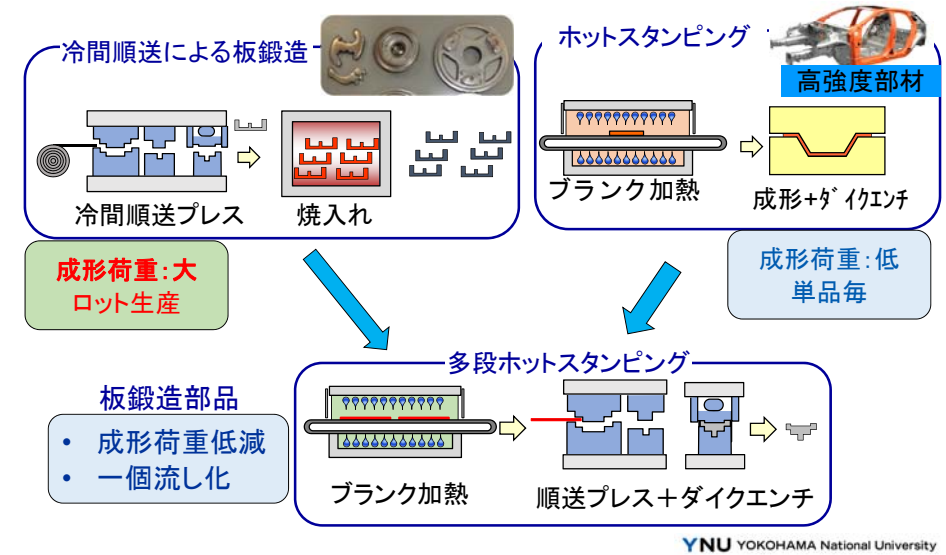


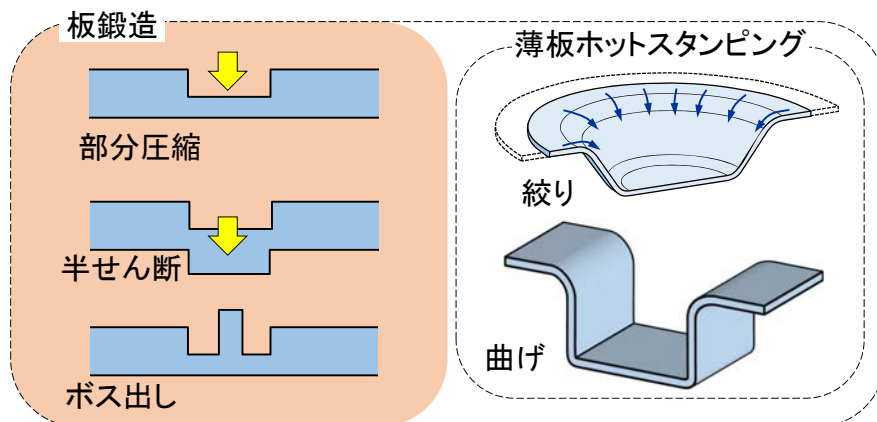
板鍛造ホットスタンピングの開発

横浜国立大学 前野 智美

厚鋼板ホットスタンピングにおける圧縮条件が
ダイクエンチ挙動および硬さに及ぼす影響



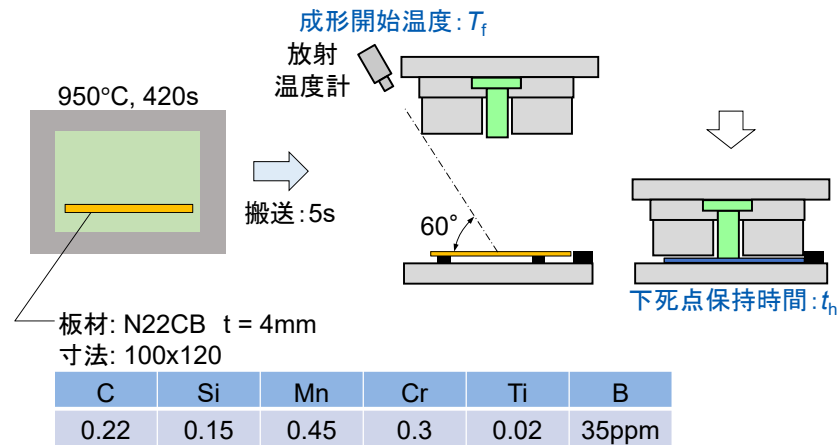
板鍛造の変形様式



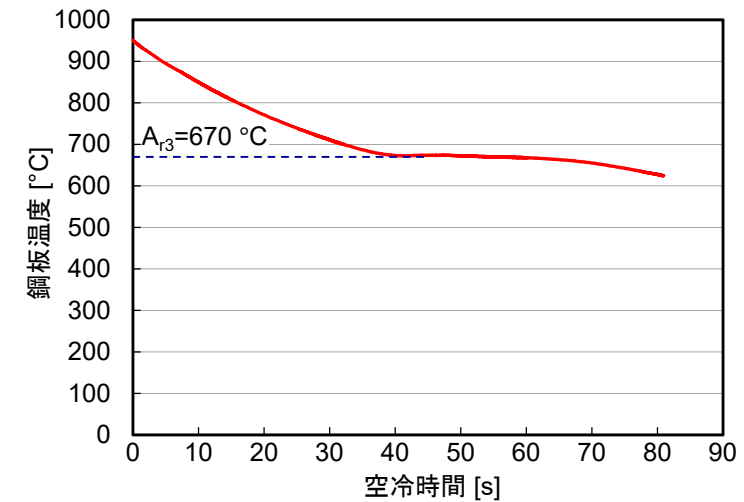
板鍛造ホットスタンピングの開発

- 厚鋼板の温・熱間部分圧縮
- 下死点保持による圧下率向上メカニズム
- 多段成形における焼入れ特性
- 板厚方向への圧縮による焼入れ硬さ向上

厚鋼板の温・熱間部分圧縮実験方法



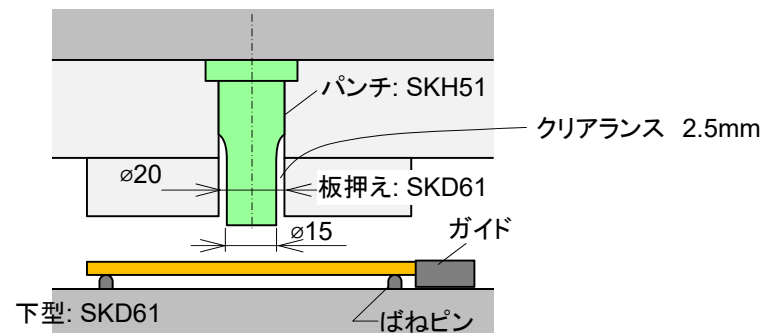
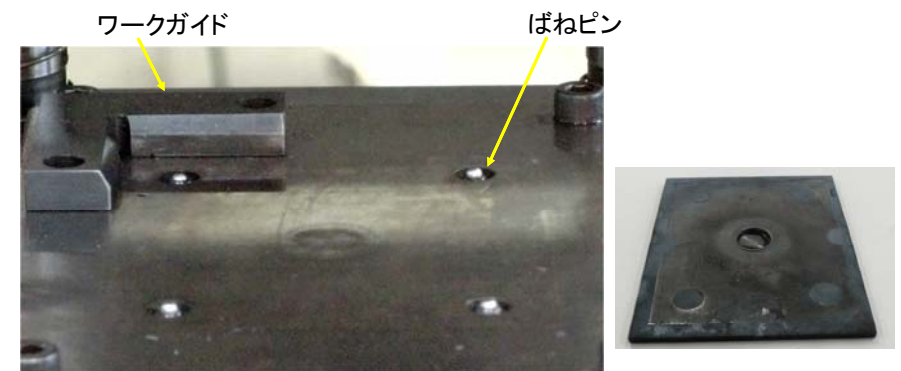
N22CBボロン鋼板の空冷中の鋼板の温度変化



