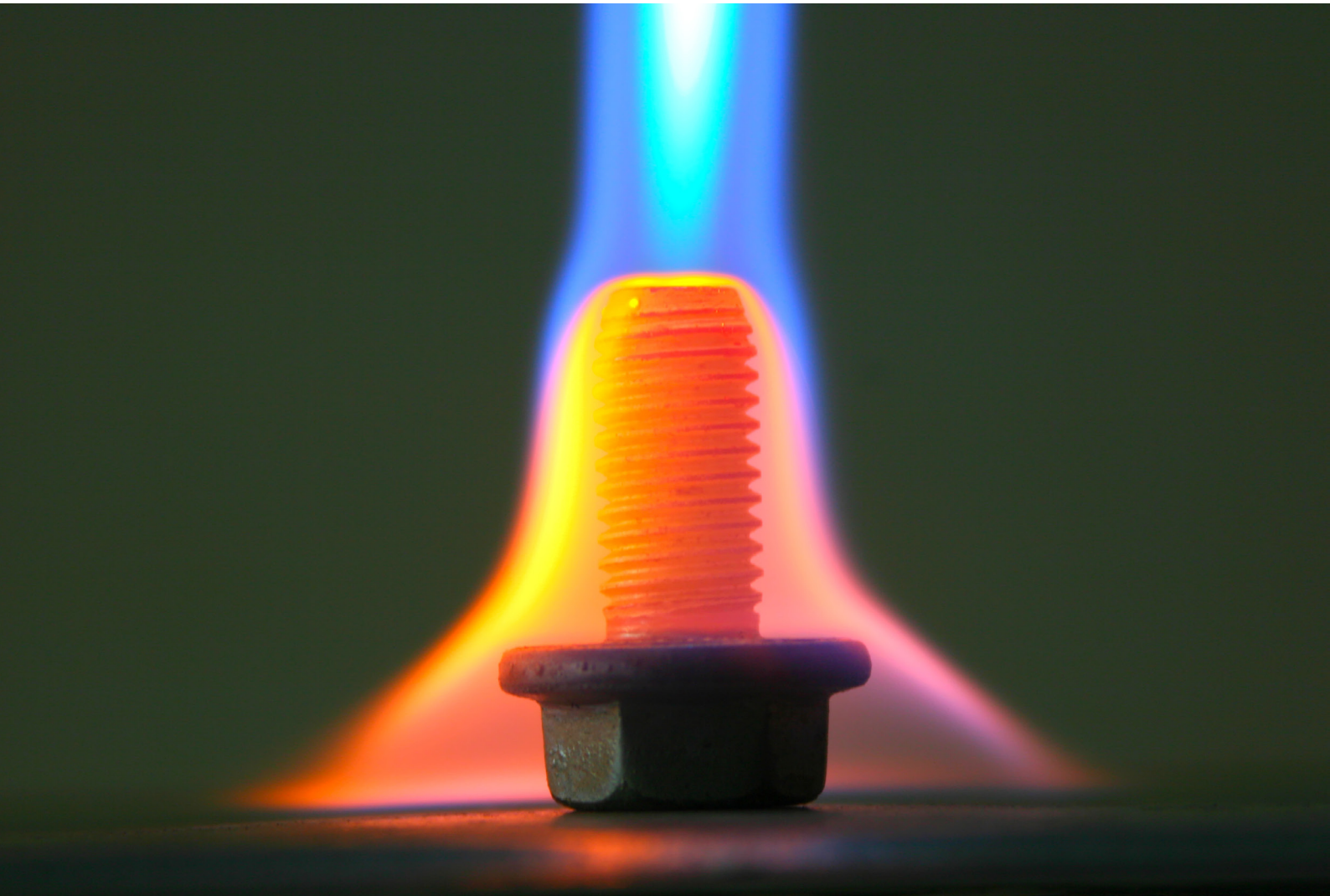




熱処理技術とその種類

技術情報

熱処理技術とその種類

ネマトフ バトワール

ボサードエキスパートチーム
ボサード株式会社

www.bossard.co.jp

All rights reserved © 2024 Bossard

記載されている推奨事項とアドバイスは、実際の使用において読者によって適切にチェックされ、その適用に適していなければなりません。

ASSEMBLY
TECHNOLOGY
EXPERT

目次

熱処理技術の概要	1
熱処理技術の基本概念と原理	2
熱処理技術の重要性	5
熱処理の種類と目的	6
焼入れ	7
全体焼入れ	7
高周波焼入れ	7
浸炭焼入れ	8
真空波焼入れ	8
焼戻し	9
焼なまし	10
焼ならし	10
固溶化熱処理・析出硬化処理	11
サブゼロ処理	12
まとめ	13

熱処理技術とその種類

熱処理技術の概要

熱処理 (Heat Treatment) 技術は、金属材料の物理的および機械的性質を変化させるための加工技術であり、これは金属を加熱および冷却することによって行われます。このプロセスによって、金属の強度、硬度、粘性、靱性、耐衝撃性、耐摩耗性、耐腐食性、耐食性、被削性、および冷間加工性などが向上します。形状は変化せず、金属の特性が向上するのが熱処理の特長です。

以下に、熱処理技術の主要なプロセスとその概要を簡単にまとめます。

1. 焼入れ (Quenching)

