

大阪技術振興協会 月刊誌

Associate Information

2019. 10 No.514

- | | |
|-----------------------|------|
| 1. 高張力鋼の進歩と耐環境性 | 長野博夫 |
| 2. チタン産業における積層造形技術の動向 | 山口 誠 |
| 3. 鉄鋼業の水素活用還元プロセス | 細谷陽三 |

ミニ特集【金属分野の新展開】

特集1. 高張力鋼の進歩と耐環境性

技術士（金属部門） 長野博夫

1) はじめに

高張力鋼とは、この名前の示すように、一般の鋼より引張強度が高い。普通鋼の引張強度が 34kgf/mm^2 (340MPa) に対して、高張力鋼の引張強度は 490MPa から超高強度鋼の 1,500MPa にも達する。高張力鋼は、強度向上により製品の軽量化及び強靱化に大変役立っている。

2) 耐侯性鋼

強度レベルは 400～570MPa である。橋梁、コンテナ、無塗装ビルディングに使用される。

大気腐食に対する耐食性が重要なポイントである。大気環境下で耐候性鋼は、普通鋼に比べて数倍の耐食性を発揮する。これは微量の Cr, Cu, Ni などの合金元素を含有するため、微細構造のさびで鋼表面がおおわれるためである。耐候性鋼に生ずるさびは、外層が茶色の $\gamma\text{-FeOOH}$ (レピドクロサイト)、内層は黒褐色の $\alpha\text{-FeOOH}$ (ゲーサイト) が形成する。ゲーサイトの微細構造は $\alpha\text{-(Fe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{)OOH}$ で、雨水中の酸素の拡散抵抗となり、大気腐食を抑制する²⁾。

3) 自動車用鋼板

自動車に使用される素材の使用量は、普通鋼 55%, 高張力鋼 40%, アルミなど非鉄が 5% (2010 年) であるが、電気自動車が主力となる 2040 年くらいになると、普通鋼のシェアは極端に下がり、高張力鋼板が主力となる³⁾。省エネルギーの EV 車の開発加速とあいまって、引張強度 980MPa 以上の超高張力鋼の使用が大幅に増大するであろう。一方、プラスチック、アルミニウムや炭素繊維の使用もそれら素材の性能及び販売価格の低下次第では鉄鋼を脅かすことになるかもしれない。表 1 に自動車用鋼板の引張強さ及び比強度の比較を示す。比強度の大きいほど、単位重量当たりの強度が高いので、自動車の軽量化に役立つ。

強度向上の原理として、溶質原子の固溶強化、結晶粒度の微細化、変態組織による強化、析出強化、および加工硬化などがある。この中で重要なプロセスは、加工熱処理による結晶粒微細化、ならびに、熱処理によりパーライト、バーナイト、マルテンサイトの存在比率を変化させた複合組織による超高張力化である。

表 1 自動車用板材の比較¹⁾

板材	引張強さ	比重	比強度	コスト(1kg 当り)	生産量
ウルトラハイテン	980~1470MPa	7.8	126~188MPa	100円程度	鉄: 12億 ton
従来ハイテン	490~790MPa	7.8	63~101MPa		
軟鋼板 SPCC	340MPa	7.8	44MPa		
アルミ合金板 A6061(T6処理)	310MPa	2.7	115MPa	500円~600円	アルミ: 3400万 ton
マグネシウム合金板 AZ31	270MPa	1.8	137MPa	3000円程度	マグネ: 60万 ton

4) 高力ボルトおよび PC 鋼棒用超強度高張力鋼

図 1⁴⁾に示すように、高力ボルトには 1,200MPa 級、および PC 鋼棒には 1,500MPa 級の超高張力鋼が使用される。

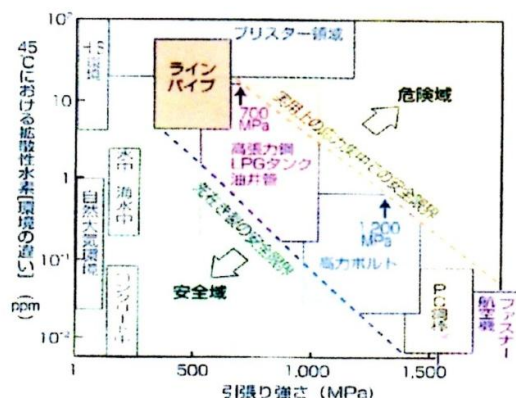
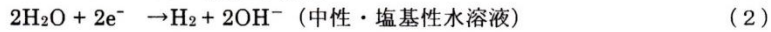


