



International Academy for Production Engineering
63rd General Assembly - Copenhagen - Denmark, August 18-24, 2013

STC F Keynote 2013

塑性変形を用いた接合加工 Joining by plastic deformation

冷間圧接，摩擦攪拌接合，セルフピアシングリベット，
メカニカルクリンチング，塑性加工を用いた接合など

K. Mori (豊橋技科大)，N. Bay (デンマーク工科大)，
L. Fratini, F. Micari (パレルモ大)，
A.E. Tekkaya (ドルトムント工科大)

[CIRP Annals - Manufacturing Technology](#)
Volume 62, Issue 2, 2013, Pages 673-694

CIRP office: 9 rue Mayran, 75009 PARIS – France, E mail: cirp@cirp.net, <http://www.cirp.net>

塑性変形を用いた接合加工

1. 研究背景
2. 冷間圧接
3. 摩擦攪拌接合
4. セルフピアシングリベット
5. メカニカルクリンチング
6. 塑性加工を用いた接合
7. 今後のトレンド



2

輸送機器の部品

輸送機器のスケールと複雑化

1万～3万部品

数100万部品



部品の接合



3

溶接



アーク溶接



レーザー溶接



抵抗溶接

溶接：熱的影響
接着剤，機械的締結：低強度

高い性能，高い生産性，
低コスト，異種材料



4

塑性加工

圧延



板成形



成形



引抜き



押出し



鍛造



接合における塑性変形の利用

塑性変形を用いた接合加工

冶金学的接合：

圧延，押出し，鍛造による冷間圧接
摩擦圧接，摩擦攪拌接合
抵抗溶接など

機械的接合：

セルフピアシングリベット
メカニカルクリンチング
ハイドロフォーミング，電磁成形，逐次成形などの
塑性加工を用いた接合
ヘミング，シーミングなどによる接合



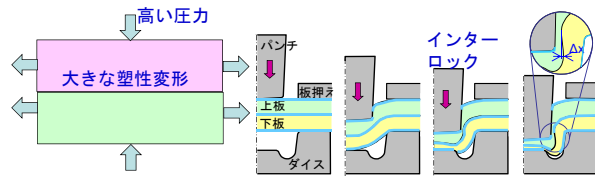
5



6

接合メカニズム

冶金学的接合：大きな塑性変形 機械的接合：塑性変形の制御



界面における酸化層、汚染層が大きな塑性変形によって破壊され、生じた母材が高い圧力で接合される。

素材が塑性変形によって機械的に接合される。



7

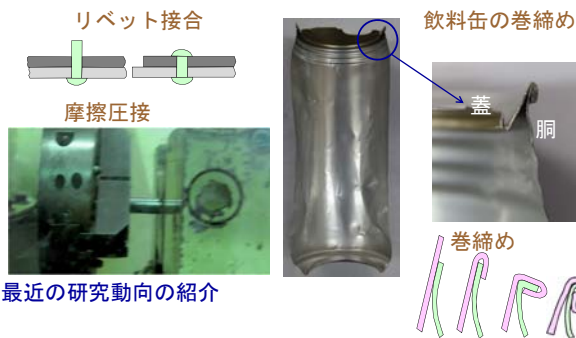
長所と短所

長所	短所
- 異種材料を含んだ広い範囲の材料が接合できる（金属・非金属） - 歪み、脆化、残留応力、組織変化が少ない - 高い信頼性、品質 - 環境に優しい	- 接合部が平坦でない - 修正、修理が困難である - 標準化、計算法が少ない



8

塑性変形を用いた従来の接合加工



最近の研究動向の紹介



9

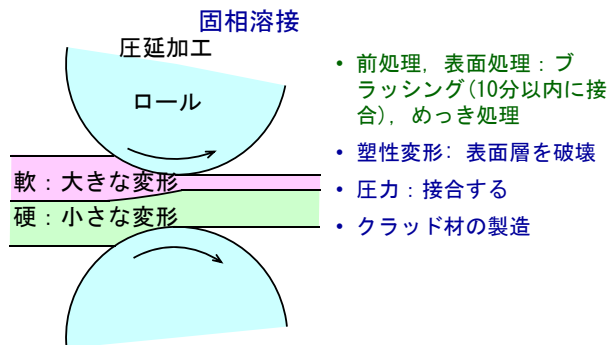
塑性変形を用いた接合加工

1. 研究背景
2. 冷間圧接
3. 摩擦攪拌接合
4. セルフピアシングリベット
5. メカニカルクリンチング
6. 塑性加工を用いた接合
7. 今後のトレンド



