

Cr、Mn 量を変化させた球状黒鉛鑄鉄チル試験片 のチル面積率と硬さとの関係*

池 浩之**、高川 貫仁**、岩清水 康二**

チル検査用非破壊測定装置開発のため、Cr を 0.1~0.3mass%、Mn を 0.7~1.7mass% と変化させた球状黒鉛鑄鉄チル試験片を作製した。この試験片についてチル面積率と硬さを調べた。この時の試験片形状は階段状とした。その結果、Mn が多くなるとチル面積率は増加する傾向にあった。しかし Cr を増加させた場合、チル面積率は、試験片の厚みによりばらつくことが分かった。また、得られた試験片を用いて、チル面積率とブリネル硬さとの相関関係を求めた。

キーワード：チル試験片、球状黒鉛鑄鉄、チル面積率、硬さ

Relation between Chill Area Rate and Hardness of Ductile Cast Iron Chill Test Specimen with Varying Contents of Cr and Mn

IKE Hiroyuki, TAKAGAWA Takahito, IWASHIMIZU Kouji

In order to develop a non-destructive tester of chill in cast iron, test specimens chilled iron casting with varying contents of Cr and Mn. Cr contents was varied in the range of 0.1-0.3mass%, Mn was 0.7-1.7mass%. The test specimens had stairs shape, Chill area rate and hardness of the specimens were investigated. As a result, the chill area rate showed the tendency to increase when the content of Mn increased. However, the chill area rate varied by the thickness of the test specimen when the content of Cr was increased. Moreover, the correlation between the chill area rate with the brinell hardness was estimated by using the test specimen.

key words: chill test specimen, ductile cast iron, chill area, hardness

1 結 言

著者らは渦電流や交流磁化法による鑄鉄中のチル検査用非破壊測定装置開発のため、鑄鉄中にセメントナイト相が晶出した試験片（以下：チル試験片）の作製方法について検討してきた¹⁾⁻²⁾。これまでは、片状黒鉛鑄鉄および球状黒鉛鑄鉄で、円盤状試験片の厚みや湯口体積などを変化させて検討した。その結果、片状黒鉛鑄鉄の場合、厚みが 3mm の試験片ではチルを晶出させることが可能であったが、冷やし金を用いると砂型側に大きな引けが生じた。さらに厚みが 6mm 試験片では、湯口体積を 5 倍以上にすると、引けの無い試験片を作製することが可能であったが、冷却速度が遅くなるために、チルが晶出しなかった¹⁾。一方、球状黒鉛鑄鉄の場合は、湯口体積を 5 倍以上とすることで、引けのない厚さ 6mm のチル試験片を作製出来た¹⁾。

また、片状黒鉛鑄鉄で引けの無いチル試験片を作製するために、階段状試験片鑄型を用いて、黒鉛化阻害元素である Cr や Mn を微量添加した試験片を作製し

た。その結果、引け巣やポアなどの欠陥の無いチル試験片が作製できた。そして肉厚 5mm 部では、いずれの組成でもチルが晶出した。また 10mm 以上の肉厚では、Cr や Mn の添加量が増加するほど、チル晶出力は増加傾向にあるが、注湯温度の影響などによってバラツクことが分かった²⁾。

本研究では前回同様に階段状試験片鑄型を用いて、球状黒鉛鑄鉄に Cr や Mn を添加したチル試験片を作製した。そして組織中のチル面積率などを画像解析により測定した。またチル面積率と硬さの相関関係などについても調べた。

2 実 験 方 法

球状黒鉛鑄鉄は、FCD400 相当の溶湯を基本組成とし、銑鉄、フェロシリコン、電解鉄、電解 Mn を原料として調整した。そして鑄鉄の主要元素であり、黒鉛化阻害元素でもある Mn の添加量を 0.7mass%、1.2mass%、1.7mass% と変化させた。さらに Mn 添加量を 0.2mass%

* 事業名「鑄鉄の機械的特性に及ぼす基地組織の定量的評価」

** 材料技術部

一定として、鑄鉄のセメンタイト化促進元素である Cr の添加量を 0.1mass%、0.2mass%、0.3mass%と変化させた。上記の6種類の組成に調整した原料を、それぞれ黒鉛坩堝に投入し高周波誘導炉を用いて、約 1500℃で

