



躍動

若手研究者・技術者の取り組みと将来の夢

表面硬化熱処理技術に関する研究と海外留学体験

Research on Heat Treatment Technology and Experience of Studying Abroad

辻井健太

Kenta Tsujii

大同特殊鋼 (株)

技術開発研究所

構造材料第一研究室 研究員

1 はじめに

私は2013年に大同特殊鋼(株)に入社し、技術開発研究所特殊鋼研究部に配属になり、現在入社6年目です。入社以来、主として低合金機械構造用鋼とその熱処理に関する研究開発に携わってきました。また、入社5年目に社内の海外留学制度を利用し、ドイツのブレーメン大学(IWT)に留学する機会を得ました。今回、「躍動」への寄稿の機会を頂きましたので、これまでに携わった研究の内容とドイツでの研究生生活の体験について紹介したいと思います。

2 機械構造用鋼と表面硬化熱処理

自動車部品に代表される動力伝達部品の多くは、疲労強度や耐摩耗性などの機能を高める目的で、浸炭、窒化、高周波焼入などの表面硬化熱処理が適用されます。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ります。部品の特性は、ユーザーの工程で大きく変化するため、鋼材開発には、溶解- casting -分塊-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工程を考慮して行う必要があります。その中でも、表面硬化熱処理は部品の強度特性を左右する重要な工程であるため、特に深い知識が必要となってきます。また、当社では、

鋼材の販売だけでなく、近年CO₂排出抑制などの特徴がある事から採用が増えている真空浸炭炉の製造、販売も行っており、鋼材と熱処理技術の両面から研究開発を行っています。

入社以来の私の主な研究テーマは、この真空浸炭の熱処理技術に関する研究や浸炭窒化技術に関する基盤的な研究です。ここでは、留学テーマとした浸炭窒化技術に関する研究について、当社での事例を踏まえてご紹介します。

浸炭窒化焼入れ処理は、炭素と窒素を同時に鋼に侵入・拡散させた後、オーステナイト域から焼入れ、表面に高炭素と窒素を有するマルテンサイト組織を形成する熱処理手法です(図1)。浸炭窒化焼入れ処理の特徴としては、浸炭処理よりも表層部に多量の窒素が含有されることで、表層部の焼入れ性や焼戻し軟化抵抗性に優れる他、残留オーステナイトが多く生成し、それらにより、部品の特に耐摩耗性を向上する事が可能です。図2には、ローラーピッチング試験を用いた摩耗試験結果を示しています。ガス浸炭窒化を施したJIS-SCM420および当社の開発鋼では、従来のJIS-SCM420のガス浸炭材

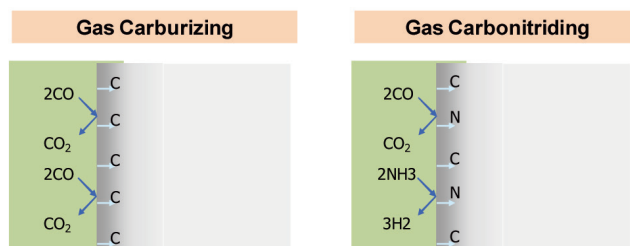


図1 ガス浸炭とガス浸炭窒化それぞれの表面反応の模式図

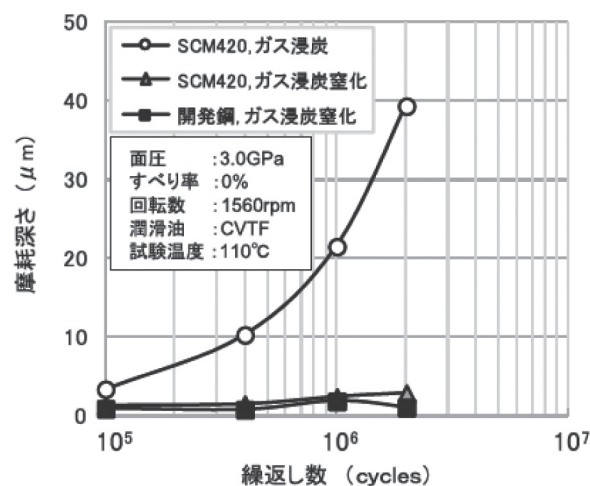


図2 剥離摩耗試験結果¹⁾

に比べ、耐摩耗性が大幅に改善している事が分かります¹⁾。

上記のように、浸炭窒化処理は、部品の高強度化に対して、有効な熱処理手法ですが、本熱処理手法は、品質ばらつきが生じやすい事や、ガス浸炭のカーボンポテンシャル制御のような表面窒素濃度の制御やその雰囲気制御方法が十分に確立されておらず、研究事例も国内には少ないのが現状です。また、近年低歪化を目的に注目を集めている、浸窒焼入処理²⁾に関しても、上記の制御技術や浸炭窒化時の雰囲気と鋼材の反応機構が明確になっていない事がこれらの技術が普及する上での課題となっています。

