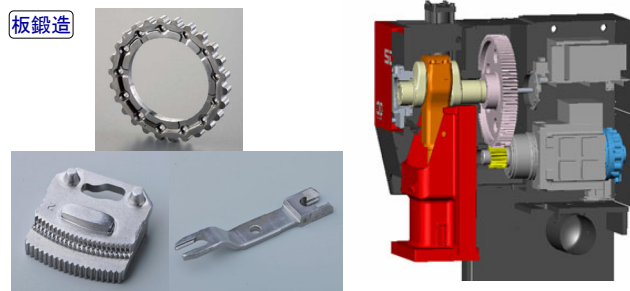


サーボプレスを用いたパルスモーションによる自動再潤滑の応用

横浜国立大学 前野智美

板鍛造



全国工作油剤工業組合 2024年度第29回全国技術研修会 2024年10月18日 KKRホテル

0/ 64

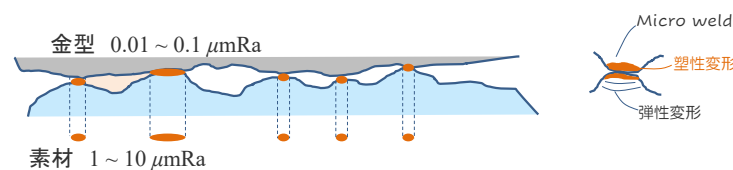
サーボプレスを用いたパルスモーションによる自動再潤滑の応用

•塑性加工における摩擦と潤滑概要

- 板鍛造
- 荷重振動鍛造による荷重の低減とメカニズム
- 荷重振動によるボンデフリー鍛造
- ステンレス厚鋼板の切り口面性状向上
- パルスモーションを用いた自動再潤滑に適した潤滑剤設計

1/ 64

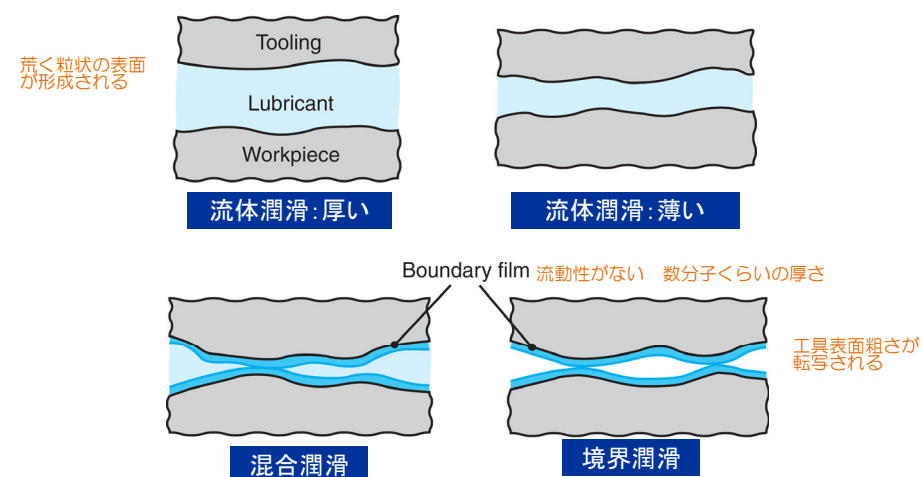
接触界面



真実接触面積
 弾性体どうし: 見かけの $\frac{1}{10000} \sim \frac{1}{100}$
 塑性加工: 20%~80%

2/ 64

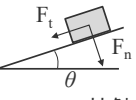
界面における潤滑剤の状態



3/ 64

摩擦モデル(クーロン摩擦)

クーロン摩擦.....一般の弾性体の接触

 $\mu = \tan \theta = \frac{F_t}{F_n} = \frac{\tau_f}{p}$: 摩擦せん断応力
p: 面圧(面圧分布は均一とは限らない)

接触部のせん断応力
 $\tau_f = \beta \tau_s + (1 - \beta) \tau_h$ 潤滑剤などの摩擦応力
 $\tau_h \ll \tau_s$ なので

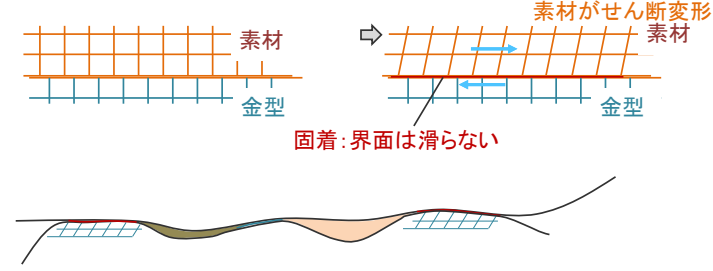
$\tau_f \approx \beta \tau_s$ ここで $\beta = \frac{p_{ave}}{p_r}$
 $\approx \frac{p_{ave} \tau_s}{p_r \tau_s} = p_{ave} \frac{\tau_s}{p_r} = \mu p_{ave}$
 μ が接触圧力によらず一定

摩擦モデル(せん断摩擦則 トレスカ摩擦)

せん断摩擦則.....真実接触面積が大きい時

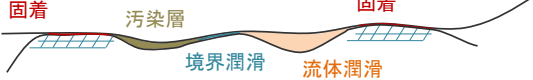
摩擦応力は材料のせん断変形抵抗を超えない
滑らずに固着して材料が変形する

$\mu = \tan \theta = \frac{F_t}{F_n} = \frac{\tau_f}{p}$

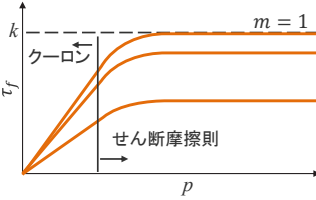


摩擦モデル(せん断摩擦則 トレスカ摩擦)

実際の接触はいろんな接触が混合している

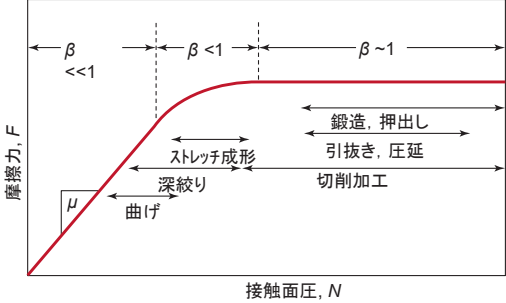


$\tau_f = mk$
せん断降伏応力
摩擦せん断係数 ($0 \leq m \leq 1$)



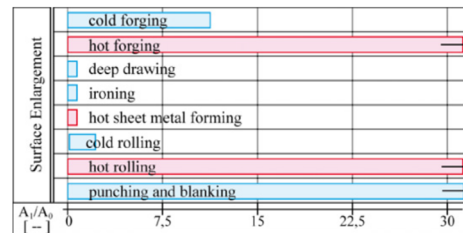
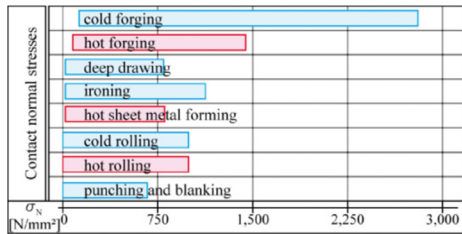
m = 1の時
 $\tau_f = k$
ミーゼスの降伏条件で考えると
 $k = \frac{1}{\sqrt{3}} Y \Rightarrow \tau_f = \frac{Y}{\sqrt{3}}$
 $p = Y$
クーロン摩擦における摩擦係数を考えると
 $\mu = \frac{\tau_f}{p} = \frac{\frac{Y}{\sqrt{3}}}{Y} = \frac{1}{\sqrt{3}} \approx 0.577$

塑性加工における摩擦係数の目安



加工法	摩擦係数 (μ)	
	冷間	熱間
圧延	0.05-0.1	0.2-0.7
鍛造	0.05-0.1	0.1-0.2
引抜き	0.03-0.1	—
板材プレス	0.05-0.1	0.1-0.2
機械加工	0.5-2	—

塑性加工における工具接触面圧および表面拡大率目安



Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.
Kalpakjian • Schmid
© 2008, Pearson Education
ISBN No. 0-13-227271-7

