

量と疵との関係について質問があつた。内容的には杉谷氏の質問と大差なく果たして AlN が疵の起点となり得るか又、もしなるなら Al の含有量によつて疵の発生量に差が出るのではないだろうかという質問であつた。

次いで野中氏から表面欠陥に影響を与えるのは 2 次冷却パターン特に鑄型直下の冷却であるという立場に立つて実験装置を組んで解析を行なっているがそれらの実験事実に基づいて一般的な見解を述べられた。これに対して報告者からも同意見であるが鑄片の表面品質と内部品質で改善の方向が全く逆になることがあるためどちらを優先するかということで最終的に決定すべきであろうという回答がなされた。

(討 6) 薄鋼板用連鑄低炭素アルミキルド鋼における表面性状の改善と鑄片手入れの省略について

新日鉄 名古屋 井上 俊朗・小舞 忠信

竹村 洋三・岡 賢・加藤 郁

(討 4), (討 5) は主として厚板を中心に考察した論文であるが本論文は薄鋼板の表面欠陥についての報告でありしたがって表面欠陥の発生原因も全く異なり、本論文ではその原因を非金属介在物 (主としてアルミナクラスター) とパウダーのまきこみによるとしている。したがって表面欠陥防止法としてはいかに鑄造中に溶鋼からアルミナクラスターを浮上させるか、又一旦浮上したアルミナがパウダーに吸収できる様パウダーのアルミナ吸収能をいかにして大きくするかが重要なポイントになる。これらの条件を満足する製造条件としては、

1. 溶鋼の流れがスムーズになる様なタンデッシュノズルの選定
2. パウダーのアルミナ吸収能を持続させるためには溶鋼温度をある温度以上に保持し又アルミナが増加しても粘性が増加しない様な成分を持つたパウダーの選定
3. 転炉精錬, アルミニウム添加技術, 空気酸化防止技術

などが重要であるとしている。さらに鑄片の品質管理と手入れの省略について詳細な報告が行なわれている。

この報告に対して

川崎製鉄 技研 江見 俊彦

日本鋼管 技研 宮下 芳雄

の 2 氏から質問が呈出された。

江見氏からの質問は本論文が江見氏の経験とほとんど一致していることから大筋については賛意を表されたが Sub-surface inclusion 生成の機構を (1) 溶鋼の停滞流に存在する介在物が凝固殻に捕捉されたものと (2) 浮上してきた介在物がパウダーに吸収しきれずにメニスカス近傍に流れて凝固殻に捕捉されたものとにわけ (1) と (2) の寄点をどの様に考えるかという質問が出された。それに対しては (2) の機構による集積が大きいと考えている旨回答された。さらにアルミナの吸収を大きくする様なパウダーの組成に関する基本的な考え方の討論が行なわれた。すなわち江見氏はパウダーの組成よりも消費量によつてアルミナ吸収量が決定されるので CaO/SiO_2 に固執せずに F^- 添加によつて粘性の低いものができるという主張に対して報告者はパウダー中のアルミナ量が大きく変化してもパウダーの熔融特性が変化しないもの

が望ましいという観点から $\text{CaO/SiO}_2=1.0$ としたと答えた。次いで宮下氏からはアルミナの集積を左右するメニスカス部での湯流れを決定する浸漬ノズルについて質問が呈出されたが報告者から鑄片の表層部の清浄化は鑄型内の湯流れとそれに適したパウダーの選定が重要であり、むしろこの場合はパウダーの巻込みに対して注意を払う必要があるという回答がなされた。

以上約 4 時間にわたる討論会で厚鋼板の鑄片に発生するスター疵あるいは横ワレについて Cu 説と Al 説は何れとも結論を得るには至らなかったが多くの方々それぞれ自己の経験データあるいは解析結果を呈出され討論できたことは非常に有意義であつた。また薄鋼板の鑄片製造に関してパウダーの機能は議論されたが時間が少なく十分な討論ができなかったことは残念であつた。

