

鉄のリサイクルとトランプエレメント



研究ノート

田中敏宏*

Recycling of iron and tramp elements

Key Words : recycling, steel, capillary phenomena

1. はじめに

近年、工業製品のリサイクルが様々な分野で問題となっている。工業製品を部品に分解し、さらに素材として再利用できる状態に戻すことができれば理想的である。工業製品の中でも、その使用量が多い金属材料を例にとると、主要金属材料の中でも鉄はリサイクルしやすい材料であり、集められたスクラップを加熱・溶解し、必要な成分の調整を行えばよいとされている⁽¹⁾。スクラップを再溶解する方法は、鉄鉱石を還元する方法に比べて還元エネルギーを要しないため、鉄1トン当たりの製造エネルギーは約1/3ですみ、炭酸ガス発生量もその分減少する⁽²⁾。したがって、スクラップ回生技術は、省エネルギー・環境保全の立場からも不可欠な手段である。鉄鋼製品の製造過程で生じる“自家発生スクラップ”や“加工スクラップ”はその素性が明らかであるため、上記の溶解過程を経ればリサイクルは可能となる。しかしながら、いわゆる使用済み“老廃スクラップ”については、様々な混入物の存在のために簡単には溶解・再生できない。特に、鉄と同じ金属である銅は、現状の鉄鋼精錬で用いられている酸化反応を利用した手法では、銅が鉄よりも酸化しにくいいため、一旦鉄中に溶解・混入するともはや除去できなくなる。そのため、「トランプエレメント」と呼ばれ、様々な除去方法が考案されたが、経済的にも見合う

適切な除去方法は未だ見つかっていない⁽¹⁾。著者らも、種々の方法を試みたが、残念ながら十分な要求を満たせる結果には至っていない。著者らが試みた方法のひとつは、鉄と銅が液体状態では均一に混ざるが、炭素が共存する場合、水と油のように2つの液相に分かれることを利用した手法である⁽³⁾。当初、2液相に分かれる条件を示す平衡状態図も十分に明らかでなかったため状態図の作成から基礎実験を始めたが、図1に示すように明確に液相の鉄と銅を分離することができた。同様の手法は非鉄精錬の立場から銅の回収を目的とした岩手大学の山口・武田⁽⁴⁾によっても報告されており、銅を回収するという観点からは適切なひとつの方法である。しかしながら、鉄中には数%の銅が溶解し、この濃度を下げることができないため鉄鋼精錬の立場からは依然として問題が残っている。ただし、この手法を利用すれば、どのような鉄と銅の混合比を有するスクラップでも、状態図の関係から常に均一な濃度の液体鉄と液体銅が得られるという利点がある。この観点からは、鉄中に混入した銅を除去することよりも、むしろ積極的に鉄と銅が混合した新たな素材を創り出すことも

* Toshihiro TANAKA
 1957年4月生
 1985年大阪大学大学院工学研究科博士
 後期課程冶金工学専攻修了
 現在、大阪大学大学院工学研究科・マ
 テリアル応用工学専攻、教授、工学博
 士、界面制御工学・材料物理化学
 TEL 06-6879-7504
 FAX 06-6879-7505
 E-Mail tanaka@mat.eng.osaka-u.
 ac.jp

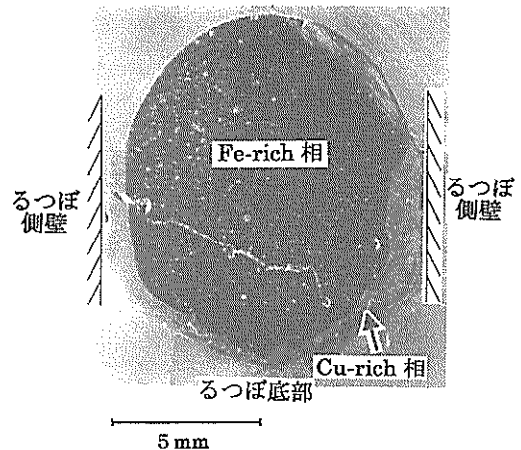


図1 溶鉄と溶銅の2液相分離

意義深いという考え方がでてくる。すでに銅を添加した鋼の性能向上を目指した取り組みがいくつかなされている⁽⁵⁾。著者らもその考え方に沿って基礎研究を進めてみると、鉄と銅を混在させるというプロセスはこれまで通常考えられていなかったため、鉄と銅が共存する場においては非常に珍しい現象をいくつか見つけることができた。そこで本稿では2, 3の例を紹介する。

