

高硬度オーステンパ球状黒鉛鑄鉄

勝負澤善行*、 茨島 明*、池 浩之**、
高川 貫仁*

オーステンパ球状黒鉛鑄鉄の耐摩耗性を向上するため、基地組織中にベイナイトとマルテンサイトを混在させ硬さ上げることについて検討した。用いた方法は、オーステンパ熱処理を中断して水冷処理を行い、未変態のオーステナイトをマルテンサイト化するもので当所で開発したものである。被熱処理材としては、少量のSnやMo, Crなどを合金化した球状黒鉛鑄鉄を用いた。

その結果、Snを0.15%添加した試料で、引張強さ900MPaで硬さが57HRCの高強度で高硬度なオーステンパ球状黒鉛鑄鉄を得ることができた。

キーワード: オーステンパ球状黒鉛鑄鉄、マルテンサイト、炭化物

Development of Hardy Austempered Ductile Cast Iron

SHOUBUZAWA Yoshiyuki , BRAJIMA Akira , IKE Hiroyuki and
TAKAGAWA Takahito

Functionally Graded Cast Iron has been developed. Firstly , cast in bonding spheroidal graphite cast iron and gray cast iron, Secondly the bonding material carried out Austemper heat treatment for Functionally Graded Cast Iron with hardness and strength.

Mechanical Properties of Functionally Graded Cast Iron are summarized as follows:

- (1) There is direction of bend strength and hardness.*
- (2) There is 2000N/mm^2 of bend strength as under side Austempered Spheroidal graphite cast iron, but 650N/mm^2 as under side Austempered gray cast iron.*
- (3) There is $200 \sim 290\text{N/mm}^2$ of tensile strength.*
- (4) Hardness are $30 \sim 38\text{HRC}$ side of Austempered gray cast iron, and $40 \sim 46\text{HRC}$ side of Austempered Spheroidal graphite cast iron.*

key words : Austempered Spheroidal Graphite Cast Iron, Tin-Bath Heat Treatment, Martensite

1 緒 言

オーステンパ熱処理により基地組織をベイナイトとしたオーステンパ球状黒鉛鑄鉄(ADI)は、高い引張強さ・高い靱性・高い硬さが特徴である。現在、ADI鑄物は歯車、カムシャフト、ブルドーザ用保護板など¹⁾主に耐摩耗部材として産業機械分野で広く使用されており、国内で約1万t/年²⁾生産されている。(米国約3万t/年、独国

約1万t/年)

また、ADI鑄物は鑄造加工により製造するので自由形状に対応できること、機械的性質の制御が容易であること及びリサイクル性が優れていることなどにより、特殊鋼や鍛造鋼に代わり今後の用途拡大が期待されている。

著者らは、ADIの製造技術として、従来一般的に使用されてきた溶融塩浴に代わり溶融金属錫浴を用いた無公

複合機能鑄造材料の機械的性質

害オーステンパ熱処理技術を開発³⁾し、非合金球状黒鉛鑄鉄によるADIでも従来以上の機械的性質が得られることを明らかにした。次に、この技術を県内企業に移転して、ADI及びその製造技術を利用し『鑄鉄製農耕爪』⁴⁾や『鑄物の刃物』⁵⁾などを県内企業と共に商品化し、現在市場展開⁶⁾である。

現在、土木・農林業用機械部材や最近需要が拡大している廃棄物粉碎処理機械部材などには高マンガン・高クロム含有鋼を使用されているが、これら希金属の使用量やコスト低減に限界が見え始めているのが現状である。

これに対応して、硬さの上限が47～48HRC(ロックウエルCスケール)であるADIの硬さを向上することにより、上述の分野に新たに対応できると考える。

著者らは、『鑄物の刃物』の開発において、ADIの基地組織を従来のベイナイト(オースフェライト)1種類に代わり、図1に示すようにオーステンパ熱処理を中断して水冷処理(複合オーステンパ熱処理)を行い基地組織にベイナイトと硬いマルテンサイトを混在させ硬さを47HRC→53HRCとして、これを成功させた。

