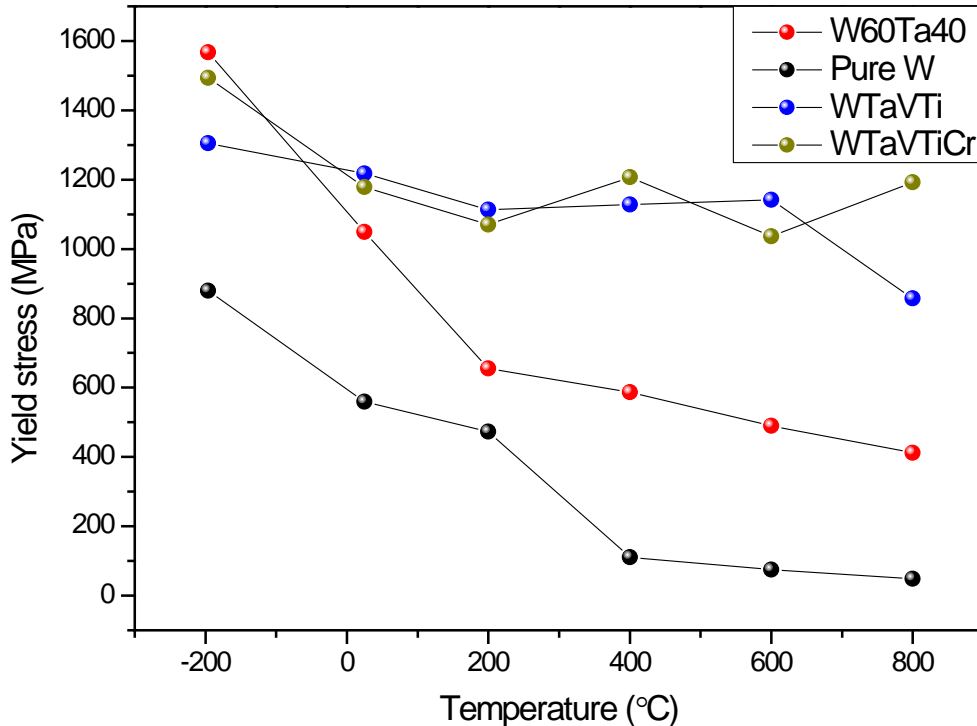
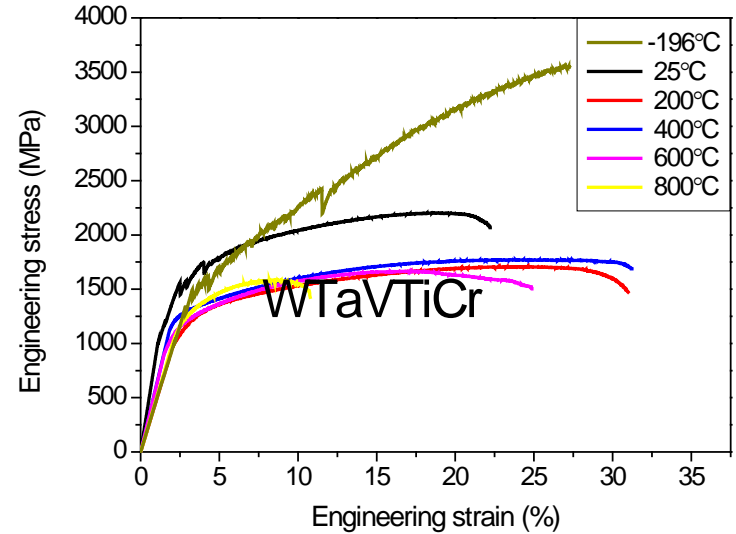
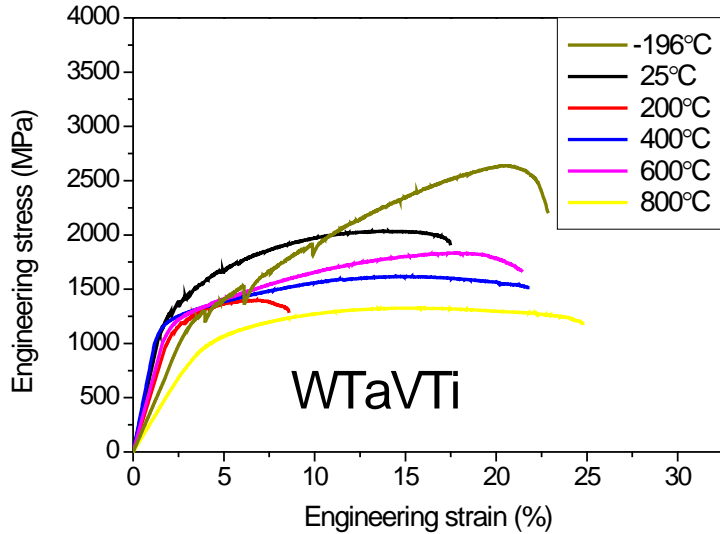