8 / 64

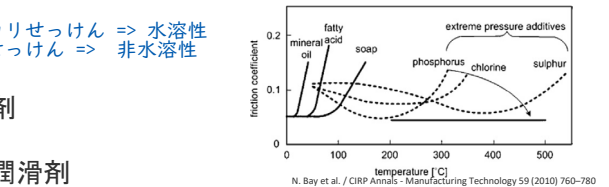
潤滑剤の主な役割と種類

役割

- 摩擦力を低減
- 焼付き(凝着)の防止
- 工具損傷, 摩耗の低減
- 工具冷却

種類

- 油 低冷却性能, 除去, 洗浄の手間
- エマルジョン 高冷却性能
- 水溶性合成油 高冷却性能
- せっけん, グリス, ワックス
 - アルカリせっけん => 水溶性
 - 金属せっけん => 非水溶性
- 添加剤
 - ステンレス合金, 高温材料の成形
- 固形潤滑剤

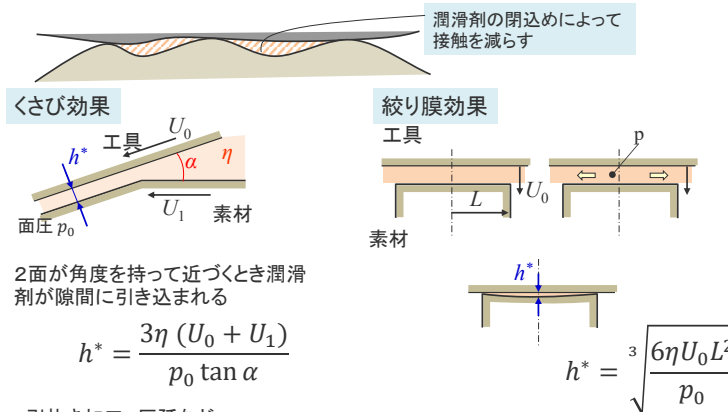


グラファイト, ニ硫化モリブデン,
樹脂, ガラス, 化成皮膜処理

9 / 64

液体潤滑剤での潤滑機構(流体潤滑)

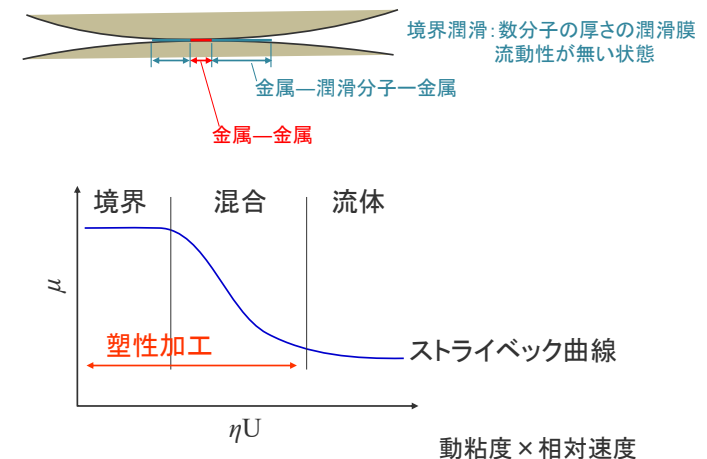
流体が十分な流動性を保って界面にある時摩擦抵抗は非常に小さい



引抜き加工, 圧延など

10 / 64

液体潤滑剤での潤滑機構(境界潤滑)



11 / 64

工具摩耗

凝着摩耗

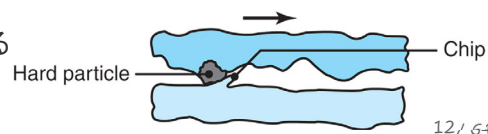
金属どうしの接触部分での小さな凝着が柔らかい方の材料をはがしていってしまう
(コーティング: TiCやTiNの膜で凝着を防ぐ)



アブレッシブ摩耗

硬い材料が柔らかい材料を掘り起こす, 削る
摩耗

工具材料を硬くする



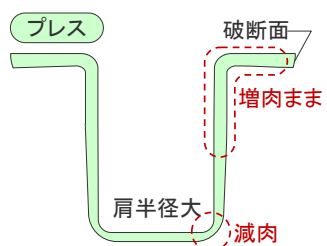
12/ 64

サーボプレスを用いたパルスモーションによる自動再潤滑の応用

- 塑性加工における摩擦と潤滑概要
- 板鍛造
- 荷重振動鍛造による荷重の低減とメカニズム
- 荷重振動によるボンデフリー鍛造
- ステンレス厚鋼板の切り口面性状向上
- パルスモーションを用いた自動再潤滑に適した潤滑剤設計

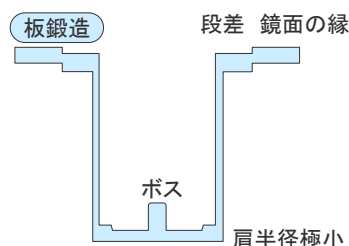
13/ 64

板鍛造と板金プレスとの違い, 求められる形状精度



曲げ, 絞り成形, せん断

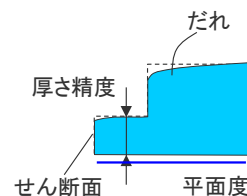
板内か板外側の形状管理が主
板厚管理: ネッキングなし
減少率xx%以内



絞り, 押出し, 据込み,
せん断, 半せん断, FB

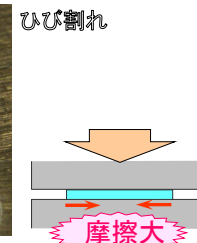
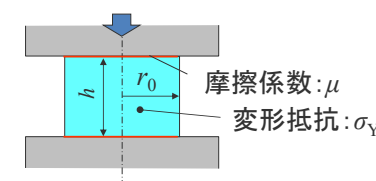
成品の断面形状を作る

機能部品→精度



14/ 64

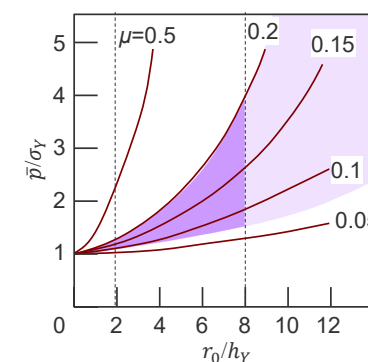
板鍛造における摩擦影響の増大による荷重増大



平均圧力 $\bar{p} = 2\sigma_Y \left(\frac{h}{2\mu r_0} \right) \left(e^{\frac{2\mu r_0}{h}} - \frac{2\mu r_0}{h} - 1 \right)$

薄くなると指数的に増加

摩擦の影響大



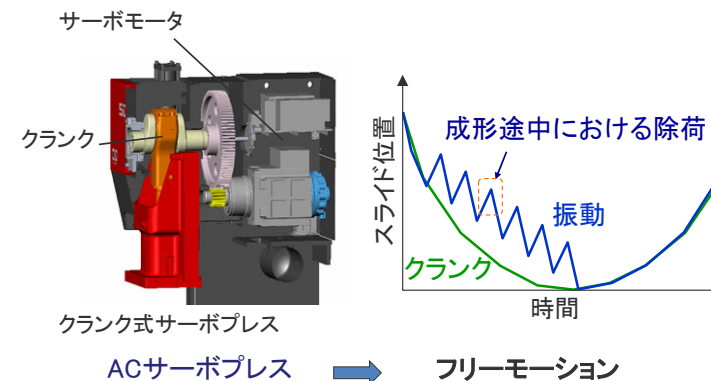
15/ 64

サーボプレスを用いたパルスモーションによる自動再潤滑の応用

- 塑性加工における摩擦と潤滑概要
- 板鍛造
- 荷重振動鍛造による荷重の低減とメカニズム
- 荷重振動によるボンデフリー鍛造
- ステンレス厚鋼板の切り口面性状向上
- パルスモーションを用いた自動再潤滑に適した潤滑剤設計