各社とも鑄片の表面欠陥防止は省エネルギー、有力の点から大きな関心事であり大勢の方々最後まで熱心に参加されたことを申し添えておく。

III. 大型鋼材の熱処理

東京工業大学精密工学研究所 工博

座長 田中 実

この討論会については、49 年 5 月に「鉄と鋼」誌上で講演が募集され、依頼講演を含めて 4 つの講演が決定された。その講演既要は「鉄と鋼」61 (1975), No. 2 に掲載されている。

討論会は 50 年 4 月 5 日 13 時より 17 時 30 分まで東大・工学部 3 号館内の教室で行なわれ、約 80 名の会員の出席の下に活発な討論・意見の開陳があり、有意義に終了した。

第 1 の講演は、「極厚低合金鋼板の製造時の熱処理について」と題し、新日鉄・名古屋製鉄所の高石昭吾・斎藤晟・中尾仁二・川合重之・山場暁太・間瀬秀里氏らによつて発表された。これは、原子炉圧力容器用 ASTM A533B 鋼 (0.2% C, 1.38% Mn, 0.62% Ni, 0.52% Mo) の厚さ 150~160 mm 鋼板製造を対象として熱処理に伴う AlN の析出挙動とそれの低温靱性におよぼす影響と脱水素処理温度選定に際して鋼材のミクロ偏析部の存在を注意すべきことを論じたものである。すなわち、中尾氏は、(i) 溶体化処理で完全に AlN をオーステナイトに固溶し、(ii) 冷却に際しては γ 領域での AlN の析出を阻止し、(iii) 調質処理の加熱に際して α 領域で AlN を析出せしめることが結晶粒の微細化、低温靱性の改善に有効であることを実験例によつて示した。またこの種の鋼材の脱水素処理は α 領域において比較的高温で加熱するのが効果的であるが、ミクロ偏析部では、(0.4% C, 3% Mn, 1% Ni) のように合金元素が高濃度に集積しており、このような偏析部が脱水素処理温度で ($\alpha + \gamma$) 領域にならぬように注意が必要であることを論じた。

この講演に対して、日本鋼管・技研の大内千秋、川崎製鉄・技研の榎並禎一および石川島播磨重工・技研の深川宗光の 3 氏より意見・質問が提出された。

大内氏は、(i) HT 50 鋼 (0.14~0.16% C, 1.26~1.14% Mn, 0.04~0.05% Cu, 0.036~0.057% Sol. Al,

0.0050~0.0145 Sol.N) について均一化焼なまし処理後 550°C 以下に冷却し 900°C に再加熱することが AlN を微細に析出せしめ、フェライト結晶粒の微細化、低温靱性の向上に有効であること、(ii) HT 80 鋼 (0.12%C, 0.92~0.97%Mn, 0.24~0.27%Cu, 1.32~1.37%Ni, 0.52~0.54%Cr, 0.34~0.35%Mo, 0.05%V, 0.0010~0.0013%B, 0.056~0.091% Sol.Al, 0.0081~0.0103 Sol.N) について均一化焼なましで AlN を完全に固溶し、冷却時に γ 領域での AlN の析出を阻止すべきであることを論じ、中尾氏の結論を支持した。

榎並氏は、中尾氏の実験結果を考察して、溶体化処理により AlN を完全に固溶して後冷却する温度 (T_2) を (a) 400°C 以下の場合、(b) 600°C の場合、および (c) 800°C の場合に区分し、 T_2 から 900°C まで再加熱して冷却し、さらに調質の際の 880°C に加熱するときの AlN の析出挙動をまとめると、(c) の場合が γ 粒径は最も細くなり、(b)、(a) の順に粗大化するはずであるが、実際は (a) が最も細かく、(c)、(b) の順に粗大化しており、これは AlN の析出挙動とともに変態履歴が大きく影響をおよぼしているのではないかと論じた。

また深川氏は、 γ 領域での AlN の析出は速度は極めておそいが、 γ の粒界に析出し、粒界脆化の原因になる実験例を示すと同時に、中尾氏が示したマイクロ偏析が鋼材の内部割れの原因になるので、とくに超厚鋼板のマイクロ偏析の防止が重要であることを鋼材使用者の立場から強調した。