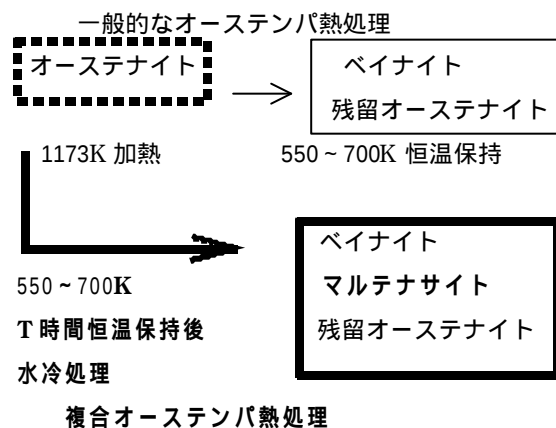


図1 熱処理方法

本開発研究では、MoやSn、Cr等を合金化した球状黒鉛鑄鉄を用い、複合オーステンパ熱処理を行いADIの高硬化について検討した。

2 実験方法

2-1 試料の溶製

ADI用球状黒鉛鑄鉄は、3KHz-50KWの小型高周波溶解炉により溶解した。使用した溶解材料は、球状黒鉛鑄鉄用鉄銑(4.51%C, 1.29%Si, 0.14%Mn, 0.068%P, 0.016%S)やFe-Si(75%Si)、電解鉄等である。これらの溶解材料を配合して、溶解量7kgを最高溶解温度1780Kとし1730Kでサンドイッチ法によりFe-Si-Mg合金(45%Si, 6.6%Mg, 残Fe)1.2%を用いて球状化処理を行い、除滓後接種しノックオフ

タイプの熱硬化鑄型に注湯して30φ×150mmの引張試験用試片を、又同様にC0鑄型により50φ×20mmの摩耗試験用試片をそれぞれ得た。なお、各溶解ではMn量を0.28%の一定として、Mo, Sn, Crを添加した。なお、Snの添加量は黒鉛の球状化を阻害⁷⁾しない0.15%とした。表1に各試験片の化学組成を示す。

表1 化学組成(mass%)

元素 No.	C	Si	P ×10 ⁻³	Mg ×10 ⁻³	Cr ×10 ⁻³	Mo ×10 ⁻³	Sn ×10 ⁻³
1	3.60	2.40	57	33	33	50	15
2	3.53	2.20	92	36	36	93	—
3	3.65	2.33	66	32	37	184	—
4	3.72	1.97	68	35	33	—	150
5	3.54	2.28	60	33	136	—	—

No.1は非合金材

2-2 複合オーステンパ熱処理⁵⁾

溶製した球状黒鉛鑄鉄は、平行部を10φmmとしたJIS4号引張試験片の近似形状に、又摩耗試験片は40φ×15mmにそれぞれ加工後複合オーステンパ熱処理を行った。

硬さを向上するための複合オーステンパ熱処理は、図2に示すように、被熱処理材を1173K×1hのオーステナイト化後573K又は650Kの熔融金属鋳浴に急冷し、その温度で5min, 10min恒温保持後水冷した。また、同時にオーステナイト化後30minの一般的なオーステンパ処理も行った。

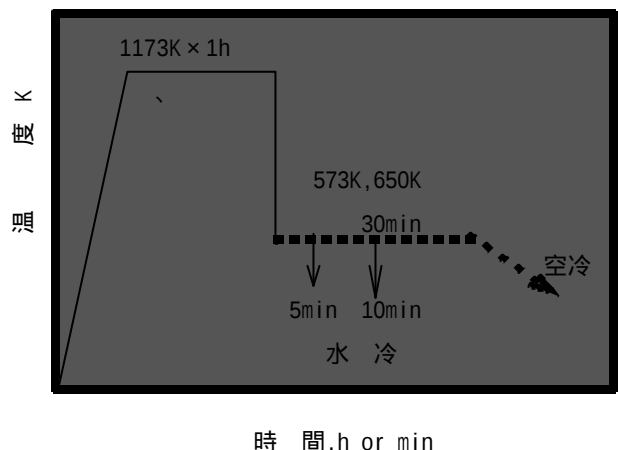


図2 複合オーステンパ熱処理

得られた各条件の試料は、引張試験やロックウエル硬さ測定及び顕微鏡組織観察等を行い評価した。

2-3 摩耗試験

各試験片の耐摩耗特性は、図4に示すピンオンディスク摩耗試験装置(神鋼造機㈱製SWT-405-03)を用いて行い

摩耗深さで評価した。摩耗試験の相手材は5.55φ(硬さ62HRC)の玉軸受け鋼球(3個)で、デスク位置に各摩耗試験片を設置して一定時間の摩耗試験を行った。

3-2 顕微鏡組織

図4に試料No.4(Sn添加)の573K処理試験片の顕微鏡組織を示す。では恒温変態により針状の下部ベイナイトが析出し始めているがその量は少なく、ベイナイト周囲はマルテンサイトとなっている。このマルテンサイトは、オーステナイトがベイナイトに変態する途中に急冷されるので、未変態のオーステナイトのから変態析出したものである。10min保持のでは、更に変態が進行しベイナイト量が増加するのでマルテンサイトの析出量は少なくなり、硬さも30min保持のに近い値となる。

