Al-25%Si 合金薄板の双ロールキャストと加工性*

原田 英人^{*1}, 羽賀 俊雄^{*2}, 西田 進一^{*3}, 渡利 久規^{*4}

Twin Roll Casting and Formability of Al-25%Si Alloy Strip

Hideto HARADA^{*1}, Toshio HAGA, Shinichi NISHIDA and Hisaki WATARI^{*1} Graduate School of Gunma Univ. Dept. of Production Science and Technology
Hon-cho 29-1, Ota-city, Gunma, 373-0057 Japan

This study was aimed at investigating of Twin roll casting and formability of Al-25%Si alloy strip. Near net shape forming is able to produce that the initial production is very close to the final shape. Near net shape is applied a variety of materials. Twin roll casting process is one of near net shape forming. Hypereutectic Al-Si alloy has some useful advantage low thermal expansion, better thermal conductivity and wear resistant. Recently, the plate of hypereutectic Al-Si alloy which thickness is thinner than 1mm is demanded. The hypereutectic Al-Si alloy is hard and brittle. Therefore, only the many times of hot rolling were useful process to make thin plate. In the present study, the roll casting of Al-25%Si strip was tried by a vertical type high speed twin roll caster from the point of energy saving. The twin roll size of the roll was $\phi 300 \times W100$. Roll-load was set low enough to prevent the sticking of the strip. Casting material was Al-25%Si and Al-25%Si+4%Mg. The roll velocity was 20 m/min. As cast strip of Al-25%Si was 1.6 mm thickness, and Al-25%Si+4%Mg was 2.0 mm thickness. Primary crystal size of as cast Al-25%Si strip was 40-100 μm , as cast Al-25%Si+4%Mg strip was 40 μm . It was able to produce that as rolled strip of 1mm thickness at 1 pass. Primary crystal size of as rolled Al-25%Si strip was 15-40 μm , and as rolled Al-25%Si+4Mg was 15-20 μm .

Key Words : Aluminum Alloy, Molding Methods, Casting Alloy, Roll Caster, Al-Si, Hypereutectic, Vertical Type

1. 結 言

ニアネットシェイプ加工は、製品を最終形状により近い状態で製造する方法であり、様々な材料に適用されている。ニアネットシェイプを達成させる方法として、双ロール法がある⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。これは、溶湯から直接に薄板を作製する方法として有効である。また、薄板にするまでの工程を省く事が出来るため、設備投資費をおさえ、省スペース化の観点から、双ロールキャスターを数台設置すれば、多品種少量生産も可能である。双ロール法で難加工性材料の薄板を作製することによって、より安価に薄板を作製することが出来る。過共晶 Al-25%Si 合金は、耐磨耗性が高く、熱膨張係数が低い利点があるが、難加工材であるため、薄板は粉末冶金法を用いて作製され、高コスト化かつ生産性の低さが問題となっている。そこで、筆者らは、省工程で薄板を作製するために双ロール法に着目し Al-25%Si 合金薄板の作製を行った⁽⁵⁾、過共晶合金のため Si 量の増加により液相線が上昇し、固液相線間が広くブレイクアウトが起りやすいため、従来の双ロールキャスターでは薄板の作製が困難であった。冷却能を向上させる事によって 2 種類の双ロールキャスターで薄板作製が可能であることがわかっており、Mg を添加することによって離型性を高めることに成功している⁽⁶⁾。双ロールキャスターで作製した薄板の内部組織は急冷凝固したため初晶 Si を共晶 Si が共に微細化した。本研究では、高ロール周速での薄板連続鋳造が可能な縦型双ロールキャスター⁽⁷⁾を用いて Al-25%Si 合金薄板と離型性を高めた Al-25%Si+4%Mg 合金薄板の作製を行い、加

* 原稿受付 2013 年 1 月 20 日

^{*1} 正員, 群馬大学大学院 (〒373-0057 群馬県太田市本町 29-1)^{*2} 正員, 大阪工業大学 工学部^{*3} 正員, 群馬大学大学院 工学研究科^{*4} 群馬大学大学院 工学研究科