第 2 の講演は、「Mn-Ni-Mo 極厚鋼板の熱処理条件と靱性」と題し、川崎製鉄・技研の榎並禎一、佐藤新吾氏らによつて発表された。この講演では、極厚鋼板の焼入組織が上部ベイナイトあるいは上部ベイナイトとフェライトとの混合組織になり易いことから、これを焼もどししてもその靱性は焼入れ時におけるオーステナイト粒径によつてほとんど決定されてしまうので、低温靱性の向上にはオーステナイト粒径が微細化するように化学成分あるいはオーステナイト化条件を選択すべきであることを提案している。したがって、焼入組織とかオーステナイト粒径を変化せしめぬ場合には、たとえ Ni を添加してもあまり有効ではないことを実験的に示している。

この講演に対して、新日鉄の中尾仁二、住友金属・中央技研の邦武立郎・大谷泰夫・渡辺征一および三菱重工・高砂研究所の薄田寛氏らから質問・コメントが提出された。

中尾氏は原子炉圧力容器に用いられる板厚 100~300 mm の Mn-Ni-Mo 鋼 (A533B 鋼) では、焼入組織が上部ベイナイトとフェライトの混合組織の場合であつても、冷却速度の速いものの方が低温靱性に優れている実験例を示し、このような混合組織ではオーステナイト粒径よりもむしろフェライトの分布状態が低温靱性に大きな影響を与えるのではないかと論じた。

邦武氏は榎並氏の論旨に賛意を表すると同時に上部ベイナイトの靱性におよぼす Ni 添加の影響について次のような実験結果を提示した。すなわち、0.13%C, 0.25%Si, 1.2%Mn, 0.6%Cr, 0.3%Mo 鋼では同一の熱処理条件でも、Ni が 0.01% から 3.5% に増加すると、

変態組織は (上部ベイナイト+フェライト) の混合組織から (微細ベイナイト+マルテンサイト) の混合組織に変化し、遷移温度 (νTs) は -74°C から -129°C に低下する。また 0.15%C, 1%Mn, 1%Cr, 0.5%Mo 鋼に Ni を 1% 添加すると、上部ベイナイトの変態温度は 30~40°C 低下して、脆性破面単位が小さくなり、低温靱性が向上する。これらの結果に基づき、邦武氏は変態組織がいかなる状態にあるかが極厚鋼板の低温靱性を考察する場合に最重要であり、次いで焼もどしに伴う再結晶析出物の成長も考慮すべきであることを論じた。

薄田氏は、原子炉圧力容器製作者の立場から Mn-Mo-Ni 鋼板の靱性におよぼす熱処理条件について、(i) 厚板鋼の熱処理の際の臨界冷却速度は 10°C/min 程度でこれ以下になると靱性が不十分になること、(ii) 溶接後の残留応力除去焼なましの際に焼もどし脆性を考慮する必要があること、(iii) この種の鋼材の靱性評価に照射脆化の影響を考慮し、これに関連して鋼材の製鋼法、化学成分、微量不純物、金属組織が究明されるべきであろうということなどを提示した。

第 3 の講演は、「大型鍛鋼軸材の熱処理 (特に高強度・高靱性の発電用タービン軸材の製造について)」と題し、日本製鋼所室蘭製作所の川上辰男氏によつて発表された。これは直径約 2m の軸材 (重量約 105 t) について、降伏強さ 80 kg/mm² 以上、中心部の破面遷移温度が 16°C 以下、常温の 2 mm V 切欠シャルピー値 4 kgm 以上の強靱性を満足させる熱処理方法を述べたものである。すなわち、(i) 鋼材の化学成分、(ii) 結晶粒の整粒化、(iii) 焼もどし脆性および (iv) 残留応力などを考慮して焼なまし、階段冷却、噴霧焼入れを適当に組合せて熱処理を実施し、その結果大型軸材の表面部と中心部において優れた機械的諸性質の得られたことが示されており、熱処理技術の理論と経験を巧みに駆使したわが国でも珍らしい実験結果の発表であつたといえよう。

