

高強度薄鋼板の組織制御と材料特性

座 長 NKK総合材料技術研究所 西本昭彦
副座長 新日本製鉄(株)八幡技術研究部 瀬沼武秀

約10年ほど前に、二度にわたる石油危機を契機とした自動車の軽量化を背景として、高強度薄鋼板の研究が活発になされた。その一連の研究の成果として、1980年秋、第100回講演大会で「冷延高張力鋼板」の討論会（鉄と鋼、66（1980）8）がもたれ、1981年5月の第74回の西山記念技術講座では「自動車用高強度薄鋼板の製造技術・利用技術の進歩」が講演された。さらに、1982年には「高強度薄鋼板」が鉄と鋼の特集号として組まれるほどであった。その後、高強度薄鋼板の研究は下火になったが、近年、地球環境問題を契機に自動車の軽量化の手段として、再び高強度薄鋼板の研究が活発に行われ始めた。

本討論会はこれらの点を踏まえ、薄鋼板の組織因子と材料特性について、広く討論を行うことを目的として、企画された。

以下にこれらの講演要旨と討論の概要を述べる。

討54 極低炭素高張力冷延鋼板の特性に及ぼす置換型固溶元素の影響

（住友金属工業(株)鉄鋼技術研究所 水井直光ほか）

450N/mm²級の高成形性高張力冷延鋼板の開発を目的に、Ti添加極低炭素鋼にSi、P、Mnを添加し、機械的性質に及ぼすこれらの成分の影響を検討した。単位強度upに対する延性の劣化程度はSi<Mn<Pの順で、Siの優位性を示す。r値に及ぼす成分の影響は熱延組織、粒径、固溶炭素との相互作用、析出物の形態などが各成分の添加量により変化し、複雑ではあるが、最適混合比のようなものが存在することを示した。

討55 高いr値を有する390～590N/mm²級高張力冷延鋼板の開発と実用性能

（NKK総合材料技術研究所 細谷佳弘ほか）

390～440N/mm²級ハイテンの開発において極低炭素鋼にPとMnを添加した際の機械的性質の変化を検討し、Nb添加極低炭素鋼ではMn添加をPで置換してもr値の劣化は顕著でないが、Ti添加極低炭素鋼ではPの過剰添加はFeTiPの析出物が形成され、r値が低くなることを示した。また、r値が同じ2.0程度であってもTSが390～440N/mm²に高くなると実プレスの成形可能範囲が狭くなり、YP上昇による面歪み対策と同時に今後の材料開発の課題を提示した。

390～590N/mm²級ではCu添加極低炭素鋼

の特性を調査し、高強度でr値が2.2の材料が製造できることを示し、この鋼の弱点である縦割れもB添加で改善されることを述べた。

討56 銅の相分解を活用した良加工性高強度薄鋼板の開発

（新日本製鉄(株)広畑技術研究部 岸田宏司ほか）

Cu添加極低炭素熱冷延鋼板の製造条件及び特性について検討し、材料特性や成形性については討55とほぼ類似の結果であったが、疲労特性について詳細に検討し、Cu添加鋼の疲労特性が優れている理由が繰返し軟化が小さく、疲労き裂が短いことを挙げた。また、析出物の状況を調査し、GPゾーンの生成した3nm程度の析出物が強化に寄与していることを示した。

討57 低炭素AIキルド冷延鋼板の焼付硬化性におよぼす組織因子の影響

（(株)神戸製鋼所鉄鋼技術研究所 塚谷一郎ほか）

BH性に及ぼす焼付温度の影響を調査し、セメント密度の大小によりBH量とAI量の比が変化し、特に低温の焼付温度でAIよりも高いBHを得るためにはセメント密度を高くし、Si量を0.2%以下にする必要があることを示した。この原因を詳細に検討し、低温BH量は固溶炭素量だけでなくセメントの析出状態による加工時に導入される転位密度にも影響されることを示した。

