

熱処理技術の面白さ

長井 寿*

Deep Approach to Heat Treatment

Kotobu NAGAI

Key words : Atomic Arrangement, Diffusion, Non-equilibrium, Inhomogeneity



* 国立研究開発法人物質・材料研究機構 構造材料研究拠点、拠点長（工博）(National Institute for Materials Science)

住 所：〒 305-0047 茨城県つくば市千現 1-2-1 (1-2-1 Sengen Tsukuba-city Ibaraki 305-0047)

連絡方法：Tel 029-860-4952

Fax 029-859-2588

E-mail nagai.kotobu@nims.go.jp

1. はじめに

日本熱処理技術協会は、「『材料と表面の改質』をめざして材料を活かして使う熱処理技術 地球環境にやさしい熱処理技術 限りある資源を大切に活用する熱処理技術 赤めて冷やす立場の人から使う立場の人までのことを考えた熱処理技術」の追求を標榜している。

熱処理はきわめて大事だ。1970年に大学に進学し鉄鋼材料講座に籍を置き、研究室などで事あるごとに「鉄の性質は熱処理によっていかようにも制御できる」とその面白さを熱く語り合った記憶は強い。

それから40年以上も経過したが、さまざまな技術革新の進展の中であたかも熱処理技術は歴史進歩の後景に追いやられ、若者の注目を浴びない分野のひとつと目されている感が残念ながら強い。

しかし熱処理の大事さは色あせるはずがない。最近のドイツ発の概念である Industry4.0 (第4次産業革命) を例にあげても、熱処理をどうとらえ直すかが成否を左右する重要な鍵になる。工作機械やその製造に必要な部品を輸出して世界の工場の製造技術を主導していこうということだが、それを材料側から表現すれば、「マルチマテリアル×付加的製造技術×材料情報統合技術」の掛け算となる。単純化したイメージとして、3D付加成形したものを熱処理するもしくは熱処理しながら3D付加成形する時に、高機能と高信頼性を確保するために、どのような熱処理手段をとるか、を考えるとよい。

掛け声は良いが、Industry4.0がエネルギー原単位当たりのパフォーマンスを画期的に改善するものでないとしたらお笑い草になる。そう考えると、ここで地に足が付いている対応戦略を講じておく必要があると痛感する。その思いが本稿の背景にあるとご理解いただきたい。

思い返せば、筆者をこの分野に導いた「教科書」がある。歴史的観点を学んだ中澤護人「鋼の時代」(岩波新書, 1964)、基礎理論を学んだ阿部秀夫「金属組織学序論」(コ

ロナ社, 1967)、鉄鋼のエンジニアリングを学んだ荒木透「鉄鋼材料学」(丸善, 1970)の三冊がそれを代表する。お三方のそれぞれの強烈な個性も偲ばれるが、それぞれの熱い思いやお人柄がそれぞれの著書に色濃く反映している。そして、中澤護人「鉄のメルヘン」(アグネ, 1975)が、筆者をある意味運命づけたような気がする。

学生時代に先生方の熱い思いが込められた「新刊本」に恵まれていた幸運にいまさらながら気づく。その幸運を棚に上げて若気の至りで、「体系的な教科書づくりこそ」と同年輩どうして氣勢を上げていたことを思い出す。当時の教科書はどうも経験論、定性論が多く、それへの反発を込めて「physical metallurgyの教科書体系が必要だ」と口角泡を飛ばしていた。後々その「約束」を確かに果たした僕人たちに心からの敬意を払ってきた。

筆者の場合、思いの基本はそのまま対象が少しそれた。すなわち学生ではなく現場の技術者、エンジニアにこそ焦点を当てるべきとの思いが強まっていった。単純に「技術は現場こそ」に尽きる。

その勢いだけで言えば響壁を買うだろうが、遅ればせながら、この思いが2013年5月に「アジアから鉄を変える新しい鉄の基礎理論」リーダーズノート出版発売 ISBN978-4-903722-60-3 という啓蒙書に辿り着いた。長井、守谷の共著 (http://shokokuyugyou.com/chosha_page/chosha_page_index.html) による。共著者守谷とは、「現場の技術者、エンジニアにこそ焦点を当てるべき」という思いを共有する。

