

疵であり、横割れ、マキコミ疵等は検出不可能であること、検出は光学式のため割れ幅が 0.5~0.7 mm 以上であれば可能であると答えた。

#### 討 10 鹿島製鉄所における厚板用連铸スラブの熱片直送

住友金属工業(株)鹿島製鉄所 橋尾守規

連铸材の熱片直送量は月間約 15 万 t であり、このうち厚板材の直送量は 3 万 t 程度である。これら厚板材の熱片直送の安定化にはスラブの縦割れ疵の防止と品質保証体制が必要である。縦割れ対策としてはロールアライメント維持、モールド湯面制御、顆粒パウダーの自動投入が効果的である。また光学式の熱間探傷技術を開発し、50 mm 以上の縦割れ疵の検出が可能になったことにより、铸片の品質保証のみならず、铸造条件への迅速なフィードバックの手段としても有効であると述べた。これについても討 9 と同様、熱間疵探傷装置についての質問があり、検出可能疵は縦割れ疵で 50 mm 以上であり、裏面の検査は行っていないが、割れ疵の発生傾向は表裏面で類似しているため、表面に 100 mm 以上の縦割れ疵が発生した場合はホットチャージを中止し冷片手入を実施すると回答した。

以上 5 件の研究発表の後、総合討論と論評が行われた。総合討論は発表者全員が同じ課題で討論する形式を取り、まず連铸カッターから加熱炉装入までの時間と装入温度について討論したが、厚板材と熱延材で若干差があり、厚板材では所要時間が 12~13 時間、温度が 350~450°C 程度、熱延材では 4~15 時間、温度が 300~650°C 程度で設備、スケジューリング等の制約により差があることが判明した。次にホットチャージ適用可能鋼種でのリジェクト率の現状については、非定常作業や铸造異常等の原因で約 15% 程度発生していることが討論を通じて明らかとなった。またホットチャージの温度を確保する対策として保温ピットを有している製鉄所が 3 ヶ所あり、その能力は 2000~5000 t 程度である。

討論会の総合論評を楯(日本鋼管・京浜)、桑原(新日鉄・大分)の両氏にお願いした。楯氏はホットチャージのための不可欠な技術として、①溶鋼温度コントロール技術、②Al, Ca, Ti, B 等の添加を含めた、レードルメタラジーの技術を生かしたワンポイント成分調整技術、③断気铸造等の介在物減少技術、電磁攪拌技術、湯面制御技術等の铸造技術の総合集積が無欠陥铸片に結びつくこと、更に④マシンアライメントの整備やロール材質向上、モールドコーティング技術等連铸機の保守技術の向上が必要であり、これらの技術開発が今後の無欠陥铸片の製造に大きく関与してくるであろうと指摘した。更に今後のホットチャージの問題点としては、例えば成品工程での検査工程を持たないホットコイル等について、ホットチャージ実施時の品質保証をどう解決して行くか、またローラーテーブルの構造等、铸片の保証技術の

開発があげられると強調した。桑原氏は現在新日鉄・大分で立上り中のサイジングミルの概要を紹介し、連铸機と熱延機を直結し、連铸機では一定幅のスラブを一定速度で铸造し、品質安定化および工程の単純化によるホットチャージ比率の増大および省エネルギーの促進を行っていると述べた。

最後に座長の田桐は、本討論会は連铸の省エネルギーということで、最近 2, 3 年急速に改善された無欠陥铸片の製造技術や熱間表面疵検査装置に支えられたホットチャージについての討論が主題となったが、近い将来再度連铸の省エネルギーに関する討論会が開催される時には、更に進んだダイレクトローリング等の研究成果が議論されることを期待すると挨拶し、本討論会を終了した。

## II. 熱間圧延変形抵抗の数式モデル

川崎製鉄(株)技術研究所

座長 中川 吉左衛門

熱間圧延で製造される製品の寸法、形状に対する要求は近年特にきびしくなり、しかも高能率化が要求されている。それに応じて圧延工程における制御の目的や方法は多様かつ高精度になつており、圧延制御のパラメータの 1 つである熱間変形抵抗についても非常に高い精度が要求されている。一方圧延中の組織変化を通しての材質制御法の 1 つである制御圧延法は、60 年代後半以降の高張力大径管用鋼板の製造を契機として急速な発展をとげ熱間圧延の分野で重要な位置を占めるにいたつている。熱間変形抵抗は高温変形による組織変化を敏感に反映する材料特性値であり、制御圧延時の変形抵抗を精度よく予測するためには変形中の材料組織の変化と変形抵抗変化を正しく対応させることが必要である。また近年プログラム制御により熱間圧延に近い変形条件をシミュレートできる各種の熱間加工シミュレーターが試作、使用され、変形抵抗に対する組織要因の影響が明らかになりつつある。