10

冷間圧接

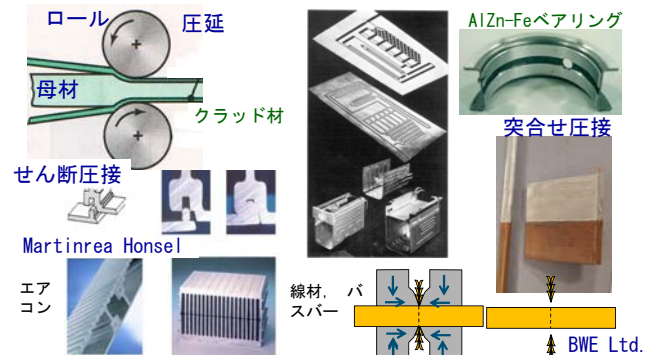


- ・ 前処理、表面処理：ブラッシング(10分以内に接合)、めっき処理
- ・ 塑性変形：表面層を破壊
- ・ 圧力：接合する
- ・ クラッド材の製造



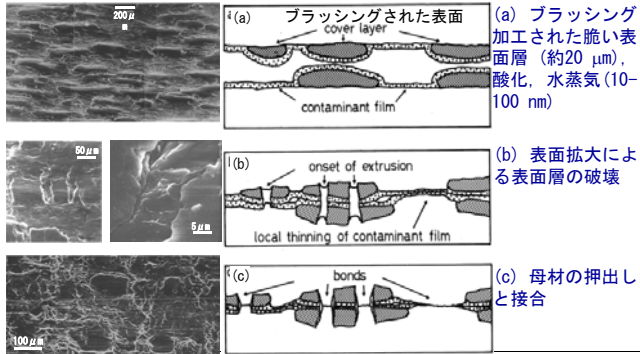
11

冷間圧接の適用例



12

冷間圧接の接合メカニズム

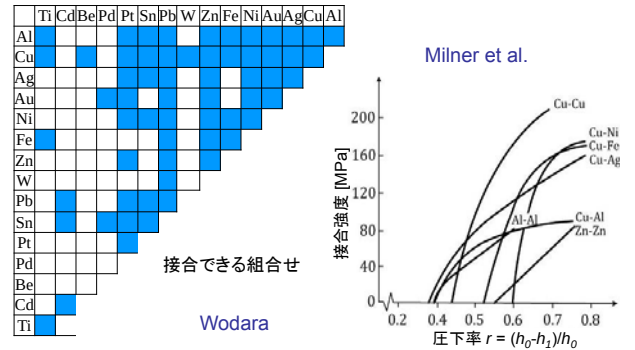


Bay



13

異種金属の冷間圧接の接合性



14

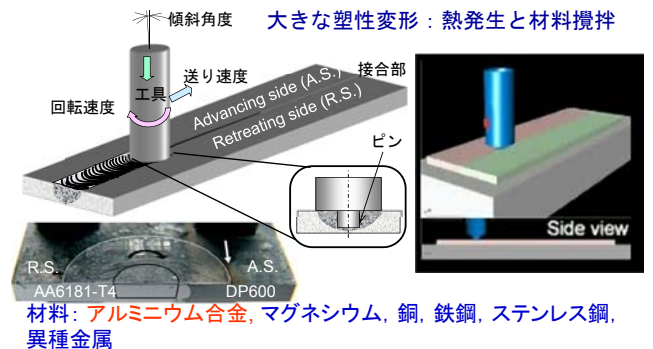
塑性変形を用いた接合加工

1. 研究背景
2. 冷間圧接
3. 摩擦攪拌接合
4. セルフピアシングリベット
5. メカニカルクリンチング
6. 塑性加工を用いた接合
7. 今後のトレンド



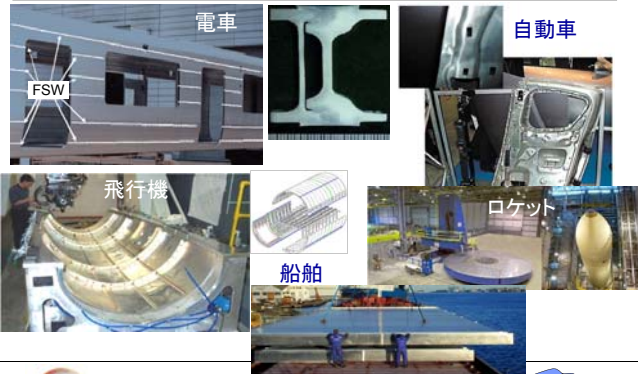
15

摩擦攪拌接合, Friction Stir Welding (FSW)



