特集 10
研究速報

過共晶 Al-Si 合金の半凝固処理材の製造

——せん断冷却ロール法による半凝固処理金属の製造－5——

Manufacturing of Semi-solid Hypereutectic Al-Si Alloys
——Manufacturing of Semi-solid Metals by SCR（Shear-Cooling Roll）Process－5——

杉山澄雄*・木内　学*・柳本　潤*・田辺明三*
Sumio SUGIYAMA, Manabu KIUCHI, Jun YANAGIMOTO and Akizo TANABE

1. はじめに

筆者らは，金属溶湯に半凝固化処理を施し，均一・微細かつ等軸結晶組織を有する金属素材を製造する技術に関する一連の研究を行っている．

既報では，せん断冷却ロール法（SCR 法）により，アルミ合金[1),2)]および鉄合金[4)]の半凝固処理材の製造を試み，処理材の外観性状・内部組織について示すとともに処理材の一軸圧縮試験[5)]・押出し加工試験[3)]を行い，その機械的特性ならびに二次加工特性について明らかにした．また，高速形の新SCR装置を製作し，(1)被加工材処理量の増加，(2)ロール回転速度すなわちせん断速度の高速化などを実現しつつ半凝固処理金属の製造を試みた結果[6)]について報告した．

本報では，特に過共晶 Al-Si 合金を素材に選び，新 SCR 装置による半凝固処理を行い，共晶 Si や初晶 Si などの晶出物の微細化と均一分散化の状況および処理材の機械的特性について調査した結果を示す．Al-Si 合金は，鋳込み時の流動性・充填性が良く，また，耐摩耗性に優れ，低熱膨張率であるために，鋳造あるいはダイカスト法により，各種シリンダ・ピストン用材料として多く使用されているが，共晶 Si や初晶 Si などの晶出物の大きさ・形状ならびにそれらの分布が製品の機械的特性に重要な影響をおよぼすことが一般によく知られている．そのため，粉末焼結法[7)]，攪拌合成法[8)]，Na 元素や P 元素の添加法[9)]など，晶出物の微細化や均一分散化を目的とした各種の研究がさかんに行われている．本報ではこれらの点の SCR 法の効果について検討した．

*東京大学生産技術研究所　第2部

2. 実験条件ならびに実験方法

a）被処理材

被処理材には，過共晶 Al-Si 合金の Al-20% Si 合金と Al-29% Si 合金を用いた．これらの合金は，純アルミ

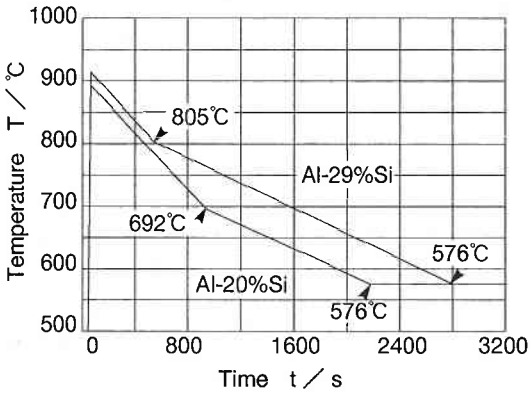


図1　Al-Si 合金の冷却曲線

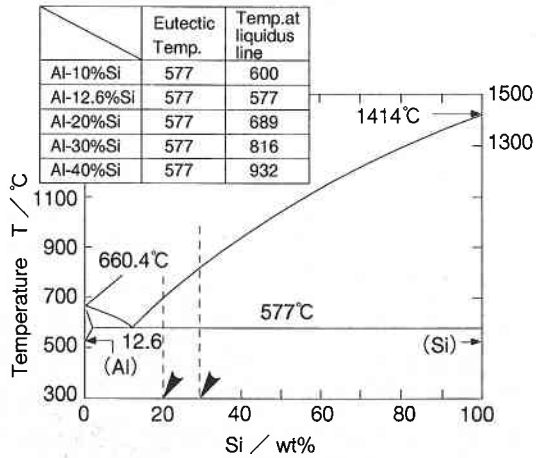


図2　Al-Si 合金の状態図

Roll dia. /mm	600	Rolling force /ton	max. 20
Roll width /mm	300	Roll material	S45C
Roll speed /rpm	0～324	Motor power /kw	37
Torque /kg·m	max. 100		