鋼を変態点以上に加熱し、一定の時間保持した後、急速に冷却するプロセスを「焼入れ」と呼びます。材料を高温に加熱し、急冷することで硬さを向上させます。急冷は通常水や油で行われます。

2. 焼戻し (Tempering)

「焼戻し」とは、焼入れ後の硬い鋼を中程度の温度で再加熱し、硬さを調整しつつ靱性を向上させる処理のことです。焼入れと焼戻しはセットで行われます。

3. 焼入れ焼戻し (Quenching and Tempering)

焼入れと焼戻しを組み合わせたプロセスで、硬さと靱性の両方を調整することが可能です。

4. 時効硬化 (Age Hardening)

合金を特定の温度で一定の時間保持し、その後急冷して硬化を促進させる方法です。

5. 焼なまし (Annealing)

鋼を適切な温度で加熱し、ゆっくりと冷却することで結晶構造を整え、硬さや靱性を改善する処理です。言い換えれば、この処理は鋼を柔らかくし、加工性を向上させるものとして「焼なまし」と呼ばれます。このプロセスは目的に応じて、「拡散焼なまし」、「完全焼なまし」、「球状焼なまし」、「等温変態焼なまし」、「応力除去焼なまし」などに分類されます。

6. 焼ならし (Normalizing)

鋼の組織を均一化、微細化する手法は「焼ならし」と呼ばれます。変態点よりも高い温度で再加熱し、空冷することによって結晶粒が微細化されます。これにより、強靱性などの特性が向上します。同時に、残留応力も除去されます。

7. 焼結 (Sintering)

金属粉末やセラミックスなどの粉末を高温で加熱し、粒子同士を結合させることで密度を向上させます。

これらのプロセスは材料の用途や要件に応じて選択され、製品の性能や特性を向上させる役割を果たしています。熱処理技術は製造業や材料工学の分野で広く利用され、製品の品質や性能を向上させる重要な手法となっています。

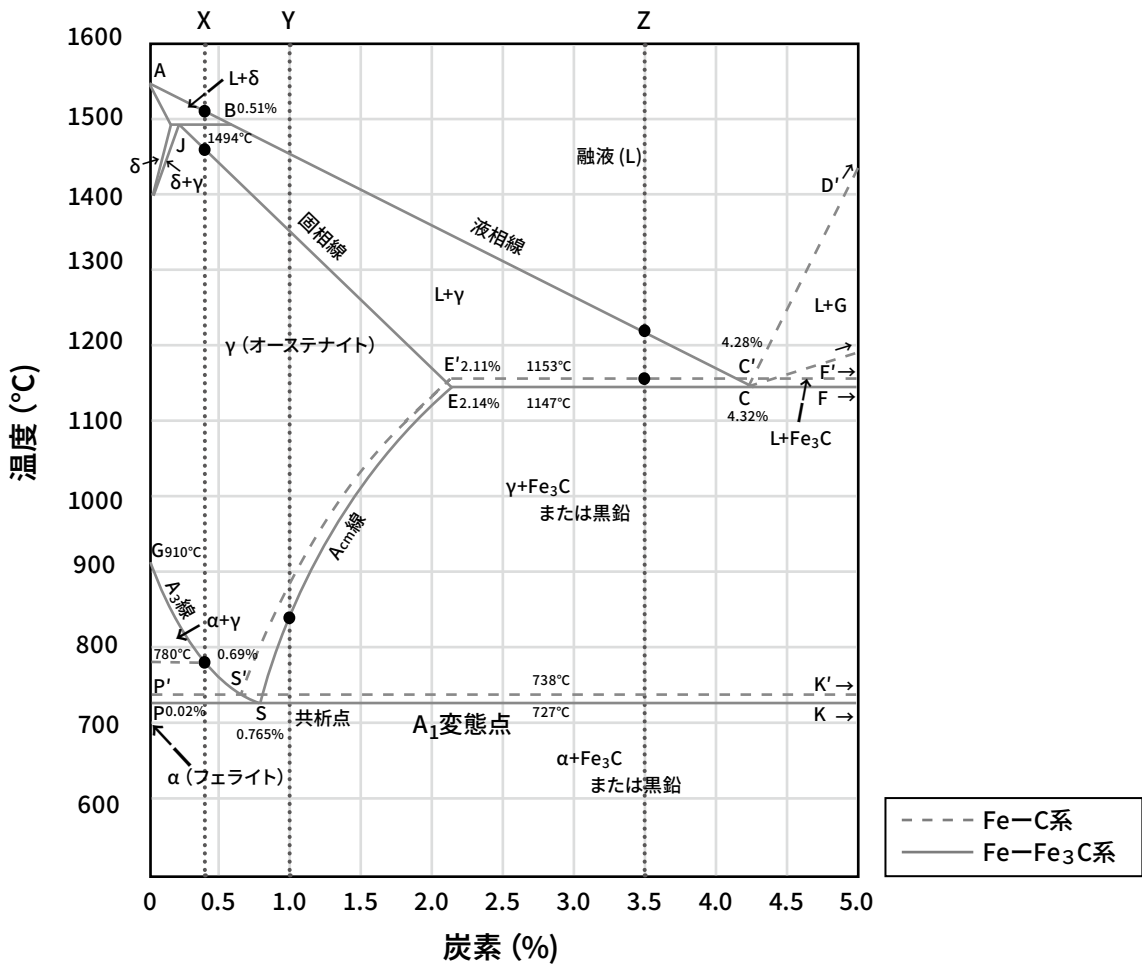
熱処理技術の基本概念と原理

熱処理は、金属や合金などの材料に対して微細な組織の変化をもたらすプロセスであり、その変化が材料の機械的性質や物理的性質に大きな影響を与えます。この技術は、製品の強度向上や耐久性向上、そして材料の特性の調整を可能にするため、多岐にわたる産業分野で広く利用されています。