その三部構成が、奇しくも「歴史」、「基礎」、「応用」となっており、お世話になった教科書の目に見えぬ指導力を感じる。第三部の「応用編—鉄の物理と熱処理技術」では「熱処理の基礎から応用へ/熱処理に科学的な視点をどう活かすか」を説き起こすことに挑戦した。

その正直な反省は「体系的教科書はきわめてむずかしい」という敗北宣言だ。何がむずかしいのか? を突き詰めていくとカオスの世界におち当たる。平衡論と速度論の狭間で立ち往生してしまう。元来、身近な自然現象に平衡がないのは

自明だが、どうしても平衡論に引きずられ過ぎてしまう。

そうは言ってもどのような視点で「第4次産業革命」に向かうかだ。簡明でかつ科学的な方法論が欲しい。そこで、本稿の話は相当割り切った試論になる。熱処理は「加熱して冷やす」だけでそれ以上ではない。その奥深さの一隅を彷徨ってみたい。

2. 「加熱」ではエネルギー原単位を減らす

まずは、基本心得を確認しておこう。

2.1 連続プロセス化

エコマテリアル研究の一環として環境負荷指標を考えたことがある⁽¹⁾。エネルギー原単位あたりのパフォーマンス指標を考えようとした。例題としては、鋼塊を定められたパススケジュールで加工熱処理したさまざまなケースの、鋼材のパフォーマンス（例えば、強度×延性）を得る際のエネルギー原単位の試算である。具体的でかつ信頼に足る現場データを見定めた。それで理解できたことは、加熱炉を24時間、365日稼働し、ある程度以上の日産量を稼ぐことができれば最高効率になるということだった。換言すれば、連続プロセスがよいことになる。

そうすると次は自然に、工程数を減らす、すなわち工程省略が効果的手段となる。結論は、「加熱工程数をできる限り省略した連続プロセス」ということになる。加工、加熱、冷却を丹念に繰り返してこそ良質で安心なものができるのだという先達の声に後ろ髪を引かれる結論だ。

この精神がその後の超鉄鋼研究にも引き継がれた。なるべく低温でなるべく微細粒の微視組織を作る⁽²⁾ことが、変形仕事を多少増やしてもエネルギー原单位的には優位になる。この主張に一部の設備屋さん達から「非常識」と言われたが、彼らもご自身で超微細粒組織を作ろうとした時に、同じ原理で設備開発されることになったのは皮肉と言わざるを得ない。

さて、焼入れ-焼戻し（QTとする）ほど自分の若い血を興奮させたものはない。ところが超微細粒組織のパフォーマンスはある製品では炭素含有量を選べばQTを凌駕する⁽³⁾。つまり、今まで二段以上の加工・熱処理工程が必要だったのに、一段の加工・熱処理工程で済む（QT処理を省ける）。このように「加熱工程数をできる限り省略した連続プロセス」が追求目標となる。

2.2 局所化・短時間化

対象物全体を改質する必要がない場合がある。浸炭などの処理は学生時代にもすでにあったが、恥ずかしながら表面だけを改質すればよいというプロセスイメージは若い時分はもてなかった。「バルク処理こそ正統な熱処理」という固定概念に囚われていたように反省する。誠に遅ればせながら、レーザーで表面を舐める話を聴いてようやく局所化について得心した。一端理解すれば次々と対象が拡大する。

高周波加熱などは表皮効果を前提にすれば、まさに表面や局部にフォーカスできる手段と積極的に言うべきだろう。手段としては、①サンプルそのものを発熱させる通電加熱、さらに局部化が可能なマイクロ波加熱、超音波加熱、高周波加熱など、②レーザー加熱などの高エネルギービーム加熱（パー

