

(三菱重工業(株)長崎研究所 増山不二光ほか)

超高速広域 X 線 マイクロアナライザー (Computer-aided X-ray Micro Analyser) による多数点の元素濃度定量分析値をもとにした組織の定量化手段として濃度スペクトル法の提案がなされた。濃度スペクトル法では全測定点の最高と最低濃度の間を任意の尺度に区分して、元素濃度分布を表現し、そのスペクトル形状変化を組織状態と関連づけて解析する。W 繊維強化金属中の W 繊維とマトリックス界面に生成する反応相および  $\text{Si}_3\text{N}_4$  の焼結助剤である  $\text{Y}_2\text{O}_3$  の分布が加熱により変化する状況を明らかにすることができた。この報告にたいして、限界プローブサイズと濃度変化の検出限界、濃度スペクトル解析ソフトウェアなどに関して質疑応答がなされた。

最後の講演は半導体製造用超純水配管に使用されるステンレス鋼の不動態皮膜の解析に各種のキャラクタリゼーション手法を応用した例である。

(討57) 電解研磨ステンレス鋼の表面酸化皮膜構造と耐食性との関係

((株)神戸製鋼所材料研究所 泊里治夫ほか)

電解研磨および大気中加熱酸化処理を施した SUS 316L ステンレス鋼の表面について、AES, XPS, LRS, RED, TFXD により解析した。電解研磨状態では Cr に富む酸化皮膜 ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) が存在する。ついで酸化処理を行うと最表面に Fe, 下地表面付近には Cr が濃縮し、処理温度が  $450^\circ\text{C}$  程度までは非晶質構造、 $500^\circ\text{C}$  以上では結晶化が進む。これらの皮膜構造と超純水中での耐食性との間には良い対応関係が認められた。不動態皮膜が非晶質である点に関して、電解研磨状態でも非晶質である可能性あるいは共存するであろう  $\text{H}_2\text{O}$  との関連について討論がなされた。

本討論会では種々のキャラクタリゼーション手法により、酸化物超伝導物質からステンレス鋼にいたる幅広い材料の特性と組成・構造・組織・界面との関連に関する解析結果が議論され、有益な情報交換がなされた。さらにこの成果を展開拡大できるように、鉄鋼協会欧文誌では同じ主題“先端材料のキャラクタリゼーション”を取り上げた特集号の企画・編集を進めている。

## VI. 最近の高強度耐熱鋼

座長 東京工業大学工学部

菊池 實

副座長 石川島播磨重工業(株)技術研究所

大友 暁

昭和 48 年以降に起きた二度にわたる石油価格の高騰を契機として、熱効率の向上のために火力発電プラントを高性能化する必要性が高まり、我が国においても昭和

54 年頃から、超々臨界圧発電プラントの研究開発が進められてきた。この間、超々臨界圧発電プラントの実現に不可欠な耐熱鋼部品の高強度化、製造技術などについても見るべき成果があがっている。そこで、この方面の耐熱鋼・耐熱合金開発の現状ならびに問題点を討論し、今後の方向を探ることを目的として標題の討論会が企画された。当初、タービンおよびボイラー両方の材料を取り上げる予定で講演公募を行ったところ、予想以上の論文の応募があつたため、ボイラー管用耐熱鋼に関する論文は一般講演として発表していただき、討論会はタービン用材料に限定し四つのセッションに分けて進めた。

最初のセッションには、超々臨界圧発電プラント研究開発の概要について講演を依頼した。

(討65) 高性能石炭火力技術の開発

(電源開発(株)火力部 伊坂 弘ほか)

電源開発の開発経過を中心に国内外の動向を含めて、これまでの経緯が概説された。

まず、現状の超臨界圧の蒸気条件 ( $246 \text{ kg/cm}^2 \text{ g}$ ,  $538^\circ\text{C}$ ) より高い蒸気条件を超々臨界圧: USC (Ultra Super Critical) と呼ぶが、開発目標として STEP 1: 現状の技術の延長で開発可能な蒸気条件 ( $320 \text{ kg/cm}^2 \text{ g}$ ,  $595^\circ\text{C}$ ) と STEP 2: 耐高温高压材料の開発を必要とする蒸気条件 ( $350 \text{ kg/cm}^2 \text{ g}$ ,  $650^\circ\text{C}$ ) とが段階的に設定されていること、STEP 2 が実現すると効率が相対値で 8% 向上することが述べられた。

次いで、1000 MW 級超高温高压タービンを模擬した試験として、STEP 1 および STEP 2 に当たる高温タービン回転試験が完了し、STEP 1 に当たる超高温タービン実証試験が進行中であり STEP 2 に当たる試験が計画されていることが説明され、討論を通じて実発電による実証試験に進む基礎が十分確立したとの見解が示された。

次のセッションでは、USC 用鑄鋼ケーシングが取り上げられた。STEP 1 であつてもこれまで使用されていた 1CrMoV あるいは  $2\frac{1}{4}\text{CrMo}$  鑄鋼ケーシングでは高温強度が不十分であり、12Cr 系鑄鋼が必要となる。しかし、12Cr 系鑄鋼はタービンケーシングのような大型鑄物としての製造実績がないので、このような大型鑄物の製造の技術開発について 2 件の報告がなされた。