図 1 遅れ破壊に関する鋼の強度と環境の厳しさの関係⁴⁾



図 2 超高張力鋼の遅れ破壊亀裂の内部進行状況⁵⁾

超高張力鋼の組織はマルテンサイト組織になるために、水や海水と接すると、遅れ破壊を呈する危険がある。



(1) 或いは (2) の反応により鋼表面で発生する水素 (H_2) が一部原子状 H となり、鋼中を拡散する過程で局部的にトラップされたとき、応力集中により遅れ破壊を呈する。例えば、1,500MPa 級の超高張力鋼が雨水にさらされれば、0.1ppm の水素が鋼中に吸収されるだけで、遅れ破壊を呈するので注意が必要である。遅れ破壊のミクロ組織を図 2⁵⁾に示す。割れは、旧オーステナイト粒界に沿って進行している。

5) まとめ

高張力鋼の進歩について概観した。強度レベルと鋼の耐環境性の両立を考えた高張力鋼の使用が望まれる。

<参考文献>

- 1) 森謙一郎：ウルトラハイテンのホットプレス成形と今後の展望
- 2) 長野博夫，山下正人，鈴木重夫：耐候性鋼及び鉄文化財における耐食性とさびのお構造，材料，Vol.44, No.506, p.1314－1319 (1995)
- 3) 日本経済新聞：日本製鉄 CASE の荒波 (2019.5.29)
- 4) 岩田多加志：高強度鋼の遅れ破壊特性評価，こべるにくす，Vol.12, Oct.(2003)
- 5) 山本俊二：遅れ破壊について，鉄と鋼，第 55 第 4 号年(1969)

特集 2. チタン産業における積層造形技術の動向

技術士(経営工学部門) 山口 誠

最近では、積層造形技術という名前より 3D プリント技術としてよく知られている。原料の粉を平面に敷き詰めてそこにレーザー光や電子線をあてて層を積むようにして最終の形を作り上げていく。私が初めてこの技術を目にしたのは、今から 15 年ほど前にドイツのアーヘンにあるフランクフルター研究所を訪ねた時である。レーザー光の利用技術を研究していた研究者が Rapid Prototyping (高速な試作) という 3D プリント技術を開発中で、研究所内に一角をもらってベンチャー企業を立ち上げていた。複雑な形状の試作品と装置を熱心に紹介してくれた。私の所属する会社では、1990 年代から真球状の粉末チタンの商品化に成功していたこともあり、その後チタン粉末のサンプルを提供した。求められる粒子のサイズが小さく、粉塵爆発や自然発火の危険性の高い粒径であった事、使用量が微量であった事などからその後、その研究所との関係は途切れてしまった。

2012 年にオバマ大統領が一般教書演説の中で 3D プリント技術をアメリカの戦略計画として進めると宣言したのをきっかけに、取り扱いの難しい金属粉末の 3D プリント技術開発も加速した。そして「より複雑な形状で小ロット製造」の分野に特化して開発がスタートした。このような分野とは、従来からチタンが多用されてきた航空機関連部品分野、人工関節などの医療分野である。アメリカの GE 社は複雑な航空機用ジェットエンジンの燃料ノズルを 3D プリント技術で製品化することに成功した(写真 1)。もともと航空機用の部品は変更管理が難しくなかなか認定が下りないものであるがそれを難なくクリアしたことは驚きである。その後 GE 社は 3D プリント技術による複雑な構造のノズルの量産化にも成功した。新しい燃料ノズルは溶接ノズルに比べ 20 から 1 つに減らし、25%の軽量化も同時に実現している。また、ドイツでは、自動車メーカーの修理部品への適用が始まっている。日本では、金属 3D プリント技術に AI の技術を組み合わせ、光や電子線の強度を巧みに制御して一つの金属部品の必要な部分だけ原子配列を一方に整えることに成功している。どれも従来技術ではできなかったことである。

このような将来性のある金属 3D プリント技術であるが、その特性を引き出してくれる大学の研

究，細かい機械特性の要求にこたえることができる装置メーカー，原料となる品質特性を満たす粉末を提供する素材メーカーなどの協力が今後の成長の鍵になる。

最近，大阪府の「3Dものづくり普及促進会」，兵庫県の「ひょうごメタルベルトコンソーシアム（仮称）」が，組織化され，産官学の連携強化を呼びかけている。その目的は，3Dプリンタ技術開発で関西に新しい産業を生み出して，関西の経済を活性化させることにある。私自身，この関西の地でチタンをはじめとした金属3Dプリンタ技術が世界をリードするものになればと期待している。



