

高強度アルミニウムボルトの 塑性加工プロセスと組織制御技術の開発

広島県立総合技術研究所

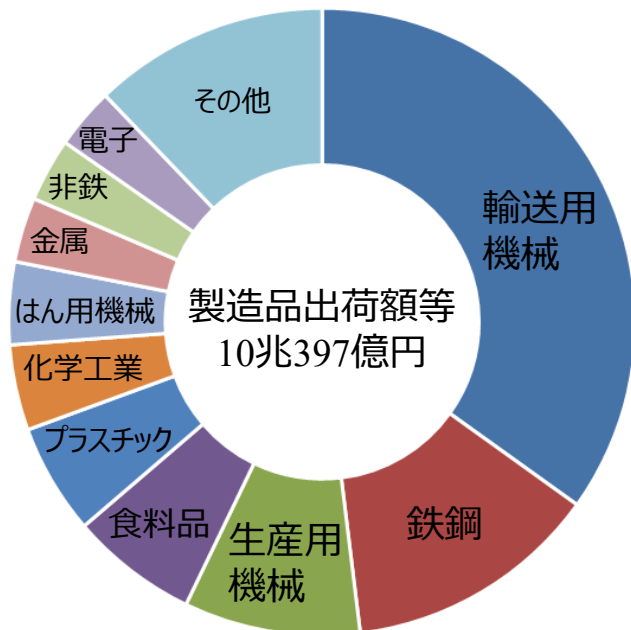
西部工業技術センター 加工技術研究部 森下勇樹

共同研究企業

松本重工業株式会社

広島県の産業構造

■ 製造品出荷額等



資料：経済産業省2019年工業統計調査

■ アルミニウム・同合金ダイカスト

- ・ 広島県の生産額1821億円（全国1位）
- ・ 国内シェア約30%



出典：一般社団法人日本ダイカスト協会
<http://www.diecasting.or.jp/>

軽量化ニーズ

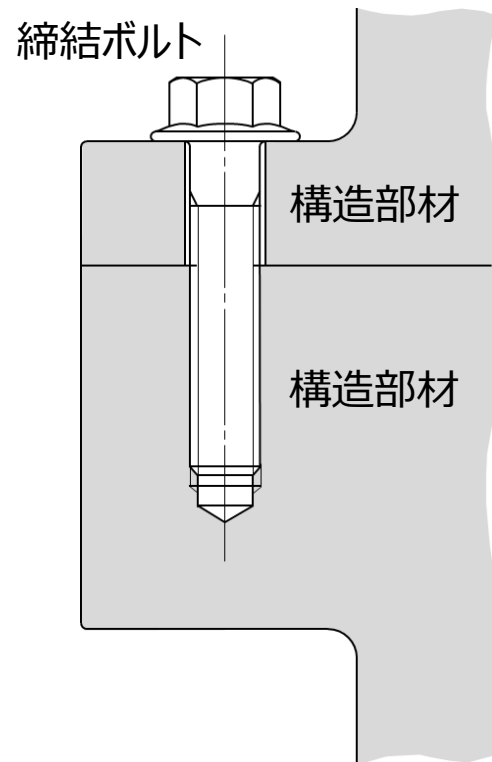
- アルミニウム合金は比重が小さく軽量な材料（Alの比重はFeの約1/3）
- 耐食性に優れ，成形加工性が良い
- 燃費向上が求められる各種輸送用機械に幅広く利用
- 自動車分野の用途にはパワートレイン部品，シリンダーブロック，トランスミッションケースなどダイカスト鋳造品で使用量が多い
- 今後は高い強度特性が必要なボディー部品，構造部材にも適用拡大が期待される
- マルチマテリアル化におけるアルミニウム材料の利用技術の開発