この講演に対して、神戸製鋼所高砂工場の牧岡稔、日本鉄鋼・技術部の福田悦郎、日立製作所勝田工場の島田隆介氏らにより質問がなされた。

牧岡氏の (i) 焼もどし脆性およびオーステナイト結晶粒度におよぼす不純物元素の影響と、(ii) 鍛造・熱処理工程における結晶粒の微細化についての質問に対し、川上氏は、(i) 不純物による影響については未だ解明は不十分で、実用に供せられている鋼材では Si 0.01%, P 0.006%, Sn 0.008%, As 0.01%, Sb 0.014% 程度の不純物量であること、(ii) 熱処理と鍛造による結晶粒の微細化については、鍛造時の再結晶および結晶粒の成長の阻止に注意することと、化学成分によつて細粒化が容易であるか否かにより焼なましの回数あるいは焼なまし温度からの冷却方法が定められることなどを述べた。

福田氏は、焼もどし後の冷却に際して、焼もどし脆性を避けようとするれば残留応力が大きくなるのではなからうかという点を質したのに対し、川上氏は、焼もどし脆性を避け、残留応力を低くするための冷却速度の調整はむずかしい問題であるが、400~430°C 付近の温度領域においてとくに重要ではなからうかと述べた。

島田氏は、Ni-Cr-Mo-V 鋼の焼もどし脆性について P よりも Sb の方が微量の場合 (4~16 ppm) 大きな影

響を与えることもあるという実験結果を示すと同時に、大型軸材の降伏強さと低温靱性あるいは破壊靱性との両者をいずれも高め得る金属組織はいかなるものが適当とえられるかと質問した。これに対し川上氏は、Sbの影響は非常に微量の場合については考慮しておらぬこと、および強靱性に対する金属組織は整粒化した微粒組織が重要であること、またここに発表した軸材の破壊靱性値は十分満足すべきものであったことを述べた。

第4の講演は、「中実および中空円筒変形の解析」と題し、石川島播磨重工・技研の利岡靖継、雑賀喜規氏らによって発表された。

この講演は極めて興味深いものと思われたが会場の都合で10分間程度で終了せざるを得なかつた。この討論会は17時に終了の予定であつたが、各講演とも活発な討論が行なわれ、司会者もあまり時間について配慮しなかつた結果、折角利岡・雑賀両氏に準備していただき、また新日鉄・生産技術研究所の守末利弥氏からはコメントも提出されていたのに十分発表していただけなかつたことを司会者としてお詫びする次第である。守末氏によつて指摘された利岡氏よりの依頼により講演既要を下記のように訂正することのみで、この講演の報告に代える。

「鉄と鋼」61 (1975) No. 2 討論会講演既要 p. 75 A 37 の(1)式の q の単位は $\text{cal}/\text{cm}^3/\text{sec}$, c の単位は $\text{cal}/\text{cm}^3/^\circ\text{C}$ とする。(2)式の左辺第1項の q_i は Q_i とし、 Q_i はセル i 全体の比熱 (cal/sec) で $Q_i = q_i V$ である。(4)式右辺の q_i は Q_i , c_i は C_i とする。p. 75 A 38 上から2行目の式の右辺の c_i も C_i とする。(5)式右辺の第3項の $E\dot{\epsilon}_{\mu\mu}$ は $\dot{E}\epsilon_{\mu\mu}$, 第5項の $\dot{\epsilon}_0$ は ϵ_0 とする。(6)式右辺の第5項の $-\dot{\epsilon}/(1-2\nu)$ は $-\delta_{ij}\dot{\epsilon}_0/(1-2\nu)$ とする。(6)式より3行下の式の左辺の第1項 $\partial f/\partial \dot{S}_{ij}$ は $\partial f/\partial S_{ij} \cdot S_{ij}$ とする。

IV. 低温用鋼の組織と機械的性質

東京大学工学部金属工学科 工博

座長 荒木 透

この討論会は、最近液化天然ガスの貯蔵や輸送の問題で重要視されている極低温用高張力鋼の開発研究に関連した話題について企画されたものである。内容的にみると、1) 9% Ni 鋼に類する低炭素焼もどしマルテンサイト組織を有する鋼の熱処理による改善組織、2) 低温脆性を示さない安定オーステナイト鋼の強化組織、3) C, Nを含まない含 Ni マルテンサイト組織の鋼の微細化組織、などの極低温における靱性と成分、組織との関連が興味あるトピックスであるが、今回は 1) および 2) の問題について以下のように講演発表と討論が行なわれた。

