

鉄系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- 3—

Manufacturing of Semi-Solid Ferrous Alloys

—Manufacturing of Semi-Solid Metals by SCR (Shear-Cooling Roll) Process-3—

杉山 澄雄*・木内 学*・柳本 潤*

Sumio SUGIYAMA, Manabu KIUCHI and Jun YANAGIMOTO

1. はじめに

筆者らは、電磁攪拌法、機械攪拌法（レオキャスト法）などとは異なる半凝固処理金属の製造法として、せん断冷却ロール法（SCR 法）を新たに提案し、既報^{1), 2)}において、半田・アルミ合金などの低融点合金を対象に製造実験を行い、製造法の特徴・処理金属の特性などについて報告した。

本報では、鉄系合金などの高融点材料にまで適用対象を広げ、SCR 法による半凝固処理材の製造を試み、その特性について検討したので、結果を示す。

2. 実験条件ならびに実験方法

供試材としては、市販されている鉄系合金（片状黒鉛鑄鉄（FC30）・共晶黒鉛鑄鉄（FC20相当）・球状黒鉛鑄鉄（FCD40）・ステンレス鋼（SUS304）・炭素鋼（S45C））を用いた。SCR 装置は、アルミ合金を対象とする実験に使用したのと同じであり、鉄系合金用としての特別な変更は行っていない（図 1 参照）。ロール・固定冷却シューの予熱は、大口径・高出力のガスバーナー（ $\phi 100\text{mm}$ 、ガス消費量 9.0kg/h ）を数本用い、所定位置にセットした状態で加熱する方法を採用した。予

熱温度は、ロールならびに固定冷却シューの材質上の制約から 700°C 未満とした。溶湯温度は融点より若干高く（10%程度）し、ロールの回転速度は本装置の最高速度である 112rpm （ロール周速度 2.3m/s ）、ロールと固定冷却シューとの間隙は 5mm に設定した。実験条件をまとめて表 1 に示す。

実験手順は以下のとおりである。(1) 所定量（約 10kg ）の試料を黒鉛のつぼを用い、高周波炉で溶解する。(2) (1)と同時に、ロールと固定冷却シューをガスバーナーで予熱する。(3) 溶湯ならびにロール・固定冷却シューが所定の温度に達した後に、黒鉛のつぼを SCR 装置の上方へ移す。(4) りつぼを傾斜させ注湯する。(5) SCR 装置を通過し排出された半凝固処理材を、内面を断熱材（セラミックス綿）で被った容器に収納し、そのまま空冷する。

3. 実験結果ならびに考察

3.1 SCR 材の外観性状

図 2 は、ロール・固定冷却シューを予熱しない場合と、これらを約 650°C に予熱した場合との SCR 材（SCR 法により製造された半凝固処理金属）の凝固完了後の外観性状を各材料ごとに比較して示す。ロール・固定冷却

表 1 実験条件一覧表

供試材	融点/ $^{\circ}\text{C}$	T/T_L	T_T/T_L	L/mm	$R/\text{rpm} (\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$
FC30	1183	1.12	0.40	5	112(2.3)
FC20相当	1183	1.09	0.02-0.54	↑	↑
FCD40	1189	1.03-1.09	0.02-0.51	↑	↑
SUS304	1450	1.03-1.06	0.02-0.47	↑	↑
S45C	1495	1.02-1.03	0.02-0.47	↑	↑

T: 溶湯温度, T_L : 液相線温度, L: ロールと固定冷却シューとの間隙, T_T : 工具温度 (ロール温度と固定冷却シュー温度との平均値), R: ロール回転数