出典：一般社団法人日本ダイカスト協会
<http://www.diecasting.or.jp/>

機械・構造物の締結方法と課題

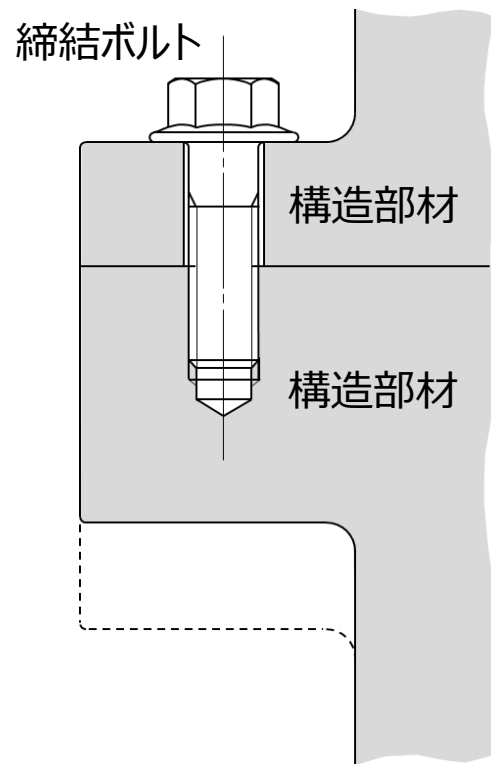
- アルミニウム合金製の機械・構造物の組み立て
 - 鋼製スチールボルトによる締結が一般的
- 異種金属接触による電気化学的な腐食
 - アルミ構造部材 / スチールボルトで座面陥没
- AlとFeの線膨張係数の違い
 - エンジン周辺の温度変化に伴う熱応力発生
- ボルト締結体の安定性向上には追加軸力が必要



アルミニウムボルトのニーズ

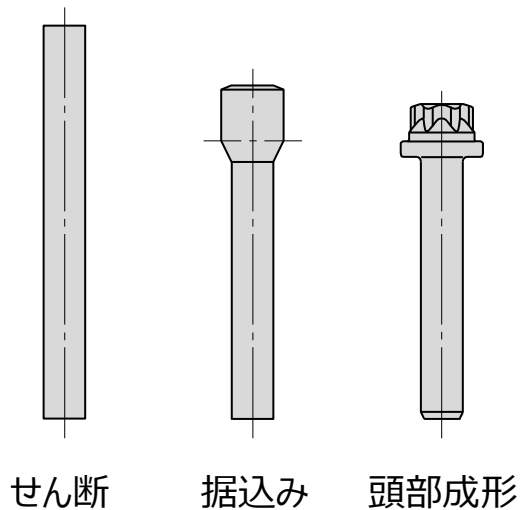
- ボルト素材をアルミニウム合金に材料置換
 - 同種金属のため電気化学的な腐食は生じない
- 線膨張係数や弾性率などの力学特性が同じ
 - 締結体各部の応力は温度変化しても変わらない
- ボルト締結体の安定性向上
 - 締結される構造部材の薄肉化・軽量化が可能

