

|             |                          |
|-------------|--------------------------|
| 氏 名         | 中 野 平<br>なか の たいら        |
| 学 位 の 種 類   | 工 学 博 士                  |
| 学 位 記 番 号   | 論 工 博 第 588 号            |
| 学位授与の日付     | 昭 和 48 年 3 月 23 日        |
| 学位授与の要件     | 学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当  |
| 学 位 論 文 題 目 | 高炭素低合金鋼における炭化物の球状化に関する研究 |

論文調査委員 (主 査) 教授 田村 今男 教授 高村 仁一 教授 盛 利 貞

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、大型の硬面ロール材を対象とした高炭素低合金鋼の炭化物の球状化熱処理に関する金属学的研究をまとめたもので、6章よりなっている。

第1章は緒言で、炭化物の球状化に関する従来の研究と対比しながら、本研究の目的を述べると同時に、本研究の全貌を概説している。

第2章では鋼中での炭化物の球状化におよぼす C, Cr, Mo, V などの合金元素の効果について述べている。すなわち、Cr はその含有量が多くなるに従い、完全球状化組織の得られるオーステナイト化温度域を広げると同時に、その冷却速度域をも高速度側に拡大する。従って、Cr は炭化物の球状化を容易にする顕著な効果を有することを明らかにしている。これに反して、Mo および V の場合はいずれも球状化に対する有効性が認められなかった。これは、Cr 鋼の場合にはオーステナイト化時に残留する  $M_3C$  型または  $M_7C_3$  型炭化物が球状化処理の際に核となって球状に成長するのに反して、Mo 鋼および V 鋼の場合にはオーステナイト化時にそれぞれ残留する炭化物  $Mo_2C$  および VC は球状炭化物の核となって成長しがたく、そのまま残留し、オーステナイト粒界から新しく別の構造の  $M_{23}C_6$  型あるいは  $M_3C$  型炭化物がラメラ状に生成されることを認め、オーステナイト化時に残留する炭化物が、Cr 鋼の場合には核として有効に作用するのに対し、Mo 鋼および V 鋼の場合には有効に働かないためであることを明らかにしている。また、C 量の増加はオーステナイト化時に残留する炭化物数を増加させると同時に、完全球状化組織の得られるオーステナイト化温度域を広くすることを認めている。

これらの研究結果から、炭化物の球状化がおこる必要条件として、

- (1) オーステナイト化時に残留する球状炭化物数が多いこと。
- (2) これらの残留炭化物が冷却時に成長することができること。

を提唱している。また、この(2)の条件はその炭化物中に Fe がかなり多量に溶け込むことができる場合であることを示唆している。

第3章では球状化過程における炭化物の成長挙動について述べている。炭化物の球状化を支配する因子として、前処理条件、オーステナイト化条件および冷却速度をとりあげ、それらの球状化におよぼす影響について系統的に研究し、球状炭化物の成長挙動を追究すると同時に、球状化機構にも言及している。すなわち、オーステナイト化時の残留炭化物数と球状化処理後の炭化物数がほぼ同一であることを認め、この事実から、徐冷法による炭化物の球状化はオーステナイト化時に残留する炭化物が球状に成長することにより行なわれることを明らかにし、さらにまた、顕微鏡組織観察によって残留炭化物の成長が  $Ar_1$  変態にもなっておくことを確認し、このことから炭化物の球状化はオーステナイト化時に残留する球状炭化物核の、一種のパーライト変態（球状パーライト変態と呼んでいる）による成長であることを明らかにしている。

オーステナイト化温度からの冷却の際の冷却速度を一定とした場合、完全球状化組織を得るためには残留炭化物数はある一定数以上でなければならないという臨界残留炭化物数があり、冷却速度が  $20^{\circ}\text{C/hr}$  の場合には約  $5 \times 10^9$  個/ $\text{mm}^3$  という値を得ている。逆に残留炭化物数を一定とした場合には、完全球状化組織を得るための臨界冷却速度がある。臨界冷却速度は、炭化物数から導出した炭化物の平均粒子間隔と逆比例する関係が成立することを認めている。これらの結果から所要の炭化物分布を得るための球状化処理条件を明確に示している。

炭化物の球状化を律速する因子を知る目的で球状パーライト・ノジュールの成長速度を実測し、活性化エネルギーとして  $78 \text{ Kcal/mol}$  の値を得、このことから球状パーライト変態は格子の組み替えなどによる界面反応が律速しているであろうと推論している。

第4章では球状化後の焼入のためのオーステナイト化時における球状炭化物のオーステナイトへの溶解込み現象について述べている。溶解込みを支配する因子として炭化物の大きさ、組成、構造およびオーステナイト化温度があげられ、炭化物が大きいほど溶解込み速度がおそく、オーステナイト化温度が高いほど速いのは当然であるが、炭化物が  $M_3C$  型から  $M_7C_3$  型に変化しても、溶解込み速度はおそくなる。さらに、そのときの溶解込み速度式を導出して、 $0.8\% \text{ C}$  鋼 ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) および  $0.8\% \text{ C}-2\% \text{ Cr}$  鋼 ( $(\text{Fe}, \text{Cr})_3\text{C}$ ) の場合について論じている。

