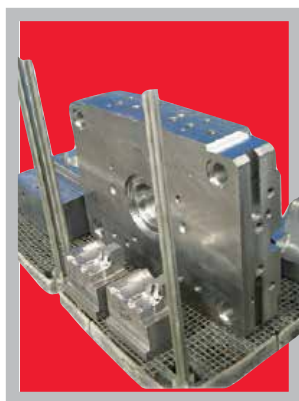


ASSAB

工具鋼の熱処理



本カタログは、工具鋼の熱処理方法とプロセス中の挙動に関する知識の提供を目的としています。

特に硬さ、靱性、および寸法安定性について記述しています。

工具鋼とは？

工具鋼は化学成分と製造プロセスを調整することで、成形材料の加工処理や成形に有効な特性を付与した高品質な鋼材です。工具鋼は0.1%から1.6%以上の炭素を含んでおり、多くの工具鋼はクロムやモリブデン、バナジウムなどの合金元素も含んでいます。

工具鋼はブランキング、プレス成形、プラスチック金型、ダイカスト、押し、鍛造などに使用されています。

合金設計や製造工程、熱処理は、工具鋼だけが提供できる優れた特性を持つ工具や部品を製造するための重要な因子です。

剛性、強度、耐食性や耐熱性等の特性は、純粋な工具とは異なる用途で必要とされることもあります。そのため、工具鋼は様々な産業の機能部品に対して、機械構造用鋼

よりも優れた選択支となり得ます。高性能な材料を使用することで、メンテナンスコストの低減や、部品の軽量化、高精度、信頼性の向上といった効果が得られます。

ASSABは主にプラスチック金型、打抜き、プレス成形、ダイカスト、押出、鍛造、木工産業、リサイクル産業および機械部品向けに使用される高合金工具鋼に特化しています。粉末(PM)鋼もこれに含まれます。

工具鋼は通常焼鈍し状態で納入されます。したがって切削工具による加工が容易で、焼入れに適したマイクロ組織となっています。

焼鈍しされた材料は、下の写真に示すように軟質な基地に炭化物が埋め込まれたマイクロ組織となっています。

炭素鋼中の炭化物は炭化鉄ですが、合金鋼中の炭化物は化学組成によって、クロム(Cr)、タングステン(W)、モリブデン(Mo)、バナジウム(V)の炭化物で構成されています。炭化物は、これらの合金元素と炭素の化合物であり、非常に高い硬さを有しているのが特長です。また、炭化物の含有量が高いと、耐摩耗性が高くなります。

また、工具鋼には基地に固溶して

炭化物を形成しないニッケル(Ni)やコバルト(Co)などの合金元素も使用されます。コバルトは通常、高速度鋼の赤熱脆性を改善するために使用されます。ニッケルは焼入れ性の向上と焼入状態での靱性向上を目的として使用されます。

焼入れと焼戻し

工具の焼入れでは、多くの因子により結果が左右されます。

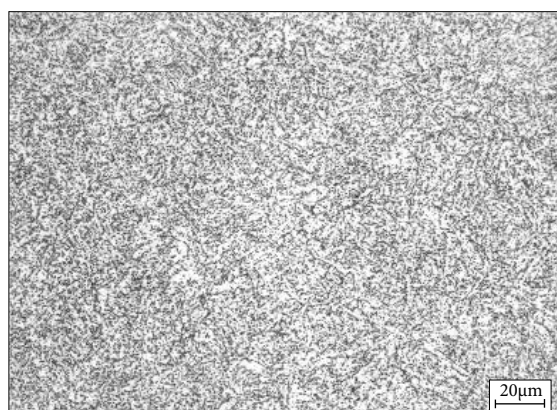
基本原理

焼鈍し状態の工具鋼では、炭化物を構成する合金元素の大部分が、炭化物中で炭素と結合しています。鋼材を焼入れ温度まで加熱すると、基地がフェライトからオーステナイトに変態します。つまり鉄原子が格子の中で位置を変え、違う結晶構造の新しい格子が発生します。