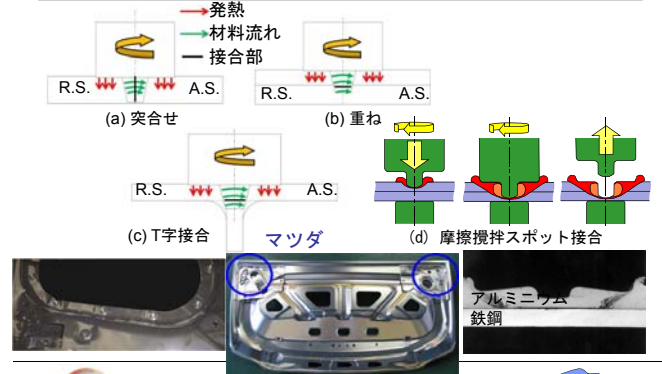
16

摩擦攪拌接合の適用例



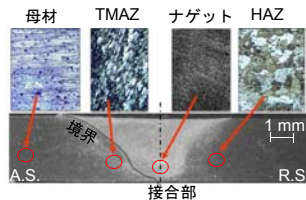
17

摩擦攪拌接合プロセス

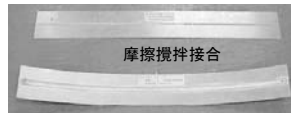


18

接合された素材の特性



(a) AA7075-T6 の組織



(b) 接合されたアルミニウム合金板

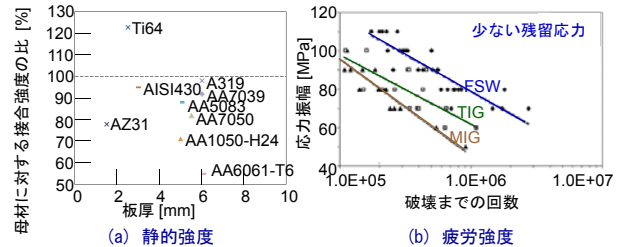
Fratini

日立製作所



19

静的と疲労強度



Ericsson



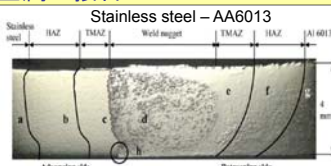
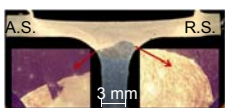
20

異種金属の接合

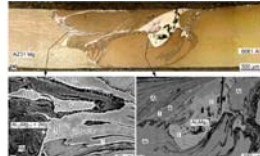


CuDPH - AA5083

AA2024-T4 skin and AA7075-T6 stringer



Magnesium alloy - AA6061



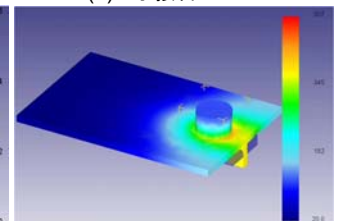
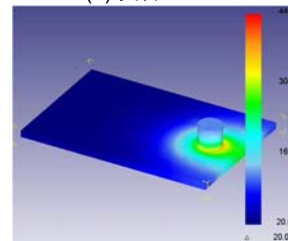
21

摩擦攪拌接合の有限要素シミュレーション

温度分布

(a) 突合せ

(b) T字接合



材料特性：温度依存性

Fratini



22

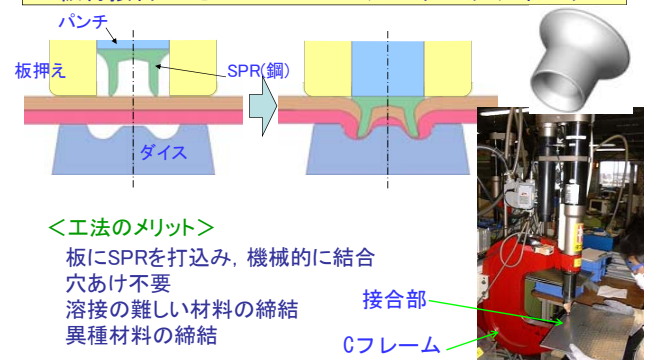
塑性変形を用いた接合加工

1. 研究背景
2. 冷間圧接
3. 摩擦攪拌接合
4. セルフピアシングリベット
5. メカニカルクリンチング
6. 塑性加工を用いた接合
7. 今後のトレンド