2. 二重構造粒子

先に示した図1を見ると、密度の大きな銅が黒鉛るつぼの底部に溜まっているが、液体鉄との界面形状は下に凸の形状を示している。また、液体の銅がるつぼと液体鉄に挟まれたところまで吸いあがっている。著者らは、液体鉄と黒鉛の壁の隙間を液体銅が毛細管現象によって吸いあがると考え、上部まで蓋のある坩堝で鉄と銅の混合物を融解すれば液体の鉄を全面に覆った2重構造の液滴が得られると考えた。そのようにして作製した2重構造の試料を図2に示す⁽⁶⁾。外見は銅であるが、内部は鉄であるため磁石に吸引される。また、固体のるつぼ壁を液体のガラスに置き換えても同様の結果が得られるので、ガラス中で試料を溶解させて2重構造の試料をつくり、ガラスを粉砕して得られた2重構造の試料を磁石で回収することもできた。この2重構造の液滴は液体の鉄と銅の表面張力の差が駆動力になっているため、Yamauchiら⁽⁷⁾は、鉄とよく似たコバルトと銅からなる合金の細線を凝固させて作製する際に同様の現象を見出している。また最近Wangら⁽⁸⁾は気相中に鉄と銅の混合試料を噴霧し2重構造や、3重構造の粉末を作製することに成功している。鉄と銅

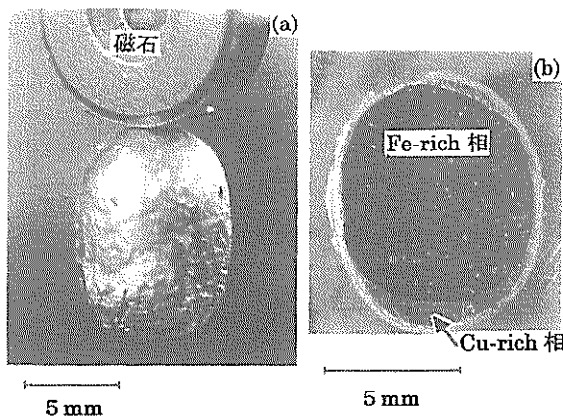


図2 鉄と銅の二重構造試料

の混合による特異な現象の一つである。

3. 特異拡張濡れ

著者らは、固体鉄と液体銅の濡れ性を調べるため銅の液滴を作製し、図3に示すように上部から固体鉄の棒を液滴に接触させる実験を行った。通常、半田付けで経験するように、固体金属を液体金属で濡らす場合には、固体金属表面に酸化物が付いていると濡れないために研磨を施し酸化物を除去する。図4(a)は表面を研磨して清浄な鉄の表面を有する棒と銅の液滴を接触させた結果を示しており、接触した部分においてよく濡れていることがわかる。ところが、この固体鉄の表面をわずかに酸化させて同様な実験を行うと、図4(b),(c)に示すように液体の銅は直接接触していない固体鉄の表面を這い上がり、さらに酸化の度合いを上げると液滴は固体金属棒の上部まで這いあがることわかった。ただし、酸化の度合いをあまり強くしすぎると銅液滴は固体鉄とは濡れない。図5は、複雑な形状を有するボルトを