オーステナイトは合金元素と炭化物の固溶限度が高いため、炭化物が分解して一定量は基地に溶け込みます。このようにして基地は結晶粒を粗大化させることなく、焼入れ効果を与える炭化物構成元素を含んだ合金成分を獲得します。焼入れ過程で鋼材を十分に早い速度で

目次

工具鋼とは？	2
焼入れと焼戻し	2
寸法と形状の安定性	9
表面処理	10
機械的特性の試験方法	12
金型設計者へのアドバイス	13
焼入れ・焼戻し後の硬さ	14
硬さ換算表	15



Dievar焼鈍材のマイクロ組織

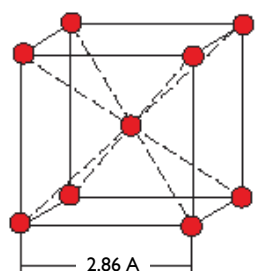
「ASSAB」の名称およびロゴは登録商標です。本カタログに掲載されている情報は、現時点での知見に基づき、製品とその用途に関する一般的な特徴を提供するものです。したがって、記載されている製品の特性値や特定の用途への適合性を保証するものではありません。ASSABの商品・サービスをご利用いただく場合には、その妥当性についてお客様ご自身で判断していただく必要があります。

Edition 20220525-2

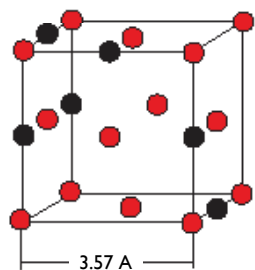
冷却すると、炭素原子が再配置される時間がなく、焼鈍のようにオーステナイトからフェライトが再形成されることはありません。炭素原子が狭いスペースに固定されるためミクロ的な応力が生じて、これが硬さの向上に寄与します。この硬い組織はマルテンサイトと呼ばれます。マルテンサイトはフェライトの中に炭素を強制的に固溶した組織と考えることもできます。

鋼材を焼入れた際に、基地が完全にマルテンサイトに变化するわけではありません。組織中には常にオース

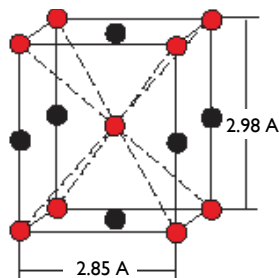
● = 鉄の原子
● = 炭素原子が可能な位置



フェライトの結晶構造
体心立方格子 (BCC).



オーステナイトの結晶構造
面心立方格子 (FCC).



マルテンサイトの結晶構造
正方晶

テナイトの一部が残存し、これは残留オーステナイトと呼ばれます。合金含有量が高く、焼入れ温度が高く、保持時間が長く、冷却時間が遅いと残留オーステナイト量が増加します。

焼入れ後の鋼材のミクロ組織は、マルテンサイト、残留オーステナイト、および炭化物から構成されます。この組織には内部応力が存在し、割れが生じやすいです。これは、鋼を一定の温度まで再加熱して、応力を減少させ、残留オーステナイトを変態させることにより防止できます。効果の程度は再加熱の温度によって決まります。焼入れ後の再加熱を焼戻しと呼んでいます。工具鋼は、焼入れ直後に必ず焼戻しを行う必要があります。

低温焼戻しはマルテンサイトにのみ作用し、高温焼戻しは残留オーステナイトにも作用することに注意が必要です。

高温で一回焼戻しを行った後のミクロ組織は、焼戻しマルテンサイト、新しく形成されたマルテンサイト、残留オーステナイト、炭化物から構成されます。

高温焼戻しの時に二次(新しく形成される)炭化物の析出と新しく形成されるマルテンサイトにより、硬さが増加することがあります。これは高速度工具鋼と高合金工具鋼でよく見られる現象で、二次硬化と呼ばれます。

