

先後端幅ひけは、幅圧延時のスラブ先後端部の非定常変形に起因して発生し、幅圧下量の増大につれて、またスラブ幅の増大につれて顕著に発達する。先後端幅ひけは、圧延先端側が後端側より常に発達しやすいので、リバース圧延を含まないフルコン形式の粗ミルでは、特に先端側の幅ひけが問題である。この幅ひけを基本的に小さくするためには、三次元変形が容易で幅調整の効率の良い前段パスにて大きな幅圧下を行い順次パスごとに幅圧下を軽くするような前段強圧下型エッジパススケジュールが好ましい。粗 AWC では、この先後端幅ひけの制御機能をエッジショットストロークと呼び、実験的に求められた先後端幅ひけのプロフィール予測モデルを用いてエッジの動的開度パターンを算出する。電動 AWC の場合は応答性が遅く、複雑な関数パターンに追従できないので、簡便にいくつかの直線パターンを持つ方式で対処しているところもある。

粗 AWC は、幅圧延前の板幅プロフィールを全長にわたって幅計で実測し、それを基にした演算制御量をフィードフォワード制御する方式を主たる機能としている。

平圧延時の単純な幅広がり及び温度の影響は、従来の研究においても明確に認められていないが、幅圧延が付加される場合にはドッグボーンの形状に影響が現れ、スキッドマーク程度の温度変化でも幅広がり差が生じる。したがって AWC に用いられている幅広がりモデルでは温度の影響が考慮されている。

粗 AWC が適用されている粗ミル後端におけるスキッドマークの周波数は通常 1 Hz 以下であるため、スキッドマーク幅変動に対しては電動 AWC で十分対処可能である。ただし先後端のエッジショットストロークに対しては、電動では不十分とする意見が多かった。

铸造中の幅変更等による幅テーパを有するスラブを圧延する場合には、幅広側を圧延トップとする方が、幅変動の面からもクロップロス面からも得策である。またさらに AWC を実施することにより通常のスラブと同程度の成品幅精度を確保することができる。

### 3) 仕上張力幅制御

討24 熱延仕上圧延機における張力制御の解析と開発  
日本鋼管(株)京浜製鉄所 齊藤森生 他

粗圧延時のスラブの幅変形による幅変動とならんで仕上圧延時のスタンド間張力による幅変動が、ホットストリップミルにおけるトータルな幅精度の向上をはかる上で重要である。特に薄ゲージとなるほどストリップ内に過大なユニット張力が発生しやすく、大きな幅変動が発生する危険性が高い。この問題の解決のためには、応答性の高い安定したループの微小定張力制御の実現が必要である。またさらに張力を積極的に利用して幅制御を行う場合にも、高応答で安定したループ定張力制御の実現が必要である。

本討論では、最適制御理論に基づいた電動ループの計算法シミュレーションの結果について紹介がなされた。

ループの慣性モーメント ( $GD^2$ ) は、ループの応答性に大きく影響する。また張力のフィードバック値としてループ荷重計による実測張力を用いると  $GD^2$  を約 1/3 にした場合と同等の応答性が得られる。

シミュレーションの結果では、積分形最適レギュレータが最も良好な制御特性を示した。しかし、その場合でもステップ外乱の静定に要する時間は 4 s に達し、電動ループの応答性の限界が明らかとなつた。今後の油圧ループの発展が期待される。

以上、討論会の発表および討論の要点を概括した。トリムフリー鋼板の実現を目指して、今後も板幅制御技術に関する研究開発は進展を続けるものと考えられるが、今後数年間の推移をみて再び討論会が計画されることを期待したい。

最後に、貴重な討論論文を紹介していただいた発表者各位および討論に御参加いただいた各位に対しお礼申し上げる。

## IV. マイクロ・アロイング技術

座長 住友金属工業(株)中央技術研究所

邦 武 立 郎

昨今、鉄鋼材料について、その高級化、高付加価値化の必要性が強調されているが、微量の合金元素の添加による性質の向上、すなわち“マイクロ・アロイング”を本協会の討論会のテーマにとり挙げることは、時宜を得たものといえよう。ちなみに、ほぼ同時期に、米国の Metal Congress '83、また英国の TWI において、同様のテーマがとり挙げられているが、この課題が世界的に注目されていることを示している。