23

板材接合のためのセルフピアスリベッティング



24

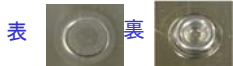
セルフピアスリベッティングの適用例



アルミニウム：溶接性が低い



Audi_A2：アルミ自動車

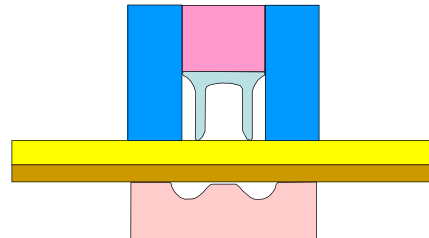


板材：アルミニウム、鉄鋼、銅、マグネシウム合金、プラスチック、異種材料



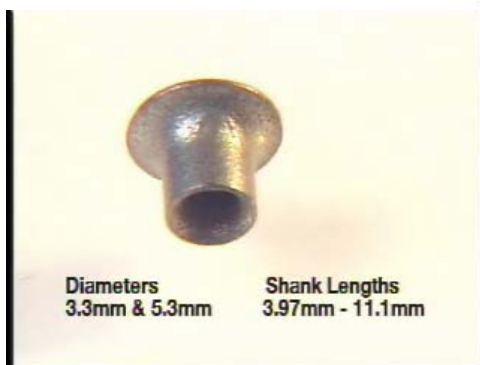
25

セルフピアスリベッティングの接合プロセス

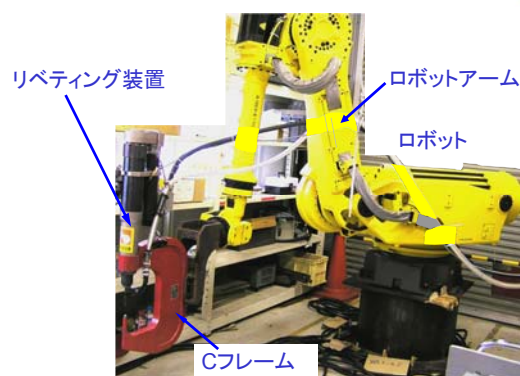


③ リベットのセット

実接合プロセス

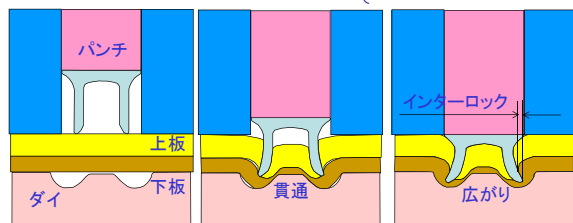


セルフピアスリベッティングの接合ロボット



セルフピアスリベッティング

- 接合要件
- ・上板の貫通
 - ・下板で広がり
 - ・インターロックの形成
 - ・下板の割れなし



(a) 打込み開始時

(b) 上板の貫通

(c) 下板で広がりインターロックの形成



29

新しいセルフピアスリベッティング

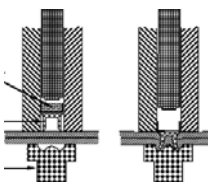
アルミ合金リベット: Abe



静水圧リベッティング: Neugebauer



高速リベッティング: Wang



多数の板材の接合: Abe



30

アルミニウム板と高張力鋼板の接合

高張力鋼板

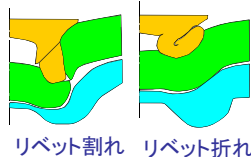
- ・高強度, 高硬度
- ・延性小



リベット硬度に近い



ダイ形状の最適化
(ダイ径, 深さ)