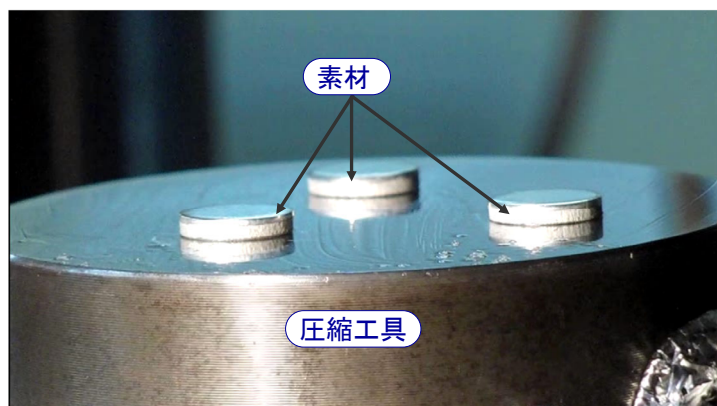
16/ 64

サーボプレスを用いた荷重振動鍛造



17/ 64

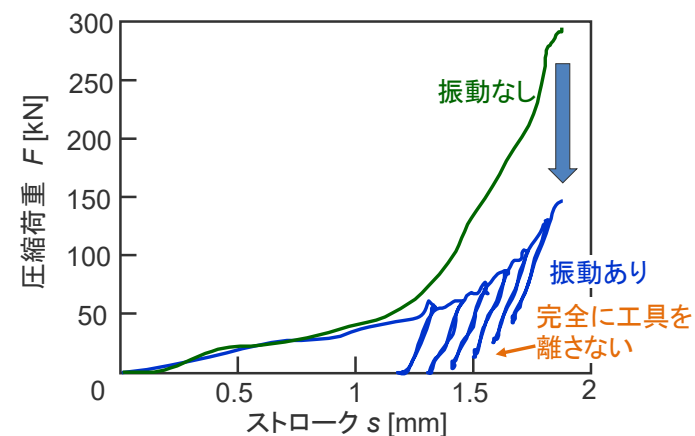
サーボプレスを用いたすえ込み実験



振動モーション
平均除荷率70~80%, 除荷回数6回

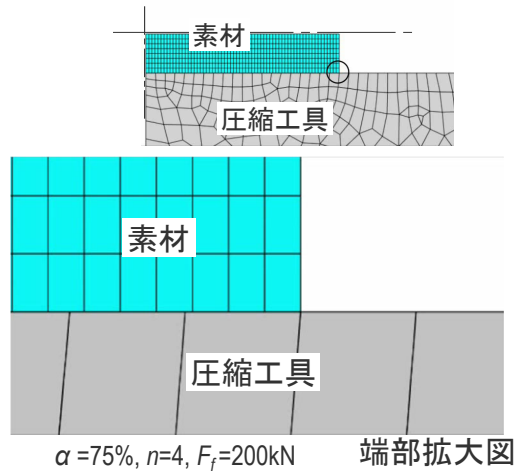
18/ 64

板の圧縮における振動モーションとクランクモーションの荷重-ストローク曲線



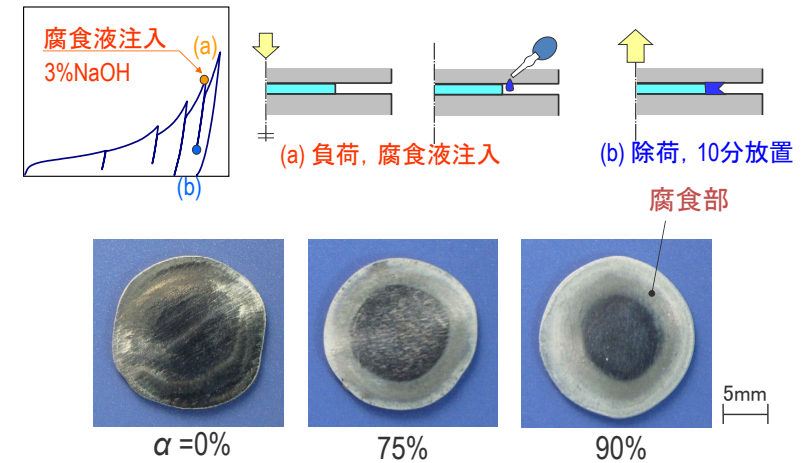
19/ 64

有限要素シミュレーションによる隙間の解析



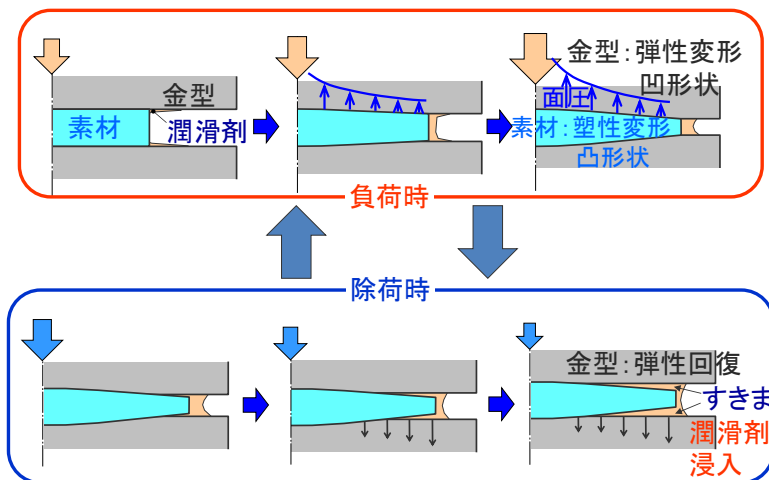
20/ 64

腐食実験による隙間の発生の確認



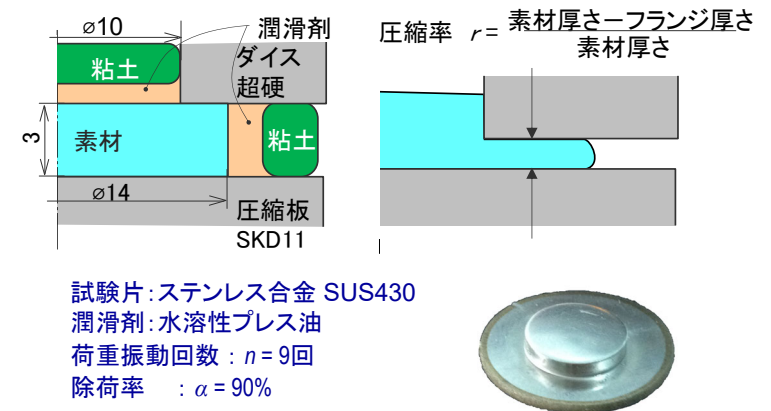
21/ 64

荷重振動による自動再潤滑のメカニズム



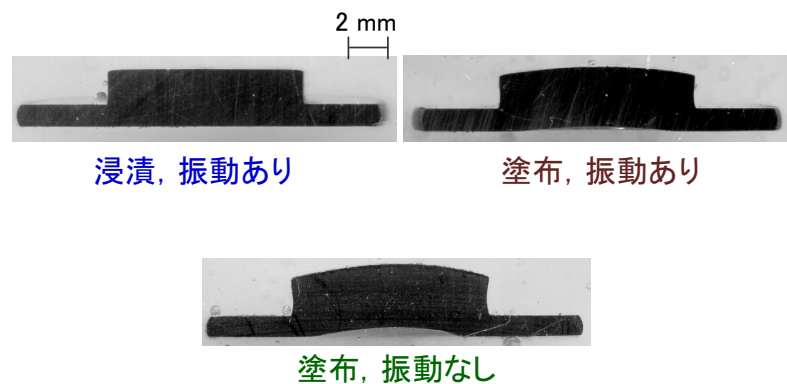
22/ 64

潤滑剤浸漬を用いたステンレス部品の段差付け加工



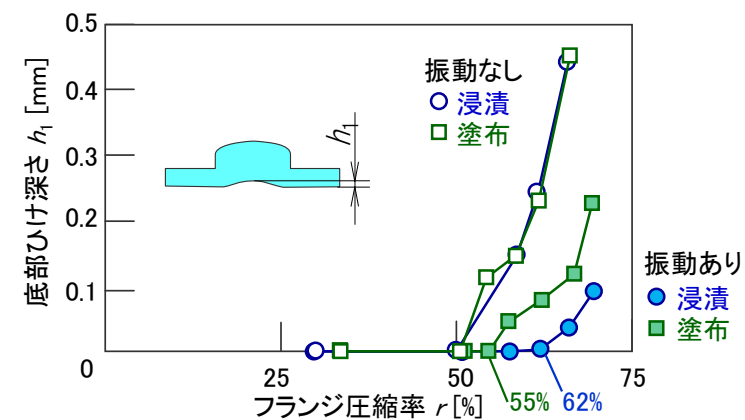
23/ 64

圧縮率 62%における段差付け加工後の断面



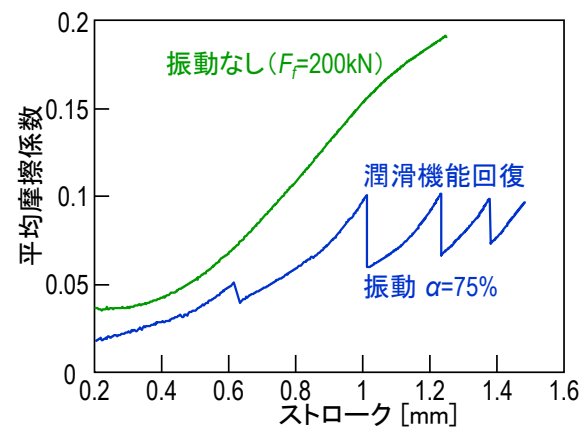
24 / 64

段差付け加工における底部ひけ深さとフランジ圧縮率の関係



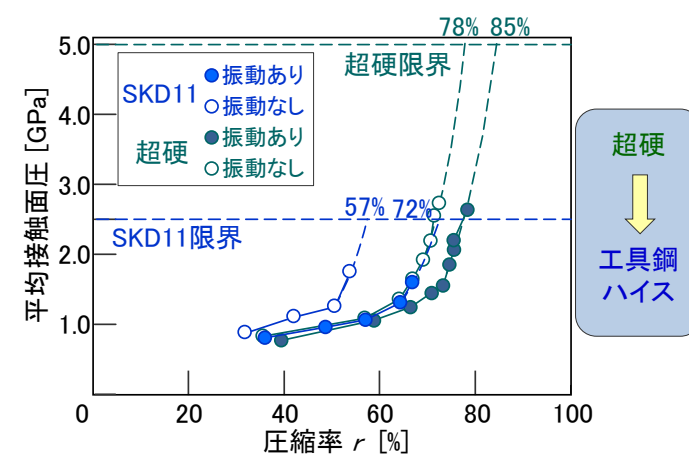
25 / 64

加工中の摩擦係数の変化