さて、討論講演の募集に当たっては、微量元素を鋼に添加した場合に鋼中に起こる固溶、偏析、析出などが、鋼の性質におよぼす直接的な効果や、再結晶、結晶粒の成長などへの影響を通しての効果についての研究を対象とした。特に、得られた知見が、新鋼材の開発あるいは鋼材の性質の改良などの展開へつながら基本となるような、基礎的研究の発表を期待した。すなわち実用鋼材を対象としながら、微量元素の影響について、できるだけ基礎的な掘り下げを行つた研究の発表を期待したつもりである。

最終的に選定した 7 件の討論講演は、大きく 4 つに分類することができる。すなわち、

- (1) 高温延性 CC 鋳片の表層下割れ感受性
- (2) 冷延鋼板 連続焼鈍での挙動
- (3) 厚鋼板 特に溶接部の靱性
- (4) 機械構造用鋼 結晶粒、冷間鍛造性、偏析、脱ボロン現象など

討論会も、この 4 つの小セッションに区切つて、とり

進めた。これにマイクロ・アロイングのオリエンテーションの意味で、東北大・西沢泰二教授に冒頭の講演をお願いした。

#### 〈オリエンテーション〉

鋼における微量添加元素の機能 東北大・西沢泰二  
マイクロ・アロイングに対比してマクロアロイングともいうべき従来の合金元素添加の効果は主としてマトリックス中の固溶や、析出により発揮される。これに対してマイクロ・アロイングは、粒界、双晶面、転位、空孔等の特異点—組織のツボを狙い打ちすることにより、微量で大きな効果をもたらすという、マイクロアロイの機能する“場所”に注目する考え方が示された。具体的な事例として、1) 結晶粒径の制御を例にとり、結晶粒成長を抑制する Nb 炭、窒化物のピンニング効果および固溶状態で移動粒界の後方に高濃度溶質原子分布を形成するドラッグ効果を実測データと共に示された。次いで、2) 偏析元素による毒作用 (Poisoning 効果)、特に B の粒界偏析によるフェライト生成抑制作用を例に引いて、毒作用の温度依存性および粒径依存性が紹介された。その他 S, Sb, P や Mg 等の特異な効果が解説された。更に今後、机上でなく実践によつて事例をひろく開拓すべきとの提言がなされた。

#### 〈高温延性〉

##### 討36 微量元素添加鋼の熱間延性

日本鋼管(株)技術研究所 大内千秋 他

大内から Nb 添加高張力鋼に発生する連铸鑄片の表面割れの原因解明の発表が行われた。割れの主原因は、Nb の炭、窒化物、AlN がオーステナイトの低温域で粒界に静的に析出し、粒界延性が低下することにある。従つて、析出量を抑制するような処理、例えば 1) 凝固後 900°C 以上の保持 (低温  $\gamma$  域を避ける) 2) N の低減あるいは微量 Ti 添加、によつて粒界析出量が減少して熱間延性が向上するとした。これに対して前原 (住金・中研) から、粒内における析出強化および粒界近傍の無析出帯 (PFZ) も考慮した、粒内と粒界の強度バランスを考慮すべきではないかとのコメントがあつたが、これに対して大内から、静的析出によつてほとんど支配されるとの回答があつた。

#### 〈冷延鋼板〉

##### 討37 連続焼鈍した冷延鋼板の材質特性におよぼすボロンの影響

新日本製鉄(株)八幡技術研究部 高橋延幸 他

##### 討38 極低炭素冷延鋼板の材料特性におよぼす合金元素添加の効果

川崎製鉄(株)技術研究所 佐藤 進 他

冷延鋼板への微量元素活用に関し 2 件の発表があつた。討 37 において高橋は、冷延鋼板への B の活用技術を以下の 3 件紹介した。1) アルミキルド冷延鋼板において、B が N と等量存在すれば、巻き取り以前に粗大