こうした状況から熱間変形抵抗の問題が多くの研究者の関心を集めるようになり、本討論会でも活発な討論が行われた。以下今回発表された 5 件の講演とそれに対する討論の主要点について述べる。

#### 討 11 熱間圧延変形抵抗の数式モデル

東京大学工学部 木原諄二

続いて行われた 4 件の講演に対する Introductory talk をかねて、熱間変形抵抗の測定方法の進歩、圧延理論と変形抵抗の関係について概説し、材料の塑性変形挙動の定量的把握と正確な数式モデルの必要性を強調した。さらに今日における変形抵抗の問題点の 1 つであるパス間でのひずみ累積効果についての電磁サーボ式の熱間加工再現装置による実験例を紹介した。2 段変形を行つた時、2 段目の応力-ひずみ曲線がわずかのひずみで中断なしの場合の応力-ひずみ曲線に漸近するという結果に

について、そのメカニズムに対する質問があつたが、セル壁の転位密度の変化から説明可能であるとの回答がなされた。

#### 討 12 パス間での未回復ひずみを考慮した熱間変形抵抗予測モデル

川崎製鉄(株)技術研究所 齋藤良行

再結晶オーステナイトの熱間変形抵抗は該当パスの圧延条件で記述する基本モデルとひずみ回復効果を微分方程式で表したひずみ回復モデルより成り立ち、圧延データ解析により決定した数式モデルの概略を紹介し、グリーンブル試験機を用いたモデルの妥当性の検討結果を報告した。さらに各モデルに対する組織要因、特に Nb の析出とオーステナイト粒径の影響を明らかにした。これに対して、三段以上の多段変形時の内部組織の変化を記述する場合の問題点、ひずみ回復モデルに対するひずみ速度の影響の有無、ひずみ速度依存指導の温度依存性を説明するメカニズム、タンデム圧延のような大圧下の場合へのモデルの適用の可否などについて質疑応答が行われた。

#### 討 13 厚板圧延における変形抵抗の数式モデル

日本鋼管(株)技術研究所 山本定弘

高温圧縮試験により、変形抵抗に対する化学成分、特に Nb, Ti, V などの微量元素の影響とパス間でのひずみの残留効果を定量化し、その結果にもとづきオーステナイト低温域を対象とした変形抵抗の総合モデルを提唱した。さらにこのモデルを用いた厚板圧延における圧延荷重予測方法を紹介します。実操業においても十分精度が保証できることを報告した。これに対して複雑なモデルを実操業でのプロセスコンピュータ制御に用いる場合の問題点、オーステナイト低温域での低下率のパスについて圧延荷重予測を行う場合の圧延荷重式の問題、圧縮試験を行う場合の試験機の剛性の問題などについて質疑応答がなされた。

討 11~13 ではそれぞれパス間でのひずみ累積過程を定量化する試みがなされているが、ひずみ累積効果を変形抵抗式に導入する場合の取り扱い方法、ひずみ回復過程を記述する微分方程式の形式などについてそれぞれ特徴をもっている。しかしそれらを相互比較した場合に相矛盾する点もないわけではない。その1つが二段変形を行つた場合の二段目の応力-ひずみ曲線の取り扱いであるが、わずかのひずみで中断なしの応力-ひずみ曲線に漸近するという結果(討 11)に対して、ひずみ軸を未回復ひずみ量に相当する量だけ平行移動することにより中断なしの応力-ひずみ曲線に一致する(討 12, 13)という一見異なつた結果が示され、この点については各講演後に討論が行われたが、時間の関係もあつて十分に問題点をはつきりさせることはできなかつた。詳細な検討は今後の課題として残された。

#### 討 14 厚板・熱延計算機制御における圧延荷重の推

定

住友金属工業(株)中央技術研究所 美坂佳助

低炭素鋼の熱間変形抵抗式として広く利用されている美坂の式の基礎となつた落下ハンマー法による熱間変形抵抗測定方法と美坂の式のその後の発展について主として未発表データを用いて報告した。さらに実操業での計算機制御における圧延荷重予測の問題点について鋼板温度予測モデルも含めて紹介した。これに対して低下率のパスでの圧延荷重予測を行う際の圧延荷重式の問題、変形抵抗式の成分依存項の温度依存性の有無、変態の影響をモデルに導入する方法などについて問題点が指摘され、検討に値する問題であるとの回答がなされた。

