

鋳鋼への鋳込み同時表面改質 (第 2 報)

表面改質層の熱処理特性

花房龍男, 遠藤栄治*, 大石 郁, 浅利憲和*

Making of Surface Stiffening Layer on Casting Steel II

Characteristic of heat treatment in the surface reforming layer

HANAFUSA Tatsuo, ENDO Eiji, OISHI Kaoru and ASARI Norikazu

In this paper, the characteristic of heat treatments that normalize the structure and harden more than 400Hv in the reformed S45C cast steel, is investigated. This method make the melting react with reforming material spread inside of the mold, and composed high C and high Si in the surface. The normalizing makes minute structure in matrix, and quenching and quench-tempering makes optical hardness, a using material.

鋳型表面に塗布した表面改質材と溶湯とを反応させて鋳物表面に改質層を形成させる方法により, 表面の組成を高 C 高 Si 組成の過共析組成とした S45C 鋳鋼について, 組織を均質化する熱処理及び 400Hv 以上の硬さとするための熱処理について検討した。焼ならしを行うことで母材組織を微細化することができた。また, 焼入れ及び焼入れ焼戻しにより所定の硬さを得ることができた。

キーワード: 鋳鋼, 表面改質, 耐摩耗性, 焼入れ, 焼戻し

1. 緒 言

近年, 資源の枯渇・省エネルギー化が問題となっているが, 製品の一部のみに耐摩耗性や耐食性が必要な高機能部品においては, その特性を持った溶湯による一体的な鋳造を行う必要がある。または, 別工程で作製した部材を鋳造時に鋳包むなどといった複数の工程を経る必要がある。一方, 鋳造ではインゴットを溶解するために用いた熱は, 凝固過程において鋳型外に放出されるのみであり, 熱エネルギー利用の余地が残されている。そこで, 著者らは鋳造時の熱を利用して鋳込みと同時に表面改質を行う改質方法に取り組んだ。

これまでトランプエレメントにはならない¹⁾鉄鋼の主要 5 元素により構成される炭化ケイ素 (以下 SiC) を表面改質材の主材として用いて, S45C 相当の鋳鋼表面に 400Hv 程度の硬化層を作製することができることを報告した²⁾。また, 表面改質を行うことで表面の組成が高 C 高 Si 組成の過共析組成となることを見出した²⁾。この表面改質方法は改質用元素を含む表面改質材を鋳型表面に塗布・固着させ, 溶湯の熱を利用して鋳物表面に改質層を作製させる方法である³⁾。

しかし, 鋳鋼品は, 一般的に内部に鋳造時の残留応力を有していることや鋳放しの組織がウィドマンステッテ

ン組織や粗大組織であることから機械的性質が劣る⁴⁾。そのため組織を均質化する焼ならし等の熱処理が必要とされる。著者らの表面改質品においても, S45C 母材部の組織が粗大化している。また, 現在鋳込み同時表面改質品は鋳放しでの適応を図っているが, 部材によっては表面改質した S45C の鋳放し硬さである 400Hv 以上が必要となる。そこで焼入れや焼入れ焼戻しなどの熱処理を行って硬さを制御することで, 適用範囲の拡大が期待できる。

本報では, 鋳込み同時表面改質により表面の組成を高 C 高 Si 組成の過共析組成として硬化させた S45C 鋳鋼について, 組織を均質化する熱処理及び 400Hv 以上の硬さとするための熱処理について検討した。

2. 実験方法

2.1 熱処理試験用表面改質材の組成及び形状

実験に用いた表面改質品の寸法は図 1 に示すような $\phi 60 \times 30$ mm の円柱形状であり, その他の鋳造条件は前報²⁾のとおりである。熱処理試験用の表面改質材は, 主材に α 型 SiC (粒度 240), 粘結材に水ガラス (モル比: $\text{SiO}_2 / \text{Na}_2\text{O} = 2.06 \sim 2.31$) を用いて, 重量比で SiC が 70% となるように混合した。その後, 表面改質材を鋳型に刷毛により塗布し, 溶湯母材として S45C を注湯して表面改質を行った。表面改質品の母材部及び改質部の化学組成は表 1 のとおりである。