溶解した後、Fe-Si-Mg系の球状化剤で、サンドイッチ法により球状化処理を行った。そして#650セラビーズで作製した階段状試験片鑄型に 1400~1450℃で注湯した。この時、チル化を促進するために接種は行わな

かった。鑄型と作製した階段状試験片の外観を図1に示した。階段状試験片の肉厚は 5, 10, 20, 30mmと変化させ、試験片の幅は 74mm、それぞれの肉厚部の奥行きは 35mmとした。得られた試験片は、切断後光学顕微鏡による組織観察を行った。また各肉厚部の平均チル面積率を画像解析装置(日下レアメタル製: 鑄造くん)で求めた。さらにマイクロビッカーズおよびブリネル硬さ試験機で各肉厚部の硬さ測定も行った。



図1 階段状試験片鑄型と鑄造後の試験片

表1 作製した各試料の発光分光分析結果

試料番号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	Mg
A	3.70	2.39	0.24	0.027	0.009	0.10	0.012	0.038
B	3.59	2.27	0.18	0.023	0.006	0.20	0.011	0.037
C	3.49	2.49	0.20	0.021	0.008	0.27	0.011	0.041
D	3.60	2.27	0.73	0.023	0.004	0.02	0.012	0.040
E	3.79	2.42	1.20	0.030	0.004	0.02	0.013	0.041
F	3.57	2.36	1.61	0.027	0.004	0.02	0.012	0.041

3 結果

表1には、試料A~Fの発光分光分析による測定結果を示した。A~Cは Mn 添加量を 0.2%一定として Cr 添加量を 0.1~0.3%と変化させ、D~Fでは、Cr 添加量を 0.02%一定として Mn 添加量を 0.7~1.7%と変化させた。試料番号Fの 1.7%Mnで Mn 含有量が 0.1%ほど少ない 1.61%となったことを除けば、ほぼ目標とした組成の試験片が得られた。

図2は、0.1%Crを添加した試料Aの各肉厚部の代表的な組織と平均チル面積率を求めた結果を示した。肉厚が薄くなるほど冷却速度は速くなるため、組織中に白色で観察されるチル(セメンタイト)相が増加し、チル面積率が大きくなった。

図3は試料A~Fの厚さ5mmの肉厚部をピクリン酸溶液で腐食した後の光学顕微鏡組織と平均チル面積率を示した。試験片中の Cr 含有量が 0.10%から 0.27%と増加すると、平均チル面積率は 14.3%から 7.6%まで逆に減少することが分かった。一方 Mn 含有量が 0.73%から 1.61%と増加すると平均チル面積率は、17.6%から 24.1%まで増加した。一般に Cr は Ti, V などとともに強力な黒鉛化阻害元素であることが知られている。また Mn は黒鉛化阻害元素ではあるが、セメンタイト共晶温度を下げることなどから、Crに比較するとそれ

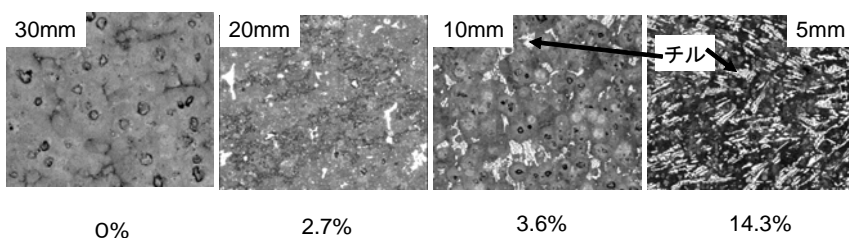


図2 0.1%Crを添加した(試料A)階段状試験片の腐食後の組織とチル面積率(組織写真下の数値)

A: 0.10Cr	B: 0.20Cr	C: 0.27Cr
平均チル面積率(%) 14.3	13.6	7.6
D: 0.73Mn	E: 1.20Mn	F: 1.61Mn
平均チル面積率(%) 17.6	21.5	24.1

図3 クロム、マンガン添加量を変化させた時のチル面積率の変化
階段状試験片 5mm厚み部 (ナイトール腐食)

