

6.2 研究項目②ボイラ要素技術開発

新日鐵住金株式会社
三菱日立パワーシステムズ株式会社
三菱重工業株式会社
株式会社IHI

目次

6.2 研究項目②ボイラ要素技術開発

6.2.1 開発課題と目標

6.2.2 研究開発成果

6.2.2.1 過熱器管材料開発成果

6.2.2.2 再熱器管材料開発成果

6.2.2.3 厚肉大径管材料開発成果

6.2.2.4 フェライト系厚肉大径管材料開発成果

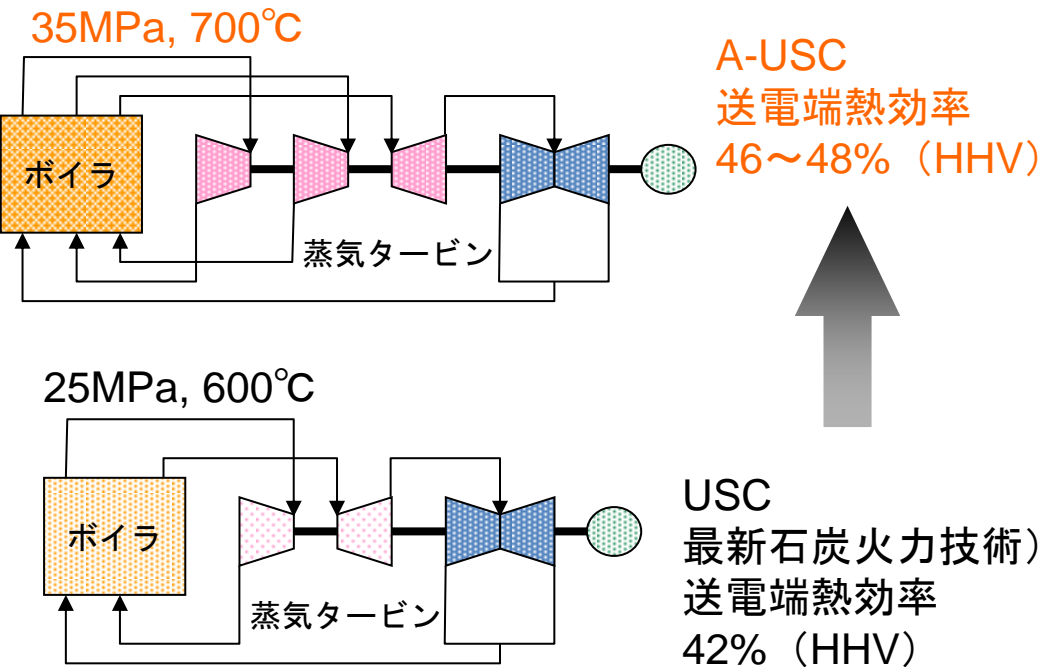
6.2.3 まとめ

6.2.4 今後の課題と取り組み

6.2.1 開発課題と目標

6.2.1 開発課題と目標

開発課題: ボイラ蒸気温度の向上に伴い, A-USCボイラでは
 新たな材料開発および適用が課題となる.



	SC,USC ←			→ A-USC		
圧力 (MPa)	25	25	25	30	30	35
主蒸気温度 (°C)	538	566	600	650	700-720	
再熱器蒸気温度 (°C)	566	566	600	650	700-750	
火炉壁	低合金鋼			従来材 改良鋼		
加熱器管, 再熱器管	2.25~9Cr			SUS		Ni基
高温部管寄せ 厚肉大径管	2.25~9Cr			改良 9Cr		Ni基

着色部: 開発必要

過熱器管, 再熱器管: Ni基合金の開発が必要

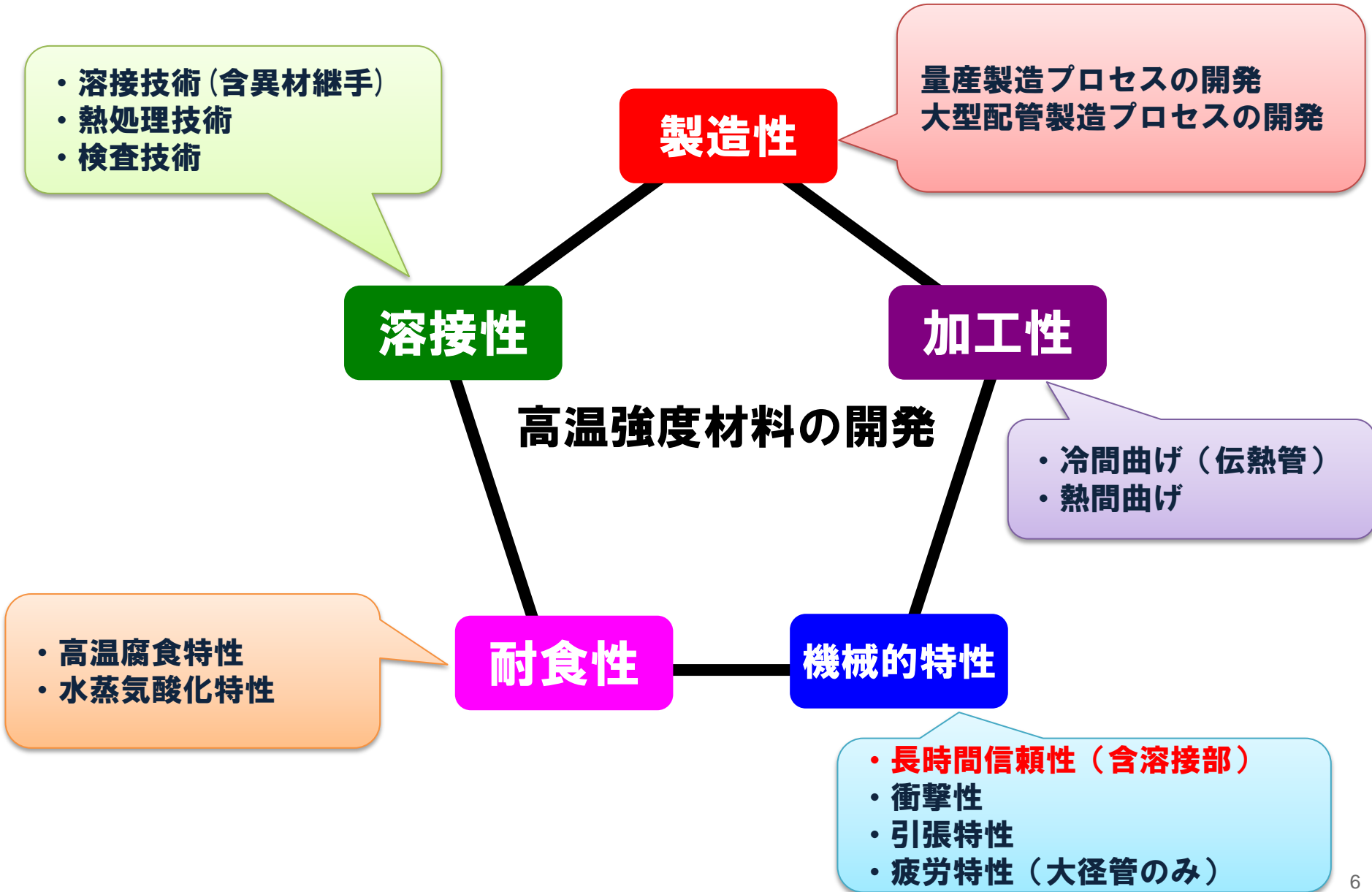
厚肉大径管: 高強度フェライト鋼, Ni基合金の開発が必要

6.2.1 開発課題と目標

開発目標

- ① 10万時間、750°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ過熱器管材料開発
- ② 10万時間、750°Cで60MPa以上のクリープ強度を持つ加工性・経済性に優れる再熱器管材料開発
- ③ 10万時間、700°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ厚肉大径管材料開発
- ④ 10万時間、650°Cで80MPa以上のクリープ強度と継ぎ手強度低減係数0.7以上を持つ経済性に優れたフェライト系厚肉大径管材料開発

6.2.1 開発課題と目標



6.2.2 研究開発成果

6.2.2.1 過熱器管材料開発成果

6.2.2.2 再熱器管材料開発成果

6.2.2.3 厚肉大径管材料開発成果

6.2.2.4 フェライト系厚肉大径管材料開発成果

6.2.2 研究開発成果

6.2.2.1 過熱器管材料開発成果

6.2.2.2 再熱器管材料開発成果

6.2.2.3 厚肉大径管材料開発成果

6.2.2.4 フェライト系厚肉大径管材料開発成果

6.2.2.1 過熱器管材料開発成果

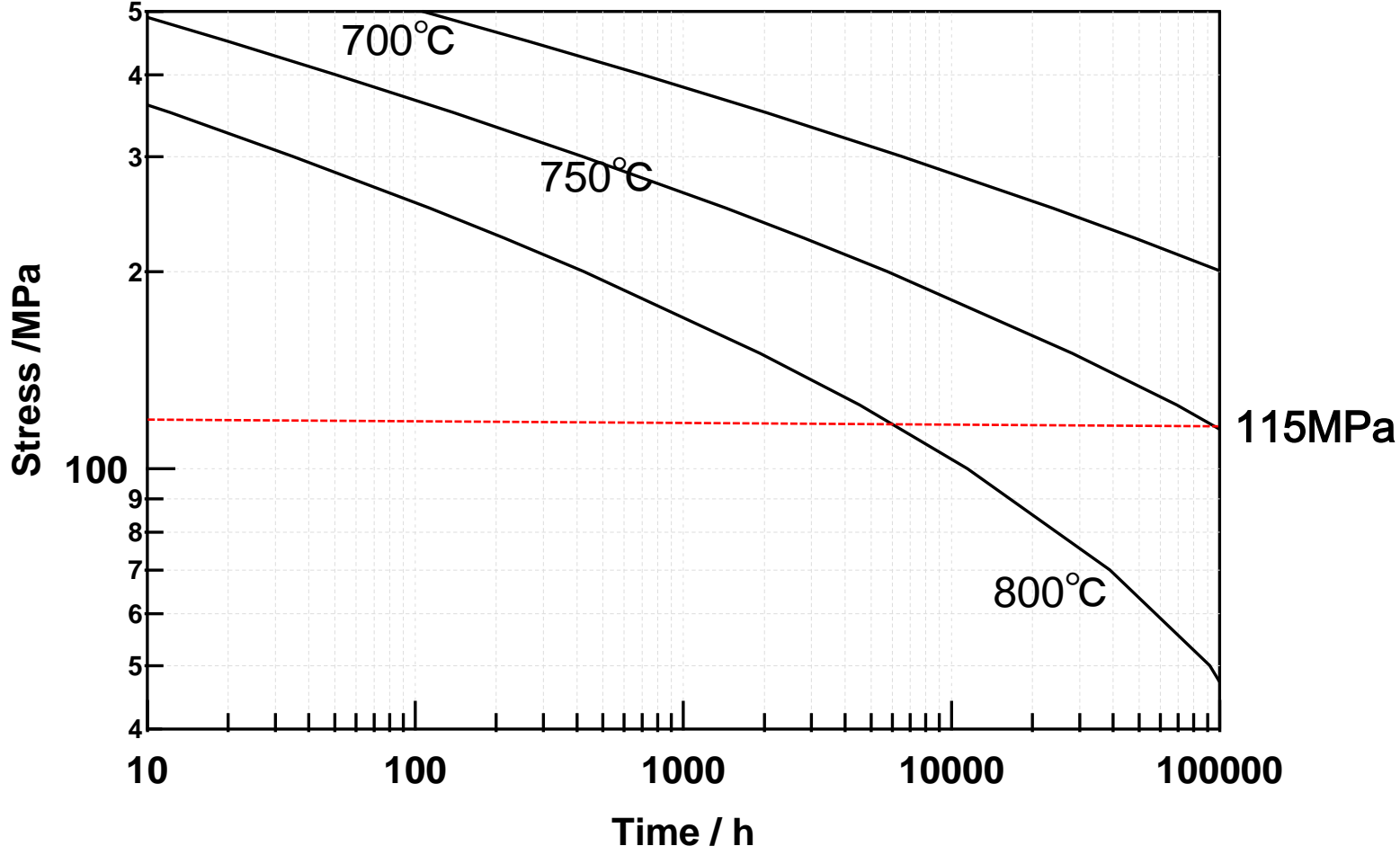
開発目標: 10万時間, 750°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ過熱器管材料開発
過熱器管候補材料として, 以下の3合金を選定した.

