

Ti, Al合金製航空機部品のホットスタンピング

横浜国立大学 前野 智美



大型旅客機
CFRP+アルミニウム合金
チタン合金継手

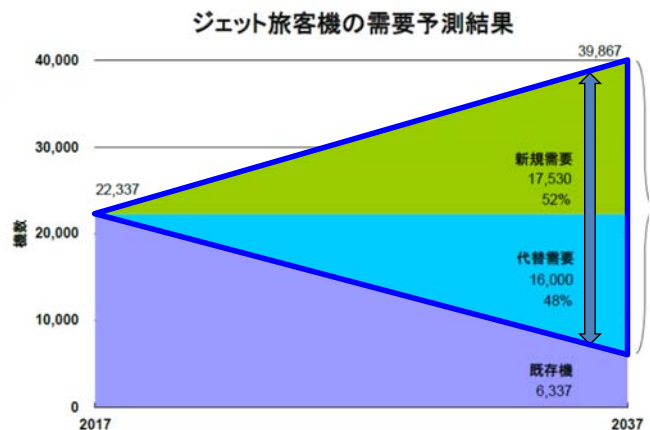
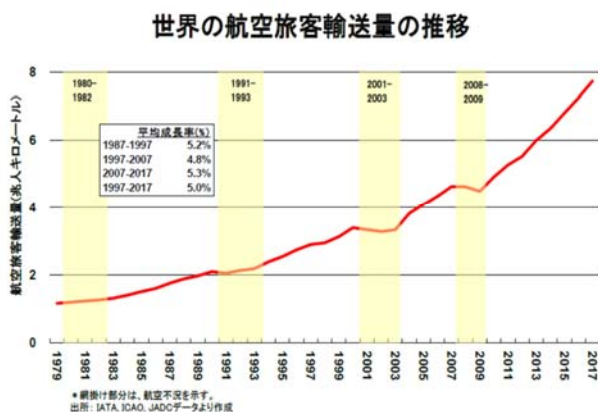
リージョナルジェット
アルミニウム合金
7000系, 2000系, 6000系
熱処理型アルミニウム合金