26 / 64

SUS 430素板の荷重振動ありなしにおける平均接触面圧と圧縮率の関係



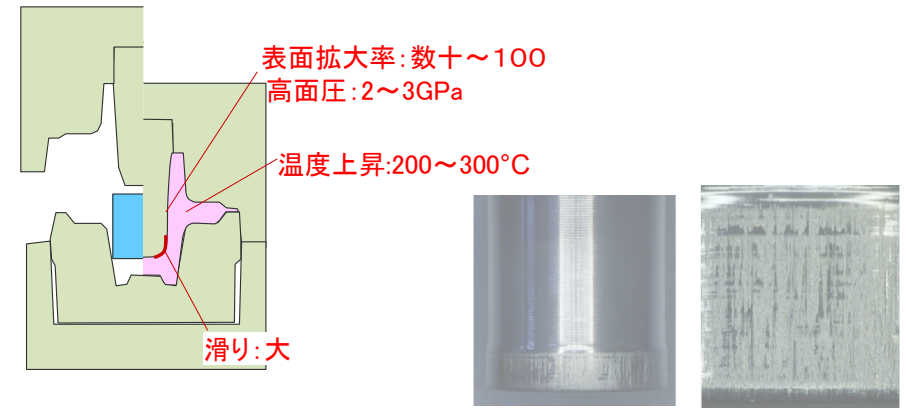
27 / 64

サーボプレスを用いたパルスモーションによる自動再潤滑の応用

- 塑性加工における摩擦と潤滑概要
- 板鍛造
- 荷重振動鍛造による荷重の低減とメカニズム
- 荷重振動によるボンデフリー鍛造
- ステンレス厚鋼板の切り口面性状向上
- パルスモーションを用いた自動再潤滑に適した潤滑剤設計

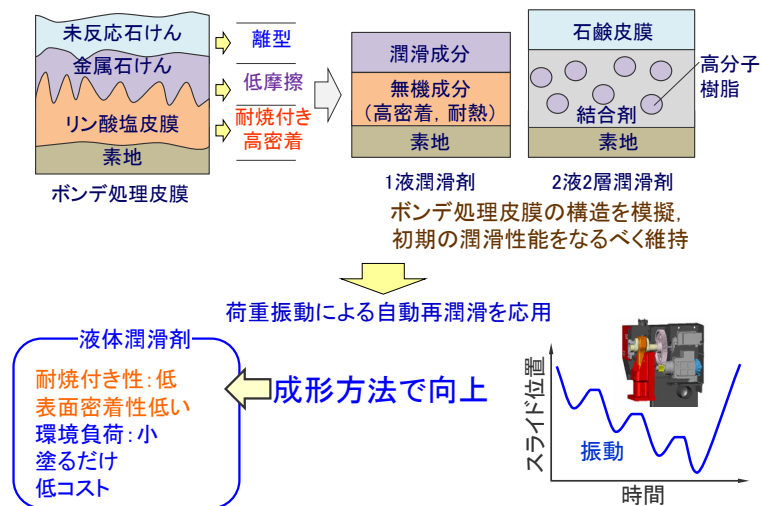
28 / 64

鍛造における厳しい摩擦条件



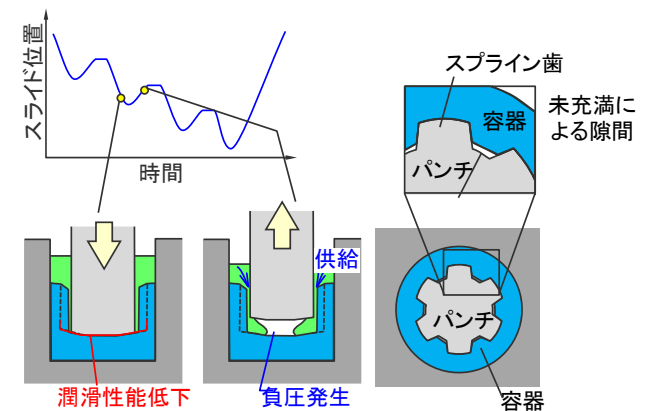
29 / 64

ボンデ処理に代わる潤滑



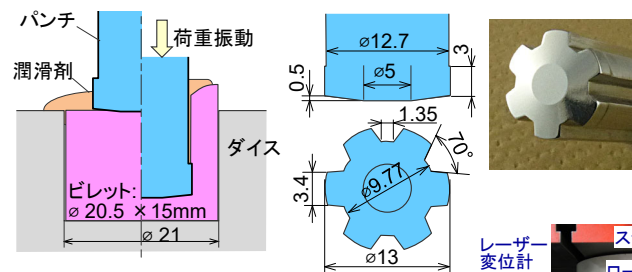
30 / 64

振動後方押しによる自動再潤滑方法

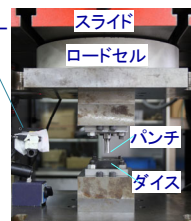


31 / 64

振動後方押しによるスプライン成形に用いた工具

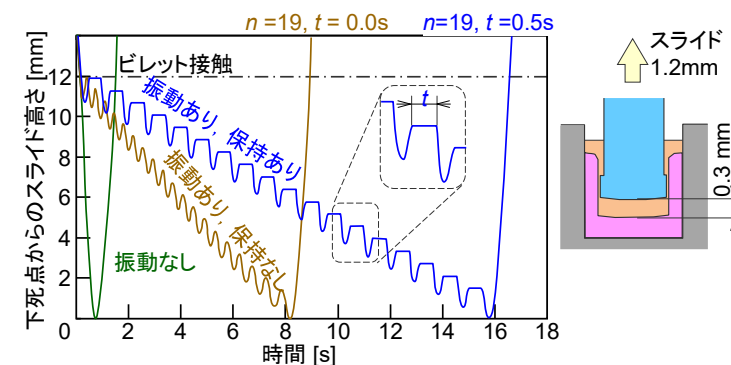


	材質	硬さ [Hv]	表面粗さ [μmRa]
ピレット	S10C, 焼鈍し	103	
パンチ	SKH51, 焼入れ・焼戻し	856	パンチランド: 0.04
ダイス	SK3, 焼入れ・焼戻し	675	内壁: 0.51
潤滑剤	硫黄添加油性潤滑剤 低粘度: $\nu = 130 \text{ mm}^2/\text{s}$, 高粘度: $\nu = 560 \text{ mm}^2/\text{s}$		



