

アルミニウム型材の高効率曲げ加工法の研究

富山県立大学 工学部 機械システム工学科

教授 松岡信一

(平成7年度研究開発助成 AF-95011)

1. 研究の背景

アルミニウム合金で、建築構造部材を造る工程では、押出加工が多用され、また使用目的に応じて、その型材の曲げ加工が行われる。この曲げ加工において、特に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、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、その加工性は一層向上することが期待できる。[1]-[3]

2. 研究の目的

本研究では、アルミニウム合金押出型材の高効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た。すなわち、既報[2]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を行い、熱間時の変形抵抗等について調査する。これらの結果から、各種材料の最適な加

工温度と加工性について考察し、アルミ合金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行い、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。

3. 実験方法および材料

本実験では、冷間と熱間の2種類の引張試験を行った。前者は熱処理材を用いた。いずれも試験片はJIS 4号引張試験片で、引張速度は5 mm/minである。Fig. 1は、冷間における熱処理材(150 ~ 400 °C, 2 h)およびFig. 2は、熱間でのそれぞれの引張試験の概要を示す。後者の局部加熱には高周波誘導加熱装置(富士電波工機、5Kw-200KHz)を用い、加熱温度は125 ~ 300 °Cに設定した。本実験に用いたアルミニウム合金押出材(富山合金)の種類と組成をTable.1に示す。これらの合金は押出比70.5、押出速度50mm/min、ダイス温度480 °Cで押出加工(富山軽金属)した。なお、同表中、1000 ~ 5000系は非熱処理合金で、6000系、7000系合金は熱処理合金である。

Table.1 Chemical composition and kinds of aluminum alloy used for extrusion test.

Sample	Main constituent: Aluminum [Wt. (%)]								
	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	0.70	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

(Toyama Alloy Co., Ltd)

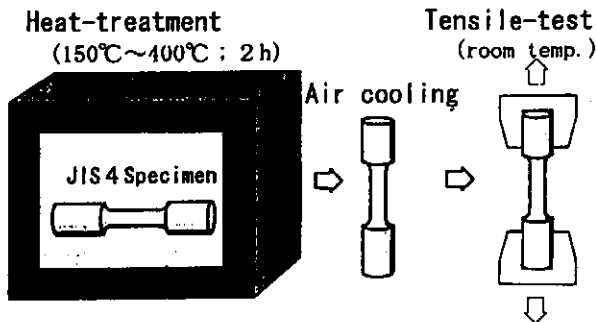


Fig. 1 Schematic view of heat-treatment and tensile test.

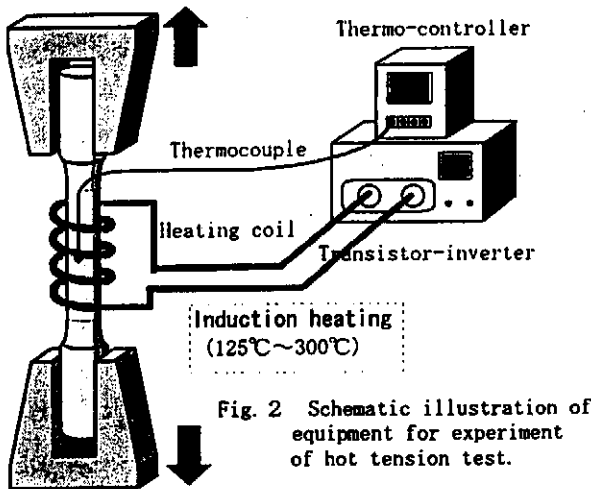


Fig. 2 Schematic illustration of equipment for experiment of hot tension test.

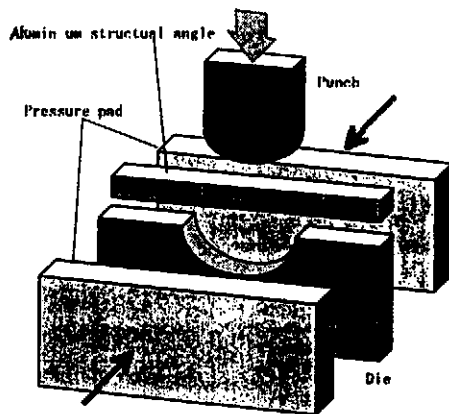


Fig. 3 Schematic view of the bending test.

