

サンプルテストによって絞り込む。稼働実績で 70% 以上の疵種判定一致率を見ているが、疵種判定アルゴリズムに人間系の判断を必要とし、チューニングに時間がかかる難点がある。その第 2 はトスペクターの長所を踏襲しつつこの難点を改良したものとして TOSPECTRON が紹介された。この装置の基本コンセプトは学習機械であり、疵種、等級判断のアルゴリズムを人間の指導により自動的に生成してゆく。またこのための高性能センサー、高速画像処理装置が開発された。

20 年前東芝における検査事業開始より、これまでの発展において検出原理に大差はなく、すべての表面欠陥を検出するに至っていない。今後は学習機械という概念のみでなく、欠陥の物理量としての体系的評価、あるいは物理計測としてのアプローチの必要性が指摘された。(自由討議)

以上 6 件の講演をもとにして参加者全員による自由討議が行われた。各講演を通じて疵検査技術に関する基本的な課題が指摘されているとして若干の整理が行われた。①(検出能限界) 限りなく微細欠陥の検出性能が要求されるが真にどこまで必要か? ②(検査体系) 検査情報の最大有効活用を考慮したトータルの最適検査体制は? ③(性能維持・管理) まますます大規模化する装置の性能はどうして維持してゆくか? 特に校正の手段の同時開発が必要では? ④(検証・定着) 開発された装置の検証手段は? また検査員に信用され、定着化させる最適な手段は? ⑤(基本思想) 今日までの疵検査装置の開発は人の感応検査の代替をめざしてきたし、判断ロジックも人間のそれを機械に置換しようとする努力ではなかったか? 自動化が進むにつれて教師たる人間がいなくなるのでは? 欠陥の物理量としての評価、物理計測としてのアプローチが必要では? などの諸問題について討議があった。また装置を使用する製造部門の立場から性能向上の必要性和装置コスト低減の要望の意見が出された。

最後に鉄鋼各社とも非破壊検査技術分野における技術者の減少による技術の維持・伝承および開発力低下の現状が指摘され、その対応として①全社的な開発体制の再整備による開発の効率化、②大学などへの研究依頼、③大電機メーカーはもちろん地場業者との共同開発、など種々の努力の状況が紹介された。いずれにしても装置のコスト増もあり、一社での開発能力には限界があり、鉄鋼業界としての協力の必要性があるとの意見があり、かかる観点から本討論会の総意として鉄鋼各社の協力の提案とその具現化の検討を日本鉄鋼協会計測制御部会に申し入れることとした。(本提案にもとづいて討論会座長名で部会長に文書による申し入れを行った。)

本討論会を開催するにあたりお世話いただいた計測制御部会直属幹事大島有三殿(新日本製鉄)はじめ各社の幹事の方々に深く感謝申し上げます。

極低炭素薄鋼板材における最近の進歩

座 長 住友金属工業(株)東京本社

高 橋 政 司

副座長 新日本製鉄(株)薄板研究センター

秋 末 治

侵入型固溶元素の C や N をできるだけ少なくしこれらを Ti や Nb で固定した極低炭素薄鋼板は、プレス加工性にすぐれその上非時効性であることから、成形部品形状が複雑化し要求が高度化していく自動車向けに生産量が大幅に増加してきた。これは製鋼過程における精錬技術と高効率生産方式としての薄鋼板の連続焼鈍法という、極低炭素薄鋼板の技術向上に重要な C の低減と高温焼鈍を可能にした技術開発に支えられている。

さらに近年自動車の防錆対策の強化から加工性のすぐれた表面処理鋼板が要望され、あるいは良加工性の熱延鋼板にも適用され得ることから、極低炭素薄鋼板の使用量はますます増大の傾向にある。

このような状況下において、極低炭素薄鋼板の性能のいっそうの向上や特性の支配要因解明にはまだ検討すべき項目が多く残されている。そこでこの材料の冶金に関する諸問題を明らかにし、今後の動向を明らかにする目的で討論会を計画した。

本討論会では、この極低炭素薄鋼板の主として実用面から見た諸問題の総括を新日本製鉄の武智氏に、高純度鋼の基本的問題として不純物の機械的性質におよぼす影響を神奈川大学の木村教授にそれぞれお願いし、熱延材、冷延材、めっき材あるいは溶接性に関して 11 件の講演が行われた。以下これらの概要を記す。

(討21) IF 鋼メタラジーの現状と問題点(依頼講演)

(新日本製鉄(株)中央研究本部 武智 弘)