材料名	代表組成	開発元	特徴
Alloy263	Ni-20Cr-20Co-6Mo-2Ti-Al	Special metal	<ul style="list-style-type: none">・ガスタービン材料として, 実績多.・欧州でA-USC候補材料として注目・γ'相による析出強化
Alloy740H	Ni-25Cr-20Co-2Nb-1.35Ti-1.35Al	Special metal	<ul style="list-style-type: none">・Cr量を増加させ, 酸化特性を向上・Ti添加を下げ, η相生成を抑制・米国でA-USC候補材料として注目・γ'による析出強化
Alloy141	Ni-20Cr-10Mo-1.6Ti-1.2Al	日立金属	<ul style="list-style-type: none">・熱膨張係数が小さい・マクロ偏析が生じにくい・γ'による析出強化

6.2.2.1 過熱器管材料開発成果

目標: 10万時間, 750°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ過熱器管材料開発

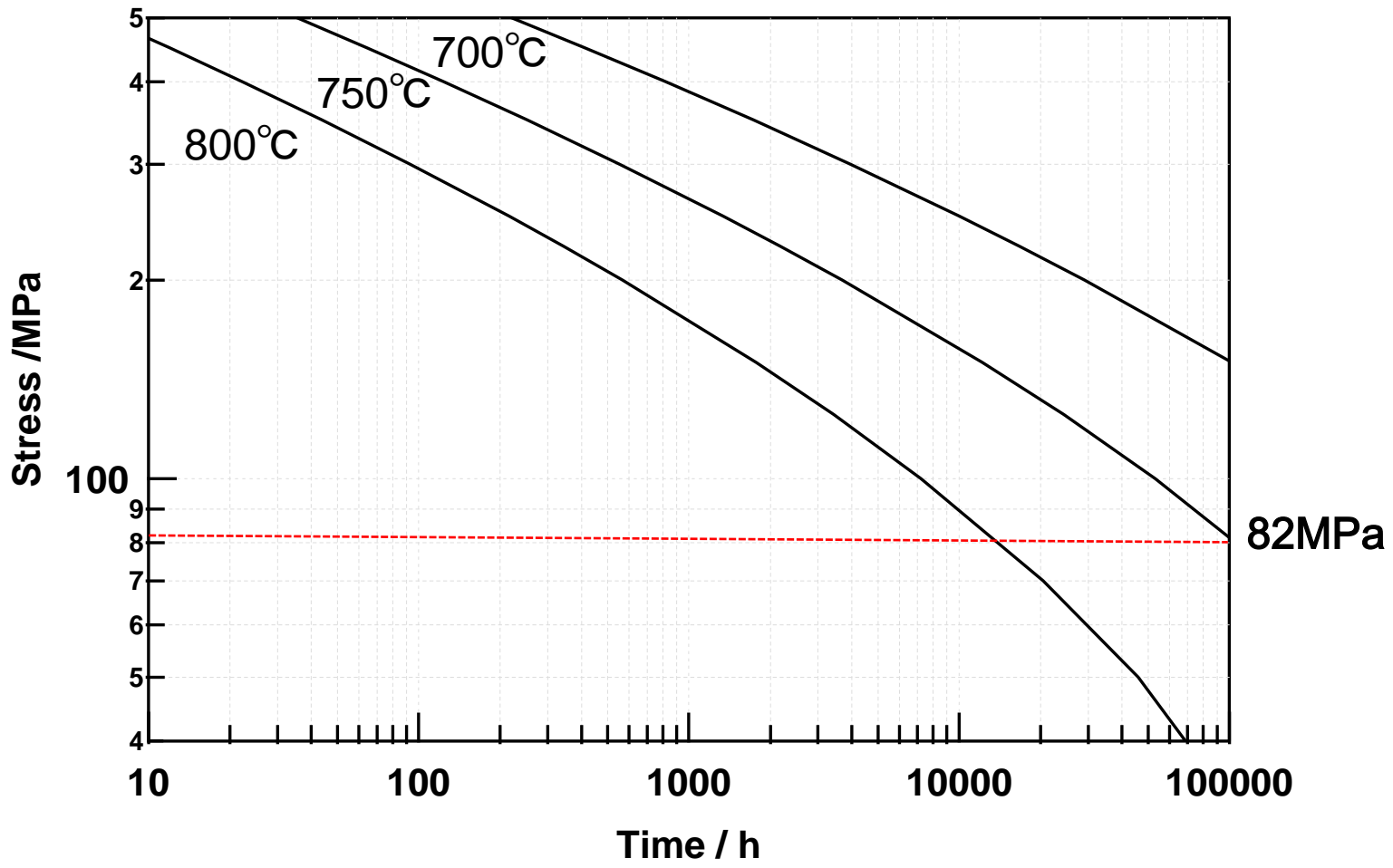
Alloy263 : 750 °C, 10万時間破断強度 115MPa



6.2.2.1 過熱器管材料開発成果

目標: 10万時間, 750°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ過熱器管材料開発

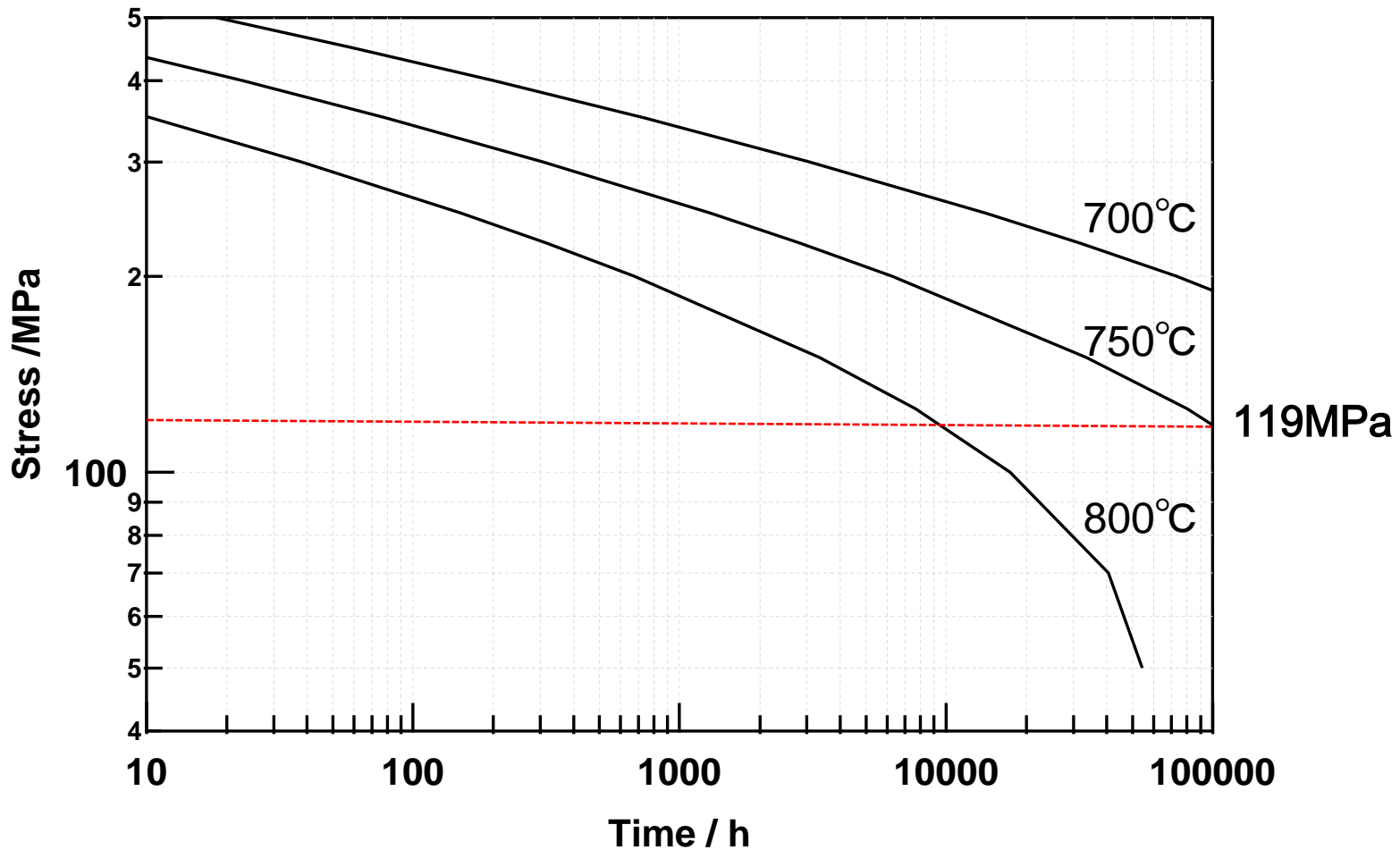
Alloy740H : 750 °C, 10万時間破断強度 82MPa



6.2.2.1 過熱器管材料開発成果

目標: 10万時間, 750°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ過熱器管材料開発

Alloy141 : 750 °C, 10万時間破断強度 119MPa



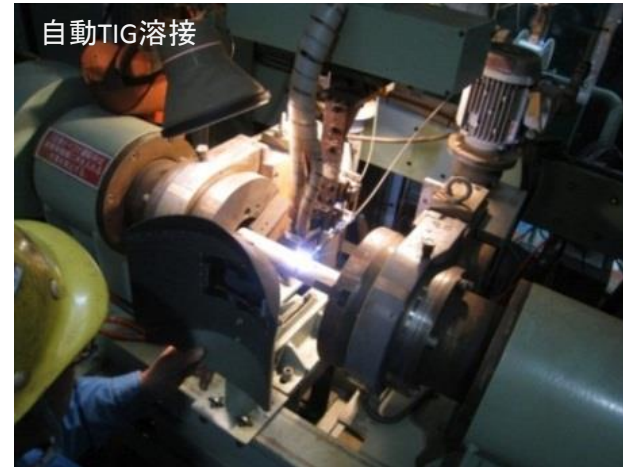
※データ提供: 日立金属殿

6.2.2.1 過熱器管材料開発成果

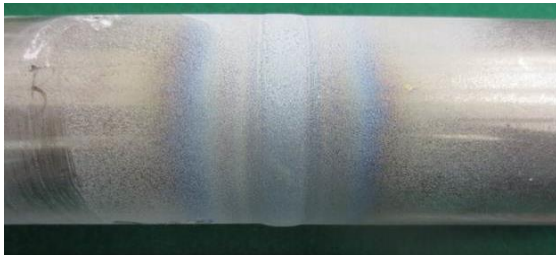
溶接性評価

溶接評価項目

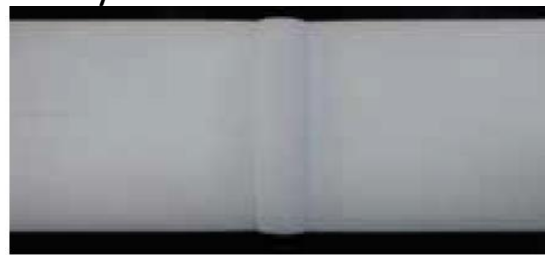
- 溶接材料選定
Alloy263, Alloy740H
- 溶接手法の確立
- 溶接部の特性評価
- 溶接部クリープ強度評価