リベット割れ リベット折れ



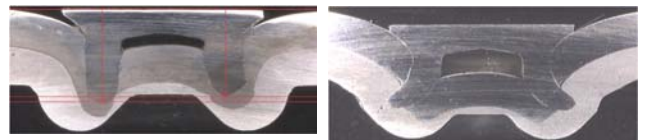
31

ダイ形状の最適化

現状ダイ



最適ダイ



上板 : SPFC980, 1.4mm, 下板 : A5052, 1.5mm



32

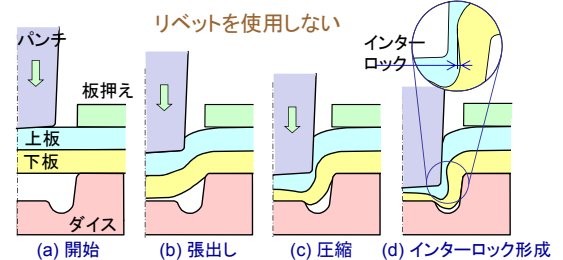
塑性変形を用いた接合加工

1. 研究背景
2. 冷間圧接
3. 摩擦攪拌接合
4. セルフピアシングリベット
5. メカニカルクリンチング
6. 塑性加工を用いた接合
7. 今後のトレンド



33

板材接合のためのメカニカルクリンチング



- 接合条件
- ・インターロックの形成
 - ・ネック部の上板の過度な減少
 - ・板材の割れなし



34

メカニカルクリンチングの適用例

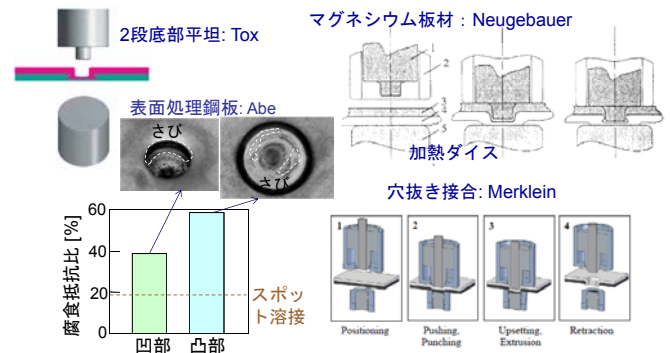


板材: 鉄鋼, アルミニウム, 銅, マグネシウム, 表面処理材, 異種材料



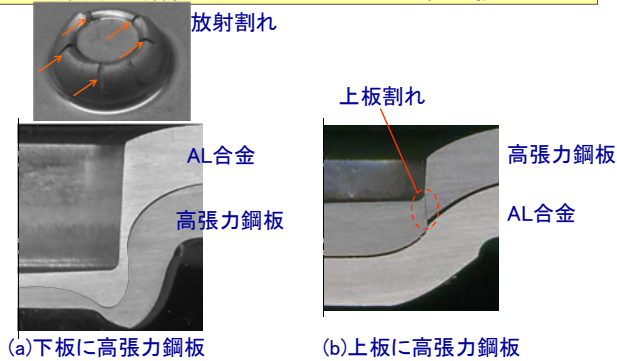
35

新しいメカニカルクリンチング



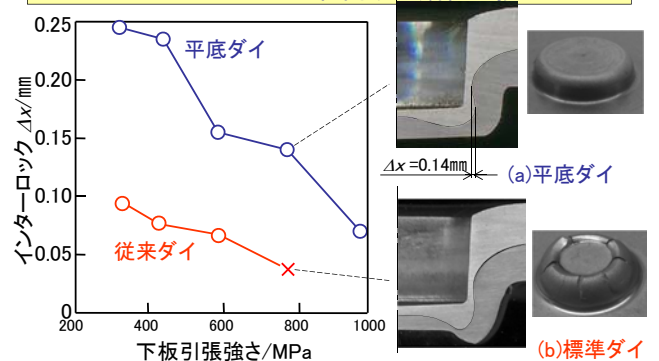
36

高張力鋼板とアルミニウム合金板の接合



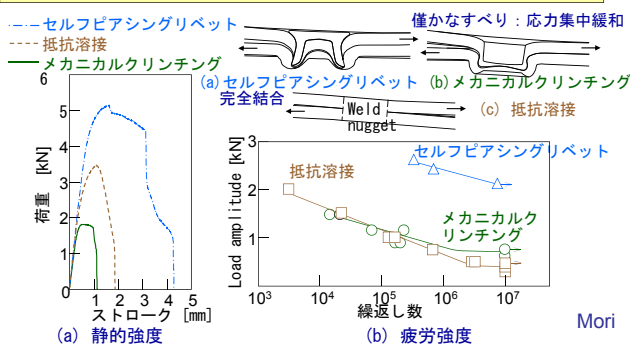
37

平底ダイによる下板高張力鋼板の接合



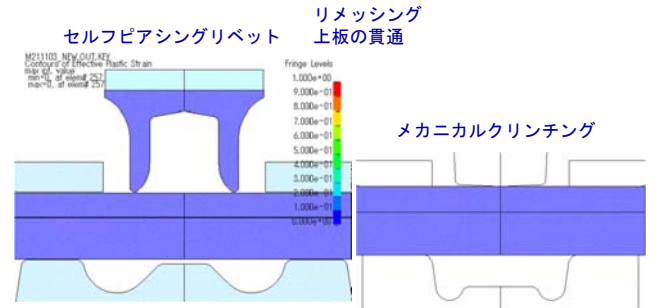
38

接合されたアルミニウム合金板材の静的および疲労強度



39

有限要素シミュレーション



Mori



40

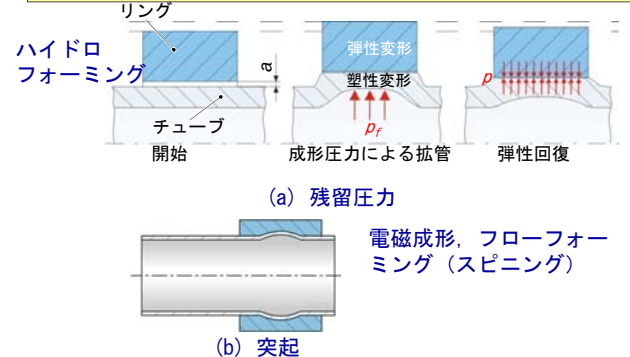
塑性変形を用いた接合加工

1. 研究背景
2. 冷間圧接
3. 摩擦攪拌接合
4. セルフピアシングリベット
5. メカニカルクリンチング
6. 塑性加工を用いた接合
7. 今後のトレンド