部分圧縮工具詳細および実験条件

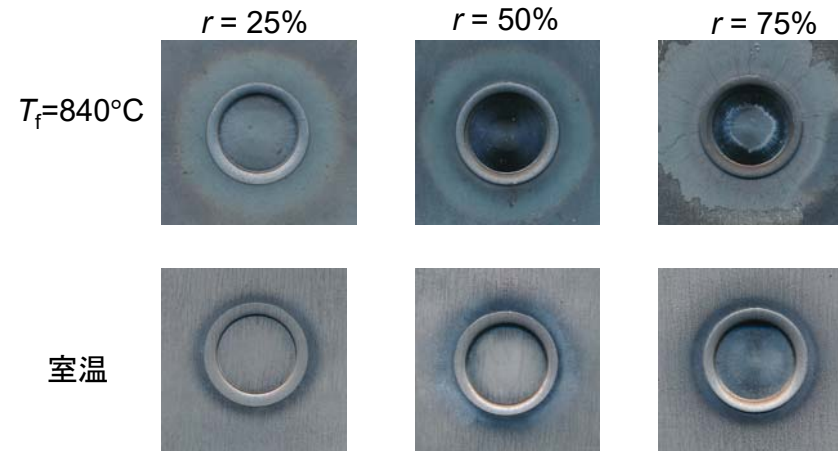
公称圧下率 r [%]	成形開始温度 T_f [°C]	下死点保持時間 t_h [s]
25, 50, 75,	室温 (加熱なし), 650, 750, 840	0, 1.5, 5.5, 20

(変態開始後に圧縮) ←

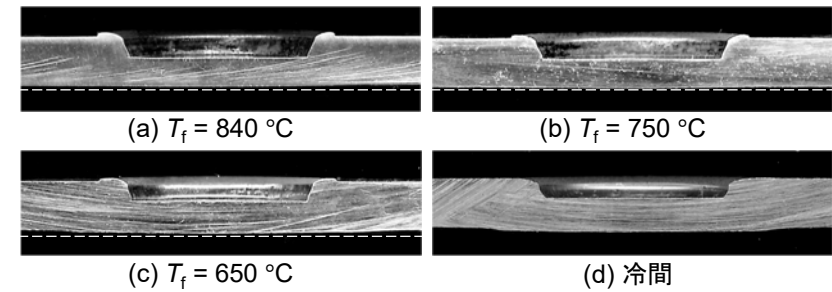
熱間部分圧縮の様子 ($r=50\%$, $T_f=840^\circ\text{C}$, $T_h=20\text{s}$)実験条件 $r = 50\%$, $T_f = 840^\circ\text{C}$, $T_h = 20\text{ s}$

成形後 鋼板

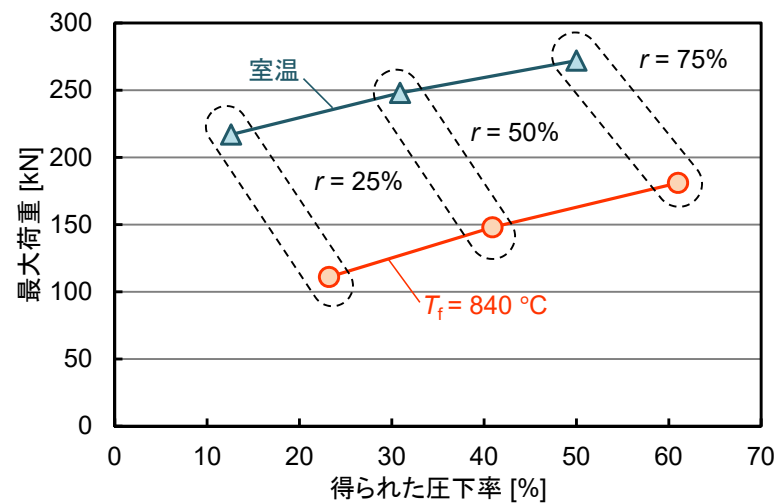
$T_f=840^\circ\text{C}$ および室温で部分圧縮された圧縮部外観



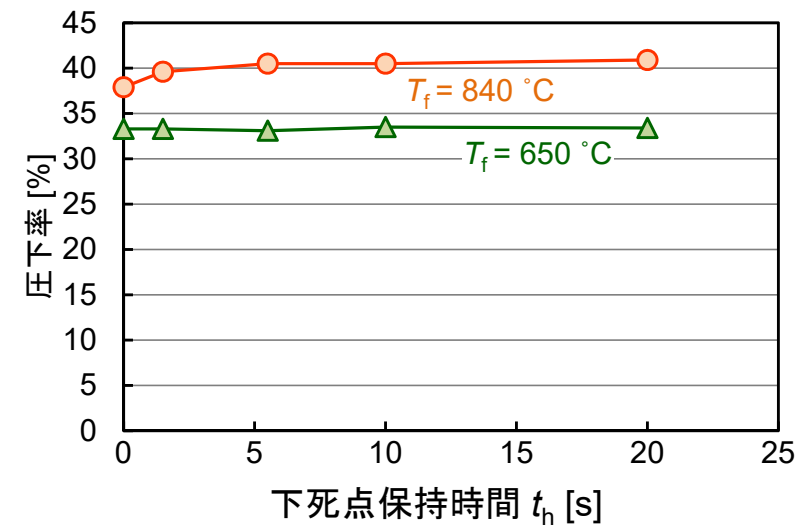
$r = 50\%$, $t_h = 20\text{s}$ において各成形開始温度で得られた圧縮部分断面



板押えなし, $T_f = 840^\circ\text{C}$ および冷間における最大荷重と圧下率の関係($t_h = 20\text{s}$)