#### 討 15 高歪速度における炭素鋼の熱間加工組織と変形抵抗

新日本製鉄(株)生産技術研究所 矢田 浩

熱間加工組織と変形抵抗の関係について、圧縮型あるいは引張型の試験機と比べてきわめて速いひずみ速度領域での変形が可能な衝撃圧縮型の熱間加工シミュレータと、高速圧延機を用いた実験結果を報告した。高ひずみ速度での多段変形時における応力-ひずみ曲線と変形組織から判断して、高速連続圧延の後段においては変形応力、組織ともに Zener Hollomon のパラメータ  $Z$  のみで決定される動的再結晶あるいは実質的にはこれと同等の状態になつているというきわめて興味ある主張を行つたが、これに対して動的再結晶と静的再結晶の判断基準についての質問がなされ、組織的には区別は困難だが  $Z$  と定常応力あるいは最大応力の両対数プロットが直線になることから上記の推論がなりたつとの回答があつた。またひずみ速度依存指数  $m$  が通常値よりも小さいが十分信頼に値するデータであるかとの質問があつたが、これに関連してグリーンブル試験での  $m$  の値もほぼ同程度であるとのコメントがなされた。

以上 5 件の講演から現状での熱間変形抵抗の研究レベルと解決すべき問題点を列挙すると以下ようになる。

Nb, Ti, V などの微量元素を含めた成分の影響とオーステナイト低温域でのひずみ累積過程についてはすでに数式モデルが提案されており、それぞれ高温変形実験結果とよく一致することも実験により確認されている。しかし数式モデルは結局現象の多項式近似であり、しかも各研究者の主張するモデルの物理的意味はかならずしも一致しておらず、現象そのものについての理解は今後の課題である。圧延時の組織変化と変形抵抗の関係については、オーステナイト粒径、ひずみ誘起析出物、 $\gamma \rightarrow \alpha$  変態などの影響は実験的には明らかになつたが、数式モデルに表現されるまでには至つていない。変形抵抗測定方法についても引張、圧縮あるいは衝撃圧縮といったそれぞれ変形方式、ひずみ速度範囲の異なつた各種シミュレータによる実験結果が紹介されたが、それぞれの方式特有の問題点があり今後の改善が待たれる。

総合コメント(東大 木原)でも述べられたように、本討論会で提起された問題点をふまえ、今後各研究者の協力により基礎的なデータの収集、基本的なメカニズムの解明に精力的に取り組む必要がある。今後の具体的な目標を明確にでき、盛会のうちに終了した。参加・企画の皆様は厚く御礼申し上げる次第である。

### III. 鉄鋼の表面硬化処理に関する最近の動向

関東学院大学 工学部

座長 小川 喜代一

昭和 56 年、第 101 回春季講演大会における討論会 III “表面硬化処理の最近の動向” について 5 編の研究発表と、その討論が行われた。討論題目の内容は、機械要素として重要な印削工具、金型などの耐久性をより向上するため、一般焼入れ、焼もどし処理後、さらに  $+\alpha$  の追加熱処理を加えた場合の効果または問題点についての内容が 4 編、他の 1 編は、各種炭化物を形成する金属元素を添加した特殊肌焼鋼に関する提案と言うべきもので、これが浸炭処理の条件によつて、各炭化物生成粒子が微細に分散された表面層を得る方法について検討したものである。

$+\alpha$  処理に関しては、西独、米、我が国などで、工具鋼の耐久性を顕著に増大する目的から、現状での傾向的研究テーマであつて、各種炭化物のコーティング法、合理的な窒化物層の生成法などが究明され、しだいに工業化が促進されている。しかし  $+\alpha$  追加熱処理は常に効果的とは限らず、 $+\alpha$  処理の内容により、寸法変化を生ずるもの、面荒れ、結晶粒の粗大化、表面からの硬さ分布の不合理の場合などは避けるべきであろう。