熱処理用試験片の採取位置を図 2 に示す。円柱状表面改質品の中心部 $10 \times 10 \times 20$ mmt を熱処理試験片とした。

熱処理後の評価は組織観察及び硬さ試験を行った。組織観察部位及び硬さ試験部位は熱処理部材の中心線上（A-A'線上）における改質部、改質/母材界面部、母材部とした。

2.2 熱処理方法

熱処理プロセスを図3に示す。組織を均質化する熱処理は、改質に伴い表面部位が過共析組成であるため、焼ならしを行った（図3(a)）。また、鋳放し以上の硬さを得る熱処理は、焼入れ及び焼入れ直後に焼戻しを行った（図3(b)）。焼ならし及び焼入れ温度は改質部及び母材

部を完全にオーステナイト化させるために、900℃で20分間保持した。焼戻し温度は、200℃、250℃の低温焼戻し、350℃、400℃の高温焼戻しとし、各温度で20分間保持した。各熱処理後の冷却方法は、焼ならしでは室温まで空冷を行った。また、焼入れでは赤色消失まで攪拌しながら水浸し、その後引き上げて空冷を行った。焼戻しでは室温まで空冷を行った。熱処理用の浴剤には次のものを用いた。

- ・加熱用浴剤：パーカー熱処理工業㈱製 GS750
- ・焼戻し用浴剤：パーカー熱処理工業㈱製 AS140G
- ・脱炭防止剤(5%添加)：パーカー熱処理工業㈱製 R2

表1 表面改質品の母材部及び改質部の化学組成

(mass%)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Mo
S45C	0.48 (改質部:0.88)	0.39 (改質部:1.7)	0.72	0.016	0.015	0.12	0.04	0.11	0.09	0.02

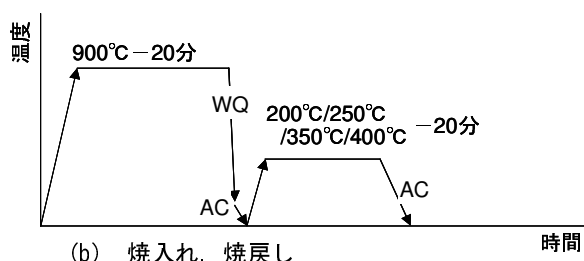
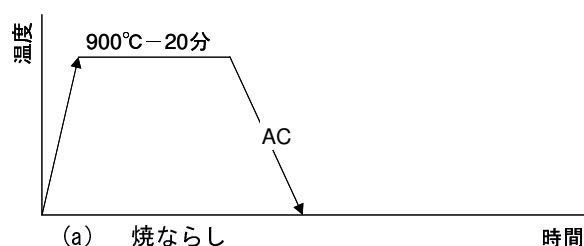
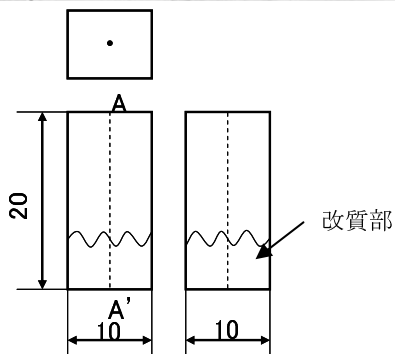
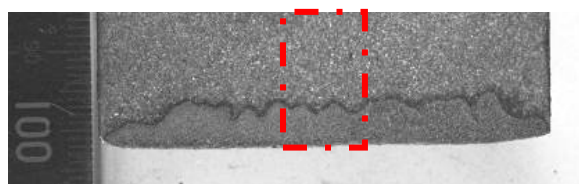
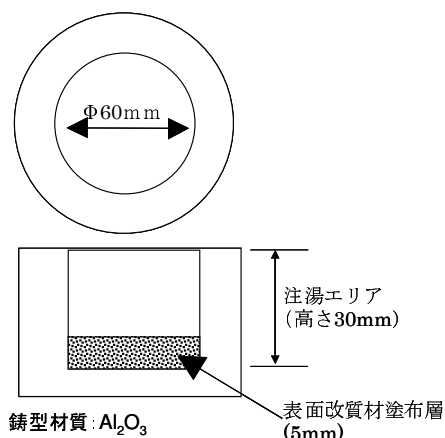