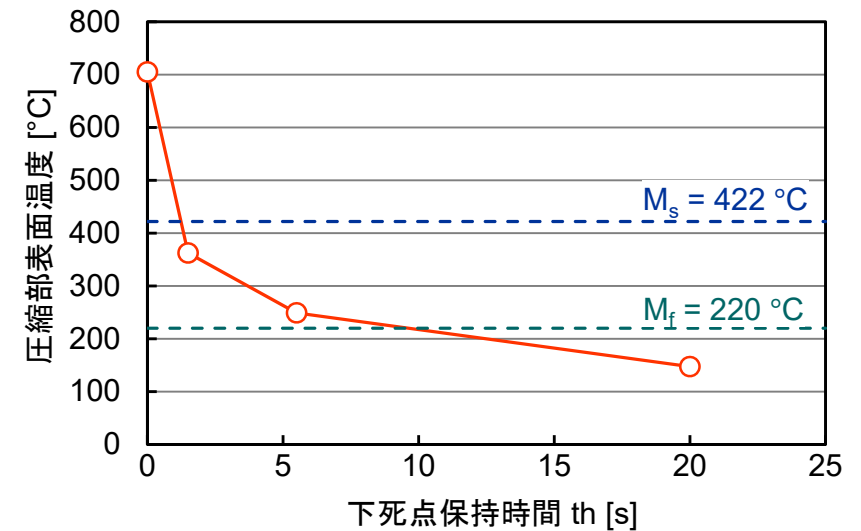
$r = 50\%$ において下死点保持時間が圧下率に及ぼす影響



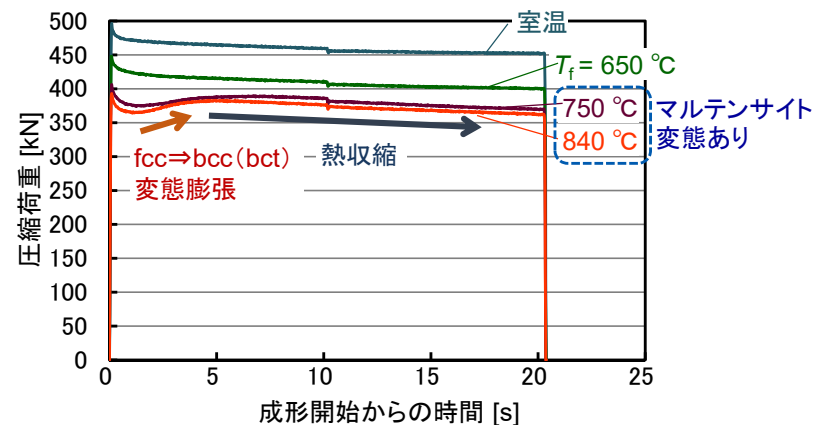
板鍛造ホットスタンピングの開発

- 厚鋼板の温・熱間部分圧縮
- 下死点保持による圧下率向上メカニズム
- 多段成形における焼入れ特性
- 板厚方向への圧縮による焼入れ硬さ向上

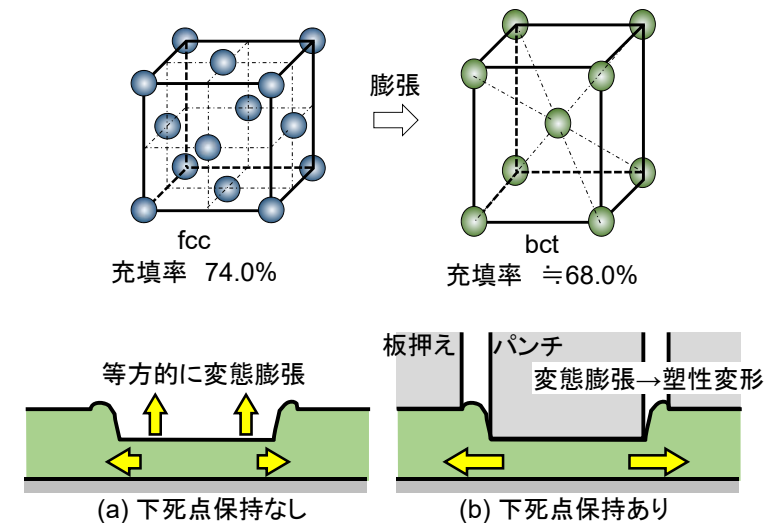
$r = 50\%$ $T_f = 840^\circ\text{C}$ における成形後 圧縮部分表面温度に及ぼす下死点保持時間の影響



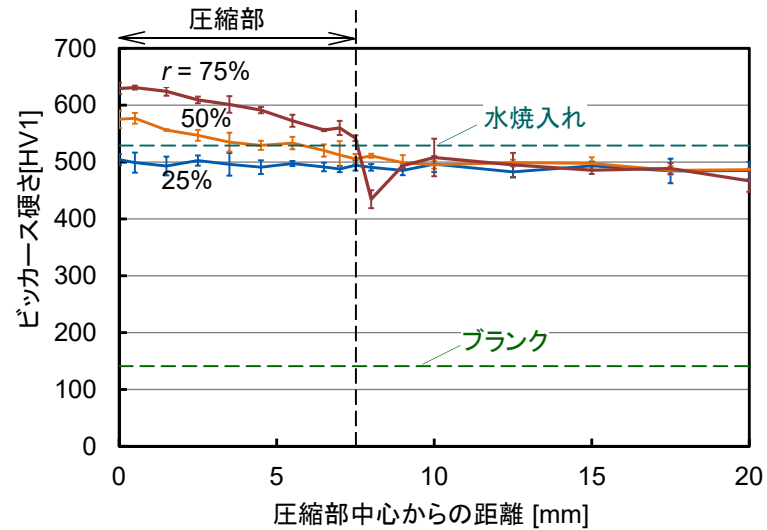
$r = 50\%$ における下死点保持中の圧縮荷重に及ぼす 成形開始温度の影響