炭化物のコーティング法には、TiC, TiN, V, C の他があつて、処理内容に、水素還元による熱分解法 C.V.D, 電子エネルギーを有効に使用する P.V.D 法があり、処理温度が相違する。前者は  $1000^{\circ}\text{C}$  以上で、その硬さ Hv 3800 とも言われ、後者は  $550^{\circ}\text{C}$  以下で硬さ Hv 2000 前後とされている。

$+\alpha$  処理として、別に上述した各種窒化法が提案されている。窒化法の特徴は、処理温度が低く、硬さ Hv 1200 程度で耐摩耗性に優れ、なお最表面層に圧縮応力を残存することから耐疲労性であることも認められている。現在各国で工業化される窒化法は数多く、おのおのその特徴も異なつてはいるが、今回提案されたイオン窒化法は、西独で開発された新しい処理法で、 $\epsilon$  層(脆弱な層)の生成が調節可能であり、 $400^{\circ}\text{C}$  程度の低温処理も望み得て、公害も全くない優れた方法であるが、被処理物の形状に凹凸の著しいものは、均一処理が困難である。

以上 5 編の発表論文の概要について述べたが、上述したように、我が国を加え欧米における現状は、その工業化を促進するため画期的な問題とされている。切削工

具、金型などの重要性から討論参加者がすこぶる多く、終了時間を延長して終始活発な意見の交換が行われた。しかし、各発表に対し、同一系統の質問、討議が重なつて各個に氏名を挙げるのが困難となつた。次に講演と討論の主要点を述べる。

#### 討 16 炭化物粒子の分散を伴う浸炭硬化

熊本大学工学部 千葉 昂

従来の浸炭法は、鋼の表面層に炭素原子を拡散させ、焼入れによつてマルテンサイト組織とする方法であつた。この研究では Cr, Mo, V, Ti などの炭化物形成元素を添加した肌焼鋼に、各種条件で浸炭処理を施し、炭化物粒子が微細に分散した耐摩耗性の表面層を得る方法について検討している。本法の原理は、O 原子に対する親和力の強い元素を固溶した合金を、酸化性雰囲気中で加熱し、炭化物粒子の分散した組織とする「内部酸化法」と本質的に同等の原理であるとしている。なおこの浸炭法を CD (Carbide Dispersion) 法と略称している。鋼の浸炭作用は、浸炭処理温度と、肌焼鋼の化学組成によつて、その生成組織は各種多様化し、機械的性質も異なることになる。基本的組織は、 $A_1$  点以下の温度で浸炭すると、フェライト基質中に  $0.1\ \mu\text{m}$  以下の微細な炭化物粒子が分散し、最高硬さ約 Hv 800 程度である。オーステナイト域で浸炭すると、マルテンサイト基質中に直径  $1\ \mu\text{m}$  以下の炭化物粒子が分散した組織が得られ、最高硬さは約 Hv 1100 に達する。肌焼鋼組成は、 $0.25\%C$ ,  $12.0\%Cr$ ,  $1\%Si$  であつて分散炭化物は  $M_7C_3$  であつた。この  $\gamma$  域における浸炭は通常の浸炭法と余り変化はない。粗大炭化物を阻止するためには、鋼組成と浸炭雰囲気の調整が必要である。 $\delta$ -パーライト変態を利用して Cr 肌焼鋼を CD 浸炭すると、その硬化層は板状の  $M_{23}C_6$  マルテンサイト層状組織で硬度が高い。また Mo, W を含む鋼組成では板状あるいは棒状の  $M_6C$ , V, Ti 添加鋼では棒状 MC 炭化物が形成される。V%2.3% (max) 鋼の浸炭焼入れ、焼もどし鋼の大越式すべり摩耗試験による耐摩耗性結果は、 $V_4C_3$  が均一分布し、硬さ Hv 920 で優れた結果が得られた。

要約すると、この研究は、炭化物を生成する各種金属元素を添加した鋼に、種々の浸炭温度、浸炭性雰囲気中で浸炭処理を施した際の生成炭化物性質の検討を行ったものである。状態図を基とする基本的な構想で、鋼組成-浸炭温度-浸炭性雰囲気の各種組み合わせによる生成炭化物の吟味と言えよう。

質問、討議は一貫して、工業的活用の可否であつて、極めて微妙な鋼組成の調節に困難さを感じずる点にあつた。高瀬(関西大)は、発表内容に関する肌焼鋼が市販される見込みについて質したが、現状工業化意志はない。最も普遍的な表面硬化法である浸炭法に関し、広範囲の条件で生成炭化物を基本的に研究された内容には敬意を表したい。