

半溶融圧延に関する研究・第11報

—— 鑄鉄板の半溶融圧延・1 ——

Study on Rolling of Metals in Mashy-State・11th Report

—— Mashy-State Rolling of Cast-Iron・1 ——

木 内 学*・杉 山 澄 雄*

Manabu KIUCHI and Sumio SUGIYAMA

1. は じ め に

著者らは、(1)難加工材料の薄板化ならびにその内部組織の改良、(2)強度・耐摩耗性等の機械的特性が厚さ方向に傾斜分布する板状新素材の製造、などに大きな効果が期待される半溶融圧延の応用技術について研究を進めている。

既報¹⁾において、アルミニウム合金板材の半溶融圧延を行い、圧延条件と内部組織ならびに機械的特性について検討した結果を報告した。

本報では、各種鑄鉄素材の半溶融圧延を試み、圧延条件と製品の内部組織ならびに機械的特性(板厚方向の硬さ分布、引張り強度)について検討した結果を報告する。

2. 実験方法および条件

被圧延材は、片状黒鉛鑄鉄(FC-20とFC-30)、球状黒鉛鑄鉄(FCD-45)および共晶黒鉛鑄鉄などの代表的な鑄鉄である。鑄鉄素材は市販の製品を用い、これを所定の寸法に切断し本実験の供試材とした。各鑄鉄素材の化学成分、熱分析によって求めた固相線(共晶)温度ならびに被圧延材の寸法を表1にまとめて示す。

圧延条件としては、圧延温度に注目し、熱間域から半溶融域までの種々の温度で圧延を行った。ロールクリアランスは被圧延材の元板厚に対応させ、0~1.5mm(リダクション40~80%)の範囲で変化させた。その他、ロール表面温度は室温であり、ロール表面は常に清浄に保ち、無潤滑の状態で圧延を行った。

実験方法の概要を図1に示す。被圧延材の加熱は、黒鉛ブロックを利用し、アルゴンガス雰囲気中で行った。圧延は、被圧延材を所定の温度に加熱後5~10分間保持し、その後、回転中のロール間に挿入し圧延する方法により行った。加熱炉から黒鉛ブロックを取り出し、圧延が終了するまでの時間は約10秒である。温度測定はアルミナ管で保護されたK熱電対を用い、図1に示すように、被圧延材に接触させて行った。2本の熱電対の温度差は、1100℃に対して、約5℃以内であった。圧延された製品

*東京大学生産技術研究所 第2部

表1 実験条件一覧表

被圧延材の材質・寸法等

	C	Si	Mn	P	S	固相線温度 (共晶)
片状黒鉛鑄鉄 FC-20	3.60	2.91	0.30	0.125	0.023	約1145℃
FC-30	3.06	3.51	0.50	0.169	0.013	約1150℃
共晶黒鉛鑄鉄	3.35 3.70	2.85 3.35	0.20 0.60	0.25 ≧	0.08 ≧	約1138℃
球状黒鉛鑄鉄 FCD-45	3.63	3.04	0.15	0.035	0.007	約1115℃
1~5t×約40W×約120L mm						