通常、個々の用途によって特定の硬さ水準が要求されます。それゆえ、望ましい硬さに調整するための熱処理パラメーターが選定されます。硬さはマルテンサイト中の炭素量、材料に含まれるミクロ的な応力、残留オーステナイト量、二次炭化物のような複数の要素が関係していることを考慮することが重要です。

これらの要素の組み合わせることで、同等の硬さレベルに調整するこ

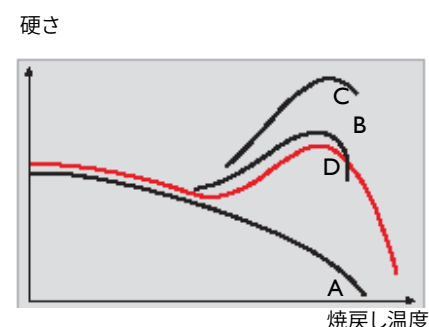
これらの要素を組み合わせることで、同等の硬さレベルに調整することが可能です。その組み合わせが熱処理サイクルとなりますが、硬さだけで全ての材料特性が決まるわけではありません。材料特性はミクロ組織によって決定し、ミクロ組織は熱処理サイクルに依存するものであり、得られた硬さには依存しません。

最終熱処理によって所望の硬さを得るだけでなく、材料特性を用途に応じて最適化します。

工具鋼は常に2回以上の焼戻しが必要です。2回目の焼戻しは、1回目の焼戻し後の冷却中に新しく形成されたマルテンサイトを焼戻します。

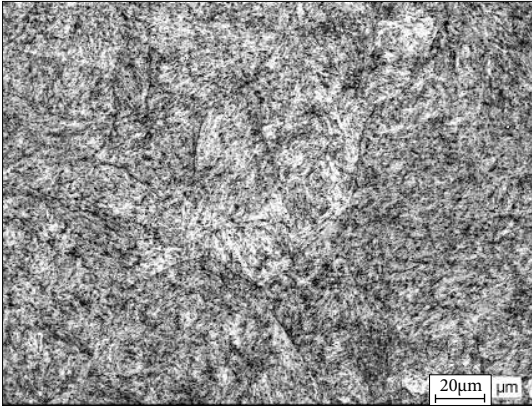
次のような場合には3回焼戻しを推奨します。

- 炭素含有量の高い高速度工具鋼 炭化物の析出
- 複雑形状の熱間工具鋼, 特にダイカスト金型
- プラスチック成形に使用される大型金型
- 高い寸法安定性が要求される場合(ゲージ類や半導製造用の金型)



A = マルテンサイトの焼戻し
B = 炭化物の析出
C = 残留オーステナイトからマルテンサイトへの変態
D = ハイスおよび高合金鋼の焼戻し曲線
A+B+C = D

この図は各種の因子が二次硬化に及ぼす影響を示します。



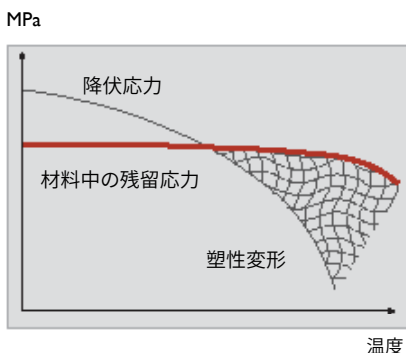
Dievar, 熱処理組織

応力除去焼なまし

粗加工された状態の金型では、焼入れによる歪みを考慮する必要があります。粗加工では、熱的応力と機械的応力が生じ、これらが材料中に残留しています。これは単純な左右対象形状の部品ではそれほど問題になりませんが、ダイカスト金型の片側のような非対称的で複雑形状などでは大きな問題となります。このような場合では、応力除去熱処理を推奨します。

応力除去熱処理は粗加工後、焼入れ前に実施し、550°Cから700°Cに加熱をします。材料全体が均一な温度になるまで加熱して、2~3時間保持した後、炉内等で徐冷します。徐冷する理由は、応力がない状態から温度に起因する新たな応力が発生するのを避けるためです。