ジェットエンジン
チタン合金

航空機輸送推移とジェット旅客機需要予測

一般財団法人 日本航空機開発協会: 民間航空機に関する市場予測 2018-2037 より



輸送需要拡大
退役機体



航空機需要:大

Ti, Al合金製航空機部品のホットスタンピング

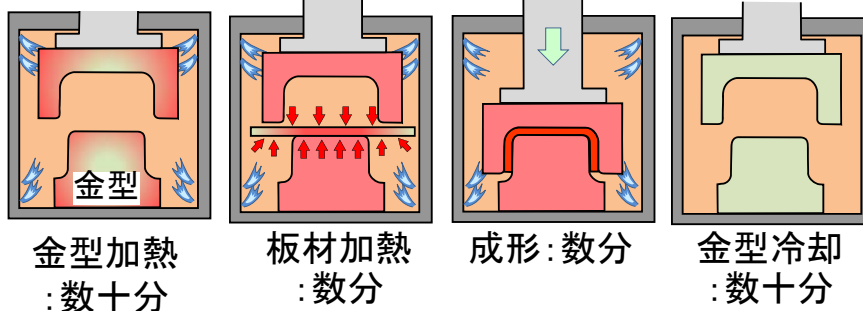
チタン合金の通電加熱ホットスタンピング

熱処理型アルミニウム合金のホットスタンピング

チタン合金の通電加熱ホットスタンピング

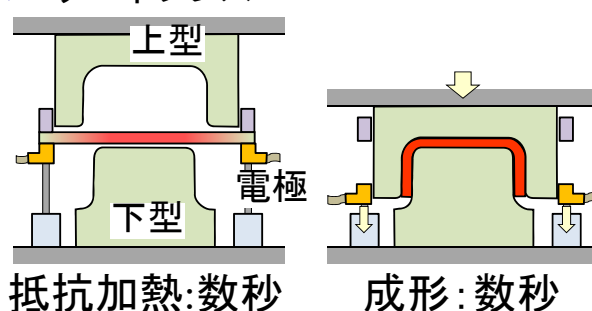
炉加熱

油圧プレス



金型の加熱: 要
加熱時間: 数分
酸化スケール: 大
段取時間: 長大

通電加熱 サーボプレス

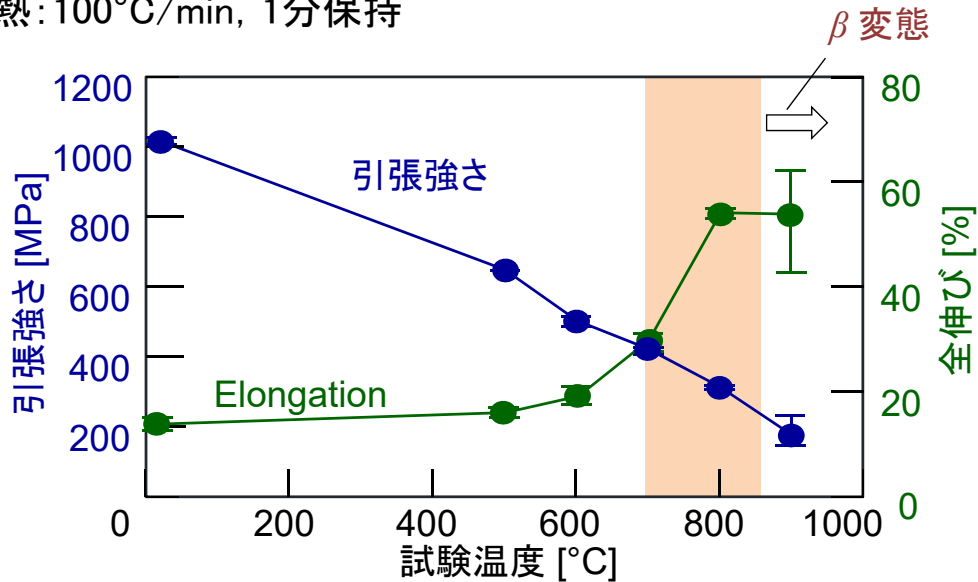


金型の加熱: 不要
加熱時間: 数秒
酸化スケール: 小
段取時間: 小

Ti-6Al-4V チタン合金板の高温引張試験結果

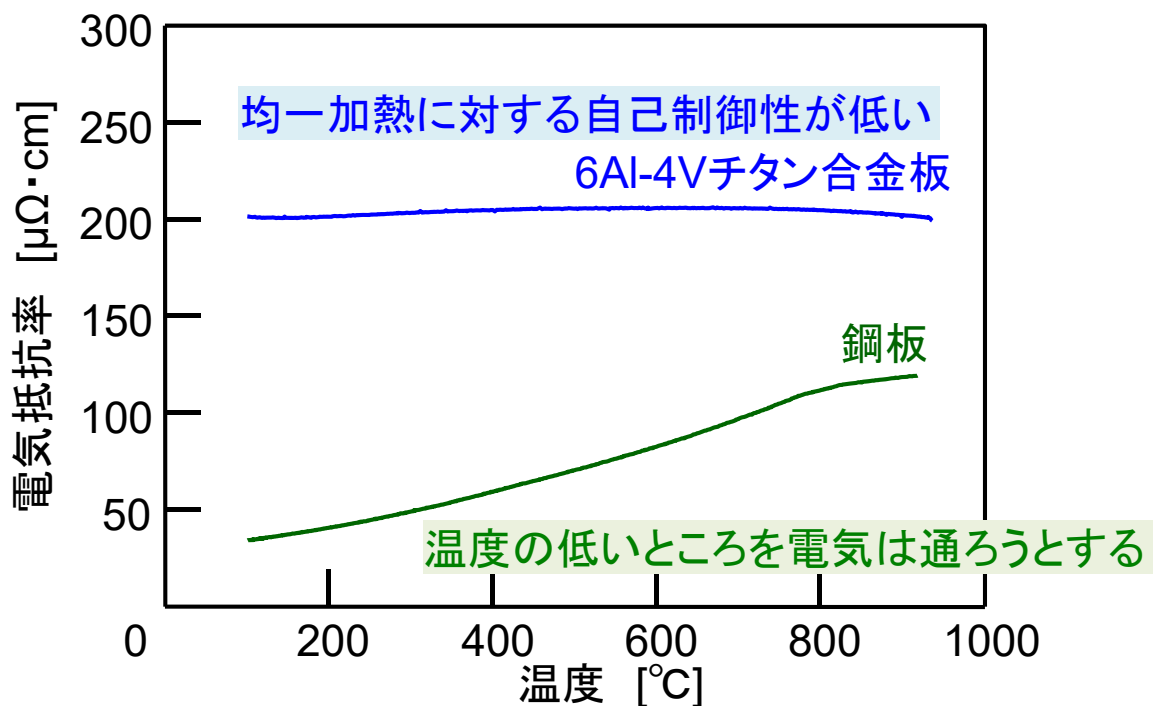
Al	V	Fe	O	C	N	H	Ti
5.50 - 6.75	3.50 - 4.50	0.40<	0.20<	0.08<	0.05<	0.0150<	Balance