当社は、過去、真空浸炭の反応機構について研究を行い、真空浸炭とガス浸炭の表面反応が異なるメカニズムである事を明らかにしています。その研究では、ガス浸炭の反応で用いられるブードア反応ではなく、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ことを明らかにしました(図3)。また、上記の炭素浸入機構と鋼中炭素の拡散を拡散方程式であらわす手法とを組み合わせ、真空浸炭時の炭素プロファイルを予測する手法を構築しています³⁾。

一方で浸炭窒化においては、鋼材と雰囲気間での窒化反応の熱力学的な反応機構が明確になっていない事に加え、浸入した窒素が鋼中で合金元素と組み合わせたり、窒化物を形成する事、高窒素濃度域ではボイドが生成する事など理論的に明らかになっていない技術課題が数多く、それらを一つずつ明らかにする必要があります。

3 ドイツ・ブレーメン大学 (IWT) での研究生活

2017年9月より約1年間、ドイツのブレーメン大学内に位置する研究機関IWT (Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien) に留学する機会を頂きました。ここでは、ブ

レーメン大学 (IWT) での研究生活についてご紹介したいと思います。

著者がIWTへ留学するきっかけとなったのは、2016年10月に行われた日本熱処理技術協会主催の欧州視察団で本研究所を見学し、その充実した設備や先生方のこれまでの研究成果に魅力を感じたからです。本研究所には、浸炭炉、窒化炉、高周波焼入れ設備などだけでも10台以上あり、また、それぞれの設備を各研究用途に改造し、表面硬化処理の研究を行っています。また、欧州の多くの企業と共同研究を行い、成果を出しており、特に、焼入れ歪⁴⁾、浸炭窒化⁵⁾、ガス窒化に関して、多くの研究事例があることで有名であり、私が入社以来携わってきた表面硬化処理の研究とマッチしている事もあり、1年間お世話になる事になりました(図4)。

留学中に研究所では、浸炭窒化および浸窒焼入れに関する研究をさせて頂きました。日本では、浸炭窒化処理、特に窒化の部分に関しては、これまで体系的な研究がわずかしかなか⁶⁾、炉内雰囲気の状態や制御法について不明点が多い状況ですが、



図4 IWTでの留学最終日のお別れ会にて(前列中央が著者)

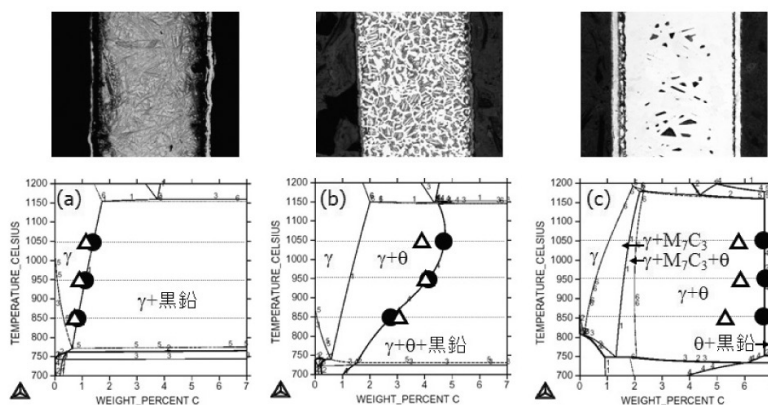


図3 真空浸炭後の組織と計算状態図 (a) High-Si Steel, (b) JIS-SCR420, (c) High-Cr Steel³⁾

ドイツでは、ここ10年ほどで炉内制御に関する理論やハード面での設備仕様が大きく進展しています^{5,7)}。留学中は、これらの理論や設備仕様に関して、学ばせてもらった上で、雰囲気と鋼材との反応過程について研究させて頂きました。最終的には、鋼材と雰囲気の熱力学的な反応機構も明確にでき、本手法の技術発展に貢献する研究が出来たと思います。

