

中の酸化物はアルミニウムを添加後、時間の経過につれて、球状介在物から非球状介在物もしくは、アルミナ系の微細介在物に変質していく過程にあり、とくに凝固現象時の固層と液層との界面での酸化物の変質は、顕著に起こるものであることを、その介在物の組織ならびに組成を示しながら、指摘された現象を説明付けた。

また、坂田は、DH真空脱ガス処理において、脱酸剤の添加時期を変えた実験結果を用いて、鋼種もしくは、その用途に応じて、最適脱酸法が、種々変わるものであろうとのコメントを与えた。

討 6 DH吸上脱ガス法の効果について (丸川他)

丸川らは、DH吸上脱ガス処理時の、諸成分、温度に関する基礎データを示して、真空脱ガス処理の効果を説明し、製鋼作業への利用の実例を示した。真空脱ガスの効果は

- (1) 脱炭および脱酸
- (2) 脱水素
- (3) 脱窒素
- (4) 成分調整および温度調整

に整理され、これらのそれぞれの効果は、鋼種、循環係数、脱酸の程度によつて異なる。DH処理材の鋼片疵の発生状況は、DH処理をしない場合のそれよりも大幅に改善され、かつ、アルミニウム添加量が多いほど疵発生の程度は軽減されると報告し、鋼中に検出される介在物の種類は、もつばら、鋼中の Sol-Al 含有量によつて定まるものであり、脱酸の方法、すなわち、脱酸剤の添加の順序およびその時期には依存しないと報告したが、この点は、前述の梶井らや有馬らの報告とは、異なるものであった。この報告に対し、梶岡は、窒素の平衡値は 40~60ppm の間にあり、これは窒素分圧 5~10 mmHg の平衡値に対応する。この値は実際の真空度と大幅に異なっており、この理由を質した。これに対し、丸川は、窒素が DH 処理によつて低下しえない理由として、DH 処理時の合金添加時、合金ホッパー内を窒素ガスで置換し、その後合金投入を行なっているが、この時点で槽内の圧力は 0.1 atm くらいまで上昇する。これにより、窒素が鋼中に吸収されるということは十分考えられる、と答え、また、DH法の真空度はスチームエジェクター前での測定であり、槽内の溶鋼表面の圧力は実測されていないので、真空度との関係での窒素の平衡含有量については不明であると答えた。また、佐伯は、丸川らの窒素に関するデータの 40ppm 以下において DH 処理後の方が、処理前よりも高くなっている理由を質したのに対し、丸川は、この理由は、合金中の含有窒素によるアップと考えられる、すなわち、DHでのマンガン添加は電解マンガンであり、この窒素含有量は非常に高く、処理中のアップ分と見合う量になつていると答えた。また佐伯は、脱水素に関して、従来の精錬炉などの諸データでは、未脱酸溶鋼の場合の方が、脱酸溶鋼の場合よりも脱水素が起こりやすいというデータを引用し、この報告ではこの現象が見られないことについての原因の説明を求めたが、丸川は、CO 気泡の生成機構などが、不明であるので、この件については、今後検討したいと答えた。

総 括

DH法にしる、RH法にしる従来、脱ガス装置としての面から、研究がなされてきたが、今回の報告はいずれも、脱酸反応槽としての利用面からの研究が焦点として報告された点から見て、研究の焦点の移行が見られる。なお、詳細に見れば、意見の不一致部分も見られるが、脱酸反応槽としての役割りが大幅に重要視されてきたことは、真空脱ガス設備の利用がより幅広く行ないうることになったことを示すものであろう。このような点からみて、DH法にしる、RH法にしる、現在、工業的な利用法は十分に完成したものと考えられる。なお、真空脱ガス技術という面から見ると、DH法、RH法以外に、ASEA-SKF や LD-VAC など、新しい技術が最近急速に進んでおり、これらに関する諸研究の強告がなされることを希望する。(浅野鋼一)