加熱: 100°C/min, 1分保持



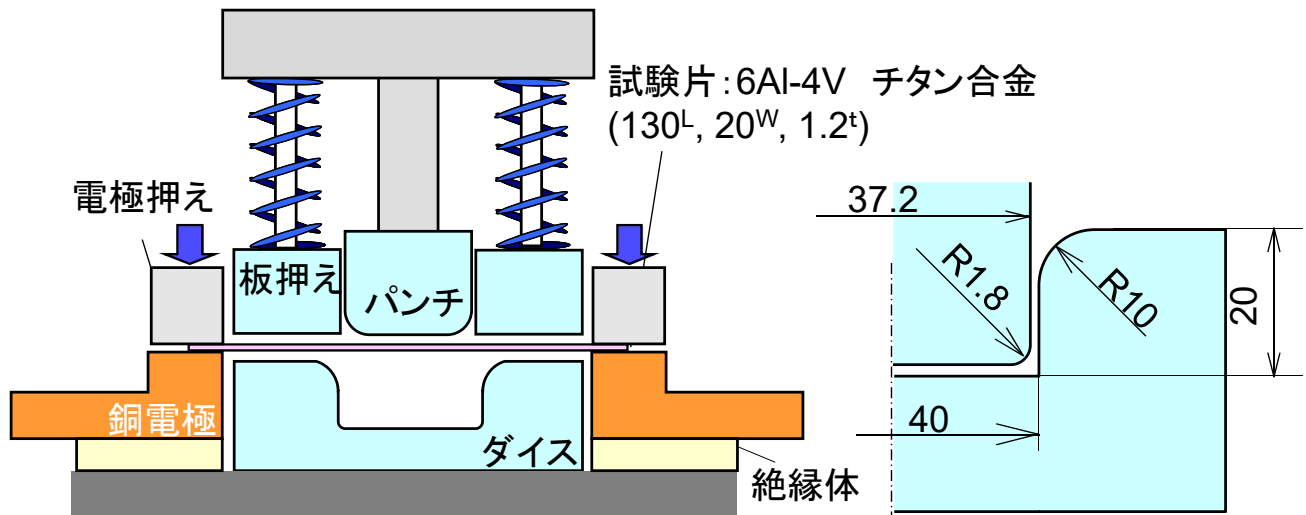
YNU YOKOHAMA National University

6Al-4Vチタン合金板の電気抵抗率と温度の関係

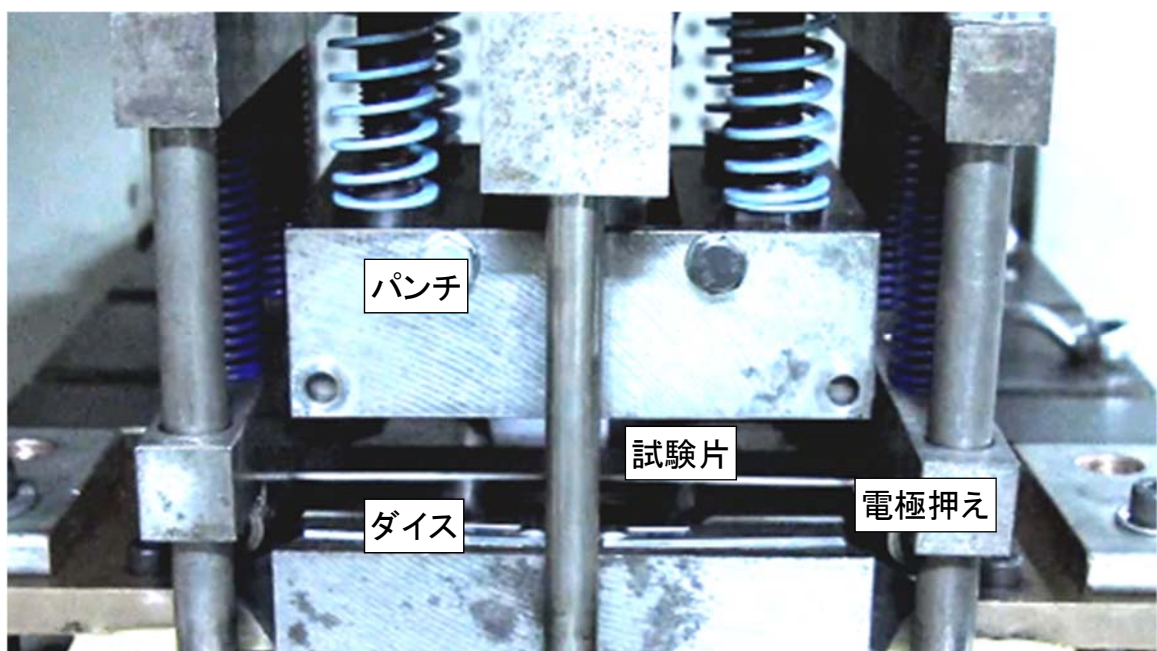


通電加熱ハット曲げ成形装置

金型材質:SKD61(焼入れ・焼戻し)
電極間距離:120mm
電極押え力:4MPa



通電加熱ハット曲げ成形の様子



電流密度:12.5 A/mm²
通電時間:7.21s
下死点保持時間:3.0s

通電加熱 曲げ成形の様子



YNU YOKOHAMA National University

ハット曲げ成形品外観



冷間, 破断

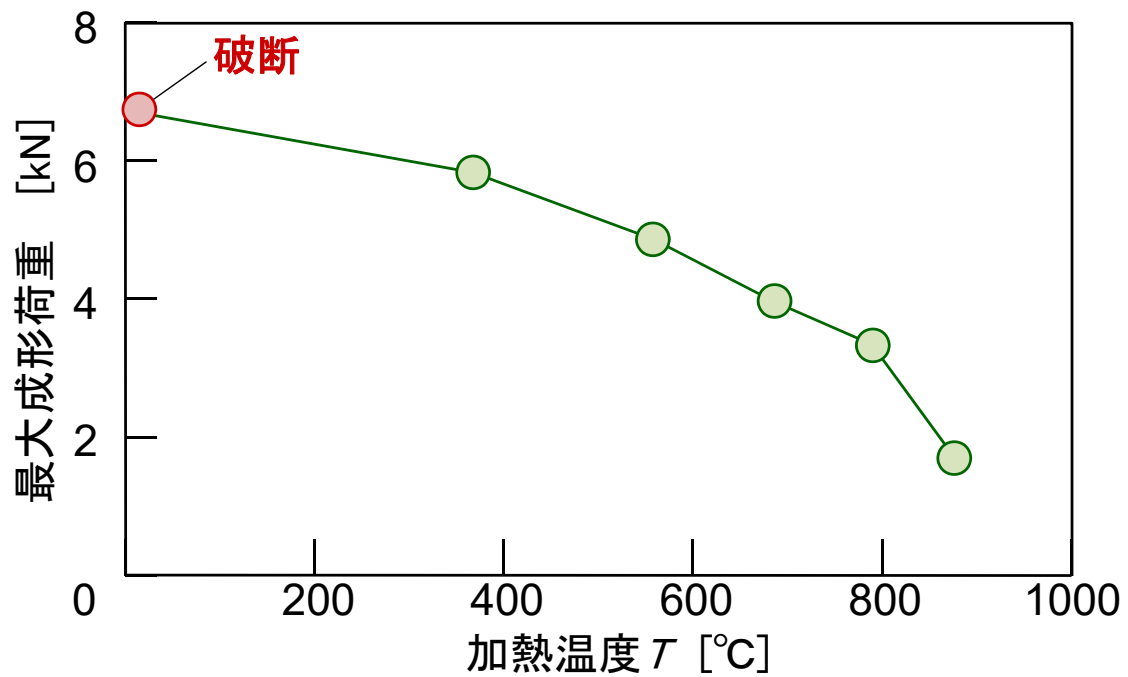