図3 熱処理プロセス

3. 実験結果及び考察

3.1 表面改質品の焼ならし処理における組織及び硬さ特性

表面改質品の熱処理前の組織特徴及び組織写真を表 2 及び図 4 に示す。前報で報告したとおり鑄放し材の結晶粒径は面積相当円直径から算出して改質部が 20~30 μm であり、母材部が 0.5~1.0mm である。この結晶粒径は JISG0551 からオーステナイト粒度 (以下 γ 粒度) を算出すると改質部は γ 粒度 8, 母材部は γ 粒度 -1 である。

この改質品を焼ならしした際の組織特徴を表 2 に、その組織写真を図 4 に示す。これらからわかるとおり改質部の組織は一部に球状の析出炭化物が見られるが、ほぼ全体が微細層状パーライトとなっており、結晶粒径も微細で、焼ならしによる組織の結晶粒径及び相変化はなかった。一方、母材部の組織はフェライトとパーライトの混合組織であり、鑄放し時に見られたような粗大組織及びウイドマンステッテン組織が解消され、均質な組織となっている。なお、界面部においては焼ならしを行っても改質層の元素が母材部に拡散する傾向は見られなかった。

表 2 表面改質品の鑄放し及び焼ならしにおける組織特徴

	鑄放し		焼ならし	
	結晶粒径	γ 粒度	結晶粒径	γ 粒度
改質部	20~30 μm	8	20~30 μm	8
母材部	0.5~1.0mm	-1	20~30 μm	8

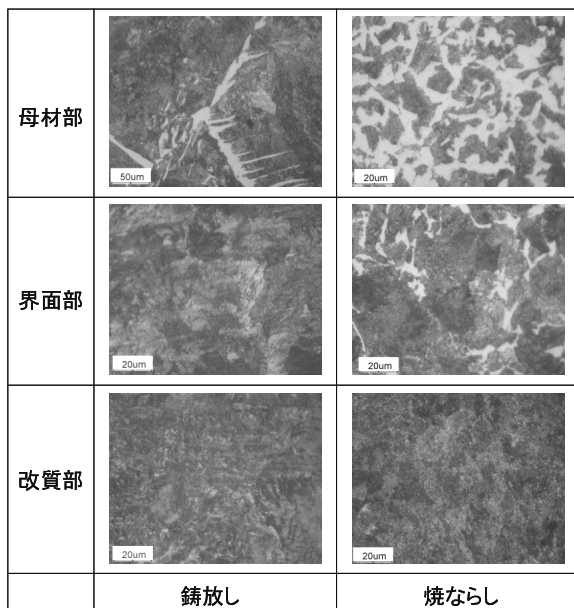


図 4 表面改質品の鑄放し及び焼ならしの組織写真(1000 倍)

次に、表面改質品の鑄放し及び焼ならしの硬さ分布を図 5 に示す。改質部の硬さは、鑄放し時の傾向と同様に、焼ならしを行っても母材部と比較して約 150~160Hv ほど硬い。また、硬さ分布によっても界面部の硬さ変化に大きな違いが無い。これらのことから、焼ならしによる改質層の特性変化はないと考えられる。