下死点保持による圧下率向上メカニズム

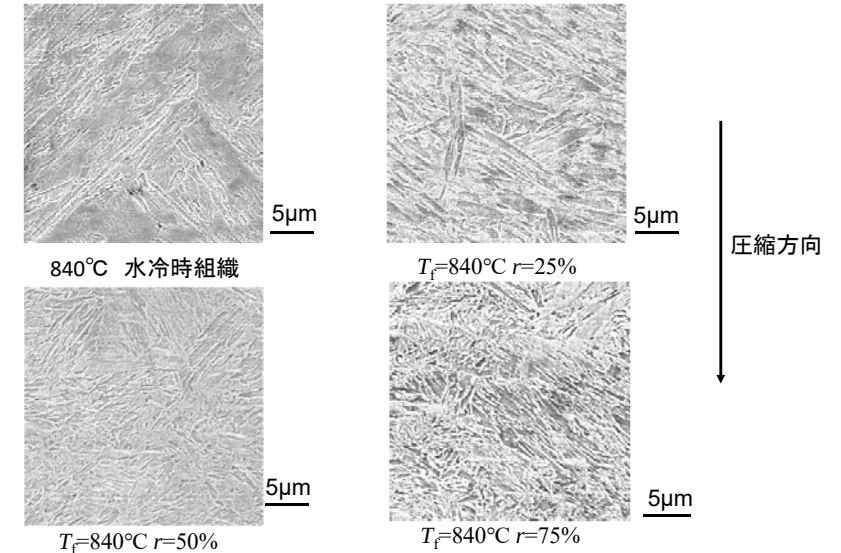


$T_f = 840^\circ\text{C}$, $t_h = 20\text{s}$ におけるダイクエンチ後の板厚中央部の硬さ分布



YNU YOKOHAMA National University

$T_f = 840^\circ\text{C}$, $t_h = 20\text{s}$ におけるダイクエンチ後の板厚中央部の硬さ分布



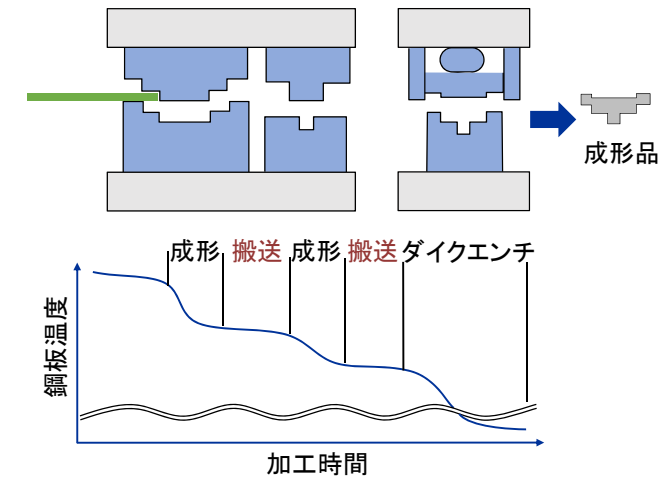
YNU YOKOHAMA National University

板鍛造ホットスタンピングの開発

- 厚鋼板の温・熱間部分圧縮
- 下死点保持による圧下率向上メカニズム
- 多段成形における焼入れ特性
- 板厚方向への圧縮による焼入れ硬さ向上

YNU YOKOHAMA National University

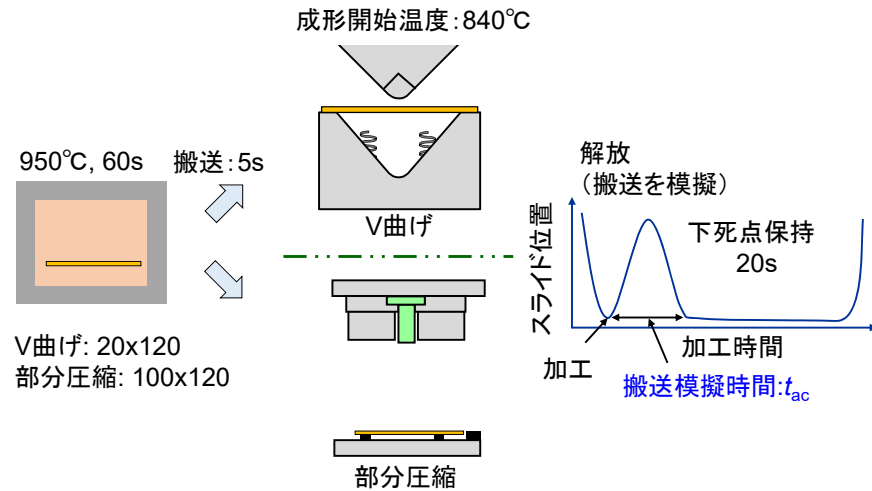
多段成形での温度低下



搬送を含む順送プレスにおいてホットスタンピングを行った際のダイクエンチ特性の評価

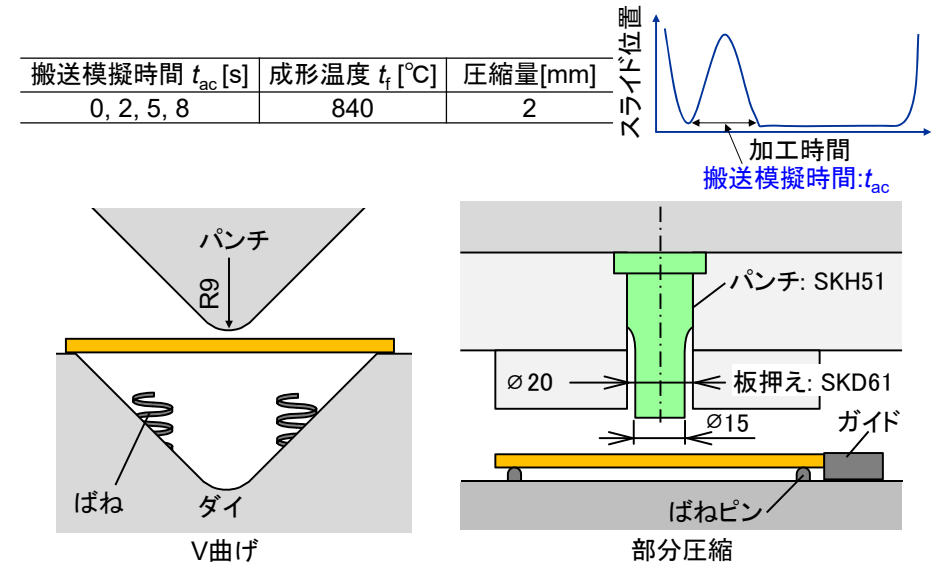
YNU YOKOHAMA National University

V曲げおよび部分圧縮における多段ダイクエンチング実験方法



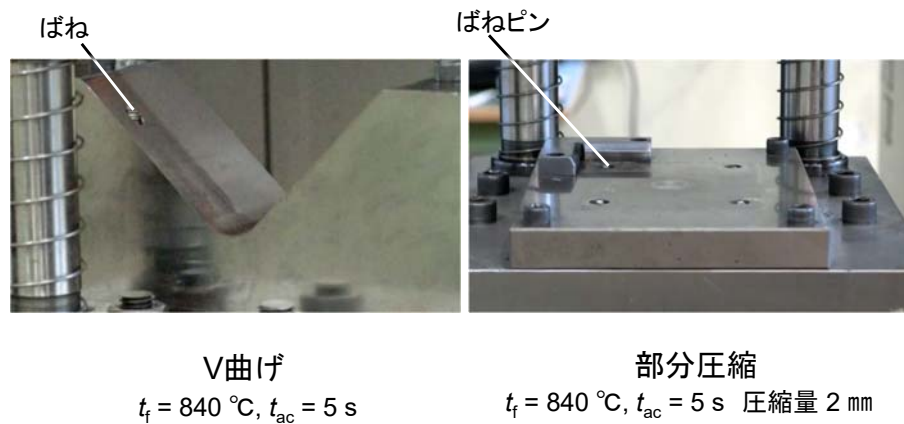
YNU YOKOHAMA National University

工具詳細および実験条件



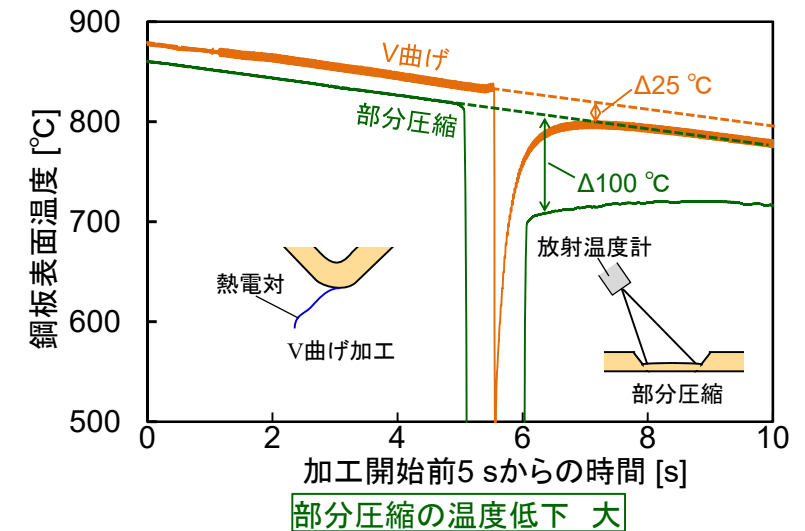
YNU YOKOHAMA National University

多段ホットスタンピング実験の様子