BN が析出し、熱延時低温巻き取りしても、次工程の連続焼鈍時に微細 AlN が析出しないので、粒成長が促進され延性が向上する。2) 極低炭素超深絞り鋼板における固溶 C の枯渇に起因する粒界脆化を、B 添加によつて改善できる。3) 複合組織冷延鋼板製造に必要な Mn 量を、B 添加によつて 0.4% 低減し得る。これは、2 相域焼鈍時にオーステナイト中への B の偏析によつて、2 相域からの焼入れ時における焼入性向上効果による。これに対して西田 (川鉄) から、B 添加により炭化物が微細化して悪影響がでる可能性、および B 添加によつて集合組織が発達して異方性が大きくなる懸念が表明された。また、時効性について、低 N にすれば B フリーでも良いのではないか、との意見があつた。これに対して、B 添加によつて炭化物はむしろ凝集粗大化すること、また集合組織についても主要方位がすべて増大し、面内異方性の点で Al キルド鋼に比較して劣ることはない、最後の点に関しては  $N \leq 0.0015\%$  ならば B は不要である、との回答がなされた。また 1) にのべた効果を期待した B 添加は、深絞り用鋼板には適用されないことが強調された。

討 38 において佐藤 (川鉄) は、極低炭素鋼の C 量に依つて、Nb 添加鋼における製造条件の影響を発表した。0.03~0.005% C 鋼において、Nb を C に当量添加するとき、その性能は熱延時の圧下率および圧下速度に大きく影響され、それらの増大によつて Nb (C, N) が析出、凝集粗大化し、延性が向上する。C 量 0.003% 以下の場合には、Nb を微量添加することによつて細粒を生じ、その結果集合組織が減少するので、面内異方性が著しく改善される。この時圧延加熱温度を低下させると、未固溶の析出物が粗大化して延性が向上する。これに対して、秋末 (新日鉄) から、1) 巻き取り温度を高めることによつても固溶 C 量が減少し延性が向上すること、2) Nb の他に Al についても同様の現象があるのではないか、3) 時効性の評価について、の質問およびコメントがあつた。2) に対しては、Al についても高速、高圧下によつて AlN 析出が促進され、Al+Nb 共存の方が延性が向上すること、3) 7.5% 予歪み負荷後、100°C × 30 min 保持して時効硬化 30 MPa 以下として評価した、との回答がなされた。

B は従来焼入性向上のために使用される例が多かつたが、冷延鋼板製造時に問題となる固溶 N の固定および粒界靱化に利用された点で、新たな分野を拓いたといえよう。

#### 〈厚鋼板〉

##### 討39 溶接熱サイクル下での窒化物の挙動と靱性の相

関 日本鋼管(株)技術研究所 鈴木元昭 他

##### 討40 ボロン添加制御圧延鋼の変態挙動と材質特性

住友金属工業(株) 橋本 保 他

討 39 で鈴木(日本鋼管)は大入熱溶接部の靱性改善に

関し Ti, Al および N の役割を論じた。従来の代表的対策である微細 TiN による溶接熱影響部の細粒化だけでは靱性に限界があり、フリー N の低減によるマトリックス自身の靱化が有効であることを示した。N を 30 ppm 程度に抑え、N 固定化元素として約 0.05% 程度の sol. Al を含有せしめると、大入熱溶接時の冷却中に AlN が析出し、フリー N が低減され、溶接ボンド部の靱性が改善される。高 Al 低 N を前提として、0.05% 程度の微量 Ti との併用もフリー N の低減を促進するのでいつそう効果的である。これに対してなされた渡辺 (住金) の AlN, TiN の析出サイト、鋼塊法と CC 法の差異、微量 B による BN 形成の活用に関してのコメントに対し、TiN は  $\gamma$  粒界ではなくて均一に分散析出していることや、鋼塊法と CC 法ではむしろ前者の方が効果を示しやすいこと、また B の活用はフリー N 低減には有効であるが、HAZ 部の最高硬さを上昇し、ばらつきを大きくするなどの見解がのべられた。

