

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°C 以上で、その硬さ Hv 3800 とも言われ、後者は 550°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、 ϵ 層(脆弱な層)の生成が調節可能であり、 400°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 γ 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。 δ -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。

討 17 工具鋼のイオン窒化

関西大学工学部 高瀬孝夫

工具鋼にイオン窒化処理を施した場合の諸現象を検討している。内容の要点は、高速度工具鋼に窒化処理を施した際の切削性の向上にあつて、上述した $+\alpha$ 追加処理として採用され、研究している。従来の単なる NH_3 分解法による窒化法と異なり、イオン窒化法は処理条件が複雑であつて、条件が合理化された場合にのみ、耐摩耗性、切削性が優ることとなる。この窒化法の特徴は、 N^+ イオンの分圧を自由に變化し得ることで、目的に応じた組織を得ることができる。処理法の概要は、減圧された炉中で、処理部品を陰極 (-) とし、炉内ケースを陽極 (+) にセットし、炉内を N_2 , H_2 とし、必要に応じ炭素系ガスをも含む、 $0.5\sim 10$ Torr ガス雰囲気として、これに $300\sim 1500$ V の電圧を加えてグロー放電を生ぜしめ、 N_2 , H_2 を N^+ , H^+ イオンに変える。イオンの持つ高い運動エネルギーは、被処理物表面に衝突して熱エネルギーに変わつて、被処理物を加熱し、同時にイオンが拡散して窒化作用を行う。従つて窒化炉に発熱体を必要とせず、ガス消費量も少なく、公害もない。窒化処理温度も $360\sim 600^\circ\text{C}$ の広範囲とされる。講演内容の要点は、 Fe-N-C 系による N+C 同時拡散の窒化、窒化物中の ϵ , γ' 相の加熱による分解 ($600\sim 900^\circ\text{C}$)。なお窒化物層の組織は使用目的に応じて區別され、 $A =$ 面心立方晶の $\gamma'(\text{Fe}_4\text{N}) +$ 合金元素の窒化物層と拡散層、 $B =$ 稠密六方晶 $\xi +$ 合金元素の窒化物と拡散層、 $C =$ 拡散層のみの 3 種がある。

では、工具鋼の窒化組織として何を選ぶか ($\epsilon + \gamma'$, γ' , 拡散層)。B. Edenhofer の研究によると、熱間工具については γ' 、切削工具では拡散層のみが実用的効果が大きいとされている。いま、拡散層のみの組織を得る手段について、拡散層をより深く得る方法の一例を採用した。窒化物層を大きく生成させ、その表面層のみを例えばイオンスパッタリングにより除去し、拡散層のみを残す方法を用いた。この構想に基づき Mo 高速度鋼を普通焼入れ後、 $500^\circ\text{C}\sim 30$ min イオン窒化し、さらに $570^\circ\text{C}\sim 1$ h, $\times 2\sim 3$ 回、中性加熱焼もどしを施した。この結果、切削試験によると、普通焼入れ、焼もどし処理のみの工具に比べ、拡散層を主体とした工具は約 5 倍の寿命の向上が得られたとしている。

質疑に関しては、内容が極めて明解であつたのにもかかわらず全く同一系の処理内容について集中した。しかし、おのおの実施例を示しての解答であつて、いずれも了解された。しかし金型作業面に著しい凹凸のある場合のイオン窒化法は、将来の研究テーマとして残された。なお高瀬は、イオン窒化法による鋼の耐摩耗性に関しては、別の好機にしたいと言う。