- 높은 취성으로 인해 탄성변형 중 파단 발생.
- 고용강화 효과가 effective stress와 athermal stress를 증가시킴.

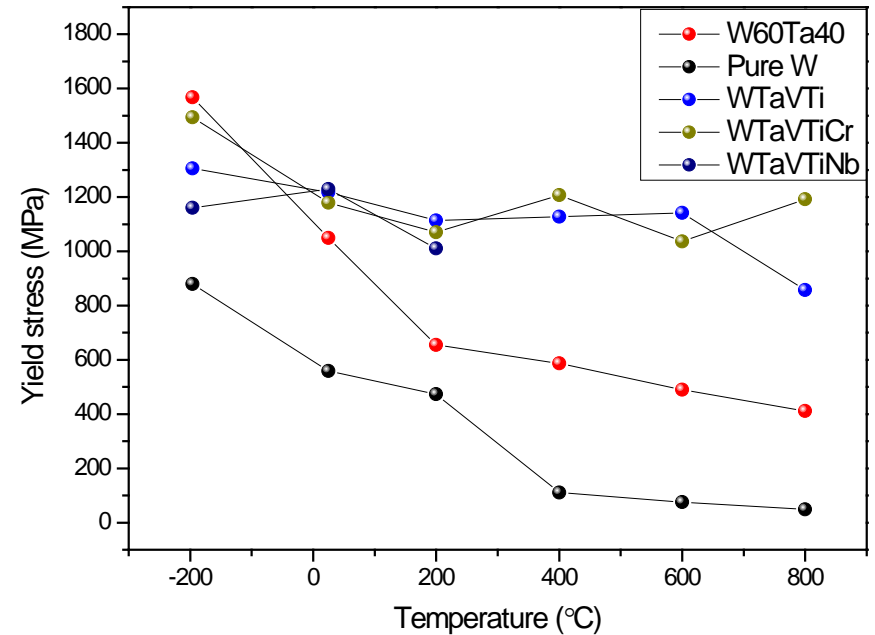
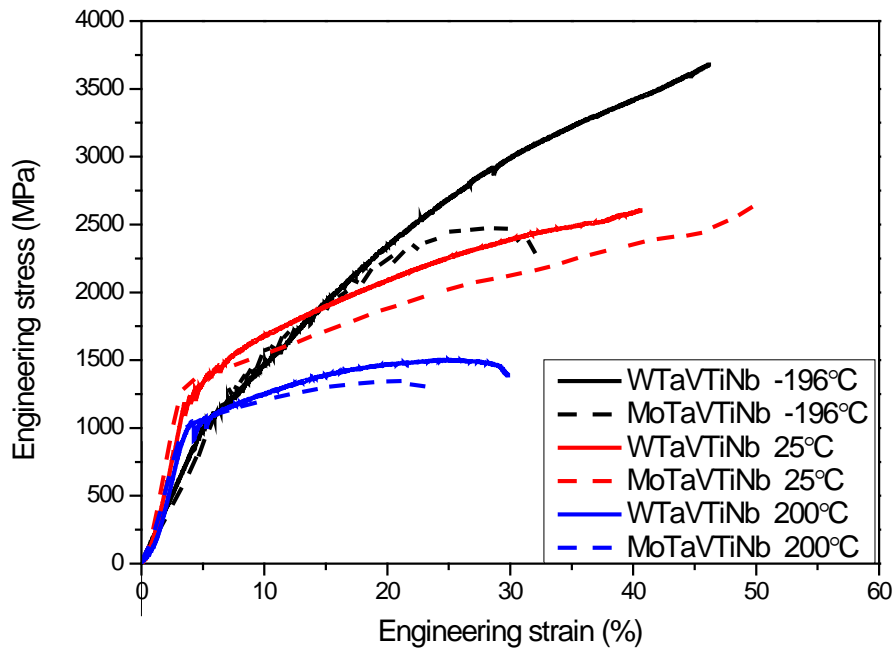


