

7.2 強靱鑄鉄の焼入れにおける亀裂感受性に関する実験

藤川 貴朗

黒田 良一*

1. はじめに

ねずみ鑄鉄は、従来より大型構造部材として広範に使用されてきた。現在でもその工学的重要性は変わらない。その良好な鑄造性、コスト、リサイクル性などに加え、強度の改善とともに、振動吸収性、切削性などの機能面でも、それぞれの特性を生かした用途に使用されている。また、合金元素の添加、熱処理などの基地組織の改良によってもさらなる応用分野がある¹⁾²⁾。

大型構造部材の場合、表面硬化処理は、耐磨耗性向上のために繁茂に行われる。当然このための処理条件を決める基礎的データの必要性から、焼入れ性に関する研究が行われてきた。しかし、そのほとんどが焼入れ硬化性に関する研究であり、合金元素による焼入れ性向上を取り扱ったものである³⁾⁴⁾⁵⁾。ゆえに、実際の焼入れ時に問題となる亀裂感受性や焼入れひずみに関しては、ほとんどデータが公表されていない。本資料では、実用の強靱鑄鉄において、黒鉛形状や少量添加される合金元素が、焼入れ時の亀裂感受性に与える影響について、実験した結果の一部を報告する。

2. 実験方法

低周波誘導電気炉によるFC 300相当の溶湯(表1)をJIS Z 2203 D号抗折試験片に鑄込み、抗折試験及び引張試験を行った。Cu+Cr添加系列をA、Cu添加系列をB、合金なしをCとする。引張試験片のつかみ部から図1の焼入れ試験片を切り出し、比較対照に用いたFC 250相当の鑄鉄、および連鑄棒試験片とともに焼入れ試験を行った。黒鉛粉末と珪砂を混合し、その中に試験片を入れて、マッフル炉中で1063、1143、1223、1273 Kおよ

び1033、1113、1193、1273 Kに5400 s保持後、ただちに水冷して焼入れ試験片を得た。FC 250および連鑄棒については亀裂の有無、及び組織を調べた(各N=3)。FC 300試験片については、試験片の外径、穴部の内径、また、スリット試験片についてはスリット幅の変化量を測定した(各N=3)。さらに、硬度、組織及びX線応力試験機により薄肉部の表面応力を測定した。

表1 供試材の化学組成の一例 (mass%)

系列	C	Si	Mn	Cu	Cr
A	3.22	1.84	0.73	中量	中量
B	3.20	1.63	0.78	多量	微量
C	3.20	1.70	0.70	—	—

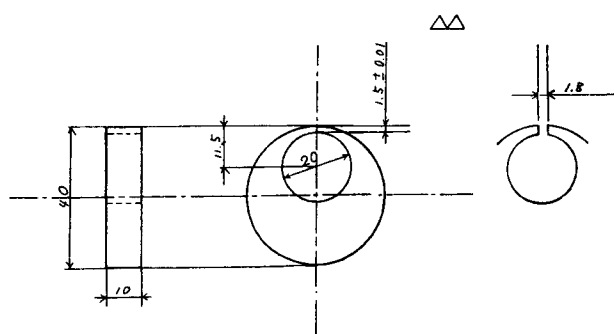


図1 焼入れ試験片の形状

3. 結果と考察

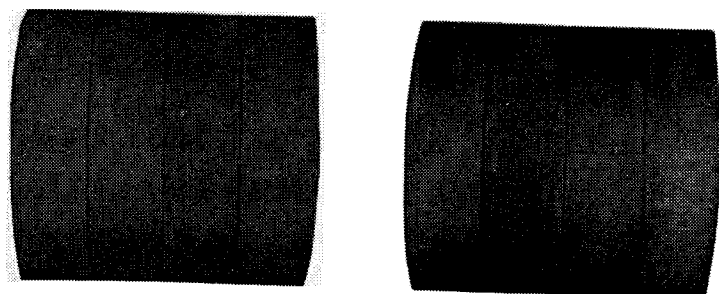
表2に抗折試験及び引張り試験の結果を示す。いずれもFC 300の旧規格値程度の強度は出ている(接種に関しては同条件)。現場的には、肉厚部における強度低下を防ぐために、Cu、Crを添加している。しかし、これによって、逆に薄肉、突出部の硬度が上がりすぎて、切削性に問題を起こすことも懸念される。