Alloy263



Alloy740H



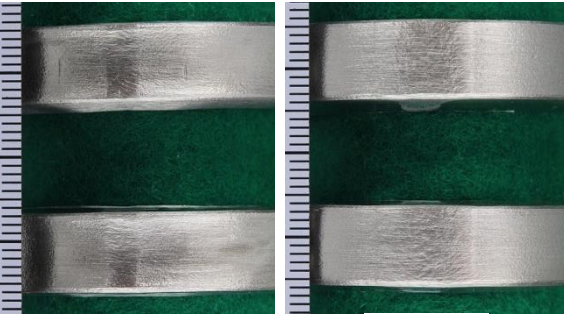
Alloy141



6.2.2.1 過熱器管材料開発成果


溶接性評価結果

Alloy263




表曲げ 裏曲げ

断面マクロ

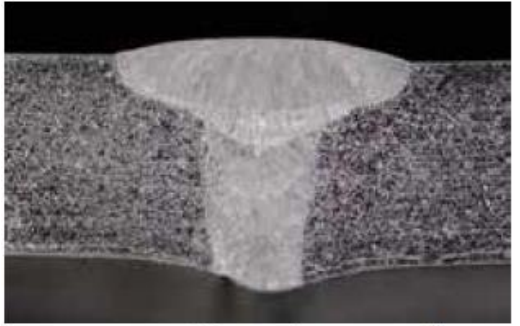


Alloy740H



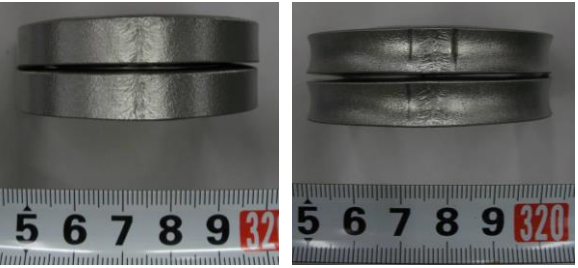
表曲げ 裏曲げ

断面マクロ



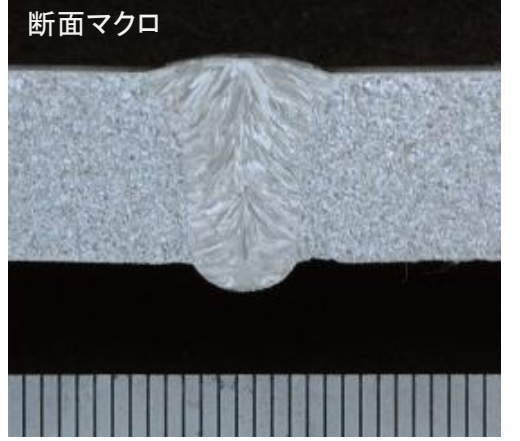
2mm

Alloy141



側曲げ 裏曲げ

断面マクロ

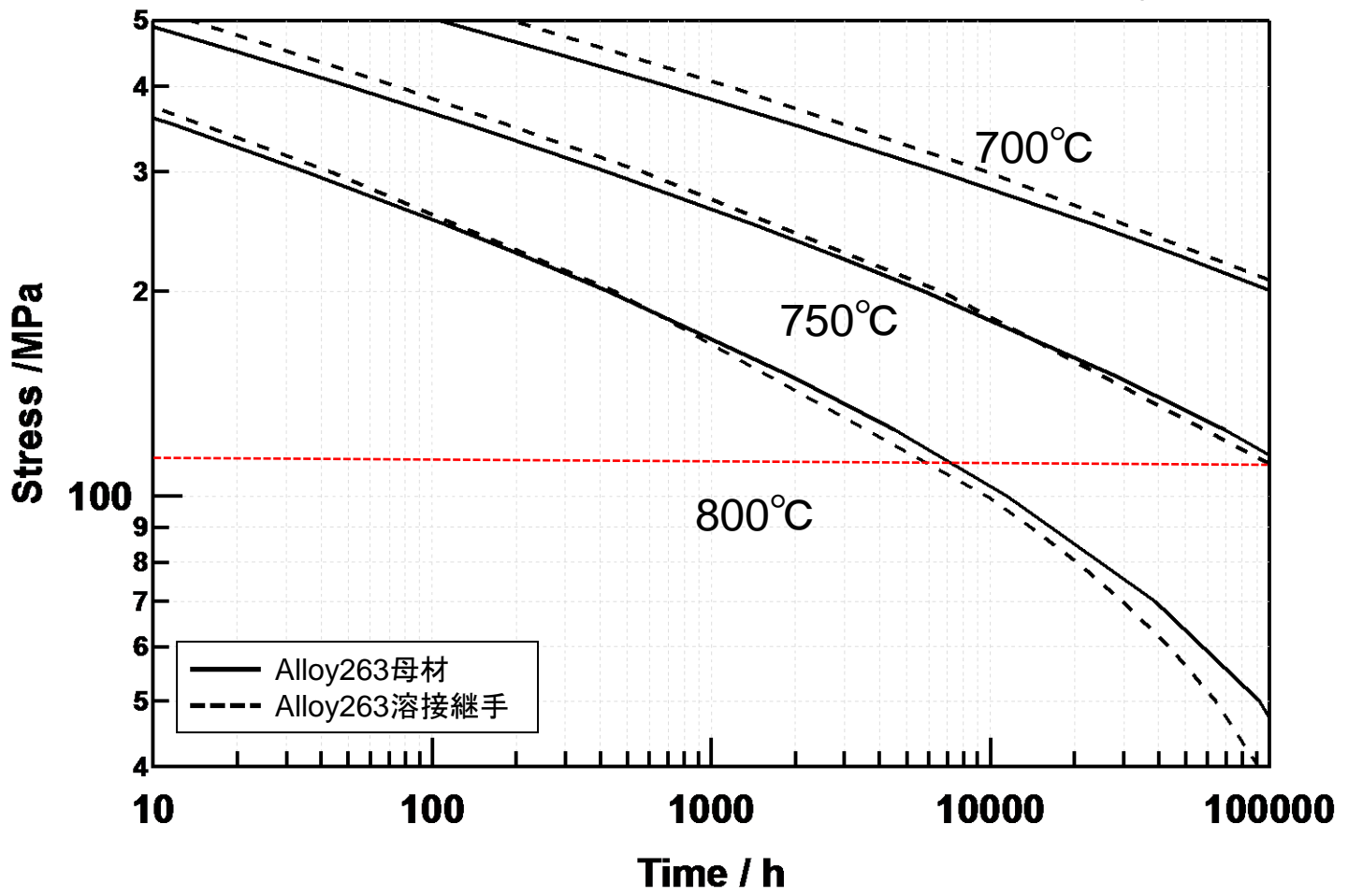


6.2.2.1 過熱器管材料開発成果

目標: 10万時間, 750°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ過熱器管材料開発

溶接継手のクリープ破断強度は, 母材とほぼ同等であることを確認した.

代表例: Alloy263




6.2.2.1 過熱器管材料開発成果

加工性評価




Alloy263

熱間曲げ: 1.7DR



冷間曲げ: 2.8DR



Alloy740H

熱間曲げ: 1.5DR

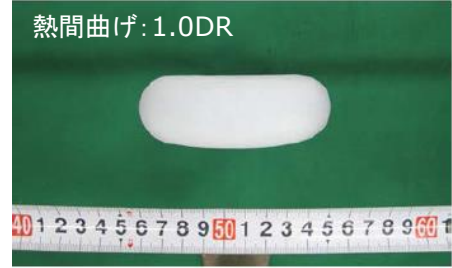


冷間曲げ: 2.5DR




Alloy141

熱間曲げ: 1.0DR



冷間曲げ: 1.9DR



6.2.2.1 過熱器管材料開発成果

開発目標: 10万時間、750°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ過熱器管材料開発を行った。結果を以下にまとめる。

✓ 母材のクリープ強度評価結果

目標	Alloy263	Alloy740H	Alloy141
10万時間、750°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ過熱器管	○ (115MPa)	△ (82MPa)	○ (119MPa)

✓ 溶接部の長時間クリープ強度評価

溶接継手のクリープ破断強度は、母材とほぼ同等である。

- ✓ 配管製造技術の確立
- ✓ 溶接技術の確立
- ✓ 配管加工技術の確立

6.2.2 研究開発成果

6.2.2.1 過熱器管材料開発成果

6.2.2.2 再熱器管材料開発成果

6.2.2.3 厚肉大径管材料開発成果

6.2.2.4 フェライト系厚肉大径管材料開発成果

6.2.2.2 再熱器管材料開発成果

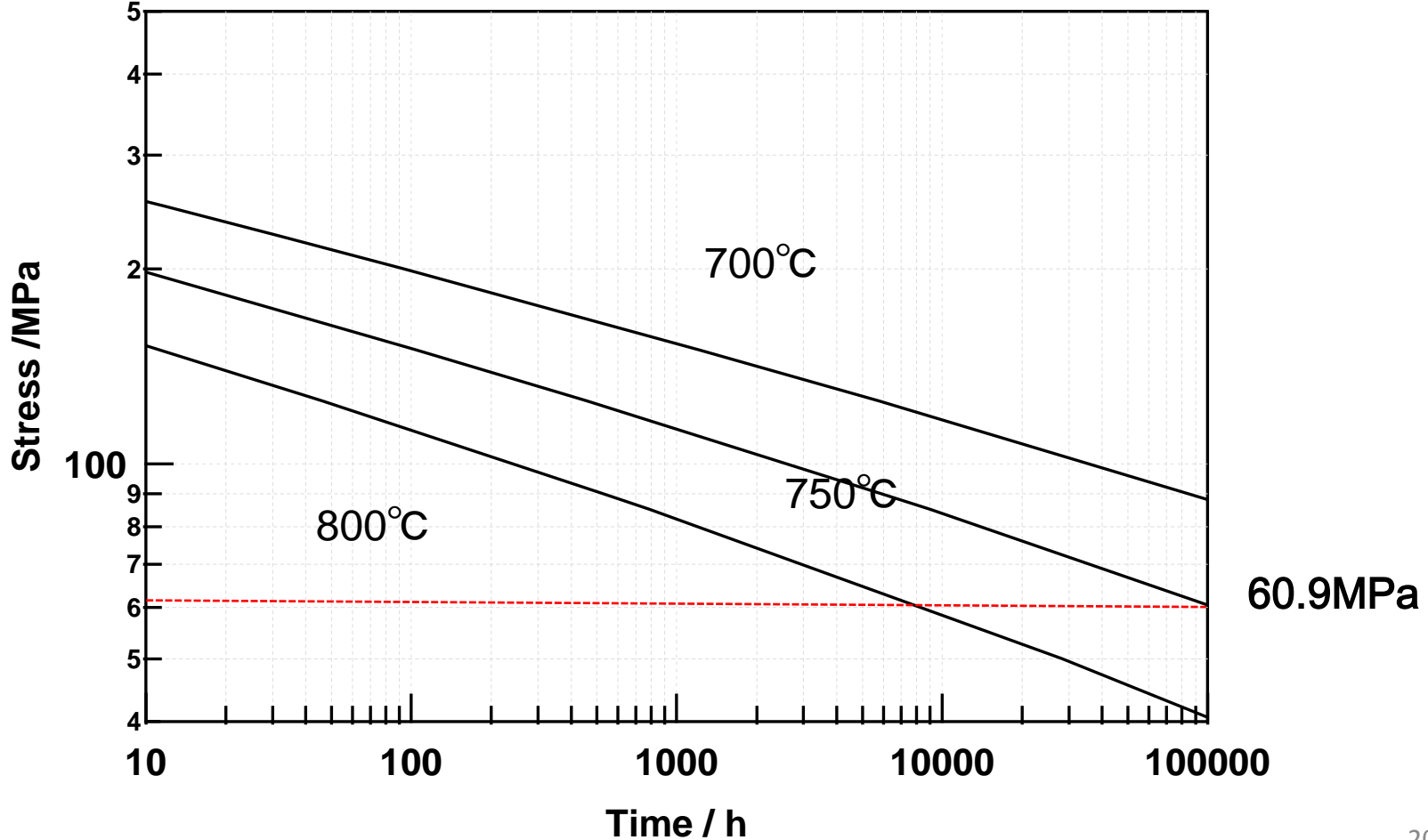
目標: 10万時間、750°Cで60MPa以上のクリープ強度を持つ加工性・経済性に優れた再熱器管材料開発