炉加熱 ($T=900^{\circ}\text{C}$),
酸化スケール大

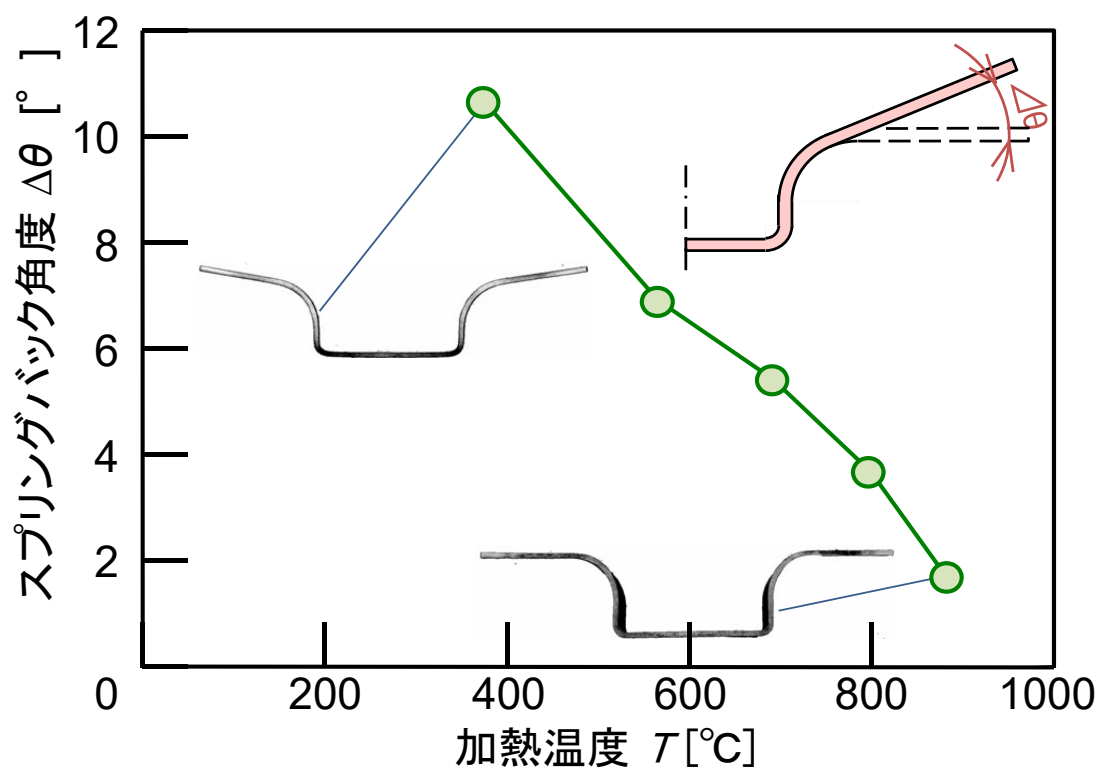


通電加熱 ($T=900^{\circ}\text{C}$),
酸化スケール小

最大成形荷重に及ぼす加熱温度の影響



スプリングバック角度に及ぼす加熱温度の影響



通電加熱ハット曲げ成形品組織観察

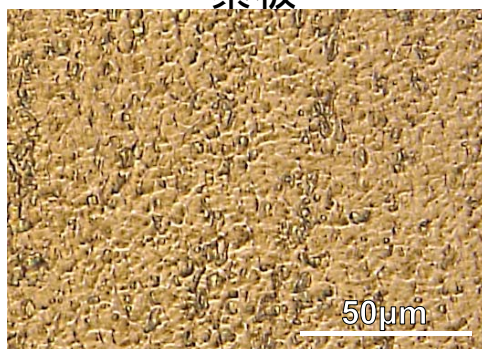


素板

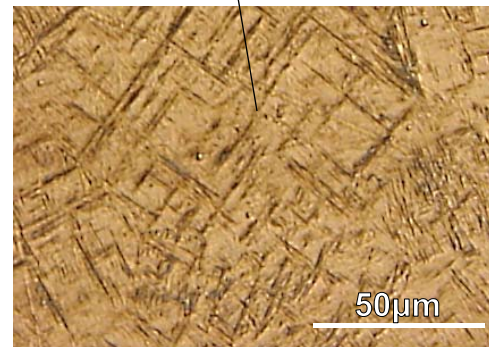
等軸状α組織

変態点(995℃)以上に加熱

針状α組織
疲労強度が低下

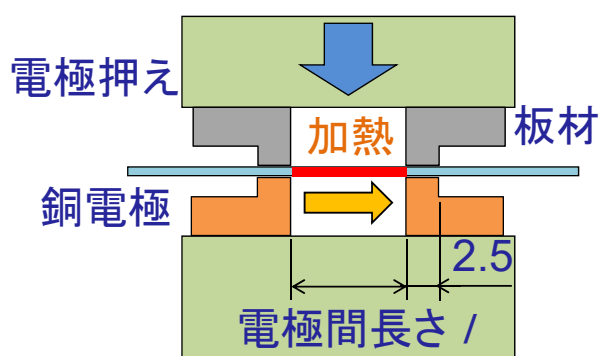
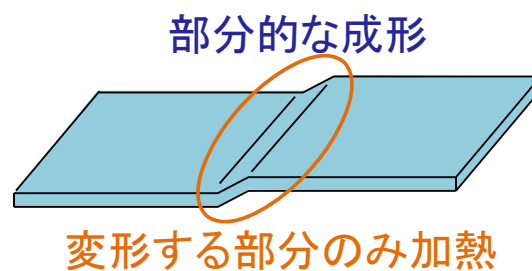