後者は押出加工後に、時効処理を施した。

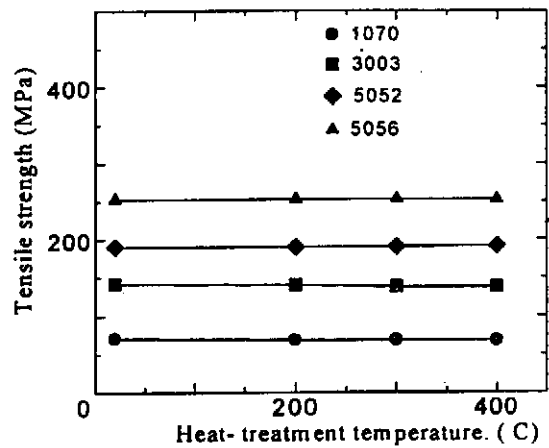
Fig.3は、曲げ金型を用いたアルミ型材のR曲げ試験の概要を示す。金型はR部を有するポンチ、ダイスおよび、試験片の幅方向は抑え板で拘束する構造とした。ポンチのR部は、半径50,75,100mmの3種類、ポンチスピード20,50mm/minとし室温で行った。また、曲げ

荷重と加工後の試験片の形状寸法を比較、検討した。

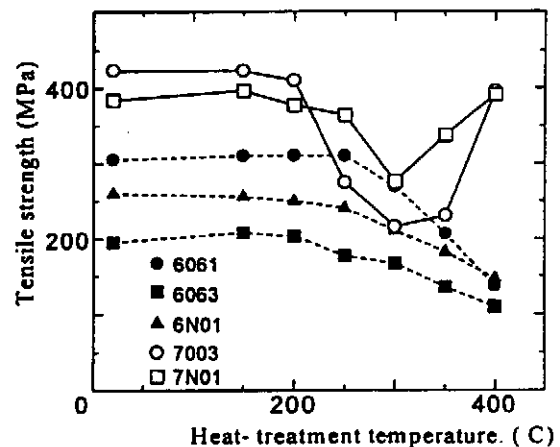
4. 実験結果

4. 1 加熱処理材の引張強度

Fig.4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。また 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、これを境に、それ以上の処理温度では低下する傾向にある。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



(a) 1000, 3000, 5000 series aluminum alloys



(b) 6000 and 7000 series aluminum alloys

Fig. 4 Effect of heat-treating temperature in hot-air over on tensile strength of various extruded rods.

なって強度の低下が生じたものと考えられる。一方、7000系合金の、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。この結果は、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。

4.2 内部組織観察

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、Fig.5に示す。同図(a)は5052合金の内部組織写真の例であるが、前掲Fig.4(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においては、組織構造に対しても処理温度に左右されないことが分かる。同図(b),(c)は

