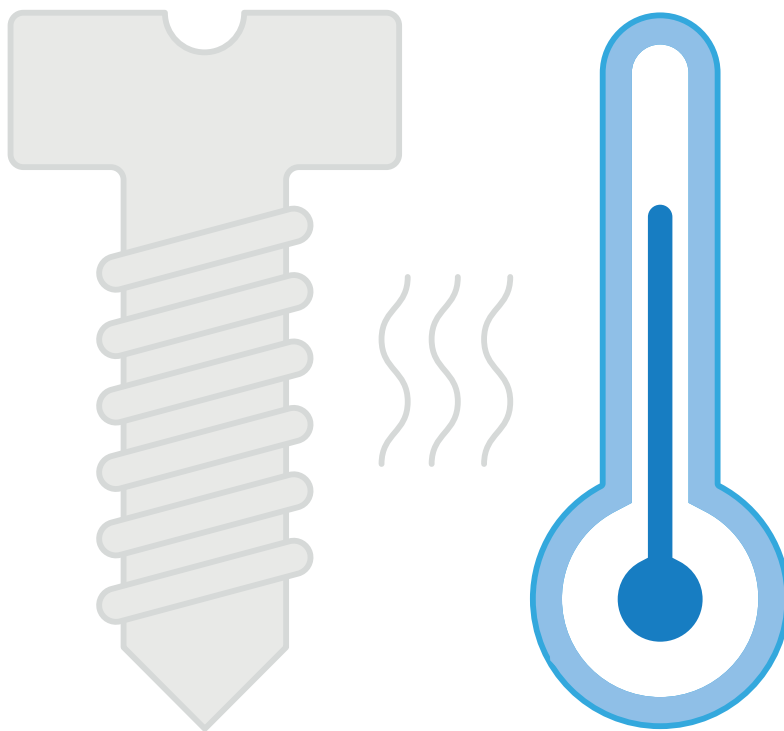




ファスナーの熱処理

ホワイトペーパー

ファスナーの熱処理

ファディ サリビ

ボサードエキスパートチーム

ボサードカナダ

www.bossard.com

All rights reserved © 2023 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、その使用に適していると承認される必要があります。



ASSEMBLY
TECHNOLOGY
EXPERT

ファスナーの熱処理

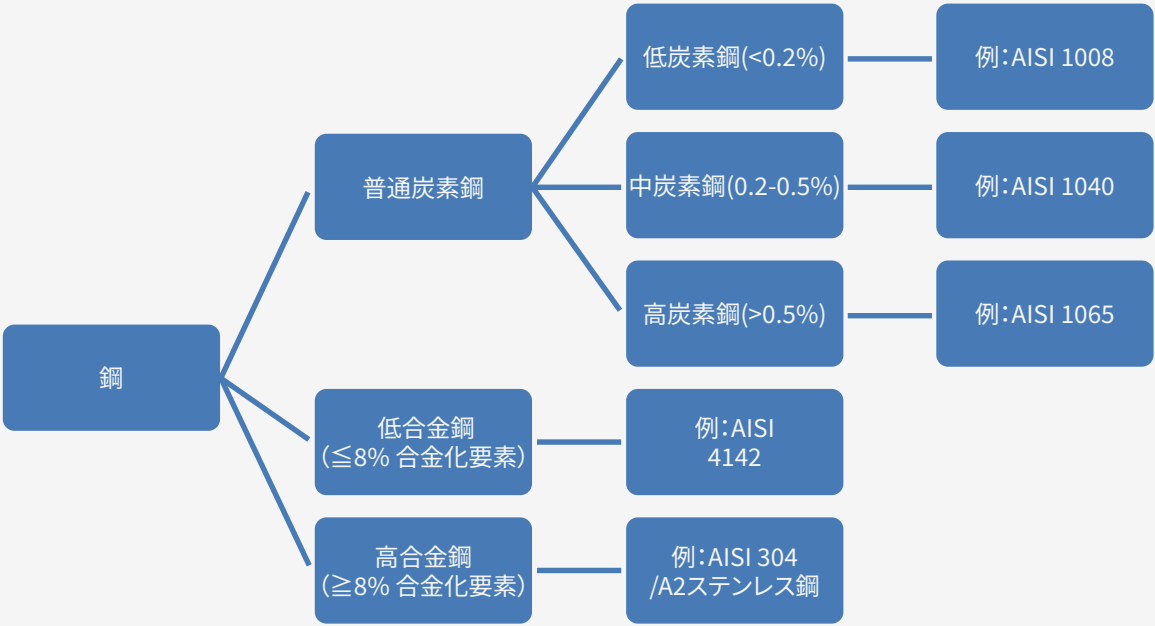
まえがき

ファスナーは様々な材料から製造されます。材料の選択は用途と環境によって決定されます。鋼とステンレス鋼は最も一般的な材料ですが、アルミニウムおよびその他の非鉄合金もよく用いられます。適切な機械的特性を得るためには、それぞれの材料に応じた異なる工程が必要です。熱処理は、機械的強度、延性、靱性を向上させるために使用される工程であり、一部の合金では耐食性を向上させます。以下のセクションでは、使用前に熱処理が必要な材料の例をい