鉄の熱処理を考える際には、炭素の存在が不可欠です。鉄中の炭素含有量が増えると、引張強度や硬度が向上しますが、その一方で延性が低下し、硬くて壊れやすい性質が生じます。逆に、炭素量が減ると、引張強度や硬度は低下しますが、延性は増し、柔らかく加工しやすい性質が現れます。

Fe-C系状態図

Fe-C系の複合平衡状態図は、Fe-Fe₃C系(実線、準安定系)とFe-C系(点線、安定系)によって示されます。炭素鋼では、FeとFe₃Cの二相が現れますが、鋳鉄ではFeとFe₃Cと黒鉛の三相が見られます。



炭素含量が0.765%以下の範囲を亜共析鋼と呼び、それを超える範囲を過共析鋼と呼びます。亜共析鋼で、 A_3 線が境界となり、フェライト (α 鉄) からオーステナイト (γ 鉄) へ変化します。したがって、焼入れ時には最低限 A_3 線の温度まで熱処理が行われます。

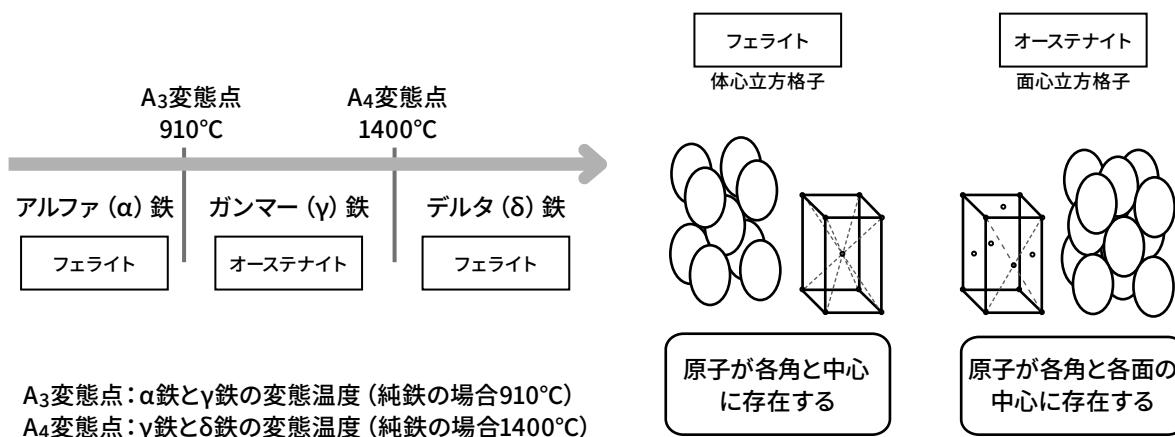
一方、過共析鋼では、低温下ではパーライトとセメンタイトの組織が見られますが、 A_1 を超えるとパーライトはオーステナイト化しますが、セメンタイトは残ります。 A_{cm} を超えると、全ての組織がオーステナイト化しますが、焼割れや残留オーステナイトのリスクが高まります。

X線合金の0.4%C組成は、高温の均一な融液状態から徐々に冷却すると、 AB 線と交差します。この AB 線は液相線であり、固体相が液相中に現れる(晶出)始める温度を示します。初めて液相から結晶(固相、固体)が現れる点は初晶と呼ばれます。温度が低下するにつれて、固相が増加し、 JE 線と交差します。 JE 線は固相線であり、全体が固体(固相)になる温度を示します。この段階では、全てが γ 鉄(オーステナイト鉄)になります。

さらに、温度が低下すると、 GS 線と交差し、これが A_3 線として知られ、 γ 鉄から α 鉄(フェライト)が析出(一つの固相から別の固相が現れること)し始める温度を示します。温度が下がるにつれて、 α 鉄が増加し、 PS 線の温度(727°C)に達すると、残っている γ 鉄は α 鉄(フェライト)と Fe_3C (セメンタイト)に相変態します。この相変態が起こる温度を A_1 変態点と呼びます。この反応は、異なる2つの固体が共に析出するので、共析反応と呼ばれます。

一方、Y線合金の1.0%C組成は、 1000°C の γ 鉄からゆっくり冷却すると、 ES 線と交差します。この ES 線は A_{cm} 線として知られ、 γ 鉄から Fe_3C (セメンタイト)が析出し始める温度を示します。

さらに、Z線合金の3.5%C組成は、高温均一な融液状態から徐々に冷却すると、 BC 線(液相線)と交差します。この温度で融液から γ 鉄が晶出し始めます。温度が低下すると、 E' 温度(1153°C)で、残っている融液から γ 鉄と黒鉛(G)が晶出します。この反応は、液相(液体)から2つの固体が共に晶出するので、共晶反応と呼ばれます。