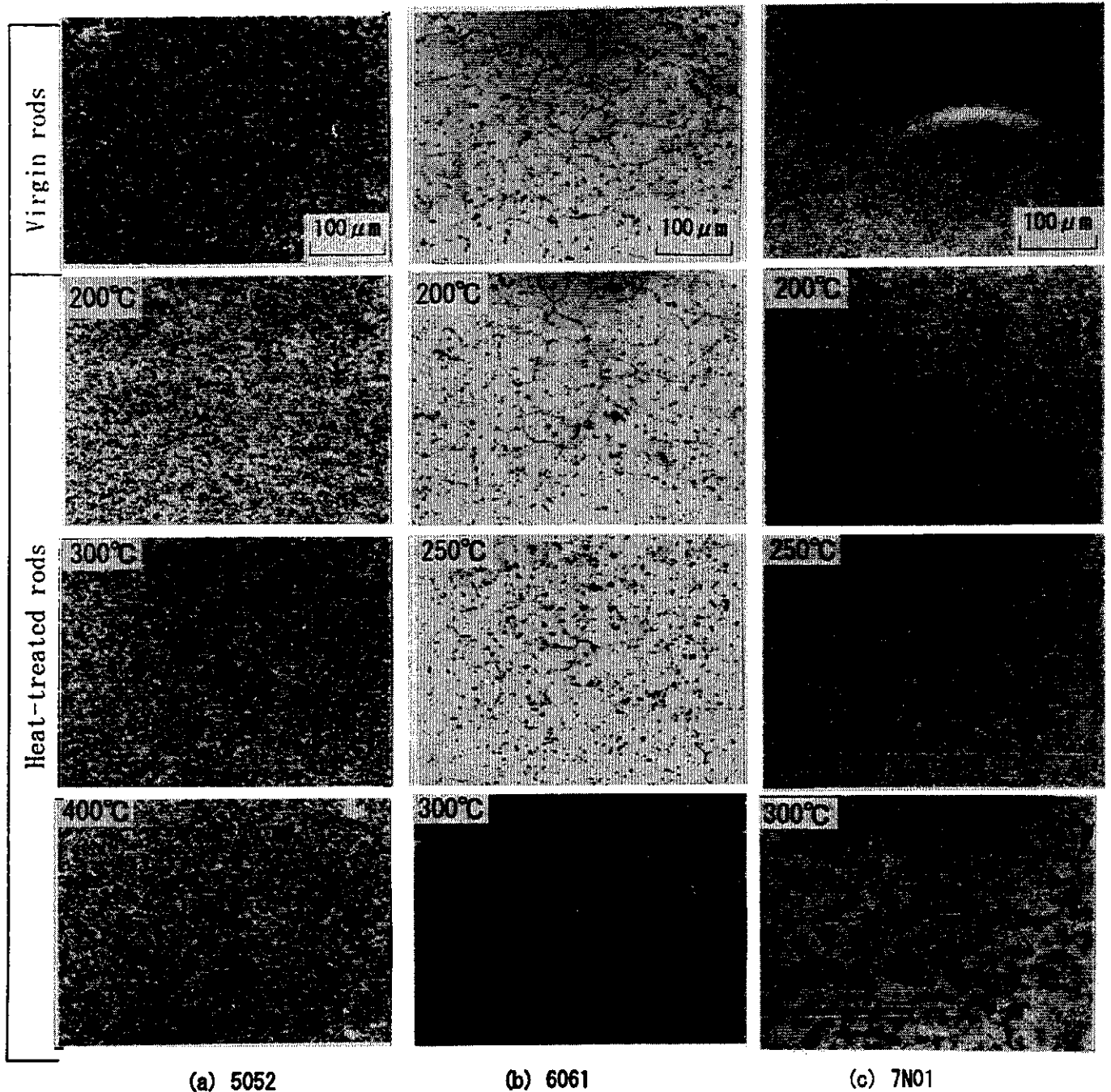


Fig.5 Election micrographs showing internal structure of heat treated rods of (a)5052, (b)6061 and (c)7N01 aluminum alloy.

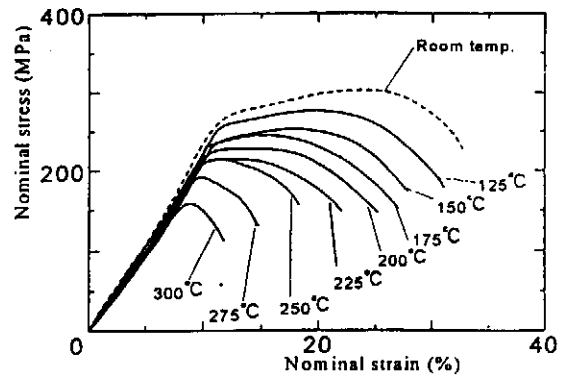
6061, 7N01 合金のそれぞれの組織観察例である。これらの結果、処理温度 250 °C まで基材と同程度の引張強度が得られているが、組織構造についてもそれを裏付けるように、顕著な変化はみられない。なお、他の熱処理合金についても同様の傾向である。