Cr、Mn量を変化させた球状黒鉛鑄鉄チル試験片のチル面積率と硬さとの関係

ほど大きなチル化促進元素ではないことも知られている。しかし、本結果の場合、強力な黒鉛化阻害元素であるCrの含有量が増加してもチル量は増加せず、逆に減少することが分かった。そこで、図4にはCr、Mn含有量を変化させたときの各肉厚部の平均チル面積率の変化を示した。図4右に示すようにMn含有量を増加

有量を変化させた場合、5mm肉厚部ではチル面積率がCr含有量とともに減少し、10mm、30mmの肉厚部では増加傾向にあり、20mmでは一度減少してから増加する変化を示した。すなわち、Cr含有量によるチル化の傾向にバラツキを生じた。この原因は、Crの場合、その含有量が0.1～0.27%と少ないため、冷却速度や注湯温度

なども、チル発生に対し大きく影響したのではないかと考えられた。しかし、前回報告した片状黒鉛鑄鉄の場合もCrの変化によりチル発生量にバラツキを生じた²⁾。このことはCr含有量、注湯温度、冷却速度そして接種の有無なども含め今後さらに検討の余地があると云える。

図5は各試験片のチル面積率測定近傍をビッカース硬さ試験で測定した結果とチル面積率との関係を示した。この時の荷重は98.07Nである。これよりチル面積率が増加するほど硬さも増加する傾向にあることが分かった。ここで、鑄鉄の硬さを測定する場合、組織中に黒鉛を含むことから、黒鉛を含んだ領域で硬さを評価する必要がある。しかしビッカースでは荷重も98.07Nと低くいため、黒鉛を含んだ領域の硬さ測定が行えなかった。そこで、ブリネル硬さ計で各試験片の硬さを測定した結果を図6に示した。なおこの時の荷重は5～10mm厚試験片で14.71kN、20～30mm厚試験片では29.42kNとした。この結果より、ブリネル硬さの値もチル面積率の増加に伴い硬さが増加することが分かった。さらに図7は、ブリネル硬さとチル面積率の相関図にビッカース測定結果をブリネル硬さに換算した値をプロットした結果を示した。これより換算ビッカース、ブリネル硬さと同じ傾向を示すことがわかった。

