

# 金材技研

## 1979

科学技術庁

# N0.12

# ニエース

金属材料技術研究所

## 連続溶解還元技術

エネルギー問題に端を発した世界的な経済変動は、技術先進国における技術開発力に大きな影響をおよぼし、また資源・エネルギーナショナリズムの台頭傾向は益々顕著になってきている。現在鉄鋼業においては、これらに対処するため現有の各生産プロセスの省エネルギー化、効率化に最大の努力をはらっているが、特に我国のような資源・エネルギーを輸入に頼る国においては、この時期において将来の技術立国を目指す技術開発に焦点をあわせ、これを重点的に推進する必要があると考えられる。

工業化研究部においては、従来より将来の製鉄プロセスについての検討を種々おこなってきたが、現在は直接還元法を基点とした製鉄ルートの開発研究に取り組んでいる。直接還元法は高炉によらない製鉄法の一つとして急速に発達する傾向を示しているが、その理由としてはエネルギー立地の性格が強いプロセスであることとあいまって、将来技術としての上記のような背景があるからである。然しながら現在開発されている直接還元法は、鉄鉱石を固体の状態で還元するため通常一基1000トン/日程度でその生産性が低く、また高炉法に比してエネルギー消費量が大いなど多くの解決すべき点を有している。このような観点から本研究においては、直接還元法の実産性が最もよいと考えられる還元率80%程度まで固体状態での還元をおこない、残りの還元を熔融状態でおこなうプロセス構成により全体の生産性向上、省エネルギー化をはかるための検討をおこなっている。熔融還元反応は未知の部分が多く、基礎的な研究を並行しておこなうとともに、吸熱反応による消費エネ

ルギーの増加を補うため熱効率の高い専用溶解炉ならびに溶解法を開発中である。

専用溶解炉は三相1500 KVA の電源を有し、炉内溶湯滞留量1.5トン、連続出湯能力1.8～3トン/時の連続溶解炉で炉床が水平反転する型式のものである。本炉の開発により通常の電弧炉に比して10～20%の電力効率の向上が計られている。また本炉より排出するガスは燃料として使用でき、排ガス制御装置を通して原料の予熱炉に送られる。予熱炉は炉内滞留量1トン、予熱温度最高900℃、炉内原料充填率60%の特殊ロータリーキルンが開発されこれにあてられているが、専用溶解炉に原料を900℃で熱間装入することによって約30%の電力低減が可能である。さらに基礎研究の成果として熔融還元反応の反応速度論的に有利な条件も見い出されてきており、操業実験とあいまって本法の総合的な検討がおこなわれている。

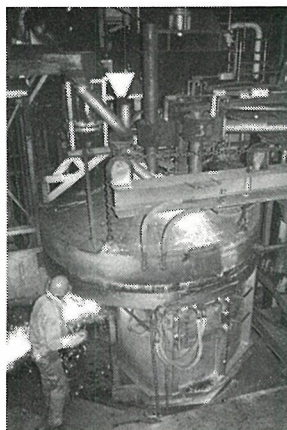


写真 操業実験中の連続溶解還元システム

## プラズマ炉による粉状還元鉱の溶解

高炉に依らない、いわゆる直接還元製鉄法は高価な冶金用コークスを用いず、天然ガス、石油、石炭、原子力など各種のエネルギー源を用いることができるため、開発途上国をはじめ、欧米諸国においても各々の立地条件に見合った直接還元プラントが建設され、その生産量は次第に増加しつつある。製鉄研究部ではこのようなエネルギー多様化に対応した直接還元法として流動還元法をとり上げ、内径25cmの高温加圧流動還元パイロットプラントを用いて実験を重ね、900℃、圧力7kg/cm<sup>2</sup>Gにおいて製品還元率95%以上、生産性55t/m<sup>2</sup>dayの連続操業が可能であることを示した。しかし製鉄法としてはこれに続く溶解、精錬の工程まで含めて考えなければ十分ではない。とくに流動還元法では中間製品が粉状の還元鉱であり、これを塊成化することは還元に先立つ塊成化工程を省いた流動法の利点をかなり減殺するので、粉状のまま溶解できる独自の溶解法が開発されねばならない。

製鉄研究部では流動還元法の研究と並行してプラズマ還元法の研究を進めていたが、これをプラズマ炉による流動還元鉱の連続溶解法に発展させて基礎的な問題点の検討を行っている。

実験装置は最高負荷電圧 190 V、最大電流 400 A の直流電源及び制御装置、当研究所の技術課の製作によるプラズマトーチと溶解炉、及び付属設備から構成されている。写真はこの装置の概観を