# Results

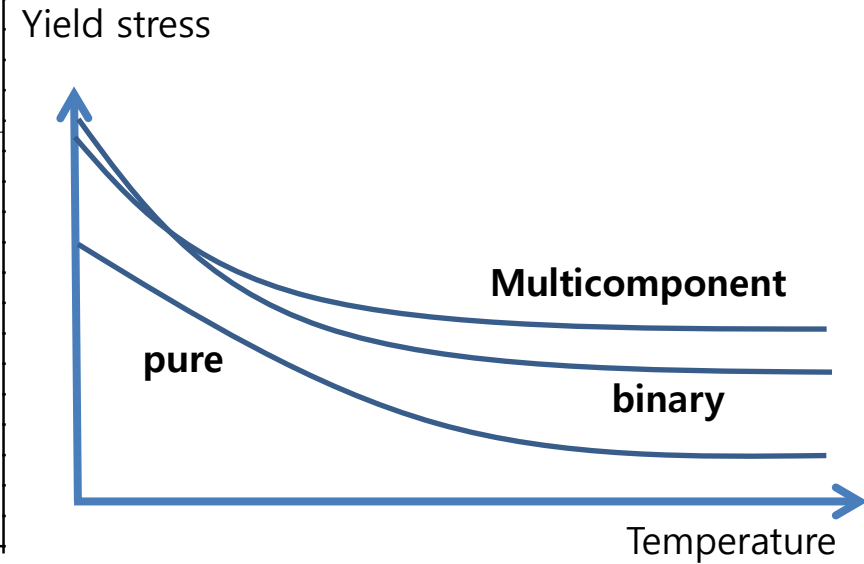
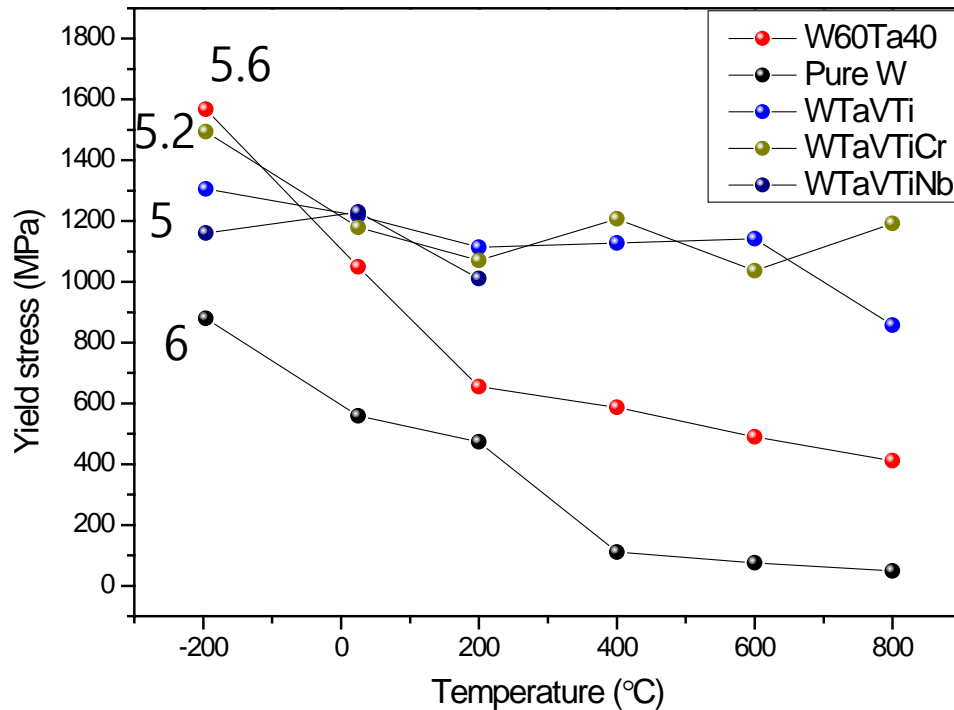


- 저온에서 고온까지 다성분 합금의 항복강도 유지.
- Strain hardening rate ↑
- 고용강화 효과로 인한 높은 항복강도.
- Athermal stress가 고용강화로 인하여 effective stress 수준으로 상승함.