III. 熱間加工の温度、速度、加工度と組織

東京工業大学金属工学科 工博

座長 中村正久

中村、植木*(東京工大)、大宝(大同鋼中研)は中空円筒試料の Al, Cu, 低炭素 19-Cr-11Ni (SUS 28) 鋼および極軟鋼について広い変形速度の範囲でねじり試験を行ない、定常状態変形が $Al: 0.5 T_m$, $Cu: 0.55 T_m$, $SUS 28: 0.6 T_m$, 極軟鋼 α 域: $0.4 T_m$, γ 域: $0.6 T_m$, T_m は融点温度 ($^{\circ}K$), 以上の温度で生じ、そのときのひずみ速度、温度を含む Zener-Hollomon 因子を応力のべき \sinh 関数に対してプロットするとすべての実測点が一直線で表わされることの資料を提示し、そのほかの整理方法との比較を行なうとともに、各試料のレストレーション過程として Al とオーステナイトステンレス鋼は主としてポリゴン化、Cu は再結晶、極軟鋼はポリゴン化と再結晶の共存であることを述べた。

討論として、関根と丸山*(新日鉄基礎研)は定常状態変形の出現に及ぼすひずみ速度の影響、Zener-Hollomon 因子対べき \sinh 応力関係が直線となるのに動的レストレーション過程に変化があること、および定常状態変形応力と再結晶粒径との関係について熱間圧延における実験例を示して発表者の見解を求めた。植木は第一の質疑に対しては定常状態出現温度は下限温度として示したもので、拡散係数補償のひずみ速度に対すべき応力関係として整理した図を示し、これらはひずみ速度と温度の両方が考慮されていること、および変形応力と再結晶粒径あるいはサブ結晶粒径の関係は実験の段階で定性的には討論者の示したものと同様の関係を認めているが、詳細は今後の研究にまちたいと述べた。

伊藤(大同鋼中研)は発表者が用いたクリープにおける GALOFALO の式の解説を求め、さらに定常状態変形は加工硬化とレストレーションによる軟化とがつり合った状態であるから、ひずみ速度対べき応力関係におけるべき値によつて整理すべきであろうと述べた。植木は GALOFALO の式は定常状態変形の低応力側はべき法則、高応力側は指数法則式によく乗ることを数学的にまとめたものにすぎない経験式であることを述べ、またべき法則によつて整理した場合のべき値はたしかにレストレーション過程とよい対応があり、ここで取扱った材料につい

てはそれが 5 以下ではポリゴン化, 6 以上では再結晶であつたと報告した。

日下部(鋼管技研)は熱間押出しなどでは定常状態変形も重要であろうが, その他の加工を対象とすれば変形初期の変形抵抗やそのミクロ的な考察が必要であること, ステンレス鋼は積層欠陥エネルギーが低い材料と見なされているのに Al と類似した挙動を示す理由, およびべき法則整理におけるべき値と活性化エネルギーの順序に関する発表者の見解を求めた。植木は第 1 の点はすでに本会欧文誌にすでに発表済みであること, 積層欠陥エネルギーは高温では室温で測定されたものとは相異なる可能性があること, および実験的に求めた活性化エネルギーはひずみ速度の温度依存性が大きくなるものほど大なることを示した。

