

鑄鉄の半溶融鍛造・2

Mashy-state Forging of Cast-iron・2

木内 学*・杉山 澄雄*・新井 勝男*

Manabu KIUCHI, Sumio SUGIYAMA and Masao ARAI

1. はじめに

筆者らは、鑄鉄・各種合金あるいは金属—セラミックス系複合材料(FRM, PRM)などの難加工材の成形および機能向上に大きな効果が期待される半溶融加工技術の応用について研究を進めている。

前報¹⁾においては、鑄鉄の角柱ピレットを円板状にすえ込む密閉型半溶融鍛造を試み、その際の加工条件と製品性状(外面性状, 内部組織, 硬さ分布)について調査し、従来困難と考えられてきた鑄鉄の鍛造加工の可能性を示すとともに、加工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り、新しい機能を有する鑄鉄製品の製造が可能であることを示した。

本報では、鑄鉄の半溶融鍛造における供試材の材質(黒鉛形状), ピレット形状, 金型温度(予熱の有無)と製品性状(外面性状, 内部組織, 硬さ分布)について調査し、また、その応用例として、異なる機能をもつ二種類の鑄鉄を接合した複合部材の製造を試みた結果を報告する。

2. 実験方法および条件

供試材としては、摺動特性・制振性に優れたA形片状黒鉛鑄鉄(FC-10)および高い強度を有する球状黒鉛鑄鉄(FCD-45)を用いた。なお、球状黒鉛鑄鉄としては市販の鑄鉄を、片状黒鉛鑄鉄としては高周波溶解炉で成分調整を行った後砂型に鑄込んだ鑄鉄を用いた。これを所定の寸法に加工し、供試材とした。供試材の特性・ピレット寸法を表1に示す。

実験条件は表2に示すが、製品性状に最も影響を及ぼす鍛造温度については、熱間域から半溶融域までの種々の温度で実験を行った。実験は、円柱ピレットを円板状にすえ込む密閉鍛造を対象とし、ピレットの寸法はアスペクト比の異なる3種類、金型の内径(製品の円板外径)はφ40mm、金型温度は室温と予熱300°Cを選定した。

実験方法の概要を図1に示す。ピレットの加熱は、大

*東京大学生産技術研究所 第2部

表1 供試材の特性・ピレット寸法

	T.C	Si	Mn	P	S	Mg	共晶温度
片状黒鉛鑄鉄(FC-10)	3.53	2.39	0.54	0.157	0.051	—	約1143°C
球状黒鉛鑄鉄(FCD-45)	3.43	3.04	0.19	0.034	0.007	0.038	約1138°C
ピレット寸法(mm)	d_o (外径)× h_o (高さ)=φ25×35, φ28×28, φ31×23						

表2 実験条件

ピレット温度	$T_B/°C$	1000~1180
鍛造圧力	P/MPa	760
保持時間	t/s	30
金型温度	$T_D/°C$	室温, 300
金型内径	D_i /mm	40
プレス		油圧プレス 最大100ton 速度約8mm/s

気中で高周波誘導加熱炉(炉内寸法φ50×80mm)により行った。鍛造時のピレット設定位置を一定にするために、ピレット径よりも2mm大きい径の溝(深さ2mm)がついた下パンチ(3種類)を使用した。温度はK熱電対を用い、ピレット中心(重心)位置での温度を測定し、その温度を代表値とした。ピレット各部の温度分布の測定例を図2に示す。目標鍛造温度1140°Cの場合のピレットの温度分布は、中心より下方は目標値+20°C以内であるが、上方表層部は中心より約150°C低い温度になっており、この場合、ピレットは均一な半溶融状態ではなく、上方表層部は熱間域にあり、中心より下方が半溶融状態になっていることがわかる。鍛造には100ton油圧プレスをを用い鍛造圧力は760MPa一定とし、成形後約30秒間加圧保持した。