4 海外(ドイツ)での研究生活を通して

海外での研究生活を通して、日本とは違う多くの事を学ぶ事が出来たので、ここでは、そのいくつかについてご紹介致します。

まず、最近日本でよく話題に取り上げられている働き方に関してですが、ドイツと日本の大きく違う面を実際に感じ、衝撃を受けました。ドイツでは、労働者の権利が強く保障されており、企業でも基本残業は行わず、残業が発生したら別の日に早く帰るなどの仕組みが一般化しています。また、長期休暇を年に二回(一般的には3週間ずつ)取ることも一般化しており、プライベートと仕事を両立した生活をしている方が多い事が印象的でした。上記の働き方にも関わらずドイツ企業の収益性が高い事を考えると、やはり、仕事の取り組み方に関して、ドイツから学ぶべきところが多いように感じます。その一つとしてIWTの研究者の研究姿勢から感じたのは、実験の前には数式や理論を構築して、実験を進めていく姿勢でありました。サーモカルク以外にも多くのシミュレーションツールを使いこなす事に加え、理論式から自分で計算シートをその都度作り、結果を事前に予測するなど、日本に比べより数値的に予測を行った上で実験を行っているのが印象的でした。上記の姿勢は、研究の効率化の観点から非常に重要であると感じており、今後は、私も意識して、取り入れたいと思っています。

また、ドイツでは、大学と企業がコンソーシアムを組んでプロジェクトに取り組む事例が多く、プロジェクトから実際の部品開発への適用事例も多いと教えて頂きました。実際に、IWTには頻繁に企業研究者が訪問し、ディスカッションの場が設けられており、日本よりも企業 - 大学間の交流が密接であると感じました。IWTの先生方もキャリアの中で企業と大学を行き来している方も多く、そういった事も企業 - 大学間の交流が密である事に繋がっているのではと思います。日本でも、鉄鋼協会や熱処理技術協会主催の部会が開催されていますが、今後は、よりそういった場で交流を密に行っていく必要があると感じています。

最後に、本留学では、欧米から学ぶべき点が多いと感じた一方で、逆に日本の良さについても感じた留学生活でした。工業技術、歴史、文化など、日本は世界から興味を持たれて

いる事が多くあるというのを改めて感じました。留学当時IWT内に留学している日本人は私一人だった事もあり、普段から研究では交流のない多くの方に話かけて貰いました。多くの留学体験者も同様の事を感じている様ですが、外国人にとって日本はとても魅力的な国で、日本人と交流を持ちたいと思っている方は、思っている以上に多くいます。一方で、日本人は英語に苦手意識を持っている人がまだまだ多く、国際交流の経験を持つ人が多くない様に思います。今後、グローバル化が進んでいく中で日本が生き残っていくためには、一人でも多くの日本人が海外に出る機会を増やし、多様な文化から学ぶ姿勢を持ちつつ、自分の考えを発信できる人材になる必要があると強く思います。私としては、今回の留学経験を無駄にしない様、今後も積極的に国際交流の場に参加していきたいと思っています。

5 おわりに

今回ドイツ留学を経て、働き方や研究の進め方についてのヒント・発見ができ、自らの成長につながる良い経験となりました。今後は、日本・ドイツだけでなく、広く海外の情報を積極的に取り入れつつ、自分の成果を国外にも発信できる研究者となれる様、飛躍していきたいと思っています。

最後に、留学の際お世話になった豊田工業大学の奥宮教授、留学を勧めてくれた上司、留学中に助けてもらった多くの同僚にあらためて感謝するとともに、今後、留学を考えておられる方々にとって、この小文が少しでも役立つことを願い、締めくくりたいと思います。ありがとうございました。

参考文献

- 1) 製品紹介, 電気製鋼, 84 (2013), 71.
- 2) 奥宮正洋, 稲葉孝二郎, 藤田理: 工業加熱, 51 (2014), 2.
- 3) 森田敏之, 羽生田智紀: 鉄と鋼, 92 (2006) 4, 268.
- 4) H.-W.Zoch: Distortion Engineering – Interim Results after One Decade Research within the Collaborative Research Center Distortion Engineering. Mat.-wss. u. Werkstofftech, 43 (2012) 1-2, 9.
- 5) S.Bichoff, H.Klumper-Westkamp, F.Hoffmann and H.-W.Zoch: HTM J. Heat Treatm. Mat., 65 (2010) 3, 141.
- 6) 大木力: 鉄と鋼, 93 (2007), 220.
- 7) S.Bichoff, H.Klumper-Westkamp, F.Hoffmann and H.-W.Zoch: HTM J. Heat Treatm. Mat., 67 (2012) 3, 217.