32/ 64

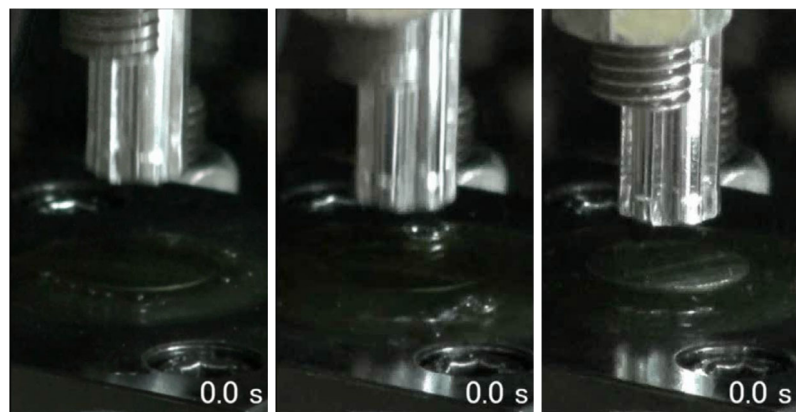
振動後方押しに用いたスライドモーション形式



モーション	振動回数 n	上昇量 [mm]	保持時間 t [s]	速度 [mm/s]
振動なし	0	—	—	23
振動あり	4, 19	1.2	—	12.5
振動あり, 保持あり	4, 9, 19	1.2	0.2, 0.5, 1.0	12.5

33/ 64

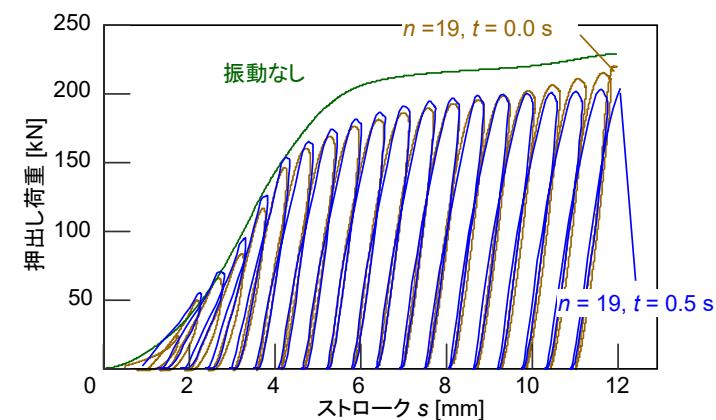
振動後方押しによるスプライン成形



(a) 振動なし (b) 振動あり, 保持なし $n=19, t=0.0\text{s}$ (c) 振動あり, 保持あり $n=19, t=0.5\text{s}$

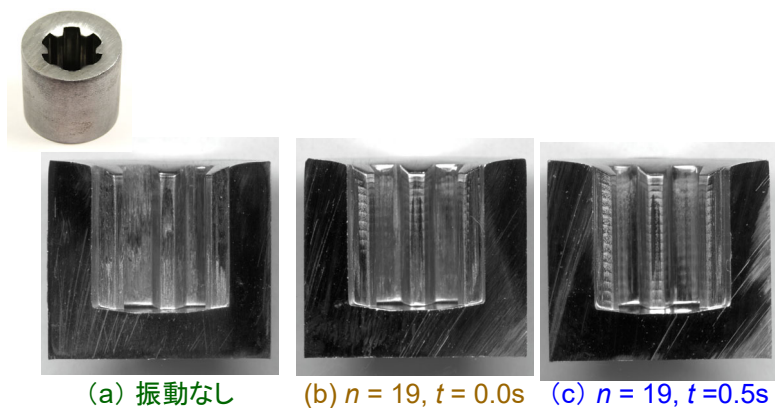
34/ 64

振動後方押しにおける押し荷重—ストローク曲線 (低粘度)



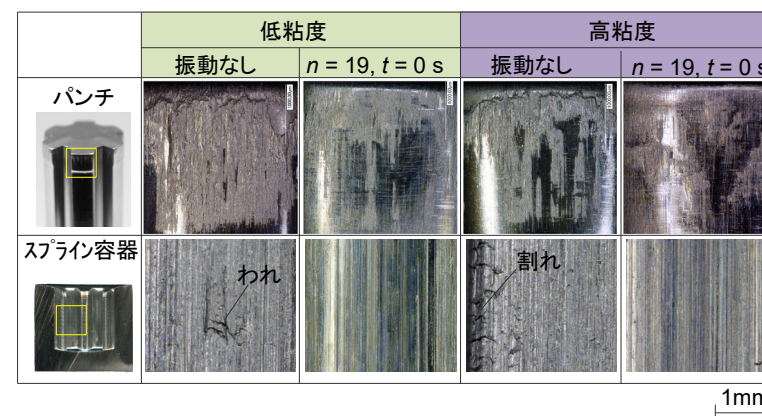
35/ 64

振動後方押しによって成形されたスプライン容器(低粘度)

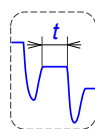
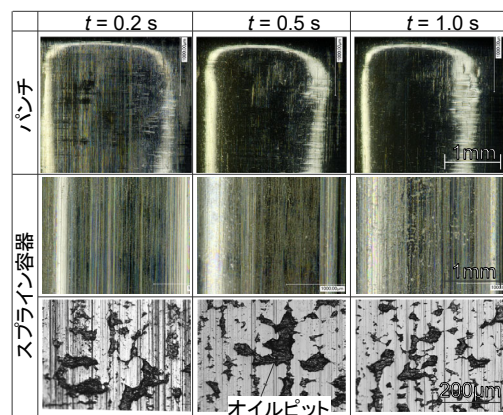


36/ 64

保持なし, 振動ありとなしにおけるパンチおよびスプライン容器表面

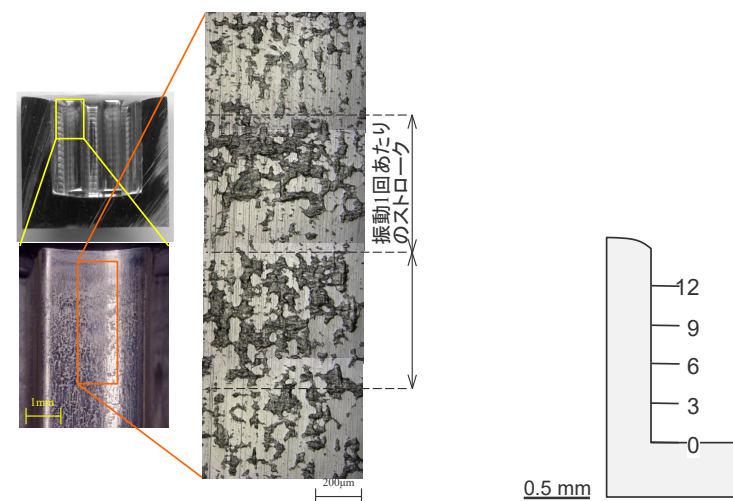


37/ 64

保持時間がパンチおよびスプライン容器表面に及ぼす影響 ($n=19$, 低粘度)