ナ加熱も含まれるかも）など多種多様なプローブ加熱法が登場してくる。

さらに短時間化もテーマになる。対象部を均質にするためには均熱が大事で、とにかく均一な熱履歴が理想と教え込まれた。短時間化を追求する時に、この既成概念をどう打ち破ることができるかが問われる。

3. 「冷やす」を考え直す

3.1 「鋼塊の中心から冷やせないか？」

鋼を金属組織がオーステナイト組織になるまで加熱した後、急冷してマルテンサイト組織を得る熱処理を「焼入れ」と呼ぶが、表題は、若い時分、とある鍛造工場を訪問させていただいた時に、会社リーダーから投げつけられた質問だ。学会では度々私の発表セッションの座長を務めていただいた大先輩でもあった。

冷却も加熱も温度差のもつ地点間の伝熱であり、伝熱の原理からいえば「中から冷やす方法はありません」という解答があるはずもない。要するに、焼きを大きな鋼塊の内部まで入れるのは容易ではない、「焼入性」という魔物との闘いのむずかしさを教えていただいたと思った。ただ、この「難問」は長年私を悩まし続けた。それが徐々に冷やすのではなく同じ温度に保つ、「等温保持での変態の利用」という考え方に私を導いていく。今となってはこの禪問答に大変感謝している。

3.2 さらば「加熱・冷却」, 「入熱・抜熱」へ

さて、長年、加熱・冷却という用語を使ってきたがこの頃段々と居心地が悪くなってきた。特に、冷却は曖昧な言葉だ。対象は温度ではなく熱だ。溶接分野では入熱という用語も使われている。熱を入れて温度を上げる、熱を取って温度を下げる。冷やすのではない、熱を取るのだ。ということで、入熱・抜熱を対で使うのはいかがか。

サンプル表面から抜熱するので、サンプル表面温度を常に低い温度に保つことができれば、それだけ速く抜熱できることになる。したがって、サンプルを取り巻く冷媒とサンプルの境界の熱伝達が鍵となる。ここに熱移動の現実的な壁がある。

冷媒である水に浸けて境界（表面）温度を100℃に保ちたいがそうは問屋が卸さない。ここから核沸騰（蒸発泡が点状に発生）、膜沸騰（蒸発泡が膜を形成）の理解がでてきて、攪拌するとか、高圧水を当てるとかの工夫がさまざまな現場技術で進んでいる。

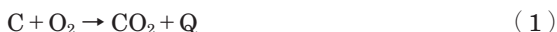
真空炉内でそれ相当の大きさのサンプル全体に焼きを入れることを考えていて、待てよ！真空中での加圧噴霧はどうか？と発想したNIMSの若手エンジニアがいる。試されずみの基礎原理に基づき、蒸発潜熱を最大限利用しようというわけだ。真空中で不活性ガスと一緒に加圧噴霧水を、径15mm×長さ100mmの寸法のサンプルに当てて、サンプル中心部の温度で800℃から100℃まで約10秒で低下できることを確かめた。水桶に入れた場合は同じ温度範囲を100秒以上かかってしまう。シャルピー試験片を採取できる程度の寸法のサンプル全体に、表面酸化を抑えて焼きが入る。これでまた新しい基礎研究が可能になると期待をかけている

(黒田ら：特許出願 2014-223971⁽⁴⁾)。これが抜熱の考え方の好例だ。

4. 熱処理は拡散

4.1 金属組織を原子配列に置き換えて考える

突拍子もないと思われるかもしれないが、次の化学反応式を見ていただきたい。



改めて説明するまでもないだろうが、この式が何を意味するか確認してみよう。Qは反応熱のつもりである。

- 1) 炭素原子 1 個と酸素分子 1 個から二酸化炭素分子 1 個が生成する。
- 2) 炭素 1 モルと酸素 1 モルから、二酸化炭素 1 モルが生成する。

1), 2) のいずれも正解ということである。1) はミクロな原子、分子レベル、2) はマクロなリッター単位（気体として）である。そして、1) と 2) を繋げているのがアボガドロ数である。アボガドロ数を介して、ミクロとマクロがぴたりとくっついている。

