

特性をもたすべく各種合金の多層めつきや、合金と塗装との複合化、更には金属と無機物質との複合めつき等の研究方向が示された。また、今後これらの製造研究をより効率的に進めるため、是非必要な事項として統一的な性能評価法の確立が強く要望された。

本討論会のまとめ。

上述のごとく、特に亜鉛系合金電気めつき鋼板は現在、発展の過程にあり、今後一層の開発努力が必要である。今回の討論会は、今後の研究開発に当たり、次の諸点を示唆したと思う。

(1) 鉄鋼ミル独自の研究開発には限界があり、自動車メーカーとの共同はもちろん、化成処理並びに塗装を含めた各専門メーカーとの共同研究の必要性。

(2) 共通語として適切な耐食評価試験法の確立の必要性

(3) 効率的なめつきシステム（電流効率の高いめつきセル構造、電気抵抗の低い電解液等）開発の必要性。

(4) 世界的にみて、本分野の研究開発は我が国が先行しており、今後共この優位性接続のため、鉄鋼メーカー間の連携の必要性

III. 快削鋼の現状と将来

座長 大同特殊鋼(株)中央研究所

阿部山 尚 三

副座長 金属材料技術研究所

山本重男

今回のテーマである「快削鋼の現状と将来」は現在、急速に進められている切削加工の自動化、無人化また冷間鍛造と切削との併用による加工コストの低減さらに製品としての軽量・高強度化および信頼性向上などの快削鋼に対するユーザーニーズに対し、メーカー側の新しい製鋼技術や生産加工体制による対応について、お互いの接点を見出し、将来への指向について討論するために取り上げられた。

鋼の被削性に関しては、昭和45年秋に行われた「鋼の治金的要因と被削性」以来のシンポジウムであり、時代のニーズを反映して、ユーザー側から自動車、メーカー側から鉄鋼各社の参加に加え、工作機械、切削工具等幅広い分野からの講演、コメント、質疑が行われ、約100名の参加者を得て7講演が3部に区切つて行われた。とくに冷間鍛造性、連続鍛造、非調質鋼についての討論が活発に行われた。以下に各講演と討論の主要点について述べる。

討19 快削鋼研究開発の展望

金属材料技術研究所 荒木 透

本討論会の方向付けを兼ねて硫黄快削鋼にはじまる各種快削鋼の発展経緯を自動車産業との関連を中心として述べ、さらに最近我が国において著しい進歩を遂げてい

る工作機械の自動化、無人化運転に加え、機械部品の多様化に応じ得る快削鋼の研究開発が望まれること、そのためには被削性の研究もさることながら、製造プロセスの技術開発、たとえば硫化物の形態制御、Pbの微量化と微細均一分散、酸化物系介在物の適種適量の分散、連続鍛造、制御圧延・冷却等の広範囲の技術の集結と高度化の重要性が強調された。

討20 鋼材の被削性改善

(株)神戸製鋼所 古沢貞良

鋼の被削性改善に関し、冶金学的に整理し、工具摩耗、仕上げ面あらさ、切りくず処理性の点から検討し、さらに実施例として①溶鋼の脱ガス処理による酸化物の低減がもたらす工具寿命延長効果、②Arインジェクション法によるCa添加の効果、③Ti, Ca複合脱酸による超硬工具の逃げ面摩耗抑制効果、④V添加した非調質鋼、⑤低Siによる硫化物形態制御の工具寿命、仕上げ面あらさの向上、⑥Zrによる硫化物形態制御の冷鍛性向上効果などが述べられ、さらに被削性、冷鍛性を兼備する鋼として Al_2O_3 の低減、Sの制御、Pbの添加が有効なることが追加報告された。これに対し、木村(大同中研)から微量Teによる硫化物形態制御のメカニズムの概要コメントがなされた。また、冷鍛前の球状化焼なましによる冷鍛後の被削性劣化対策(日産自動車・木村)については球状化焼なましをさけ、焼なましまたは焼ならしが有効であるとの回答があつた。

