

し、岡田秀弥氏（新日鉄基礎研）も酸素の役割については同意見であつた。さらに岡田氏から、 pH の影響をみるためには、 $MgCl_2$ 濃度一定で、 pH -電位-SCC(pitting) diagram の作成、検討や分極曲線、 E_{Corr} などの経時変化を測定してはどうかという提案があつた。

最後に講演(5)の松島講師から、つぎのような説明があつた。すなわちポリチオン酸中における SCC は鋭敏化したオーステナイト系ステンレス鋼に生じやすいが、これは H_2SO_4 - $CuSO_4$ 水溶液中における粒界腐食(IG)に類似しており、応力の影響がきわめて大きい SCC であると考えられる。さらに同講師は、カソード反応による割れ開口部外表面での S の材出、割れ進行時のひずみの経時変化などから、割れの機構を論じた。

これに対して工藤赴夫氏は、この SCC が IG に類似する点には同意したが、ポリチオン酸と H_2SO_4 - $CuSO_4$ 水溶液の作用の相違点について質した。これに答えて、松島講師は IG が起こるためには、ポリチオン酸中では応力が不可欠であるが、 H_2SO_4 - $CuSO_4$ 水溶液中では不必要であることから、前者では SCC 的性格が強いと述べた。

さらに山本勝美氏（日本揮発油）は硫化物割れを生じやすい二硫化炭素や重油脱硫装置などでも、同様に S の析出が認められることを指摘した。この事実から、同氏は硫化物割れとポリチオン酸 SCC との機構上の相違の有無について質したが、松島講師から本質的には同一機構と思われる旨の答弁があつた。

以上、複雑、多岐にわたる問題だけに、各講演に対する質疑応答は活発に続いたが、予定の時刻を過ぎたので、次の機会に期待して、ひとまず本討論会を終了した。

III. 鉄鋼の靱性と転位論 その基礎と応用

東京大学工学部金属工学科 工博

座長 橋 口 隆 吉

東京大学工学部金属工学科 工博

座長 荒 木 透

本討論会は鉄鋼材料の学術的基礎としての転位論に関する討論会シリーズの1つとして、その応用分野を加え鋼の延性、靱性の現象論的解釈とその応用に焦点を合わせて企画されたものである。今回は主として、引張り時の塑性挙動と延性をミクロ組織、硬化一強化機構との関連で論じた論説を中心として企画した。以下、つぎの3つのテーマについての各々の講演発表と討論を要約紹介する。

(討21) 「鉄鋼の照射脆化に関する転位現象論」は鉄の照射にもとづく延性、加工硬化指数の変化の解釈に関するもので東大工井形直弘氏によつて講演発表された。加工硬化指数 n 値の転位増殖機構と対応させた現象論的解釈を紹介、 n と均一伸び ϵ_u との関係を論じ、 $n > \epsilon_u$ となる場合は転位密度がある限界値 ρ_l を越えてミクロクラックを発生することによるとする考え方を示した。照射などにより粒内に obstacle が分布すると、 ρ_l を下げ、 ϵ_u を n と関係なく下げる結果となる。この議論を、

中性子照射あるいは時効析出により硬化した純鉄合金などについて得たデータによつて吟味し、 ϵ_u の低下は n の低下および臨界転位密度の低下によることを結論している。