示す。最初非移送式のトーチを用いたが還元鉱の供給速度の増大に対処するため、新たに移送式のトーチ及び炉を設計製作し、電極間距離、ガス組成、入力などの操業因子について基礎特性を調べた。炉底電極を備えたるつばに電解鉄を装入、これにアークを移送して溶解し、プラズマアーク中に Ar で気流輸送した粉状還元鉱を吹きこむことにより、約100g/min 程度の連続溶解が可能であることを確かめた。また一方このプロセスにおいて重要な溶融酸化鉄のガス還元の基本実験として水冷銅のつばを用いて10～30% H<sub>2</sub>-Ar プラズマによる還元実験を進めている。FeO 80% の FeO-SiO<sub>2</sub>-CaO 系スラグでは還元速度がスラグの塩基度にはほとんど依存しないこと、また溶融 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の還元では図に示すように還元速度がプラズマガス中の水素濃度に比例して上昇することが明らかになった。スラグによる還元または溶融 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の還元のいずれの場合も原子状ないし電離した水素の関与した還元のため、ガス利用率は40%以上を示し、このプロセスの有利なことがわかった。

今後さらにスケールアップを図るとともに、流動還元で得た粉状還元鉱のホットチャージ法や溶解工程において最終段階の還元を分担することによる流動還元法との最も効率的な組み合わせの検討によって総合的な生産性やエネルギー効率の向上が期待される。

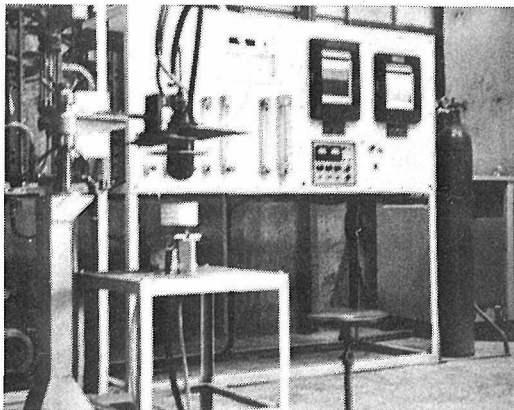


写真 プラズマ溶解装置

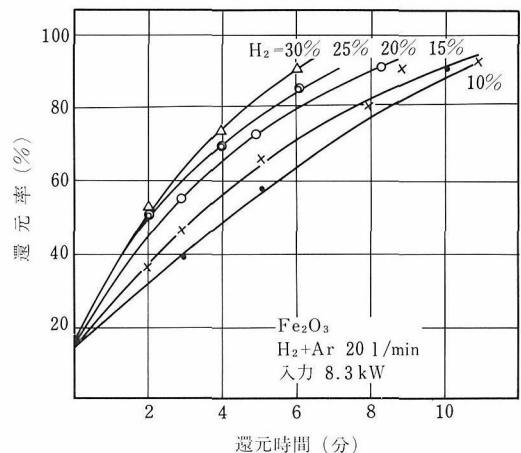


図 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の還元に関するH<sub>2</sub>濃度の影響

## SUS 304 鋼のクリープ疲労相互作用の寿命損傷則による評価

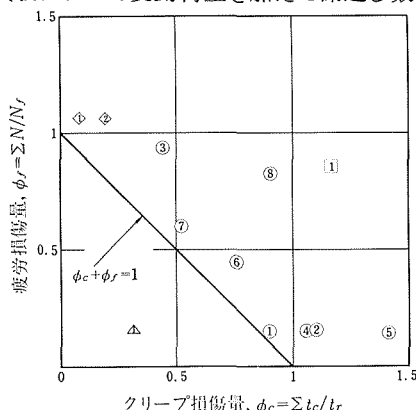
高温で使用される構造部材には、機器の起動停止や出力変動から生ずる熱応力に起因する変動荷重と定常運転状態での静荷重が同時にまたは交互に作用する。このような場合の材料では、変動荷重による疲労損傷と静荷重によるクリープ損傷とが相互に影響し合うために、その寿命の推定あるいは損傷量の評価が難しい。このクリープ疲労相互作用の研究は現在注目され、各所で研究されつつあるが、その現象の解明および損傷量の評価は十分ではない。材料の寿命の推定や損傷量の評価方法の確立には、実際の構造部材に作用する荷重履歴に近い試験データの蓄積に加えて、各種の荷重履歴条件下での材料の変形・破壊挙動を把握し、破断寿命に対する影響因子を探り出すことによってこの相互作用現象を解明する必要がある。

**クリープ試験部**では、静荷重と変動荷重が交互に材料に加えられる場合の破壊に対する要因を調べている。このクリープ疲労複合試験における試験因子は、クリープ応力 $\sigma_c$ 、クリープ時間 $t_c$ 、疲労全ひずみ幅 $\Delta\epsilon_f$ および疲労繰返し数 $N$ である。