材料名	代表組成	開発元	特徴
HR6W	45Ni-23Cr-7W	新日鐵住金	・Feを含む. ・Laves相による析出強化
HR35	50Ni-30Cr-4W-Ti	新日鐵住金	・Feを含む. ・ α -Cr相, Laves相, 炭化物, Ni_3Ti 相による析出強化 ・HR6Wより高強度合金として開発
Alloy617	Ni-22Cr-12Co-9Mo-Ti-Al	Special metal	・配管など多数の実績あり. ・固溶強化と γ' 相による析出強化
Alloy263	Ni-20Cr-20Co-6Mo-2Ti-Al	Special metal	
Alloy740H	Ni-25Cr-20Co-2Nb-1.35Ti-1.35Al	Special metal	
Alloy141	Ni-20Cr-10Mo-1.6Ti-1.2Al	日立金属	

6.2.2.2 再熱器管材料開発成果

目標: 10万時間、750°Cで60MPa以上のクリープ強度を持つ加工性・経済性に優れる再熱器管材料開発

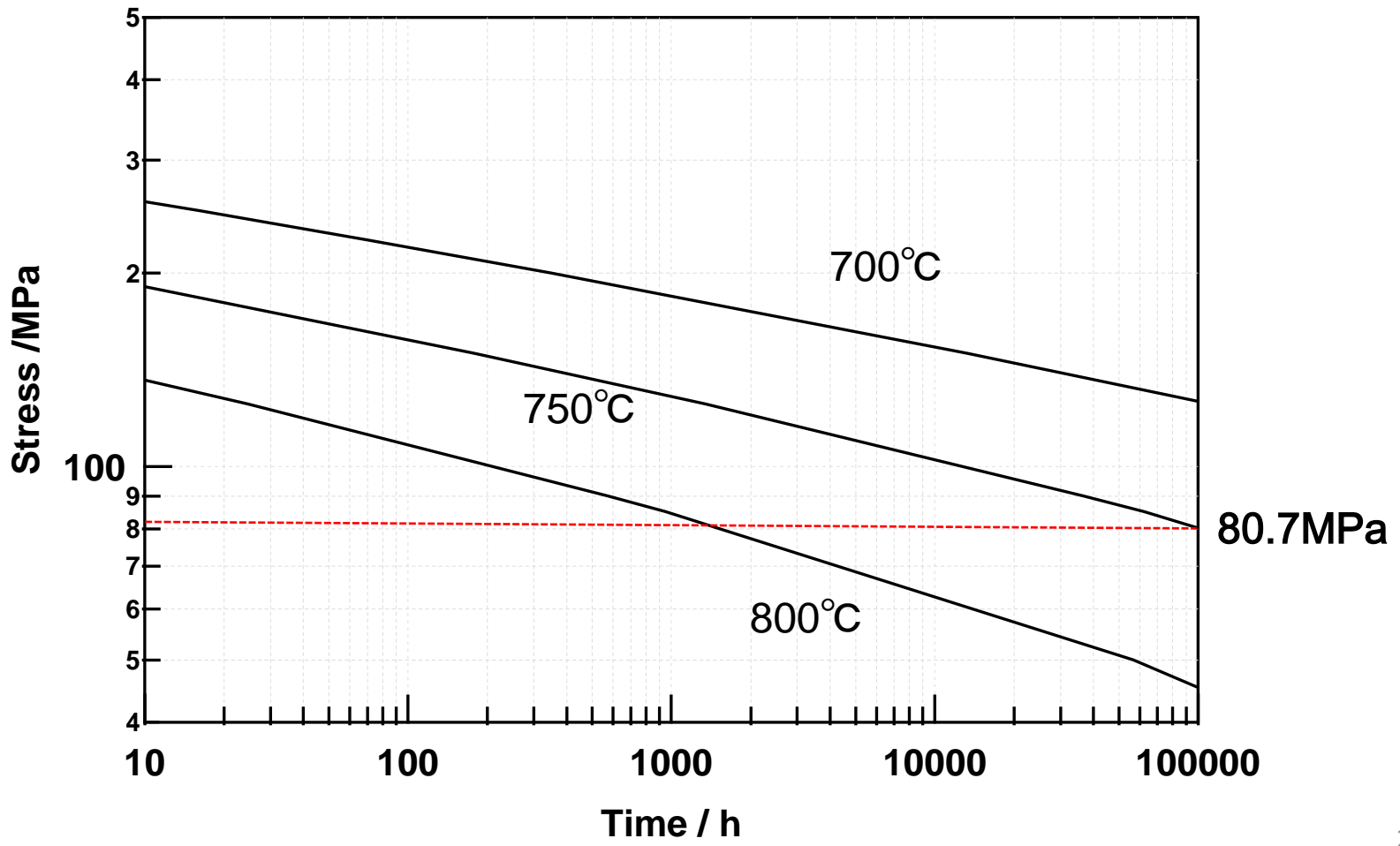
HR6W: 750 °C, 10万時間破断強度 60.9MPa



6.2.2.2 再熱器管材料開発成果

目標: 10万時間、750°Cで60MPa以上のクリープ強度を持つ加工性・経済性に優れる再熱器管材料開発

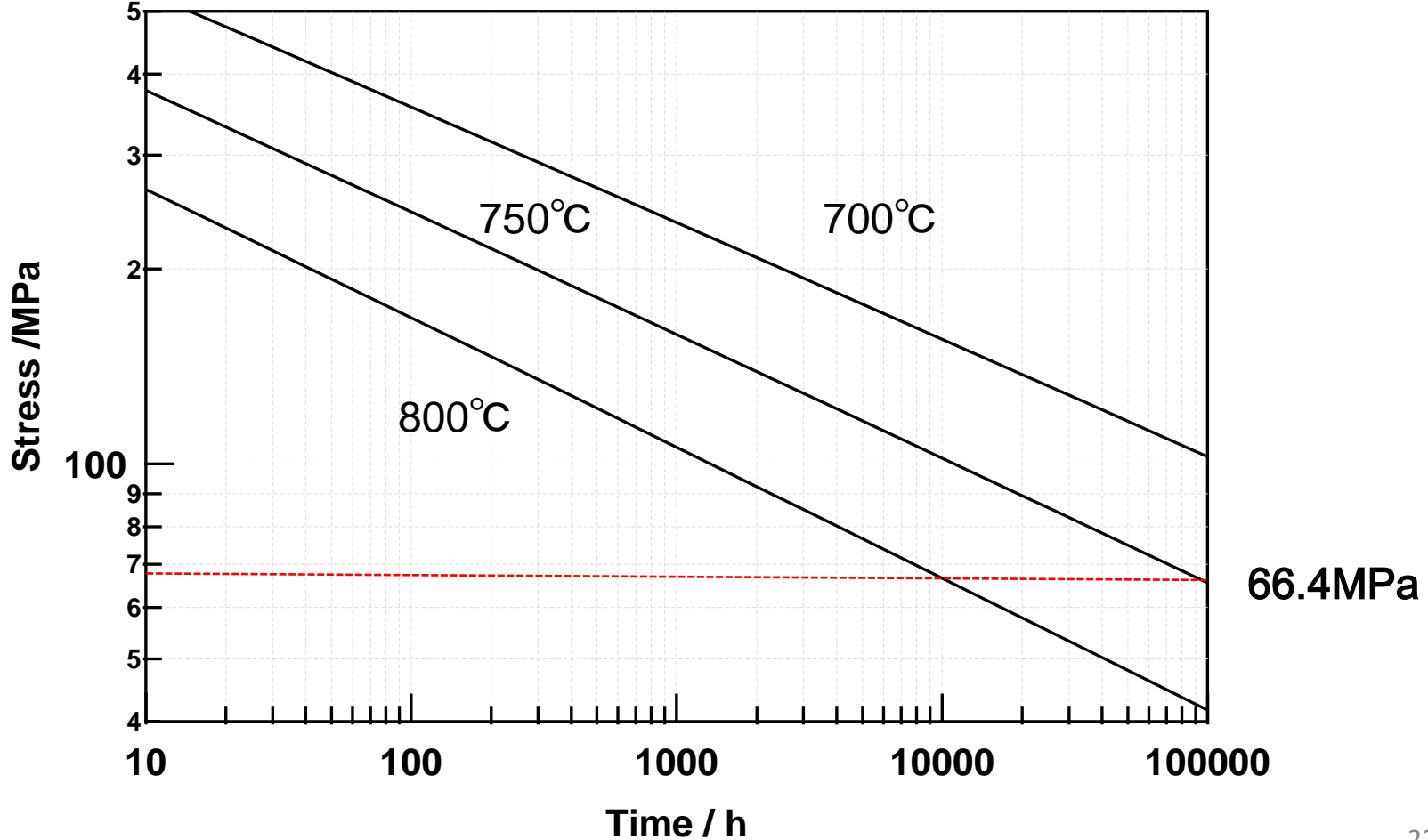
HR35 : 750 °C, 10万時間破断強度 80.7MPa



6.2.2.2 再熱器管材料開発成果

目標: 10万時間、750°Cで60MPa以上のクリープ強度を持つ加工性・経済性に優れた再熱器管材料開発

Alloy617 : 750 °C, 10万時間破断強度 66.4MPa



6.2.2.2 再熱器管材料開発成果

加工性評価



Alloy617

熱間曲げ(1.7DR)

冷間曲げ(2.5DR)

HR6W

熱間曲げ(1.7DR)

冷間曲げ(2.5DR)

HR35

熱間曲げ(1.7DR)