圧延条件

圧延温度	T/℃	1000~1200
圧延圧下率	r/%	40~80
圧延速度	v/m・s ⁻¹	約1
ロール直径	/mm	250
潤滑		無

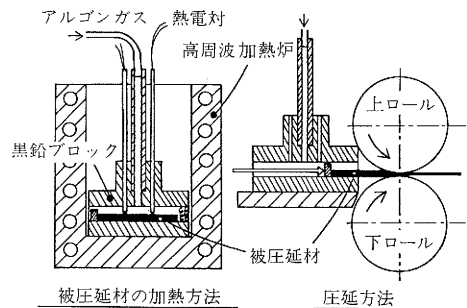


図1 鑄鉄の半溶融圧延実験の概要

は、直ちに水中に投げ、圧延直後の内部組織の凍結をはかった。

3. 実験結果および考察

今回の半溶融圧延実験によって製造された製品の外觀の一例を図2に示す。圧延温度が高くなるほど、圧延時

研 究 速 報

の幅広がり変形や縁割れが目立ってくるが、以下の内部組織および機械的特性は、板幅中心付近の正常部分について検討した結果である。

3.1 内部組織の検討

(1) 鑄鉄素材（市販材）の内部組織

図3には、供試材として用いた市販の各鑄鉄素材の内部組織を示す。図3(a)、(b)、(c)はそれぞれ、FC-20、FC-30ならびに共晶黒鉛鑄鉄の場合である。これらの内部組織はいずれも、樹枝状の初晶オーステナイトの間が、片状黒鉛と共晶オーステナイトで埋められた組織となっている。図3(d)はFCD-45の内部組織を示す。フェライトの基地に、直径10~30 μ mの球状化した黒鉛がほぼ均一に分散した組織となっている。

(2) 半溶融状態の内部組織

図4は、鑄鉄素材の薄片を用い、液相成分と固相成分が共存している半溶融状態をつくり、その後急冷し組織を凍結させた際の観察結果を示す。図4(a)(b)(c)のFC-20、FC-30、ならびに共晶黒鉛鑄鉄の凍結組織から、図3で見られる樹枝状晶は、枝部から分離し、それらが丸みをおびてきていることなどが観察できる。図4(d)のFCD-45の凍結組織から、液相成分は結晶粒界に偏在していることがわかる。

(3) 半溶融圧延後の製品の内部組織

図5は、共晶黒鉛鑄鉄の圧延温度が製品の内部組織に

FCD-45, 圧延温度 $T=1117^{\circ}\text{C}$

図2 半溶融圧延後の鑄鉄製品の外観

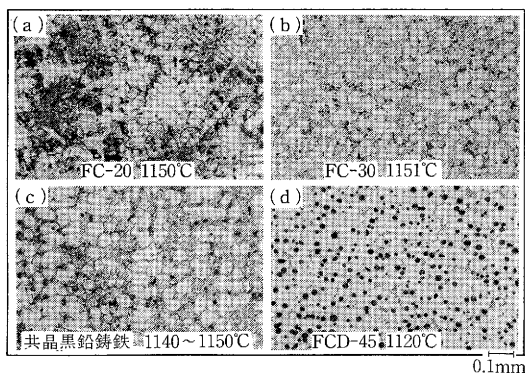


図4 鑄鉄の半溶融状態の内部組織(半溶融状態から水中に投じ作製する)

及ぼす影響を示す。ただし、製品は圧延後直ちに水中に投じ組織を凍結してある。図5(a)は熱間圧延、(b)は共晶温度近傍での圧延、(c)は半溶融圧延の製品の内部組織を示す。図から、熱間圧延の製品では、樹枝状晶組織がそのままの形で圧延され、圧延方向に延伸された組織となっていること、共晶温度近傍の圧延製品では、樹枝状晶組織が消え、個々の結晶粒子が丸みをおびてきていること、半溶融圧延製品では、表層部は白鑄鉄（セメントタイトとパーライトの混合組織）化し、板厚中心付近はまだら鑄鉄（セメントタイト、パーライト、黒鉛の混合組織）化して、板厚方向に見て、特異な内部組織となっていること、などがわかる。

図6は、FCD-45の圧延温度が製品の内部組織に及ぼす影響を示す。図6(a)の熱間圧延では、黒鉛が、板厚中心付近から表層部にかけて、圧延方向に延伸され、偏平化してきている。図6(b)(c)の半溶融圧延では、表層部に黒鉛が集積してきていること、ならびに表層部に液相成分が表れてそれが白鑄鉄化してきている。