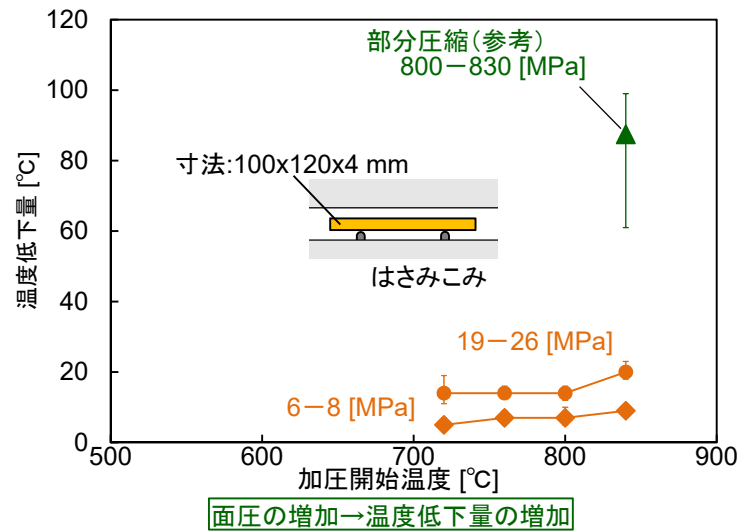
YNU YOKOHAMA National University

成形温度840°Cにおける曲げおよび部分圧縮加工中の温度履歴



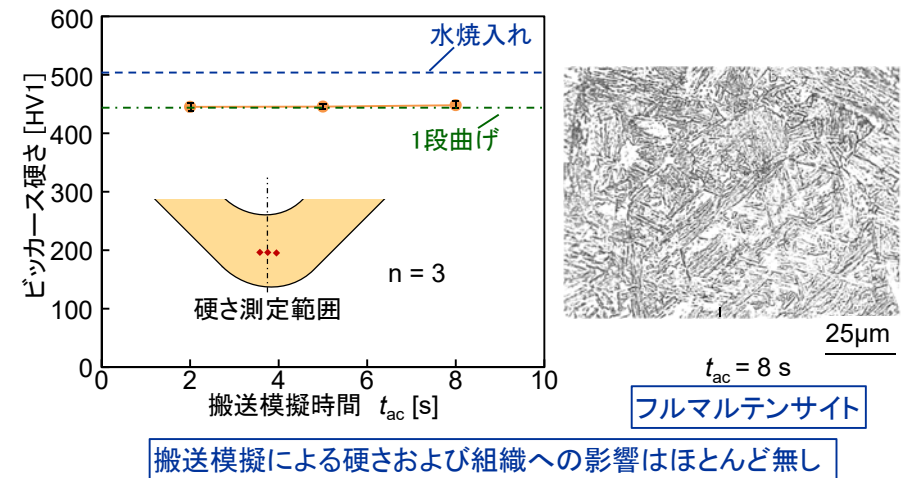
YNU YOKOHAMA National University

加工面圧が温度低下量へ及ぼす影響



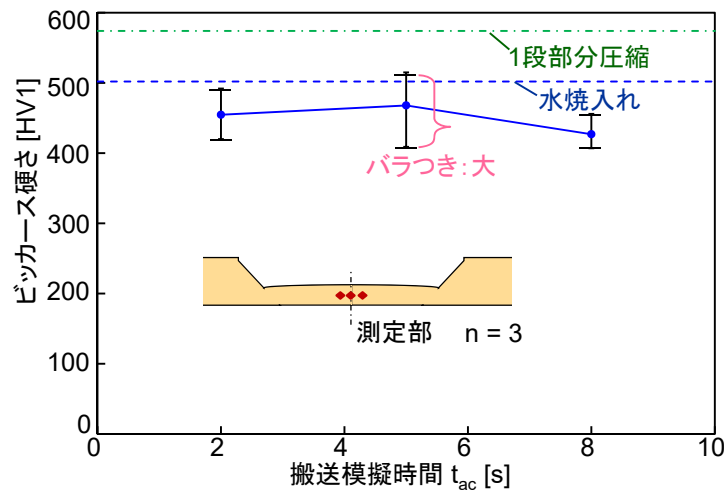
YNU YOKOHAMA National University

搬送模擬時間が曲げ部分硬さおよび組織に及ぼす影響



YNU YOKOHAMA National University

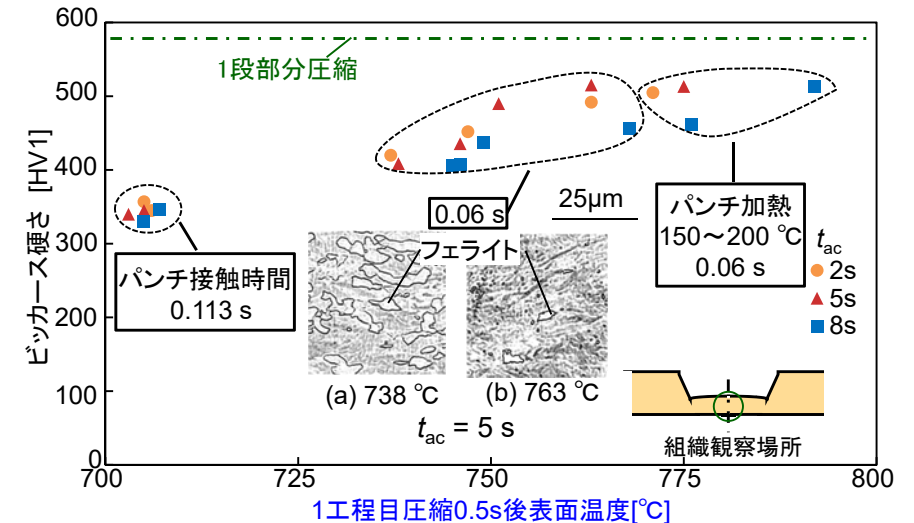
搬送模擬時間が圧縮部硬さに及ぼす影響



搬送模擬により硬さが低下しバラつきも増加

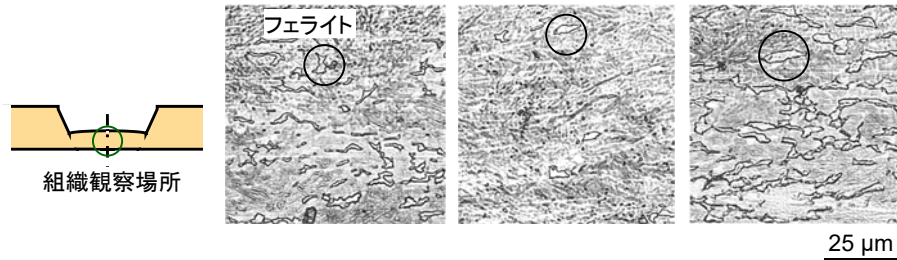
YNU YOKOHAMA National University

1工程目の圧縮直後の表面温度がダイクエンチ後の硬さに及ぼす影響



YNU YOKOHAMA National University

搬送模擬時間が圧縮後材料組織に及ぼす影響



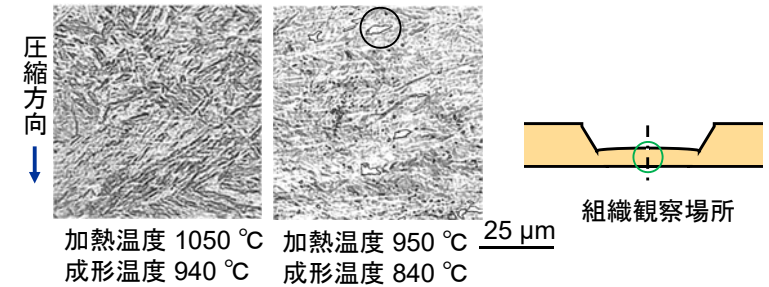
搬送模擬時間 t_{ac} [s]	2	5	8
硬さ [HV1]	492	515	456
成形後表面温度 [°C]	763	763	768

搬送模擬時間が長いと搬送中に温度低下→硬さ低下

搬送模擬時間5 sにおける加熱温度と加工温度向上によるフェライトの抑制

試験片圧縮部表面	加熱温度	加工温度	圧縮部 中心硬さ	n = 3
酸化スケール大	1050 °C	930 °C 以上	502-522 HV	
	950 °C	840 °C	409-515 HV	