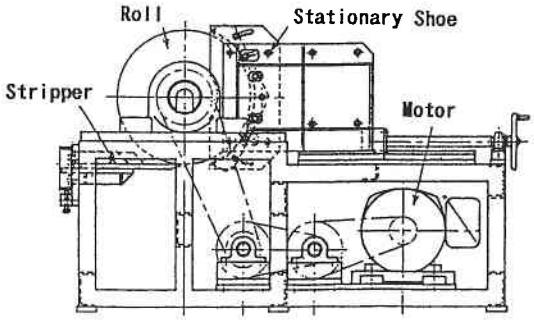
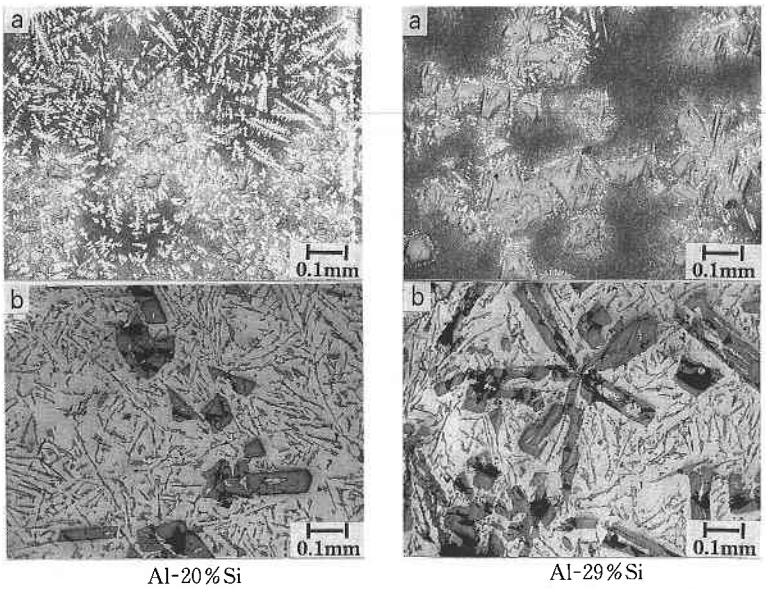


図3　新SCR装置の概要



Al-20%Si
a: Casting by quick cooling

Al-29%Si
b: Casting by slow cooling

図4　冷却速度が過共晶Al-Si合金の凝固組織におよぼす影響

A1070溶湯中に，99.0%純度の金属シリコンを混入溶解し作製した．図1には被処理材に用いた過共晶Al-Si合金の冷却曲線を，図2にはAl-Si系合金の状態図を示す．状態図から求めた代表的なAl-Si成分の固・液相線温度ならびに今回の実験に用いた成分を図中に記入する．

b）実験条件

実験（製造）条件因子としては，(1)溶湯温度，(2)工具（ロール・固定冷却シュー）の予熱温度，(3)ロールと固定冷却シューとで形成される間隙の形状寸法，(4)ロール回転速度が挙げられるが，今回の実験では，溶湯温度は各被処理材の融点より20～50°C高い温度とし，工具は予熱することなく室温で用いることとした．また，ロールと固定冷却シューとで形成する間隙は前報[6]と同様に，入口部が30mm・中央部が13mm・出口部が17mmになるように設定し，ロールの回転速度は，本機の最高速度である324rpmとした．

c）実験方法

実験方法は前報[6]と同様である．すなわち，被処理材の溶解には箱型坩堝（50×30×20cm）を使用し，溶湯が所定の温度に達した後坩堝を炉から取り出し，速やかにロールの上方まで移動させ，注湯は坩堝を傾斜させ，溶湯がロールと固定冷却シューから溢れ出ない程度の速さで行った．間隙を通過した処理材は，ロールの下方に設置した容器に収納し，大気中放冷により冷却した．実験条件の概要を表1に，また実験装置の概略を図3に示す．