討 40 で橋本 (住金) は、微量の B を活用した制御圧延鋼で、フェライト + 低温変態組織の二相鋼は、優れた強靱性を示すこと、B が有効に働くためには幾つかの条件を満たす必要があることを示した。すなわち第一に、加熱圧延中に BN を形成させないために、低 N かつ少量の Ti 添加によつてほぼ完全に N を固定する必要がある。次に Nb 添加を行い、固溶 Nb と共存せしめることによつて B の効果が発揮される。C 量も 0.02% 程度が最も効果的で、それ以上に増すことは NbC の析出を促進し固溶 Nb を減少せしめるので B が機能しない。強度はフリー B 量に比例して増加するが、その勾配は鋼種、冷却速度によつて変わる。この領域は、ミクロ組織的には、フェライト・パーライト組織および通常の焼入鋼での均一焼入組織との中間に位置する過渡的領域であつて、この領域での組織制御であると説明した。これに対して大内 (鋼管) から B-Nb の複合効果とみるよりもむしろ、たんに固溶 Nb による焼入性向上と考えられないか、 $\gamma \rightarrow \alpha$  変態時の B の分布、役割は何かとの疑問が提供された。 $\gamma \rightarrow \alpha$  変態のからむ B 鋼の挙動の詳細は、今後の検討課題である。

#### 〈機械構造用鋼〉

討 41 肌焼鋼の結晶粒極微細化とその特性

大同特殊鋼 (株) 中央研究所 田中良治 他

討 42 機械構造用鋼の諸特性におよぼすボロン添加の効果

(株) 神戸製鋼所中央研究所 井上 毅 他

討 41 で田中 (大同特) は、棒鋼の制御圧延による結晶粒微細化と冷間鍛造性について報告した。熱間加工シミュレータによる基礎実験の結果、オーステナイト G. S. No. 12 以上の細粒鋼を得るには、Al-Nb-N 鋼とし、1100°C 以下の低温加熱にて、900, 800°C の各ステージで  $\gamma$  の繰返し再結晶による細粒化が望ましいこ

とを明らかにした。次に、SCr 420 鋼について、950°C 加熱、800°C 仕上圧延の制御圧延を実機に適用した結果、フェライト粒度番号 No. 11 の細粒鋼が得られ、優れた冷間鍛造性を示した。これに対して、井上 (神鋼) から、Nb の役割について質問が行われたが、未固溶 Nb 析出物による細粒化効果を利用しているとの回答があつた。厚板の制御圧延技術の技術移転の一例といえよう。

討 42 で井上 (神鋼) は、機械構造用鋼における B の特異な現象について 3 つの事例を報告した。1) 焼入れ焼もどし後のシャルピー値は P 量の低減によつて改善されるが、B 添加鋼では P レベルによらず極低 P 鋼 (0.002%) と同程度のシャルピー値を示す。B が優先的に粒界析出し、P の粒界偏析エネルギーを低下させ、P の偏析を抑制する機構が考えられる。2) 鍛造焼入れでは、B フリー鋼の焼入硬さは鍛造温度に敏感であるが、B 鋼では鍛造温度によらず高位安定した硬さが得られる。鍛造後の再結晶  $\gamma$  粒界に B が優先的に偏析し焼入性を向上させる。3) 熱処理中の表面層の脱 B 現象について、B の濃度分布曲線が途中で折れ曲がる。表面層では 850°C において 950°C よりも脱 B が大きい。これは B の固溶限と脱炭による  $\gamma/\alpha$  相の問題が関係する。これに対し鈴木 (新日鉄) から鍛造焼入れでは過剰 B の使い方は難しく、BN が粒界析出すると粒界破壊を生じやすいとの指摘があつた。また飯野 (新日鉄) から B による P 偏析抑制のメカニズムについて質問があつた。

今回の討論会でとり挙げられた、いわゆるマイクロ・アロイニング元素は、B, Al, Ti, V, Nb であつた。そのうち B が最も多く登場したが、これは鋼材のあらゆるフェーズにおいて、B が微量添加元素として重視されているからであろう。次いで Al を別格として、Nb, Ti がこれに続いた。