写真1 formnext 2017
ドイツ フランクフルト
ジェットエンジンの燃料噴射ノズル

特集3．鉄鋼業の水素活用還元プロセス

技術士（金属部門） 細谷陽三

1) はじめに

水素社会の実現に向けた取り組みが行われている。先日，鉄鋼業がCO₂の3割削減にメドをつけたとの新聞発表があった。日本鉄鋼業の省エネルギーは世界トップレベルにあるが，鉄鉱石を炭素（C）で還元するためにCO₂の排出量は日本全体の十数%を占める。‘Cool Earth 50’宣言を受け，日本鉄鋼業は2030年頃までにCO₂排出量30%削減に資する技術開発に取り組んでいる¹⁾。その中の「水素活用還元プロセス」について概説する。なお，鉄は自動車などあらゆる製品に必要な不可欠な素材を提供しており，前掲の高張力鋼などは自動車燃費改善等でCO₂削減効果に貢献している。

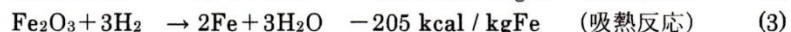
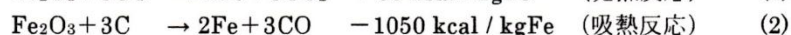
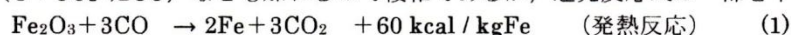
2) 水素活用還元プロセスの概要

水素は原子が小さいので原子間の隙間に入って水素脆化などを引き起こし，材料強度の低下などを招く。その水素を高炉の還元に活用しようというのである。水素ガスは鉄鉱石の小さい気孔まで容易に侵入して，還元速度は5倍も速くなると言われている。一方，急速な還元に伴う鉄鉱石の粉化（発生した粉は高炉内ガスの通気性を阻害する）は高炉操業に悪影響を及ぼすことに留意する必要がある。

この水素活用還元プロセスは高速・高効率の製鉄法になり，CO₂の発生量を減らすことは間違いない。この技術開発がCOURSE50（環境調和型製鉄プロセス技術開発）¹⁾と呼ばれているが，水素還元は吸熱反応であるので，高炉内での吸熱反応（炭素還元は発熱反応）の克服が課題となる。

3) 水素活用還元の課題克服

鉄鉱石の炭素還元と水素還元の違いを説明する。鉄鉱石（Fe₂O₃等）は還元ガス（CO，H₂）に還元されて鉄（Fe）となる（Fe₂O₃→Fe₃O₄→FeO→Fe）。この還元反応はソリューション・ロス反応（C+CO₂⇌2CO）なども加わるので複雑であるが，還元反応式の一部を下記に示す。



一酸化炭素ガス（CO）による還元は発熱反応，水素ガス（H₂）による還元は逆の吸熱反応であ

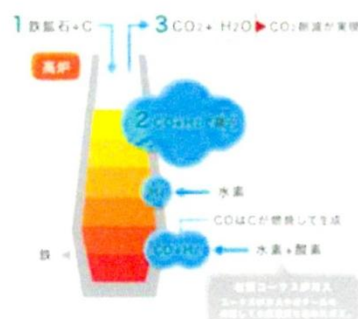


図1 水素活用還元技術の概念図²⁾

るので、還元ガスとして水素を増やすことは吸熱反応を増やすことを意味する。その熱補償が重要になるので、高炉操業の難易度は上がることになる（高炉内の熱レベル制御に AI が本格的に登場しているかも知れない）。

4) 水素活用還元の実用化に期待

原子番号 1 の水素を高炉の還元を活用するので、還元プロセスの大きな変革が必要となる。産業革命には半世紀を要した。既存技術の変革には 10 年単位の年月が必要と思われるので、資源劣質化などの悪条件も乗り越えながら、粘り強い研究技術開発の推進を後輩の若手鉄鋼マンたちに期待したい。

＜参考文献＞

- 1) 山口良祐：水素エネルギーシステム Vol.37,No.1(2012),p.63.
- 2) 新日鉄住金（現，日本製鉄）：季刊・新日鉄住金 Vol.25(2019),p.22