

アルミニウム型材の高效率曲げ加工法の研究

松岡信一*

1. 緒言

アルミニウム合金で、特に建築構造用部材を造る工程において押出加工が多用され、さらに使用目的に応じて、その型材の曲げ加工が行われる。この曲げ加工において、変形部を局部的に加熱する熱間加工はあまり採用されていない。これは加熱することにより、材料組織構造に再結晶や析出などの変化が生じ、強度低下等を招くことが懸念されるためである。しかし、加熱を伴う熱間加工は、冷間時とは異なった変形抵抗、変形能を有するため、その加工性が一層向上することも考えられる。¹⁾²⁾

本研究は、アルミニウム合金押出型材の高效率曲げ加工法の有用性を検討するため、基礎的な実験を試み、実用への手掛かりを追求する。既報¹⁾⁴⁾までに得られた熱処理温度と機械的強度の関係から加工温度の限界を追求する。さらに、この温度限界下で局部的に加熱しながら引張試験(熱間試験)を試み、熱間加工時のアルミニウム合金の変形特性等について調査した。

これらの結果から、各種合金材料の最適な加工温度と加工性について考察し、押出材に対する熱間加工の有用性を明らかにする。また、常温下で金型を用いたプレス曲げ試験を試み、単軸引張試験と併せて強度と構造の両面から比較検討する。

2. 実験方法及び実験材料

本研究で用いたアルミニウム合金押出材の種類と組成を表1に示す。1000~5000系は非熱処理合金、6000~7000系は熱処理合金であり、後者は時効処理を施した。これらの合金は、押出比70.5、押出速度50mm/min、ダイス温度480℃で押出加工した。

押出材の強度特性を調べるために冷間と熱間における引張試験を行った。前者は熱処理材を用いた。いずれも試験片はJIS4号引張試験片で、引張速度

表1 アルミニウム合金の種類と成分 (主成分; Al [wt%])

Sample	Cr	Si	Fe	Mn	Mg	Zn	Zr	Ti	Cu
1070	-	0.11	0.33	-	-	-	-	-	-
3003	-	0.35	0.30	1.15	-	-	-	-	0.12
5052	0.25	0.04	0.11	-	2.50	-	-	-	-
5056	0.10	0.04	0.11	0.07	4.70	-	-	-	-
6061	0.07	0.07	0.18	-	1.00	-	-	-	0.21
6063	-	0.18	0.18	-	0.49	-	-	-	-
6N01	-	0.18	0.18	0.12	0.45	-	-	-	0.15
7003	-	0.04	0.15	-	0.83	5.70	0.15	-	0.15
7N01	0.11	0.04	1.21	0.50	1.25	4.50	0.16	0.05	0.11