*東京大学生産技術研究所 第 2 部

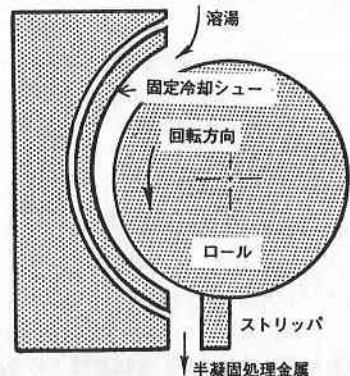
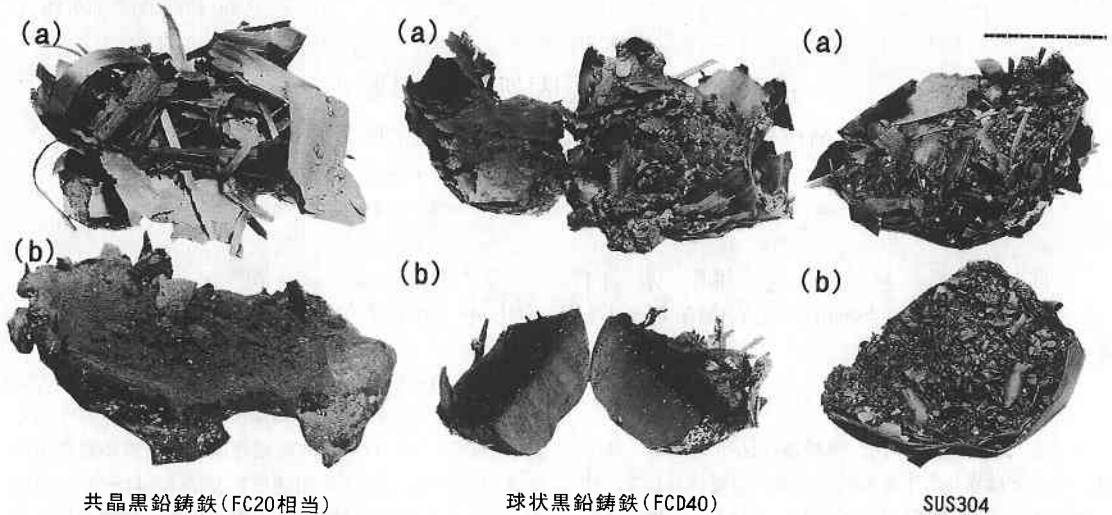


図 1 SCR 装置の概略

研究速報



共晶黒鉛鑄鉄(FC20相当)

球状黒鉛鑄鉄(FCD40)

SUS304

a:ロール・固定冷却シュを予熱しない場合、b:約650°Cに予熱した場合

図2 SCR材の外観



図3 SCR材製造前の母材の内部組織

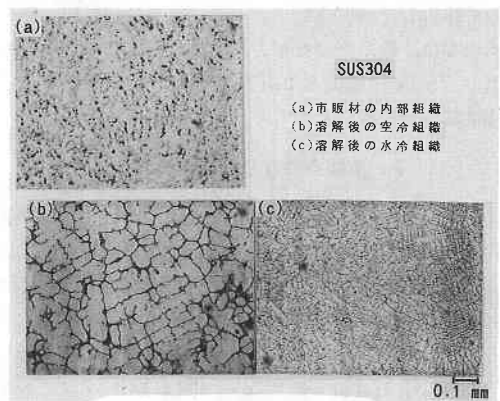


図4 SCR材製造前の母材の内部組織

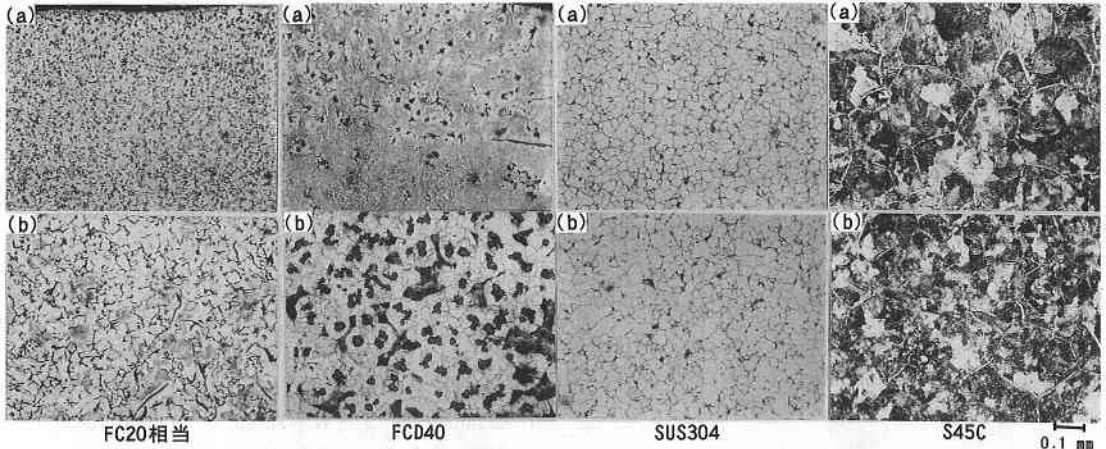
シュを予熱しない場合には、いずれの場合も箔片状のSCR材が得られた。一方、ロール・固定冷却シュを約650°Cに予熱した場合には、鑄鉄では低固相率スラリー状の、SUS304ではフレイク状またはチップ状のSCR材が得られた。なお、S45Cの場合には、過負荷のため予定していた溶湯全量を半凝固処理することができなかったが、一部排出されたSCR材の外観性状は箔片状であった。

3.2 SCR材の内部組織

図3・図4は、共晶黒鉛鑄鉄(FC20相当)ならびにステンレス鋼(SUS304)を例に取り、母材(SCR法により処理する以前の材料)の内部組織を示す。各図の(a)は市販材の内部組織、(b)は溶解後の空冷組織、(c)は溶解後の水冷組織である。同一材料でも、製造条件・冷却条