20 mm



加熱温度 1050 °C
成形温度 940 °C

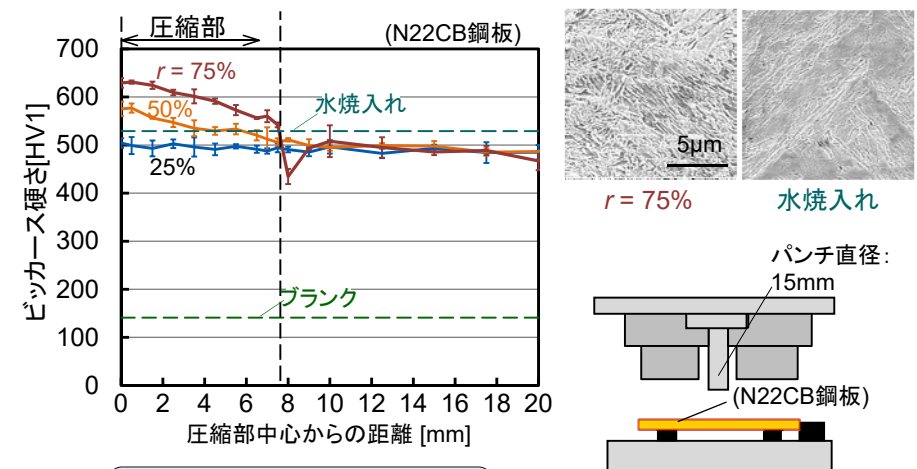
加熱温度 950 °C
成形温度 840 °C

フルマルテンサイト

板鍛造ホットスタンピングの開発

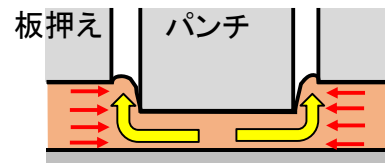
- 厚鋼板の温・熱間部分圧縮
- 下死点保持による圧下率向上メカニズム
- 多段成形における焼入れ特性
- 板厚方向への圧縮による焼入れ硬さ向上

部分圧縮後にダイクエンチを行った後の硬さ分布



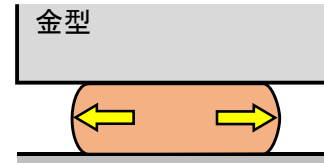
- 圧縮部分の硬さ増加
- マルテンサイト組織微細化

円板試験片の圧縮・ダイクエンチ



部分圧縮

- ひずみ: 不均一
- 圧縮中の温度測定: 難

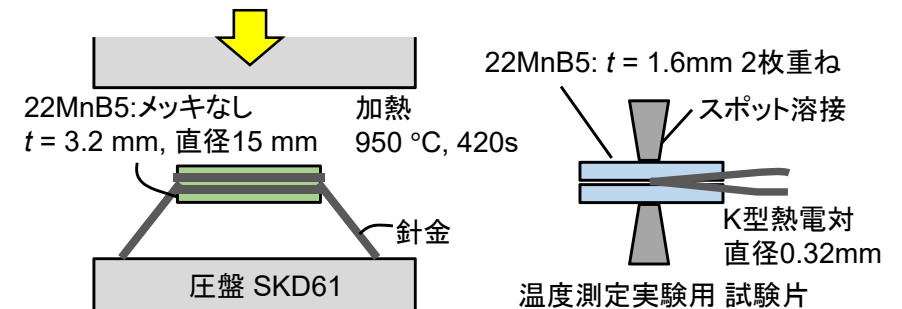


円板の圧縮

- ひずみ: 比較的に均一
- 温度測定可能

目的: 22MnB5鋼板を用いたホットスタンピングにおいて、圧縮ひずみ付与がダイクエンチに及ぼす影響を調査.

円板試験片の圧縮・ダイクエンチ実験方法

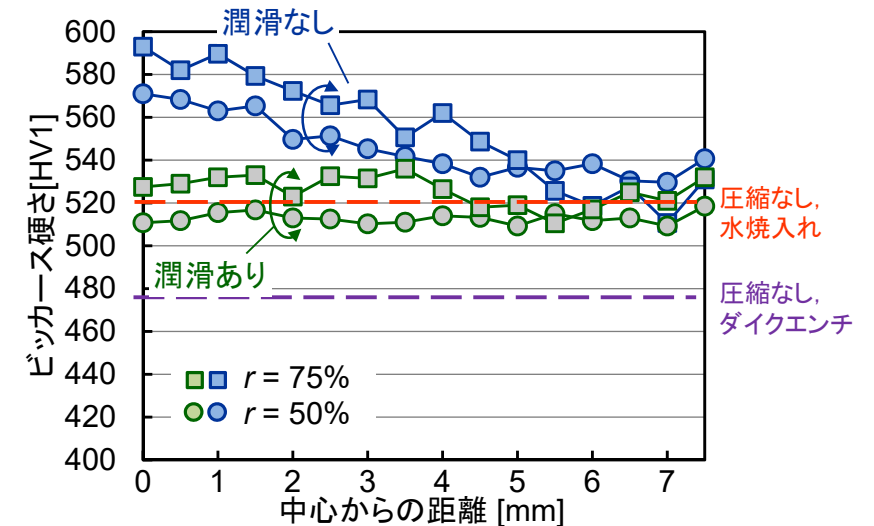


成形開始温度 [°C]	公称圧縮率 r	成形速度 V_f [mm/s]	潤滑剤
820–870	25–75%	26, 36, 55	なし, MoS ₂

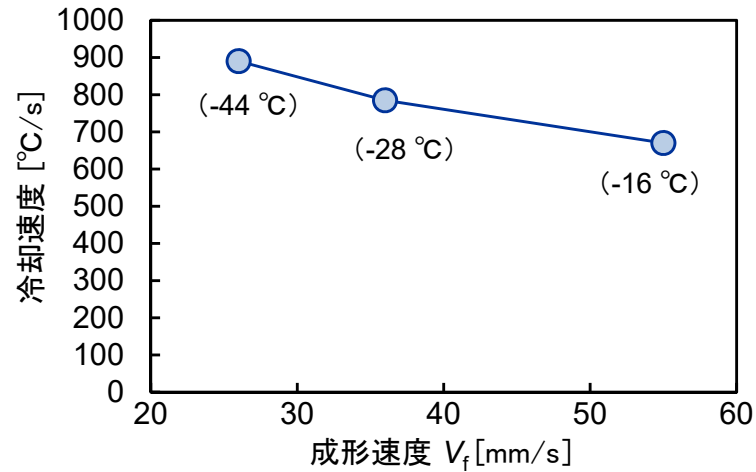
円板試験片の圧縮・ダイクエンチの様子



潤滑剤ありとなしにおいて得られた
板厚中央の半径方向硬さ分布, $V_f = 36 \text{ mm/s}$

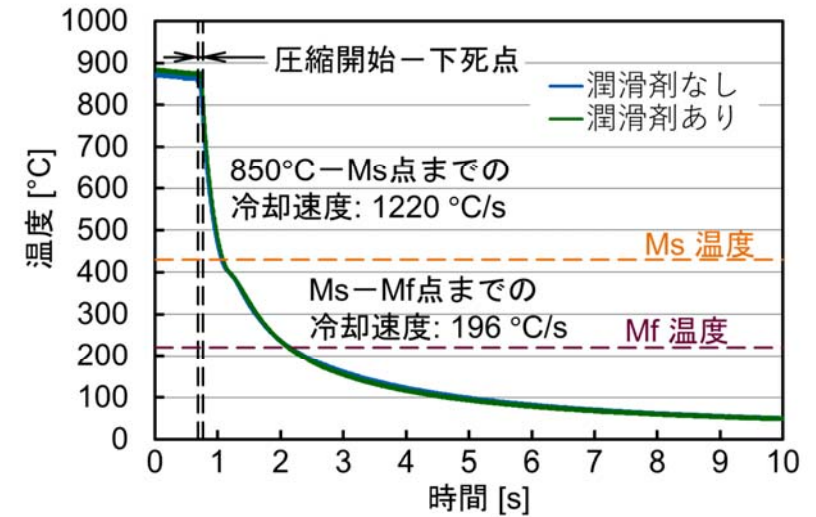


$r = 50\%$, 潤滑剤なしにおける圧縮変形中の
冷却速度(工具接触-下死点)