## WTaVTiNb, MoTaVTiNb

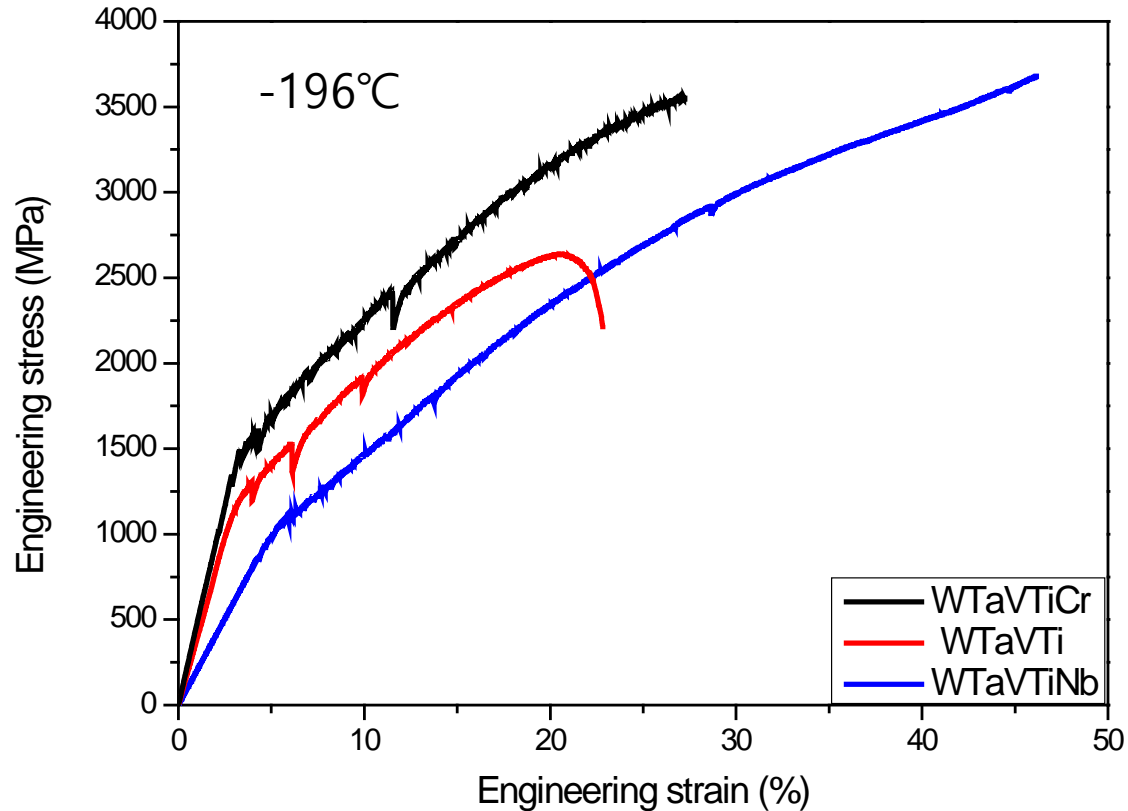


- W과 Mo을 치환 고용시킨 합금에서 온도에 따라 비슷한 거동을 보임.
- 이원계 합금에서 다성분계 합금으로 치환 시 저온에서 solid solution weakening이 관찰됨.
- 다성분계 합금에서 급격한 고온 연화는 발생하지 않음.



- 다성분계로 갈수록 athermal stress 영역이 높아져 고온 항복강도 안정.
- 저온 solid solution weakening 현상 -> effective stress 영역에서 P-N stress가 VEC에 따라 줄어듦