応力除去焼鈍しにおいては、温度が上昇することで材料の耐力が低下して、内部応力に抵抗できなくなります。耐力を超えると応力が解放



され、大なり小なり塑性変形が生じます。

応力除去には長時間が必要だからといって、起こりうる結果を考慮すると、これを省略する理由にはなりません。焼入れした金型の寸法を仕上げ加工で調整するよりも、焼鈍し材を中仕上げで修正するほうが、例外的な場合を除いてコストがかかりません。

焼入れ前の適切な作業手順：
粗加工、応力除去、中仕上げ

焼入れ温度までの加熱

これまで説明した通り、材料中の残留応力は熱処理中に歪みを発生させます。これより加熱中の熱応力は避けなければなりません。

したがって焼入れ温度まで加熱する際には、毎分2~3°Cのようにゆっくり加熱するのが基本的な手順です。熱処理において加熱プロセスはランピングと呼ばれています。焼入れにおいてのランピング制御は数段階に分けて行われ、中間温度で保持します。一般に(段階)予熱と呼ばれています。これは表面部と中心部の温度を均一にするために行われます。標準的な予熱温度は600~650°Cと800~850°Cです。

複雑形状の大型材の場合、オーステナイト域の近傍で3段階目の予熱を行うことを推奨します。

焼入れ温度での保持時間

すべての加熱条件に対して簡潔かつ正確に説明することはできません。炉の種類、焼入れ温度、相対総重量、炉内に混載される個々の工具の形状等の要素を、チャージ毎に考慮する必要があります。

熱電対を使用することで、炉内の様々な場所にある各工具の温度を確認できます。

製品の中心部が狙いの温度に達した時点でランピングは終了します。その後は炉内温度を一定時間保持します。この時間が保持時間です。



熱電対の使用により熱処理中のエア毎の温度分布が得られる。
写真: voestalpine High Performance Metals CZ s.r.o.

通常、推奨保持時間は30分ですが、高速度工具鋼を1100°C以上で焼入れする場合には保持時間を短くします。保持時間が長過ぎると、結晶粒粗大化のようなマイクロ組織の問題が生じます。

冷却

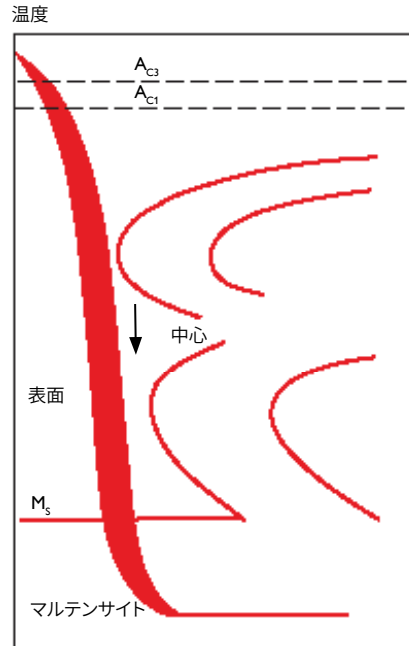
高速焼入れと低速焼入れの選択には、妥協点を見つけることが通常求められます。最良のマイクロ組織と工具性能を得るには高速焼入れが推奨されますが、歪を最小限に抑えるには低速焼入れが有効です。

低速焼入れでは表面と中心の温度差が小さくなり、断面内で厚さが異なる場合でも冷却速度がより均一になります。このことは、 M_s 点以下のマルテンサイト変態域を冷却する場合に特に重要です。マルテンサイトが形成されると、体積と材料内の応力が増加します。このために焼入れでは、室温まで冷却しないように通常50~70°Cまで冷却します。