YNU YOKOHAMA National University

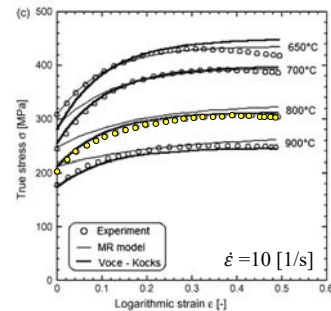
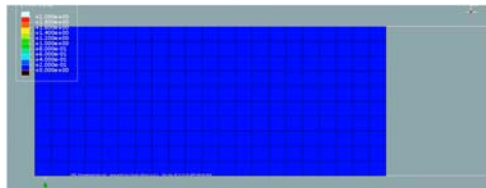
潤滑ありとなしにおける圧縮中の温度変化,
 $r = 50\%$, $V_f = 36$ mm/s



YNU YOKOHAMA National University

潤滑剤有無がひずみ分布に与える影響の
有限要素シミュレーションによる検討

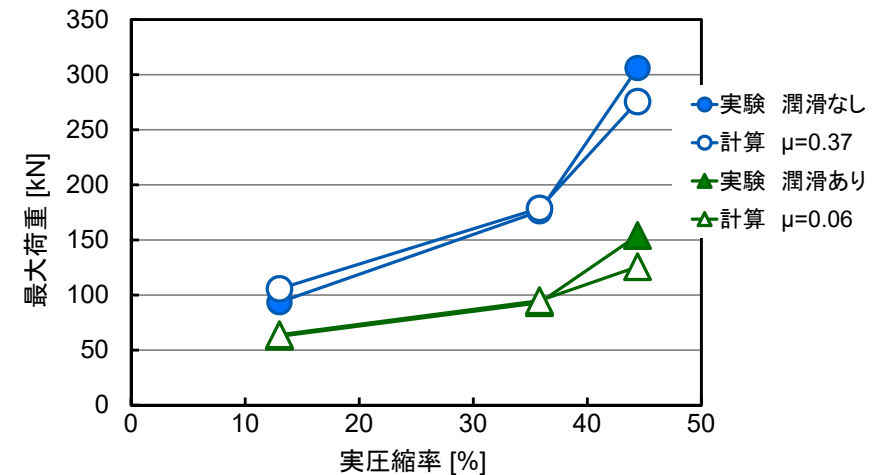
- 軸対称近似モデル
- 温度変化無し: 圧縮中の温度低下が30~50°C程度のため
- 変形抵抗: [1]の22MnB5の円柱圧縮試験の結果を採用
本実験 $\dot{\epsilon} = 12.3$ [1/s]
- 摩擦係数:
 $r = 50\%$ の最大荷重が実験と一致するように調整
潤滑剤あり $\mu = 0.06$
潤滑剤なし $\mu = 0.37$



[1] M-Naderi et al. Mater. Sci. Eng. A
478 (2008) 130-139.

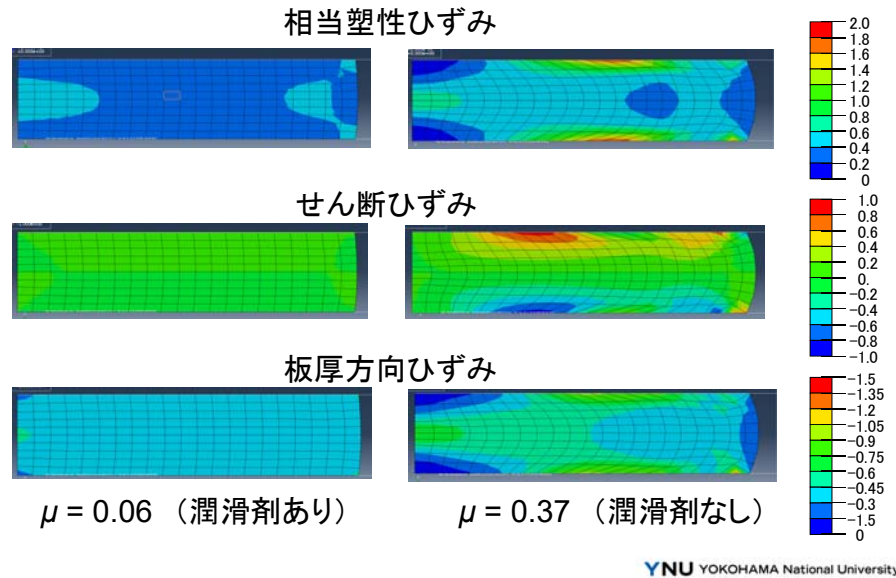
YNU YOKOHAMA National University

実験と計算における潤滑材ありとなしの
最大荷重と実圧縮率の関係 ($V_f = 36$ mm/s)

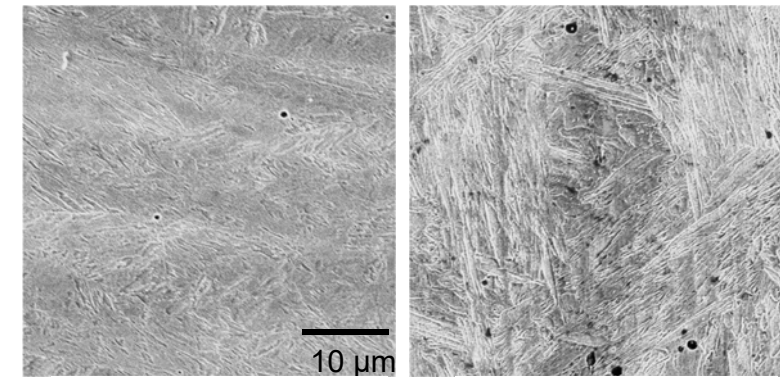


YNU YOKOHAMA National University

有限要素シミュレーションにおける潤滑剤ありとなしの
圧縮後のひずみ分布 ($r=50\%$ 実圧縮率 35.8%)



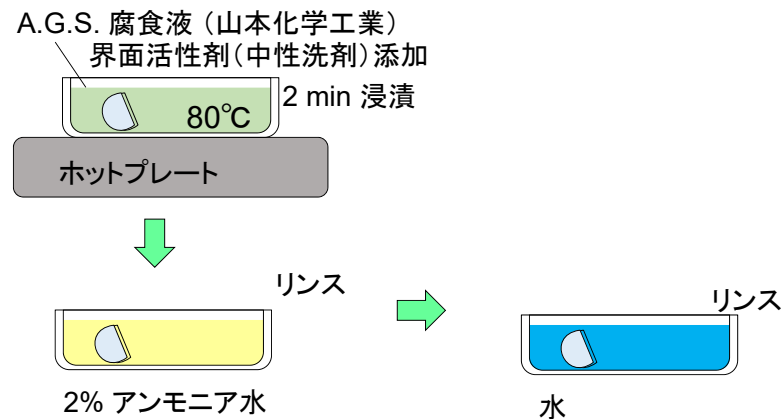
潤滑剤無しにおいて圧縮・ダイクエンチ後の
マルテンサイト組織, $V_f = 36 \text{ mm/s}$, $r = 75\%$