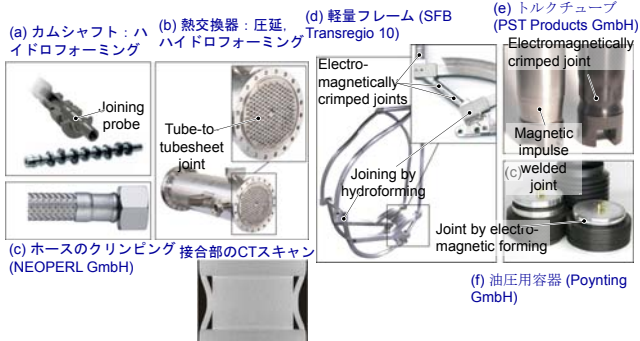
41

塑性加工を用いた接合のメカニズム



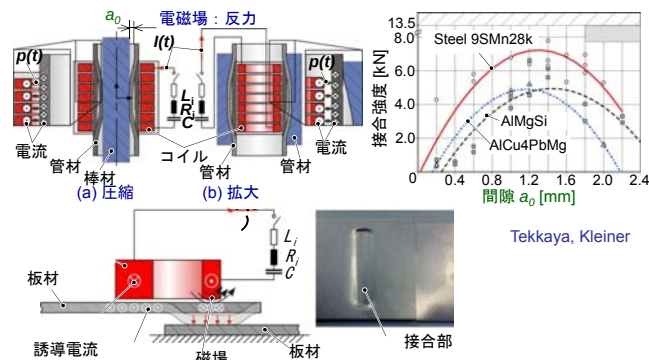
42

塑性加工を用いた接合の適用例



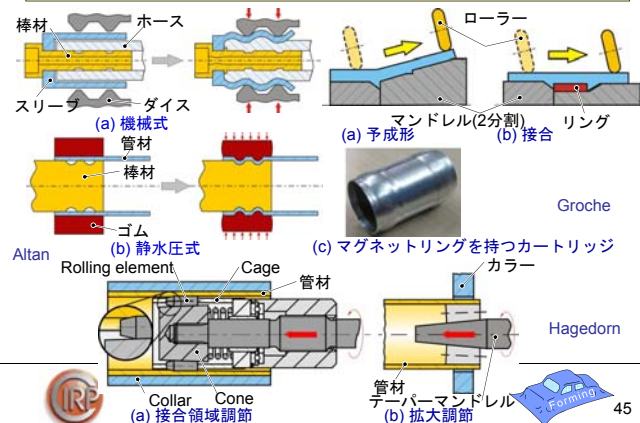
43

電磁成形による接合



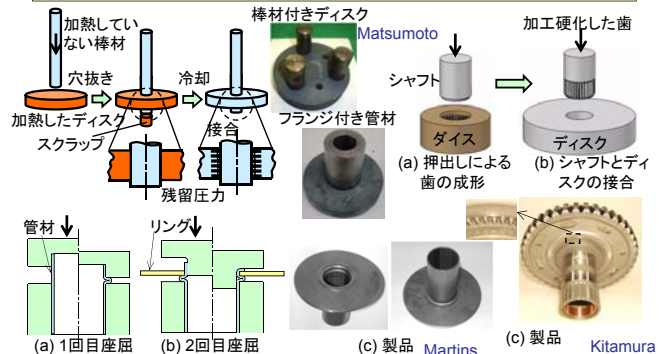
44

クリンピング、スピニング、圧延による接合



45

フランジを有するシャフトの接合



46

塑性変形を用いた接合加工

1. 研究背景
2. 冷間圧接
3. 摩擦攪拌接合
4. セルフピアシングリベット
5. メカニカルクリンチング
6. 塑性加工を用いた接合
7. 今後のトレンド



47

低延性、高強度材の接合

十分な延性

超高張力鋼板のメカニカル クリンチング マグネシウム合金板：レーザアシストセルフピアシングリベット



工具形状の最適化

Durandet

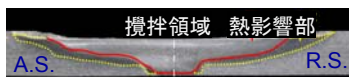
Abe



48

チタン合金素材の摩擦攪拌接合

Ti-6Al-4Vチタン合金板



Polycrystalline cubic boron nitride (PCBN),
iridium-based tool



ピンの破壊