T = 900℃

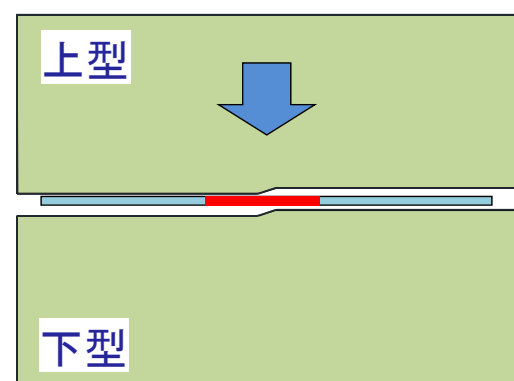


T = 1050℃

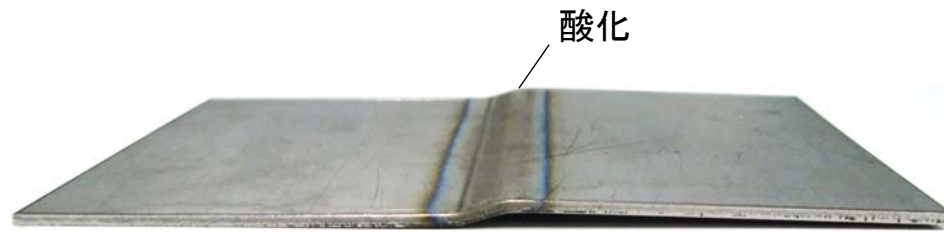
成形範囲が限られた製品への部分加熱の応用



搬送 3s



$L=20$ および 75mm においてジョググル曲げされた6Al-4Vチタン合金板



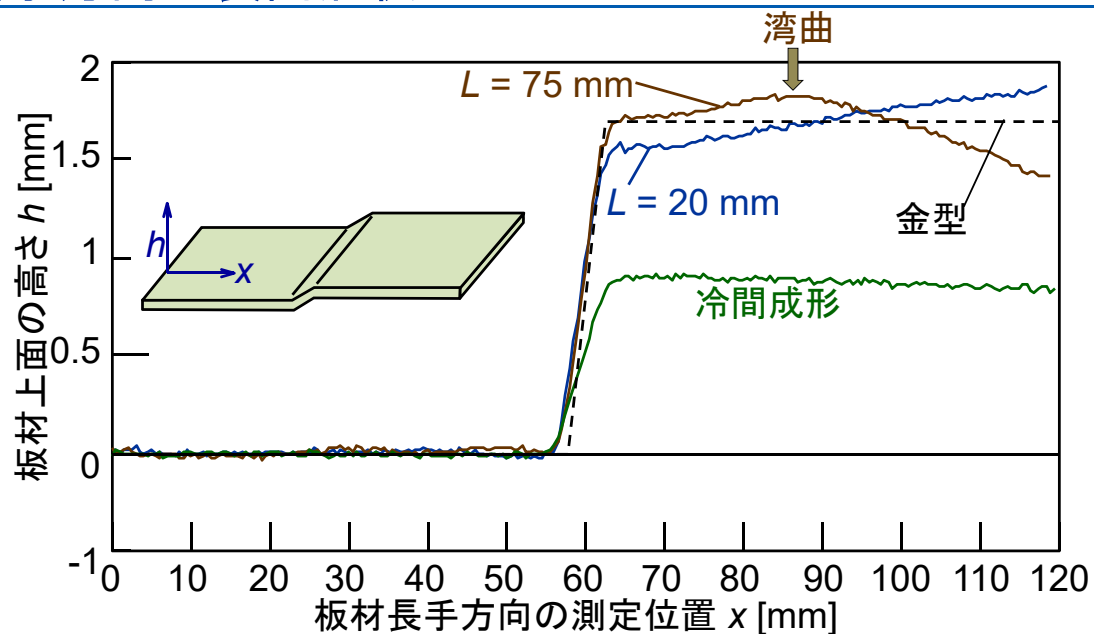
(a) $L = 20 \text{ mm}$



(b) $L = 75 \text{ mm}$

YNU YOKOHAMA National University

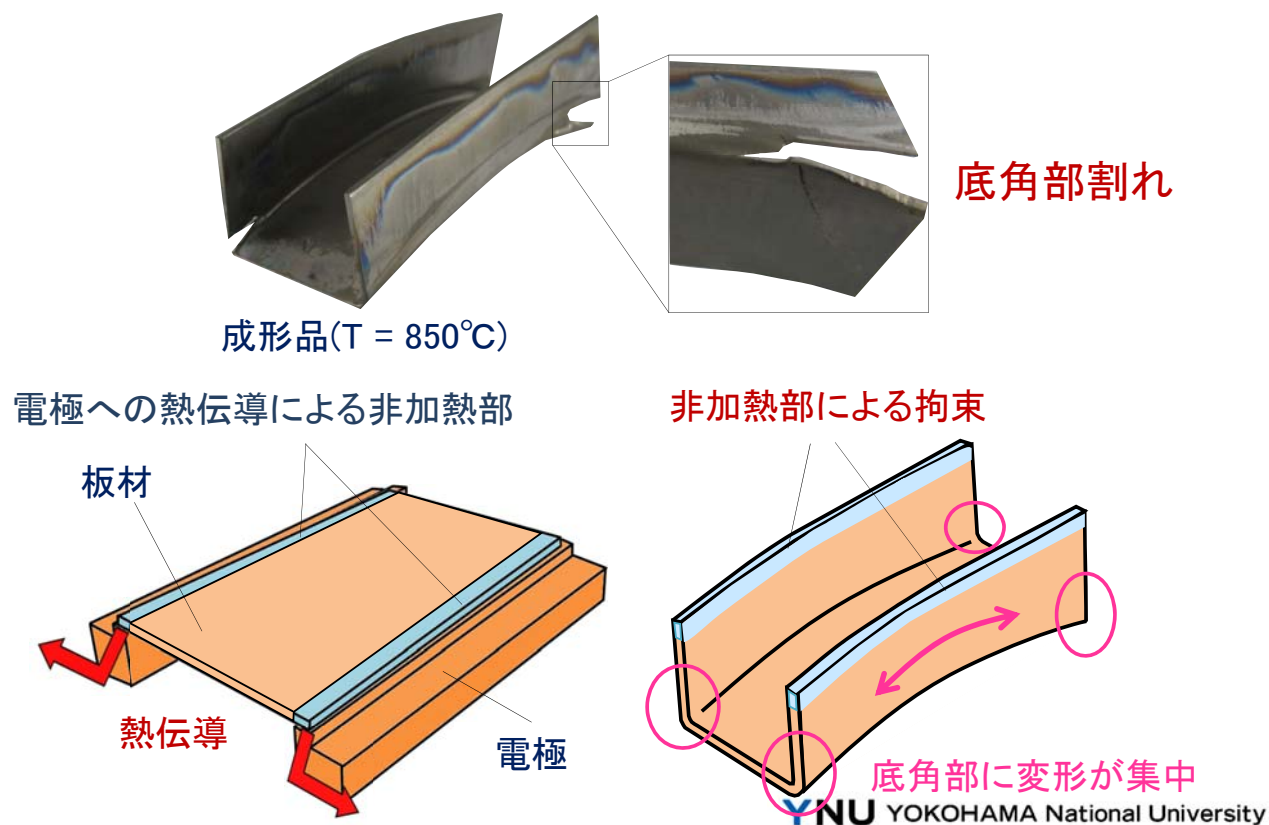
ジョググル曲げされた6Al-4Vチタン合金板の 長手方向の表面形状



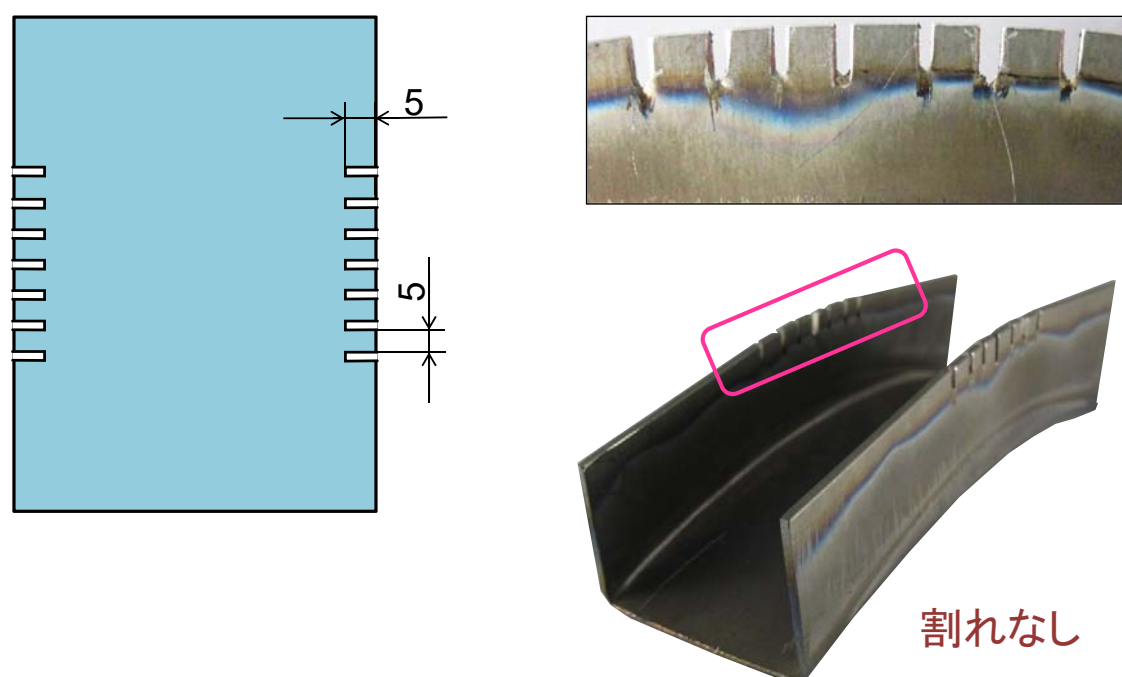
変形の必要な部分のみの選択加熱によって、
熱収縮によるゆがみ低減

YNU YOKOHAMA National University

通電加熱底部曲面U曲げ



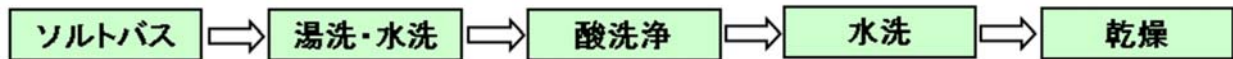
非加熱部スリットによる底角部割れ防止



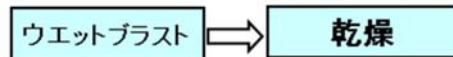
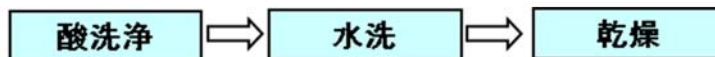
脱酸化被膜コストの削減