これらの元素の鋼中における挙動として論議的になつたのは

B	偏析, 析出 (BN など)
Al	AlN の挙動
Nb, Ti	炭, 窒化物の固溶, 析出 など,

である。

今回の討論会においては、製造技術 (その内製鋼技術についてはとり挙げることができなかつたが) や、新鋼材の開発、鋼材の性質の改良につながる基礎的に重要な知見が多く提示され、また今後引続き論議されなければならない問題の存在も指摘された。低コストで性質の優れた鋼材を生み出すために、マイクロアロイニング技術について、今後更に深く研究を進めてゆくことが必要であろう。

最も論議の集中した B については、次のような歴史的な発展があつたと理解している。すなわち、すでに昭和 10 年代の半ば頃に、機械構造用鋼の焼入性の向上を目的として研究が開始された。そしてその後一応の完成を

見たかみえたが、その性状の安定性などに対する危惧から、実用化は比較的遅かつた。ところが、昭和 40 年代に、溶接性高張力鋼板、特に靱性の優れた調質型 HT 80 厚鋼板の開発に絡んで、ボロン鋼の製鋼技術、熱処理技術に大いに進歩がみられた。その後この技術は、適用先において拡がりを見せ、今回の討論会において発表されたように、熱延鋼板や冷延鋼板への適用をみている。また、機械構造用非調質鋼の例に見られたように、厚鋼板で開発された技術が再びフィードバックされて、機械構造用鋼への適用へと発展をみている。

このような技術移転が、基礎的な掘り下げ研究（マクロアロイングから、よりマイクロ・アロイングへの性格を深めたような）と相携えて、今後もいつそう進展することを期待したい。

最後に、本討論会の構成の案画において、住友金属工業(株)中央技研主任研究員の高橋政司、間瀬俊朗、大森靖也、大谷泰夫、中西睦夫、橋本保、渡辺征一の諸氏の協力を得たことを付記します。特に、橋本保、渡辺征一両氏には、討論会当日に座長輔佐としてご尽力いただいたことを記し、感謝申し上げます。

統 計

高炉スラグの用途別利用推移

高炉スラグの発生量は出鉄量の約 30% に達し、資源としての利用は当然のことながら無視できない。しかしその用途別利用量では図からも明らかなように相当その様相は変わってきている。すなわち、これまでドライピットでの徐冷滓を路盤材として使用するのが主流であった。しかしここ最近急冷水滓スラグのセメント用原料としての使用が急増しており、1982 年には前、後者ともほぼ同量となっている。

高炉スラグでの今後の課題としては出滓時に含有している多量の顕熱（約 400 kcal/kg）を回収利用し、前述の資源化とをいかに両立させるかということにある。

(日本鋼管(株)技術研究所 國岡計夫)

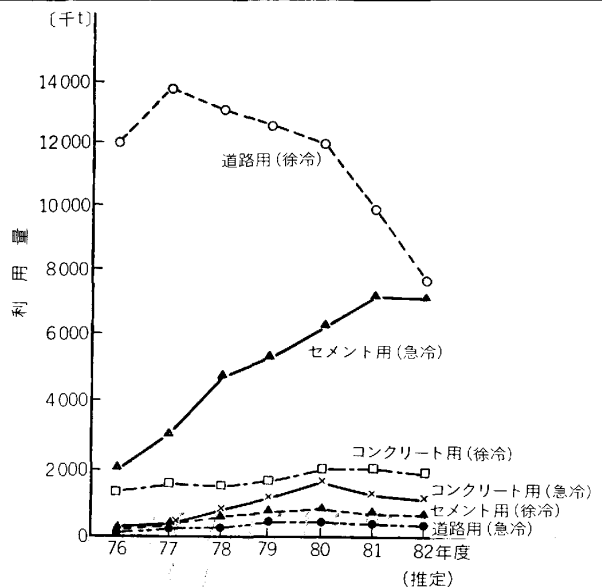


図 高炉スラグ主要三用途利用量の推移  
(出典：日本鉄鋼連盟，“1982年の内外鉄鋼業”  
(1983. 1. 9), p. 45)