(2018年11月21日受付)

先輩研究者・技術者からのエール

豊田工業大学 材料プロセス研究室 教授

奥宮 正洋

今回、大同特殊鋼(株)の辻井さんのこれまでの研究とドイツ・ブレーメン大学内にある研究所(IWT)での成果に関する記事を読ませていただき、コメントをさせていただきます。

辻井さんとの出会いは、一般社団法人日本熱処理技術協会の講演会で私が講演をした際、講演後に質問をしに来てくださった時でした。とても若い方なのにしっかりと自分の考えを持っていて、また、講演の内容を深く理解して質問をされており、とても将来が楽しみな方だという印象を持ちました。その後辻井さんとは、ご自身が記事の中にも書かれているように、日本熱処理技術協会の欧州視察団に参加していただいた際に、約2週間ご一緒させていただきましたが、積極的に英語で質問をされていたことが強く記憶に残っています。

留学されたIWTには熱処理設備の実機が10台以上も設置しており、その中には最新の装置も含まれています。IWTの研究員のみではなく、外部の企業を含む共同研究者もその装置を使用して様々な研究を行っていますが、日本では熱処理に関する研究を大学で行なっているところは少なく、また、公的な研究機関で熱処理に特化した研究が行える施設はありませんので、ドイツの熱処理に対する取組みを大変羨ましく思うとともに、私自身もIWTで研究が出来れば良いのにも思っています。熱処

理はすでに確立された技術、新しい研究は生まれてこない分野と思われがちですが、日本のもの作りを支える大切な技術であるとともに浸炭焼入れなど新しい技術も開発され、まだまだ進化が進んでいます。新進気鋭の辻井さんがこの分野に参入してこれ、また、この分野を好きになって積極的に研究を進めてくださっていることを大変嬉しく思います。2018年の4月にドイツのフリードリッヒスファーフェンで窒化に関するヨーロッパの講演大会があり、フランクフルトから現地に行く飛行機の中で久しぶりに辻井さんに会いましたが、遅しくなられて、またドイツにとっても馴染んでいる印象を受けました。

私も25年ほど前にドイツ・ベルリンのBAMに留学した際に、2ヶ月近く夏休みを取る人がいたり、自活して大学に通っている学生が多かったり、多くの人が自分の仕事にプライドを持っていたりするなど日本とドイツの文化の違いに少々驚きました。今回、辻井さんも様々な文化の違いを感じられたようですが、日本の良いところ、ドイツの良いところを咀嚼して融合させ、研究、仕事、私生活、後輩の育成など様々なところでそれを活用し、ますます飛躍していただけるものと信じています。一緒に切磋琢磨できる仲間が増えて嬉しく思っています。本当は既にだいぶ追い越されてしまっているかもしれませんが…。

パーカー熱処理工業(株) 設備事業本部設備営業部 技術開発グループ

平岡 泰

実は、私も以前は大同特殊鋼の社員であり、最初に配属された部署は辻井さんと同じ部署でした。辻井さんとは日本熱処理技術協会のイベントで幾度かお会いする機会がありましたが、本文中でも書かれていた日本熱処理協会主催のドイツ視察団でもご一緒させていただきました。ですから辻井さんとは共通点は多く、交流もありましたので、本稿のご依頼を頂いた時は、是非にと思ってお受け致しました。私自身、まだ若手にエールを送れるほどの経験はありませんが、辻井さんのために何か力になれることがあればと思ひ筆を取った次第です。

2016年のドイツ視察団後にAWTへご留学されていたのには驚きましたが、今後の糧となる大きなご経験をされたようですので大変嬉しく思っております。

本文の内容を拝見させて頂いた限りでは、浸炭窒化した鋼材の窒素濃度分布などを予測するシミュレーション技術開発が今後の仕事のひとつなのではないかという印象を受けました。AWTでは基盤となる雰囲気や鋼材表面での反応プロセスについて学んでこられたようですので、今後の開発がシミュレーション技術ではないにしても、浸炭窒化や関連する表面硬化処理分野においてこれからも優れた成果を出されていくのではないかと期待しております。またその際、鋼材開発だけでなく熱処理プロセスの最適化も合わせて開発されていくことと思いま

すが、熱処理設備側の機能に制約されて理想的な処理ができないことがあれば、設備側の改善も考えなければならいかもしれません。幸い貴社には鋼材開発の土壌に、真空浸炭炉をはじめとする築炉技術もあり、幅広い視野で仕事ができる環境なのではないでしょうか。可能であれば、熱処理設備の改善も含めて幅広く活動頂ければ良いのではないかと思います。

本分の最後に書かれているように、今後はより国際的な舞台でご活躍されていくことご決意されています。是非実践して頂ければ嬉しく思います。しかし、一方で企業研究の中で、継続的にアウトプットを出していくことや、対外的にもよい成果を上げていくことは大変だと思います。学会活動など対外的なアウトプットは楽しい仕事だと思います。一方で、そうでない社内の仕事の中には、楽しめない仕事も多々あるかもしれません。当時大同特殊鋼時代の上司から言われたことですが、どうすれば仕事が楽しくなるか考えながらやるのが重要だと思います。より多くの仕事を楽しんで、その結果対外的な活動に繋がるように頑張ってください幸いです。

今後も、実現されたい目標や夢に向かって存分に力を発揮され、大きく飛躍し続けることができるよう願っております。