以上の結果から、非熱処理合金については、処理温度 400 °C 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 °C、7003 合金は 200 °C 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。従って、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。

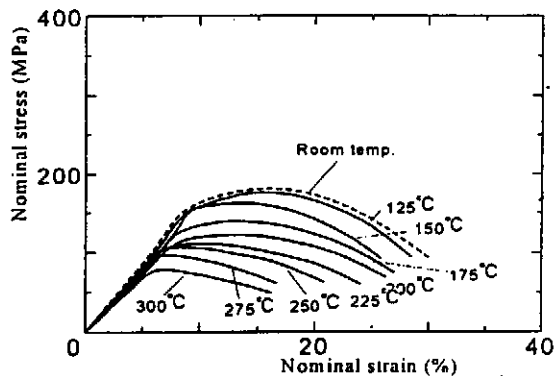
4. 3 熱間引張試験

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試みた。その結果を Fig.6 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応力が低下する。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位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 系合金の引張強度について比較すると、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 °C では室温に比べて、引張強度が約 1/2 に低下している。これに対して、後者のそれは大幅(1/4 ~ 1/5)に減少していることが分かる。また伸びについては、6000 系合金は全般に加工温度の上昇とともに伸びは徐々に減少し、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。

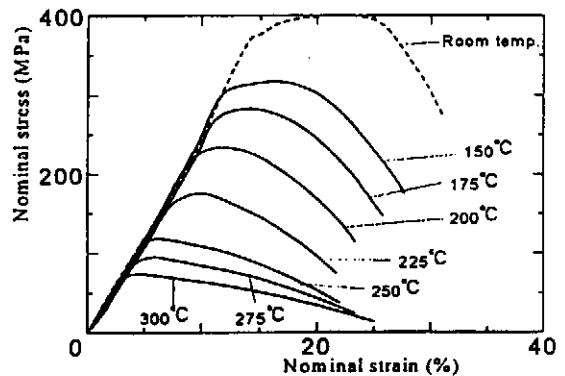
Fig.7 は、熱間引張試験における破断部の形状の一例である。同図(a)は 6061 合金、(b)は 7N01 合金の破断部を示す。前者は温度が上昇するにつれてくびれ部がやや太くなり、より脆性的な破断を呈するようになる。これは前掲の引張応力-ひずみ線図において温度の上



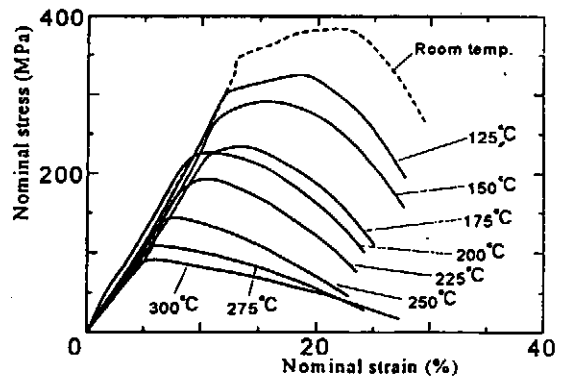
(a) 6061 aluminum alloy



(b) 6063 aluminum alloy



(c) 7003 aluminum alloy



(d) 7N01 aluminum alloy

Fig. 6 Stress-strain curves in hot tensile test of extruded rods of six (a, b) and seven (c, d) thousand series aluminum alloy.