4 結 言

球状黒鉛鑄鉄に黒鉛化阻害元素であるクロムやマンガンを追加し、階段状試験片を作製し、組織観察やチル面積率および硬さ測定を行った結果以下の結論が得られた。

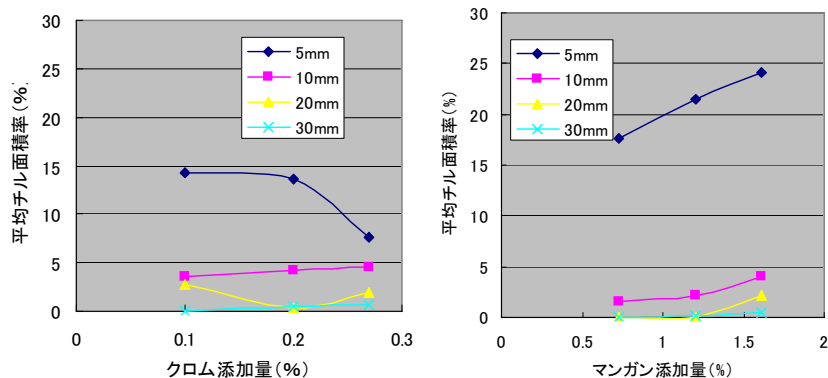


図4 クロム、マンガン添加による平均チル面積率の変化

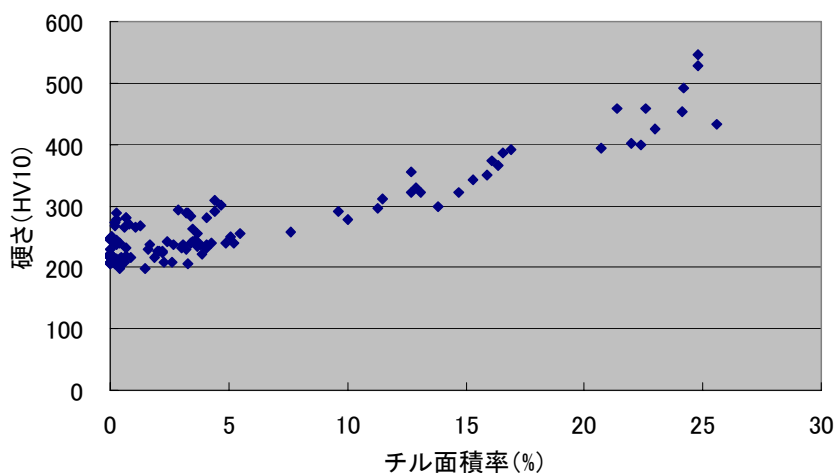


図5 チル面積率と硬さ(ビッカース硬さ)の関係

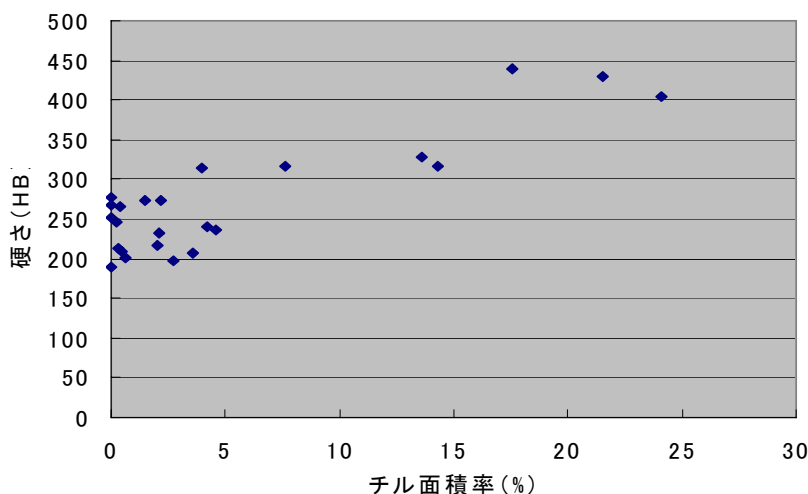


図6 チル面積率と硬さ(ブリネル硬さ)の関係

させた場合、チルが発生していない30mm肉厚部を除いてチル面積率も増加する傾向にあった。しかし、Cr含

観察やチル面積率および硬さ測定を行った結果以下の結論が得られた。

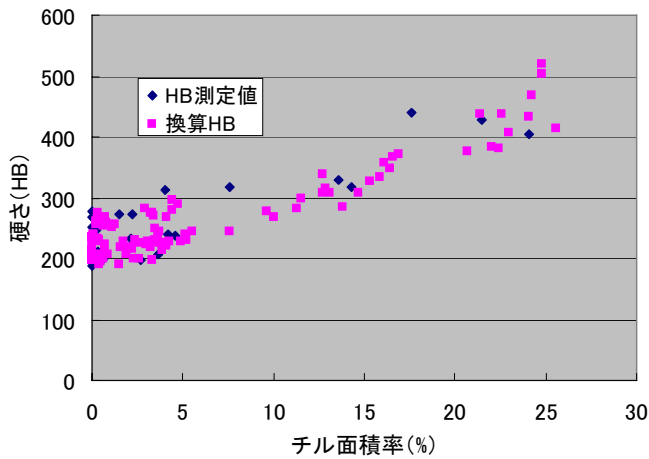


図7 チル面積率とブリネル硬さ(換算値および測定値)の関係

1 階段状試験片の5mmから20mmの間では、Mn含有量が増加すると組織中のチル面積率も増加する

傾向にあることが分かった。また30mmの肉厚ではチルが発生しなかった。

2 Cr含有量を変化させると、5mm厚試験片では、含有量とともにチル面積率が減少した。しかし、10mm厚試験片では逆にチル面積率が増加する傾向にあった。これは、冷却速度、注湯温度の影響などが考えられた。

3 階段状試験片でCr、Mn含有量を変化させることにより、幅広いチル面積率の試験片を作製することが出来た。そしてチル面積率と硬さとの相関関係を示すことが出来た。

文 献

- 1) 岩手県工業技術センター研究報告, 13, (2006)
- 2) 岩手県工業技術センター研究報告, 14, (2007)