討 18 イオン窒化鋼の組織と疲労特性

川崎重工業(株)技術研究所 芋野兵衛

イオン窒化法による窒化温度、時間、ガス圧、ガス組成、窒化後の冷却速度など各条件によつて、窒化層の性質は左右され、硬さ、厚さ、残留応力、化合物組成などが變化し、これら因子の影響から耐疲労特性に影響を及ぼす。この研究は、工業面で要求する耐疲労性を得る最適処理条件の究明と、イオン窒化鋼の強度特性の検討を行つている。供試鋼には組織変化が明瞭に現れる軟鋼を主体とし、実用面を考慮に入れ低合金鋼を併用している。実験内容は耐疲労性に影響を及ぼす各因子について広く検討し、また従来の塩浴窒化法の結果とも比較検討を行つている。要は、 $+\alpha$ 追加処理として、イオン窒化法を選定し、耐疲労性の最も優る処理条件を吟味している。実験では窒素の固溶と析出が疲労特性に及ぼす影響、 590°C 以上の高温窒化における異常組織として、ブラウナイトと呼ばれ、 $(\gamma'-\text{Fe}_4\text{N})$ と $(\alpha-\text{Fe})$ の共析組織で、 Fe-C 系のパーライトに相当する組織の影響、化合物組織の影響、さらにはイオン窒化と高周波焼入れの複合熱処理による検討など広範囲に行つている。結果によると、窒化法の違いによる耐疲労性の差はほとんど見受けられないとしている。

質疑の要点を要約すると、炭素鋼による場合と、一般窒化用鋼に用いられる構造用合金鋼についての窒化作用は、生成窒化物その他が本質的に相違することが考えられる。一般熱処理における組織変化に対する基本組織としての炭素鋼の採用とは、かなり条件が異なつて、本研究で述べる組織的變化を明瞭にするために云々とは考え難いとの意見があつた。

討 19 熔融塩浸漬法による炭化物被覆鋼の靱性

(株)豊田中央研究所 太田幸夫

熔融塩浸漬法により、表面に被覆された炭化物層はすこぶる高い硬さで耐摩耗性、耐焼付性などに優ることが知られている。炭化物層は硬いが母材鋼に比べ非常に脆いものと考えられ、表面被覆すれば母材の靱性に何らかの影響が及ぶと思われる。この研究は、靱性に関する炭化物層と母材に対する諸因子の影響を検討するため、衝撃試験、曲げ試験などを施して炭化物被覆鋼の破壊挙動を究明している。試験法の詳細は第 101 回討論会概要 A 73 ページに示されているが、炭化物層被覆種類の違いによるもの、衝撃値、抗折破断荷重とも、その影響はほとんどないとされている。なお多くの実験結果によると、母材の靱性が低い場合は、炭化物層にクラックが発生する以前に、また粘り場合には炭化物層にクラック発生後、さらに変形が進行した後、炭化物層のクラックには無関係で、母材内のクラックの発生によつて破断する。したがつて同一条件で焼入れされた同一鋼種の焼入れ、焼もどし鋼と炭化物被覆鋼の間に破断荷重、変形量の差は見られない。中間の場合は、炭化物内のクラック発生が、母材の破断を誘発するために、焼入れ焼もどし鋼よりも小さい破断荷重、変形量で破断し、炭化物被覆に

よる靱性の低下が見られた。SKD 61 の低温焼もどし SKH9 の低温焼入れ、低温焼もどし、1.0C, 10.0Cr 鋼の低温焼もどし等がこれに該当する。この挙動は、負荷速度に支配されず、衝撃曲げの場合にはこのような挙動は見られず、炭化物被覆による靱性の低下はほとんどないと言う。討論と言うよりも二三の質問がでた程度であった。極めて重要な結果であつて、この実験の炭化物は V, C, NbC などについて検討している。

討 20 イオンレーディング法による高速度工具鋼へのコーティング処理

(株)神戸製鋼所明石製鉄所 手崎宗昭

TiC などの C.V.D 法によるコーティング法は超硬工具などの場合、性能の向上が認められている。本研究は P.V.D 法により高速度工具鋼に対し、より低温度で適用した事例の報告である。この処理法は、真空槽内に導入した反応ガスと、蒸発させた Ti をプラズマ空間で活性化反応させ、生成した TiC または TiN の化合物を被処理鋼の高速度工具鋼表面に蒸着させている。処理温度は 500~600°C 以下の低温度側で施している。蒸着層の TiC, TiN は結晶化され、母材との境界は明瞭で TiN の母材への拡散は見られない。皮膜硬さは TiN, Hv 1700~1900 で、TiC は Hv 2300~2700 である。なお両、炭化物皮膜の耐剝離性を検討すると、TiN 膜はクラック幅が狭く、網状に発達し、TiC 皮膜は直線上の鋭いクラックラインでその間隔も広い。この事実は皮膜質の特性が異なることを意味し、今後の皮膜特性の解説に意味を持つとしている。