表1　SCR実験条件一覧表

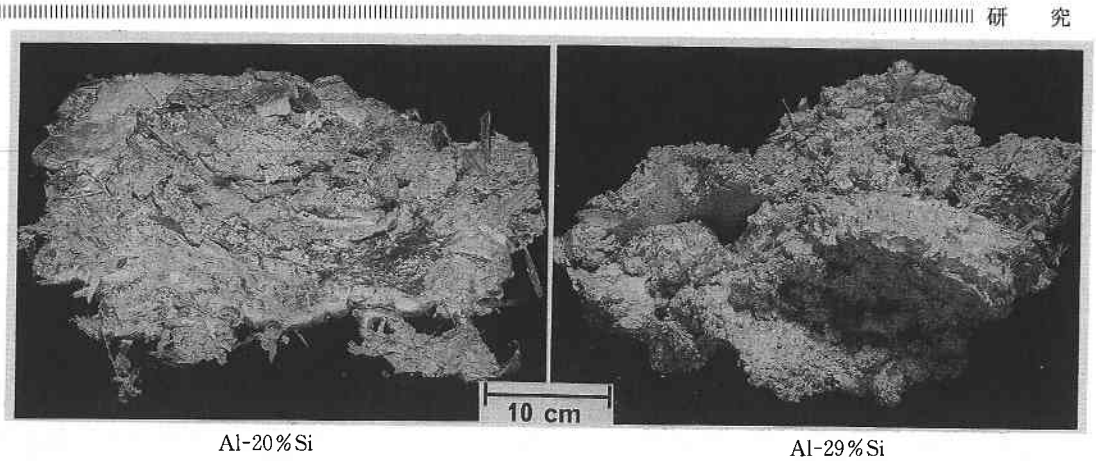
Spec. mat.	Melting point/°C	T/T_T	T_T/T_L	L/mm	R/rpm ($m \cdot s^{-1}$)
Al-20%Si	692	1.02～	0.03	13	324
Al-29%Si	805	1.07			(10.2)

T　：Temperature of supplied molten metal.
T_L　：Liquidus temperature of tested metals.
T_T　：Avarage temperature of roll and shoe surface.
L　：Gap between roll and shoe at intermediate position.
R　：Revolutioal speed of roll.

3. 実験結果ならびに考察

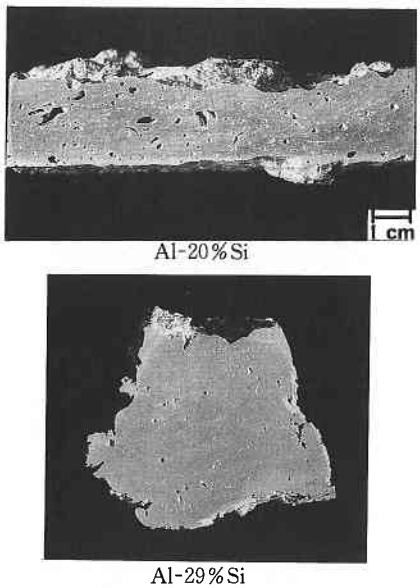
3.1　過共晶Al-Si合金の凝固組織

SCR処理材の内部組織と比較するために，被処理材と同一成分の過共晶Al-Si合金の凝固組織を図4に示す．図4(a)は急冷（水冷）凝固組織，図4(b)は徐冷（空冷）凝固組織である．Al-20% Si合金・Al-29% Si合金のいずれの場合も，図4(a)の急冷凝固組織においては，数十μm程度の初晶Siが塊状に晶出し，また急冷によるためと思われるが初晶のα固溶体が樹枝状に晶出し，それらの間をα+Siの共晶組成が埋めつくした内部組織となっているのに対し，図4(b)の徐冷凝固組織では，初晶Siは異方性をもちつつ一段と粗大化し，また共晶Siがα固溶体中に針状（偏平状）に晶出した内部組織となっていることがわかる．