金属の機能と熱処理を結び付ける時、金属組織が金属の機能を決定づける、熱処理が金属組織を自由自在に変化させることができる、と自らに言い聞かせているが、それは経験的に正しい。

さて金属組織を原子レベルで考えてみよう。そうすると原子配列に置き換えることができることに気づく (Fig. 1)。析出物も複数の元素の原子配列、α相とγ相は結晶格子の違いだが原子配列の仕組みが異なるとしても全く問題がない。格子欠陥なども原子配列の乱れと記述できる。このように、金属組織は複数の元素の原子配列に置き換えて表現できるはずだ。

熱処理はこの原子配列を変化させている。変態、析出は結晶格子構造を変化させる。拡散は原子配列における元素の存在位置を変化させる。侵入型元素は格子構造中のミクロな隙間を通り、置換型元素は空孔を介して移動する。

このようにミクロな原始的イメージを描くのは容易だが、このイメージを考えることが、直接、金属の機能を左右することに繋がるのだろうか。化学式 (1) のようにミクロとマクロをアボガドロ数で直結させることができるのだろうか。

例えば、金属の降伏強さは結晶粒径に大きく依存する。結晶粒の内部の原子配列のミクロ構造にも依存するはずだ。結晶粒そのものは結晶格子の連続性の単位を意味するので、原子配列を表しているのは言うまでもない。

これらを考察していくと、金属の機能を直接ミクロな原子配列から演繹するアプローチも可能だろうが、ミクロをマクロの中間の大きさ、例えば結晶粒径、で「代弁」して表記するアプローチも可能かもしれないということに気づく。

さて、純鉄 1 立方センチメートルのサイコロに含まれている鉄原子の数を計算してみたい。こういう実感を得るアプローチがきっとこれからの時代に大事になる。

正解は省くが、重さは約 8 グラムで、原子量 56 からすると 7 分の 1 モルということになる。アボガドロ数から、ほ

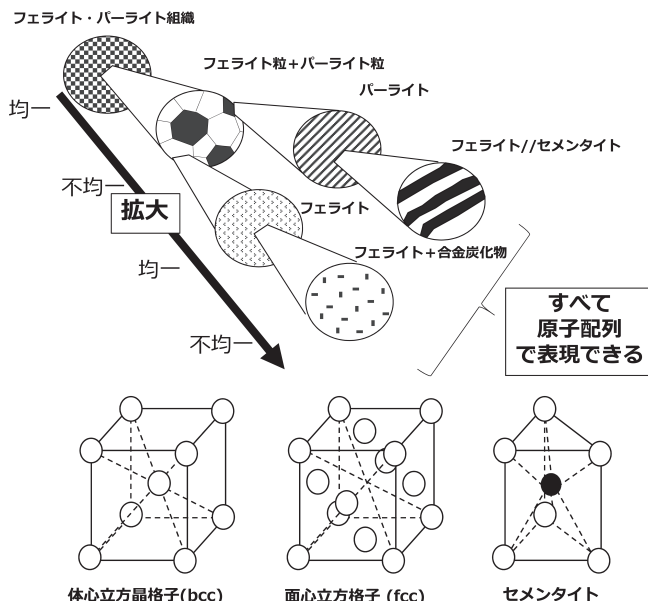


Fig. 1 金属組織はマクロからミクロまでマルチスケールに変化し、最終的にはすべて原子配列で表現できる。

ぼ 10 の 23 乗ということになる。

宇宙の年齢を秒数で表すと、4.4 の 10 の 18 乗位になる。マイクロ秒に 1 個数えても宇宙の年齢でようやく数えきれない大きな数というわけだ。

私たちが対象としている金属というもののミクロとマクロの世界間のギャップはかように大きい。式 (1) の世界も実はそうだが、式 (1) では、大きな数の原子、分子の挙動について平均化・統計処理をして大丈夫（そうしないと理解に行き着かないというのが本音）という建前になっているので、このギャップの大きさに気づきにくいとも言える。