作井(東京理科大)と酒井*(電通大)は真空中でひずみ速度約 9 sec^{-1} の引張変形をし水素吹付急冷を行なう方法で 0.06% C の極軟鋼を 600° から 1100°C にわたって変形させたときの変形応力, 延性および硬化量, 変形組織などの関係について報告し, 定常形態変形は α 域の高温において現われ, γ 域では加工硬化の大きい応力-ひずみ関係を得ること, 高温変形後の再結晶は変形量 40% と 50% の間で不連続して起こり, 700° で 80% 変形した試料は変形後 1 sec 以内に再結晶するから変形組織を固定するために行なわれた従来の研究の不備を指摘した。日下部(前出)はガス急冷の一様性, α と γ の混在域が γ -相域より延性が大きいこと, および 700°C 変形における試料のかたさが変形が大きくなると減少の傾向があるのに対し抗磁力は一定値にある理由などについて質問を行なった。酒井は冷却の一様性は十分に保たれるように装置として工夫がなされていること, γ 域は α 域に比べて一様伸びが大きいこと, およびかたさの減少はむしろ測定誤差と考えられることを述べた。中村(前出)は酒井の発表にある $\alpha + \gamma$ 域における α 相への変形集中の原因は発表者のデータにも現われている α 相の変形抵抗が小さいことであつて, α 相がもつとも少なくなる A_3 点付近が一番延性が小さくなることを指摘した。また, 大室(前出)は γ 相で再結晶が観察されたかどうかを質問したが, 酒井は発表の範囲では γ 相における動的再結晶は見られなかつたと回答した。

小指, 田中(日本鋼管技研), 大須賀*(同福山)は Si-Mn 系構造用鋼に Nb, V, Al および Al+N などを添加した鋼について 1300° , 33% の圧延を行なったのち等温的に加熱したときの再結晶速度, 上記のほかに 18-8 ステンレス鋼を含む材料の結晶粒界移動速度, 再結晶核の観察などについて興味ある実験結果を示したのち, 加工をうけたオーステナイト組織がフェライト組織に変態する場合の両組織の関係について, 主としてオーステナイトの再結晶を顕著に遅滞させる Nb 添加鋼は, 加工後再結晶が起こらない温度範囲が広く, この温度で強加工を行なつて変態させるときは変態核生成の頻度が大きで細粒フェライトが得られ, このことは製品の降伏強さの上昇, シャルピ破面遷移温度 vTs の低下をもたらすことを述べた。さらに Nb と V を含んだ Si-Mn 鋼の厚板を生産規模で作つた場合 900° 以下の温度における合計圧下量の増加に従つて vTs が低下することを結論した。

武智(新日鉄君津)は相の相違するもの, 従来から結晶粒界移動の妨害となるので細粒が得られるとされている析出物を含む多くの鋼の結晶粒界移動の活性化エネルギーがおよそ等しくなっている点, および冷間圧延焼なましの実験では同一圧下量とした場合においては圧下率の配分が相異すれば再結晶粒度に相異があるという実験結果を示して, 熱延の場合についての質問を行なった。大須賀は前者についてはオーステナイトステンレス鋼は他のものと明らかな相異があり, 結晶粒界阻止作用のある析出物を含んだ材料に相異が見られなかつたことは, 加熱時間, 温度から考えて粒界移動の初期の部分の実験をしており, またこの部分が熱延組織を対象とする限り重要な点であり, このような場合に限つて析出物の影響がなかつたものと解釈している。また, 熱延の圧下率の配分について詳細に検討したわけではないが, これも高温, 短時間再結晶の場合に再結晶粒度に主たる影響を与える因子が総圧下量であると考えていることを述べた。

寺崎*, 金子(住金中技研)は γ の再結晶温度以下の制御圧延はたしかに結晶粒径を微細化し, 強度と延の向上に効果があるが, $900^\circ \sim 800^\circ\text{C}$ 熱延では $\{100\langle 011 \rangle$ の減少と $\{211\langle 011 \rangle$ の増加があり, 最終的には $\{554\langle 225 \rangle$ への集積が大きく, Nb 添加鋼はこの傾向を強くし, $800^\circ \sim 700^\circ\text{C}$ の圧延では $\{100\langle 011 \rangle$ にきわめて強い集積が現われることの実験結果を示し, この異方性に基づく性質への影響に関して発表者の見解を求めた。大須賀は異方性についてはすでに本会誌に発表済みであり, とくに vTs には異方性は強い影響を示さなかつたと述べた。