しかしながら焼入れ速度が遅すぎると、特に断面積が大きい場合には、マイクロ組織に望ましくない変態が発生して、工具性能が低下する



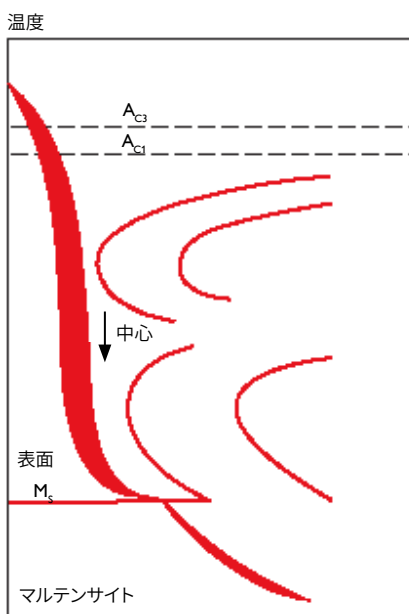
熱処理のバッチ準備
写真: voestalpine High Performance Metals CZ s.r.o..



CCT 曲線で焼入れプロセス表示

危険性があります。合金鋼に使用される冷却媒体は、油、ポリマー、空気、不活性ガスが一般的です。現在でもソルトバスは使用されていますが、環境上の理由から少なくなりつつあります。

油とポリマーは低合金鋼や低炭素工具鋼に通常は使用されます。空気焼入れは多くの場合、マンガン、クロム、およびモリブデンの複合添加により焼入れ性が優れた鋼材に使用されます。

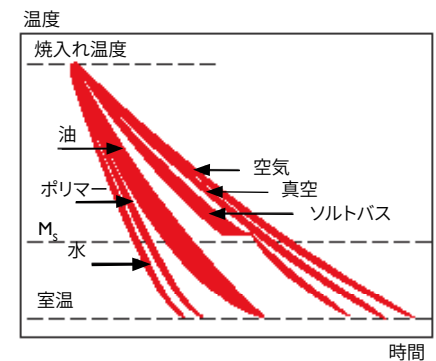


マルテンパーまたは階段焼入れ

歪みと焼割れの危険性は、段階焼入れ方法やマルテンパーにより軽減できます。これらのプロセスでは、2段階で焼入れを行います。最初に焼入れ温度から表面の温度が M_s 直上になるまで冷却します。その後、表面と中心の温度が均一になるまで保持します。この後は再度冷却します。この方法により、表面と内部がほぼ同じタイミングでマルテンサイト変態することができ、熱応力を軽減することができます。段階焼入れは真空炉でも可能です。

製品毎の最大冷却速度は、鋼材の熱伝導率、冷却媒体の冷却能、製品形状によって異なります。

冷却速度が遅いと製品の中心部では結晶粒界に炭化物が析出し、鋼



冷却媒体の違いによる冷却速度

材の機械的特性に悪影響を与えます。また、大きな部品の場合、小さな部品に比べ表面硬さ低くなる場合があります。これは大量の熱が中心から表面に流入することで自己焼戻し作用が発生するためです。

実用上の問題

鋼材は高温下において酸化し易く、炭素量にもバラツキが生じ易くなります。(浸炭または脱炭)。これらの問題は雰囲気熱処理や真空熱処理で解決できます。

脱炭は表面硬さを低下させ、割れの危険が高まります。

一方、浸炭では2つの問題が生じる可能性があります。

- 1つ目は容易に認識できる悪影響な硬化層が形成されることです。
- 2つ目は表面に存在する残留オーステナイトです。

残留オーステナイトは、光学顕微鏡で観察する際によくフェライトと混同されます。これら2つの相の硬さは同レベルであり、一見すると脱炭と思えたものが全く別の問題であることが起こり得ます。