金属において、結晶構造が変化することで性質も変わる現象は「相変態」と呼ばれます。鉄には2つの相変態点が存在し、純粋な鉄を加熱すると、 910°C で組織が「フェライト」から「オーステナイト」へと変わり、さらに 1400°C では「オーステナイト」が再び「フェライト」に変化します。鉄は、炭素と結合することで合金を形成し、その炭素の量によって硬度や強度が変わります。これらの性質を活かして、有用な金属材料を製造することができます。

フェライトは、鉄の原子が体心立方格子を形成する結晶構造であり、原子が立方体の8つの角と中心に1つずつ配置されます。一方、オーステナイトは、面心立方格子を形成し、原子が立方体の8つの角と各面の中央に1つずつ配置されます。オーステナイトの結晶構造は原子間の空隙が大きく、そのため炭素などの他の原子が容易に入り込めます。

鉄鋼材料は、高温から徐冷することでオーステナイトからフェライトへと変化します。一方、急冷すると「マルテンサイト」と呼ばれる別の組織が形成されます。組織内の炭素の量が多いほど、材料の硬度と強度が増します。

熱処理の定義

熱処理は、材料を一定の温度条件で一定の時間、あるいは特定の冷却速度で加熱または冷却するプロセスです。このプロセスにより、材料の組織や物性が変化し、所望の性質を得ることができます。

JISでは、熱処理を「**固体の鉄鋼製品が全体として又は部分的に熱サイクルにさらされ、その性質及び/又は組織に変化をきたすような一連の処理。**※ 鉄鋼製品の化学成分がこの操作の間に変化することもある」と定義しています。

熱処理の原理と基本的な過程

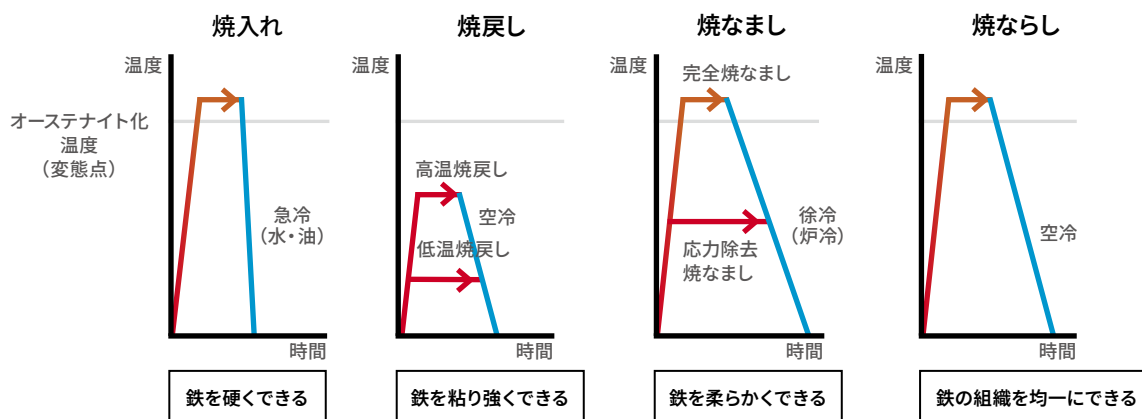
鉄鋼材料を硬くするためには、「焼入れ」という熱処理を行います。最初に、材料を変態点温度以上に加熱してオーステナイト組織にします。これにより、鉄原子の間に多くの炭素原子が取り込まれます。次に、急速な冷却によって、多くの炭素原子が閉じ込められた非常に硬い組織であるマルテンサイト組織が形成されます。これが「マルテンサイト変態」です。焼入れ硬さは、含まれる炭素量が多いほど高くなります。

マルテンサイト変態は、オーステナイト状態から急速に冷却することで引き起こされ、冷却速度が速いほど多くのマルテンサイト組織が形成されます。変態が完了しなかったオーステナイト組織は、「残留オーステナイト」として残ります。残留オーステナイトは自然に徐々に変態してしまうため、寸法変化などの問題の原因となります。そのため、「サブゼロ処理」という低温状態に保持することで、強制的にマルテンサイト組織に変態させる処理方法があります。ただし、残留オーステナイトはマルテンサイト組織に比べて軟らかいため、ギアの歯面などでなじみ性が求められる場合には、残留オーステナイトの摺動性が寄与することもあります。

熱処理は通常、以下の基本的なステップで構成されます。

- 加熱：材料を所定の温度に加熱します。この際、加熱速度や保持時間が重要です。
- 保持：一定の温度で一定の時間保持します。これにより、材料内部の組織変化が起こります。
- 冷却：適切な速度で冷却します。冷却速度は、結晶構造や硬度に大きな影響を与えます。