（絞り用高強度鋼板の総合討論）

特に討論が集中した点は、IF鋼における析出物の形態、Cuの析出状況と強化機構について議論され、出席者の意見の相違が明らかにされた。また、Cu添加鋼の用途についても討論された。

討58 980N/mm²～1180N/mm²級超高強度冷延鋼板のミクロ組織とプレス成形性

（(株)神戸製鋼所加古川製鉄所 田中福輝ほか）

連続焼鈍の熱サイクルを変え、相と硬度を変化させて、プレス成形性を調査した。その結果、フランジ成形性は第2相とフライトの硬度差を小さくすること、限界曲げ半径は局部伸びと良い相関があること、穴広げ率や全伸びとの相関は小さいことなどを明らかにし、ウルトラハイテンの成形においては加工様式を考慮したミクロ組織の選定が重要であることを主張した。

討59 超高強度冷延鋼板の加工性と遅れ破壊特性に及ぼす組織の影響

（新日本製鉄(株)名古屋技術研究部 山崎一正ほか）

主として、800～1400N/mm²の実機製造材における加工性と遅れ破壊特性について検討し、加工性については局部延性が支配的で、組織の均質性が重要な指標であることを明らかにした。また、遅れ破壊の抑制には成形時

のマルテンサイト変態を極力避けることが有効であり、基本的には鋼板の残留オーステナイト量を低減することが重要であることを示した。遅れ破壊については最も活発な討論が行われ、この問題の解決が超強度鋼板の実用化における最大の課題との結論となった。

討60 変態誘起塑性（TRIP）型高強度複合組織鋼板の高延性化とメカニズム

（信州大学繊維学部 杉木公一ほか）

残留オーステナイト鋼の延性に及ぼす加工条件および合金元素の影響を調べ、その機構について検討した。適正な試験温度と歪み速度の場合に延性が最も良くなり、その理由は歪み誘起変態の抑制にあることを示した。残留オーステナイト量はSi、Mn量の増加により増え、最大の延性を示す試験温度での強度・延性バランスは残留オーステナイト量の増加により向上する。ただし、室温では逆の傾向を示す。残留オーステナイトの形態については塊状のものの方が、ラス間にフィルム状に生成したものより延性には有利であることを示し、その理由を推測している。

討61 残留オーステナイトを含む高強度鋼板（新日本製鉄(株)鉄鋼研究所 樋渡俊二ほか）

残留オーステナイト鋼の製造法および600MPa級の冷延鋼板に関してプレスの基本成形性を示した。変形様式により加工誘起変態量が同じ相当歪み量でも異なることを示し、その原因を静水圧応力の違いで説明した。ドアモデルパネルの成形実験では、600MPa材では残留オーステナイト鋼だけが成形可能範囲が存在することを示し、しわ押え力を高めることができる、高強度でも形状凍結性を確保できる理由であることを示した。

討62 高成形性熱延高張力鋼板の開発

（住友金属工業(株)鉄鋼技術研究所 野村茂樹ほか）

熱延鋼板の穴広げ性について検討し、打抜き時の破断面が穴広げ性を著しく劣化させることを示した。穴広げ性の改善には、硬質第2相の低減、バンド組織の抑制、炭化物の粒界析出の抑制が有効なことを示した。これらの考えをもとに、低C高Si鋼を用いフェライト・パーライト組織でバーリング性に優れた熱延鋼板を実機試作した結果を報告した。

討63 高強度熱延鋼板における組織強化の特徴とその加工性への影響

（NKK総合材料技術研究所 木村 浩ほか）

延性および伸びフランジ性に及ぼす組織の影響を調査し、第2相と母相の硬度差が伸びフランジ性に大きな影響を与えることを明確にし、ベイナイト単相組織が優れた伸びフランジ性を持つことを示した。一方、延性はDP鋼及び残留オーステナイト鋼が優れていることも述べた。開発鋼である、フェライト・ベイナイト組織鋼は540～590N/mm²級で従来材