件の違いにより内部組織は異なる。ただし、溶湯を空冷または水冷した各図の(b)(c)では、いずれも樹枝状晶組織となっている点に注意されたい。

図5はSCR材の内部組織を示す。図から、ロール・固定冷却シュを予熱しない場合には、急冷され、微細な黒鉛(炭素成分)が析出し始めた組織となっていること(FC20相当、FCD40、S45C参照)、また微細な等軸晶組織となっていること(FC20相当、SUS304参照)がわかる。一方、ロール・固定冷却シュを約650°Cに予熱した場合には、鑄鉄(FC20相当・FCD40)では片状あるいは球状に黒鉛が析出した等軸晶組織となっていること、SUS304・S45Cでは、ロール・固定冷却シュを予熱しない場合と比べ内部組織の相違はあまり大きくないが、いずれも均一な等軸晶組織となっていることが



a: ロール・固定冷却シュートを予熱しない場合, b: 約650°C に予熱した場合

図5 SCR材の内部組織

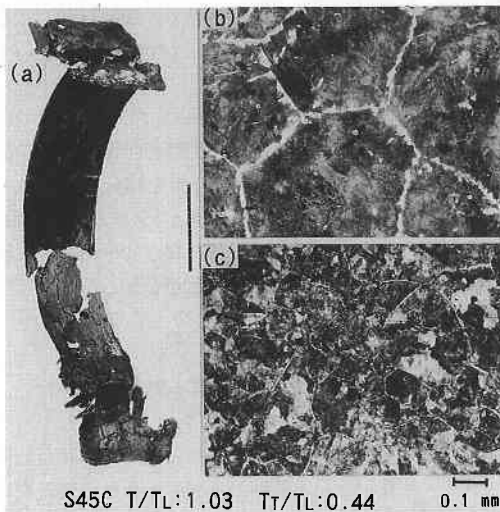


図6 SCR装置内の被処理材の流動状態(a), 入側付近に残留した溶湯の空冷組織(b), 排出されたSCR材の空冷組織(c)

わかる。

3.3 SCR装置内の被処理材の流動状態および内部組織

図6(a)はSCR法による処理に際して、ロールと固定冷却シュートの間隙および入側・出側付近に残留した被処理材(S45C)の外観を、図6(b)は入側付近に残留した溶湯の空冷後の内部組織を、図6(c)は箔片状に排出されたSCR材の内部組織を示す。なお、この場合の実験条件は、溶湯温度は1539°C、ロール・固定冷却シュートの予熱温度はそれぞれ約684°C・約640°C、排出直後のSCR材の温度は約750°Cであった。図6(a)に示すように、ロールと固定冷却シュートの間隙の中段位置から出側近傍にかけて被処理材の流動状態が大きく変化している

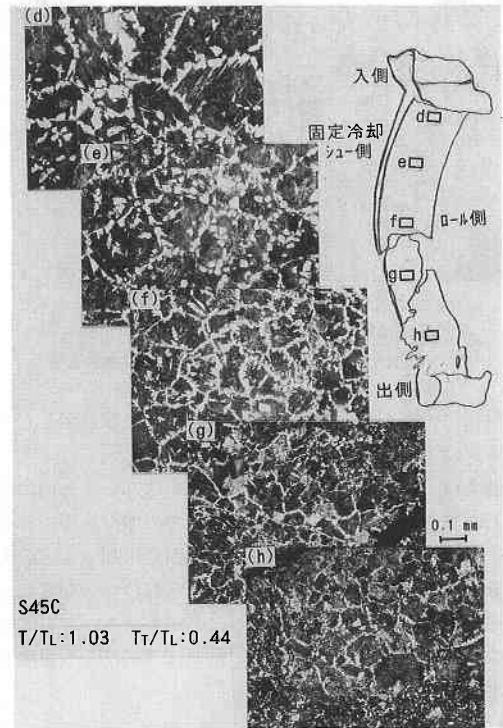


図7 SCR装置内の被処理材の内部組織

ことから、おおよそこの位置において凝固が完了したことがわかる。

SCR法では、ロールと固定冷却シュート間での被処理材の抜熱速度を比較的容易に制御することができることから、凝固完了位置についても適宜変化させることができる。また、凝固完了位置は、SCR材の外観性状・内