鉄の特性を次のような熱処理で調整できます。

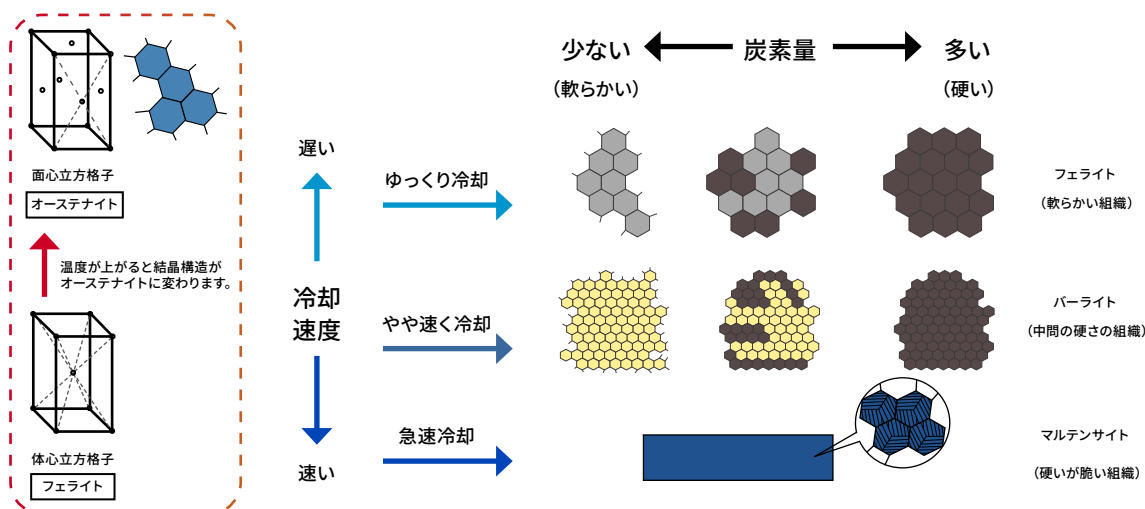


材料の物理的性質の変化

熱処理により、材料の物理的性質に様々な変化が生じます。これには以下が含まれます。

- 硬度の変化：硬化処理により硬度が増し、軟化処理により硬度が低下します。
- 強度の向上：組織の微細な変化により、材料の引張強さや耐久性が向上します。
- 耐食性の改善：特定の熱処理により、材料の耐食性が向上することがあります。

熱処理の冷やし方によって鉄の特性が決まってきます。例えば、



熱処理の重要性

製造工程において、様々な材料の特性を変化させるのが「熱処理」です。熱処理技術は、強度、粘性、耐疲労強度、耐衝撃性、耐食性、被削性など、多岐にわたる性能を向上させることが可能であり、そのため不可欠な技術と言えます。熱処理は、製品の性能を向上させるために欠かせないプロセスであり、その重要性は以下の点に表れます。

強度の向上：熱処理は組織の微細な変化を通じて材料の強度を向上させます。特に、焼入れなどの硬化技術は、金属の結晶構造を整え、強靱で耐久性のある製品を生み出します。これは航空機や自動車、建築などの分野で特に重要です。

耐久性の向上：熱処理は材料の耐久性を向上させ、摩耗や疲労などの損傷を軽減します。これにより、製品の寿命を延ばし、メンテナンスの頻度を減少させることが可能です。

機械的性質の調整：熱処理は材料の硬度、靱性、および他の機械的性質を調整する手段を提供します。この調整は、材料を特定の用途や環境に適したものにするために不可欠です。

製品品質の向上：熱処理により、製品の均一性や品質が向上します。均一な組織は、製品の性能に一貫性をもたらし、製品の品質管理を向上させます。

熱処理技術とその種類

熱処理の種類と目的

熱処理にはいくつかの方法がありますが、全体熱処理と表面熱処理に分けることができます。

全体熱処理は、素材全体の性質を変えるための処理であり、一般的な熱処理と特殊な熱処理に分類できます。一般的な熱処理には、焼入れ、焼戻し、焼なまし、焼ならしなどがあります。特殊な熱処理には、固溶化熱処理やサブゼロ処理などがあります。これらの特殊な熱処理は、通常の熱処理を施した後に材料をさらに改良するために行われます。

表面熱処理は、素材の内部組織を変えずに、表面の性質を変える加工方法です。これは表面硬化熱処理と表面改質熱処理に分けることができます。表面硬化熱処理と表面改質熱処理の違いは、表面硬化熱処理が加熱・冷却によって表面のみを硬化させるのに対し、表面改質熱処理は窒素や硫黄などを表面に拡散・蒸着させて改善を行う手法であることです。



焼入れ

焼入れは、最も代表的な熱処理の手法の一つです。鋼は、0.02～2.14%の炭素を含む鉄であり、その特性により強度や靱性などに優れた製品が作れます。ただし、熱処理が行われる前の鋼は柔らかく、フェライトと呼ばれる構造を持っており、強度を求められる用途には適していません。

そこで、焼入れでは鋼を金属組織の構造が変化する温度まで加熱し、一定時間後に急冷することで、鋼の硬度を大幅に向上させます。焼入れの手順として、まず鋼を炉に入れるかバーナーで直接加熱します。910℃以上での加熱により、鉄と炭素が混ざる「オーステナイト変態」が起こり、フェライト構造がオーステナイト構造に変化します。鋼全体がオーステナイト化したら、急速に冷却することでオーステナイト変態した鋼が「マルテンサイト変態」を起こし、非常に硬い結晶に変化します。ただし、焼入れ後の鋼は脆く、衝撃や応力によって割れやすいため、通常は焼戻しを行って靱性を高めます。なお、焼入れには「全体焼入れ」、「真空焼入れ」などの異なる方法があります。