アルミニウムボルトの実用化には加工熱処理により
材質を制御して機械的特性の向上が必要

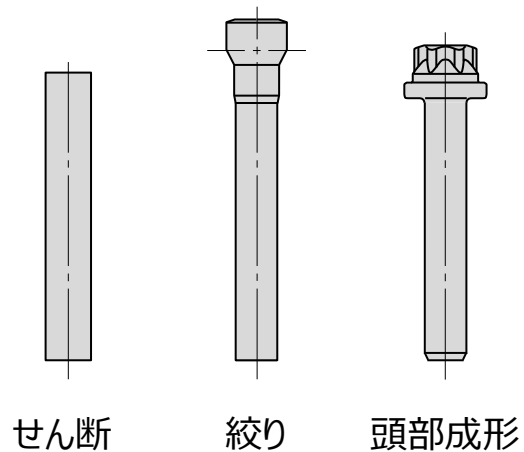


冷間鍛造工程

■ アルミニウムボルトの冷間鍛造



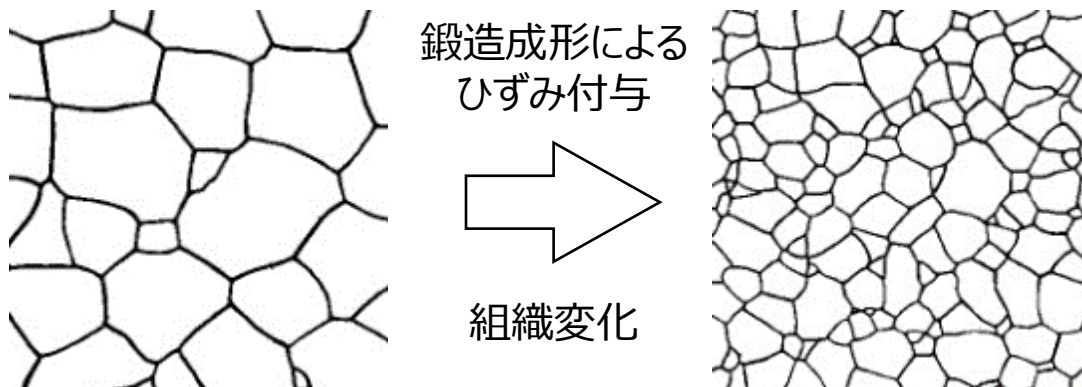
据込み成形



絞り成形（前方押し鍛造）

研究目的

- ボルト素材に使用される熱処理型アルミニウム合金を対象材料として，変形様式の異なる鍛造方法について種々の加工率で成形した試料の組織変化を検証する。
- ボルト成形の主要な鍛造方法である据込み鍛造および前方押し鍛造について加工率と溶体化処理後の回復・再結晶組織との関係を調査する。
- 多段鍛造で組織制御したアルミニウムボルトの試作を行い機械的性質を調査する。



実験方法

- 供試材
- 7000系（Al-Zn-Mg-Cu系）合金
- 鋳造ビレットを繰り返して圧延により内部組織を均一化
- 引抜き加工により直径12mmに仕上げたアルミニウム合金線材

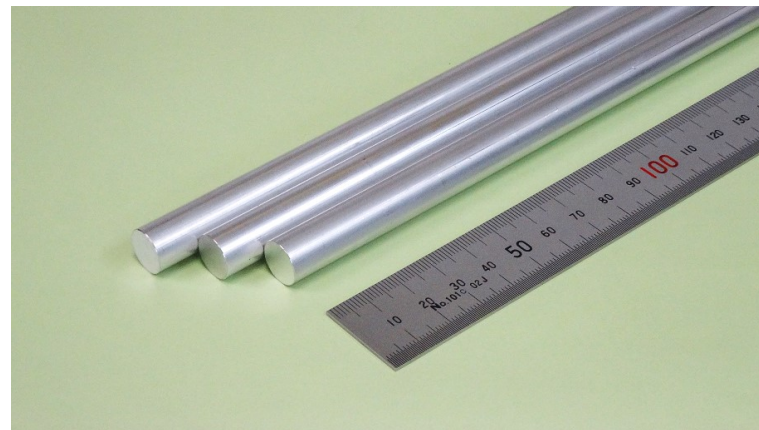
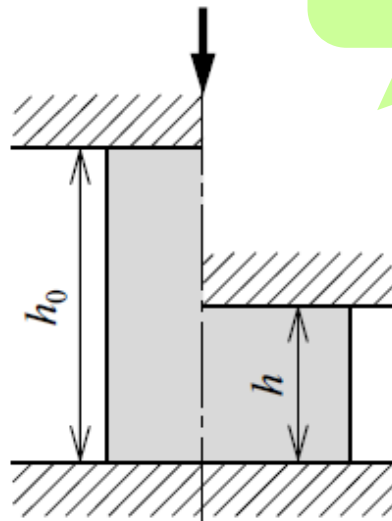