より優れた延性・伸びフランジ性バランスを示す。今後の課題は、両特性バランスの優れた780N/mm²級の開発であることを述べた。

討64 プレス成形性の優れたTri-phase熱延高強度鋼板の開発

(株神戸製鋼所加古川製鉄所 三村和弘ほか)

フェライト・マルテンサイト鋼の優れた張出し特性とフェライト・ベイナイト鋼の比較的優れた伸びフランジ性を共有した高強度熱延鋼板の開発をフェライト・ベイナイト・マルテンサイトの組織分率の最適化により行い、比較材に比べ張出し性と伸びフランジ性のバランスに優れたTri-phase鋼を試作した。590N/mm²級として望ましい3相組織の分率はフェライトが約80%、マルテンサイトが2~7%で残部がベイナイトであること、高Siは延性の向上に有効であるという結果を示した。

討65 伸びフランジ性に優れた析出強化型高張力熱延鋼板の開発

(川崎製鉄(株)鉄鋼研究所 森田正彦ほか)

フェライト単相組織に最大の析出硬化を活用することと、低温変態相の阻止を目的に γ/α 変態ノーズと炭化物析出ノーズを合致させるという、新しい思想を提起し低炭素低Mn高Ti鋼を用いて伸びフランジ性に優れた700~800MPaを試作した。従来の析出強化に利用されている析出物の大きさよりも大きい析出物でも量が多いと十分な強化能を示すことも注目される結果と言える。

討66 自動車用薄鋼板の高強度化と疲労特性

(新日本製鉄(株)鉄鋼研究所 水井正也ほか)

高強度鋼板の疲労特性に及ぼす組織の影響を調査し、変態強化鋼やHSLA鋼に比べ、DP鋼および残留オーステナイト鋼が優れた特性を示すことを明らかにした。DP鋼が優れた疲労特性を示す理由は、島状マルテンサイトが微小き裂の進展を阻止し、致命的なき裂の発生を抑制するためとAEやX線回析の結果から推定している。

(総合討論)

総合討論で再び超高強度鋼板の遅れ破壊について議論が白熱した。電気めっき等の鋼板の製造工程で含有される水素、最終用途に加工される過程で侵入する水素、使用時の腐食環境で侵入する水素を考慮する必要があるが、材料の応力状態、表面近傍の微細割れ、そして材料強度と組織に対しての研究が更に必要であることが共通の認識となった。

今回の発表の内容は10年前の研究の確切的な内容もあったが、新しい概念や知見が予想以上にたくさん盛り込まれており、環境問題(CO₂、リサイクル等)まで踏み込んだ討論をする時間はなかったが、本討論会は今後の高強度薄鋼板の研究の一里塚になったものと確信する。

高速成膜・高速表面改質技術の進歩と応用

座長 東京大学工学部 吉田豊信
副座長 新日本製鉄(株)先端技術研究所 武田紘一

表面コーティング・表面改質技術は素材そのものが持つ特性に更に新しい機能を部材表面に付与できるため、多機能材料を作り出す手法として大きな期待がかけられている。最近はこの技術分野の進展がめざましく、高速成膜が可能となり、製鉄設備や鉄鋼部品への利用も多くなっている。本討論会は、鉄鋼業のみならず、他産業、大学その他公的研究機関からの報告を入れ、この技術がどんな使われ方をしているのか、何が課題なのか、どんな可能性を秘めているのかを理解し、あらたな展開に結び付ける狙いをもって企画されたものである。

1件の特別講演、6件の依頼講演を含め計18件の講演が行われた。それらの要旨を以下に述べる。

討67 (依頼講演) プラズマ溶射及び高速フレイム溶射用サーメット溶射材料

(昭和電工(株)セラミックス事業部 白井勝之)