これに対して、東北大金研諸住正太郎氏が質問に立ち、(1) n 値と ϵ_u が等しいという条件は荷重-伸び曲線の極大条件から学的に導かれるもので、 $n > \epsilon_u$ による場合を数式的にどう修正表現するか、(2) 金属組織的要因によりくびれの起る条件はどのようなものか、(3) 臨界転位密度の微視組織的意義は何か、例えば集積転位群の効果と対比解釈されるか、(4) 照射による脆化現象は微視組織的な障害物の増加により起こされ、臨界転位密度の減ずるのはむしろ結果ではないか、微視的クラック発生の機構はいかに考えるか、などの点をただした。これに對し答えて、(1) $n = \epsilon_u$ の関係式は体積一定を条件としている。もし微視的クラックを生じ、拡大したときは条件がくずれ $n > \epsilon_u$ となりうる。また、(2) 断面積とひずみ速度の関係式でもくびれの発生が規定されるが、組織内部のクラックの発生により条件がくずれ、断面減少が加速されてくびれが早期に生じうる。(3) 今の臨界転位密度の概念は現象論としての試みであり、照射により転位の増殖が変化(増大)するとともに臨界位密度が減少し、早期のくびれ発生につながると考えた。集積転位の応力集中によるクラックの発生機構の考え方との対比解釈は今後検討したい。と述べた。つづいて、コメントとして、鉄-窒素合金の照射損傷について、東北大金研の茅野秀夫氏(吉永日出男、阿部勝憲両氏連名)よりつぎの発表があつた；150ppm の窒素(14ppm の炭素)を含む鉄窒素合金を $670^\circ C$ で 1 hr 熱処理後 2 年間室温時効した試料を JMTR で照射した。照射条件は $5 \times 10^{19} n/cm^2 (> 1 MeV)$ 、 $73^\circ C$ であつた。

この試料を室温から $600^\circ C$ の間で各 30 min づつ照射後焼なましした場合 $200^\circ C \sim 300^\circ C$ の加熱温度の場合、照射後焼なまし硬化 RAH(Radiation Anneal Hardening) がみとめられた。 $300^\circ C$ 30 min 加熱したものは電顕で Fe_4N 、 $Fe_{16}N_2$ がみとめられず、照射前析出物のあつた後に転位ループがみとめられた。これは更に同温度長時間加熱で成長した。これらループはほとんど空孔型であり格子間原子型もみとめられた。 $350^\circ C$ 加熱ではほとんどループは消滅し Fe_4N のあとのループは広範囲に散分しており、 $600^\circ C$ 加熱ではループはみとめられなかつた。析出物の場所での転位ループ形成が RAH に関連のあることが示唆される。これに対して井形氏より、窒素の多い場合についての新しい知見であるがこれまでの“複合点欠陥の形成”による照射硬化機構とは矛盾しないと考える。との応答があつた。

(討22) 「鋼の焼もどしによる acoustic emission 特性の変化」は川鉄技研佐野謙一氏により述べられた。AE(acoustic emission の略)の検出を鋼材料の塑性変形挙動や破壊の発生に関する研究へ応用しようという試みは、AE の発生特性が鋼の内部構造や塑性変形の様式にきわめて敏感であるため複雑さと解釈さと解釈の困難さがある。本発表は材質や熱処理履歴を明確にした鋼試片の引張試験のさいに観察される AE 発生特性を調べたもので、 $C=0.3\%$ の炭素鋼、同じ炭素量の $1\% V$ 鋼、

1.5%Si 鋼などについて、焼入れ後焼もどし温度の変化による引張変形中の A E を追究している。例えば 100°C 焼もどしでは、降伏点近傍で最大値をとる連続型 A E と、破断点近傍での大振幅の突発型 A E の両方が観測され、さらに 250°C 焼もどしでは連続型のみがあらわれ最大値を示すなどの諸情報があるていど微視的組織との関連で解釈しようと試みた結果が報告された。

これに対して新日鉄基礎研南雲道彦氏が質問に立ち、連続型 A E の発生を運動転位によつて解釈する考え方と析出物、連続型 A E の挙動が焼もどしによつて著しく変化することの解釈についての疑問と意見を述べ、また A E 信号を RMS でとらえることでなく個々のパルスを分離してとらえることはできぬか、連続型と突発型は本質的に別のものではないのではないかなどの点を挙げた。これに対し答えて、析出物による転位のりサイトの不連続性によつて説明しようとしているが、個々の転位運動をとらえることにはなっていない。歪み速度を下げればパルスのあるていどの分離は可能と思われる述べた。また東大宇宙研岸輝雄氏は転位の素過程、Orowan 型析出物による影響など物理冶金的な要因解析に A E 観測を用いることについてのコメントを述べた。また別途金材技研石川圭介氏よりの質問も南雲氏と同様趣旨の突発型と連続型は本質的に別けられるかという問題に関連したものであることを東大荒木より紹介され、また 1%V 鋼における焼もどし二次硬化域のコヒレント析出が ϵ カーバイドの析出と A E 的にみてまったく異なる点について荒木より質問がなされたが、これらの諸点はなお今後の研究に待つものと考えられる。