- 高温に曝される時間が少ない
(1サイクル10数分から10秒以下に)

従来法の脱スケール工程



通電加熱法の脱スケール



従来法と通電加熱法の脱スケール工程違い

設備・金型費・ランニングコストの削減

- 設備の高温化対策が不要
- 金型は加熱されないなので、耐熱鋼は不要
- 金型のメンテナンスが容易
金型が冷めるまで待つ必要がない
- 潤滑剤、耐酸化防止剤をほとんど使用しない

チタン合金の通電加熱ホットスタンピング

熱処理型アルミニウム合金のホットスタンピング

熱処理型アルミニウム航空機部品のホットスタンピング

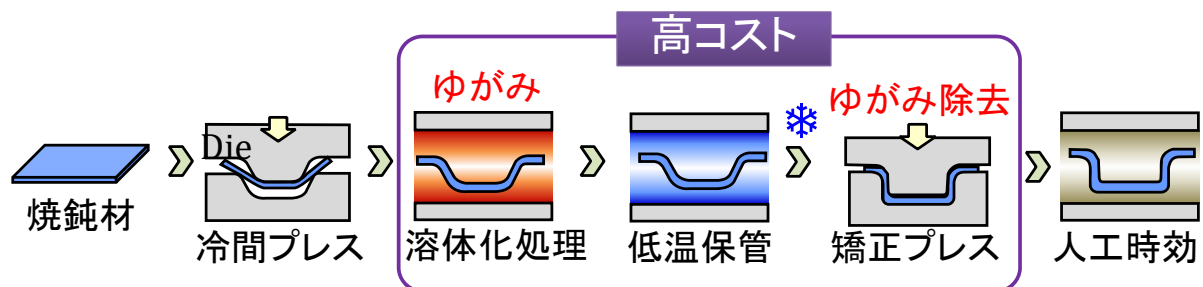


熱処理型アルミニウム合金

6xxx: 自動車, 航空機等

2xxx: 航空機

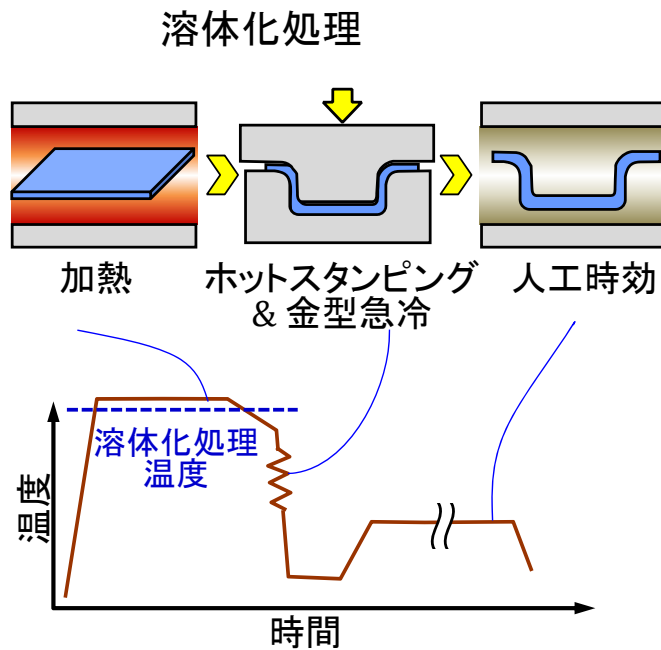
7xxx: 航空機



目的

- ✓ 成形後の溶体化処理の省略
- ✓ 冷間矯正プレスの省略

溶体化処理を行うホットスタンピング (Heat, Form and Quench; HFQ)



Aston Martin
DB11
6000系合金
フロントピラー



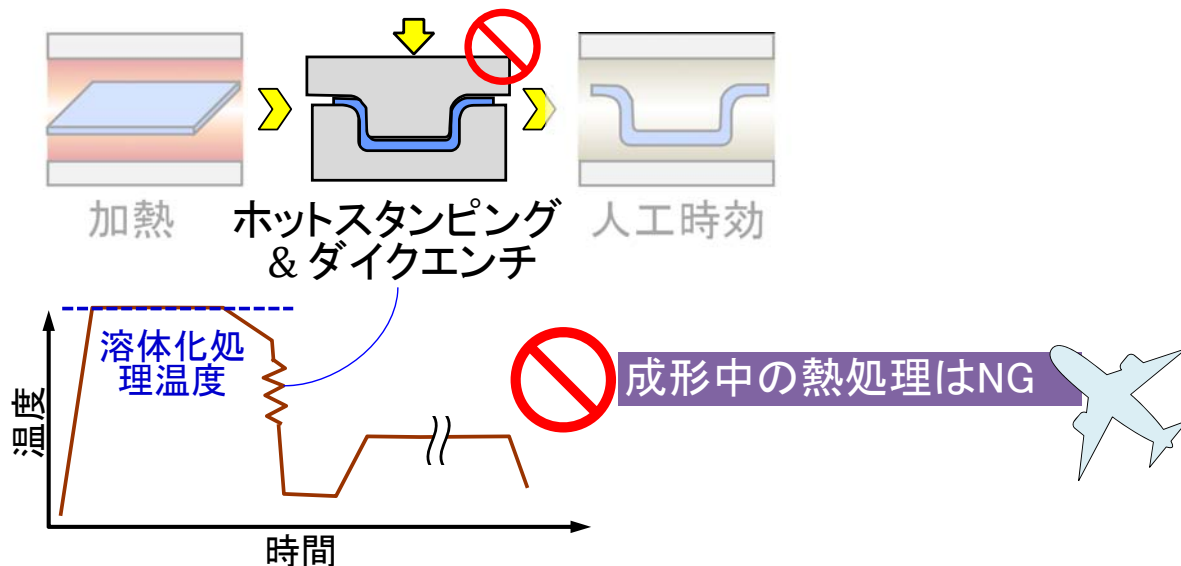
Lin J et al., Process for forming metal alloy sheet components. Patent application, WO2008059242 A2.