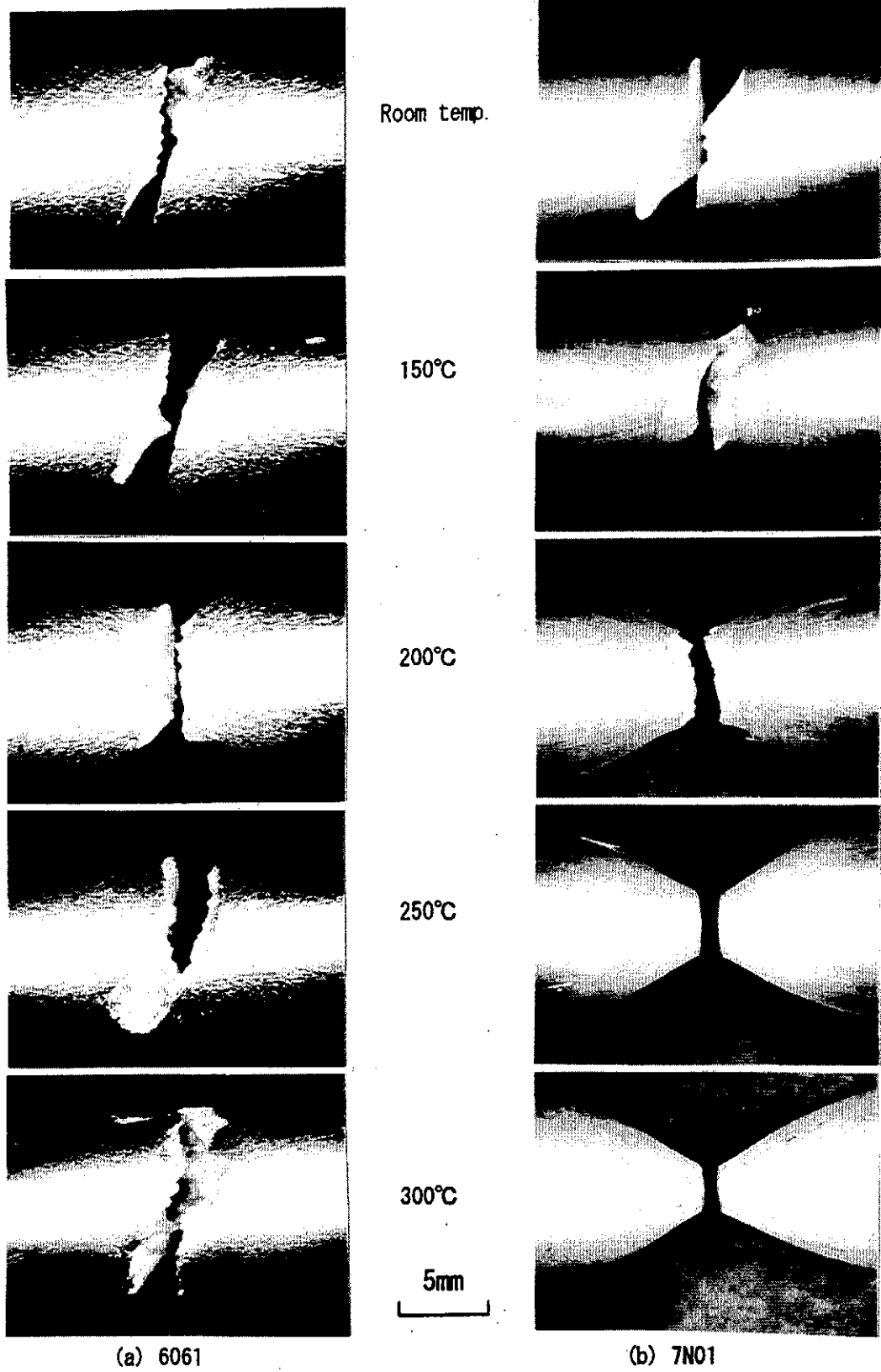


Fig. 7 Shape of rupture on hot-tensile test of extruded rods of (a)6061 and (b)7N01 aluminum alloy observed by metallurgical microscope.