梶(神鋼中研)は再結晶を生じない γ 域の圧延では α 核生成のサイトである γ 粒界の面積の増加, γ 粒の板厚方向の粒径の減少, γ 粒界および粒内の格子欠陥の変化, γ 地への NbC の析出があり, この領域における総圧下量と vTs の関係は, α 粒径または α 粒の発生頻度に書き替えても結論は同じになるが, α 粒の下部組織には変化が考えられるから冶金学的には必ずしも明確でない点が残る。したがつて, 前記の結果は α 粒核生成のサイトがある圧下率の範囲で飽和していると考えられないか。また α 粒度以外の因子として, とくに Nb の量についてなお検討の余地があるとの見解を述べた。大須賀はこれらの多くの点について同意し, 詳細な実験が望まれるが, 発表した諸点においておよその傾向が把握されていることを述べた。

山崎(金材技研)は Mo 量の異なる 18Cr-12Ni 鋼のクリープ破断強度を改善する目的をもつて, 溶体化処理-高温加工-焼入, 溶体化処理水焼入-時効-時効温度加工の 2 方法によつて作つた試料の組織, 加工度と耐力の関係および室温において破壊したときの破断面の観察結果を述べたのち, 破断応力の変化を主として時効, 加工による結晶粒界欠陥の増加にともなう耐力の変化を仮定した応力-ひずみ関係によつて説明した。宮川(都立大)は 21Cr-12Ni 鋼では時効時間の増加とともに n 値に変化があり積層欠陥エネルギーの低下に起因するといわれており発表者の解析と異なる点, crucible 1383 (12Cr-15Ni) 鋼を比較材とした理由。および熱冷加工の進行が耐力に変化がないのにしほりが上昇することを真破断応力

の増加として説明している理由について質問した。山崎は第1の点は n 値は決して等しくはないが、この実験の範囲で系統的な変化はなく、また変化量が小さいので一定と仮定したこと、crucible 1383は加工によつてマルテンサイト化することがよく、また粒界破断のない材料であり、実験に用いた材料の加工による粒界破断の減少の理想化状態のものと見做すことができること、第3の点に関しては時効温度で熱冷加工度が増大しても加工硬化と回復とが釣合つて耐力は変化せず、また圧延方向に長く伸びた結晶となるため粒界割れが生じにくくなるために生じた現象であることを述べた。中村(前出)は本実験は結晶粒界への欠陥の増加を室温破壊により推論したものであるが、このような材料が高温クリープをうけるときは結晶粒界の形状の複雑化によつて粒界すべりを阻止する効果をねらつており、小指らの発表と関連し興味深い結論であることを述べたが、山崎もそのようなことを期待する旨回答した。

この討論会は熱間加工中および熱間加工後の組織と温度、ひずみ速度、変形量などの関係に関する各種の材料の資料を提出しあつて、制御圧延に代表される熱間加工技術への寄与をねらつて行なわれた。研究室における実験は純金属またはそれに近い状態の材料だけが行なわれており、現場の実験は複雑な材料を対象とした発表に限られたものが多く、両者を結びつける討論も少なく、決して十分なものではなかつた。今後両者が十分に討論し合えるように研究されることが望まれた。それでも、熱間変形抵抗の整理、動的再結晶、強加工された γ 相より α 相への変態などに関する重要な知見がまとめられたことは成果であつたものと思われる。

IV. 鋼の低温焼もどしによる炭化物の析出とその影響

新日本製鉄(株)基礎研究所 理博

座長 西山善次

鋼の低温焼もどしにおける現象は以前から問題とされ研究も多く行なわれて、その真相はほぼ明らかになつたようであるが、肝心のところに曖昧な点がある。それはまず、常温あるいはそれ以下の温度で固溶炭素原子が移動して生ずるものはどんなものであるかである。つぎにいわゆる焼もどしの第1段階(100°~150°C)で起こる現象は、 ϵ 炭化鉄によるものでその構造は六方晶とされているが果たしてそうであるか。つぎの第2段階はオーステナイトの分解によるものとして解釈されているのはそれでよいとして、その次の第3段階に問題がある。これについては、一説では、始め χ Fe_3C_2 が生じ然る後セメンタイトが析出するとされているが果たしてそうであるか。このように問題は3点になることを座長が前置きし討論に入る。