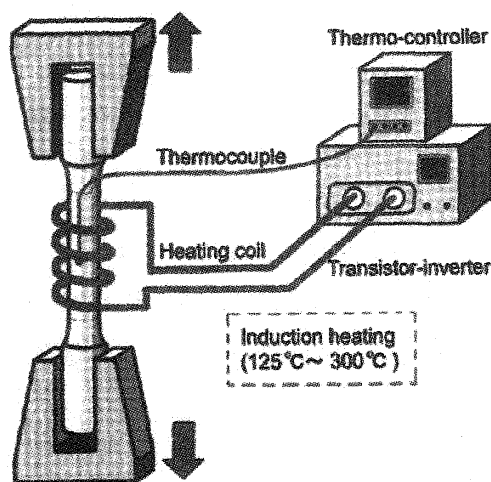


図1 熱間引張試験の概要

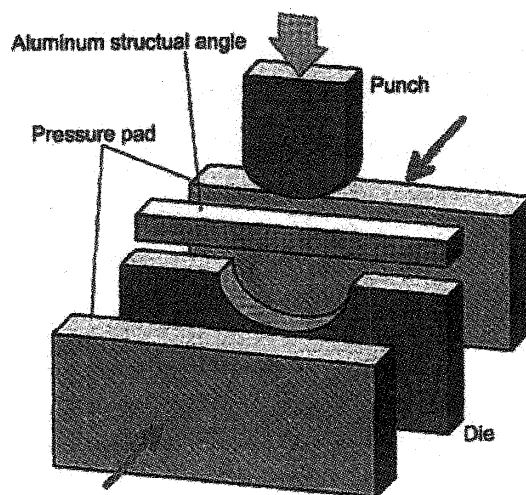


図2 R曲げ工具の概要

は5mm/minである。

また、熱間引張試験は、図1に示すように局部加熱に高周波誘導加熱装置(富士電波工機, 5kw, 200kHz)を用い、加熱温度125~300℃の範囲で行った。

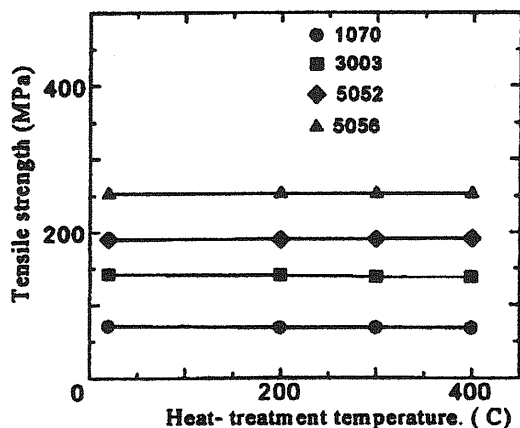
図2は、曲げ金型を用いた型材のR曲げ試験の概要を示す。金型はR部を有するパンチ、ダイスおよび試験片の幅方向は抑え板で拘束する構造とした。パンチのR部は、半径50, 75, 100mmの3種類、パンチ速

度；20, 50mm/minとし室温で行った。また，曲げ荷重と加工後の寸法形状を比較，検討した。

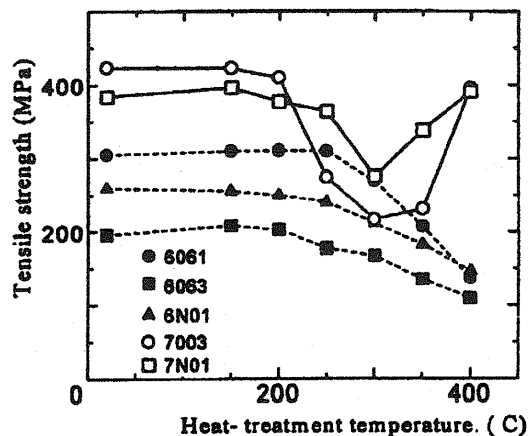
3. 熱処理材の引張強度

図3は，(a)非熱処理合金および(b)熱処理合金の引張強度を比較した一例である。²⁾

同図(a)より，引張強度は処理温度にほとんど影響しないことが分かる。また，いずれの合金も400℃以下の処理温度で熱処理を施しても，基材と同程度の引張強度が保持できることが分かる。さらに同図(b)より，6000系合金は，処理温度250℃までは基材と同程度の引張強度を有し，この温度を境にそれ以上では低下する傾向を示す。これは金属間化合物Mg₂Siの析出が過剰となり，過時効状態となって強度の低下が生じたものと考えられる。一方，7000系合金については，7003合金は処理温度200℃まで，7N01合金は250℃まで，基材と同程度の強度を有するが，処理温度300℃で著しく低下する。なお，400℃熱処理材では，基材とほぼ同程度の強度まで向上する。この理由は，前者と同様，MgZn₂の析出により引張強度に変化が生じたものと推測される。



(a) 1000~5000系合金



(b) 6000, 7000系合金

図3 各種押出材の引張強度に対する熱処理温度の影響

4. 内部組織

アルミニウム合金押出材の熱処理温度と内部組織の関係を調べた一例を，図4に示す。同図(a)は5052合金，(b)は6061合金，(c)は7N01合金の組織写真である。例えば，(a)の5052合金の内部組織と，前掲図3(a)で示した処理温度と引張強度の関係と比較すると，この処理温度範囲内では，組織構造に対して処理温度に左右されないことが明らかである。同図(b)(c)の組織観察例と図3(b)の結果から，処理温度250℃まで基材と同程度の引張強度が得られているが，組織構造についてもそれを裏付けるように，顕著な変化はみられない。なお，他の熱処理合金についても同様の傾向である。