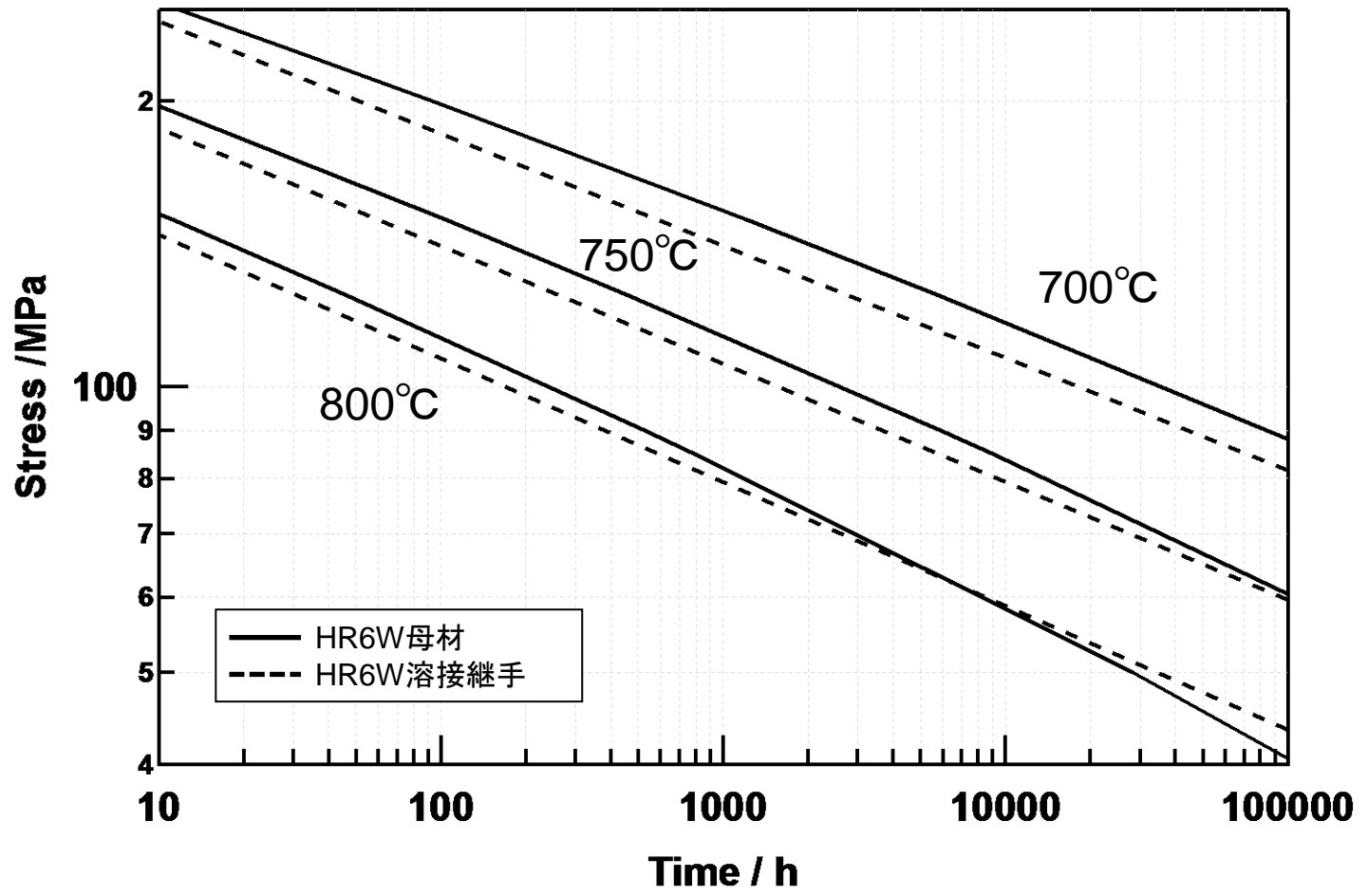
冷間曲げ(2.5DR)

6.2.2.2 再熱器管材料開発成果

目標: 10万時間、750°Cで60MPa以上のクリープ強度を持つ加工性・経済性に優れた再熱器管材料開発

溶接継手のクリープ破断強度は，母材とほぼ同等であることを確認した．

代表例：HR6W



6.2.2.2 再熱器管材料開発成果

開発目標：10万時間、750°Cで60MPa以上のクリープ強度を持つ再熱器管材料開発を行った。結果を以下にまとめる。

✓ 母材のクリープ強度評価結果

目標	HR6W	HR35	Alloy617	Alloy263	Alloy740H	Alloy141
10万時間、750°Cで60MPa以上のクリープ強度を持つ加工性・経済性に優れた再熱器管	○ (60.9MPa)	○ (80.7MPa)	○ (66.4MPa)	○ (115MPa)	○ (82MPa)	○ (119MPa)

✓ 配管製造技術の確立

✓ 溶接技術の確立

✓ 配管加工技術の確立

✓ 溶接部の長時間クリープ強度評価

溶接継手のクリープ破断強度は、母材とほぼ同等である。

6.2.2 研究開発成果

6.2.2.1 過熱器管材料開発成果

6.2.2.2 再熱器管材料開発成果

6.2.2.3 厚肉大径管材料開発成果

6.2.2.4 フェライト系厚肉大径管材料開発成果

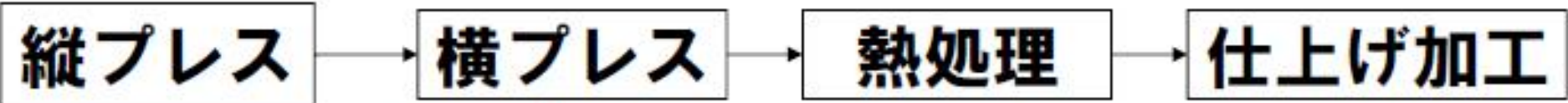
6.2.2.3 厚肉大径管材料開発成果

目標:10万時間, 700°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ厚肉大径管材料開発

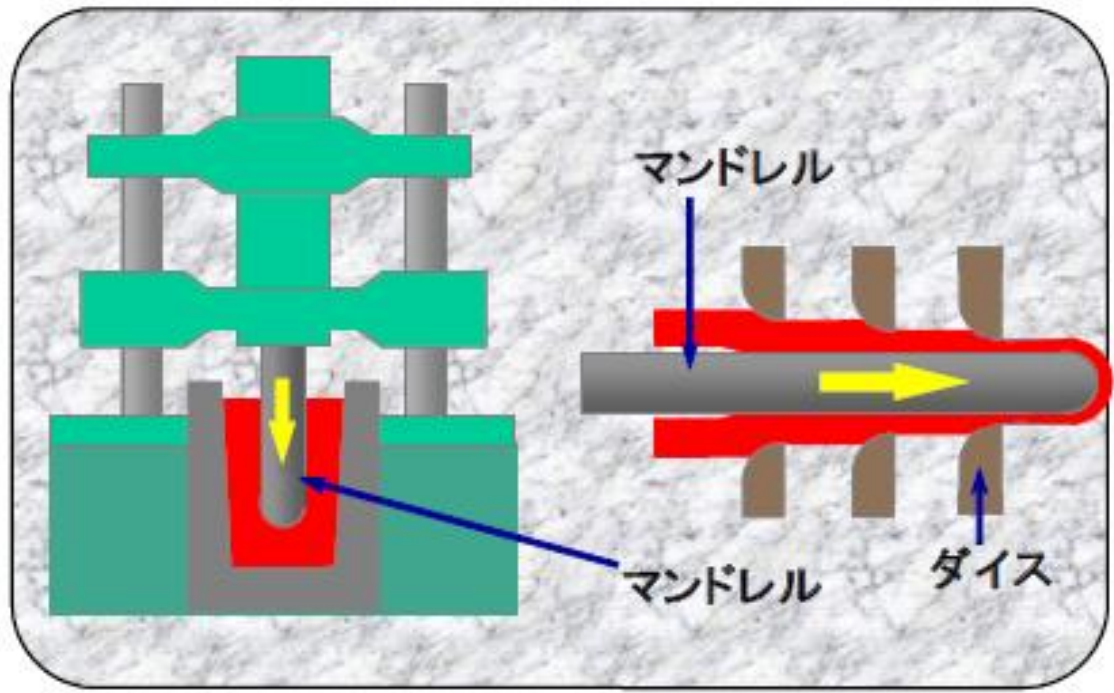
材料名	代表組成	開発元	特徴
HR6W	45Ni-23Cr-7W	新日鐵住金	<ul style="list-style-type: none">・Feを含む.・Laves相による析出強化
HR35	50Ni-30Cr-4W-Ti	新日鐵住金	<ul style="list-style-type: none">・Feを含む.・α-Cr相, Laves相, 炭化物, Ni_3Ti相による析出強化・HR6Wより高強度合金として開発
Alloy617	Ni-22Cr-12Co-9Mo-Ti-Al	Special metal	<ul style="list-style-type: none">・配管など多数の実績あり.・固溶強化とγ'相による析出強化

6.2.2.3 厚肉大径管材料開発成果

大型製造プロセスの開発



(エルハルト・プッシュ・ベンチ法)