Al-20%Si　　Al-29%Si

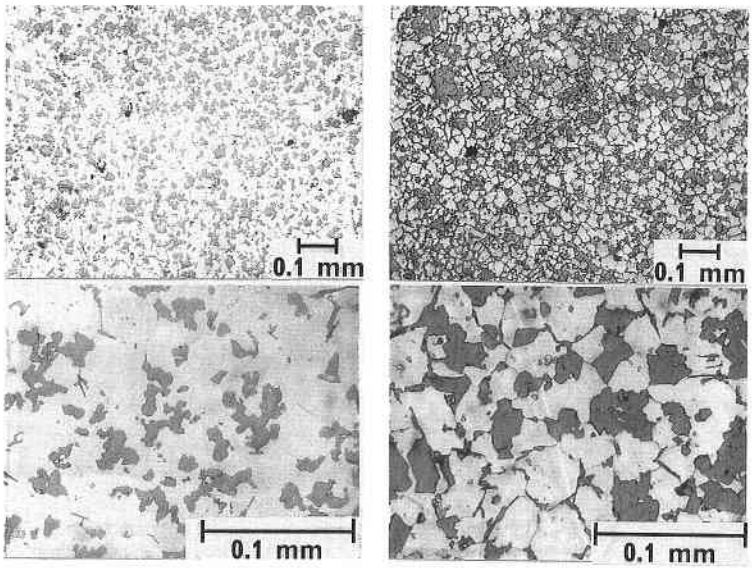
図5　SCR処理材の外観性状



Al-20%Si

Al-29%Si

図6　SCR処理材の内部状況



Al-20%Si　　Al-29%Si

図7　SCR処理材の内部組織

3.2　SCR処理材の外観性状ならびに内部組織

図5は，SCR処理材の外観性状を示す．図に示すような半凝固状（スラリー状）の一体化された処理材が得られた．ただし，実験開始時に若干の箔片状の処理材が得られるが，これは工具（ロール，固定冷却シュー）を予熱してないためであり，その後の工具温度の上昇とともに図に示すような処理材が定常的に得られた．これらの製品を縦横に切断し，その断面を目視により観察してみると，図6に示すような，空気の巻き込みによるものと思われる空隙が所々見られた．

図7はSCR処理材の内部組織を示す．図4（b）の徐冷凝固組織に見られるような粗大化した初晶SiはSCR処理材には見られず，大きさ数十μmの塊状（粒状）の初晶Siが均一に分散した内部組織となっていることがわかる．また，図4（a）の急冷凝固組織に見られる樹枝状に発達した初晶α固溶体もSCR処理材では見られず，α固溶体はほぼ等軸晶の集合体となっていることがわかる．

3.3　機械的特性

a）圧縮強度特性

SCR処理材の圧縮強度特性をみるために，同一材質の鋳造材の圧縮特性と比較しつつ一軸圧縮試験を行った．圧縮試験片は，排出されたままの処理材から旋盤にて削り出して作製した．圧縮試験は，カムプラストメータを用い，

表2　圧縮試験条件一覧表

Test piece	Spec. mat.	Al-29%Si
	Manufac. method	①Shearing/cooling roll －SCR ②Casting by quick cooling －CQC ③Casting by slow cooling －CSC
	Heat treatment	As cast
	Dimensions	Diameter：10mm, Height：15mm
Test temperature		Room temperature
Strain rate range		$0.5s^{-1}$
Lubricant		Grease
Testing machine		Cam-plastometer