金属の熱処理で原子配列を変える。原子配列の場合の数を試しに計算されるとよい。ただちにその大きさが天文学的数字以上と気づかれるのは間違いない。原子配列の場合の数は無限と言ってよい。

ところで、詳しく説明する必要もないだろうが、原子間距離が場所によって変動している場合、それは内部応力が発生していることを記述していることになる。結晶格子のゆがみと考えても良い。内部応力も原子配列を通じて記述できることになる。熱応力、残留応力なども同様に扱えるはずということだ。

原子配列の場合の数の無限さは、まず未踏領域の可能性の大きさを示している。同時に、現象を正しく理解し、適切な平均化・統計処理の妙案によって、効率的に課題解決に至ることがまだできていないという、到達段階の未熟さも教えている。解明すべき終着点を想像すると気の遠くなるほどの彼方にあるように思われる。そこにただちに到達できないが、確実に接近することはできる。

「熱処理は時代遅れ」のような意見は、このような本質的な理解からどこか遠く離れた場所での話に過ぎない。

4.2 拡散は距離

金属組織の変化はすなわち構成する原子（まず、鉄と炭素が良い例題になる）の移動が、熱の移動と絡めて理解されな

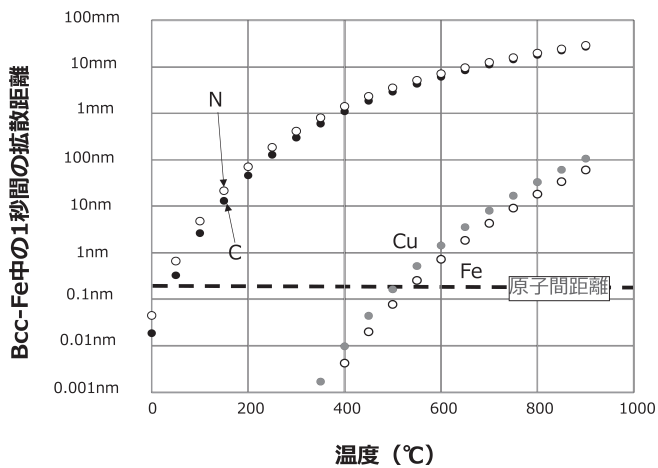


Fig. 2 純鉄における各原子の「拡散距離」の温度変化

くてはならない。Fig. 2は、先述の著作で初めて公表したものだ。それぞれの温度で、純鉄の中を熱、鉄原子、炭素原子が1秒間にどの程度の距離(m単位)を拡散するのかを知りたくなり、基礎データ(『金属データブック』)に基づき計算してみたものだ。かなりアバウトな計算であることを断っておく。これを基準にすれば、保持時間を秒に直してその平方根を掛ければ目安の答えがでる。15分で30倍、1時間で60倍すればよい。

まず、熱は1秒で数ミリときわめて容易に拡散する。高温ほど遅くなるが大した変化ではない。鉄原子(および置換型固溶原子)は、原子空孔と置き換わりながら移動するので、原子空孔は鉄原子の拡散に不可欠。実際の濃度は平衡空孔濃度(%表記。数字は左目盛り)よりも数桁多いらしい。いずれにせよ原子空孔と鉄原子移動はよく対応している。そういうことで、鉄原子はようやく500℃を越えた辺りから目に見えて拡散します。炭素原子は鉄原子格子の中をすり抜けて移動するので、鉄原子より3桁程度早く拡散し、室温くらいから易々と拡散していることが分る。窒素も炭素とほぼ同じ。多くの置換型固溶元素の拡散は鉄の自己拡散とほぼ同じになる。

この図を眺めていて気づいた大事なことがいくつかある。そのひとつを紹介する。

そうか！ 必要な格子間距離を動かせば足りるのか！

焼入れままマルテンサイトは「A：高転位密度で固溶炭素を過飽和に多く含む」と理解されている。それに対して、ある温度(例えば500℃)で1秒だけ加熱すると、炭素原子は十分移動するが、鉄原子は動けないので「B：高転位密度でセメントイトが析出」という状態を実現できる可能性がある。その温度以上で、900秒(15分)も加熱すると鉄原子も動いてしまうので「C：転位密度は低下し、セメントイトは成長」という状態になる。