討11 ($\alpha + \gamma$) 領域加熱焼入れ処理による Ni 含有鋼の低温靱性向上の原因。日本鋼管技研の山田真氏により講演発表された。8%Ni 鋼さらに Cr, Mo, Cu などで modify した 5% Ni 鋼などについて、($\alpha + \gamma$) 共存領域に加熱した時の組織の微細化と微粒 γ の分布と強度、低温靱性 vTr , 破壊の破面単位などをしらべ、この特殊熱処理による低温靱性向上の原因は、フェライト化その

ものの靱性向上と微析出オーステナイトによるものと推論されること、旧オーステナイト粒界を剝離させにくくする効果をもつことが主で、破面単位に与える影響によることがほとんどないことなどを結論した。

住友金属・邦武立郎、大森靖也両氏のコメントが討11に関連して大森氏により述べられた。5% Ni modified 極低温用鋼について、($\alpha + \gamma$) 域加熱温度域を I ($\sim 650^\circ\text{C}$), II ($\sim 675^\circ\text{C}$), III ($\sim 700^\circ\text{C}$), IV ($\sim 725^\circ\text{C}$) の4つの領域に別つと、II と IV の領域で -196°C 衝撃値の極大値が見られることを述べ、その機構として、I-Ac₁ を越えると、II で安定な富化 γ が生じ、シンク効果による靱性向上、さらに III γ の合金低下による不安定化により靱性低下、IV で再び多量の γ 生成と再結晶による細粒化効果がみられるなどの所見を提案した。また、山田氏がフェライト地の靱性を述べたのは C, N のシンク効果を指すのか、IV に相当する靱化に関する意見、および C- (圧延直角) 方向の靱性向上の理由などについてたどした。山田氏は答えて、Ni% の差によつて若干結果に差のあることを認め、また急速加熱により粒状の再結晶 γ がでて、徐冷では出ない事実を示唆した。またシンク効果については同意を表した。C 方向の靱性については伸長介在物による低下が相対的に改善されることについて所見を述べた。

新日鉄基礎研の桜井浩氏がつづいて質問に立ち、1) $vTrs$ に対する効果は生成オーステナイトと降伏強度だけでは説明できない。 -196°C での vE では加熱温度の上昇による改善は安定オーステナイトの範囲までである。2) オーステナイトが衝撃テスト中に変態することは悪いと考えるか、TRIP 現象は考えないか。3) 焼もどし脆性については P が旧 γ 粒界への γ 析出によつて排除されることによると考えられる。などの点について見解を求めた。これに対し、山田氏は答えて、オーステナイトそのものの効果は少ないこともあるが、Ni, Mn, 降伏強度などの効果が総合的にデータとしてえられた。オーステナイトの SFE を下げ TRIP を助長する元素として Cr は本実験では負の結果を得た。などの事実を述べ、($\alpha + \gamma$) 域加熱が P の偏析サイトを増して分散し粒界われをなくする機構については同様の見解を示した。

東北大須藤一氏は発表講演内容に対する若干の質問を行なつた。一様伸びと靱性との結びつきが必ずしもないこと、予講の図7には焼戻し脆性に対する効果、マトリクス (降伏強さ) の軟化による効果、オーステナイトによる効果の3つのものが表われていることなどが議論された。

討12 Fe-Ni-Mn-C 系オーステナイト鋼の変形による組織の変化と伸び、靱性の関係。川崎製鉄技研鈴木重治氏により講演発表された。9%Ni 鋼の ($\alpha + \gamma$) 域加熱時に析出するオーステナイト相に近い成分の試溶鋼についてマルテンサイト変態と機械的挙動を調べたもので電顕観察をも行ない、前講演にも議論された典型的な変態誘起塑性の他に Md 点より上の温度で塑性増加と双晶との関連した特異な変態組織を認めている。衝撃靱性は Md 点附近に変態に関与したピークを認め、主としてき裂の伝ばエネルギーに関係するものと考える旨を述