くつか取り上げます。

鋼（スチール）

ファスナーの製造で最も使用される材料は、炭素鋼と合金鋼です。鋼は次のように分類されます。

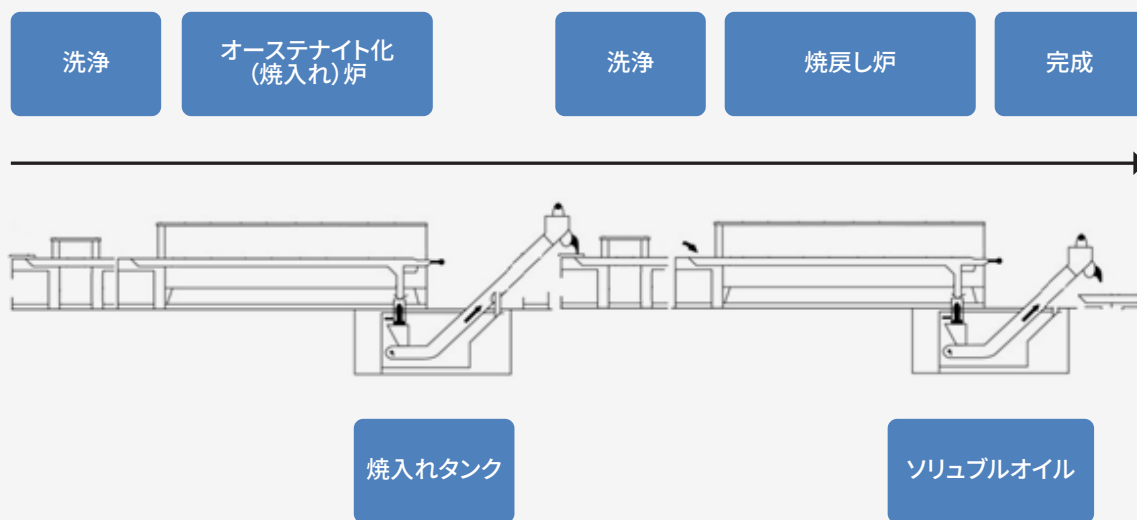


鋼のクラス

ファスナー製造の前に、冷間圧造を容易にするために鋼線の熱処理が行われます。これは球状化处理（球状化焼なまし）と呼ばれ、鋼を柔らかくし、冷間成形を改善し、金型コストを削減します。ファスナーが形成されると、機械的変形により使用される鋼の強度がわずかに増加しますが、高強度の仕様で規定されている特性クラスおよび強度区分（強度区分8 / 強度区分10.9 / 強度区分12.9）を満たすことはできません。

成形されたファスナーは、続いて2段階の熱処理工程を行います：

オーステナイト化（焼入れ）および焼戻し



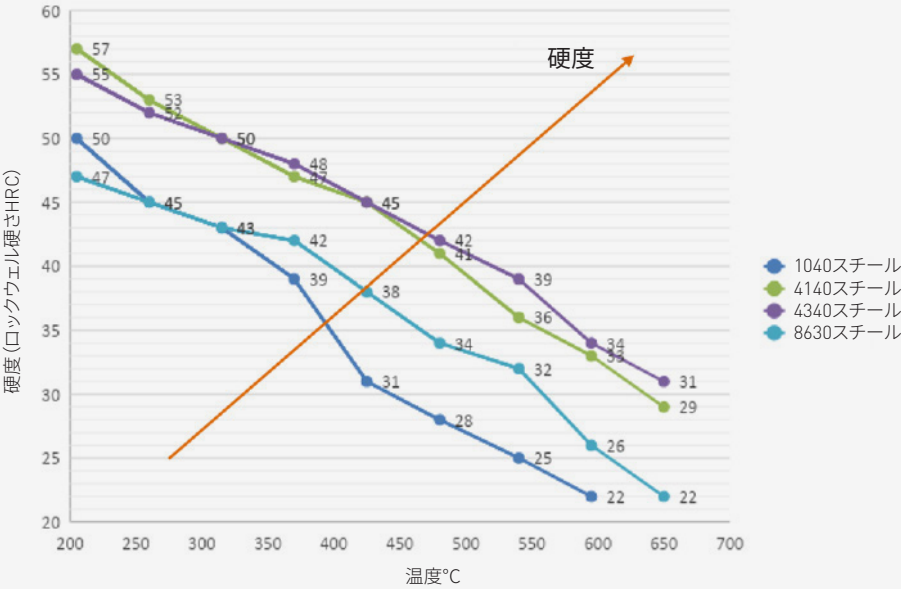
オーステナイト化（焼入れ）および焼戻し工程

これは産業界で最も一般的な熱処理工程です。オーステナイト化（焼入れ）工程では、通常815～870℃でファスナーを加熱し、一定時間熱を加えた後急冷して、マルテンサイトと呼ばれるより硬く強い微細構造を生成します。最も一般的な焼入剤はオイルまたは水です。マルテンサイト構造は、以下の特徴を生み出します：

