

となつた。

(討20) フェログラフィによる潤滑系診断技術

(新日本製鉄(株)名古屋製鉄所 倉橋基文ほか)

鉄鋼業は巨大な装置産業であり、大量かつ多種多様な潤滑剤が使用されている。この潤滑剤は設備寿命にも重要な役割を担い、かつメカロス防止等による省エネの観点からも油種選定は重要である。米国海運が開発したフェログラフィー(油中摩耗粉分析法)を応用し、潤滑の異常予知及び最適潤滑剤の開発を行つた。フェログラフィーは SAOP 法に比べ  $5\mu\text{m}$  以上の摩耗粒子の検出感度が高く、また摩耗粒子形態を直接観察可能である。フェログラフィーの分析は磁気こう配を有する強力マグネット上のスライドに油を流し、流下の過程で摩耗粒子が磁力線の方向にかつ、流れの方向に大きさの順に整然と配列させて行くものである。潤滑剤の診断により、装置の劣化を知るのみではなく安価な高性能な潤滑剤を見つけまたは開発し、省エネルギーも含めて潤滑コストを下げる攻めの潤滑管理を実施している。

(討21) 保全管理システムによる保全活動と品質管理

(川崎製鉄(株)千葉製鉄所 長谷川恒也ほか)

(討22) 最新 OA 機能を駆使した設備保全情報管理システムの開発

(住友金属工業(株)和歌山製鉄所 富川 健ほか)

討21・討22は設備、部品・資材の情報から、点検・修理等の保全に関するすべての情報を一元管理し、保全コストミニマムで突発故障の防止、品質故障の防止を狙つたコンピューターシステムである。オイルショック以降の鉄鋼業の環境変化に対し保全ニーズも変化した。これに対応して保全戦略は TBM から CBM へと移行した。この CBM をシステムマティックに実行する道具としてこのシステムが存在する。もちろん、このシステムは CBM のサポートのみならず保全業務の効率化及び保全業務を科学的に実施する機能を持っている。今後、オンラインモニタリングを含めた設備診断システム、あるいは AI による故障診断システムとうまく結合し、真の総合保全情報管理システムとして完成することが期待される。

最後に、保全技術に関する討論会という初めての論題にもかかわらず9件もの応募をいただき、また講演者をはじめ本討論会に参加いただき熱心に討論下さつた各位に深く感謝致します。今後、各社・各位がお互いに研鑽し設備保全に関する保全技術の向上はもちろん、製品品質を保証する保全技術となることを祈念して本討論会の概要報告とする。

#### IV. 粒界偏析挙動と鋼の性質

座長 川崎製鉄(株)鉄鋼研究所

榎 並 禎 一

鋼の高純度化技術の進歩に伴つて、微量元素が関与す

る現象、性質を正しく理解することが重要となつている。粒界偏析もそのひとつであり、破壊、腐食、変態、再結晶など多くの鋼の性質に影響を与えている。

一方、分析技術の進歩によつて偏析状態に関するより詳細な知識が得られるようになっており、特に最近では粒界偏析元素の挙動に及ぼす第3元素の影響に関する研究が多く、新しい知見が得られている。

このような状況下で、最近の研究成果を整理し、問題点を討論するために本討論会が企画された。今回はPの粒界偏析と破壊に関する報告(4件)、ステンレス鋼におけるPの偏析と粒界腐食に関する報告およびBの偏析挙動と直接焼入時の焼入性に関する報告(2件)が発表された。

(討23) 低合金鋼の焼きもどしにおける粒界、ミクロ界面への偏析挙動の解析

(新日本製鉄(株)第一技術研究所 巽 宏平ほか)

0.2% C 鋼を用いて、焼きもどしによる P, C, Mn および Mo の粒界偏析量を測定し、これらへの Mn, Mo 含有量の影響を調べた。

オージェ電子分光分析において、スパッター後のC量を析出C量と考えて、粒界固溶C量を分離測定した結果粒界偏析C量は Mn の増加とともに減少するのになし、Mo の増加とともに増加する傾向を示した。さらに Mn の増加とともに粒界のPおよび Mn 量が増加することから、Mn と P との間に共偏析の可能性が、C と P との間にはサイトコンペティションの可能性が示唆された。

新しい界面偏析解析技術として、アトムプローブ電界イオン顕微鏡を用いた、ラスマルテンサイト界面およびセメントタイトの解析例が紹介された。ラスマルテンサイト界面においても、P と C の偏析挙動が Mn 鋼と Mo 鋼とでは逆傾向になることが示された。

(討24) 浸炭肌焼鋼の靱性に及ぼすPの影響

(大同特殊鋼(株)中央研究所 並木邦夫ほか)

機械構造用鋼 SCM および SCr を用いて、浸炭層の靱性、粒界破面率および偏析P量に及ぼす P, Mo の影響を調査した結果が報告された。

0.20% Mo の添加は粒界破面率を下げて靱性を改善させるが、オージェ電子分光分析の結果ではPの粒界偏析を抑制する効果はない。したがつて Mo 添加の効果は粒界偏析したPの脆化作用を抑制することに求める必要がある。

(討25) 高純度鉄におけるPの粒界偏析とP-C相互作用

(日本鋼管(株)中央研究所 稲垣裕輔)