IF (Interstitial Atom in Solution Free) 鋼は極めてすぐれたプレス成形性を有するが、以下のような冶金学的に未解明の問題が残されている。まず再結晶集合組織の形成時の板面に平行な $\{111\}$ 方位の急増と $\{100\}$ 方位の急減という現象の説明にはまだ仮設的な部分を残しており、より直接的な証明に物理的解析技術の進歩が望まれる。IF 鋼は固溶 C や N を Ti や Nb の炭化物や窒化物として固定する必要があるが、希薄合金系であるため析出速度が遅くまた析出物が微細で分析や固定が困難なため溶解析出挙動を実験的把握は困難である。しかしマトリックス中に析出核が存在することによって析出速度が著しく増加することもあり、このような複合析出を含めた溶解析出挙動の把握はこの IF 鋼の製造条件選定の上での重要課題の一つであろう。Ti と Nb は固溶 C や N を固定する目的では同様であるが、Nb は Ti より高価であり、Nb 添加鋼の再結晶温度は Ti 添加鋼のそれよりも 50°C 以上高いことは生産コスト上好ましくない。しかし二次加工脆性や合金化溶融亜鉛めっき鋼板のパウダリングの点では Nb は有利であり、鋼板の金属学的特徴は、Ti か Nb かによってかなり異なる。これら

の特徴を十分把握し、そしてその特質をもたらし機構を解明し、いろいろの特徴のすぐれた鋼板のより合理的な製造条件を確立すべきであろう。

(討22) 高純度鉄の機械的性質と不純物の効果
(依頼講演)

(神奈川大学 木村 宏)

鉄の機械的性質が侵入型に固溶した不純物の影響を強く受けることは広く知られているが、高純度鉄とこの侵入型不純物を化合物として析出させ極度に低減させた鉄とはその性質がかなり異なっている。十分に脱炭したいわゆる純鉄の低温脆性は粒界破壊であるが、純度をさらに向上させると必ずしも粒界破壊は起こらず、それが起きるかどうかは粒界の性格に強く依存する。TiなどでCやNあるいはOを固定した場合、それらの化合物の形状と分布によっては粒界破壊の原因となるので注意を要する。Oの粒界偏析が粒界破壊の原因と考える向きも多いが、高純度鉄にて酸素を固溶させ種々検討した結果では、偏析したOではなく粒界に析出した酸化物によると考えられる。固溶Cは双晶変形および劈開応力を低下させ、炭化物はすべりによる降伏応力を上昇させたり、劈開クラックの起点となったりして劈開を促進する。また体心立方遷移金属の特徴として降伏応力の強い温度依存性があり、ある温度域にて不純物の影響を強く受けるので注意を要する。加工強化挙動も温度依存性が大きく、これも不純物の影響を受ける。この機構の大筋は解明されており、Cの場合10ppmでも影響がある。

(討23) プレス加工用極低炭素熱延鋼板の特性と製造因子の関係

(川崎製鉄(株)鉄鋼研究所 坂田 敬ほか)

加工性のすぐれた熱延鋼板を得るための製造条件を、化学成分と主として仕上圧延終了以降について検討した。冷延鋼板のような高 r 値化は現状では難しいので延性向上でこれを補うこととし、機械的性質の面内異方性が小さく、耐二次加工性が良好であることを目標とした。延性を確保するには極低炭素鋼が有用であり熱間圧延では冷却パターンがミクロ組織を、巻取温度がミクロ組織、集合組織および固溶Cを介してそれぞれ熱延鋼板の特性に影響を与える。このような結果から、低温巻取りにおける特性劣化の少ないTi添加極低炭素鋼を仕上圧延終了($\geq Ar_3$)後800°C以上の高温域で急冷し、600°C以下の低温で巻き取ることによって目的を達成できることが判明した。

(討24) フェライト域熱延鋼板の r 値におよぼす固溶炭素および圧延温度の影響

((株)神戸製鋼所鉄鋼技術研究所 橋本俊一ほか)

極低炭素鋼を用いフェライト(α)域で熱間圧延すると r 値が1.0以上の鋼板の得られる可能性があり、また r 値の高い冷延鋼板が得られる母材としても近年種々検討が行われている。

ここでは、 α 域にて熱間圧延しその後再結晶焼鈍するプロセスにおいて、特に圧延時の固溶C量および圧延温度の影響について検討した。このプロセスで得られる鋼板の r 値を決定する最も重要な要素は熱間圧延時の

固溶Cであり、炭化物の固溶が増すような圧延温度の上昇は r 値を低下させる。析出物の種類や分散状態は影響は小さいが、SやNを増せば炭化物の析出核が多くなり、熱延前の固溶C低減に寄与する。 α 域熱延時の固溶Cを0とし、かつ潤滑圧延を行うことにより700°Cで圧延して $r=2.0$ の冷延鋼板に比べ遜色のない値が得られた。