全体焼入れ

全体焼入れは、鉄鋼素材全体を加熱して行われる焼入れ手法で、別名でズブ焼入れとも呼ばれます。この方法では、素材全体に均等に熱処理を行うことができるのが特長です。

ただし、素材全体を加熱・冷却するため、表面を加熱する方法よりも冷却速度が遅くなり、表面硬度が低下するという欠点があります。また、熱による変形が大きくなるため、全体焼入れで高品質な製品を生産するには高度な技術力が必要です。



高周波焼入れ

高周波焼入れは表面焼入れに高周波コイルを使い、ワークに誘導電流を流して加熱する手法です。誘導電流は主に金属表面を通り、これにより表面の硬度を向上させつつ、内部は柔軟性を維持できます。

コイルをワークに巻きつけるだけで簡単に焼入れができ、瞬時の加熱・冷却が可能なので、わずかな時間で高品質な焼入れが実現します。さらに、電流を流すだけで加熱が行われるため、省エネルギーで作業環境もクリーンに維持できるのが特長です。現在、この方法は焼入れの手法として最も一般的に採用されています。



浸炭焼入れ

浸炭焼入れは、鋼の表面に炭素を浸透させた後に焼入れを行う手法です。通常の焼入れ手法では行えない低炭素鋼を使用し、炭素濃度を高めて表面硬度と内部靱性を両立させることができます。

硬度を調整するために炭素濃度を変えることができるという利点もあります。しかしながら、他の焼入れ手法に比べて寸法変化が大きく、硬化を防ぎたい箇所には防炭処理が必要など、いくつかの欠点も存在します。



真空焼入れ

真空焼入れは、焼入れ用の炉を減圧し、真空状態にした上で焼入れを行う手法です。このプロセスにおいて、鋼の周囲に酸素が存在しないため、酸化被膜が生成されず、金属光沢が維持されたまま焼入れが行えます。

焼入れ後のピーリング処理などが不要になり、手間が減少します。また、鋼組織の均一性が高く、変形や歪みが極めて小さいため、高品質なワークが製造可能です。炉の高価や加工時間の長さなどの欠点も存在しますが、要求される品質の向上に伴い、真空焼入れの採用頻度は増加しています。



焼戻し

焼戻しは、通常焼入れとセットで行われ、鋼の靱性を向上させる熱処理手法です。焼入れ後に再加熱し、適切な時間をかけて冷却することで、硬度を適切な範囲に調整し、内部応力を緩和させる技術です。これにより、材料の靱性を改善します。

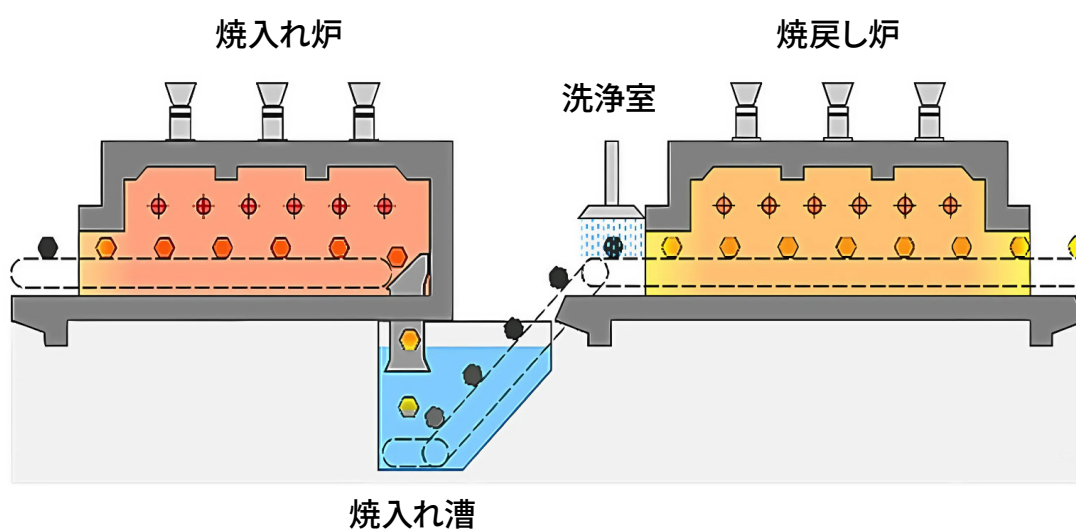
焼入れ後の鋼が脆くなる原因は、鋼の組織が全てマルテンサイト変態を経ず、一部がオーステナイトのまま残っていることです。そのため、焼戻しでは焼入れ後の鋼を再度加熱し、全ての組織をマルテンサイトに変化させることで、硬度を維持しつつ、粘り強い鋼を得ることができます。焼戻しには、低温焼戻しと高温焼戻しの2つの方法があります。

低温焼戻しは、150～200℃で保持時間は1時間です。このプロセスにより、硬くて脆い焼入れマルテンサイトが粘りのある焼戻しマルテンサイトに変化します。また、焼入れによるストレスが取り除かれるため、耐摩耗性や割れなどの問題が防止され、経年劣化にも強くなります。