以上の結果より，非熱処理合金については，処理温度400℃以下では，その温度に関係なく安定した引張強度を有することができる。また，6000系および7N01合金は処理温度250℃，7003合金は200℃を境に，それ以下の温度では引張強度や組織構造に対して基材と比べても顕著な差がないことが分かる。したがって，この温度範囲内であれば熱間加工が有効であることが推察される。

5. 熱間引張試験

前節で得られた結果をもとに，6000系，7000系合金の熱間引張試験を行った一例を，図5に示す。同図より，いずれの合金についても加工温度が上昇すると著しく引張強度は低下する。これはアルミニウム合金に限らず金属材料が一般に有する性質で，熱的に活性化された転移の運動や原子あるいは原子空孔等の拡散によって生じる現象であると考えられる。また加工温度の上昇に伴い降伏点と最大引張応力点がほぼ一致する傾向にある。一方，6000系および7000系合金の引張強度を比較すると，前者は加工温度の上昇とともに緩やかに低下し，特に加工温度300℃では室温に比べて，引張強度が約1/2に低下する。これに対して，後者のそれは大幅に減少していることがわかる。また伸びは，6000系合金は全般に加工温度の上昇とともに徐々に減少し，より脆性的に破断するのに対し，7000系合金は，ほとんど差はなく，むしろ延性的な様相を呈することが分かった。

以上の結果から，基材と同一の引張強度や組織構造を有することができる最適な熱間加工温度は，6000系合金では250℃以下，また7003合金では200℃，7N01合金では250℃以下であれば熱間加工は有効であると推察される。