(a), (b) 工具鋼 (c) 超硬合金

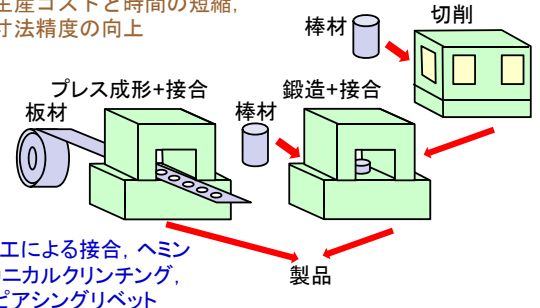
Fratini



49

他の加工法との結合

生産コストと時間の短縮,
寸法精度の向上



塑性加工による接合, ヘミング,
メカニカルクリンチング,
セルフピアシングリベット



50

CFRPへの応用

自動車: BMW

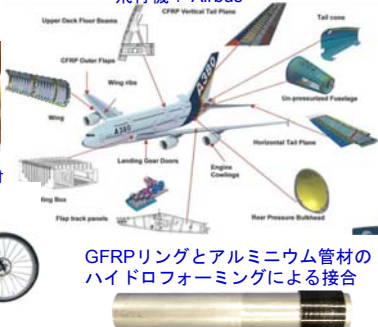


自転車: TU Dresden CFRP 部材



アルミニウム形材

飛行機: Airbus

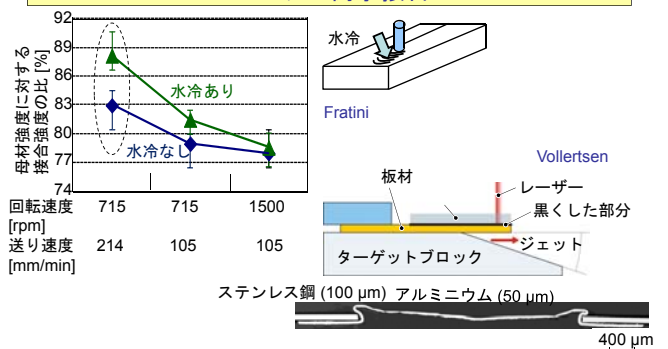


GFRPリングとアルミニウム管材の
ハイドロフォーミングによる接合



51

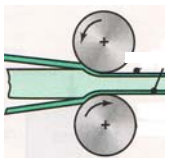
摩擦攪拌接合におけるプロセス中の熱処理と レーザー衝撃接合



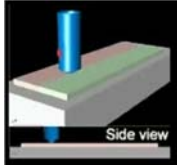
52

塑性変形を用いた接合加工

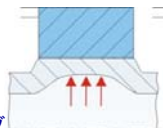
冷間圧接



摩擦攪拌接合



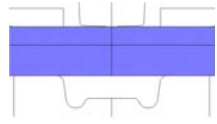
塑性加工による接合



セルフピアシングリベット



メカニカルクリンチング



53