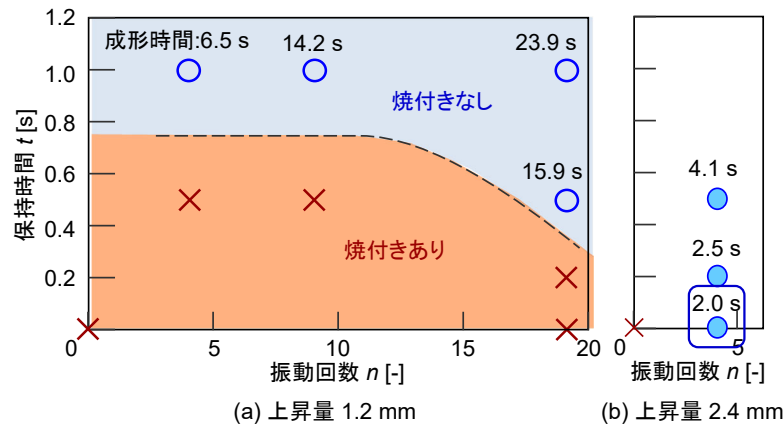
38/ 64

自動再潤滑によって生じたオイルピット



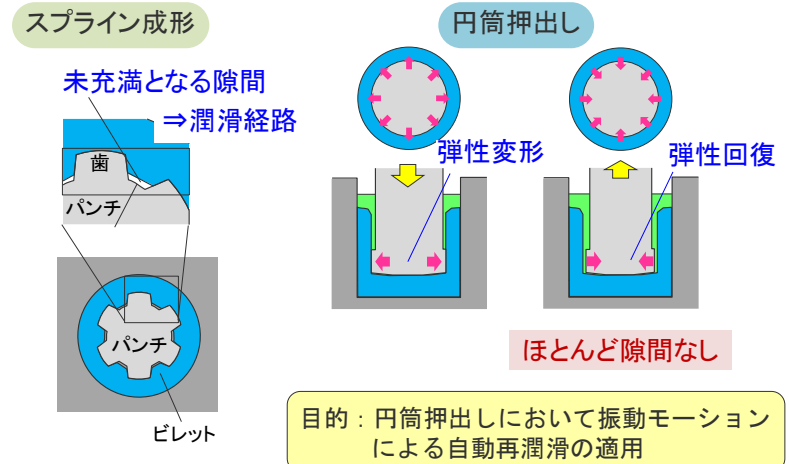
39/ 64

振動回数および保持時間が焼付きに及ぼす影響(低粘度)



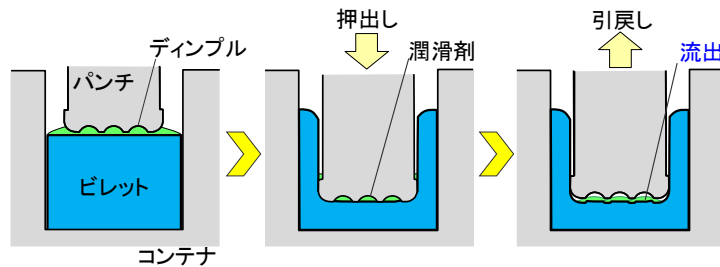
40/ 64

円筒押しにおけるパルスモーションの適用



41/ 64

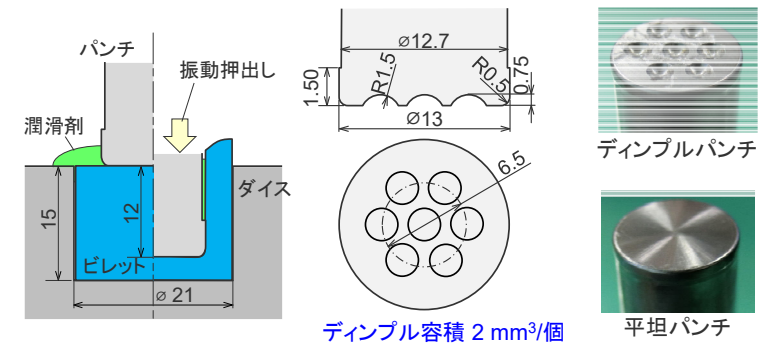
振動モーションとディンプルパンチによる自動再潤滑



ディンプル内の潤滑剤がパンチ上昇時に底部に供給

42/ 64

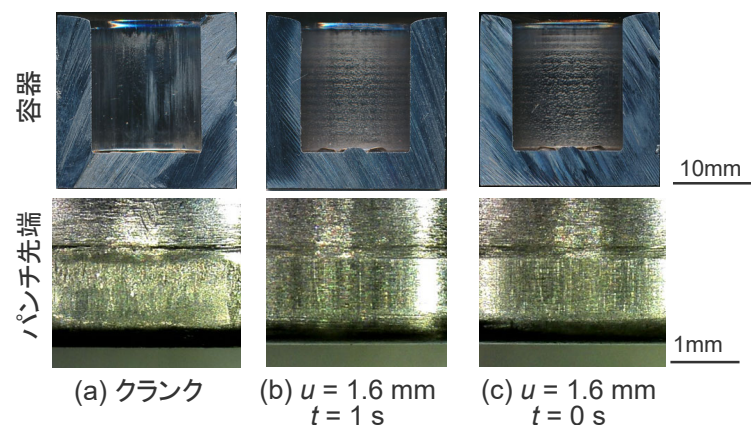
振動後方押しによる内スプライン成形に用いた工具



	材質	硬さ[HV]
ビレット	S10C, 焼鈍し	120
パンチ	SKH51	856
ダイス	ダイスSK3	675
潤滑剤	硫黄添加油性潤滑剤, 動粘度 $\nu = 130 \text{ mm}^2/\text{s}$	

43/ 64

ディンプルパンチによる後方押し後の容器内面およびパンチ先端



44/ 64

先端くぼみ付きパンチによる突起の出現

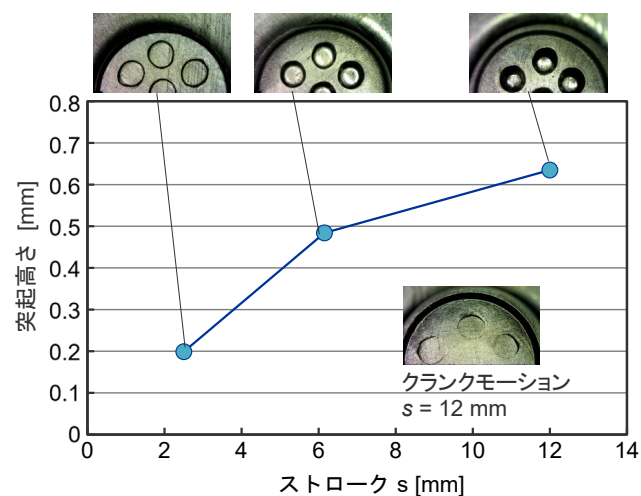
振動回数	5	12	19	クランク
底部				
断面				

10mm

10mm

45/ 64

ディンプルパンチにおける容器底部の突起高さとストロークの関係



46/ 64

サーボプレスを用いたパルスモーションによる自動再潤滑の応用

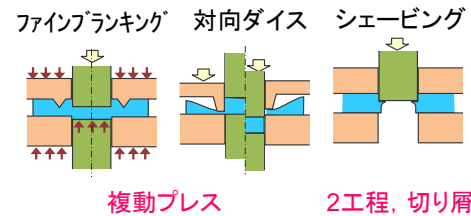
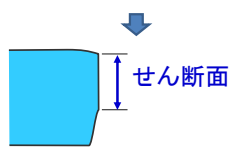
- 塑性加工における摩擦と潤滑概要
- 板鍛造
- 荷重振動鍛造による荷重の低減とメカニズム
- 荷重振動によるボンデフリー鍛造
- **ステンレス厚鋼板の切り口面性状向上**
- パルスモーションを用いた自動再潤滑に適した潤滑剤設計