図7は、FC-20、FC-30の半溶融圧延後の製品の内部組織を示す。この場合も図5に示す結果と同様に、結晶粒

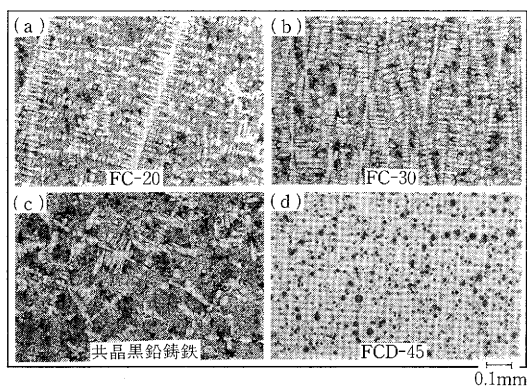


図3 被圧延材に用いた鑄鉄（市販材）の内部組織

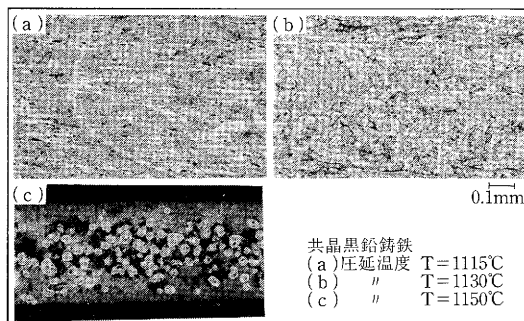


図5 共晶黒鉛鑄鉄の内部組織に及ぼす圧延温度の影響

研 究 速 報

は丸みをおび、表層部には液相成分が集積し、白鑄鉄化していることが指摘できる。

図8は、上述の実験結果をもとに、半溶融圧延による被圧延材内部の液相成分の流動および固相成分の変形について模式的に示したものである。図では、ロールバイト内に進入してきた半溶融状態にある被圧延材の、ロール表面に接した部分は急激に冷却され凝固するが、板厚中心付近は、依然、固相成分と液相成分が共存した状態にある。圧延の進行にともなう、液相成分の一部は上流側の表層部あるいは板側面部に押し出され、固相成分は板厚中心付近に集積していく傾向がある。ただし、表層部に押し出された液相成分もロールにより冷却され凝固して、順次ロールギャップ内にひきこまれ圧延される。さらに、圧延が進むと、全体的に冷却され、凝固が進行し、固相成分と液相成分が凝固した相とが一体となって圧延され、製品となる。