∴ 다성분계 합금에서 고용강화로 인한 고온 연화 저항성이 향상



- 다성분계 합금의 저온에서의 항복강도는 원자크기 차이로 인한 고용강화 정도와 VEC에 관계.
- Nb이 첨가되면 연성 향상

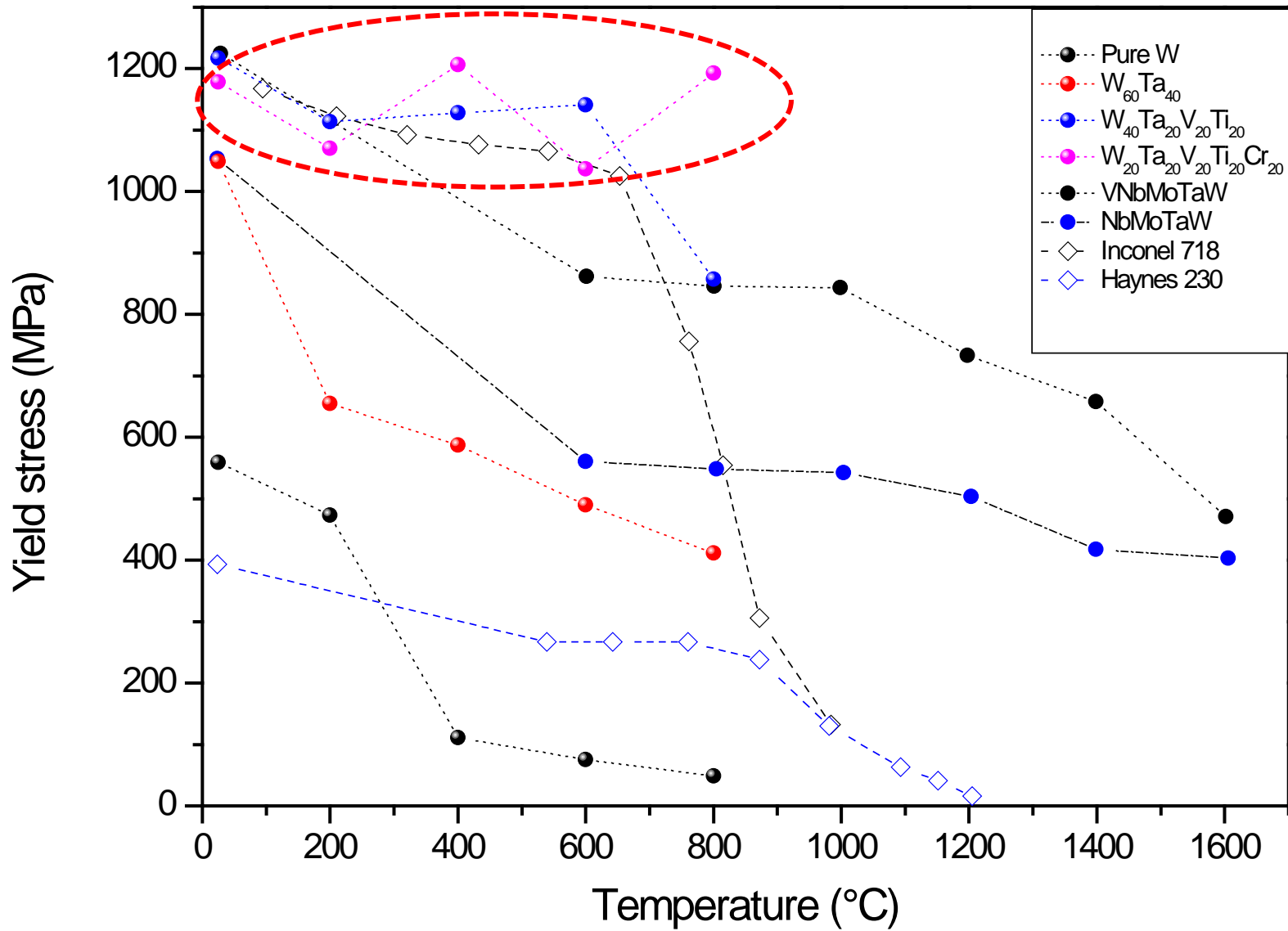
Elements	W	Ta	V	Ti	Cr	Mo	Nb
Atomic size (pm)	139	146	134	147	128	138	146



- BCC Refractory HEA의 저온 기계적 특성을 분석함.
- Pure W과 binary 합금에서 고온 항복강도가 급격히 감소함을 관찰.
- 다성분계 합금에서는 저온 및 고온 항복강도가 유지되는 것을 관찰.
- 다성분계 합금에서 effective stress의 감소폭이 적고 이는 고용강화 효과임을 정성적으로 분석함.
- 결국, athermal stress를 높게 유지하는 것이 가능함.
- 다성분계 합금에서의 고용강화를 이용한 저온부터 고온까지의 합금설계를 적용할 수 있음.

