



躍動

若手研究者・技術者の取り組みと将来の夢

真空浸炭の研究開発を通して

Through the Research and Development of Vacuum-carburizing

森田敏之

Toshiyuki Morita

大同特殊鋼(株) 研究開発本部
電磁材料研究所 磁石材料第一研究室
室長

1 はじめに

2002年に大同特殊鋼(株)技術開発研究所特殊鋼研究部に配属になり、13年目になる。以降、組織の変遷はあるものの主として低合金機械構造用鋼とその熱処理の研究開発を行い、現在は熱間加工磁石の開発に携わっている。今回、「躍動」への寄稿の機会を頂いたので、この機会にこれまでに携わった研究開発を振り返らせていただく。

2 研究内容

当社は特殊鋼メーカーであり、製造した鋼材はユーザーで鍛造・加工・熱処理を施されて部品となる。部品の特性はユーザーの工程で大きく変化するため、開発は溶解-铸造-分解-圧延といった自社の工程と、鍛造-加工-熱処理などのユーザーの工程を考慮して行う必要があり、それらすべての工程の知識が必要になるとともに研究開発対象となる。

筆者は機械構造用鋼の中の肌焼鋼を担当しており、これは鍛造-加工-浸炭焼入焼戻を経て歯車などの部材となる。浸炭焼入焼戻は部品の強度を決める重要な工程で、COガスを炭素の供給源とし、ブドア反応に基づく制御方法が確立されたガス浸炭¹⁾と呼ばれる方法が主流であった(Fig.1a)。

これに対し、減圧雰囲気中で炭化水素ガスを炭素の供給源とする真空浸炭法¹⁻⁵⁾が、従来のガス浸炭法に対し浸炭時間が短縮可能・非酸化で高強度の部品が製造可能など利点とされ(Fig.1b)、ヨーロッパから普及し始めた。しかしながら実際のところ、製造現場では必ずしも部品は高強度化せず、製造条件の導出に時間がかかり、黒鉛、タールなどの浸炭ガスの副生成物が多く発生し保守管理に多大なコストが必要なものであった。これらの問題点は、真空浸炭の炭素浸入機構が解明されていないところに根本的な問題点があると考え、研究を開始した。折しも、2007年より豊橋技術科学大学の梅

本研究室に社会人ドクターとして在籍し、研究を行わせて頂いた。ここで梅本教授をはじめとした研究室の方々と議論をし、実験方法を考え、考察を深めることができた。

その中で筆者らは薄板に真空浸炭を施した実験(Fig.2)から、真空浸炭中は鋼材表面が黒鉛と平衡する状態であることを明らかにし、炭素浸入機構が浸炭ガスから生成した黒鉛が鋼材に吸収される機構であると推定した⁶⁾。このため、真空浸炭中の鋼材表面では状態図上の黒鉛析出線(図中A)で示される状態となる。ここでFe-C系状態図には炭化物は出現しないが、肌焼鋼はCr等の炭化物形成元素を含むため炭化物が安定化して状態図上に出現し、炭化物形成元素の量によって真空浸炭中の炭化物の量は0~100%まで変化する。これは当たり前の事象ではあるが、鋼材表面には黒鉛・炭化物のどちらかのみが存在すると考えていた当時の筆者にとって、驚くべき発見であった。

この知見を元に真空浸炭過程を計算機上で表現し、炭素濃度分布を計算する手法を構築した(Fig.3)。このシミュレーションを用いることで、被処理材の材質や量が変化した場合にも炭化物が生成せず、副生成物を極小化する浸炭条件を早急に決定することができる。この手法が確立できたことで真空浸炭炉の使い勝手は飛躍的に向上し、条件出しやメンテナンス

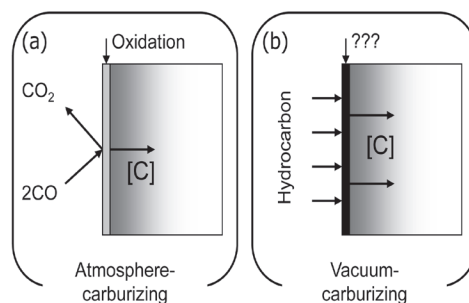


Fig.1 Typical illustrations for carburizing mechanism (a) Atmosphere-carburizing, (b) Vacuum-carburizing.

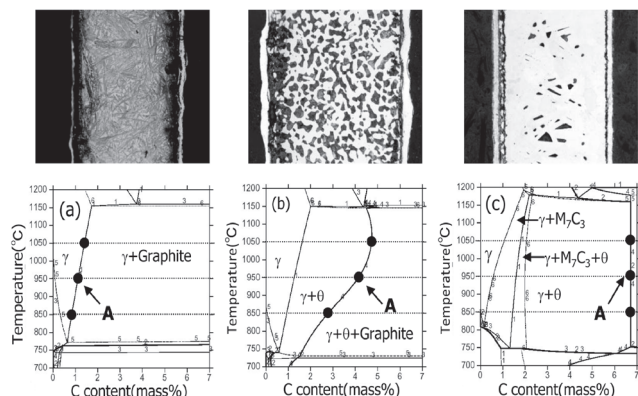


Fig.2 Calculated phase diagram (a) High-Si Steel, (b) JIS-SCM420, (c) High-Cr Steel.