- より高い強度
- 残留応力
- 低延性
- 低靱性

その後、焼戻し熱処理が行われます。焼戻しにより、ファスナーの硬度がわずかに低下、延性が向上、靱性と寸法の安定性が向上します。焼戻し温度と時間を調整することにより、必要な硬度が得られます。図1は、4種類の鋼の最終硬度に影響を与える焼戻し温度の例をいくつか示しています。必要な最終硬度は、焼戻し温度と時間によって制御されます。

様々な鋼に対する焼戻し温度の効果 (2時間後)



焼戻し温度効果 (出典: ASMハンドブック: 第4巻 – 熱処理)

ステンレス鋼

ステンレス鋼は、クロム含有率10.5%以上の鉄ベースの合金として分類されます。これらは次の5つのタイプに分類できます (ISO 3605-1)。

タイプ	主成分	特徴
オーステナイト ステンレス鋼	クロム16%以上 ニッケル6%	耐熱性・耐食性
フェライト ステンレス鋼	15～18%クロム 低炭素	適度な耐食性
マルテンサイト ステンレス鋼	10.5～18%クロム 最大2.5%ニッケル	高強度・適度な耐食性
二相 ステンレス鋼	19～26%クロム 1～8%ニッケル 最大4.5%モリブデン	オーステナイト系より高強度・高耐食性
析出硬化 ステンレス鋼	11.75～17%クロム ニッケルおよび/またはアルミニウム	高強度・優れた耐食性

オーステナイト系

SUS304 (18-8、A2)やSUS316 (A4)などのオーステナイト系は、熱処理によって硬化させることはできません。このタイプのステンレス鋼は、冷間鍛造やねじ転造などの製造工程でのみ硬化します。この硬化工程を冷間加工と呼びます。ただし、腐食特性の回復と溶接などの他の製造工程の残留応力を除去する目的のために熱処理が行われることもあります。冷間加工は透磁率を高めるため、低透磁率を必要とするものについては、冷間加工の影響を除去する目的で熱処理を行うことがあります。

フェライト系

SUS430のようなフェライト系は、冷間加工ではわずかししか硬化できません。このタイプのステンレス鋼は熱処理によって強度が向上することはありません。ただし、製造中の冷間加工工程は延性を低下させるため、それを回復するために完全な焼なまし処理が必要になります。

マルテンサイト系

SUS410、SUS431、SUS440A/B/C/Fなどのマルテンサイト系は、炭素鋼や合金鋼と同様に熱処理されます。これらには油冷、空冷処理が施されます。

二相系

SAF 2205® (UNS S31803/ JIS: SUS329J3L)などの二相系は、高強度（一般的なオーステナイト系ステンレス鋼の2倍の降伏強度）と塩化物応力腐食割れに対する耐食性が要求される場合に使用されます。これはフェライト系とオーステナイト系の2相ステンレス鋼で、焼なましがなされています。

析出硬化系

析出硬化系には、低炭素マルテンサイト系、セミオーステナイト系、オーステナイト系の3タイプがあります。各タイプには、必要な機械的および腐食特性を実現するため、それぞれの熱処理方法を用います。析出硬化は、材料の強度を高める熱処理で、アルミニウム、チタンなどの他の合金にも処理が可能です。

アルミニウム

アルミニウム合金は、非熱処理と熱処理可能に分類できます。非熱処理アルミニウムには、1000、3000、4000、5000シリーズがあります。これらのほとんどは、冷間鍛造とねじ成形の加工硬化により強度が得られます。ひずみ率が上がると強度が上がります。

熱処理可能なアルミニウム系列 2000、6000、7000 シリーズは、目的の機械的特性を得るために、固溶化処理（溶体化処理とも言う）と急冷の後、析出効果処理（時効硬化）が必要です。固溶化処理は、化合物を形成することなく合金原子をアルミニウム原子の間に配置します。以下は最も一般的なタイプの合金と熱処理です。

合金と焼戻し	熱処理 ¹	結果硬度 (HRB) ²	引張り (MPa) /降伏 (MPa) / 伸び (%) 最小 - 機械加工試験片 ²
2024-T4	495°Cで固溶化処理、そして自然時効硬化（室温）	70-85	427/275/10
6061-T6	530°Cで固溶化処理、そして160°Cで人工時効硬化	40-50	290/241/10
7075-T73	490°Cで固溶化処理後、特殊人工時効硬化（2段階：107°C+177°C）	80-90	469/386/10