討21 マルテンサイト相を混在させた快削鋼の被削性 金属材料技術研究所 山本重男

切削加工の無人化運転への対応を図るべく、切りくず処理性の優れた鋼として、フェライト・マルテンサイト二相鋼を上げ、その機械的性質と被削性を述べた。次いで、硫黄ならびに鉛快削鋼を上記二相とした場合、被削性向上機構の異なる快削性元素とマイクロ組織との相乗効果は必ずしも得られないが、切りくず処理性や切削抵抗に関してはマルテンサイトの混在が極めて有効なることが示された。熊谷(愛知製鋼)よりOPITZらの研究から①マルテンサイトの混在が超硬工具のすくい面摩耗に対し懸念されること②ハイス工具切削における工具寿命③焼もどし温度の切りくず形状、工具寿命におよぼす影響についての質問がなされた。これに対し、超硬工具の進歩たとえばコーティド工具やCBN工具などを考慮すれば致命的なものではなく、またハイス工具に対しては同一かたさの調質鋼よりは良好なること、焼もどし温度の上昇は300~350°Cまでは切りくずに対しては影響はなく、工具摩耗に関しては改善の方向にある旨の答弁がなされた。また、青木(三菱金属)からSCM435の鉛快削鋼のファインポーリング加工において良好な仕上げ面あらさが得られなかつた事例に対する解決策についての質疑に対し、伊藤(大同工大)から構成刃先が最大となる加工領域であり、その解決には工具刃先半径の増大

が一つの有効手段であることが示された。

討22 連铸製硫黄快削鋼の品質特性

川崎製鉄(株)水島製鉄所 山本義治

硫黄快削鋼の連続铸造における製造上の問題点と被削性、冷鍛性など連铸材の品質について報告された。まず、硫化物の形態制御、ブローホールの発生防止のために適正酸素のコントロールが重要であり、このコントロール手段として出鋼カーボンのコントロールの有効性を見出したこと、モデルテストにより、高酸素、高硫黄が浸漬ノズルの溶損を促進し、作業性、品質面へ悪影響をおよぼし、この点から Zr_2O_3 、れんがが最良であること、また鍛錬比の点から鋼塊材と同一のアスペクトを得る限界酸素量が少ないこと、その結果として地キズの低減、冷鍛性向上が得られること、さらには表層の硫化物の微細化、ミーンフリーパスの減少により冷鍛性、被削性が良好なこと等々から今後、硫黄快削鋼の製造は連铸が主流になろうと結論付けた。これに対し、橋本(三菱製鋼)からブローホールの抑制にはモールド内電磁攪拌が不可欠とのコメントが出された。また、古沢(神鋼)から引抜棒鋼の自動盤成型工具切削において、連铸鋼の構成刃先生成による仕上げ面あらさの劣化を経験していること、仕上げ面あらさに対しては硫化物のアスペクト比 (l/d) よりも d そのものが影響すること、三瓶(鋼管技研)から FRÖHLKE のデータを引用し、表層の被削性低下が認められないのは酸化物低減が主因と判断されること、田中(大同中研)から鋼塊材と連铸材の硫化物のアスペクト比に関し、鍛錬比の差だけでなく、II型からI型へ変わる限界酸素量のちがいが含まれないかなどのコメントが寄せられ、活発な討論がなされた。

討23 快削鋼の冷間鍛造への適用

住友金属工業(株)本社 大野 鉄

まず、「被削性のすぐれた冷鍛用鋼」「冷鍛性のすぐれた快削鋼」の二つの材料系列を提案、例示し、とくに冷鍛性を中心に使用上の特性について報告がなされた。その内容は S10CL, S20CL を対象とし、それぞれの比較鋼として類似炭素水準の鉛硫黄快削鋼 12L14, S16SL をとりあげ、各種熱処理を施した場合の常温引張延性、切り欠き拘束下における据え込み、多段前方押し出し、前後方押し出しによる冷鍛性および六角ボルトの頭部冷間成型性に関しての Pb 鋼の優位性、さらには被削性におよぼす冷間加工の影響を切削抵抗の挙動などについて変形のメカニズム、時効要因を含めて考察を加え詳細に報告された。また今後の方向として用途に応じ、冷鍛性、被削性のバランスを図つた材料開発、材料に応じた適正使用の両面からの検討の必要性を強調された。これに対し、坂井(三菱製鋼)より冷間据え込み限界値に対しては引張試験の絞りよりも加工硬化指数 n 値との相関が強いとのコメントならびに被削性に有効な最小 Pb 量についての質問に対して、木村(大同中研)が切りくず