今までは、AとCの状態しか知らなかったがBの状態が作れるとなると、それは新しい可能性となる。これは材料性能の新しい可能性の設計に結び付いていく。

一方、同時に今までの熱処理には壮大な無駄があるかもしれないという反省も生まれる。対象手法が限られるかもしれないが、エネルギー原単位あたりのパフォーマンス追求の可能性がまだまだ汲みつくされていないと言えないか？

5. 「平衡」世界にさようなら

5.1 「平衡」のマインドコントロール

「平衡」というのは、「始めの状態がどんな状態であっても、孤立系を十分長時間放置すると、その内部はそれ以上変化しないようになる」状態、という風に理解しているだろう。

「溶体化処理」というのは多分「均一な固溶体を作る」と理解しているはずだ。例えば、鉄鋼において炭化物が析出している金属組織を高温(多くの場合はオーステナイト域)に加熱し保持すると炭化物が分解して消えるのは間違いない。

さて、まず、「均一な固溶体」というのは「平衡状態」だろうか。そうかもしれないが、そうとも限らないはずだ。ところが、平衡状態図を勉強しすぎたせいか、「平衡」と思い込んでしまう。

次の質問にはもっと戸惑われるだろう。「均一」が最も低いエネルギー状態だろうか。これも答えは同じで、そうかもしれないが、そうとも限らない。「均一」の定義は、溶質原子が空間的に一個一個等距離的に分散している状態としておこう。

溶媒原子と溶質原子、特に溶質原子の元素種が複数になるとそれらの相互作用が一層顕在化する。仲の良さがお互いに異なるので、できれば近づきたい同士、できれば離れたい同士の組み合わせができてしまう。そうなると原子レベルで見ると安定で低いエネルギー状態が「均一」とは言い切れない。異なった元素種どうしの原子の集まり(ここではクラスターとも呼ぼう)が基礎単位となったら、クラスターが均一に分布することはあるかもしれない。

さて、現実材料は多結晶体である。結晶粒界があること自体が、「平衡」から離れているのは言うまでもない。「オーステナイト域で溶体化処理した状態は、固溶体であっても必ずしも均一な固溶体ではない。また、結晶粒界などの格子欠陥も存在している」という基本認識から出発して、鉄鋼の熱処理、特に変態を議論するとどうなるのか(Fig. 3)。

これが実用材料の普通の姿のはずだが、「平衡」のマインドコントロール下での頭脳は、「単結晶、均一固溶体」から出発していないか、それでは議論が論理的に構築できないはずだ。自己点検してみたい。

本稿では触れないが、核生成、核成長などの固定概念理論もその有効性をしっかり活用するためには、再度ゼロから疑ってみた方がよいと思っている。大きな穴を見て見ぬふりしてはこれ以上前には進めない。

5.2 不均一なオーステナイトから出発すると

筆者は、亜共析鋼の初析フェライト、過共析鋼の初析セメントイトがいずれも旧オーステナイト粒界に優先析出(生成)する統一的理由を探しているが、得心がなかなかいかない。

いい考えも思付かないと意識が朦朧としてくる。平衡状態図をぼんやりと眺めていたら、オーステナイト単相域で「てこの法則」を無意識に使っていた。そうすると極低炭素のオー