Pの粒界偏析が生じる過程とそれへのC量の影響を、粒界偏析量、破壊特性、回復再結晶挙動の測定によつて調べ、この過程でのPとCの相互作用について論じた。

850°C からの溶体化ままではCはPの粒界偏析を抑制しているが、500°C 96 h 時効後では偏析P量はC含有

量にあまり依存しない。

時効処理により平衡偏析にいたる過程を調査した結果 C は P の偏析、遷移温度の変化および再結晶を遅らせていることがわかった。これらの結果から、P の粒界偏析にたいする C の影響としては、サイトコンペティションモデルではなく、偏析に至る過程での析出物の生成も含む相互作用を考える必要があることが示された。

この報告にたいし、P-C 間の相互作用の有無、内容について討議がなされた。

(討26) 鉄中のリン、イオウの粒界偏析とそれによる粒界破壊に対する合金元素の効果

(東北大学金属材料研究所 木村 宏ほか)

P の粒界偏析とそれによる遷移温度の変化に対する第 3 元素の影響を高純度 Fe-P-X 合金 (X=C, Ni, Cr, Mo) を用いて調べた。

P の粒界偏析量は C の添加によつて減少するが、Ni, Cr あるいは Mo の添加によつては変わらない。一方遷移温度はそれぞれ第 3 元素の添加によつていずれも低下する。

遷移温度低下の機構は元素によつて異なり、C の場合は C 自身の粒界偏析が鉄の粒界結合力を高めていることによる。Ni は固溶軟化によつて、Mo は P による粒界結合力の低下を抑制するかあるいは偏析した Mo の粒界結合力への直接の効果によつて、それぞれ遷移温度を低下させる。Cr の場合、C を含まない Fe-P-Cr 合金では Mo と同じであるが、C が共存すると炭化物形成による偏析 C の粒界強化作用の消失によつて焼もどし脆性を助長させる。

以上 4 件の粒界偏析と破壊に関する報告では測定結果はかなりの一致が見られたが、解釈については一致しないか特定できない点も残された。まず、Mo 量の増加 (討23) あるいは C 量の増加 (討25, 26) によつて C の粒界偏析量が増加した場合、P の粒界偏析量が減少するという傾向は一致したがこれをサイトコンペティションとする考え (討26) とそれ以外の相互作用を考える必要があるとする意見 (討25) に分かれた。ついで、Mo の添加は P の粒界偏析量を変えない (討24, 26) かやや減少させ (討23) かつ遷移温度を低下させる (討24, 26)。この Mo の靱性改善機構の特定は今後の課題である。

(討27) ステンレス鋼における不純物元素の粒界偏析の粒界腐食および粒界応力腐食割れに及ぼす影響

(新日本製鉄(株)八幡技術研究部 阿部征三郎ほか)

オーステナイトステンレス鋼は溶体化のままでは、C, P とも腐食速度に大きな影響を与えないが、鋭敏化処理を行うと、C あるいは P の増加とともに粒界腐食が促進される。極低 C 鋼でも P が多いと粒界腐食が生じ、これは P の粒界偏析によると推定される。また高温高圧純水中での粒界応力腐食割れも P の添加によつて助長される。

フェライトステンレス鋼では硫酸溶液中で著しい粒界腐食を生じ、このとき粒界破面に著しい P の偏析が確認された。この P の作用は、分極曲線の測定などから、P は水素イオンの還元反応を促進させることにより生じると考えられる。

(討28) 直接焼入れ時の焼入性におよぼす圧延組織と B の粒界偏析の影響

(川崎製鉄(株)鉄鋼研究所 小関智也ほか)

含 B 鋼の直接焼入れ時の焼入性の変化について解析した。熱間圧延後焼入れまでの時間経過とともに焼入性は一度低下したのち再び回復する。この変化の過程を四つの Stage に分けてモデル化した。この過程は圧延条件、N 含有量によつても異なる。

このような焼入性の変化はオーステナイト結晶粒の圧延直後の状態から焼入開始までの間に生じる粒界移動とその間の固溶 B の界面への拡散を考えることによつて説明できる。

焼入性が最も高いのは、フェライト核生成場所である旧オーステナイト粒界、変形帯界面などへの固溶 B が拡散し、偏析した時である。また、粒界に偏析する固溶 B はオーステナイトの再結晶を遅延させる可能性があることが示唆された。

(討29) 直接焼入れプロセスにおけるボロンの粒界偏析挙動と焼入性

(住友金属工業(株)総合技術研究所 鎌田芳彦ほか)

B のほかに、N の固定作用を有する Ti および再結晶遅延作用を有する Nb を単独または複合添加した成分系を用いて、直接焼入れ時の焼入性に及ぼす化学成分、加熱、圧延条件の影響を調査した。

焼入開始時のオーステナイト粒界や変形帯界面に偏析 B が存在する場合に高い焼入強度が得られる。焼入強度が高いのは 10 ppm またはそれ以上の固溶 B が存在するときである。

TiB 鋼に比べて、NbTiB 鋼の方が焼入強度が高く、NbTiB 鋼の中では、Nb が固溶する温度に加熱された場合および加工歪みが残留する温度で圧延を終了した場合に焼入強度が高い。Nb の添加は B の偏析する粒界が保持されるため、オーステナイト低温域まで安定して B による焼入性が保持できる。

焼入性と B の粒界偏析の関係の問題は、粒界に偏析した B の定量的測定の困難さが解析の限界になっているのが現状である。今後、固溶 B が粒界へ偏析する過程を動的に取り扱った実験、モデルの出現が期待される。このことは直接焼入れプロセスにおいて特に重要であろうと思われる。

最後に講演者をはじめ本討論会に参加された方々に厚くお礼申し上げます。