処理性に関する実験データを提示し、0.05% と回答した。

討24 機械構造用非調質鋼の自動車部品への適用

(株)本田技術研究所 大沢 恂

省エネルギーの観点から調質処理を省略した非調質鋼の適用例を述べたもので、ドリル穿孔に与える各種快削元素の効果としては調質鋼、非調質鋼ともに Pb+S 量に比例して改善されるが、超硬工具の摩耗に対しては非調質鋼の優位性が示された。いっぽう、強度面では Te による延靱性向上が顕著なことが示された。なお、コネクティングロッド実加工において全加工とも非調質鋼は調質鋼と同等以上であることが示された。この他快削鋼全般について機械加工条件の最適化、熱処理の見直しによつて快削鋼採用による一層の高効率切削が実現されており、ユーザーサイドの生産技術者の努力により快削鋼発展が期待されることが強調された。これに対し、赤沢(新日鉄製品研)より V 入り非調質鋼の被削性に関し、かたさの面から同様な結果が得られたとのコメントがあり、さらにラボテストに対し、量産テストの工具寿命延長効果が小さい理由についての質問があり、その理由としては加工条件、加工前のワーク状態の差異があげられた。また、坂上(山陽特殊鋼)より非調質鋼の Mn 増量による靱性向上、被削性に関する詳細なコメントがなされた。

討25 量産機械加工における快削鋼の効果

トヨタ自動車工業(株) 桑原昌衛

生産ラインの自動化に伴つて被削性が生産性、品質コストに大きく影響する。まず、SCr420 鋼について冷間加工性、切りくず処理性におよぼす S, Si の影響を検討し、次いで生産ラインにおけるナックルステアリング加工 (S48C 系での Pb の効果)、ピニオンカッタによる歯切り (SCr 420 系での S の効果)、クランクシャフト加工 (S50C 系 V 添加非調質鋼と S 添加非調質鋼) における快削鋼の効果とそれに対する考察が述べられた。特に切りくず処理性の重要性が改めて浮き彫りにされた。なお、総括として部品の持つべき機能から出発して粗形材の製法から最終加工までを含めたトータルな観点から被削性良好な新鋼種開発、実用化の重要性ならびに快削成分の分布状態、形状改善による強度特性に影響の少ない快削鋼の開発を要望された。これを受けて坂上(山特)から低酸素低 Pb 鋼の諸特性についての詳細な報告がなされた。また、赤沢(新日鉄)より米国の自動車メーカーにおける鉛快削鋼の使用実績について質問があり、阿部山(座長)が GM, Ford における最近の状況として両社とも快削鋼使用量は 50 ポンド/台程度であることを述べた。

最後に荒木(金材技研)、北条(三菱自工)からの総括コメントとして快削鋼の今後の問題点と高強度快削鋼の必要性が示された。まず、今後の問題点を各種の快削

鋼ごとに指摘し、さらに、マイクロ組織との組合せ効果にも注目する必要があることが述べられた。次いで、今後の自動車エンジンの高出力化に設計変更なく対応し得る動力伝達系なかでもトランスミッションギヤ用快削鋼開発がニーズの一つとして強調された。終わりに、多数の講演と活発な討論に対し感謝するとともに、協会への時間延長、講演者への時間短縮をお願いしてもなお時間不足となり、せつかく準備された多くの有益なコメント、質問を割愛せざるを得なかつたことを参加者各位に深くおわびする。