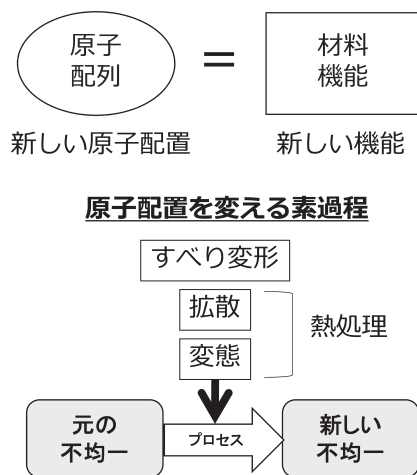


Fig. 3 原子配列が材料機能を決める。すべり変形、拡散、変態が原子配列を変える。しかし、原子配列は常に不均一。

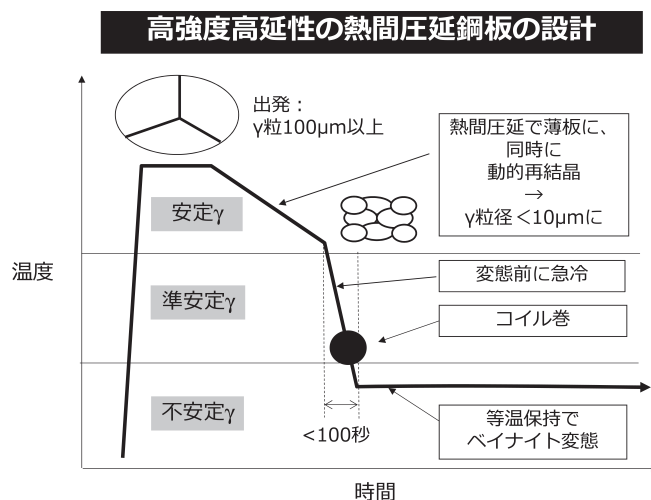


Fig. 4 等温変態では「冷やさずに」変態させることができる。

ステナイト (LC) と高濃度炭素のオーステナイト (HC) に二相分離してしまった。LC も HC も炭素均一分布オーステナイト (UC) よりはエネルギー的には若干安定なんだろう。粒界は系のエネルギーを増加させるので、これらの LC, HC はいずれも粒界近傍に行きたがり、相比の多い方が粒界を多く占めることになるだろう。そうすると亜共析ではフェライト、過共析ではセメンタイトが粒界に優先的に生成してくるのは当然だな。なんだオーステナイトの状態ですです準備が終わっており、後は変態 (析出) するだけということか。これくらいの温度では炭素は粒径の距離を瞬間移動するので無理はない。

さてよ、そうすると粒内の場所場所で変態開始点が違ってくる⁽⁵⁾ということになる。熱膨張で測定すると、長さ変化はマクロ平均情報だが、ミクロには粒内で変態点が違うことを平均化していることになる。場所場所では狭い温度範囲で変態が終了していてもマクロには大きな幅があるように現れてくる。

ましてや、フェライト変態は体積膨張を伴うので、粒界近傍から優先生成すると粒内には圧縮応力がかかっていく。そうするとさらに変態点が下げられていくので、化学組成の差以上の変態温度域の広がりが出てくることになる。

かように朦朧状態での妄想は尽きない。筆者の力及ばずで申し訳ないが本当の話は知らない。まず、これらの妄想の可否を実験的に確かめる方法が確立しているとは言えない。

だがしかし、まともな考察は不均一なオーステナイトから出発すべきだ。そのようなアプローチの結果どのような結論が将来導かれるのかが楽しみである。これだけでも科学的にもそして技術的にも新しい可能性が展開していくのではないかとワクワクする。

5.3 冷やそうとするからむずかしい！

繰り返しになるが、連続冷却変態はややこしい。サンプルのどの場所も同じ温度履歴にさせるなんて原理的に無理だ。マクロとミクロの変態点が同一という仮定自体に無理難題の根源がある。このアプローチでは真剣に考えても回答には及ばないのではないかな。

それならば「定温熟成」させればよくないか。「熟成」が済めばあとはどうしてもよい。すなわち連続冷却ではなく等温変態にしよう。鉄は奇妙な金属である。オーステナイト域での炭素固溶限はフェライト域での炭素固溶限よりべらぼうに大きい。これを炭化物に析出させて利用する技術可能性は、広大な未開拓分野ではないか？ では、どのような具体的アイデアがあるかの一端 (Fig. 4) を最後に紹介しよう。