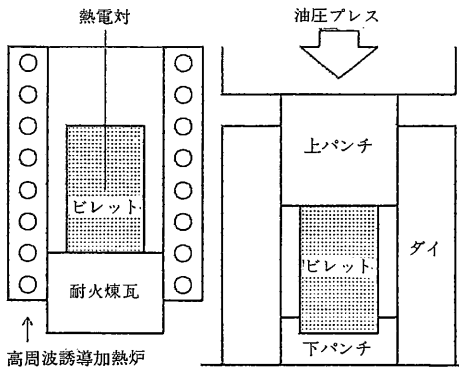


図1 実験の概要

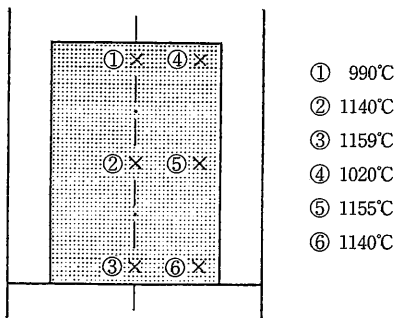


図2 ビレット各部の温度分析

3. 実験結果および考察

3.1 外面性状の検討

図3は、FC-10とFCD-45について、製品の外面性状におよぼす鍛造温度の影響の一例を示す。熱間鍛造では、いずれの鉄も良好な製品とならず、FC-10では表面に割れが発生しており、FCD-45では未充填部が残っている。これに対し、半溶融鍛造では、液相成分の存在によりビレットの変形・流動が促進され、また液相成分が外周部に流出するため、所定の形状を有する製品となっている。ただし、1140°Cの場合、液相成分の量が不十分なため、一部に割れが発生している。

図4、製品の外面性状におよぼすビレット寸法の影響の一例を示す。ビレット径が小さいほど、変形量が大きく、また、外周部に流出する液相成分を多く必要とするため、割れが発生しやすい傾向がある。

図5は、半溶融鍛造におけるビレットの変形過程を示す。金型内のビレット上下表面は、パンチに接触すると温度が下がり、液相成分が凝固するが、ビレット中央部は液相成分が保持される。その状態で加圧されると、中央部より液相成分が外周部に流出する。この時、外周部

FC-10, $T_b=1000^\circ\text{C}$ $T_b=1180^\circ\text{C}$ FCD-45, $T_b=1000^\circ\text{C}$ $T_b=1160^\circ\text{C}$

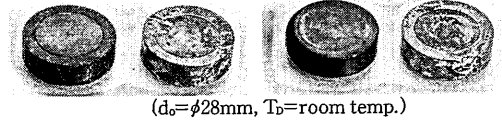


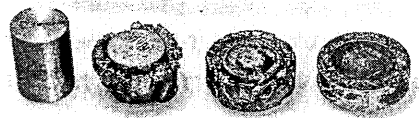
図3 製品外面性状におよぼす鍛造温度の影響

$d_0=\phi 25\text{mm}$ $d_0=\phi 28\text{mm}$ $d_0=\phi 31\text{mm}$



(FC-10, $T_b=1140^\circ\text{C}$, $T_d=300^\circ\text{C}$)

図4 製品外面性状におよぼすビレット寸法の影響



(FC-10, $d_0=\phi 25\text{mm}$, $T_b=1180^\circ\text{C}$, $T_d=\text{room temp.}$)

図5 半溶融鍛造におけるビレットの変形過程

を充分充填するだけの液相成分が存在すれば、製品は所定の形状を有するとともに、割れも発生しないが、上記1140°Cの場合のように液相成分の量が不十分だと、割れが発生する。

3.2 内部組織の検討

3.2.1 マクロ組織

図6は、マクロ組織におよぼすビレット寸法の影響を示す。ビレット径が小さく圧下率が大きいと、液相成分の流出が多く、割れが発生しやすい。

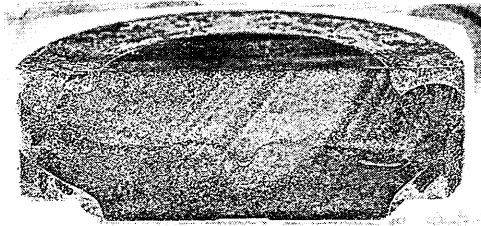
図7は、マクロ組織におよぼす金型温度(予熱)の影響を示す。金型温度が低い(予熱なし)と、液相凝固部と固相部との境界に割れが発生しやすい。これは、金型予熱なしでは、液相の冷却速度が非常に速いことに起因していると考えられる。

3.2.2 ミクロ組織

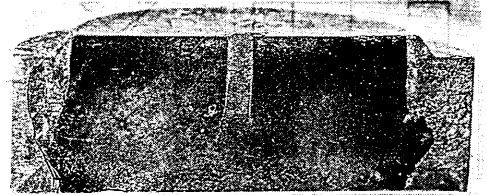
図8, 9は、FC-10, FCD-45の熱間鍛造(金型予熱なし)、半溶融鍛造(金型予熱なしとあり)、および半溶融鍛造(金型予熱あり)+高温焼きなまし、後の製品縦断面の中央部と周辺部のミクロ組織を示す。熱間鍛造品の中央部の組織は、塑性変形のため偏平化している。周辺部は大きな変形はせず、ほぼ素材のままの組織である。半溶融鍛造(金型予熱なし)品の中央部の組織は、ほぼ素材に近い組織であるが、一部、黒鉛が微細化しており、