47/ 64

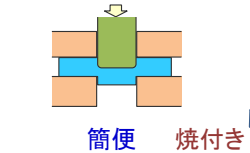
ステンレス厚鋼板の穴抜きへの適用



板鍛造製品の切り口
機能面: 歯車, 嵌合部

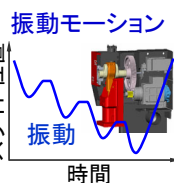


慣用せん断, 仕上げ抜き



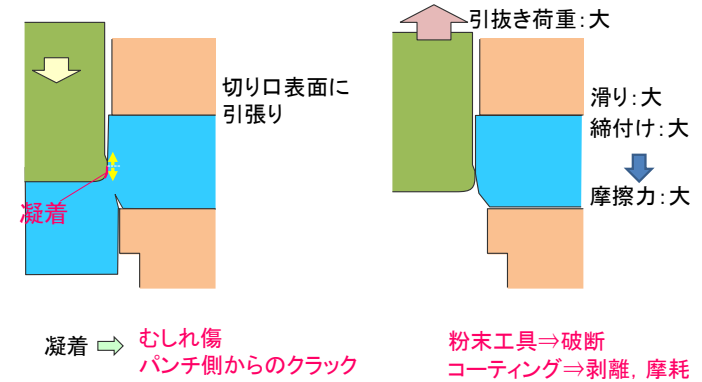
簡便

焼付き



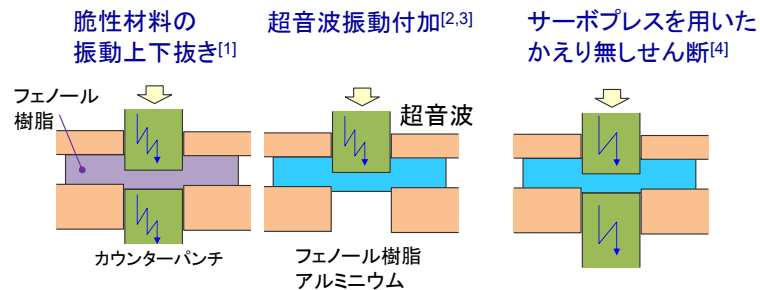
48/ 64

厚板の穴抜き, せん断における問題点



49/ 64

振動モーションを用いた穴抜き加工方法

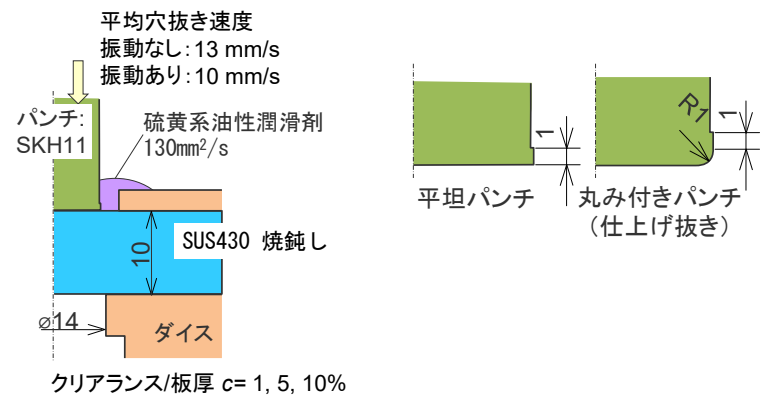


- [1]北條ら, 塑性と加工, 5-8 (1964), 203-209
[2]山内ら, 塑性と加工, 10-99 (1969), 261-268
[3]松井ら, 塑性と加工, 19-214 (1978), 934-941
[4]古閑ら, 塑性と加工, 48-558 (2007), 645-649

低サイクル振動
カウンターパンチレス

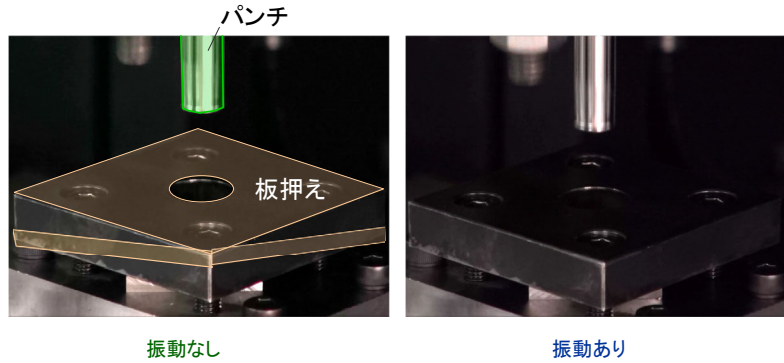
50/ 64

振動モーションを用いた穴抜き加工に用いた工具寸法および穴抜き条件

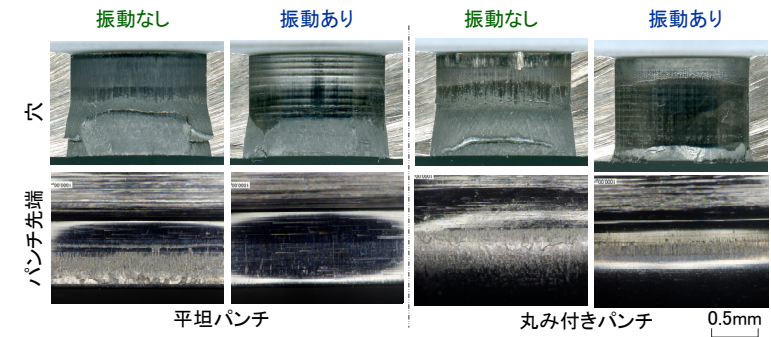


51/ 64

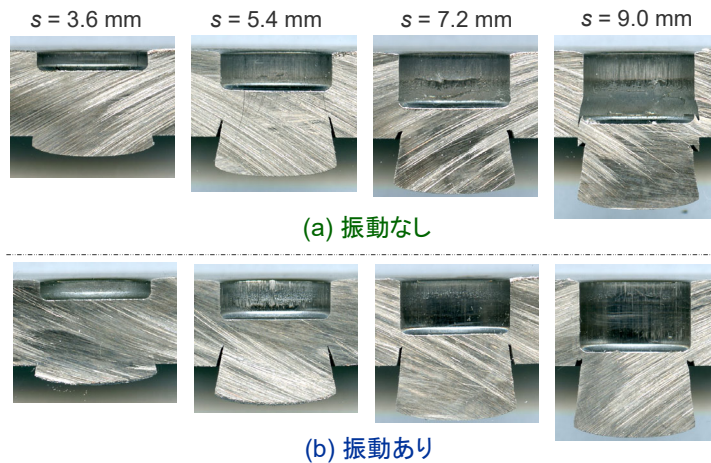
振動ありとなしにおけるSUS430鋼板の穴抜きの様子



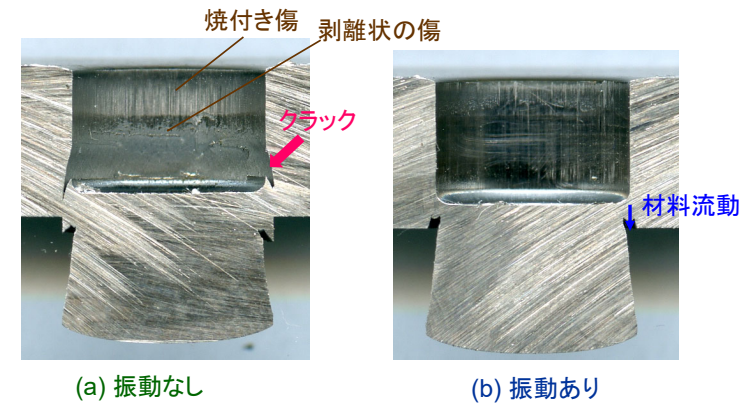
52/ 64

平坦および丸み付きパンチによる振動ありとなしで穴抜きされたSUS430材穴切り口面およびパンチ先端 ($c = 5\%$)

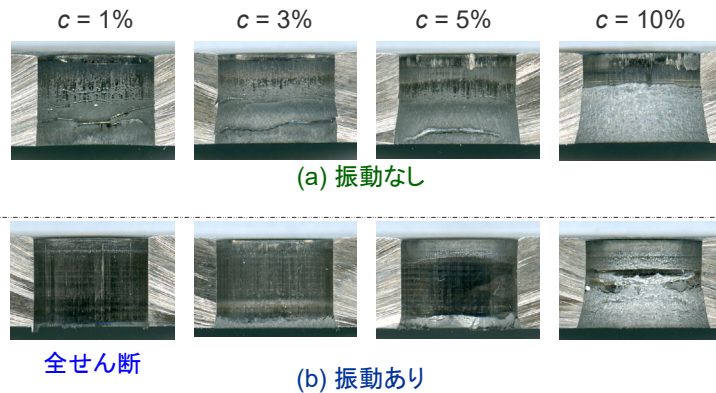
53/ 64

SUS430材の穴抜きにおける振動ありとなしの各ストロークにおける穴切り口面 ($c = 5\%$)

54/ 64

SUS430材の穴抜きにおける振動ありとなしにおける挙動の違い ($c = 5\%$, $s = 9.0 \text{ mm}$)