研 究 速 報

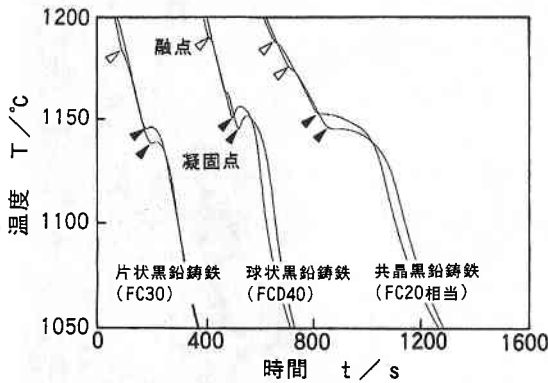


図8 SCR材および母材の冷却曲線

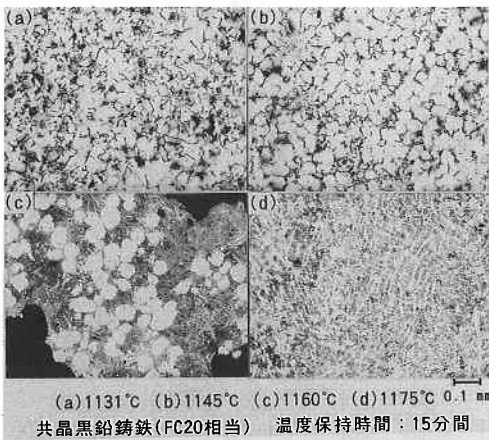


図9 SCR材の内部組織におよぼす加熱温度の影響

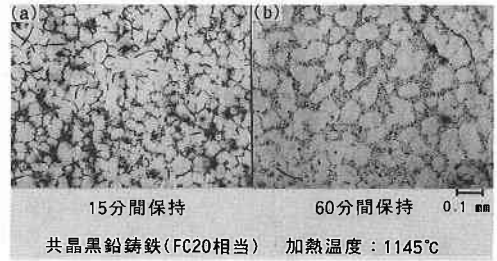


図10 SCR材の内部組織におよぼす保持時間の影響

部組織に大きな影響をおよぼすことが、既報に示したアルミ合金の実験結果から判明している。

図7は、図6に示したロールと固定冷却シュー内に残留した被処理材の、図中に示す箇所での空冷後の内部組織を示す。図から、溶湯がロールと固定冷却シューの間隙を通過する間に、せん断力を与えられつつ冷却され、組織が次第に細くなっていることがわかる。なお、写真の白地はフェライト組織を、黒地はパーライト組織を示す。

3.4 SCR材の熱的变化

図8は、片状黒鉛鑄鉄 (FC30)・球状黒鉛鑄鉄 (FCD40)・共晶黒鉛鑄鉄 (FC20相当) のSCR材の冷却曲線と、母材の冷却曲線とを対比して示す。図から、SCR材と母材の融点および凝固点は、±5°C程度 (1200°Cに対し1%以下) の範囲内にあり、両者はよい一致を示している。この結果はまた、SCR材の製造過程において、合金などの化学成分に変化がなかったこと

を意味している。

図9は、共晶黒鉛鑄鉄 (FC20相当) のSCR材の試片 (約5mm立方) をそれぞれ1131°C、1145°C、1160°C、1175°Cに再加熱し、その温度に15分間保持した後に水冷して得られた内部組織を比較して示す。固相線 (約1145°C) を越える温度に加熱すると、SCR材の内部組織が急激に変化してくることがわかる。図には示していないが、同様な傾向は球状黒鉛鑄鉄 (FCD40) についても見られる。

図10は、共晶黒鉛鑄鉄 (FC20相当) の、SCR材の内部組織におよぼす温度保持時間の影響を示す。図は、固相線上の1145°Cにおいて、保持時間を15分と60分とした場合の内部組織であり、保持時間が15分の場合は再結晶化の初期段階と考えられ、保持時間が60分の場合は再結晶化が相当程度進行していることがわかる。

4. ま と め

鉄系合金を対象としたSCRによる処理実験を行い、処理法の特徴・処理金属の特性等について検討した。その結果、(1)箔片状、高固相率スラリー状、流体状 (低固相率スラリー状) と、広範囲の半凝固処理材の製造が可能なこと、(2)ロールならびに固定冷却シューの予熱温度は、SCR材の外観ならびに内部組織に大きな影響をおよぼすこと、(3)SCR材の内部組織は、均一な等軸晶組織となること、(4)SCR材が固相線を越えて加熱保持された場合、再結晶化が進行してくること、などがわかった。これらの実験結果は、半田・アルミ合金などの低融点合金を対象とした実験結果とほぼ同じ傾向を示した。

なお、最後に、実験の協力を得た大学院生・福島傑浩君、大学院研究生・ビクトー・メンドーサ・デレガド君に謝意を表す。

(1993年4月22日受理)

参 考 文 献

- 1) 木内 学・杉山澄雄：平3春塾加講論，(1991)，1。
- 2) 木内 学・杉山澄雄：平3春塾加講論，(1991)，5。