25

YNU YOKOHAMA National University

航空機部品の厳しい品質管理

- せん断面の除去 (エッジを研磨)
- 全品探傷検査
- 熱間成形 ⇒ 材質影響 大
加工条件の厳密な管理 等



26

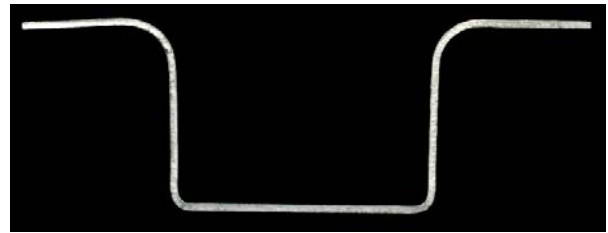
YNU YOKOHAMA National University

YNU YOKOHAMA National University

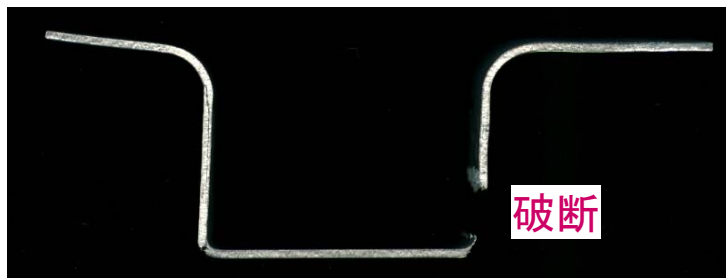
冷間およびホットスタンピングでハット曲げされた A2024-T4 アルミニウム合金板



$T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ スプリングバック大



$T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$

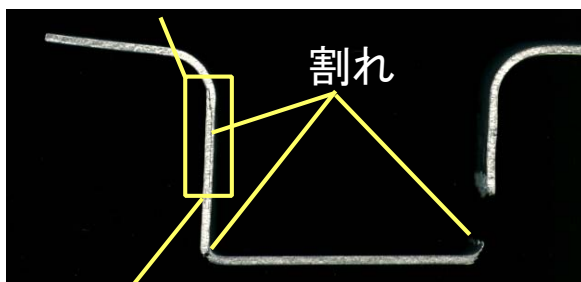


$T = 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ (溶体化処理温度以上)

29

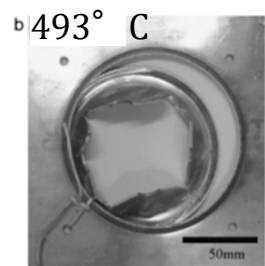
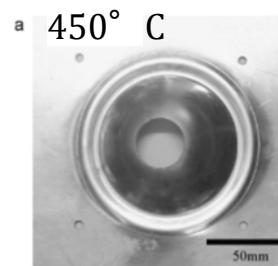
YNU YOKOHAMA National University

$T = 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ において板材の圧延方向に沿った割れ



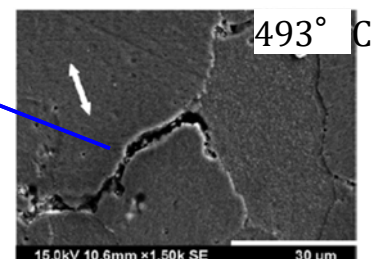
ブランクの圧延方向に
沿って生じた割れ

AA2024 穴広げ



粒界割れ

赤熱脆性

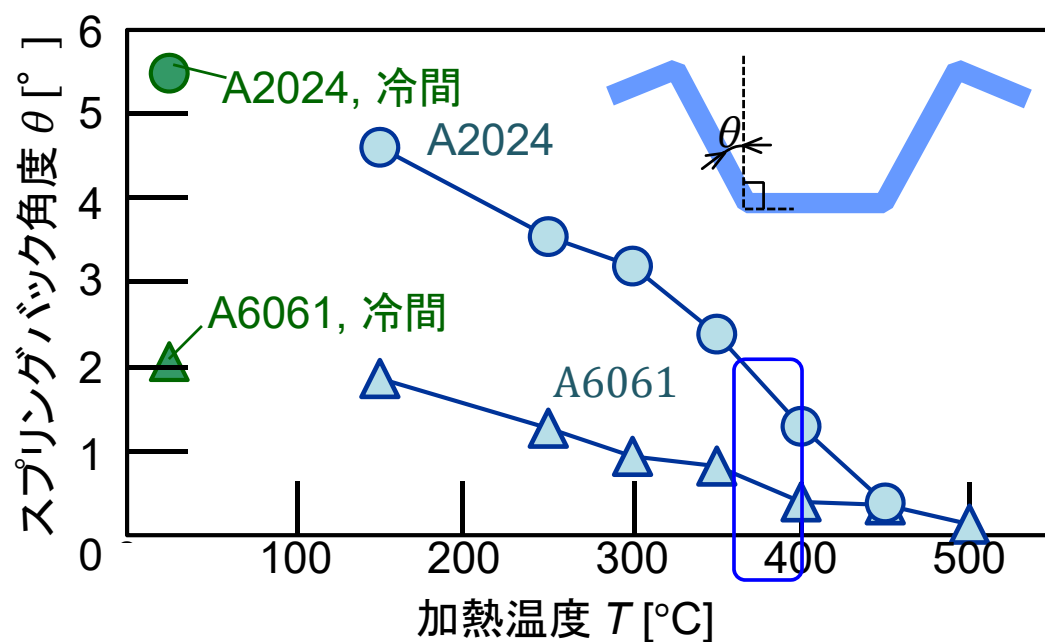


Wang L et al. (2011), Materials Science and Engineering A 528(6): 2648-2656

30

YNU YOKOHAMA National University

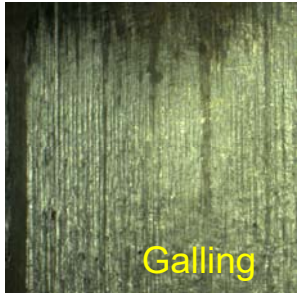
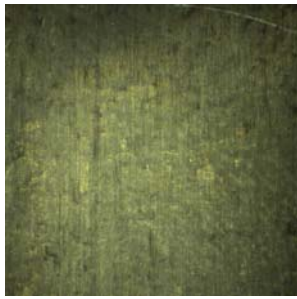
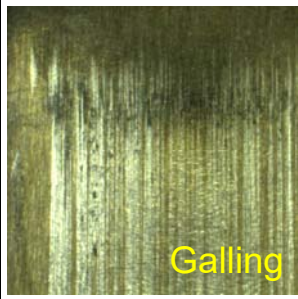
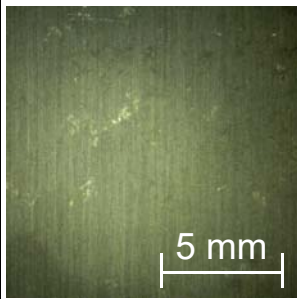
スプリングバック角度と加熱温度の関係