## Future work

- 고용강화의 정량적 분석 시행
- Effective stress와 athermal stress에 영향을 미치는 요인에 대한 분석
- Strain hardening rate 분석



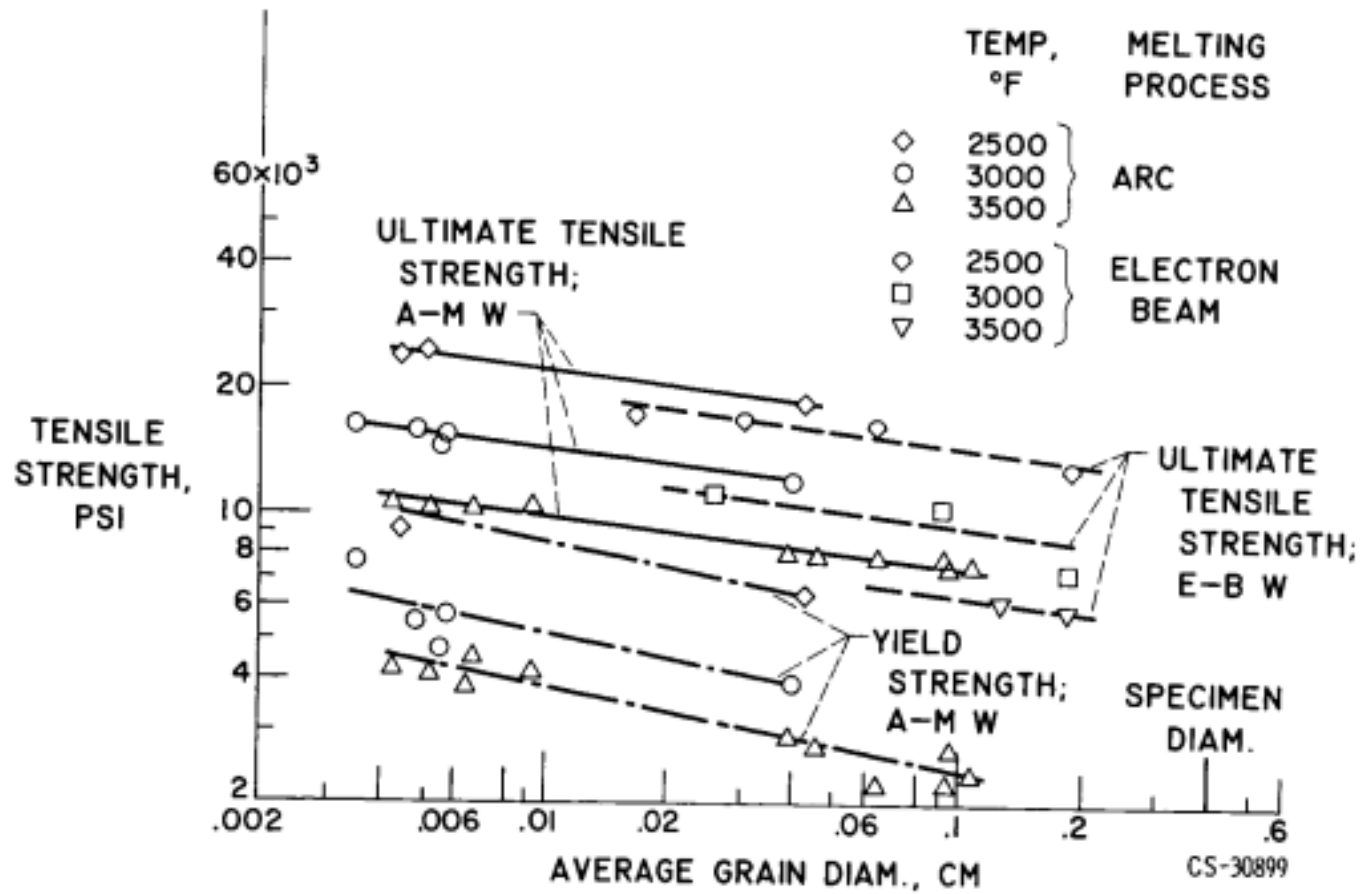


Fig. 2. - Yield and ultimate tensile strengths of arc-melted tungsten and ultimate tensile strength of electron-beam-melted tungsten as a function of grain size.

CS-30899