図1 アルミニウム合金線材

実験方法

■ 成形条件

材料を軸方向に圧縮して
断面積を増す加工法



$$\Delta h / h_0 (\%) = (h_0 - h) / h_0 \times 100$$

$\Delta h / h_0$: 圧縮率

h_0 : 成形前の試験片高さ

h : 圧縮後の試験片高さ

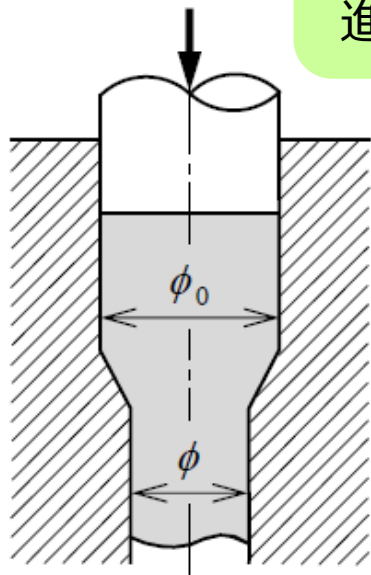
圧縮率は0%から10%刻みで80%まで

図2 据込み鍛造の模式図

実験方法

■ 成形条件

材料を工具によって加圧して
金型の穴から材料を工具の
進行方向に流出させる加工法



$$RA (\%) = (\phi_0^2 - \phi^2) / \phi_0^2 \times 100$$

RA : 断面減少率

ϕ_0 : 成形前の試験片直径

ϕ : 押し出された部分の直径

断面減少率は22, 40, 80%の3条件

図3 前方押し出し鍛造の模式図

実験方法

■ 組織観察方法

- ・ 鍛造実験で得られた試験片
- ・ 熱処理（溶体化処理→焼入れ→人工時効）
- ・ 光学顕微鏡を用いた組織観察

■ 試作ボルトの強度評価

- ・ 松本重工業株式会社の協力を得てボルト試作
- ・ 引張試験
 - 引張強さ …………… ボルトを供試体とした引張試験
 - 耐力および伸び …… ボルトから採取した機械加工試験片を供試体とした引張試験
- ・ JIS B 1057 非鉄金属製ねじ部品の機械的性質