(討25) 極低炭素熱・冷延鋼板の r 値に及ぼす α 域熱延の影響

(住友金属工業(株)鉄鋼技術研究所 国重和俊ほか)

TiまたはNbを添加した極低炭素鋼を用い、熱延まま鋼板、熱延後焼鈍鋼板およびさらに冷延後連続焼鈍相当処理をした鋼板の r 値に関し、 α 域熱延の特に圧下率の影響を中心に検討した。その結果、まず熱延ままで r 値の良い($=1.0$)の軟鋼板を得るには巻取温度が600°C以上必要であった。また全圧下率90%の潤滑仕上圧延後焼鈍すると、冷延鋼板並びに r 値が高く(≥ 1.5)しかも面内異方性の小さい加工性のすぐれた鋼板を得ることができる。冷延後焼鈍板に関しては、 α 域熱延で導入される加工歪みが冷延時の必要圧下率を低減させる。

(討26) Ti添加極低炭素鋼の冷延鋼板の集合組織に及ぼす熱延集合組織の影響

(新日本製鉄(株)薄板研究センター 瀬沼武秀ほか)

通常熱延材および α 域熱延材を素材として冷延および焼鈍による集合組織の変化を検討した。通常熱延材では表面と中心の顕著な差はなく、比較的ランダムな集合組織を示すが、 α 域熱延材では表層が剪断変形を受けた時の模範的な圧延および再結晶集合組織を示す。その中心層は、熱延ままにてすでに通常熱延材を冷間圧延した集合組織に近く、それを焼鈍すると通常熱延材の冷延後再結晶集合組織に近い。 α 域熱延材の冷延後再結晶集合組織から表層と中心層の r 値をそれぞれ計算してみると、表層の集合組織が r 値を劣化させることがわかる。一方、中心層の集合組織を板厚全体に発達させることができれば、通常熱延材よりもすぐれた r 値が得られるが、この場合仕上温度の制約がなく母材加熱温度が下げられるので析出物の粗大化による延性向上も期待でき、超加工性冷延鋼板の製造が可能となる。

(討27) 高純度鋼における微細組織、集合組織の形成過程とその制御

(NKK 中央研究所 稲垣裕輔)

高純化に伴い従来不純物によってマスクされていた高純度鋼本来の性質が顕在化してくる。圧延組織は横断面からの観察がより明確に高純度鋼の特徴を把握できる。回復および再結晶については結晶粒が粗大化しやすいことに十分注意を要するが、合金元素および析出物の影響はより明瞭な形で表れる。高純度鋼は従来鋼に比較して種々の影響因子に対しより敏感であるため、その材料開発により緻密な材質制御が要求される。そのためには新しい分析手法を積極的に導入してその圧延変形、回復再結晶の全貌を解明し、それらの主要支配因子とその影響度を定量的に明確化することが急務である。それらの

データベースが完備した段階で電子計算機支援材料設計をおこなえば、高機能の高純度鋼を開発し得ると考える。
(討28) 極低炭素連続焼鈍鋼板の材質特性におよぼす鋼成分と熱延条件の影響

(新日本製鉄(株)八幡製鉄所 佐柳志郎ほか)

極低炭素連続焼鈍鋼板において製造コストをできるだけ低減した場合と、とくに圧延に対し 45° 方向の r 値 (r_{45}) を改善した良好な深絞り性を有する場合との製造条件を検討した。前者の場合は、低温加熱および高温巻取熱延を行い、粗大な $Ti_4C_2S_2$ を積極的に析出させ、微細な TiC 析出ができるだけ少なくなるよう Ti の添加量を必要最小限におさえることにより、低温焼鈍でも深絞り用冷延鋼板を得ることができた。後者の場合、 Ti 、 Nb 複合添加鋼をベースに検討した結果、 Ti の添加量を増し低温加熱高温巻取熱延して冷延後高温長時間の連続焼鈍によって高 r_{45} 型の良好な深絞り用鋼板を得ることができた。

(討29) 極低炭素冷延鋼板の再結晶挙動におよぼす析出物の影響

(川崎製鉄(株)鉄鋼研究所 佐藤 進ほか)