耐摩耗性を検討するため、Highs SKH56 を用い、一般焼入れ焼もどしのみ鋼と、さらに TiN コーティング処理を +α した鋼を大越式摩耗試験機によりすべり摩耗実験を行い、TiN 皮膜の優ることを認めている。TiC にややチップングが見られると言う。

討議：現在ホブやピニオンカッターに実用されている関係もあつて、実用面の質問が多く、その切削性、耐摩耗性の検討は複雑であるとの印象が強く残つた。以上いずれも将来共継続されるテーマと考えるが、現状における研究の方針、実態などを知ることができ、極めて有意義であつた。

IV. 高 Mn 系非磁性鋼の特性と問題点

三菱製鋼(株)

座長 井上正文

高 Mn 鋼については Hadfield 鋼として古くから知られており、耐摩耗鋼、非磁性を利用した電機部品として 4~5 万 t / 年安定して生産されて来た。また、技術的には、ほぼ解決されたものとされていたのか話題になることも少なかつた。しかしながらリニヤモーターカー路盤用材、核融合装置用材として採り上げられたことからクローズアップされ、研究発表も数多く見受けられるよ

うになつた。ちなみに鉄鋼協会で発表された論文(含講演)の数は昭和 45 年~52 年の 8 年間で 20 件であつたものが 53 年 9 件、54 年 20 件、55 年 23 件と急増している。このような現象は、上記の新技術が引金となつたことは確かであるが、その後 Co, Mo の窮迫に端を発した省資源問題が大きな駆動力となつていようと思われる。幸い海底団塊の利用まで考えれば Mn は量的には恵まれている。Ni, Mo 等に替えて Mn の有効利用を考えるのは当然のことであり、高 Mn 鋼もその一環としてこれからも活発な研究と用途開発が行われるであらう。

このように高 Mn 鋼の見直しがされている時期に、討論会が開催されたのはまことに時宜を得たものというべきであらう。

“鉄と鋼”誌上に予告をしたところ、多数の参加御希望があり、一部の御発表をお断りするような事態になつた。これらの方々に誌上を借りてお詫び申しあげる次第である。

一応今回は基本的特性の見直しと問題点の解決に中心をおき、実製品への応用面については割愛せざるを得なかつた。

討 21 高 Mn 非磁性鋼の基本的特性と製品への応用
川崎製鉄(株)技術研究所 野原清彦

高 Mn 鋼の基本特性について、熱膨脹係数と磁性、機械的性質に及ぼす成分の影響を述べた。

- ① C 濃度の減少に伴い熱膨脹係数は低下する。
- ② Mn 濃度の増加により熱膨脹係数は減少する。
- ③ ネール温度 (T_N) は C の減少並びに Mn の増加により上昇する。
- ④ 機械的性質については、C : 1% 以下、Mn : 10~50% の範囲でそれぞれの影響を調査し、Mn 量により C の影響度が異なることを示した。

低温用、高強度用、一般用と用途に応じた成分を、選定提案した。

低温用鋼としては、0.15C-24Mn-5Cr が低温 (-196°C) で耐力、靱性とも SUS316 に匹敵する。

高強度鋼は、0.8C-30Mn-7Cr+Ni, Al が高強度でありまた低温でもすぐれた特性を示す。

次に製品化について H 形鋼、丸棒、異形棒鋼の製造条件について既存の設備で製造できることを確認した。また応用例として連铸機電磁攪拌装置付属の非磁性ロールに使用し、高温用としてもすぐれた性能を示すことをあげている。

これに対し行方(防大)は相組成と低温靱性の関係、高 Mn 鋼の耐食性について質問し、また例を挙げて加工と熱処理の有機的併用によつて機械的性質の改善されることを示した。

野原は加工熱処理による強度 up が認められ、現在検討中であると説明した。