実験結果

■ 顕微鏡組織写真

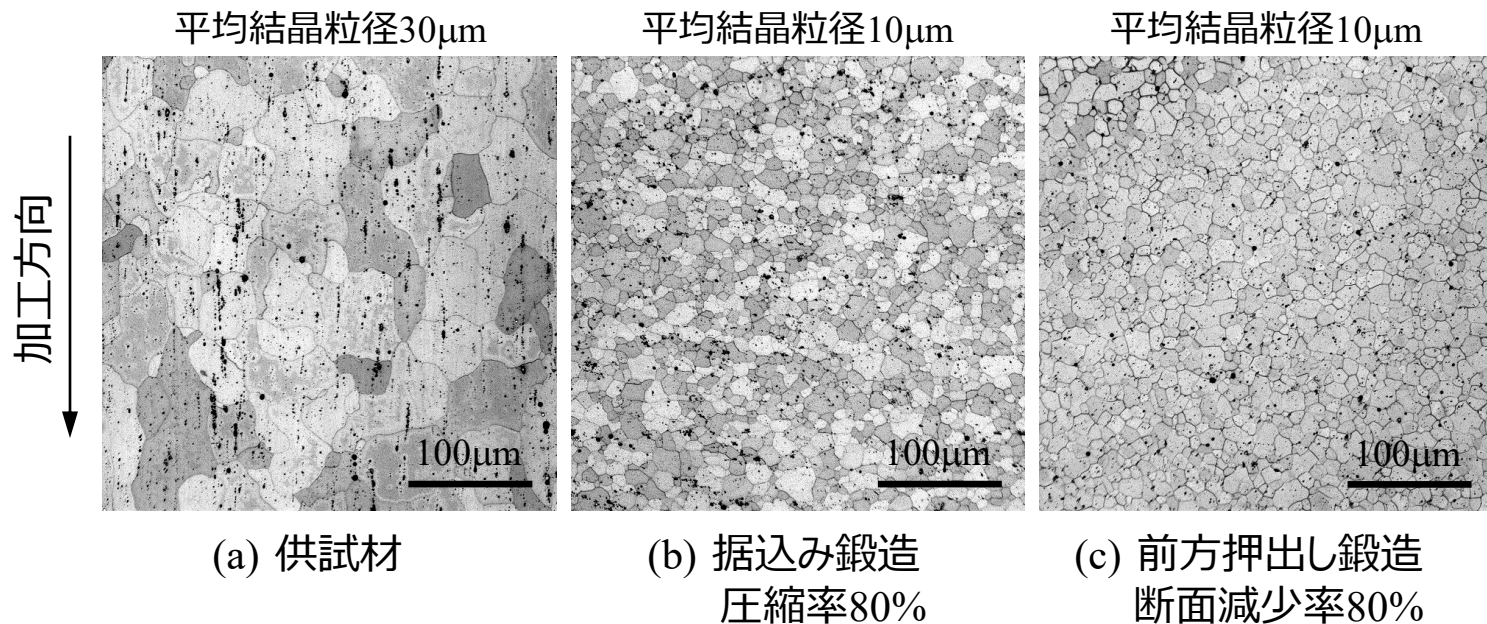


図4 アルミニウム合金の組織変化

実験結果

■ 加工率と結晶粒径の関係

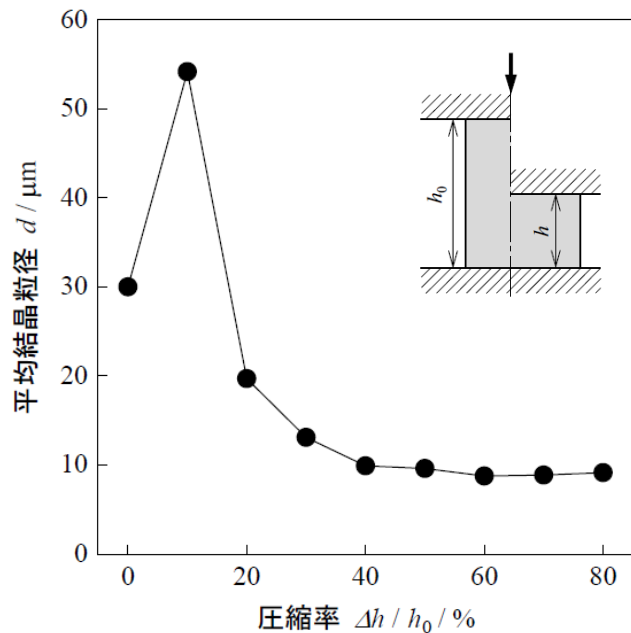


図5 据込み鍛造における圧縮率と平均結晶粒径の関係

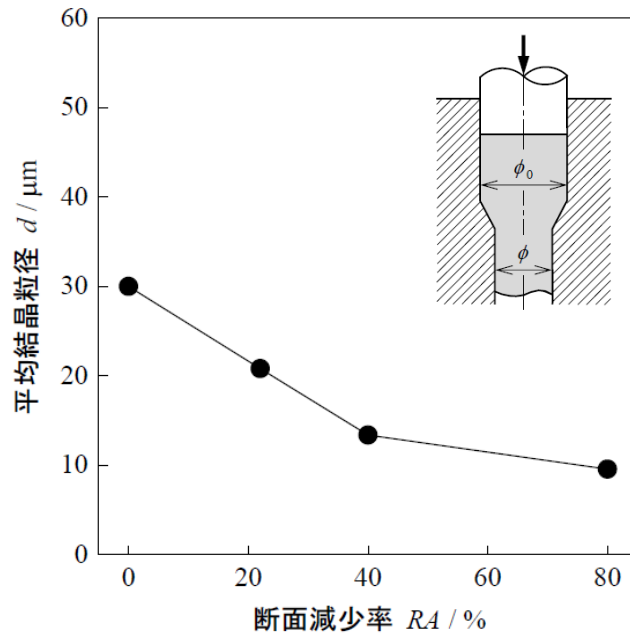


図6 前方押し鍛造における断面減少率と平均結晶粒径の関係

実験結果

■ ボルト試作

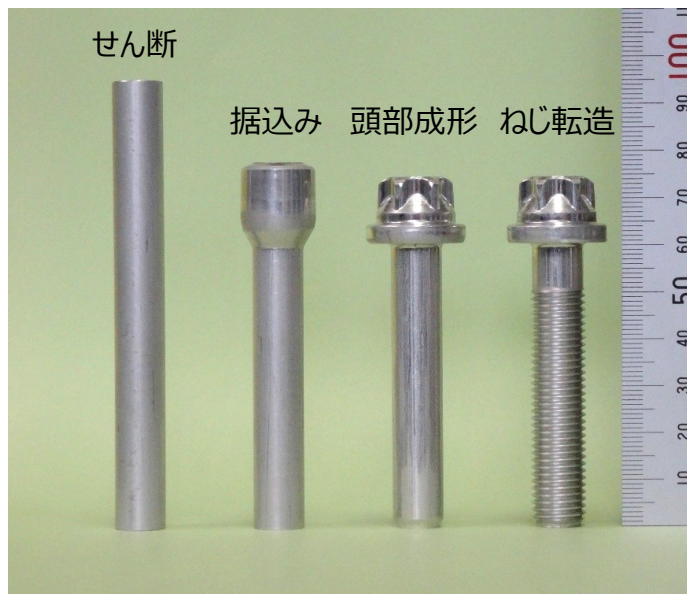


図7 据込み成形ボルト



図8 絞り成形ボルト

実験結果

■ 試作ボルトの強度評価

表1 ボルト・小ねじの引張強さ, 耐力及び伸び

材質区分の記号	ねじの呼びの区分	機械的性質			合金番号	質別
		引張強さ / MPa	耐力 / MPa	伸び / %		
AL1	M1.6以上 M10以下	270	230	3	A5052	H14~H16
	M10を超え M20以下	250	180	4		
AL2	M1.6以上 M14以下	310	205	6	A5056	H14~H16
	M14を超え M36以下	280	200	6		
AL3	M1.6以上 M6以下	320	250	7	A6061	T6
	M6を超え M39以下	310	260	10		
AL4	M1.6以上 M10以下	420	290	6	A2024	T4
	M10を超え M39以下	380	260	10		
AL5	M1.6以上 M39以下	460	380	7	A7N01	T6
AL6	M1.6以上 M39以下	510	440	7	A7075	T6

JIS B 1057 非鉄金属製ねじ部品の機械的性質より抜粋

まとめ

- 7000系アルミニウム合金の組織変化を調査するため、据込みと前方押出しの2つの鍛造成形を行い、T6処理した試料の結晶粒径に及ぼす加工率の影響について検証した。