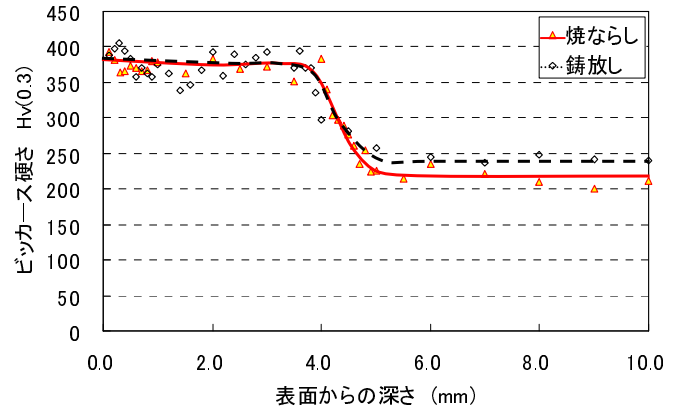


図 5 表面改質品の鑄放し及び焼ならし硬さ

3.2 表面改質品の焼入れ及び焼入れ焼戻し処理における組織及び硬さ特性

改質品を焼入れした組織写真を図 6 に示す。改質部の組織は完全なオーステナイト域からの冷却であるため微細な針状マルテンサイト組織が析出している。一方、母材部の組織は粗大な笹の葉状マルテンサイト組織が析出している。

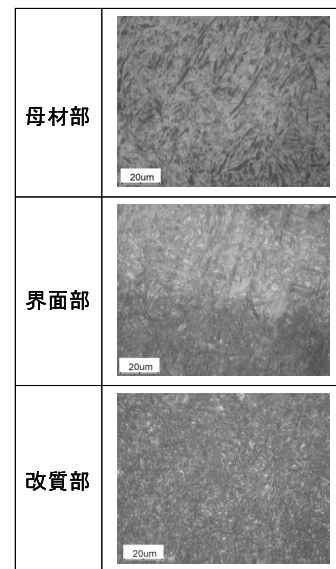


図 6 表面改質品の焼入れ組織写真(1000 倍)

この焼入れ材を焼戻すことにより、組織及び硬さの制御を行い、要求に従った硬さを得ることが期待できる。焼戻し温度を 200℃の低温時焼戻し及び 400℃の高温時焼戻しとした時の組織写真を図 7 に示す。焼戻し組織の変化は一般に 3 段階に分けられる⁵⁾。改質部の焼戻し組

織の特徴は、200℃の焼戻しでは第 1 段階の焼戻しが終わり、 ϵ 炭化物の析出が一部に見られ針状マルテンサイト組織がやや崩れているが、明確な変化はない。400℃の焼戻しでは第 3 段階の焼戻しが終わり、マルテンサイトの針状組織は消え一部に球状の炭化物が見られるが、ほぼ全体が焼戻トルースタイト組織となっている。

一方、母材部の組織は改質部と同様に、200℃の焼戻しでは笹の葉状マルテンサイト組織がやや崩れているが、明確な変化はなく、400℃の焼戻しではほぼ全体が焼戻トルースタイト組織となっている。

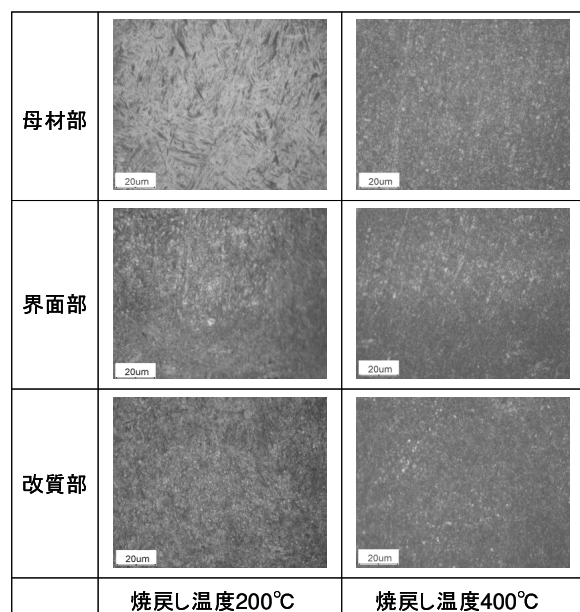


図 7 表面改質品の焼戻し組織写真(1000 倍)