6.2.2.3 厚肉大径管材料開発成果

大型製造プロセスの開発



Φ635×72t



HR6W



HR35

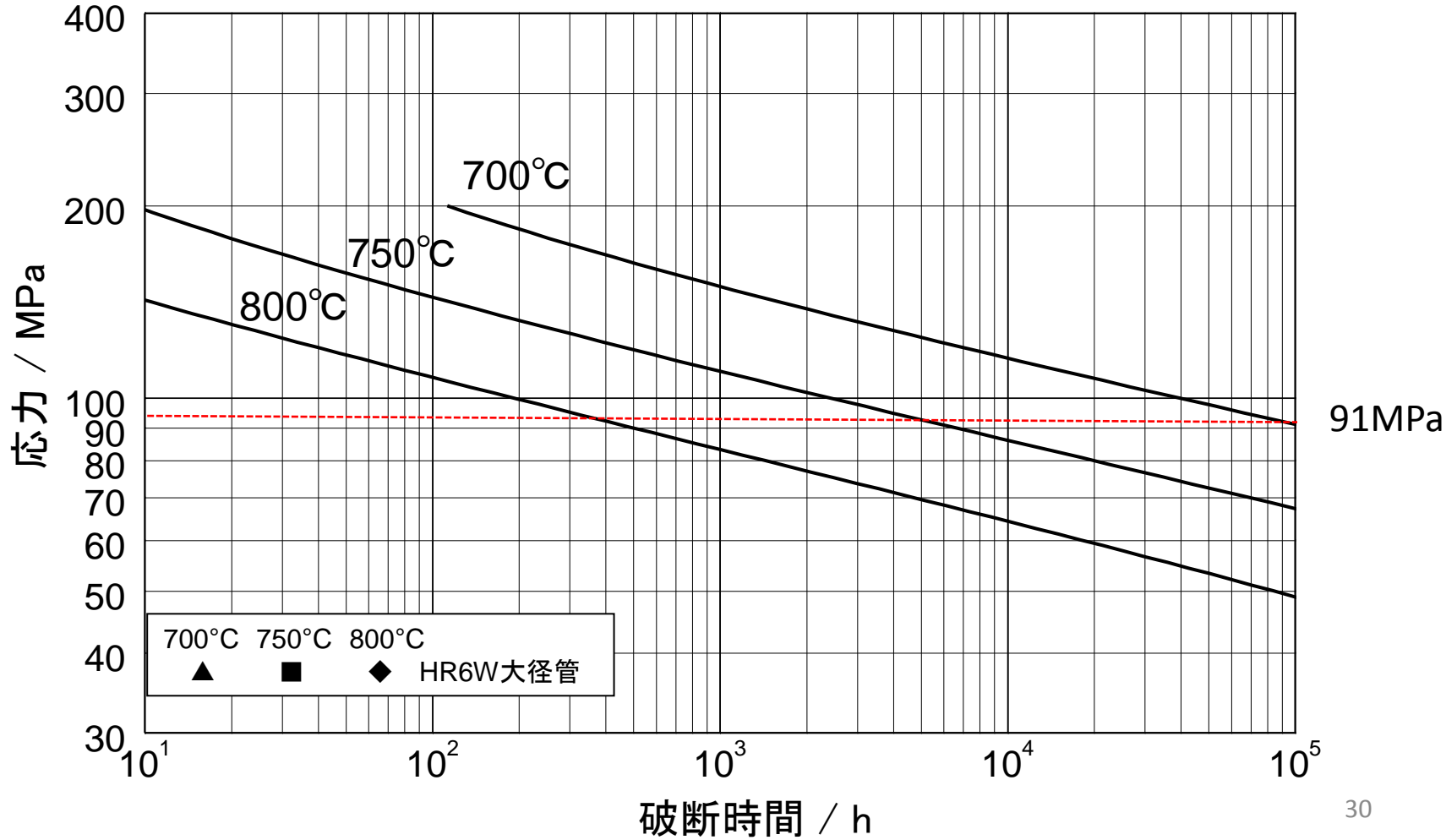


Alloy617

6.2.2.3 厚肉大径管材料開発成果

目標: 10万時間, 700°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ厚肉大径管材料開発

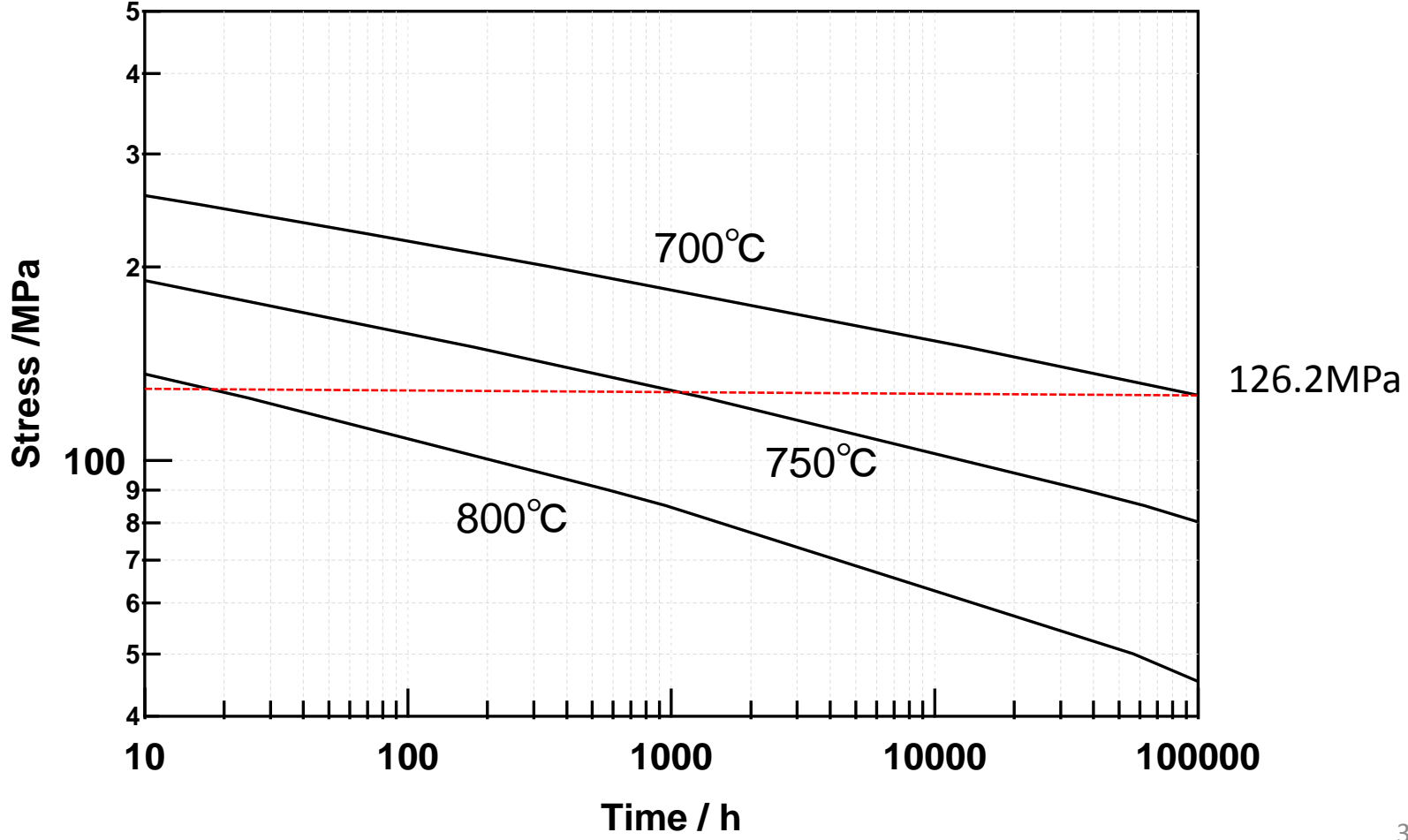
HR6W: 700 °C, 10万時間破断強度 91MPa



6.2.2.3 厚肉大径管材料開発成果

目標: 10万時間, 700°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ厚肉大径管材料開発

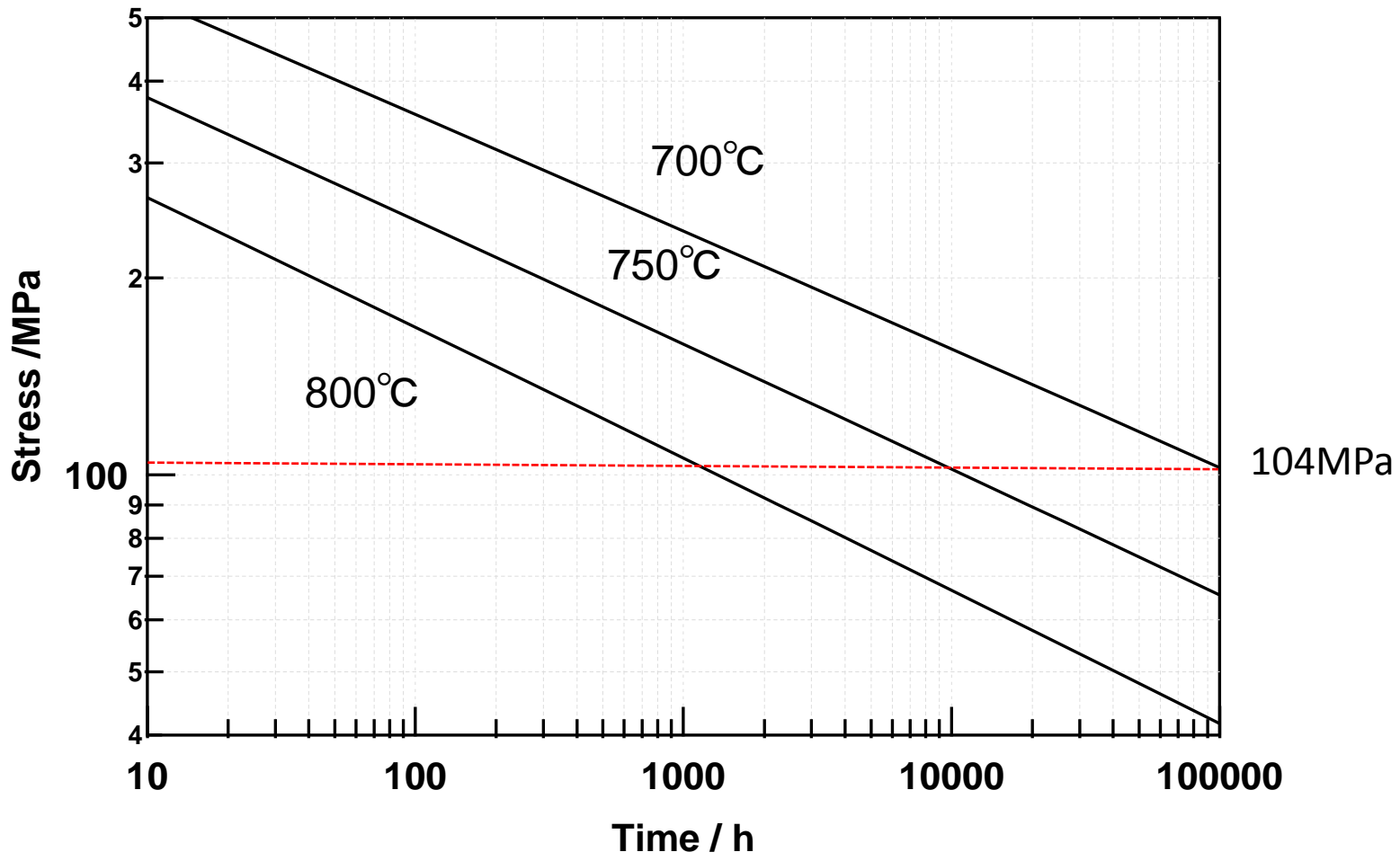
HR35: 700 °C, 10万時間破断強度 126.2MPa



6.2.2.3 厚肉大径管材料開発成果

目標: 10万時間, 700°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ厚肉大径管材料開発

Alloy617 : 700 °C, 10万時間破断強度 104MPa



6.2.2.3 厚肉大径管材料開発成果

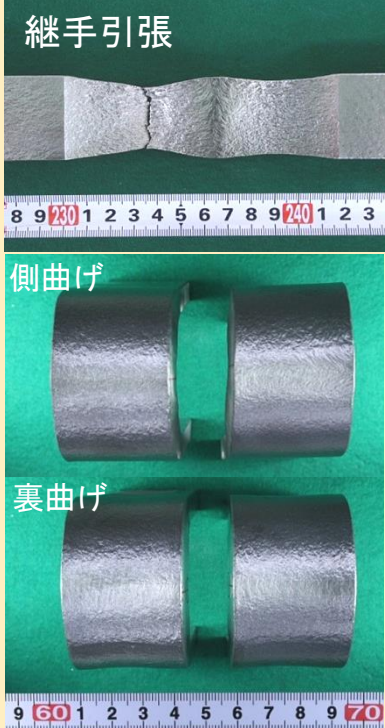
溶接性評価

試験材料: HR6W, HR35, Alloy617
 溶接方法: GTAW, SMAW
 溶接材料: WEL Auto TIG 617(GTAW)
 : WEL 117(SMAW)