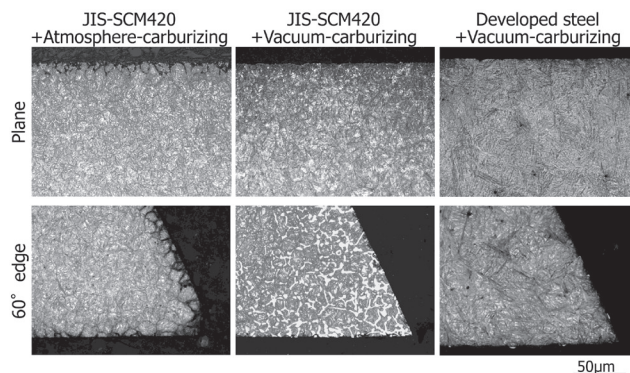


Fig.4 Microstructures for atmosphere-carburized and vacuum-carburized specimens.

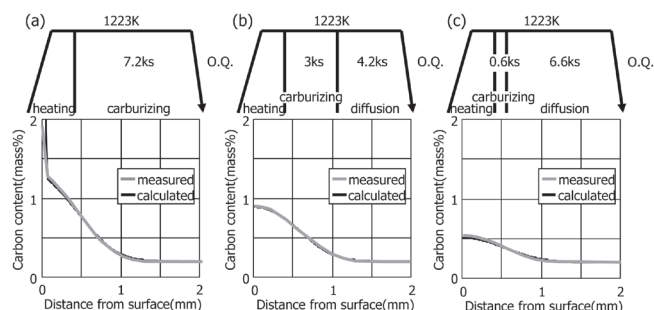


Fig.3 Carbon concentration profiles for JIS-SCM420.

ンスに関してガス浸炭炉よりも簡便な設備となった⁶⁾。

また同時に「炭化物が生成せず、強度低下が起こらない鋼」を設計することが可能となった。この鋼はFig.4に示す通り炭化物の残存しやすいエッジ部でも炭化物が生成せず、粗大な炭化物に起因した疲労強度の低下が起こらない^{7,8)}。

3 これまでを振り返って

入社してすぐに当時の最新技術に関するテーマを与えられ、その最も基礎的研究を行い、基礎研究の成果を応用した商品を開発できたことは非常に運が良かったと思う。また、同僚、上司、大学関係者といった方々と議論をし、考察を深められる大変恵まれた環境で仕事できた。

13年目の現在、熱間加工磁石の研究開発業務に携わるようになり、これまでと全く異なる材料、全く異なる特性、全く異なる関係者の中で仕事をするようになった。新たに勉強しなければならないことも多いが、モノづくりに関わる部分には共通する部分も多く、これまでの経験を生かせる部分もある。ここでの経験が研究者人生に大きなプラスになると信じ、飛躍を目指して研究に邁進していきたいと思う。

最後に、紹介した研究開発成果は多くの関係者のご助力、ご助言により得られたものであることを付記し、この場をお借りして御礼申し上げるとともに、このような情報発信の機会を与えて頂いたことに感謝して筆を置かせて頂きます。

参考文献

- 1) 内藤武志：浸炭焼入の実際，スピークマン書店
- 2) 杉山道生：熱処理，37 (1999)，154.
- 3) 町哲司：熱処理，45 (2005)，80.
- 4) 下里吉計：工業加熱，39 (2002)，21.
- 5) 門野徹：工業加熱，39 (2002)，29.
- 6) 森田敏之，羽生田智紀：鉄と鋼，92 (2006) 4，268.
- 7) 森田敏之，松村康志，梅本実：電気製鋼，79 (2008) 1，15.
- 8) 森田敏之，松村康志：電気製鋼，81 (2010) 2，109.

(2015年4月21日受付)

先輩研究者・技術者からのエール

東北大学 金属材料研究所 金属組織制御学研究部門 教授

| 古原 忠

森 田氏とは、以前私が奉職していた大学での修士課程の学生の頃から面識があります。金属間化合物という花形の新素材に関するテーマでしたが、方位制御をした結晶の拘束変形という大変基礎的な研究をコツコツとしていたことを記憶しています。大学院を修了後は、特殊鋼メーカーに入社して自動車用鋼などで実用化されている表面硬化処理に関するテーマを担当するとうかがい、どのように課題に取り組んでおられるかと思っていました。鉄鋼材料の高強度化は、鉄鋼の研究者にとって永遠のテーマと言えます。バルク材としての高強度化の重要性はもちろんですが、バルクとしての靱性を備えながらも高硬度化により耐摩耗性を向上させるためには、表面硬化熱処理が不可欠です。この処理では、高周波焼入れなどの物理的手法と浸炭焼入れ／窒化などの表面組成制御による化学的手法がありますが、特に後者は、組成の不均一性が得られる組織と特性に直接反映することから、合金およびプロセス設計が複雑で、より高度な制御を行うためには地道な実験が必要です。私自身、この十数年窒素を用いた表面硬化処理に関わっており、その重要性を痛感しています。そのような背景もあり今回の「躍動」を大変興味深く読ませていただきました。