グラファイト断熱材を使用した加熱室
写真: Schmetz GmbH Vacuum Furnaces, Germany

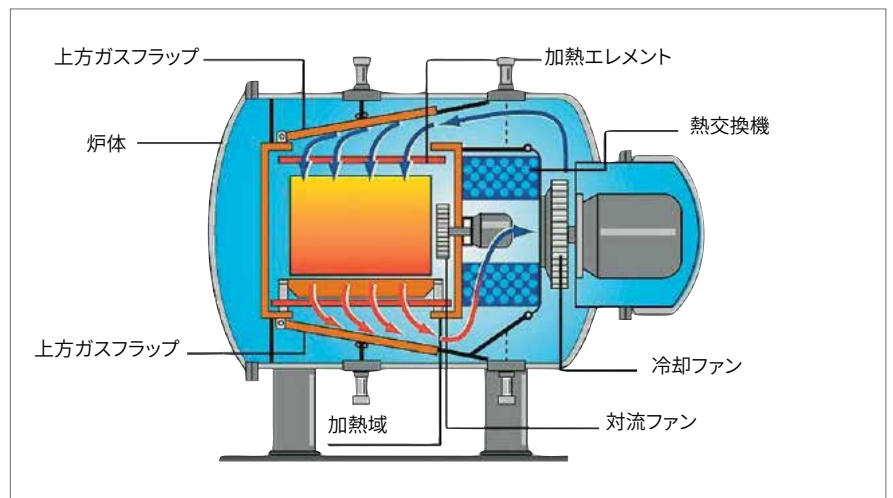
真空焼入れ技術

真空焼入れは、現在では高合金鋼の焼入れで最も一般的な技術となっています。

真空熱処理は清浄な工程なので処理後に処理品の洗浄が必要ありません。また高度に自動化された信頼性のあるプロセス制御が可能で、メンテナンスの頻度も少なく、環境にも優しい技術です。これら全ての

法が炉内温度を約850°Cに加熱する最も効率的な方法です。

- 炉内温度が約850°Cに到達すると、熱伝達プロセスにおいて放射の影響により対流の効果が少なくなります。そのため、窒素圧力を低くして放射による加熱を最適化します。この状態では対流の効果は無視できます。窒素圧力は1~7mbarとします。



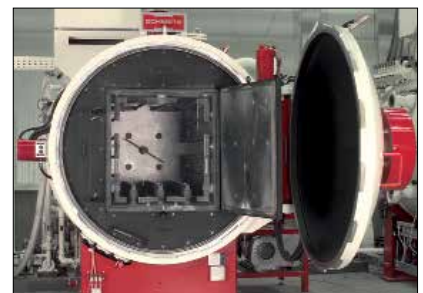
冷却プロセス、上下冷却 Schmetz GmbH Vacuum Furnaces, Germanyの図