IV. 鋼材の延性破壊

座長 新日本製鉄(株)製品技術研究所

三 村 宏

鋼構造物が塑性変形により破壊する場合には塑性崩壊と延性き裂の進展によるものとがある。前者は予期以上の大荷重が原因で、いわば不可抗力とみなされる。後者は 100 キロ以下の低抗張力の鋼ではかなり長大な先在き裂と大きな応力があつて初めて実現するもので従来問題とされることはなかつた。しかし最近に至りガスパイプラインの不安定延性破壊の例に見るごとく、鋼の材質を向上させることにより、この種の破壊を防止しようとする趨勢にある。このため鋼材の延性き裂の進展に対する抵抗力を求めることが必要となる。もちろん延性の優れた鋼材は延性き裂進展への抵抗力も高いと考えられるが両者の関係は必ずしも明らかでなく、前者の延性特性値、例えば伸び絞りシャルピー吸収エネルギーの上棚の値から後者をどのようにして推定するかが問題となる。本討論会では討論 26 で平滑試験片での延性破壊の臨界歪みとき裂先端でのそれとの関係について論じ、討論 27 では延性き裂が不安定伝播になる条件を解析的及び実験的に求めた。討論 28 と討論 29 では実際の鋼構造物の例としてガスパイプラインの実管試験の結果を報告する。ガスパイプラインの不安定延性破壊はパイプという形状の単純性のため破壊形態も単純であり実管試験の結果からき裂の伝播抵抗につき普遍性のある結論を導くことができると考えられる。

討26 延性破壊特性に及ぼすき裂先端応力集中の影響

試験中形状及び荷重方向を変えた試験結果から延性破壊歪み(臨界歪み)が応力多軸度により強く影響をうけること及び切り欠き底での応力状態を表すパラメータをうまく選ぶと切り欠き半径にかかわらず臨界歪みはこのパラメータだけの関数で表せることが示された。つまり通常の平滑試験片で得られる臨界歪みに応力三軸度及び切り欠き(またはき裂)先端での歪み分布の集中度の影響を考慮することが延性き裂への抵抗特性値を得る上で重要であることが示された。この発表に対する討論として BRIDGMAN の式が適用されている比較的歪み場が

一様な場合と鋭い応力集中のある不均一な歪み場で異なるパラメータで整理されているがこれが統一できないかという意見があり発表者より両者では解析の精度が異なり、後者では精密な解がないので Anti-plane shear の式を In-plane tensile へ焼き直した粗い近似であり、切り欠き深さ切り欠き底半径等の影響を知るために用いられたもので絶対値自体の精度は不確かである旨の説明があつた。

討27 J積分及びき裂開口角概念に基づいた延性き裂の不安定破壊発生に対する検討

不安定破壊の判定条件は PARIS 等の Tearing Modulus T を用いてなされる。 T は J 積分や CTOA (き裂開口角) の R 曲線により表される。実験的検証のため高いコンプライアンスのバネ(実際にはパイプタブ)付き引張試験材で切り欠き付試験片の延性き裂が安定成長から不安定に遷移する点を求めこれを解析結果と比べると良い一致を示した。質疑の主なものとして拘束度の影響が論ぜられた。発表者の意見は次のようなものである。一般に試験片の拘束度が大きくなるほど J 積分の R 曲線の勾配は緩くなる傾向がある。一方 CTOA の R 曲線も拘束度の影響をうける可能性はある。しかしこの実験で示されるように拘束度の異なる試験片における定常進展時の CTOA の R 曲線はほぼ同一値になることから J-R 曲線ほど影響は大きくないことが期待される。このほかガスパイプラインにおける不安定延性破壊との関連において、き裂速度の CTOA の R 曲線への影響(つまり本実験に比べ実管での破壊速度は遙かに速い) 45° 傾斜破面型の破壊に対する CTOA の適用性(実管破壊ではほとんど 45° 破面、本実験はジャーリップを伴う垂直破面)が討議された。これらは今後の課題である。

討28 ラインパイプの高速延性破壊と材料の破壊吸収エネルギーの関係についての一考察

ラインパイプ 1 本に 85~95% の水と残余はガスを圧入してき裂を伝播させるいわゆる West Jefferson (WJ) 試験を行い、これをエネルギーバランスで解析してき裂生成エネルギーを求め、シャルピー吸収エネルギーと比較すると前者が絶対値で約 8 倍も大きい。この原因について調べるため引張りと曲げの混合下で試験すると引張成分が増すにつれてき裂生成エネルギーが増加することが示された。更に広幅引張試験での延性き裂の緩成長の実験からき裂進展に要するエネルギーを求めると WJ 試験の結果と同程度になる。

討29 実管試験による大径鋼管の延性破壊伝播停止特性の評価

討 28 と同様 WJ 試験が行われエネルギーバランスにより解析された。解析式は討 28 とやや異なり、そのためシャルピー吸収エネルギーと実管でのき裂形成エネルギーの比はほぼ 14 である。この実験結果と解析から実ガスパイプラインにこのパイプを用いた時不安定延性破