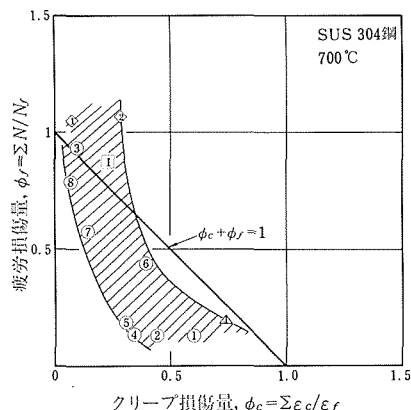
SUS 304 鋼に関して試験因子を種々に組み合わせてクリープ疲労複合試験データを集積中である。現在までに得られた試験結果の一例を図に示す。材料が静荷重と変動荷重とを交互にまたは同時に受ける場合の寿命の評価は、材料がある量の損傷を被った場合に破壊し、その損傷量はクリープ損傷量 $\phi_c$ と疲労損傷量 $\phi_f$ に分けて考えることができるとして一般に行われている。疲労損傷量は複合試験において変動荷重を加えた繰返し数の和 $\Sigma N$

と疲労試験のみを行った場合の破断までの繰返し数 $N_f$ との比で表わされる。クリープ損傷量は複合試験の場合に静荷重を加えた時間の和 $\Sigma t_c$ とクリープ試験での破断時間 $t_r$ との比をとることがこれまで行われてきた。この従来の考え方に従って試験結果をプロットしたものが図一(1)である。この図では実験点をクリープ応力の値によって□, ○, △, ◇に変えて示してある。実験点は非常にばらついており、しかも疲労損傷量とクリープ損傷量との関係はクリープ応力の値によって変わっているようで、両損傷量の間には一義的な関係がないように見える。そこで新たにクリープ損傷量として時間比でなく、複合試験においてクリープ変形したひずみ量の和 $\Sigma\epsilon_c$ とクリープ試験のみを行った場合の破断真ひずみ量 $\epsilon_f$ との比を用いた。この方法によって実験結果を整理したものが図一(2)である。ここで、図一(1)と(2)の各印中の数字は互いに同じ試験条件の結果であることを示す。ひずみ比で評価したこの結果は多少のばらつきはまだまだあるが、従来の時間比で評価した場合よりもばらつきは少ないし、クリープ応力によって $(\phi_c + \phi_f)$ の値の偏りもみられない。

現在、さらにより良い損傷量評価法を確立することを目標として、複合試験の静荷重と変動荷重との組み合わせ方を種々に変えたデータの蓄積を進めるとともに、金属組織、破面観察により材料の変形・破壊挙動に対する各要因の影響について詳細に検討している。