Ti や Nb を添加することによって生じる炭化物などの析出物分布の、一次再結晶終了温度 (T_R) および正常粒成長に及ぼす影響を検討した。まず冷延鋼板の r 値はその焼鈍温度 (T_A) と T_R の差、 $T_A - T_R$ と良い相関があり、材料特性確保には T_R が重要であるといえる。 T_R は無添加鋼に対し Ti を添加すると $70^\circ C$ 、 Nb を添加するとさらに $50^\circ C$ 上昇し、これには粒径 15 nm 以下の微細析出物が影響している。また正常粒成長過程において、結晶粒成長の等温時間依存性は析出物の粒径変化によく対応しており、そのオストワルド成長に支配される。

(討30) 極低炭素 Ti 添加冷延鋼板の析出物と材料特性

(住友金属工業(株)研究開発本部 岡本篤樹ほか)

極低炭素 Ti 添加鋼中の種々微細析出物の形成の仕方は、製造条件により大きく変わり、深絞り性、強度あるいは時効性にかかわってくる。 S は Mn が低い場合温度条件により TiS や $Ti_4C_2S_2$ となるが、 Mn が高い場合は多くは MnS となる。また P の高い場合、焼鈍温度にて $FeTiP$ が析出する。 Mn と P を複合添加すると引張強さと共に r 値も向上し、高 r 値高張力鋼板が得られる。 Ti を $N+S$ 量の化学当量あるいはそれを若干下回る程度添加し、総 C 量を 20 ppm 前後に管理すると BH 量の安定した焼付硬化性深絞り用鋼板が得られる。

(討31) 極低炭素冷延鋼板の焼付硬化性と時効性におよぼす C 量と結晶粒径の影響

(NKK 鉄鋼研究所 木下正行ほか)

極低炭素 Al キルド鋼により製造条件を種々変えて結

晶粒径が大きく異なる鋼板を作成し検討した。 BH 性は固溶 C のみに依存する特性ではなく、結晶粒度や P などの合金元素あるいはバッチ焼鈍と連続焼鈍の熱処理条件等の影響を受けて変化する。これらの変化は BH 性が固溶 C だけでなく粒界に偏析している C の影響も受けると仮定すれば定性的に説明できる。時効性はほぼ固溶 C のみに依存する。このため、時効性と BH の関係は結晶粒径により異なり、細粒材の方が BH レベルの割にすぐれた耐時効性を示す。

(討32) 溶融亜鉛めっき用素材としての $Nb-Ti$ 複合添加極低炭素鋼

(新日本製鉄(株)名古屋製鉄所 松村義一ほか)

自動車用表面処理鋼板として防錆力とコストのバランスから合金化溶融亜鉛めっき鋼板の要求が強い。この場合硬質のめっき層の存在が加工性を劣化させるので、裸の鋼板よりも加工性の良い素材が必要である。 Ti 添加、 Nb 添加および $Nb-Ti$ 複合添加を比較検討の結果、熱延巻取温度が低くてもすぐれた特性が得られること、めっきの合金層の成長速度が適当であること、および加工時にめっき層が微細に剝離するいわゆるパウダリングがより少ないという点で $Nb-Ti$ 複合添加鋼が好ましい。またこの場合、 Ti 量および焼鈍条件を適当に選定し固溶 C を存在させることにより、特性を劣化させることなく BH を確保することができる。

(討33) 極低炭素冷延鋼板のスポット溶接疲労強度

(川崎製鉄(株)鉄鋼研究所 岡田 進ほか)

Ti 添加、 $Ti-Nb$ 添加、および $Ti-Nb-B$ 添加極低炭素冷延鋼板のスポット溶接継手の疲労強度を低炭素鋼と対比して調査した。結果は剪断・十字引張ともに $Ti-Nb-B$ 添加鋼が最も高い疲労強度を示した。低炭素鋼は低サイクル疲労強度は高いが高サイクルでは一部の極低炭素鋼より疲労強度は低い。極低炭素鋼では $Ti-Nb-B$ 添加鋼が最も HAZ 組織が微細で、高度が高くこれがスポット溶接疲労強度を高くしていると考えられる。しかし HAZ の硬度が極低炭素鋼よりも遥かに高く、組織も微細な低炭素鋼の疲労強度が高くないのは、 HAZ 部の伸び×硬さが極低炭素鋼よりも小さいことおよび粒径が極度に小さいことによる切欠き感受性の増大が考えられる。

以上の発表に対し、それぞれ適切で効果のある討論が行われた。各発表の内容には重複する部分がかなりあり、それが結果として同一課題に対する討論の形となって、現状の技術の理解を深めるのに役立った。終わりに今回の討論会に際し数多くの貴重なデータおよび考え方を提示してくださった発表者の方々、および積極的に討論に参加し有為な意見を披露してくださった参集者の皆様に感謝する。