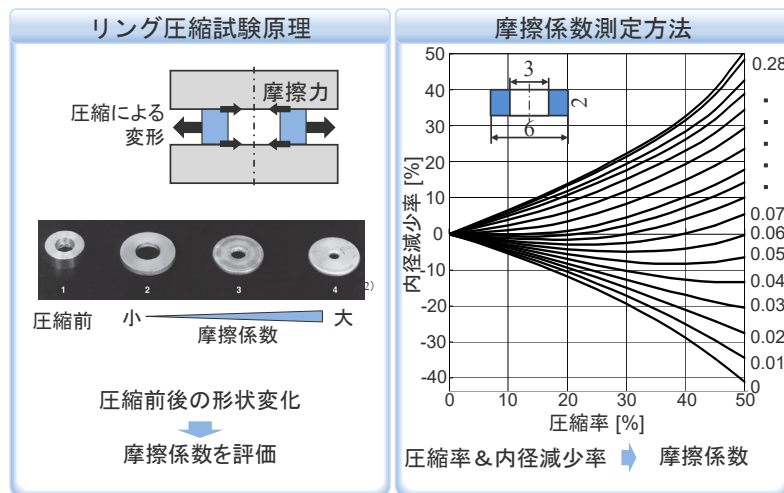
55/ 64



56/ 64

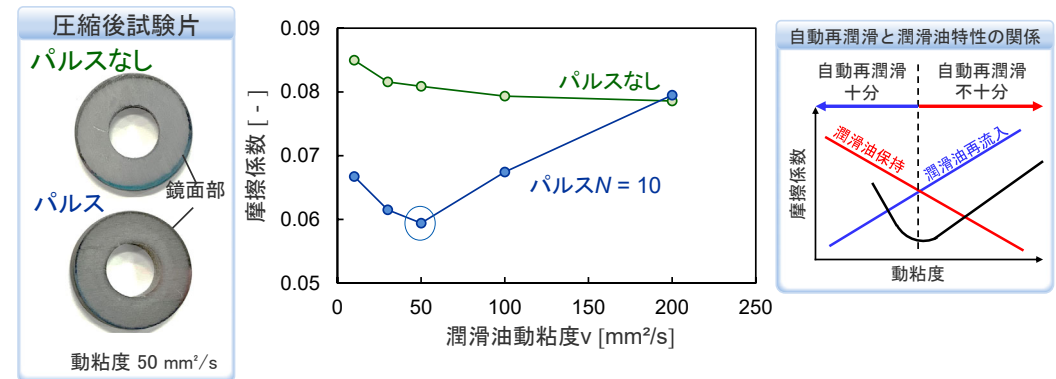
- 塑性加工における摩擦と潤滑概要
- 板鍛造
- 荷重振動鍛造による荷重の低減とメカニズム
- 荷重振動によるボンデフリー鍛造
- ステンレス厚鋼板の切り口面性状向上
- パルスモーションを用いた自動再潤滑に適した潤滑剤設計

57/ 64



2) Serop Kalpakjian, Steven R. Schmid, MANUFACTURING Engineering and Technology

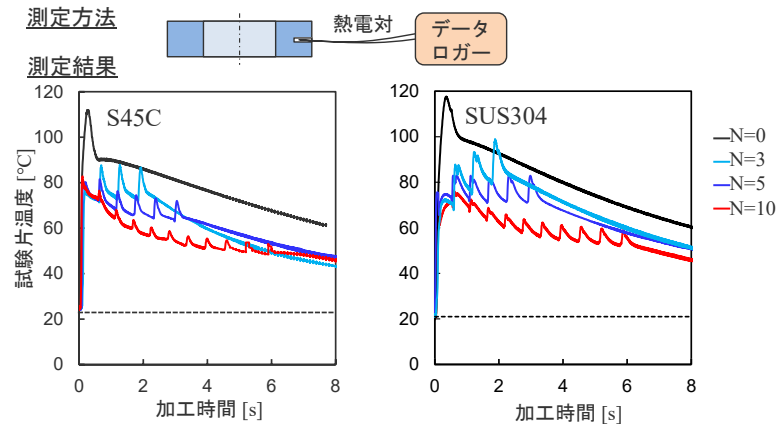
58/ 64



- クランク 高粘度ほど低摩擦
- パルス 摩擦係数が低下する極値が存在

59/ 64

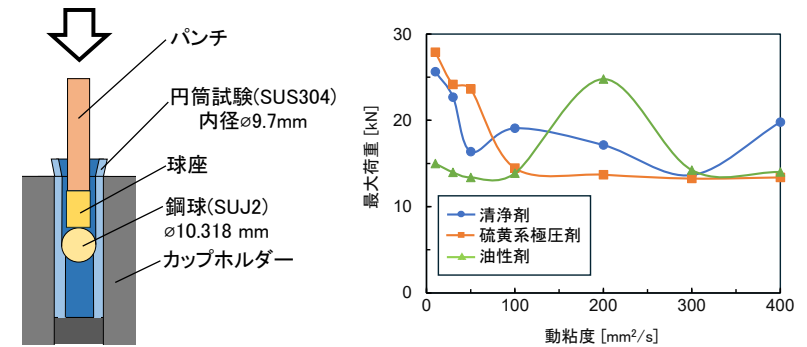
圧縮中の試験片内部の温度変化



パルスモーション → 金型との接触時間増加 金型により冷却
温度の差が摩擦係数に影響を及ぼしている可能性

60/ 64

パルスモーションを用いたボール通し試験による 潤滑剤添加剤および動粘度が押し荷重に及ぼす影響



61/ 64

ま と め

振動鍛造では潤滑機構が変わります。

高性能潤滑剤アプローチ

潤滑性能維持

振動鍛造アプローチ

潤滑性能回復

板鍛造, 鍛造, せん断において良い結果

今後の課題: 成形時間短縮, モーション設計手法の確立,
有限要素法への反映

62/ 64

関連文献リスト(論文)

1. 前野智美, 小坂田宏造, 森謙一郎, 荷重振動による板鍛造における摩擦低減, 塑性と加工, 50-585 (2009), 951-955.
2. T. Maeno, K. Osakada, K. Mori, Reduction of Friction in Compression of Plates by Load Pulsation, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 51-7-8 (2011) 612-617.
3. T. Maeno, K. Mori, A. Hori, Application of load pulsation using servo press to plate forging of stainless steel parts, Journal of Materials Processing Technology, 214-7 (2014), 1379-1387.
4. 前野智美, サーボプレスを用いた摩擦を低減する荷重振動鍛造, プレス技術, 50-12 (2012), 81-92.
5. 前野智美, サーボプレスを用いた摩擦を低減する荷重振動鍛造, 型技術, 27-10 (2012), 23-27.
6. 前野智美, 荷重振動鍛造による成形荷重低減とボンデフリー化, プレス技術, 52-7 (2014), 24-27.
7. T. Maeno, K. Mori, Y. Ichikawa, M. Sugawara, Use of liquid lubricant for backward extrusion of cup with internal splines using pulsating motion, Journal of Materials Processing Technology, 244(2017), 273-281.
8. T. Maeno, M. Sugawara, T. Saito, A. Terada, K. Mori, Improvement of burnished area in punching of stainless steel thick plate by means of pulsating motion, Procedia Manufacturing 50 (2020), 203-209.
9. T. Maeno, H. Homma, R. Ikeda, K. Mori, Automatic re-lubrication by pulsating motion with punch having dimple bottom in backward extrusion of cylindrical cup, Procedia Manufacturing 50 (2020), 231-235.

63/ 64

関連文献リスト(学会)

1.

すえ込み加工における途中除荷による摩擦の低減, 第59回 塑加連, 341.

2.

荷重振動による軸付きフランジ部品のフランジ成形における摩擦の低減, 第60回 塑加連, 97.

3.

板鍛造における荷重振動を用いたステンレス鋼部品の段差付け加工 平23塑加春, 1.

4.

板鍛造における潤滑浸漬荷重振動による摩擦低減, 平24塑加春,123.

5.

ステンレス鋼平歯車の荷重振動板鍛造, 平25塑加春, 81.

6.

サーボプレスを用いた振動後方押出しによる内スプライン成形における焼付きの抑制 平26塑加春, 259.

7.

内スプラインの振動後方押出しにおける振動モーションの最適化および潤滑ポケットビレットによる成形時間の短縮, 第65回 塑加連, 281.

8.

サーボプレスを用いた振動後方押出しによる内スプライン成形品の表面性状の向上, 平27塑加春,13.

9.

ステンレス厚鋼板の穴抜き加工における振動モーションを用いたせん断面品質向上, 平28塑加春

10.

パルスモーションによる自動再潤滑に及ぼす潤滑油特性のリング圧縮試験による評価, 2020塑加連合講論(2020)139

11.

パルスモーションを用いたボール通しごきにおけるパンチ荷重に及ぼす潤滑添加剤種類及び濃度の影響, 2024塑加連講論