6. 鑄造材と押出材の曲げ強度⁴⁾

図6は，各種合金について常温環境下における曲

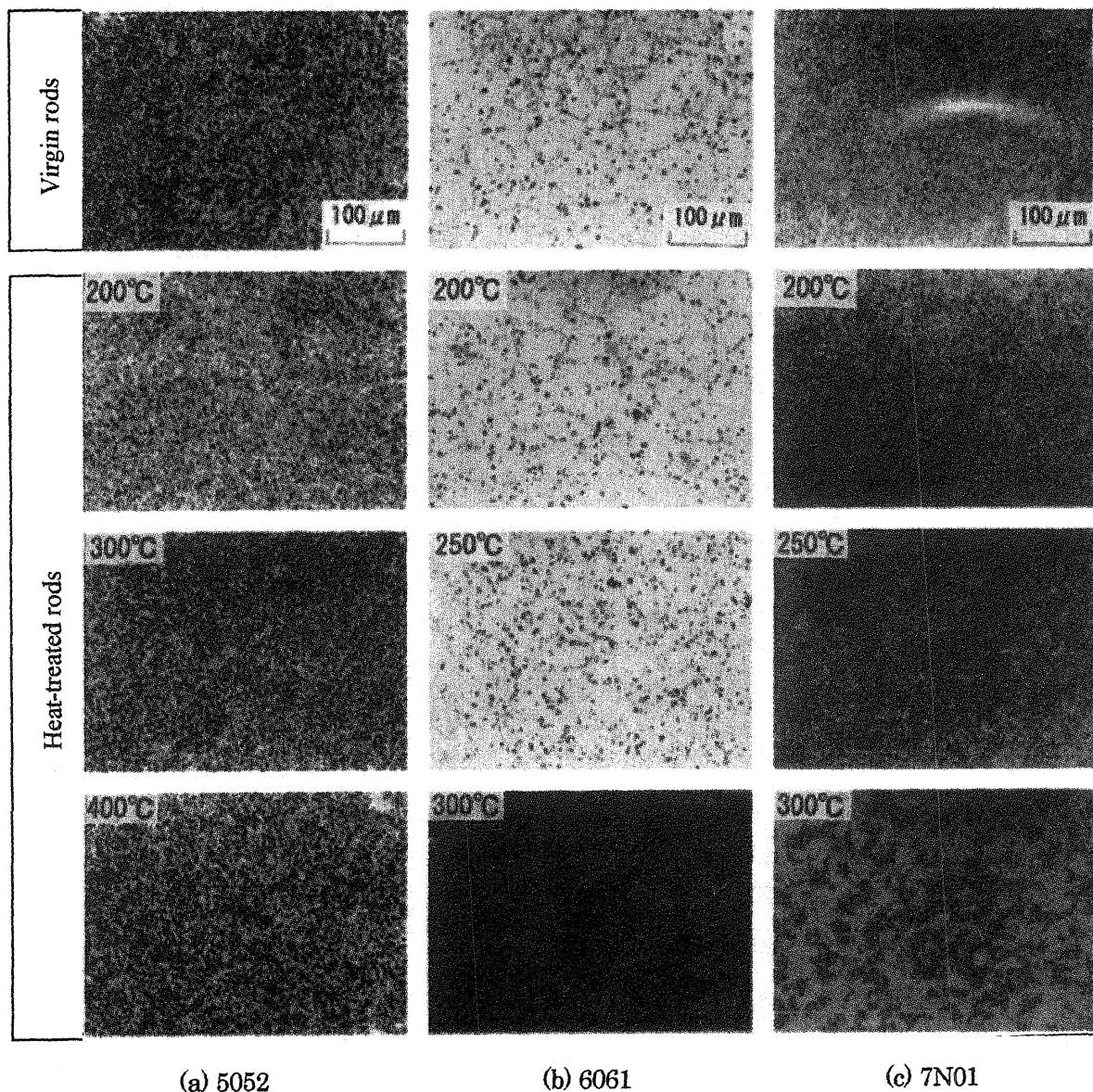


図4 各種押出材に対する熱処理温度と内部構造の関係

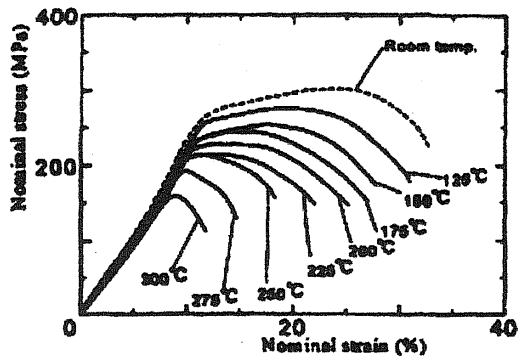
げ強度を比較した一例である。ここで試験片はいずれも $11.5h \times 15.0w \times 170(\text{mm})$ の寸法形状である。これより、全体に押出材の方が曲げ強度が大きい。この傾向は引張強度と類似である。特に 6061 合金は他の材料に比べて、鋳造材と押出材との強度の差が大きい。また、全体に鋳造材の中心部と外周部では曲げ強度に若干の差が生じている。これは熱処理時の冷却速度の影響で結晶成長に差が生じたためと考えられる。

一方、低温環境下(液体窒素中)での試験の結果から、全ての材料において曲げ強度が幾分増加していることが確認された。

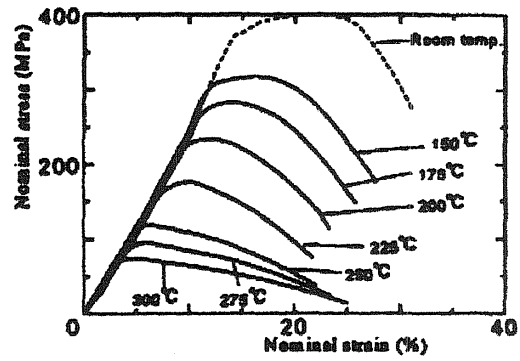
7. 型材の曲げ加工

図2に示した金型を用いてアルミニウム合金型材のR曲げ試験を行った。図7は、曲げ荷重に及ぼす加工温度の効果を調べた一例を示す。同図は(a)パンチ半径; 50mm および(b)75mmである。いずれの材料についても加工温度を付与することによって、付加時の曲げ荷重は常温時に比べて減少する。例えば、7N01 合金の熱間加工時の曲げ荷重は、常温のそれに比べて全体に低く、特に加工温度 250°Cでは大幅に減少することが分かる。また、6063 合金は、常温と熱間では顕著な差はみられなかった。³⁾