(4) (半溶融圧延→高温焼きなまし) 後の製品の内部組織

図9は、共晶黒鉛鑄鉄の圧延製品を、900°C、1時間、

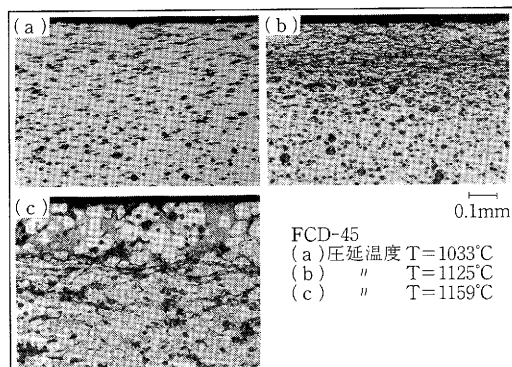


図6 球状黒鉛鑄鉄の内部組織に及ぼす圧延温度の影響

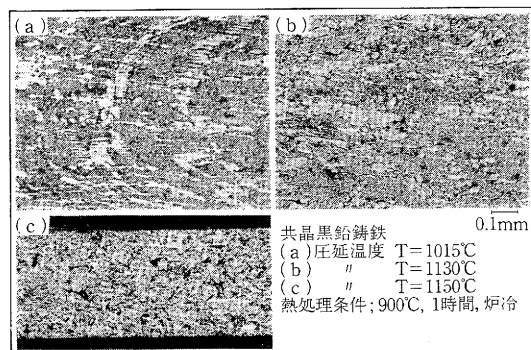


図9 (半溶融圧延→焼きなまし) 後の共晶黒鉛鑄鉄製品の内部組織

炉冷の条件で高温焼きなましした後の内部組織を示す。図9(c)の半溶融圧延材では、焼きなましによって、断面全体はねずみ鑄鉄（パーライトと黒鉛の混合組織）あるいはフェライト鑄鉄（フェライトと黒鉛の混合組織）になっている。図9(a)の熱間圧延した製品の内部組織は、高温焼きなましを行っても局所的に見ると樹枝状晶が依然存在し、図5(a)と比べ、大きな組織の変化は見られない。それに対し、図9(c)の半溶融圧延後の製品の内部組織は、図5(c)と比べ、大きく変化している。すなわち、樹枝状晶組織が消失していること、黒鉛が塊状に析出してきていることが観察される。

図10は、同様に球状黒鉛鑄鉄の半溶融圧延製品を900°C、1時間、炉冷の条件で高温焼きなましした後の内部組織を示す。全体的にはフェライト鑄鉄となるが、局所的に見ると、表層部の元の液相部分に、数μmの黒鉛が析出してきていることなどがわかる。