次に、改質部及び母材部の焼戻し温度と焼入れ及び焼戻し硬さとの関係を図 8 に示す。一点鎖線は 0.85% C 炭素工具鋼の焼戻し硬さの文献値⁶⁾で二点鎖線は 0.5% C 炭素鋼の焼戻し硬さの文献値⁵⁾である。表面改質品の焼戻し硬さは焼戻し温度が高くなるにしたがって低くなっており、焼戻し温度により硬さを変化させることが分かった。

改質部の硬さは、炭素量が同等である鋼材と同様の硬さの傾向を示した。その焼入れ硬さは 67.0 HRC であった。一方、母材部の硬さは文献値と比較して焼入れ時に低い値を示した。また、200℃の低温でも文献値よりわずかに低い値となった。しかし、高温で焼戻すことにより文献値と同様の硬さとなる。これらは、900℃からの焼入れによりマルテンサイトの形態が笹の葉状となって結晶粒径が大きくなったため、硬さが低下したのと考えられる。このため低温での焼戻しでは粗大なマルテンサイト組織が残ったままであり硬さが低くなるが、高温での焼戻しでは全体が焼戻トルースタイト組織となり文献値と近い硬さとなったのと考えられる。

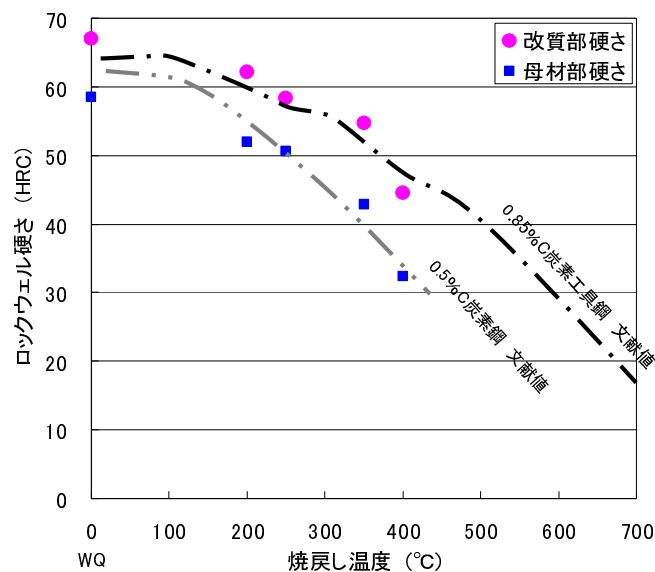


図 8 改質部及び母材部における焼戻し温度と焼入れ及び焼戻し硬さとの関係

4. 結 言

主材を SiC、粘結材を水ガラスとした表面改質品と S45C 溶湯とを反応させた表面改質品を熱処理することで、以下の特性が分かった。

- 1) 焼ならしを行うことで母材部の粗大組織を解消し均質な組織とすることができた。一方で、改質層部の組織には大きな変化が無く、また硬さにも変化はなかった。
- 2) 焼入れにより全面マルテンサイト組織を得ることができ、さらにこの鋼材を焼戻しすることにより所定の焼戻し組織を得ることができた。
- 3) 改質部の硬さは焼入れにより硬さ 67.0 HRC となった。また焼入れ後の焼戻しにより所定の硬さを得られることが分かった。

文 献

- 1) 藤川貴朗ほか 3 名：三重県工業技術研究所研究報告 24, 30 (2000).
- 2) 花房龍男ほか 5 名：広島県立総合技術研究所東部工業技術センター研究報告, 20, 13-16 (2008).
- 3) 花房龍男ほか 5 名：特願 2008-280424 (2008).
- 4) 早稲田大学鋳物研究所編：鋳物, 日刊工業新聞社, 1956, p. 265-315.
- 5) (社)日本熱処理技術協会編：入門・金属材料の組織と性質, 大河出版, 2004, p. 74-82.
- 6) (社)日本熱処理技術協会, (社)日本金属熱処理工業会編：熱処理技術入門, 大河出版, 1974, p. 1-17.