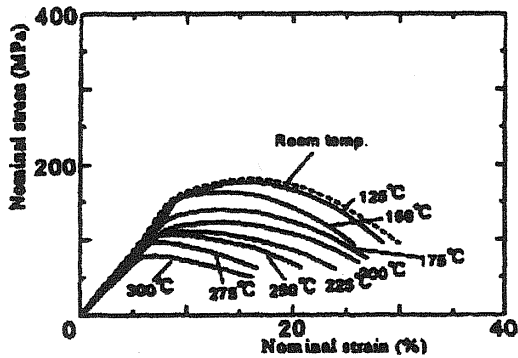
図8は、常温および熱間における曲げ加工後の形状を示す。ここで用いたパンチ半径(R)は、50mm



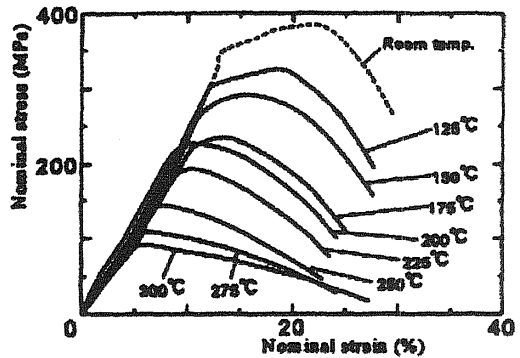
(a) 6061 合金



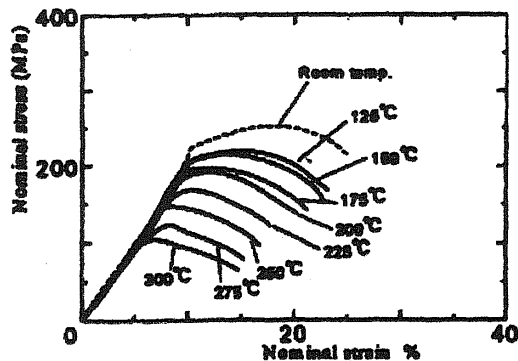
(d) 7003 合金



(b) 6063 合金



(e) 7N01 合金



(c) 6N01 合金

図5 各種合金の熱間引張試験における
応力-ひずみ曲線

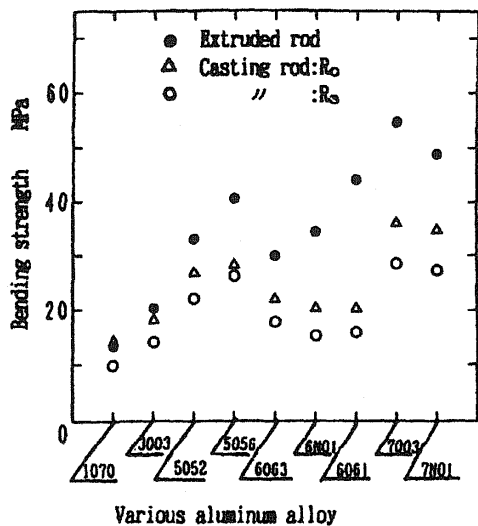


図6 各種合金の押出材と鋳造材の曲げ強度

である。同図より、常温と加工温度 250°C で曲げ加工したものを比較すると、加工温度を付与することによって座屈しわやウエブが軽減され、成形性とともに寸法精度も向上することが分かる。また、常温ではパンチ半径の大小に関わらず、6063 合金の方がパンチ接触面に波状化、すなわち座屈しわが発生し、ダイス接触面の内側へウエブが生じることが分かった。

これらの結果から、7N01 合金は、加工温度を付加することによって延性を損なうことなく、軟質化し成形性が向上するものと考えられる。なお、6000 系合金は加工温度を付加した環境下では延性が低下し、伸びが減少する傾向にあることから、前者ほど波状化の減少は期待できない。