E-mail: taro@jsme.or.jp

工性の調査を目的とした。加工性の調査として、熱間圧延、熱間での突起成形、90° 曲げ加工、圧延による突起を有する板の成形を行った。

2. 実験装置と実験条件

本研究で使用した縦型双ロールキャスターを図1に示す。 castingの実験条件を表1に示す。水冷式の軟鋼製ロールを使用した。ロールサイズは直径 300mm, 幅 100mm とした。離型剤は熱伝達の妨げとなるため使用していない。材料は Al-25%Si 合金と Al-25%Si 合金に 4%Mg を添加した材料を使用した。4%Mg を添加により Al-25%Si 合金の液相線と固相線が低下するが、注湯温度は一定とした。Al-25%Si+4%Mg 合金の場合スーパーヒートは 20°C となる。ロール周速 20m/min は、従来のアルミニウム合金用双ロールキャスターで 1000 系アルミニウム合金を castingする場合の 7~10 倍である。

castingまま材を電気炉で 550°C30 分保持した後に熱間圧延を行った。Al-25%Si 合金で 37.5%, Al-25%Si+4%Mg 合金で 50%の総圧下率とし、板厚が 1mm になるまで圧延を行なった。固着を防止の為、ロールには圧延油を用いた。ロールは加熱せずコールドロール法を用いた。

曲げ加工は熱間で行い曲げ加工に用いた試験片は板厚 1mm の熱間圧板を使用した。V ブロック法を基とし、V ブロックに丸棒を 300N で付与し、曲げ加工を行なった。試験片、V ブロック、押し金具を所定の温度まで加熱後 30 分保持した後、曲げ加工を行った。曲げ方向は casting方向に 0° と 90° で行った。曲げ半径は R=2 と R=10 とした。金型を加熱した場合と常温の場合での加工性も調査した。

突起成形の模式図を図2に示す。絞りの実験条件を表2に示す。試験温度に対するパンチの押し込み量を調査した。試験片は板厚 1mm の熱間圧板を使用した。金型、試験片は所定の温度まで加熱し、球面パンチは冷却して試験を行った。

片側に溝付きロールを用いた熱間圧延により、突起を有する板の成形を試みた。ロールの溝形状と分布は、幅 1mm, 深さ 3mm の溝が 1mm 間隔である。圧延方向は casting方向と同方向とした。溝付きロール圧延の試験片は Al-25%Si 合金の castingまま材とした。

Fig.1 A vertical type twin roll

Table1 Experimental condition of casting		
Material	Al-25%Si, Al-25%Si+4%Mg	
Roll velocity[m/min]	20	
Molten metal temperature [°C]	740	
Roll	Initial load [kN]	30
	Initial gap[mm]	0.5
Solidification length[mm]		100

Fig.2 Apparatus to make bulge

Table2 Experimental condition of punch stretch forming	
Specimen temperature [°C]	300,400,450,500, 550
Punch radius[mm]	10
Extruding length [mm]	8
Diameter [mm]	25
Clearance [mm]	2.5

3. 実験結果

縦型双ロールキャスターを用いて、板厚 1.6mm の Al-25%Si 合金と板厚 2.0mm の Al-25%Si+4%Mg 合金薄板の連続的な作製は可能であった。作製した薄板を図 3 に示す。Al-25%Si 合金薄板の表面は金属光沢があり、窪みが観察された。Al-25%Si+4%Mg 合金の薄板表面では、板幅方向に両端で白い白濁が見られ、中央近傍では網目状の白濁であった。Mg を添加したアルミニウム合金でロールから離れる時の温度が比較的高い時に見られる現象である。網目は内部の偏析に起因する。Mg を添加した材料では、窪みは観察されなかった。これは、Mg を添加することで、内引け量が減少したことと凝固の完了の不均一性が板幅方向で増したためであると考えられる。Al-25%Si 合金薄板と Al-25%Si+4%Mg 合金薄板の鋳造まま材の内部組織を図 4 に示す。Al-25%Si 合金薄板の初晶 Si のサイズは 40~100 μm であった。Al-25%Si+4%Mg 合金薄板の初晶 Si のサイズは 40~60 μm であった。また、Al-25%Si 合金薄板の共晶 Si のサイズは 2~3 μm であり、双ロールキャスターの急冷効果により、微細、粒状化していた。

Fig.3 Surface of as cast strip (a) Al-25%
(b) Al-25%Si+4%Mg

Fig.4 Cross section of as cast strip (a) Al-25%Si
(b) Al-25%Si+4%Mg

鋳造まま材を 1 パスで板厚 1mm にすることが可能であった。圧延まま材の表面状態を図 5 に示す。圧延まま材の内部組織を図 6 に示す。圧延後の Al-25%Si 合金薄板の初晶 Si のサイズは 15 μm ~40 μm であった。圧延後の Al-25%Si+4%Mg 合金薄板の初晶 Si のサイズは 15~20 μm であった。