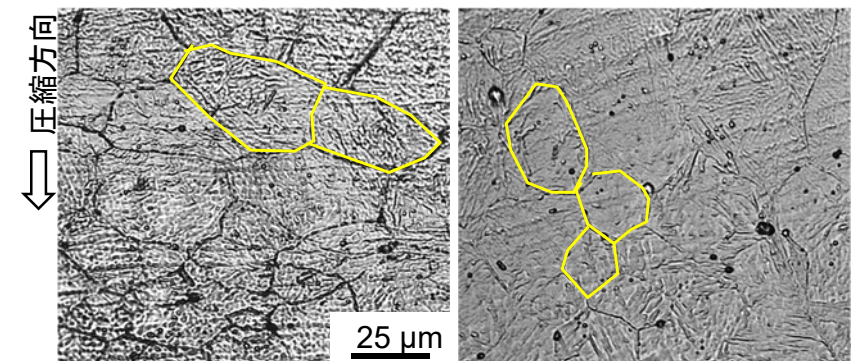
(a) $r = 75\%$, 潤滑剤なし

(b) 圧縮なし, 水焼入れ

旧オーステナイト粒界腐食方法



$r = 75\%$, 潤滑剤なしにおける旧オーステナイト粒界

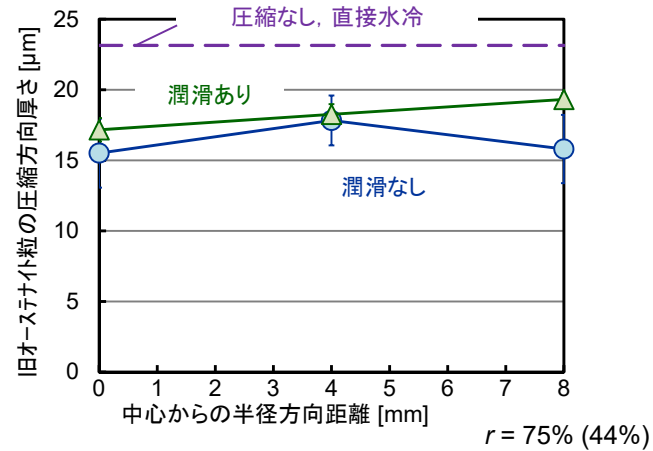


(a) $r = 75\%$, 潤滑剤なし

(b) 圧縮なし, 水焼入れ

再結晶によって生じる小さい組織は見られない

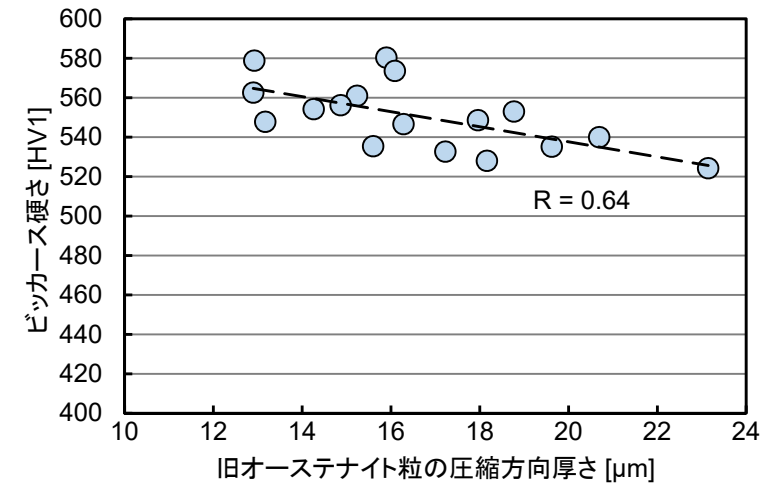
潤滑剤ありとなしにおける旧オーステナイト粒の
圧縮方向厚さ分布, $V_f = 36 \text{ mm/s}$



- ・ 潤滑剤の有無が及ぼす影響は小さい
- ・ 圧縮なしとありの差もあまり大きくなく偏平している程度

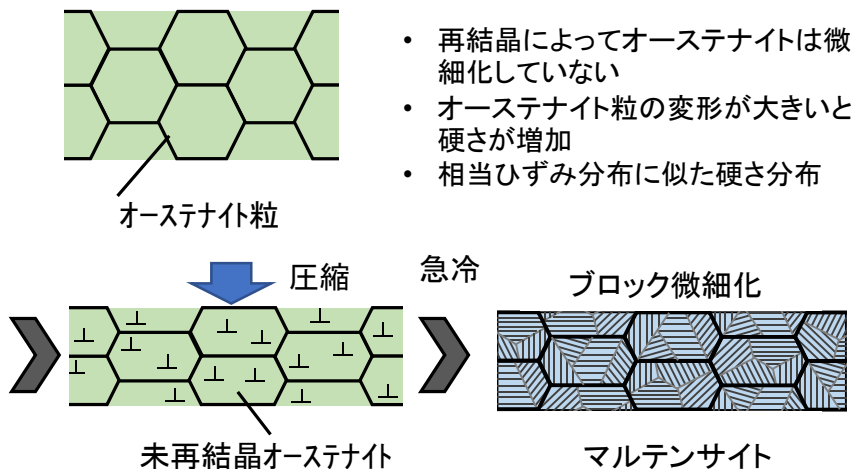
YNU YOKOHAMA National University

硬さと旧オーステナイト粒の圧縮方向の厚さの関係



YNU YOKOHAMA National University

板厚方向の圧縮・ダイクエンチによって生じた
高温オースフォーミングによる硬さ向上のメカニズム



- ・ 再結晶によってオーステナイトは微細化していない
- ・ オーステナイト粒の変形が大きいと硬さが増加
- ・ 相当ひずみ分布に似た硬さ分布

YNU YOKOHAMA National University

ま と め

- ・ 部分圧縮において下死点保持によって圧下率が向上した。
- ・ 下死点保持中に板材がオーステナイトからマルテンサイトに変態する際の変態膨張が金型拘束によって塑性変形に変換され圧下率向上した。
- ・ 曲げによる温度低下は小さく、多段成形においても硬さの低下は生じなかった。一方、部分圧縮では面圧が高く、温度低下が大きくなり、フェライト相が生じて硬さが低下した。
- ・ 多段成形において、ダイクエンチ前の板材温度が低下するとフェライト相の割合が増え、硬さが低下し、また、硬さのばらつきが大きくなった。
- ・ 多段成形では、温度低下の小さい面圧の低い加工を先に行い温度低下の大きい圧縮加工はダイクエンチの工程で行うのが望ましい。
- ・ 板厚方向に圧縮する場合、高温オースフォーミングによってマルテンサイト組織が微細化しダイクエンチ後の硬さが向上した。
- ・ 圧縮率および、せん断変形の付与が大きいと旧オーステナイト粒の加工硬化の程度が大きくなり、高温オースフォーミングによって上昇する硬さも増加した。

YNU YOKOHAMA National University