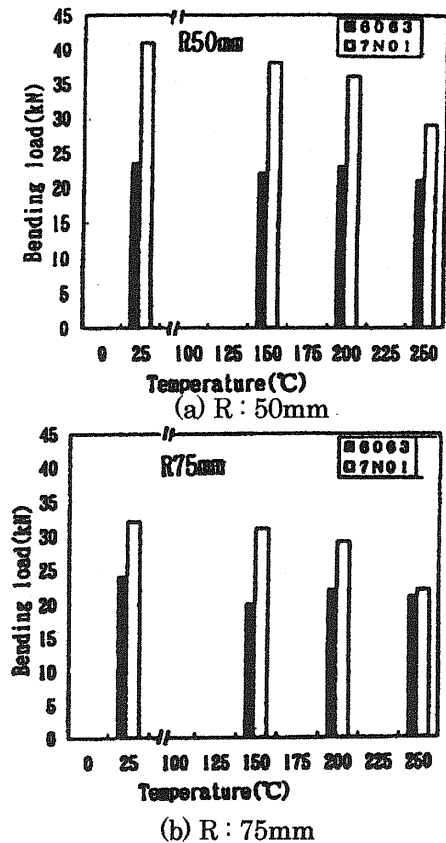


図7 各種合金型材のR曲げ試験における曲げ荷重と加工温度の関係

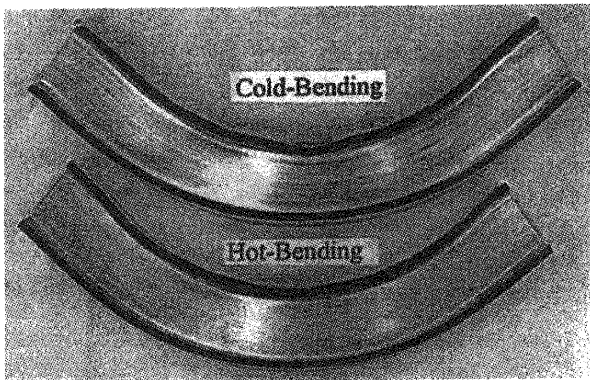


図8 常温と熱間(250°C)R曲げ製品例(7N01合金)

8. 結論

各種アルミニウム合金の高効率曲げ加工法を確立するための基礎的な研究, すなわち, ここでは加熱処理温度および加工温度と機械的強度の関係を明確にし, 曲げ加工への有効性を実証した. 本実験で得られた結果を要約すると, 次の通りである.

(1)アルミニウム合金型材を加工する際に, ある程度の加工温度を援用しても, 組織構造や強度に変化もなく, 基材と同程度の性質が保持できる.

(2)基材強度が保持でき, ある程度の伸びを有する点から, 6000系合金は175~200°C, 7003合金は200°C以下, 7N01合金は250°C以下の加工温度を援用することによって, その加工性に大きな効果を与える.

(3)材料特性に及ぼす加工温度依存性については, 6000系合金は加工温度の上昇に伴って引張強度や伸びは大きく低下し, 脆性的な破断を呈する. 7000系合金は引張強度の急激な減少に加え, やや延性的な性質を呈するようになる.

(4)これらの条件下でR曲げ加工を行う場合, 加工温度を付加することによって曲げ荷重は減少し, その成形性や寸法精度の向上が期待できる.

終わりに, 本研究は平成7年度(財)天田金属加工機械技術振興財団の助成を受けて行ったものであり, 関係各位に甚大なる謝意を表す. また, 実験にご協力いただいた富山合金(株), 富山軽金属(株)および田中精密工業(株)の各社に対し, 謝意を表す.

<参考文献>

- 1)松岡・高木; 日本機械学会・M&P'96 講論(1996)19
- 2)松岡・高木; 富山県立大学紀要, 7(1997)69.
- 3)松岡・高木; 日本機械学会・M&P'97 講論(1997)
- 4)松岡; 富山県立大学紀要, 6(1996)43