研究速報

$d_0 = \phi 25\text{mm}$



$T_b = \text{room temp.}$

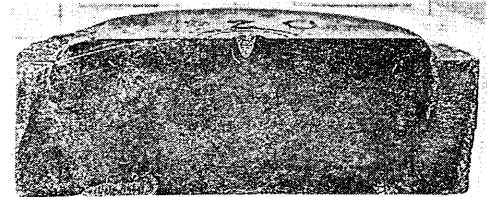


$d_0 = \phi 31\text{mm}$



(FCD-45, $T_b = 1160^\circ\text{C}$, $T_D = \text{room temp.}$)

$T_b = 300^\circ\text{C}$



(FCD-45, $d_0 = \phi 25\text{mm}$, $T_b = 1160^\circ\text{C}$)

図6 マクロ組織におよぼすピレット寸法の影響

図7 マクロ組織におよぼす金型温度の影響

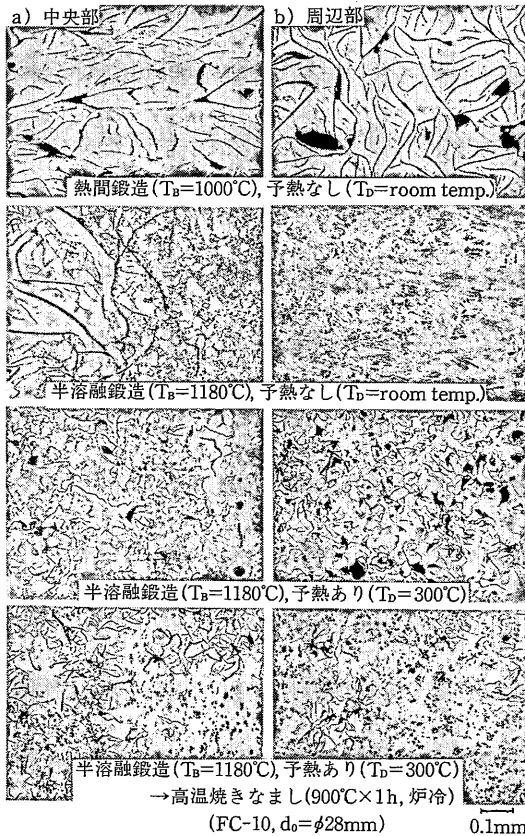


図8 片状黒鉛鑄鉄のマイクロ組織

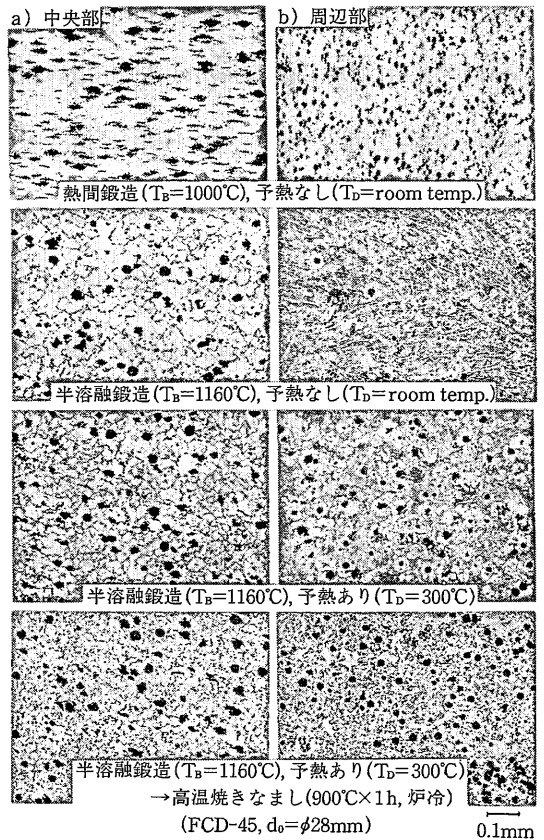


図9 球状黒鉛鑄鉄のマイクロ組織

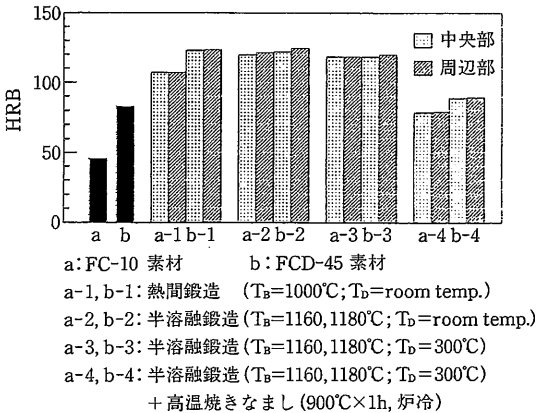


図10 製品中央部と周辺部の硬さ分布

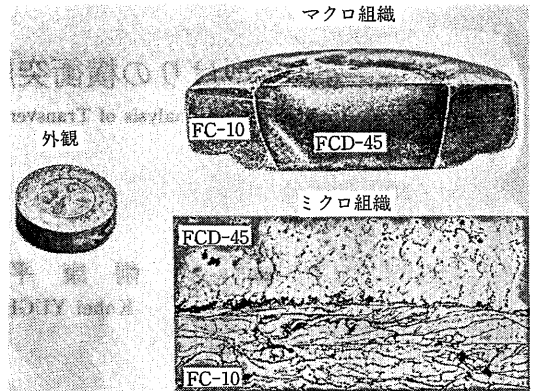


図12 半溶融鍛造の応用例 (FC-10とFCD-45の接合部材)

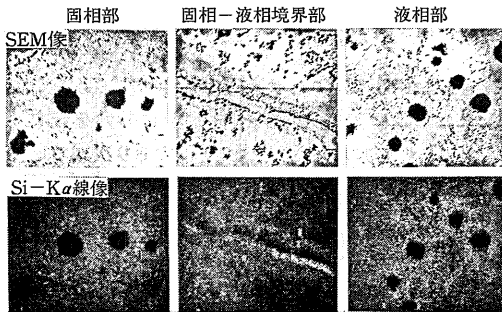


図11 半溶融鍛造品の成分分析例 (FCD-45, $T_b=1160^{\circ}\text{C}$, $T_D=300^{\circ}\text{C}$, 熱処理後)

液相が凝固した組織と思われる。周辺部は、液相成分が急冷凝固したため白銲(チル)化し、セメントライトが多量に存在している。半溶融鍛造(金型予熱あり)品の中央部は、予熱なし品とほぼ同じ組織であるが、周辺部は予熱なし品よりセメントライトがかなり少ない。半溶融鍛造(金型予熱あり)+高温焼きなまし品の中央部は、素材の時から存在していた大きな黒鉛と、一部、セメントライトが固溶、再析出した微細黒鉛が混在する。周辺部は、熱処理前に存在していたセメントライトが消失し、この微細黒鉛が多量に存在している。