(計23)「フェライトパーライト鋼の組織制御による延性付与」は新日鉄基礎研今村淳氏により講演発表された実験安全車 (ESV) などに関連して最近注目されている高延性の薄板高張力鋼に関する研究である。Si>0.7%, Mn>0.7% とし、Si/Mn 比を約 1.0 に保ち、Cr≤0.5%, C≈0.10% を含む熱延鋼板が通常の高張力鋼に比べてすぐれた延性と等方化が得られること、ならびに、引張試験の加工硬化特性に与える Si, Cr などの好ましい影響、同じく微視組織との関連についてその原因を検討した結果が述べられた。とくに Si の固溶の影響としては加工歪みによる転位のタングルとセル状化が遅れ、交差すべりの困難化が考えられること、Cr がパーライトの下部構造を変えるため 0.5% までは加工硬化 $d\sigma/d\epsilon$ に好結果を与えることなどの論点が見された。これに対して、住金中研福田実氏が討論にたち、まず各種強化機構について局部伸び、均一伸びそれぞれの延性に与える影響についての知見を紹介し、Si, Cr の固溶強化がこの目的に沿うものであることを述べた。また質問として、1) 局部伸びが Si 固溶強化によつて落ちていないが、過

去の Rinebolt のデータでこれが著しく下つていることの意味、介在物などの原因による効果がきいていないかの点、2) 異方性フェライトバンドのでき方とコイル冷却速度との関係、3) 延性に対する介在物の延伸度の影響などの点をただした。

これに対し答えて、1) 本発表の鋼は 0.1%C で、フェライトマトリクスの特徴が支配的であり、一方 Rinebolt の鋼は C が高くパーライトの効果が多く、Cr, S などの含量の差もきいている。2) 本鋼種は Si 高く Ar₃ 変態点も高いためフェライトの核発生が多く細粒であり、捲取温度のかんりの範囲で満足し得る。3) 真空溶解の本供試鋼ではたしかに介在物の影響による延性の変化はでていないが、60 kg/mm² の強度では延性、異方性への介在物の影響はかなりある。と思われる述べた。また新日鉄君津武智弘氏は鉄と鋼第 60 年 2 号の自らの研究結果を引用して、フェライト基冷延-焼なまし薄鋼板の場合の強化機構として、置換型固溶強化、微粒強化、析出分散強化の延性に及ぼす影響と役割りについて論じ、置換型固溶 (Si, P, Mn など) による場合、微視組織のセル形成の抑制と加工硬化の持続がみられ、 n 値および破断伸びに優れていること、熱処理による「微粒強化」は不整合析出の Ti 炭化物による「分散強化」よりは延性を劣下させることが少ないなどの点をコメントした。ついで川鉄技研船越督己氏はコメントに立ち、Mn 1.2%, Cr 0.5% を含む熱延薄鋼板への Si 添加の実験結果より、局部伸びを一定に保つて均一伸びおよび平均の n 値の増加することを紹介し、C の炭化物としての分布様式が Si によつて変化することによる影響の意義を指摘した。また Cr の効果については、Nb 添加の同種鋼の実験結果を引用し、Cr 0.3% の添加によりバンド状パーライトが分断して異方性を減少し、Cr=0.3% で一様伸びの最大点がみられることを示し、Cr の最適量の存在することを述べた。つづいて、井形直弘氏はコメントして、加工硬化指数 n について構成組織による複合則の成立つことを紹介し、 $\epsilon u = n$ の力学的関係がつねに成立しているかと質問した。これに対してこの研究結果についてはほぼみかけ応力最大時の n によつて均一伸びがきまつているとの答えがあつた。その他本鋼の開発について溶接性の問題、Nb 入りの鋼の場合の Cr による複合的降伏点強化などの影響が論議され、この種の鋼の応用開発面に関連して、本研究実験の結果をもととして興味ある討論が行なわれた。なお延性および延性破壊の場合の靱性に密接な関係のある加工硬化挙動ならびに n 値に及ぼす微視組織的要因とその機構的解釈の問題に、本討論会を通じて学術的にも応用技術面からみても重要かつ興味ある課題であり、今後の研鑽進展が望まれる。