Fig.5 Surface conditions of as rolled strip (a) Al-25%Si
(b) Al-25%Si+4%Mg

Fig.6 Cross section of as rolled strip (a) Al-25%Si
(b) Al-25%Si+4%Mg

曲げ加工後の Al-25%Si 合金薄板を図 7 に示す。Al-25%Si+4%Mg 合金薄板を図 8 に示す。鋳造方向に 0° で曲げた時の方が割れにくく、Mg を添加した薄板は各温度を 450℃、金型の加熱、曲げ半径を 10mm にすることにより、90°曲げが可能であった。Al-25%Si 合金薄板は 550℃で絞りが可能であり、450℃では破断した。

Fig.7 90° bending, Al-25%Si (a) 0°, 550°C, R=2
(b) 90°, 550°C, R=2

Fig.8 90° bending, Al-25%Si+4%Mg (a) 0°, 450°C, R=10 (b) 90°, 450°C, R=10

Al-25%Si+4%Mg 合金薄板を Al-25%Si 合金薄板を 550℃で突起の成形を試みた結果を図 9 に示す. Al-25%Si+4%Mg 合金薄板は 450℃で絞りが可能であり, 550℃では破断した. Al-25%Si+4%Mg 合金薄板を 450℃で絞りを行った後の結果を図 10 に示す. 絞り温度によって成形性が異なっていた. Mg を添加したほうが板表面の肌荒れが無く良好であったが, これはマトリックスが Mg で強化されたためと考えられる. Al-25%Si+4%Mg 合金の 90° 曲げの Mg 添加量と加工温度と成形性の関係を図 11 に示す. Mg の添加量と絞り温度と成形性の関係を図 12 に示す.

溝ロールを用いて Al-25%Si 合金薄板の圧延は可能であった. 圧延後の薄板表面と内部組織を図 13 に示す. 溝ロールを用いて Al-25%Si 合金薄板の圧延は可能であった. 圧延後の板厚は, 凹部で 1.4mm, 凸部で 1.7mm であった. 圧下率はそれぞれ 25%と 9%であった. 凸部が平面でないのは圧下量が不足していたためだと考えられる.

Fig.9 Al-25%Si after drawing (a) Upper view (b) Side view

Fig.10 Al-25%Si+4%Mg after drawing, (a) Upper view (b) Side view

Fig.11 Relationship of 90° bending, Al-25%Si+4%Mg of Mg additive amount and forming temperature

Fig.12 Relationship of Mg additive and forming temperature

Fig.13 Al-25%Si as rolled strip using grooved roll (a) Surface condition (b) Cross section

4. 結 語

縦型双ロールキャスターを用いて作製した Al-25%Si 合金薄板と Al-25%Si+4%Mg 合金薄板を 1 回の 550°C 熱間圧延で板厚 1mm にすることが可能であった。90° 曲げ加工を行うことが可能であったが、曲げ方向によっては割れが発生した。Al-25%Si 合金薄板は 550°C、Al-25%Si+4%Mg 合金は 450°C でそれぞれ 8mm の突起の成形を行うことが可能であり、加工温度によって成形性が異なった。Al-25%Si 合金薄板に溝ロールを用いて割れなく溝加工することは可能であった。縦型双ロールキャスターを用いて作製した Al-25%Si と Al-25%Si+4%Mg 合金薄板は、圧延、90° 曲げ、絞り加工を行うことが可能であり、4%Mg を添加しても加工温度を適切にするとによって同程度の加工度にする事が可能であった。

文 献

- (1) 羽賀俊雄, "アルミニウム合金用双ロールキャスター", 軽金属, 第 59 巻第 9 号(2009), pp. 509-520.
- (2) T. Haga, T. Nakamura, S. Kumai, And H. Watari, "Roll casting of Al-SiC_p strip", *Materials Science Forum*, Vol. 675-677, (2011) pp.811-814.
- (3) T. Haga, H. Inui, H. Sakaguchi, H. Watari, S. Kumai, "High speed twin roll caster for aluminum alloy thin strip", *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, Vol. 24, (2007), pp. 365-371.
- (4) T. Haga, "Development of a twin roll caster for light metals", *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, Vol. 43, (2010), pp. 393-402.
- (5) 原田英人, 羽賀俊雄, "異径双ロールキャスターによる過共晶 Al-Si 合金板の作製", 日本機械学会論文集 A 編, 第 76 巻 766 号, (2010), pp. 688-689.
- (6) 原田英人, 中村寛紀, 羽賀俊雄, 渡利久規, "縦型双ロールキャスターによる Al-25%Si 合金板の作製", 日本機械学会論文集 A 編, 第 77 巻 779 号, (2011), pp. 1074-1077.
- (7) Haga, T., Takahashi, K., Ikawa, M., and Watari, H., "A vertical-type twin roll caster for aluminium alloy strip", *Journal of Materials Processing Technol*, Vol. 140, (2003), pp. 610-615.