チタン

チタン合金は、腐食防止、強度、軽量化が重視される場合に使用されます。チタンの比重はグレードに応じて幅がありますが、同等の強度を持つ鋼の40%です。これらの特性により、チタンは航空宇宙産業や自動車産業などにとって有用な素材です。グレード5はファスナーの製造に使用されている最も一般的なチタングレードの1つです。以下の表は、グレード5チタンの熱処理と機械的特性の詳細を示しています。

合金と焼戻し	熱処理 ¹	結果硬度 (HRB) ²	引張り (MPa) /降伏 (MPa) / 伸び (%) 最小 - 機械加工試験片 ²
グレード5 (Ti-6AL-4V)	955～970°Cの間で1時間固溶化処理した後、水で急冷。その後480～595°Cで4～8時間、または705～760°Cで2～4時間の時効硬化	30-39 HRC	896/827/10

¹ ASMハンドブック: 第4巻

² ASTM F468

ニッケル合金

ニッケル基合金は、高い耐食性と耐熱性が要求される場合に使用されます。使用例として、航空機および陸上のガスタービンエンジン、極低温タンク⁵があげられます。以下に掲載するインコネル® 718は、ファスナーの製造に使用される合金の例です。この材料は、-250℃～700℃で使用可能です。

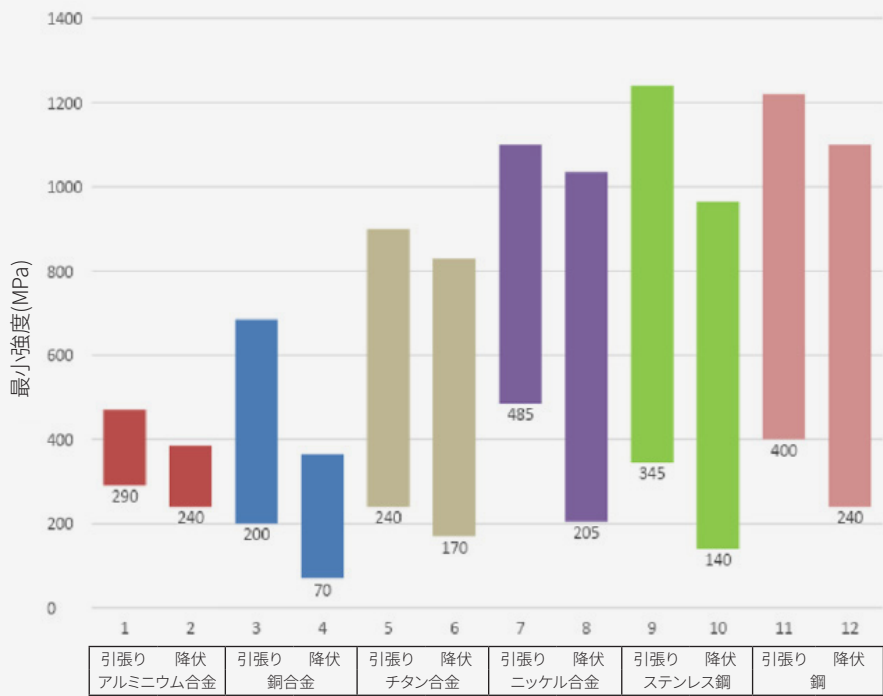
合金と焼戻し	熱処理 ¹	結果硬度 (HRB) ²	引張り (MPa) /降伏 (MPa) / 伸び (%) 最小 - 機械加工試験片 ²
インコネル® 718 (AMS 5662)	980℃で1時間固溶化処理した後、空冷で720℃まで時効硬化、その後8時間保持；炉は620℃まで冷やし、時効硬化サイクル全体が18時間になるまで保持；空冷。	331 HBW	1275/1034/12

³ ASMハンドブック: 第4巻

⁴ ASTM F468

⁵ <https://www.specialmetals.com/documents/technical-bulletins/inconel/inconel-alloy-718.pdf>

次のグラフは、合金別の最小強度範囲を示しています。



合金別最小強度範囲

目的の特性を得るためには、合金ごとに異なる熱処理が必要になります。ファスナーに使用される一部の合金は、そのまま使用できます。ただし、高強度特性が要求される用途では、ふさわしい熱処理を適切に行う必要があります。ファスナーの熱処理に関する詳細については、遠慮なくボサードにお問い合わせください。

参考文献：

1. ASMハンドブック: 第4巻
2. ASTM F468
3. ASTM F593
4. ISO 898-1
5. www.specialmetals.com



さらにサポートが必要な場合、
または特別な仕上げが必要な場合は、
bossard.co.jpからお問い合わせください。