高温焼戻しは、強靱性が必要なシャフトや歯車類、工具類の製造に用いられます。この処理は、550～650℃の高温で約1時間加熱した後、空気で急冷されます。同時に、焼入れで残っていたオーステナイトがマルテンサイトに変化するため、さらに1回焼戻しを行います。

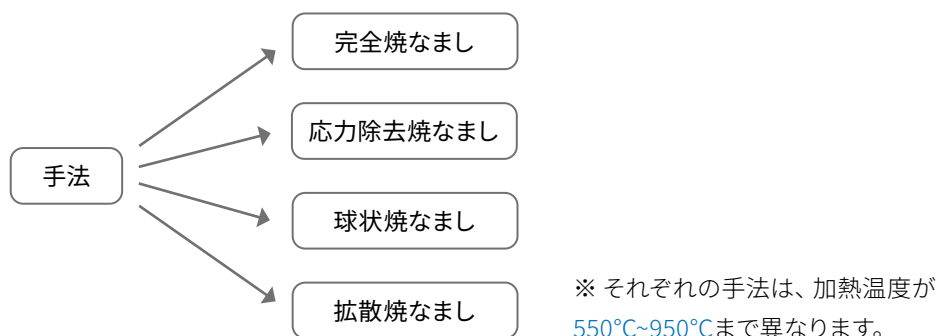
低温焼戻しは硬度を下げずに安定した性能を得るために用いられ、一方で高温焼戻しは靱性を向上させる目的で採用されます。どちらの場合も、加熱後は約1時間程度高温を維持し、その後空気中で冷却されます。

メッシュベルト形炉の構造



焼なまし

焼なましは、鋼を柔軟で容易に加工できるようにするために使用される手法です。このプロセスでは、鋼を加熱し、その後炉に入れたまま一定の時間冷却させます。この方法は一般的に「焼鈍」または「アニーリング」とも呼ばれます。焼なましにはいくつかの異なる手法があります。



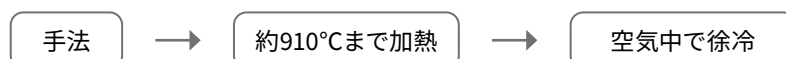
鋼を時間かけて冷却することで、その組織がパーライト構造に変化し、柔軟性が向上します。この均一な組織構造により、加工が容易になり、品質向上と加工ムラの防止に寄与します。

市販の加工用鋼は通常、焼なまし処理が施された状態で販売されていることが多いです。ただし、鋼の種類によっては焼なましを行っても十分な硬度の低下が得られない場合があるため、焼なまし後の硬度を確認することが重要です。

焼ならし

焼ならしは、加工によって発生した残留応力や素材の歪みを解消するための熱処理手法です。このプロセスは一般的に「焼準」や「ノーマライジング」とも呼ばれています。焼き入れと同様に、約910℃まで加熱された後、空气中で徐冷することが特徴です。急激な冷却を行わないため、硬度は変わらず、均一で密度の高いパーライト構造が得られます。

鋼の組織が徐々に均一に整う中で、残留応力や素材の歪みが解消され、加工の容易さや機械的な強度の向上が実現します。



固溶化熱処理・析出硬化処理

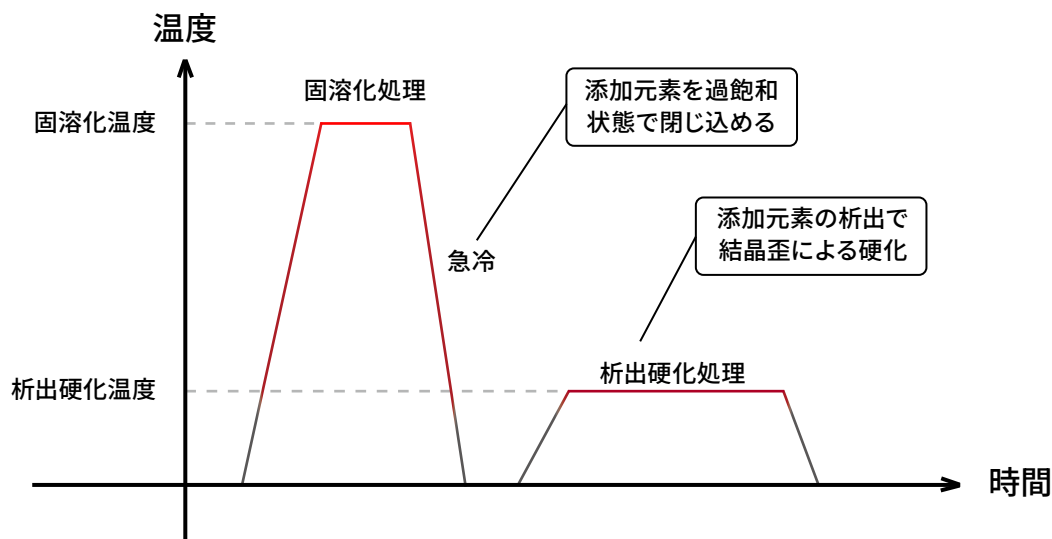
固溶化熱と析出硬化処理は、金属材料の強度や耐久性を向上させるための重要な熱処理法です。**固溶化熱処理**は、金属合金内の固溶体中の溶質原子を均一に溶解させる過程です。これにより、合金中の溶質原子が均一に分散し、材料の結晶格子構造が安定化します。