(1) クリープ損傷量 $\phi_c$ を時間比 $\Sigma t_c / t_r$ とした場合



(2) クリープ損傷量 $\phi_c$ をひずみ比 $\Sigma\epsilon_c / \epsilon_f$ とした場合

図 SUS 304 鋼の700℃におけるクリープ疲労複合試験破断寿命に対するクリープ損傷量と疲労損傷量との関係

# 1979年金材技研ニュース題目一覧

| 題 目 (部門別)                       | No. | 通巻  | 部 目 (部門別)                 | No.  | 通巻  |
|---------------------------------|-----|-----|---------------------------|------|-----|
| <b>材料部門</b>                     |     |     | ついて                       |      |     |
| 固溶体の組成変動と磁化-温度曲線                | 1   | 241 | プラズマ炉による粉状還元鉱の溶解          | 12   | 252 |
| 化合物超電導線材の新製法                    | 2   | 242 | 連続溶解還元技術                  | 同    |     |
| モリブデン材の低温延性におよぼす微量炭素付加の効果       | 同   |     | <b>加工技術部門</b>             |      |     |
| 高強度材料の破壊靱性                      | 4   | 244 | 水道水配管の腐食と水質               | 2    | 242 |
| 強力鋼の靱性と再加熱処理                    | 5   | 245 | 高温高圧下における金属材料の機械的性質       | 3    | 243 |
| マルエージ鋼の冷間圧延による強靱化               | 6   | 246 | 水蒸気中におけるジルカロイ-2被覆管の内面酸化挙動 | 4    | 244 |
| 高張力炭素繊維強化ニッケル基複合材料              | 同   |     | 拡散溶接部の超音波探傷               | 5    | 245 |
| 宇宙空間を用いた新材料製造のための地上実験に関する総合研究   | 7   | 247 | 熱変形が小さい鋳造用金型の開発           | 7    | 247 |
| モリブデン及びモリブデン合金の高温 He ガスとの共存性    | 同   |     | 鋳造工業レイアウト計画への統計的データ処理法の適用 | 9    | 249 |
| 核融合炉第一壁材料の疲労特性                  | 8   | 248 | クリーン・モールド                 | 10   | 250 |
| 散漫散乱電子線による転位線観察                 | 同   |     | アルミニウムと異種金属組み合わせ品の陽極酸化    | 11   | 251 |
| 銀-亜鉛系内部酸化合金接点                   | 同   |     | <b>特許紹介</b>               |      |     |
| 水素貯蔵用マグネシウム合金                   | 10  | 250 | アーク溶接におけるアーク発生位置の検出方法     | 2    | 242 |
| ドハース・ファンアルフェン信号間の相互作用           | 11  | 251 | 磁粉探傷用の耐酸化性磁粉              | 同    |     |
| <b>強さ部門</b>                     |     |     | 金型鋳造用鋳鉄の溶解法               | 4    | 244 |
| クリープ疲労複合試験によるクリープ疲労相互作用の検討      | 1   | 241 | 鋳造用金型                     | 5    | 245 |
| 高温疲れ強さのデータシート                   | 3   | 243 | 平滑溶射面を作るプラズマジェット溶射法       | 同    |     |
| 点集束斜角探触子の設計と試作                  | 4   | 244 | オーステナイト耐熱鋼の加工熱処理法         | 8    | 248 |
| JIS 機械構造用鋼の疲れデータシート             | 5   | 245 | 鋳造用金型                     | 同    |     |
| 鋼の疲れストライエーションとき裂伝ば速度の対応範囲       | 6   | 246 | 鋳造品の表面欠陥を防止する生型粘結剤        | 9    | 249 |
| クリープ試験温度監視装置                    | 9   | 249 | 水中溶接法                     | 同    |     |
| 高温低サイクル疲れき裂の伝ば速度                | 同   |     | <b>その他</b>                |      |     |
| 応力リラクセーションにおける第2期リラクセーションの検討    | 10  | 250 | 新年のごあいさつ                  | 1    | 241 |
| 溶接継手の疲れ強さのデータシート                | 11  | 251 | 1978年外国人来訪者等一覧            | 同    |     |
| SUS 304 鋼のクリープ疲労相互作用の寿命損傷則による評価 | 12  | 252 | 出願公開発明の紹介                 | 3,11 |     |
| <b>冶金技術部門</b>                   |     |     | 研究成果の発表                   | 4,10 |     |
| 減圧下で溶融・凝固させた金属中の気孔生成に           | 3   | 243 | 金材技研滞在記                   | 6    | 246 |
|                                 |     |     | クリープ受託試験の現況               | 7    | 247 |
|                                 |     |     | 特許出願速報                    | 同    |     |
|                                 |     |     | 1979年金材技研ニュース題目一覧         | 12   | 252 |

## 特 許 出 願 速 報

| 出願日       | 出願番号  | 発 明 の 名 称 | 出願日       | 出願番号  | 発 明 の 名 称   |
|-----------|-------|-----------|-----------|-------|-------------|
| 54. 4. 19 | 47217 | 回転式直接還元炉  | 54. 7. 13 | 88169 | 内部酸化合金の製法   |
| 54. 4. 24 | 49795 | 鋳造用金型     | 54. 7. 19 | 90953 | 水素貯蔵用材料     |
| 54. 5. 29 | 65654 | フラッシュ溶接方法 | 54. 7. 21 | 92143 | ニッケル基耐熱鋳造合金 |
| 54. 7. 6  | 85095 | 金属微粒子の製造法 |           |       |             |

### ◆ 短 信 ◆

#### ● 受賞

日本非破壊検査協会奨励賞

木村勝美 材料強さ研究部非破壊検査研究室長

松本庄次郎 “ 研究員

福原照明 “ 主任研究官

溶接部の内部欠陥の高さを測定するための点集束探触子を開発し非破壊検査技術の発展に寄与され昭和54年10月25日表彰を受けた。

#### ● 海外出張

伊藤秀之 材料強さ研究部主任研究官

第9回国際非破壊試験会議出席のため、昭和54年11月16日から昭和54年11月25日までオーストラリア国へ出張した。

通巻 第252号

編集兼発行人 坂 内 富士男  
 印刷 株式会社三 興 印刷  
 東京都新宿区信濃町12  
 電話 東京(03)359-3811(代表)

発行所 科学技術庁金属材料技術研究所

東京都目黒区中目黒2丁目3番12号  
 電話 東京(03)719-2271(代表)  
 郵便番号 153