また、 $M_3C$  型炭化物のオーステナイトへの溶解込みの活性化エネルギーとして  $89.2 \text{ Kcal/mol}$ 、 $M_3C$  と  $M_7C_3$  の混合している場合として  $80 \text{ Kcal/mol}$  の値を得、このことから、これらの炭化物のオーステナイトへの溶解込みは格子の組み替えなどによる界面反応が律速していると推論している。また、炭化物の溶解がほぼ平衡値に達した後は  $t^{1/3}$  則に従う残留炭化物の粗大化がおくことを確認している。

第5章では高  $\text{Cr}$  鋼は炭化物の球状化が非常に容易であるという前章までの研究結果から、 $0.8\% \text{ C}-3.5\% \text{ Cr}-\text{Mo}-\text{V}$  鋼と  $0.8\% \text{ C}-5\% \text{ Cr}-\text{Mo}-\text{V}$  鋼を選び、現在硬面ロール材として使用されている  $0.8\% \text{ C}-2\% \text{ Cr}-\text{Mo}-\text{V}$  鋼を比較材として、偏析度、焼割れ感受性、焼入性、焼もどし軟化抵抗、耐摩耗性などの硬面ロール材としての実用的な性質について研究した結果を述べている。これらの諸性質のうちで特に硬面ロールの使用性能を支配する耐摩耗性については、 $\text{Cr}$  量を  $2\%$  から  $3.5\%$  および  $5\%$  へと高くすることにより格段に向上することを認めている。そして、このことは球状炭化物の組成、構造、かたさが炭化物の総量とともに大きな作用をしているものであることを示している。これらの結果を総括して、 $0.85\% \text{ C}-3.5\%$

Cr-0.25% Mo-0.1% V 鋼および 0.8%C-5% Cr-0.25% Mo-0.1% V 鋼が硬面ロール材として、現用鋼よりも過酷な使用条件に耐えうる新鋼種として使用できることを述べている。

第6章は総括である。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、大型の硬面ロール材として使用される高炭素低合金鋼の性能向上に密接な関係のある炭化物の球状化挙動を解明し、よりすぐれた鋼材の開発に資することを目的として、その球状化を支配する因子、球状化機構、球状化後の熱処理時における球状炭化物の溶け込み挙動、および球状炭化物と耐摩耗性などの性質との関係を詳細に研究した結果を述べたもので、得られた結果の主なものはおおむね次のとおりである。

(1) 炭化物の球状化に及ぼす合金元素の作用についての研究の結果、Cr は球状化を容易にする顕著な効果をもつが、Mo および V にはそのような効果は認められない。これはオーステナイト化時に残留して球状化の核となる炭化物が、Cr の場合には  $M_3C$  型または  $M_7C_3$  型で冷却時に容易に球状に成長するのに対し、Mo, V では  $Mo_2C$  あるいは  $VC$  で、これらは球状炭化物の成長核となり難く、オーステナイト粒界から新しく別の構造の  $M_{23}C_6$  型あるいは  $M_3C$  型炭化物が生成され、ラメラ状に成長するためであることを見出し、これらの炭化物の種類による相違は炭化物への Fe の固溶度に関係することを示した。

(2) 冷却時の炭化物の球状成長は  $Ar_1$  変態にともなって進行することを明らかにし、球状化過程は一種のパーライト変態であることを示した。そして、球状パーライト・ノジュールの成長の様相を明らかにした。

(3) 完全球状化の条件としては、冷却速度を一定とした場合には、ある一定数以上の核となる残留炭化物数がなければならない。その臨界炭化物数は、 $20^\circ C/hr$  のときは  $5 \times 10^9$  個/ $mm^3$  程度である。また、核の数を一定としたときは臨界の冷却速度があることを示し、その臨界冷却速度は炭化物粒子間隔と逆比例する関係にあることを実験的に導出した。

(4) オーステナイト化時における球状炭化物の溶け込み速度は、炭化物の大きさおよびオーステナイト化温度に依存するばかりではなく、炭化物の組成、構造によっても変化し、 $M_3C$  型から  $M_7C_3$  型へと変化すると溶け込み速度がおそくなることを数値的に示し、一つの溶け込み速度式を提案している。また、ほとんど平衡に達した後なおそのオーステナイト化温度に保持すると、時間の $1/3$ 乗則に従う炭化物の粗大化がおこることを示した。

(5) Cr 量を多くすると球状化が容易になることから、3.5% Cr および 5% Cr を含有する鋼を用いて、耐摩耗性などの、この種鋼材の実用的な性質について研究し、これらの結果を総合して、0.85% C-3.5% Cr-0.25% Mo-0.1% V 鋼および 0.8% C-5% Cr-0.25% Mo-0.1% V 鋼が、現在広く用いられている鋼種よりすぐれた硬面ロール材として使用できることを示した。

以上要するに、本論文は高炭素低合金鋼における炭化物の球状化過程を詳細に解明し、球状化に及ぼす合金元素、冷却速度、および球状化核数などの諸因子の効果を明らかにし、徐冷法による球状化熱処理の基準を確立して新しい硬面ロール鋼の開発にまで及んだものである。これらの結果は、広く軸受鋼、工具

鋼などの球状化処理全般に適用できるものであり，学術上，工業上寄与するところが少なくない。

よって，本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。