3.3 製品の硬さ分布

図10は、各条件での製品中央部と周辺部の硬さ(ロックウェルBスケール)分布を示す。a, bは、素材の硬さを参考のために記す。熱間鍛造品では、中央部と周辺部の硬さの相違はほとんどない。半溶融鍛造(熱処理前)品では、いずれの条件でも周辺部の硬さは中央部に比べ数パーセント高くなっている。予熱なしの場合に、その傾向はより強い。またFC-10の素材の硬さは、FCD-45の

素材よりかなり低いのに、FC-10の半溶融鍛造品の硬さは、FCD-45とほぼ同じになっている。これは、液相成分が生じたことによって、セメントライトが析出したことと、黒鉛が微細化したことによるものと考えられる。半溶融鍛造+高温焼きなまし品の硬さは、熱処理によってかなり低くなり、中央部と周辺部の相違もほとんどなくなっている。

3.4 成分分析

図11は、半溶融鍛造品のX線マイクロアナライザーによる成分分析の一例を示す。固相部および液相部は、成分の偏析はほとんどないが、固相と液相の境界部は熱処理後においても、偏析がやや存在している。

3.5 半溶融鍛造の応用例

図12は、半溶融鍛造の応用例としてFC-10とFCD-45の接合による複合部材の製造を行った結果を示す。接合界面に、一部接合不十分な部分はあるものの、おおむね良好に接合されている。

4. ま と め

半溶融状態の特性を利用して、従来困難と考えられていた鑄鉄の鍛造の可能性を示すとともに、供試材質、鍛造条件、ピレット形状、熱処理条件などを有効に組み合わせることにより、表層部と中央部で異なる機能を有する鑄鉄製品の製造や、異なる機能を有する二種類の鑄鉄を接合した複合部材の製造が可能であることを示した。

(1990年4月27日受理)

参 考 文 献

1) 木内 学・杉山澄雄：40回塑加連講論。(1989), 631.