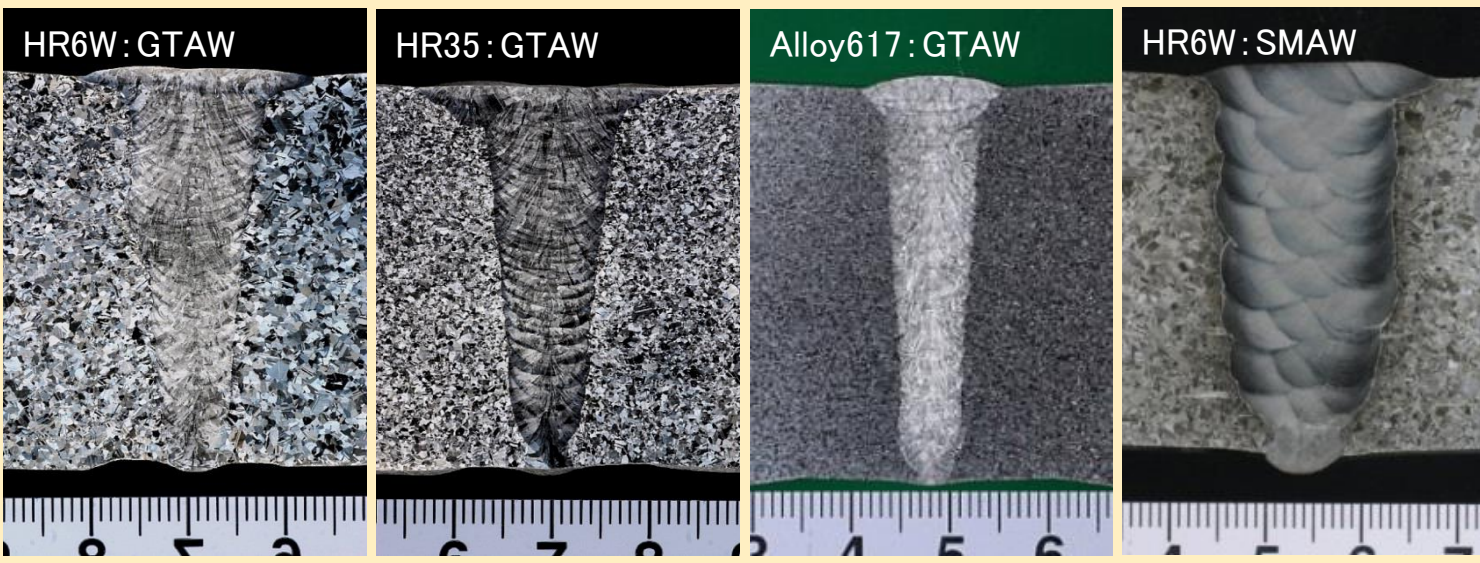
厚肉大径管溶接施工



溶接後の評価



断面マクロ

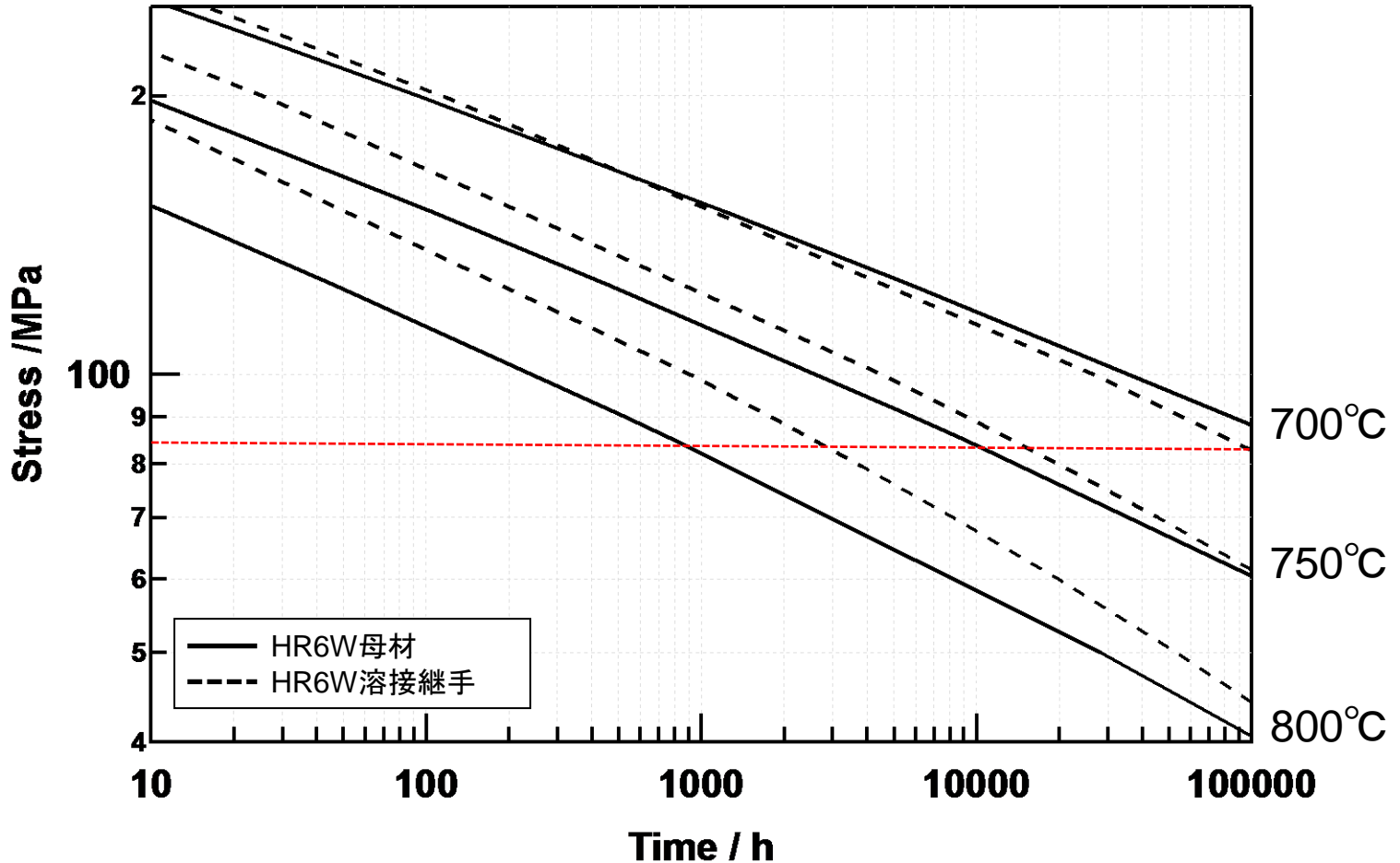


6.2.2.3 厚肉大径管材料開発成果

目標: 10万時間, 700°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ厚肉大径管材料開発

溶接継手のクリープ破断強度は, 母材とほぼ同等であることを確認した.

代表例: HR6W



6.2.2.3 厚肉大径管材料開発成果

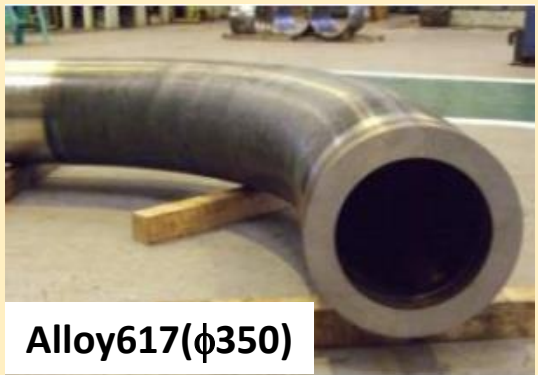
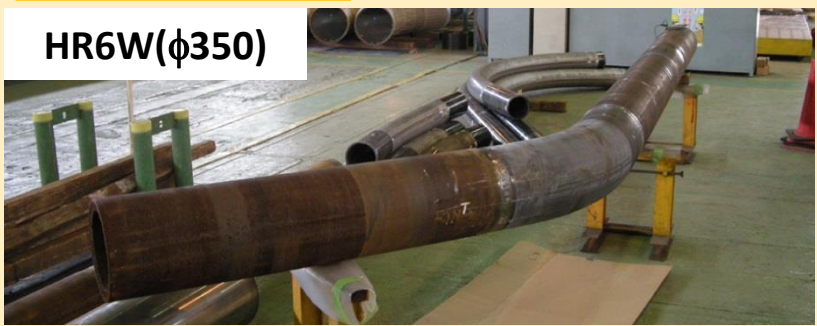
加工性評価

加熱方法: 高周波 試験材料: HR6W, HR35, Alloy617 形状: $\Phi 350 \times t40$

厚肉大径管曲げ試験の様子



曲げ後の外観



6.2.2.3 厚肉大径管材料開発成果

開発目標: 10万時間、700°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ厚肉大径管材料開発を行った。結果を以下にまとめる。

✓ 母材のクリープ強度評価結果

目標	HR6W	HR35	Alloy617
10万時間、700°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ厚肉大径管材料開発	○ (91MPa)	○ (126.2MPa)	○ (104.0MPa)