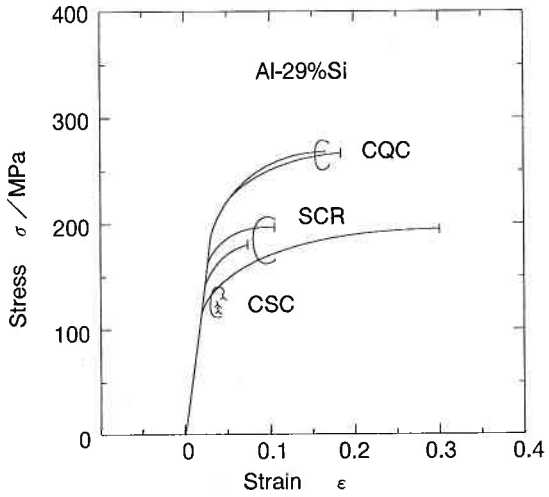


図8　Al-29% Si 合金の一軸圧縮試験における真応力－対数ひずみ線図

室温にて，圧縮ひずみ速度を約 $0.5s^{-1}$ で行った．その他，圧縮試験条件を表2にまとめて示す．図8は，Al-29% Si 合金の一軸圧縮試験から得られた真応力－対数ひずみ曲線を鋳造材のそれと比較して示す．結果として，(1)一軸圧縮強さは，急冷凝固材・SCR 処理材・徐冷凝固材の順に低くなっていること，(2)何れも予定していたひずみ量（約60%）以下でせん断破壊したが，徐冷凝固材が応力－ひずみ曲線の立ち上がり途中（5%程度のひずみ）で破壊しているのに対し，SCR 処理材は急冷凝固材と同じように，10%から30%のひずみまで圧縮可能であること，などが判明した．

b）硬さ特性

SCR 処理材の硬さ特性について，ロックウェル硬さ試験機の H スケールを用い，同一材質の鋳造材と比較しつつ検討した．図9にその結果を示す．SCR 材の硬さは，急冷凝固材・徐冷凝固材より低い値を示した．

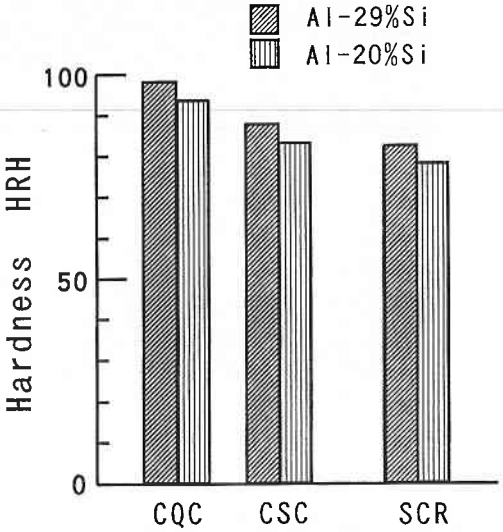


図9　硬さ試験結果

4. ま　と　め

せん断冷却ロール法（SCR 法）により，過共晶 Al-Si 合金を素材に選び，半凝固処理製造を行った．その結果，20～50μm の初晶 Si が均一に分散した一体材（バルク材）を製造することができた．SCR 処理材の機械的特性については，完全に空隙の無い試料で今後更に検討する必要があるが，急冷凝固材に近い圧縮特性を示し，急冷凝固材・徐冷凝固材より低い硬さを示した．

(1994年9月21日受理)

参　考　文　献

1) 木内　学・杉山澄雄：平3春塑加講論，(1991)，1.
2) 木内　学・杉山澄雄：平3春塑加講論，(1991)，5.
3) 杉山澄雄・木内　学・柳本　潤：43回塑加連講論，(1992)，165.
4) 杉山澄雄・木内　学・柳本　潤：平5春塑加講論，(1993)，269.
5) 杉山澄雄・木内　学・柳本　潤・田辺明三：44回塑加連講論，(1993)，667.
6) 杉山澄雄・木内　学・柳本　潤・田辺明三：平6春塑加講論，(1994)，443.
7) 市川　洌・岡崎義光・木下好司・石塚　哲：日本金属学会誌，55-7 (1991)，813.
8) 大参達也・中寺一也・工藤昌行：軽金属，42-3 (1992)，132.
9) 師岡利政・湯浅栄二・原　正雄・小林大介：軽金属，43-11 (1993)，606.