i) 常温あるいはそれ以下で起こる炭素原子の移動

討11 藤田(英)氏 普通焼入れして得られたマルテンサイトは、室温あるいはそれに至るまでの低温ですでに焼もどしの過程に入つていて、もはやパーズン・ステートにはない。その証拠の一つは極低温に焼入れしたものは室温に至るまでの間に電気抵抗の異常変化があることである。これはLYSAKらによる格子定数の変化と対

応する。これに対するLYSAKらの解釈によれば、パーズンの状態では炭素原子は八面体位置と四面体位置とに等量分布しているが、常温あるいはそれに至るまでの温度に保持することによつて四面体位置にあつたものが八面体位置に移るためである。藤田氏らのメスパウアー効果による研究によつてそのことが証明された。またIso-tovらはX線回折像に散漫散乱を観察し、これに対してはたとえば Fe_3C のような炭素原子の集合体が生じたためであるとした。

以上の論述に対し、長倉氏(東工大)はつぎのような意見の陳述と質問を行なつた。すなわち、自分らの電子回折および電子顕微鏡による研究(討12)によると、Iso-tovらがX線散漫散乱を炭素原子の凝集そのものによるとしたのは誤まりで、むしろそれによつて鉄原子が変位することによるとすべきである。また常温に長年月時効させると散漫散乱でなく規則格子反射が生ずる。これは一応 Fe_3C として説明はつけられるものであるが断定はできない。とにかく、炭素原子の短範囲規則配列と規則格子領域の形成があることは確かである。これらの変化は藤田氏らの電気抵抗変化のstage 2に対応するものと思われるがどうか。

これに対し藤田氏はつぎのように答えた。stage 2は四面体位置から八面体位置への炭素原子の移動とともに集合体が生じる過程であることは確かであり、その集合体は長倉氏の唱える性質を持つものであろう。

ii) 焼もどしの第1段階で生ずる炭化鉄

討12 長倉氏(弘津氏) 1.13%Cと0.45%Cの炭素鋼を120°C 1~100日時効したものの制限視野電子回折図形をとり、それを解析した結果、析出炭化鉄の結晶格子は斜方晶で規則格子斑点が観察されたのでこれに η - Fe_2C と名づけることを提案した。この炭化鉄の構造は ϵ 炭化鉄とよく似てはいるが、六方晶を非等方的にわずかに伸縮し、炭素原子を規則配列させたものになつている。

これに対し、岡本氏(清水氏)(阪大産研)は0.79%C鋼を焼入れ後150°Cに3日間焼もどしたものについて、同研究室の考案になる極微小領域制限視野電子回折法を用いて研究した結果、析出炭化鉄の構造は、長倉氏らと同様に正しい六方晶ではなかつたが、規則格子斑点は観察されなかつたことを述べた。もつとも長倉氏らがすでに発表した論文の中に規則格子斑点としていたものと同じものが観察されたけれども、それは規則格子斑点ではなく方位の異なつた別の結晶(Variant)からの斑点が混合しているとして説明がつくことを付言した。

これに対し長倉氏はあの写真はどのように説明できるかもしれないが、別の方位のもの回折図形にはVariantによるものとしては説明できない規則格子斑点が観察されたと答えた。

その他2, 3の質疑応答が行なわれた後、座長はつぎのようにまとめた。第1段階で生ずる炭化鉄は、焼もどしが十分長ければ、六方晶が非等方的にわずかに変形して斜方晶となつている。つぎにその中の炭素原子が規則配列をとつているか否かについてはなお疑問が残るが、六方晶よりわずかに変形している理由を炭素原子の規則配列に求められる可能性がある。しかし、長倉氏らの実