図3 ピンオンディスク摩耗試験装置

3 実験結果

3-1 硬さ

表2に各試験片の硬さを示す。ADIの硬さは、基地組織が下部ベイナイトの45～48HRCが限界値であり、複合オーステンパ熱処理により硬さを向上できることが分かる。下部ベイナイトが得られる573K処理試験片では、一般的なオーステンパ熱処理のに比較し硬さが高い。しかし、10min保持のでの硬さ向上率は小さい。これに対して上部ベイナイトが得られる650K処理試験片では5,10min保持のとも硬さの向上率は大きい。また、Sn添加試験片での硬さ向上は大きくで57.5HRC、で53.4HRCとなる。

表2 硬さの結果

No.	HRC	HRC	HRC	HRC	HRC	HRC
1	49.7	46.5		41.4	36.5	34.4
2	51.9	48.0	45.5	49.0	40.0	34.5
3	54.0	49.6	48.1	44.8	40.1	35.3
4	57.5	53.4	50.6	48.6	39.6	
5	49.0	45.0	44.1	40.7	34.9	32.2

熱処理条件： 573Kx5min→水冷, 573Kx10min→水冷,
573Kx30min→空冷, 650Kx5min→水冷,
650Kx10min→水冷, 650Kx30min→空冷

図4 顕微鏡組織 (No.4の、))

3-3 引張強さ

硬さが高い材料は脆くなり易いので、マルテンサイトの析出量が多く硬さが高くなった場合は、引張強さの低下が予測される。表3に各試験片の引張試験結果を示す。No.2はMo0.093%含有試験片で、硬さは向上したが引張強さは1061MPaとなり、に比較し25%程低下する。また、No.3は前者の2倍のMo(0.184%)含有試験片であり、No.

複合機能鑄造材料の機械的性質

2より硬さが2高いくだけであるが、引張強さは641MPaで比較し50%以上大きく低下する。これは、Mo炭化物が析出した影響と考えられ、図5に示す様に複合オーステンパ熱処理時に局部的に炭化物を起点割れが生じていることから分かる。

一方No. 4のSn0.15%含有試験片では、硬さの最高値(表2)を示したでの引張強さは909MPaであり、Mo添加試験片に比較し硬度上昇は大きい引張強さの低下は小さい。なお、一般的なオーステンパ熱処理試験片の引張強さはNo.2,3と同レベルの値である。

これらのことより、複合オーステンパ熱処理による硬さ向上には、ベイナイト化を促進する炭化物形成元素ではなく、脆化を抑えながら硬さを向上するSn添加が効果的であることが分かる。実用化のためには、更にその量と機構を検討することが必要である。

表3 引張試験結果(引張強さ: σ , 伸び: ϵ)

試料 No.	σ ϵ MPa %		σ ϵ MPa %		σ ϵ MPa %	
2	1061	1	1292	2	1423	2
3	641	1	1184	2	1376	2
4	909	1	1101	2	1399	2

試料条件 : 573Kx5min→水冷, 573Kx10min→水冷,
573Kx30min→空冷

ラツキがあり硬さが高くても摩耗量が大きい場合がある。

表4 摩耗溝深さ(μ m)

試料 No.			
2	5.2	4.8	6.4
3	4.8	4.6	6.9
4	2.3	3.6	6.2

試験条件:
試験荷重10kgf
回転速度100rpm
試験時間60min

試料条件 : 573Kx5min→水冷, 573Kx10min→水冷,
573Kx30min→空冷

4 結言

ADIの基体組織を従来のペーナイト一種類に代わり、合金化と複合オーステンパ熱処理(オーステンパ熱処理中断の水冷処理)によりベイナイトとマルテンサイトや炭化物などを混在させること等により、更に硬さを向上することを検討し次の結果を得た。

- (1) 複合オーステンパ熱処理による硬さ向上は、水冷処理によるマルテンサイトの析出による。
- (2) 複合オーステンパ熱処理は、ADIの硬さ向上に効果的であるが、引張強さが低下する。
- (3) 複合オーステンパ熱処理においては、Sn0.15%添加試験片で硬さが57HRCまで向上し、引張強さの低下傾向は小さい。
- (4) Mo添加試験片の複合オーステンパ熱処理では、炭化物が生成して割れが発生すると共に、引張強さが50%以上低下する。
- (5) 複合オーステンパ熱処理により硬さが向上した試験片では、硬さが高いほどピンオンデスク摩耗試験の摩耗は少ない。

文 献

- 1) 第3回 ADI 国際会議報告書
- 2) 大出ほか：鑄物67(1995)106
- 3) 勝負澤ほか：鑄造工学71(1999)7484
- 4) 勝負澤ほか：鑄造工学講演概要集119(1991)74
- 5) 勝負澤、町田ほか特願平5314993 特開平7163768
- 6) 堀江：鑄物47(1975)286

図5 複合オーステンパ熱処理による

3-4 摩耗試験

表4にピンオンデスク摩耗試験結果を示す。硬さの高い試験片ほど摩耗が少なく、硬さの高いSn添加試験片の摩耗は少ない。また、炭化物を形成した試験片ではバ