典型的な固溶化熱処理は、金属を高温に加熱し、溶解体積内で溶質原子が溶け込むようにします。その後、急冷することで溶解体を急速に固化させます。この過程により、金属の強度や耐久性が向上し、同時に機械的特性が改善されます。

一方、**析出硬化処理**は、固溶化熱処理の後に行われる処理です。この処理では、固溶体中に溶け込んでいる溶質原子が、加熱によって析出し、微細な析出体を形成します。この析出体は、金属の結晶格子内で微小な障害を形成し、材料の強度や硬度を向上させます。

典型的な析出硬化処理は、固溶化された金属を比較的低い温度で長時間保持することで行われます。この過程で、溶質原子が結晶格子内に移動し、析出体を形成します。

両処理は、金属材料の微細構造を制御し、材料の機械的特性を調整するために重要です。また、適切な熱処理条件の選択や処理パラメーターの最適化が、材料の性能向上に不可欠です。言い換えれば、一定の温度以上で加熱して添加元素を十分に基地に溶解させた後、急冷することで溶解した元素を強制的に析出させる手法です。この手法は、ステンレス鋼やアルミニウム合金などに適用されます。

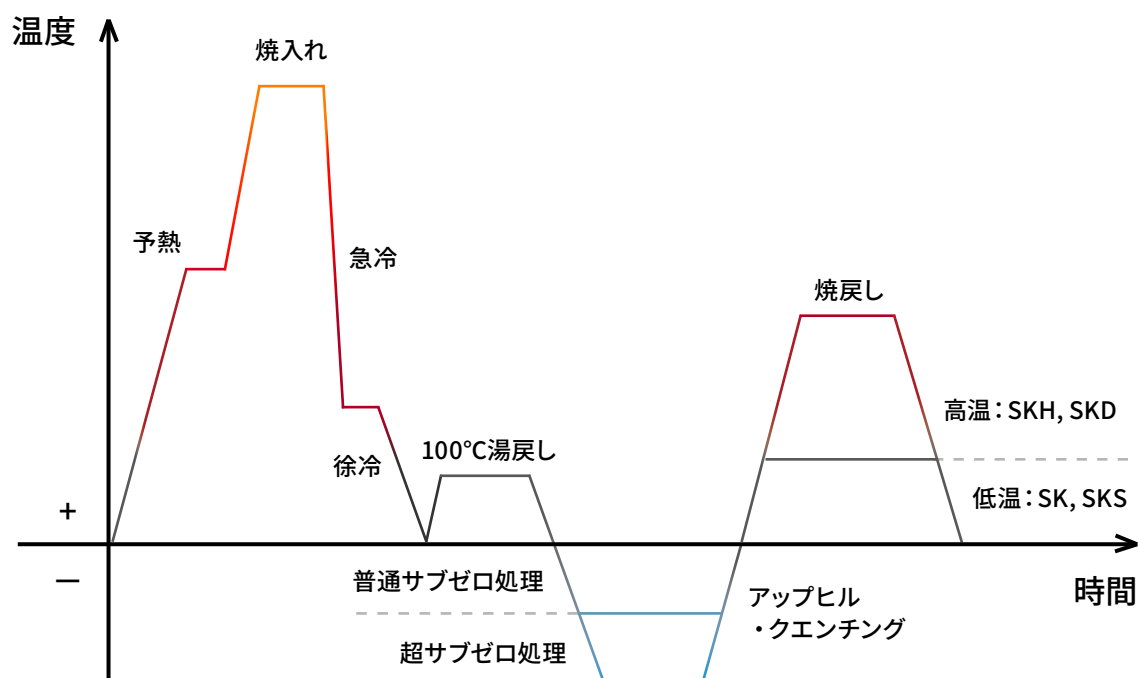


固溶化熱処理・析出硬化処理のプロセス

サブゼロ処理

鋼を非常に低い温度に冷却するプロセスです。これにより、鋼の組織が変化し、強度や耐久性が向上します。

特に、金属内の残留応力を軽減し、材料の寿命を延ばす効果があります。通常、 -100°C までのサブゼロ処理を通常のサブゼロと呼び、 -130°C 以下の処理温度を超サブゼロと呼びます。温度が低いほど耐摩耗性が向上します。



サブゼロ処理のプロセス

表面処理技術とその種類

まとめ

熱処理は、鋼の組織を変化させ、目的に合った硬度や靱性などを得るための加工手法です。それぞれの熱処理は加熱温度と冷却速度が異なり、微細な差異が鋼の特性に大きな影響を与えるため、高い技術力と豊富なノウハウが必要です。

このように、熱処理技術は材料工学において不可欠な要素であり、製品の性能向上や品質管理に寄与しています。各種の熱処理技術は異なる材料や製品に適しており、その理解と適切な選択が製品の成功に不可欠です。熱処理技術の進歩は、材料工学や製造業において革新的な進展をもたらし、将来的な展望も期待されます。



さらに詳しいサポートが必要、
または特別なリクエストがある場合は、
www.bossard.co.jp からお問い合わせください。