31

YNU YOKOHAMA National University

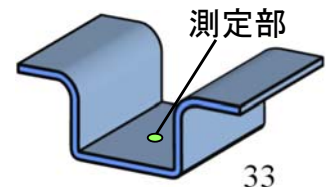
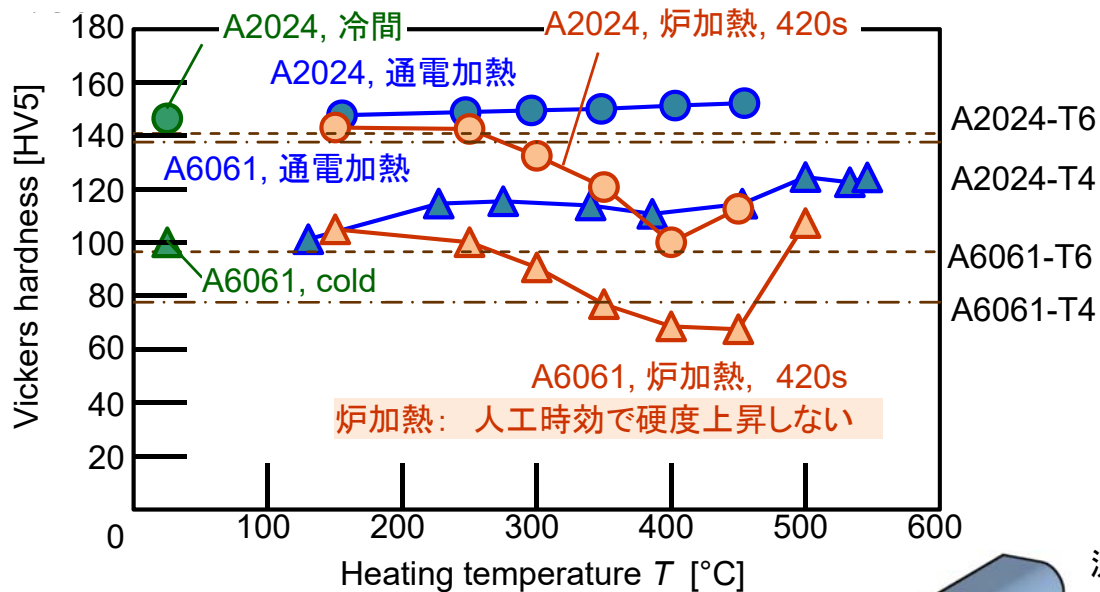
$T = 400$ °Cにおいてハット曲げされた板材の側壁表面

A2024		A6061	
無潤滑	グラファイト	無潤滑	グラファイト
			
板幅方向に測定した荒さ (ブランク: 0.42 μmRa)			
6.0 μmRa	0.43 μmRa	2.9 μmRa	0.4 μmRa

32

YNU YOKOHAMA National University

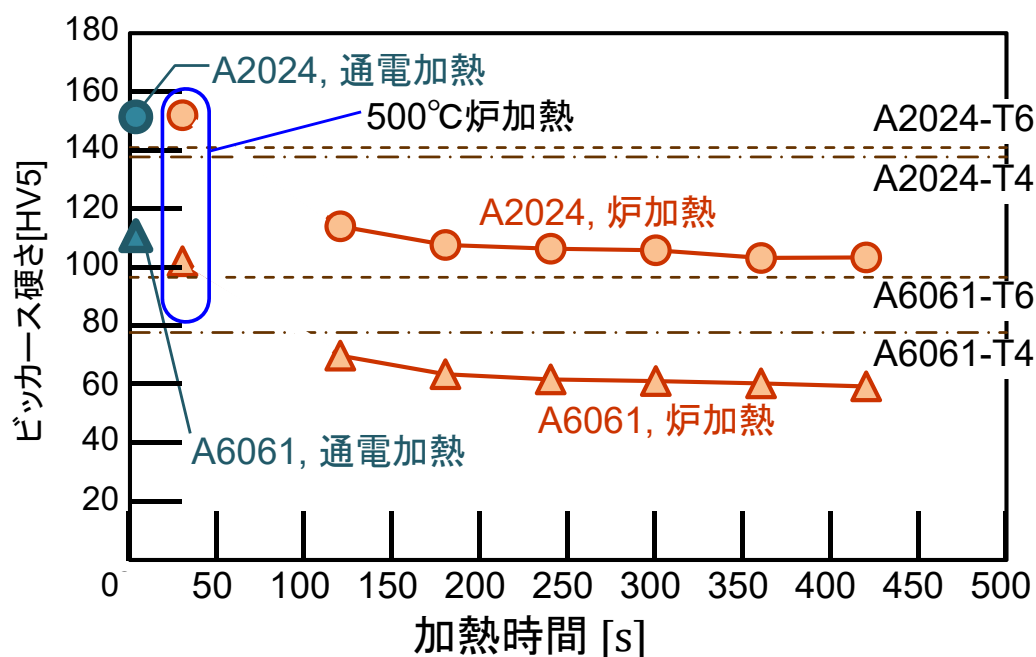
加熱温度が人工時効後の硬さに及ぼす影響



33

YNU YOKOHAMA National University

400°Cの炉加熱において加熱時間が人工時効後の硬さに及ぼす影響



34

YNU YOKOHAMA National University

ま と め

チタン合金の通電加熱ホットスタンピング

- チタン合金のプレス成形に通電加熱を応用することによって、生産性、段取り性が飛躍的に向上した。また、加熱時間が短縮されたため、酸化層が薄くなり、その除去行程も簡略化が可能となった。
- 金型に耐熱合金が必要なくなり、金型コスト、金型加工コストが大幅に低減された。

熱処理型アルミニウム合金のホットスタンピング

- 熱処理型アルミニウム合金において、時効硬化している材料をブランクに採用し短時間に加熱してホットスタンピングするプロセスを開発し、成形後の溶体化処理を省略した。
- 加熱時間を制限することによって溶体化処理なしに人工時効で強度を向上することができた。

資料を提供くださいました株式会社吉増製作所に感謝いたします