図2にFC 250、連鑄棒の焼入れ試験片の亀裂の状況を、図3に試験片薄肉部と中央部断面での組織を示す。FC 250では1123 K以上で亀裂を生じ

* エバ工業株式会社

焼入れ温度 (K)

1063 1143 1233 1273 1063 1143 1233 1273



FC250

連铸棒

図2 焼入れ試験片の亀裂の状況

表2 供試材の機械的性質

番号	抗折試験		引張り試験	
	最大加重 (N)	たわみ (mm)	引張り強度 (N/mm ²)	
A-1	35400	12.5	297, 309	
A-2	33300	10.8		
A-3	34000	11.0		
A-4	33300	9.8	292, 284	
A-5	37000	11.8		
A-6	35400	10.8		
A-7	34200	10.5		
A-8	36300	11.5	286, 253	
B-1	35100	10.0	286, 264	
B-2	35100	10.3		
B-3	35700	9.5		
B-4	35600	10.3		
B-5	37000	11.5	305, 278	
B-6	35600	10.8		
B-7	39900	12.8	341, 316	
C-1	35200	10.8	276, 291	

る。また、連铸棒では、1143, 1223 で亀裂を生じたが、1273 K からの焼入れでは亀裂を生じない。組織を検討すると、FC 250 の 1063 K では薄肉部、中央部ともソルビチックな組織 + ベイナイト + 残留フェライトの混合組織であり、双方とも不完全焼入れ組織である。1143 K では薄肉部、中央部ともほぼ良好なマルテンサイト組織である。1223, 1273 K ではすべてマルテンサイトが粗大に成長し、残留オーステナイトを残した組織になっている。このとき、マルテンサイト変態の時間差による引張り応力が、薄肉部の強度を上回ったため亀裂

を生じたものと考えられる。連铸棒においては、FC 250 とほぼ同様な基地組織の変化が起こっているが、黒鉛が微細なためにオーステナイトへの炭素の拡散は比較的容易に起こるようである。また変態によって生じるマルテンサイトも、黒鉛によって微細に切断されるので、1273 K からの急冷で亀裂を生じなかったとも考えられる。

FC 300 の試験片では、この焼入れ操作によって亀裂が生じなかった。そこで試験片の外径および穴部の内径（それぞれ縦横方向の寸法差で表す）の寸法変化で評価した。また試験片最薄肉部にスリットを入れ（図1参照）、そのスリット幅の変化を測定した。これで+の値ほど変形が大きく、引張り応力が働くことを示す。表3に寸法変化を、図4に試験片薄肉部と中央部の組織を示す。試料の変形が最も大きいのはいずれの系列とも1193 K からの焼入れ条件のものである。合金元素によって、焼入れ性が高まるのでB, A, C の順に変形は大きい。組織は、焼入れ温度が低い順から、パーライト、ソルビチックな組織、良好なマルテンサイト、粗大マルテンサイトへと変化して行くが、これもB, A, C の順に低温から変化が起こる。

表3 焼き入れ試験片の寸法変化
スリットなし試験片

焼入れ温度 (K)	系列A		系列B		系列C	
	寸法変化量 (mm) 外径	寸法変化量 (mm) 穴径	寸法変化量 (mm) 外径	寸法変化量 (mm) 穴径	寸法変化量 (mm) 外径	寸法変化量 (mm) 穴径
1033	-0.04	0.01	-0.02	0.02	0.04	0.09
1113	0.09	0.30	0.10	0.26	0.13	0.31
1193	0.23	0.45	0.12	0.32	0.15	0.20
1273	0.26	0.35	0.24	0.31	0.12	0.15

焼入れ温度 (K)	スリット長さ変化量 (mm)		
	系列A	系列B	系列C
1033	0.059	0.1057	0.017
1113	0.005	0.182	0.045
1193	0.329	0.345	0.318
1273	0.247	0.189	0.195