- 据込み実験では低い圧縮率で粗大結晶粒が観察されたが、高い圧縮率で成形することにより粗大粒の発生を抑制し、結晶粒微細化を図ることができる。
- 前方押出し実験では断面減少率の増加に伴い結晶粒径は単調に小さくなる。
- これらの鍛造成形は加工率を高くして材料に大きなひずみを導入することにより、平均結晶粒径が30 μm の供試材に対して10 μm 以下まで微細化することができる。
- 多段鍛造で試作したアルミニウムボルトの引張試験を行った結果、試作ボルトはJIS規格に基づく機械的性質を満たしていることを確認した。

参考文献

- 1) Hirsch, J. : Materials Transactions, 52-5 (2011), 818-824.
- 2) 西直美 : まてりあ, 53-12 (2014), 589-593.
- 3) 櫻井健夫 : 軽金属, 68-9 (2018), 487-493.
- 4) 松木啓介 : 日本ねじ研究協会誌, 26-1 (1995), 6-19.
- 5) 久保田義弘・中村保 : 塑性と加工, 42-486 (2001), 642-647.
- 6) 岩山功・桑原鉄也・中井由弘・高木義幸・北村真一・斉藤英敏 : SEIテクニカルレビュー, 183 (2013), 78-82.
- 7) 小畑智靖・唐永鵬・岩岡秀明・廣澤渉一・毛利啓己・下田政彦 : 軽金属, 68-2 (2018), 65-72.
- 8) JIS B 1057 非鉄金属製ねじ部品の機械的性質
- 9) 特開2018-141501
- 10) 森下勇樹・長岡孝・府山伸行・横田浩一・下川慎也・勝山仁義 : 広島県立総合技術研究所西部工業技術センター研究報告, 63 (2020), 1-4.

【お問合せ先】

広島県立総合技術研究所 西部工業技術センター
技術支援部

E-mail: wkcgijutsu@pref.hiroshima.lg.jp

URL: <https://www.pref.hiroshima.lg.jp/soshiki/27/>

→ 「お問合せホームはこちらから」 をクリック

TEL: 0823-74-1151