具体的には、熱延薄板製造を念頭に工業的に実用可能なプロセスとして、オーステナイト域加工 (等軸微細 γ 粒組織) + 等温変態 (ベイナイト生成) プロセスを考案した⁽⁶⁾。オーステナイト域加工では大ひずみで動的再結晶による等軸微細 γ 粒組織の造り込みが必要になる。粒径の達成目標 (<10 μm) を設定し、熱間加工条件 (温度、ひずみ、ひずみ速度など) を従来の基礎知見から推定する。容易ではないが、現有設備で全く達成不可能という訳でもない。

微細変態生成物・析出物 + 微細分散残留 γ (<10%) を連続冷却で実現するのはまず制御がむずかしい。ベイナイト変態を前提にすると、 γ 域強加工後、ただちに適切な温度に急冷して一定時間保持することになる。連続熱延ミルを想定すれば、コイル前変態は不利で、「コイル後の変態制御」が有利である。

熱延工程で理想組織が造り込めたととしても、表面性状の調整やメッキ工程などの後工程による組織変化などの問題が尽きないので未踏域の検討課題は尽きないだろう。

6. 「熱処理技術協会」ではなく「熱処理技術者協会」としたらいかが？

科学がなんでも教えてくれるわけではない。科学の子 = 鉄腕アトムは科学では作れない。技術だけがアトムを作ることができる。技術はあっても技術者がいなければ技術は使えない。

とにかく問題解決しなくてはならない。問題解決ができなければ市場に新しい価値、サービスを提供できない。社会貢献ができない。

実はむずかしいことがわからなくても問題解決できる。し

かし闇雲でなく、科学の、基礎の底付けがあると力強い。だからこそ科学に期待する。

技術者もしくはエンジニアこそ科学を正しく理解しなくてはいけない。科学が進歩し技術が高まっても、技術者が高まらなければ安らかには暮らせない。

本稿では、エネルギー原単位を減らすことを基本心得とし、既成概念にとらわれ過ぎない基礎科学的な道の可能性を説明した。それは金属組織に囚われ過ぎず、金属組織に対応した原子配列をイメージし、原子配列が常に不均一かつ非平衡であることを前提に考えるべきことを述べた。原子配列の場合の数は無限であり、それを説明する基礎科学もきわめて未熟な段階にあり、追求すべきは尽きない。

世界の人口は増えるが21世紀中には日本の人口はほぼ半減するらしい。否応なくヒトの価値を高めていくしかないと思う。

そこで提案だが、冒頭の文をいじって、「材料を活かして使う熱処理技術者 地球環境にやさしい熱処理技術者 限りある資源を大切に活用する熱処理技術者 赤めて冷やす立場の人から使う立場の人までのことを考えた熱処理技術者」とした方が何倍も迫力が出ないか。

技術を自慢してもそれが使えなければ意味がない。それが使える技術者を自慢すべきだ。「日本熱処理技術者協会」の方が、展望と責任感を兼ね備えた頼れる人材が集い、また成長し合っている団体というイメージを受ける。ヒトこそ日本が誇りにすべき資源だと思う。

熱処理技術者がワクワクして取り組むべき課題は、問題を深く掘れば掘るほど尽きないだろう。

(2015年9月24日受理)

参 考 文 献

- (1) 土田紀之, 友田 陽, 長井 寿: 鉄と鋼, **86**, p.196 (2000).
- (2) 鳥塚史郎, 井上忠信, 長井 寿: 鉄と鋼, **86**, p.801 (2000).
- (3) 鳥塚史郎, 長井 寿, 井上忠信, 花村年裕, 村松榮次郎, SUSARLAVENKATA SURYA NARAYANA MURTY, 林透, 大森章夫: 塑性と加工, **49**, p.1135 (2008).
- (4) 黒田秀治, 中村照美, 櫻谷和之: 水焼入れ装置及び水焼入れ方法, 特願 2014-223971 (2004).
- (5) Hanamura, T., Shibata, H., Waseda, Y., Nakajima, H., Torizuka, S., Takahashi, T., and Nagai, K.: ISIJ International, **39**, p.1188 (1999).
- (6) 長井 寿: ふえらむ, **14**, p.803 (2009).