金属とセラミックスの混合体であるサーメットは、熱衝撃、摩耗、腐食環境あるいは溶湯侵食環境に耐える表面を形成する目的で利用されることが多い。同じ組成でも単純混合材料と反応結合した複合材料では皮膜の特性に差がでる。反応結合材は高強度皮膜を形成する。

討68 (依頼講演) 溶射技術の製鉄プロセスへの応用

(トーカロ(株)溶射技術開発研究所 原田良夫)

高品質鋼板を製造するプロセスロール類には溶射による表面コーティングが多用されている。ハースロールにはプラズマ溶射サーメットが、酸洗ロール、圧延ロールには高速ガス炎溶射によるWCコーティングが行われている。WCは耐溶融亜鉛性にも優れていることが明らかにしてきた。

討69 (依頼講演) 高速成膜技術のエネルギー分野への応用(固体質電解型燃料電池へのプラズマ溶射の応用)

(三菱重工業(株)長崎研究所 納富 啓)

固体電解質型燃料電池は今後の有力な電源として注目されている。緻密な固体電解質膜形成に減圧プラズマ溶射が用いられた。通気性電極も溶射で形成される。1kWモジュールでの性能試験が行われ、さらに10kW装置の開発が進められている。

討70 (依頼講演) 自動車部品への高速成膜・

高速表面改質技術の応用

(マツダ(株)技術研究所 清水 勉ほか)

耐摩耗性用途で金属系溶射が自動車部品に適用されている。酸素センサーの保護膜など新しい機能を目的とした用途が出現しつつある。磁性体を溶射しその位置のずれを検地することを原理とするトルクセンサーが開発され実用に供されている。

討71 (依頼講演) ジェットエンジン部品への溶射の適用

(日本航空(株)エンジン整備工場 小島和明)

従来航空機エンジン部品の表面処理はめっきが主流であったが、最近ではほとんどの部品が溶射で補修されるようになっていく。金属材料は減圧プラズマ溶射、セラミックス系は大気プラズマ溶射が多用される。爆発溶射、フレイム溶射も用いられる。

討72 (依頼講演) レーザーアシストプラズマCVDによる立方晶窒化ほう素の成長とその機構

(無機材質研究所 小松正二郎)

立方晶窒化ほう素はダイヤモンドと同様の機能を有する材料として期待されている。エキシマレーザー照射下でRFプラズマCVD法で成膜に成功しているが、ダイヤモンドに比べ、脱水素反応が熱だけでは起こりにくいと予想されるので、光励起が必要である。

討73 (特別講演) 高速成膜・表面改質技術の新展開——プラズマ応用の動向——

(東京理科大学理工学部 明石和夫)

表面改質のためのドライプロセスでは、プラズマやイオンを利用することが多い。低圧グローを用いる低温プロセスについては多くの技術蓄積があり、広面積均一成膜が現在の課題である。ECRプラズマからヘリコン波プラズマ発生法へと進展がある。高速成膜の観点から熱プラズマ利用プロセスが開発されてきている。

討74 鉄鋼溶炉用火炎溶射補修技術

(新日本製鉄(株)プロセス技術研究所 石井章生ほか)

プロパン-酸素炎による大容量耐火物溶射装置が開発され転炉やコークス炉の補修に使用されている。従来補修法に比して高い耐用性を得られている。

討75 繰返し打撃法による硬質膜の損傷評価

(株豊田中央研究所 土屋能成ほか)

破質膜の耐久性を評価できる繰返し打撃衝撃試験法を開発した。衝撃荷重の繰返しにより皮膜の損傷の進展、剥離にいたる過程の観察ができた。

討76 固相接合を利用した高速製膜法に関する予備的な検討

(名古屋大学工学部 篠田 剛ほか)

圧力をかけながら丸棒金属を回転させ、熱により塑性溶着させていく厚膜形成法の開発を目指している。1mm程度の膜厚形成が可能