	1063K	1143 K	1223 K	1273 K
FC 250 薄肉部				
FC 250 中央部				
連鑄棒 薄肉部				
連鑄棒 中央部				

図3 FC 250 および連鑄棒の焼入れ組織

┆┆100 μ

	1033K	1113K	1193K	1273K
A 薄肉部				
A 中央部				
B 薄肉部				
B 中央部				
C 薄肉部				
C 中央部				

図4 焼入れ試験片の組織

┆┆50 μ

図5にスリット変化量と薄肉部引張り方向の表面残留応力を、また図6に硬度の変化を示す。スリット幅変化量, 表面残留応力とも1193Kの値が大きい。この条件で亀裂が最も生じやすいと言える(ただし残留応力測定 of 絶対値には疑問が残る)。また硬度の変化を見ると, Cu, Crの焼入れ性向上への寄与は明らかである。

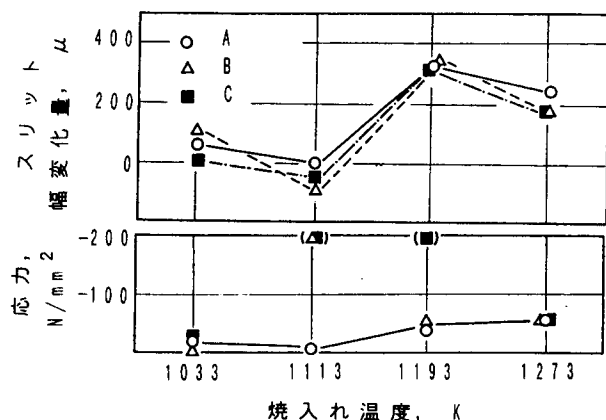


図5 焼入れ試験片のスリット幅変化と表面残留応力

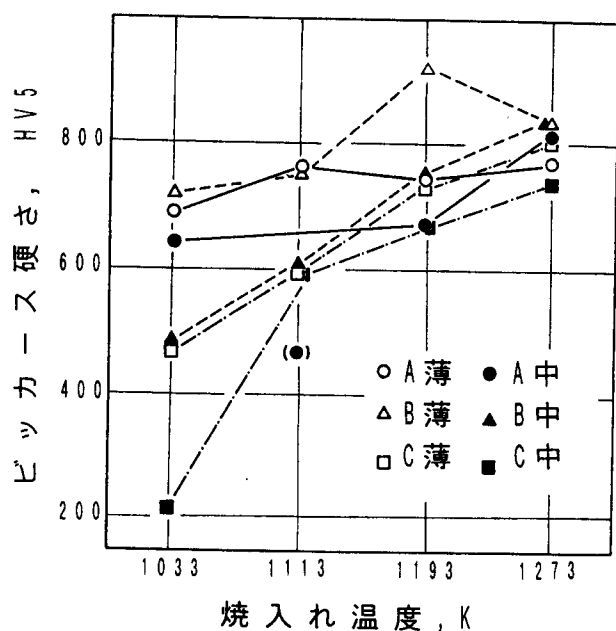


図6 焼入れ試験片の硬度

圧縮応力を生じさせて、亀裂の発生を抑制するのである。一般に、この状態での組織は、加熱時間が短いことから不完全焼入れ組織にとどまることが多い。つまり、いたずらに合金元素を添加して、焼入れ深さだけを追求することは、亀裂の抑制を考える見地からは得策でないことが理解できる。またFC 250の結果をみて明らかのように、むしろ黒鉛形態が重要な因子である。本実験では、ほんのわずかな検討にとどまるものであるが、生産現場での管理を考える場合、引張強さ、硬さのみの検討では、焼入れ感受性のチェックには不十分であることが示唆される。

本実験は、三重県工業系研究機関共同研究規定により、平成8年度にエバ工業株式会社と共同で行った研究の一部であります。

参考文献

- 1) 旗手稔：近畿大学学位論文(1996) 24
- 2) 栗熊勉：豊橋技術科学大学学位論文(1997) 95
- 3) 中村弘：鑄物 36(1962) 30
- 4) 中村弘：鑄物 36(1962) 1150
- 5) 佐久間安正, 池田哲郎：鑄物 28(1954) 70

4. まとめ

大型構造材で、表面硬化を考える場合、高周波熱処理が行われることが普通であろう。この場合、表面のみを変態させ、その変態膨張によって表面