昇とともに伸びが減少することを裏付けている。また後者の7N01合金は、前者とは対照的に温度が上昇するにつれて、くびれはより顕著となり、延性的な様相を呈することが明らかになった。

これらの結果から、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。

4. 4 型材の曲げ加工

前掲 Fig.3 に示した金型を用いてアルミ合金型材のR曲げ試験を行った。Fig.8 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)ポンチ半径:50mm および (b)75mm である。いずれの材料についても、加工温度を付加することによって、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(加工温度付加時)での曲げ荷重は、常温のそれに比べて全体に低く、特に加工温度250℃では大幅に減少することが分かる。一方、6063合金は、常温と熱間では顕著な差はみられなかった。[3]

Fig.9 は、常温および熱間における曲げ加工後の形状を示す。ここで用いたポンチ半径(R)は、50mm である。同図より、常温と加工温度250℃で曲げ加工したものを比較すると、加工温度を付加することによって、座屈しわやウェブが軽減され、成形性とともに寸法精度も向上することが分かる。また、常温ではポンチ半径の大小に関わらず、6063合金の方がポ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ェ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。

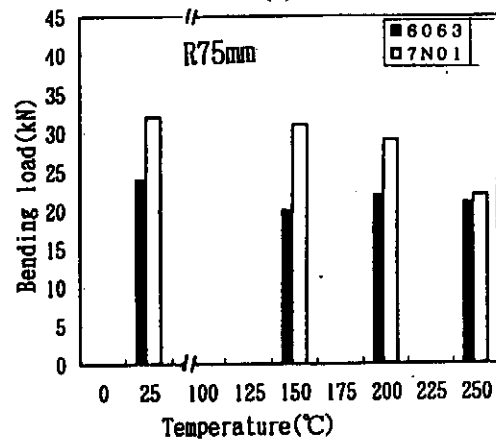
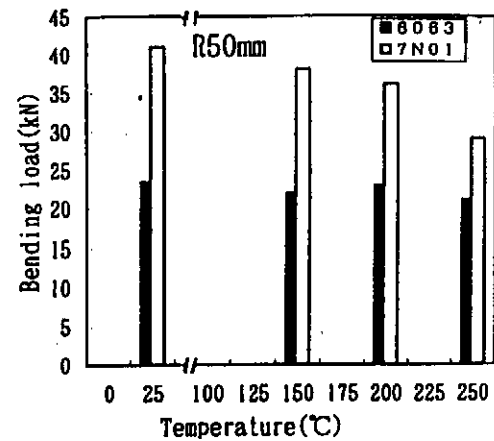


Fig.8 Relation between bending load and working temperature under the R-bending tests. (Punch speed:50mm/min)

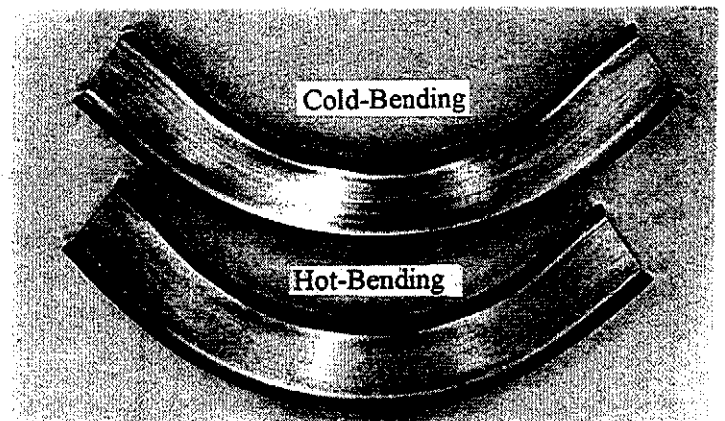


Fig.9 Example of cold and hot bending(250℃) products of aluminum structural angle of 7N01.

5. 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、つぎの通りである。

- (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はなく、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℃、7003合金は200℃以下、7N01合金は250℃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ともない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、および8年度地域振興促進研究費の研究開発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。また試材を提供していただいた富山合金(株)、富山軽金属(株)および金型製作に協力して頂いた田中精密工業(株)の各社に対し、謝意を表す。

参考文献

- 1) 松岡・高木; 富山県立大学紀要, Vol.7, (1997)69.
- 2) 松岡・高木; 日本機械学会・M&P'96 講演論文集(1996-11)19.
- 3) 松岡・高木; 日本機械学会・M&P'97 講演論文集(1997-7)