(討66) 超々臨界圧火力タービン用 12Cr 基耐熱鑄鋼ケーシング

((株)日本製鋼所室蘭研究所 岩淵義孝ほか)

(討67) 超々臨界圧タービン用高 Cr 系耐熱鑄鋼材の開発

(日本鑄鍛鋼(株) 竹林一成ほか)

ロータ、ブレードなどに使用実績があり、優れた高温強度特性をもつ 12CrMoVNbN 鋼を、大型鑄鋼品として製造した場合にも著しい材質特性劣化をもたらさないような合金組成を選定し、最適な固溶化温度、冷却温度、

焼もどし温度を決定し、これらに基づき、溶解・精錬時における化学成分管理、鑄造時における凝固管理を厳しくし、内部健全性が高く、機械的性質の均質性の高い、実機ケーシングを製造した経緯が報告された。

選定された組成を表1に示す。いずれの報告も $\delta$ フェライト量の晶出量を抑制する必要を強調している。

STEP 2では、さらに高温強度の高いオーステナイトステンレス鑄鋼が必要とされるが、今回はこれについての報告は行われなかつた。

次の二つのセッションは、USC用ロータに関するもので、前半のセッションではSTEP 1を対象とした12Cr系耐熱鋼ロータ材に関する4件の報告があつた。

(討68) 改良型 12Cr 鋼ロータ材

((株)東芝重電技術研究所 渡辺 修ほか)

(討69) 超々臨界圧蒸気タービン用新 12%Cr ロータの開発

(三菱重工業(株)原事本部 肥爪彰夫ほか)

(討70) 超々臨界圧タービン用改良 12Cr 系耐熱鋼

((株)日立製作所日立研究所 志賀正男ほか)

(討71) 超々臨界圧蒸気タービンロータ用 12Cr 系耐熱鋼の開発研究

(東京大学工学部 劉 興陽ほか)

STEP 1の条件でも、現用のCr-Mo-V鋼はもとより12CrMoVNb(Ta)N鋼でも高温強度が不足する。すなわち、 $593^{\circ}\text{C} \times 10^5 \text{ h}$  破断強度が小さくとも  $10 \text{ kgf/mm}^2$  以上で、延性および靱性が現用材と同程度である材料が必要とされる。これは、12CrMoVNbN鋼を改良することによつて果たされた。すなわち、延性および靱性を低下させる $\delta$ フェライトの生成を避けながら、クリーブ破断

強度を向上させるためには、Cr量を低めに抑え、Wを添加するあるいはMo量を増加する。炭素量は低く、Nb量も低めにする。この結果は表2のような成分組成としてまとめられる。

熱処理温度は、焼入温度： $1050 \sim 1100(1150)^{\circ}\text{C}$ ；第1段焼もどし： $550 \sim 570^{\circ}\text{C}$ ；第2段焼もどし： $660 \sim 680^{\circ}\text{C}$ の範囲にあるが、一般的に焼入温度が高いほど、第2段焼もどし温度が低いほどクリーブ破断強度は高くなるが、延性および靱性は低下する。

企業の開発はロータの試作・製作まで進んでいる。東大の開発合金は強度は高いがCr量が高く大型ロータ製造時に $\delta$ フェライト生成の懸念があるとの指摘がなされた。

最後のセッションではSTEP 2を対象としてA286鋼ロータ材に関する3件の報告があつた。

(討72) 超々臨界圧タービン用改良 15Cr-26Ni-1.25Mo 鋼ロータ材の開発

((株)日立製作所日立研究所 飯島活巳ほか)

(討73) 発電プラント向け鉄基超合金 A286 鍛造部材の開発と製造

((株)日本製鋼所室蘭製作所 塚田尚史ほか)

(討74) 超々臨界圧蒸気タービン用 Fe 基耐熱合金ロータの開発

((株)神戸製鋼所素形材開発部 木下修司ほか)

STEP 2のロータ材として、この温度が十分なクリーブ破断強度を有する鉄基超耐熱合金が必要とされるが、製造性などを考慮してA286鋼を用いて、ロータの試作に成功している。従来、大型鑄塊の製造実績が全くないこの鋼で30tを超えるようなESR鑄塊からロータを

表 1 ケーシング用 12Cr 系鑄鋼の成分組成

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Nb	N
日 鋼	0.14	0.3	0.6	0.007	0.007	0.5	10	0.9	0.23	0.10	0.04
鑄鍛鋼	0.11	<0.7	<0.8	<0.03	<0.01	0.5	9.5	0.8	0.17	0.05	0.05