✓ 配管製造技術の確立

✓ 溶接技術の確立

✓ 配管加工技術の確立

✓ 溶接部の長時間クリープ強度評価

溶接継手のクリープ破断強度は、母材とほぼ同等である。

6.2.2 研究開発成果

6.2.2.1 過熱器管材料開発成果

6.2.2.2 再熱器管材料開発成果

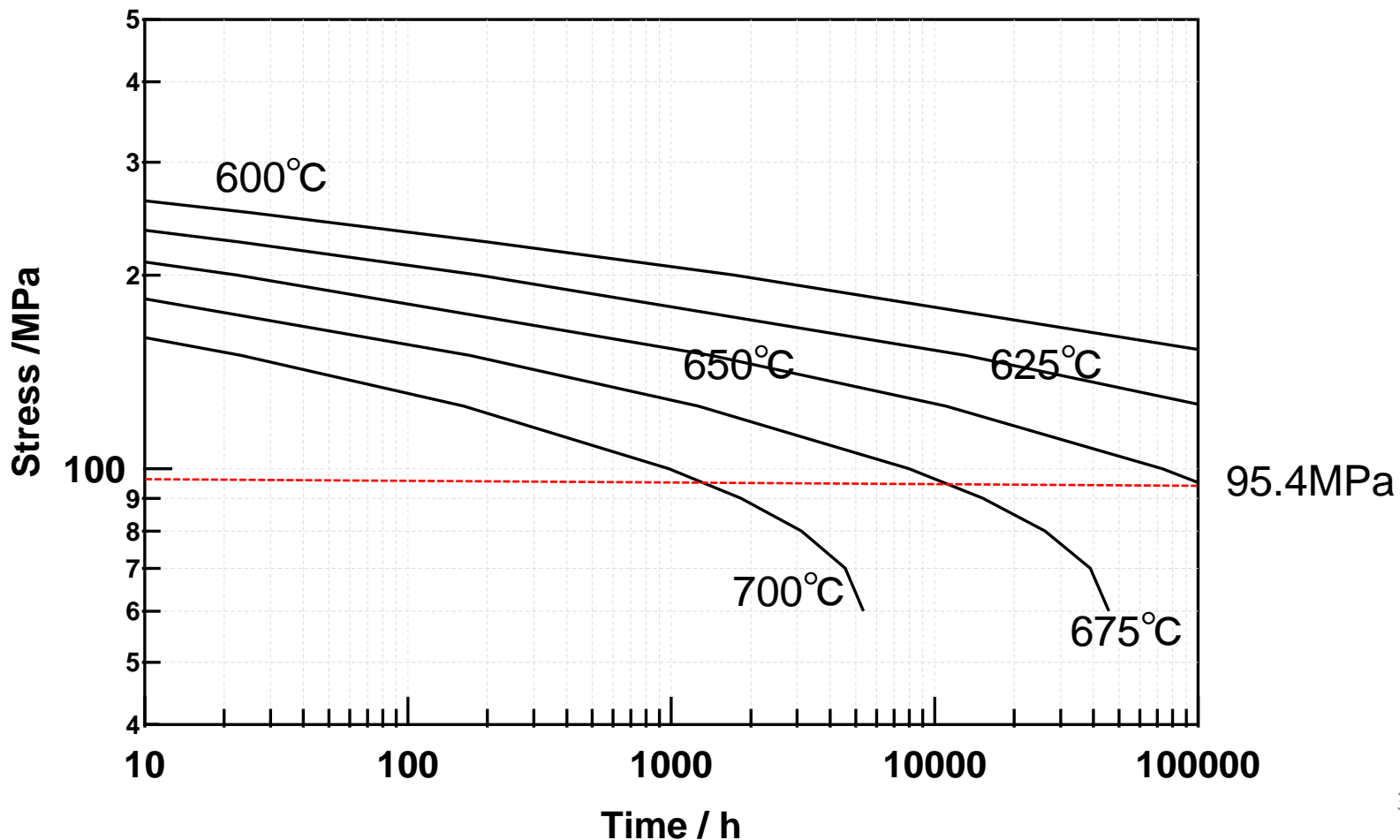
6.2.3.3 厚肉大径管材料開発成果

6.2.2.4 フェライト系厚肉大径管材料開発成果

6.2.2.4 フェライト系厚肉大径管材料開発成果

目標: 10万時間, 650°Cで80MPa以上のクリープ強度と継手強度低減係数0.7以上を持つ経済性に優れたフェライト系厚肉大径管材料開発

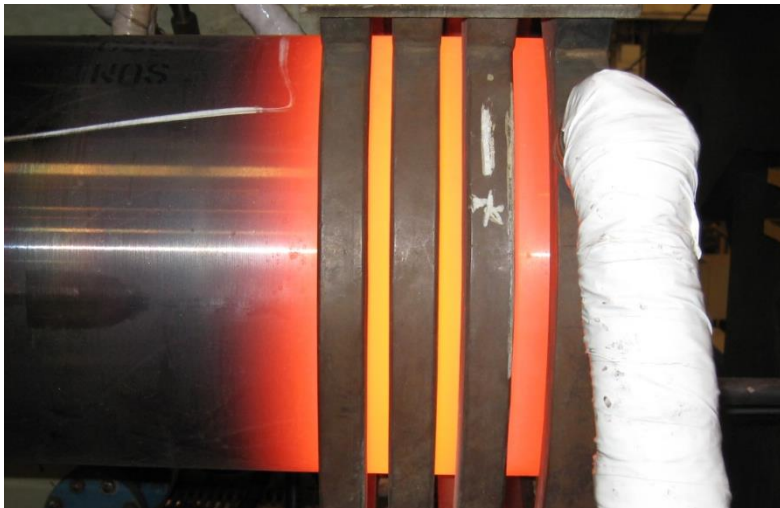
SAVE12AD: 650 °C, 10万時間破断強度 95.4MPa



6.2.2.4 フェライト系厚肉大径管材料開発成果

■ SAVE12AD大径管高周波加熱曲げ加工状況

- 現有設備で所定の寸法が得られることを確認



曲げ試験状況



曲げ後の外観

SAVE12AD大径管($\phi 350 \times 40t$), 曲げ半径1000mm, 曲げ角度約 80°

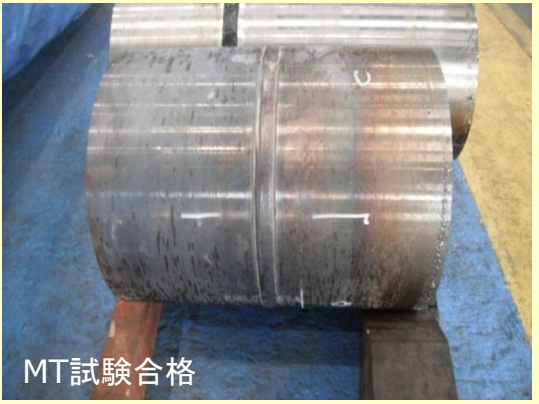
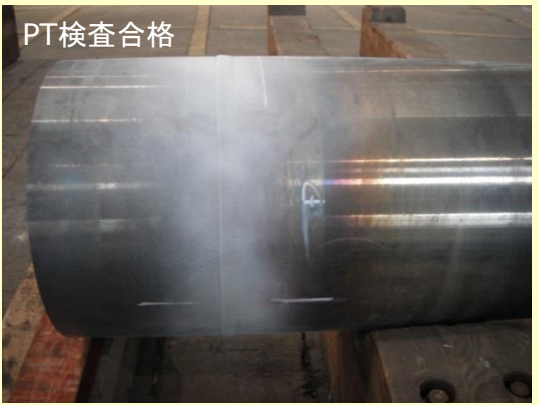
6.2.2.4 フェライト系厚肉大径管材料開発成果

溶接性評価

溶接条件:GTAW

溶接材料:WEL AUTO TIG82

溶接後熱処理:745℃



溶接後の評価

側曲げ

裏曲げ

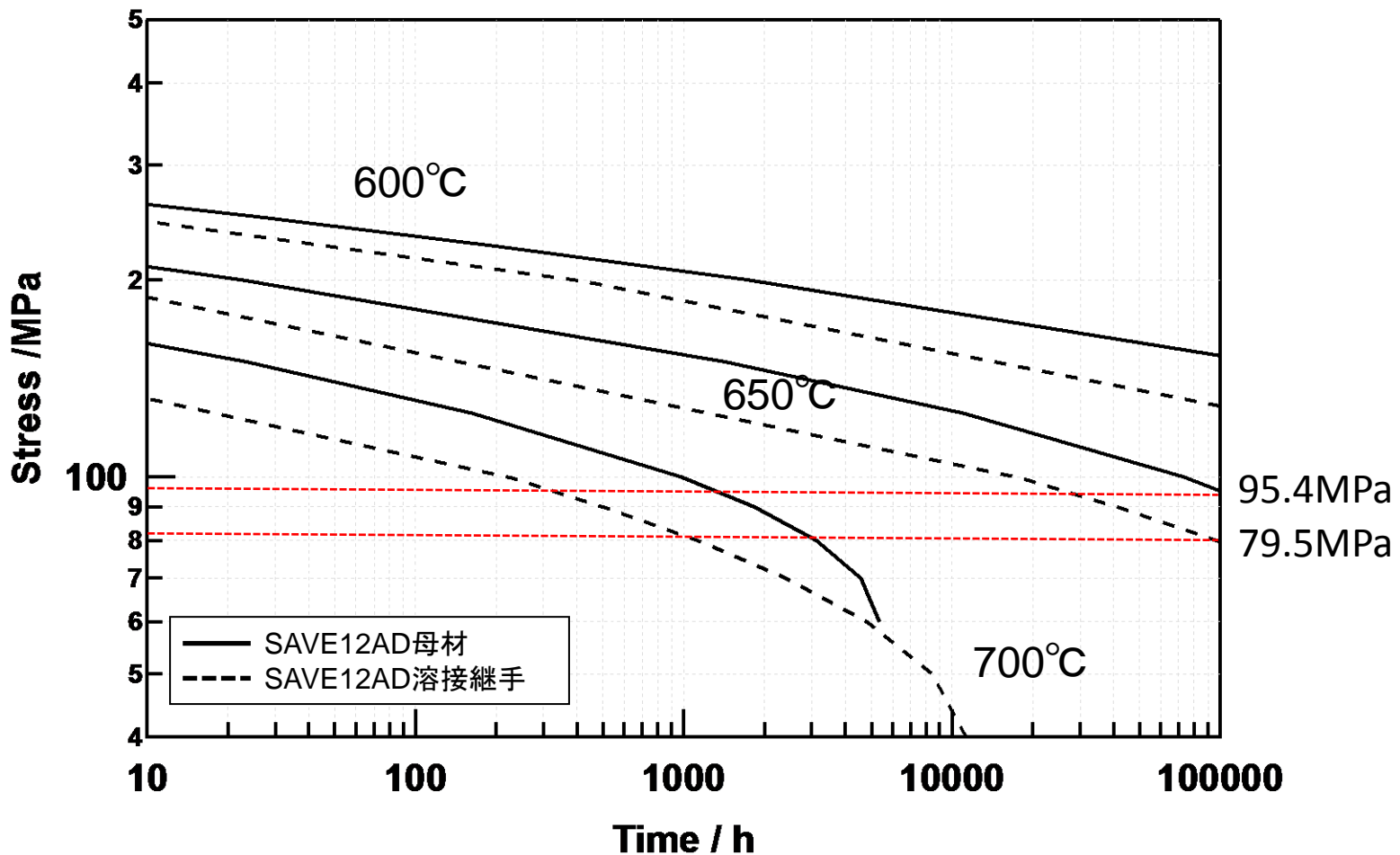
断面マクロ

4 5 6 7 8 9 40

6.2.2.4 フェライト系厚肉大径管材料開発成果

目標: 10万時間、650°Cで80MPa以上のクリープ強度と継手強度低減係数0.7以上を持つ経済性に優れたフェライト系厚肉大径管材料開発

継手強度低減係数 : $650\text{ }^\circ\text{C}, 79.5\text{MPa} / 95.4\text{MPa} = 0.8$



6.2.2.4 フェライト系厚肉大径管材料開発成果

開発目標: 10万時間、650°Cで80MPa以上のクリープ強度と継手強度低減係数0.7以上を持つ経済性に優れたフェライト系厚肉大径管材料開発を行った。結果を以下にまとめる。

✓ 母材および溶接部のクリープ強度評価結果

母材	: 650°C, 10万時間破断強度	95.4MPa
溶接継手	: 650°C, 10万時間破断強度	79.5MPa
継手低減係数	: 650°C, 継手強度低減係数	0.8

- ✓ 配管製造技術の確立
- ✓ 溶接技術の確立
- ✓ 配管加工技術の確立

6.2.3 まとめ

6.2.3 まとめ

開発目標に対し候補材料を選定および開発し、製造性、加工性の評価を実施した。またそれぞれの候補材料について、母材および溶接部の長時間クリープ破断試験を実施した。得られた成果を以下にまとめる。

目標	HR6W	HR35	Alloy617	Alloy263	Alloy740H	Alloy141	SAVE12AD
10万時間、750℃で90MPa以上のクリープ強度を持つ過熱器管				○ (115MPa)	△ (82MPa)	○ (119MPa)	
10万時間、750℃で60MPa以上のクリープ強度を持つ加工性・経済性に優れた再熱器管	○ (60.9MPa)	○ (80.7MPa)	○ (66.4MPa)	○ (115MPa)	○ (82MPa)	○ (119MPa)	
10万時間、700℃で90MPa以上のクリープ強度を持つ厚肉大径管材料開発	○ (91MPa)	○ (126.2MPa)	○ (104.0MPa)				
10万時間、650℃で80MPa以上のクリープ強度と継ぎ手強度低減係数0.7以上を持つ経済性に優れたフェライト系厚肉大径管材料開発							○ (95.4MPa) 溶接低減係数 0.8

6.2.4 今後の課題と取り組み

6.2.4 今後の課題と取り組み

- プラント寿命評価技術の高度化（次期プロジェクト提案）
 - 現行プロジェクトの完了によりA-USCの導入判断が可能となるが、プラント寿命評価技術の高度化により、将来の実機運開後のメンテナンスコスト削減を図る。発電単価を低減するとともに、海外展開の促進に寄与する。
 - 代表的な部品、例えば大径管などについて実機大の試験体により長期破壊試験を行い、経年的な劣化状態を早期に把握する。