3.2 製品の機械的特性

(1) 板厚方向の硬さ分布

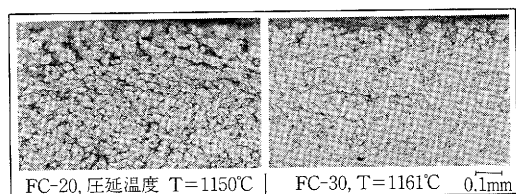


図7 片状黒鉛鑄鉄の半溶融圧延後の内部組織

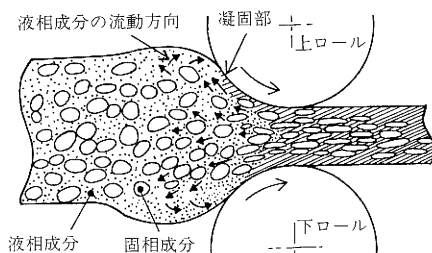


図8 半溶融圧延による被圧延材内部の変形挙動

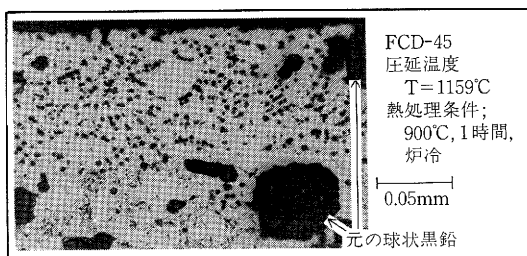


図10 (半溶融圧延→焼きなまし) 後の球状黒鉛鑄鉄製品の内部組織

研 究 速 報

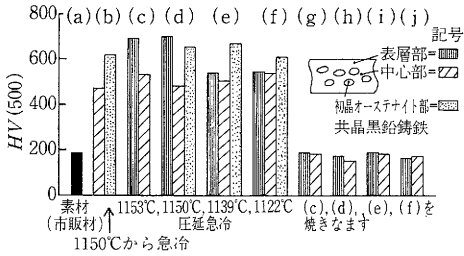


図11 共晶黒鉛鑄鉄製品の板厚方向の硬さ分布

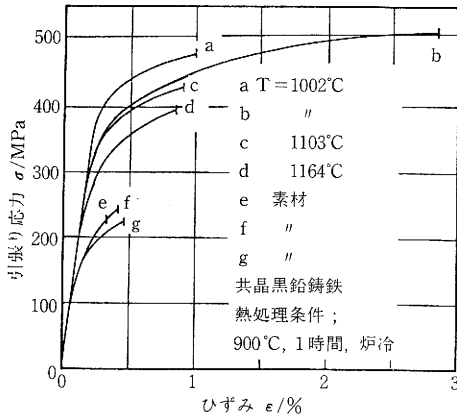


図12 共晶黒鉛鑄鉄製品の応力-ひずみ曲線

図11は共晶黒鉛鑄鉄製品の板厚方向の硬さ分布を示す。図11(a)は市販材、(b)は薄片を半溶融状態から急冷した場合、(c)～(f)は、圧延後直ちに水中に投じ急冷した場合、(g)～(h)は(c)～(d)の製品を高温焼きなましした場合、の硬さを示す。硬さ試験は、ピッカース硬さ試験機を用い、500gfの重錘を使用し行った。試験結果は、板厚の表層部、中心部、球状化した結晶部分の3ヶ所について5～6点測定し、それぞれ平均値で表してある。図から、(1)急冷することで硬さが $HV=450\sim700$ と著しく高くなること((b),(c),(d),(e),(f)参照)、(2)半溶融圧延では表層部の硬さが中心部より2～3割高くなり、熱間圧延では表層部と中心部の硬さの差はわずかであること((c),(d)と(e),(f)参照)、(3)初晶オーステナイト部の硬さは、半溶融圧延、熱間圧延を問わず $HV=600\sim700$ と高い値となっていること((b),(c),(d),(f)参照)、(4)製品を高温熱処理することによって、表層部と中心部の硬さの差は半溶融圧延製品においても小さくなってきていること((g),(b),(i),(j)参照)、などがわかる。

(2) 引張り強度特性

図12は、高温焼きなまし後の共晶黒鉛鑄鉄製品に対し

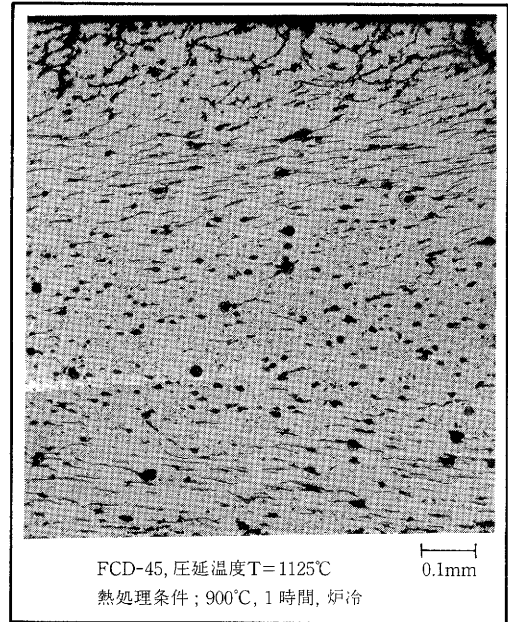


図13 黒鉛の分散・形状・寸法が板厚方向に段階的に変化した鑄鉄薄板製品の一例

引張り試験を行い、得られた応力 σ -ひずみ ϵ 曲線を示す。図から、市販材の引張り強さ σ_B は200～250MPa、破断ひずみ ϵ_B は0.3～0.5%、半溶融圧延製品の σ_B は350～400MPa、 ϵ_B は0.3～0.9%、熱間圧延製品の σ_B は400～500MPa、 ϵ_B は0.6～2.8%、となり、圧延することによって引張り強さ、伸びとも向上することがいえる。

4. ま と め

半溶融圧延に関する研究の一環として、鑄鉄の半溶融圧延を行い、薄板化の可能性ならびに製品の内部組織の特徴について検討した。その結果、固相成分と液相成分の変形・流動の特性ならびに冷却条件あるいは熱処理条件を有効に組み合わせることによって、例えば、板厚中心付近はじん性に富む球状黒鉛鑄鉄、表層部は耐磨耗性の良い片状黒鉛鑄鉄より構成される板材を製造しうること、黒鉛の形状・寸法・分散を板厚方向に制御し傾斜機能を持つ製品の製造が可能であること、などを示した(図13参照)。その他、半溶融圧延により、鑄鉄の内部組織の大幅な変更、すなわち、(1)微細化、(2)繊維化、(3)均質化などの実現について、有用な知見を示した。

(1989年6月5日受理)

参 考 文 献

- 1) 木内ほか：昭59春塑加講論、(1984)、187。