表 2 ロータ用改良 12Cr 鋼の成分組成

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	W	Nb	N
東芝	0.14	0.03	0.5	0.010	0.002	0.7	10.4	1.0	0.20	1.0	0.07	0.04
三菱重工	0.15 0.12	0.07 0.06	0.5 0.5	0.015 —	0.002 —	0.6 0.5	10.2 10.4	1.5 0.3	0.17 0.20	— 2.0	0.06 0.05	0.045 0.05
日立	0.14	0.07	—	—	—	—	10.5	1.2	0.18	0.3	0.05	0.05
東大	0.13	0.05	—	—	—	—	11.2	0.3	0.2	2.2	0.05	0.05

表 3 ロータ用改良 A286 鋼の成分組成

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Ti	Al	V	B
日立	0.03	0.25	1.3	—	—	26	14.8	1.2	1.8	0.31	0.35	0.006
日鋼	0.01	0.06	1.2	—	—	25	14.5	1.5	2.2	0.33	0.25	0.002
神鋼	0.02	0.15	0.5	0.01	0.0015	26	14.5	1.3	1.1	0.13	0.2	0.005

製造するために表3に示すような成分組成が選定されている。

(討72)では、ロータ使用温度 650°C における長時間加熱後の加熱脆化に及ぼす成分組成の影響を検討し、炭素および Ti 量を低くすることによって、クリープ破断強度を低下させることなく高温長時間加熱による脆化を改善できることを示した。

(討73)では、大型 ESR 鋼塊の逆 V 偏析ならびに脆化相の低減を計るための凝固条件を検討するとともに、このためには成分として Si および Ti 量をクリープ破断強度を確保できる範囲で低減する必要のあることを明らかにしている。さらに、結晶粒の粗大化を防ぐためには鍛造時の有効歪み量を大きくする必要のあることなどを指摘している。

(討74)では、大型鋼塊に発生しやすい偏析性の欠陥であるフレックルの機械的性質に及ぼす影響について検討するとともに、フレックル生成を抑制するためには Si, Mn, Ti 量の低減が有効であり、Ti 量は 1.1% まで低減してもクリープ破断強度を 10 kgf/mm<sup>2</sup> 以上に保持できることを示している。

(討65)の講演で述べられたように、耐熱鋼に関しても開発目標を十分クリアーできる見通しがついているといえよう。最近、省エネルギーの実行も上がり、石油価格も比較的low格価で推移しており、電力消費量も逼迫した状況にないため、必ずしも超々臨界圧発電の要求が高いとはいえない。しかし、やや長期的に見れば、熱効率を高め、化石燃料の有効利用を計ることは最も重要な技術的課題の一つである。超々臨界圧発電の研究開発がさらに進展し、それが実現することを期待したい。

この討論会は全体の発表件数が 10 件のにのぼり、討論時間が十分にとれなかつたきらいは残つたが、活発な討論が行われ、STEP 1 を超える蒸気条件のロータ材として改良 12Cr 系鋼を使用できる可能性が指摘されるなど、耐熱鋼の高強度化になお多くの可能性と課題のあることが印象づけられた。

最後に、講演者はじめ本討論会に参加いただいた皆様方に感謝いたします。

統計

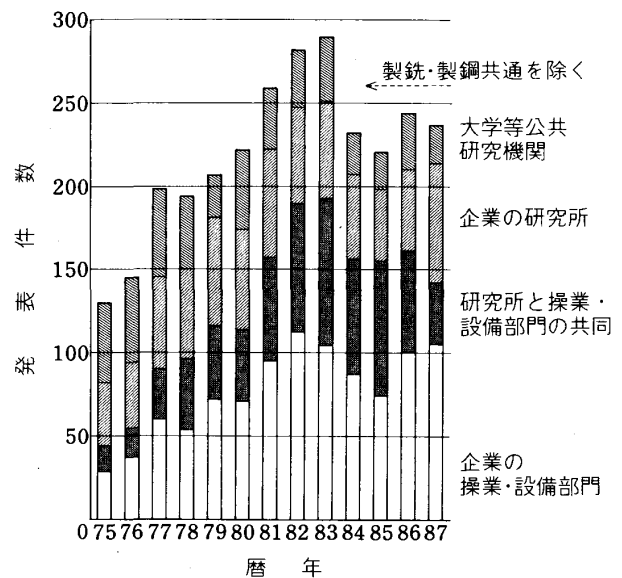
日本鉄鋼協会講演大会における製鉄分野の発表件数

我が国における鉄鉄生産量は 1974 年以降、昨年の 2 月頃まで途中の 1979, 1980 年にやや取り戻したものの、漸減の傾向にあつた。

一方、講演大会での発表件数は生産量の変化とは関係なく 1983 年まで急速に増加している。とりわけ企業の操業・設備部門からの発表は活発となり、1983 年以降は高水準のほぼ横ばい状態にある。

企業の研究者と技術者共同の発表件数も同様に増え、研究成果が順調にトランスファーしていることがうかがえる。しかし、ここ 2~3 年では急に減少傾向にある。経営の多角化に伴つて研究開発のテーマあるいは体制が変化してきているのであろうか。

(新日本製鉄(株)製鉄研究センター 肥田行博)



製鉄分野における発表件数の推移