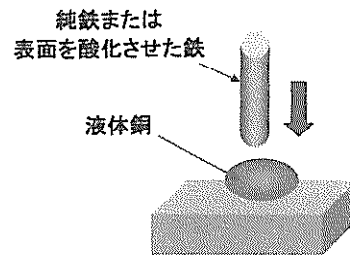


図3 液体銅と純鉄棒または表面を酸化させた鉄棒との濡れ性実験の模式図

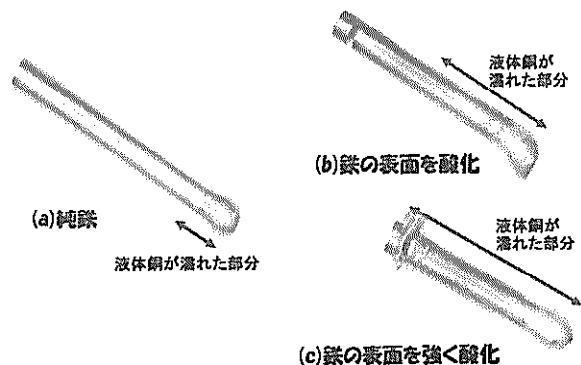


図4 液体銅と純鉄棒(a)および表面を酸化させた鉄棒(b, c)の濡れ性実験の結果

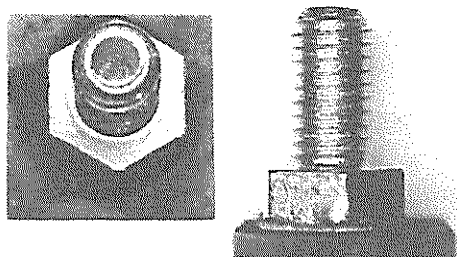


図5 “特異拡張濡れ”によって、穴を割り貫いたボルトの内外表面を銅で濡らした試料

割り貫き、予め酸化させて、その後、割り貫いた部分に銅の粒を入れ、10%水素を含むArガス中で銅の融点まで昇温した試料であり、液体の銅は割り貫いたカップの内壁を這い上がり、外側にこぼれ出てボルトの表面全体を自発的な流動によって濡らした。著者らはこの現象を見出し、「特異拡張濡れ」と呼ぶことにした。この現象のメカニズムについては、液体銅中の酸素濃度が低い場合、銅が表面の酸化物を分解して酸素を取り込む過程が駆動力になっていると考えている。その際、表面が酸化しているために表面に微細な空隙が多数生じているため、毛細管現象も同時に生じていることなどが詳細な実験によって明らかになってきたが、依然この現象の機構については不明な点も多い。この特異拡張濡れを利用すれば、コンクリートの補強材である鉄筋の表面に酸化物をある程度残したまま銅を薄く被覆でき、鉄筋の酸化を抑えることも応用のひとつと考えている。また、酸化鉄をバインダーとしたセラミックの金属被覆や、セラミックス間の接合などへの応用も可能となり、現在種々の材料に対してメカニズムの解明とともにこの現象の応用展開を進めている。

4. おわりに

以上のように、“鉄”に対して「トランプエレメント」と呼ばれる“銅”という組み合わせは、従来の動脈系の材料開発では取り上げられなかった組み合わせであるため、上記の非常に単純な実験で得られる現象さえ見出されることはなかった。鉄中の銅をトランプエレメントとして分離しようとする試みだけでなく、むしろ積極的に銅を鉄中に残した材料の有効利用を考え、さらには上記のように新規の現象を見出し、その新たな応用を展開する時期に来ているとも言える。リサイクルの問題は、単にこれまでの動脈系プロセスの裏返しとしての静脈系プロセスを考えるだけでなく、想像もしなかった新規の現象に出会う新たな発想の場としても多くの目が注がれることを期待したい。

参 考 文 献

- (1) 片山裕之, 水上義正: まてりあ, 35(1996), 1283.
- (2) 小宮山宏: 地球持続の技術, 岩波新書(1999), 116.
- (3) 丸川雄浄, 田中敏宏, 原 茂太: 工業材料, (2000), 62.
- (4) 山口勉功, 武田要一: 資源と素材, 113(1997), 1110.
- (5) 例えば, 大澤嘉昭: ふえらむ, 7(2002), 261.
- (6) 田中敏宏, 田川智史, 浅野祐一, 原 茂太: 熱処理, 41(2001), 1.
- (7) I.Yamauchi, N.Ueno, M.Shimaoka and I.Ohnaka: J. Mat. Sci., 33, (1998). 371,
- (8) C.P.Wang, X.J.Liu, I.Ohnuma, R.Kainuma and K.Ishida: Science, 297(2002), 990.