森田氏の真空浸炭に関する研究は、熱力学と拡散という金属材料の基礎的な原理・原則に立ち返って丹念な実

験を行うことで微細組織の形成過程を解明すると同時に、企業人としての命題である実用プロセス／合金の設計に成功したところに素晴らしさがあります。その開発過程と成果は、社会の役に立つという意味での「工学」、実際に使われる物質という意味での「材料」に関わる研究の理想型であり、現在材料科学を学びその素養や経験を生かして開発をしたいと思っている学生に何が重要であるか高い説得力を持って伝えるものです。

金属を含めた材料は大変「正直」であり、微細組織が特性にダイレクトに現れます。私達研究者は、微細組織が発しているメッセージを適格に捉えて、開発に生かすことが何よりも大切です。現在、森田氏は日本が生んだ世界最高のハード磁石であるNd-Fe-B系材料の異方性制御に係る研究開発に新たに取り組んでおられますが、この材料分野における微細組織制御は、現在遂行されている希土元素低減を目指した元素戦略プロジェクトでも取り上げられている最重要課題です（参考文献：日本金属学会誌 特集「永久磁石材料の現状と将来展望」, 第76巻 第1号 (2012)）。全く異なる材料分野及び開発環境ではありますが、関連技術や課題は共通するものが多く、今までの経験を十分に生かすことができると思います。森田氏には、今後の研究における新たな展開と大いなる飛躍を期待しています。

パーカー熱処理工業（株） 取締役・技術研究所長

| 渡邊 陽一

真 に躍動する若手中堅エンジニアとして、特殊鋼業界の異色のホープとしてご活躍されている森田敏之氏へのエールを依頼され、大変光栄とばかりに快くお引き受けしました。私が、森田氏と知り合ったのは、私が日産自動車（株）に勤務していた13年ほど前になりますから、森田氏が大同特殊鋼（株）に入社されて間もない頃と記憶しています。氏の、御苦労されたであろう研究開発の記事を拝読し、共同研究開発に取り組んだ記憶が鮮明に蘇りました。

当時日産は、従来のガス浸炭プロセスから次世代技術として高く評価されていた真空浸炭技術の導入へ転換を図ろうとしていましたが、種々の未解決課題が山積しており、決心に苦慮していました。氏の記事にもあるように、真空浸炭の最大の問題は、そのメカニズムが未解明であることから、炉内で発生するターリングやスケーリングによる操業不安定性への懸念、最適処理条件決定法の未成熟、そして処理品質面では部材形状に依存した炭化物析出による強度低下などでした。これらの難課題について、真正面から誠実に取り組み、自らの考えを隠すことなく披露する氏の姿勢に、正直敬服しましたし、将来大きな成果を生み、自動車用鋼材業界のリーダーとして成長されるとの確信を抱きました。

私は2008年3月に日産を退職し、氏と共同で研究開発に取り組む機会を失いましたが、その間、氏は、独自の仮説を立て新たな理論を構築して、見事、真空浸炭プロ

セスのシミュレーション手法を完成させました。真空浸炭プロセスの解明だけでなく、真空浸炭用として主に自動車用車用の高強度鋼（DEG鋼）の開発も手掛けられ、鉄鋼や自動車業界、そして熱処理業界にも多大な貢献をなされました。2008年10月に神戸で開催された第17回国際熱処理学会（17th IFHTSE Congress）での真空浸炭の炭素濃度分布予測に関する発表で、自信にあふれ堂々と御講演される御姿を拝見し、頼もしくまた嬉しく思いました。

真空浸炭炉などの設備や技術を提供する会社は、国内外に複数存在します。フランスECM社のICBP®炉を初め世界中で多くの実績を生みつつあるセル式量産炉の中で、大同特殊鋼（株）と提携したドイツALD社の完全独立セル構造の量産炉ModuTherm®、そして近年特に注目されている少量多品種生産対応の量産炉SyncroTherm®の開発や改良・市販化に、氏が大きく貢献されたとお聞きしています。氏の優れた独創性と一途な取り組み姿勢からすれば当然ともいえる成果ではないでしょうか。

現在は、熱間加工磁石という全く異なる分野の研究開発をご担当されているとのことですが、ものづくりの思想に変わりはなく、真空浸炭技術の経験を活かして新たな道を切り開いて下さい。そして、今後は研究開発と共に若手の人材育成にも尽力していただいて我が国のものづくり産業の発展に貢献してほしいと思います。