要素により、真空熱処理は高品質な製品にとって特に魅力のある技術となっています。

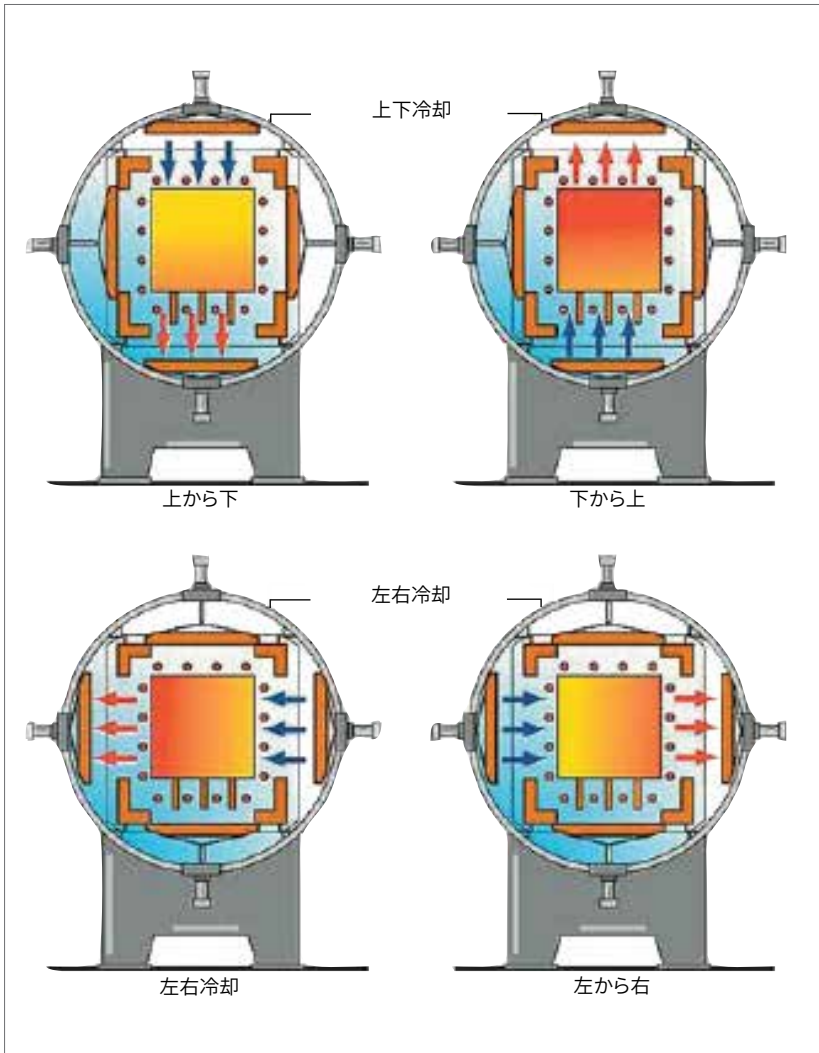
真空焼入れの手順の概略は以下の通りです。

- 装填後に扉を閉めた後、酸化防止のため加熱室内から空気を排気します。
- 不活性ガス(一般的には窒素)を約1~1.5barの圧力まで加熱室に導入します。
- 加熱システムが作動します。不活性ガスの存在が対流により熱伝達を可能にします。この方

圧力を僅かに残すのは、は合金元素の昇華を防ぐ、すなわち合金元素の損失を防止するためです。この低圧状態は、加熱プロセスの最後まで、焼入れ温度に保持している間も維持されます。



グラファイト断熱材を使用した加熱室
写真: Schmetz GmbH 真空炉, ドイツ.



冷却プロセス
窒素ガスが異なる方向から加熱チャンバーを
通過する。Schmeitz GmbH (ドイツ) から引用

- 冷却は加熱室に大量の不活性ガス(通常は窒素)を交互に方向を変えながら導入し、予め設定した圧力に達するまで行われます。最大加圧力は真空炉によって異なり、冷却能力の指標とされます。



操炉作業
写真: voestalpine High Performance Metals CZ s.r.o..

真空炉
写真: Schmetz GmbH Vacuum Furnaces, ドイツ.

焼戻し

材料は焼入れ後直ちに焼戻しを行う必要があります。冷却は50~70°Cになったら停止して、速やかに焼戻しを行います。すぐに焼戻しを実施できない場合には、焼戻しを待つ間、例えば特殊な高温キャビネット内で材料を保温しておく必要があります。

焼入れ後速やかに焼戻しができない場合、焼入れされたままの材料は応力を内在しており、結晶構造の破損やクラックにつながる点にご注意ください。結晶構造の破損は、激しい損壊を伴う場合があります。そのため焼戻しを極力早くする実施することは、製品の割れを防ぐだけでなく、作業者の安全の観点からも重要です。

ASSABには幅広い範囲での知見や実測データがあります。グラフ中で示しているように硬さ、靱性、変寸、残留オーステナイト量等のデータを収集しています。このようなデータを様々な鋼種に関して入手しており、焼戻し温度を正確に選ぶのに役立てています。

焼戻し温度を選定する際に最優先することは適切な機械的特性にすることと仕上げ加工ができるよう歪を少なくすることです。

焼戻し後の機械的特性と物理的特性は焼戻し温度に強く依存します。高温焼戻しでは低温焼戻しに比べて残留オーステナイト量が少なくなります。そのため材料は優れた圧縮強度と寸法安定性が得られます。(使用中および表面処理中)

高温焼戻しをすると違いが顕著になる特性は他にもあり、熱伝導率がその一例です。

2次炭化物の析出は高合金鋼に高温焼戻しを行った際に発生します。

これにより耐食性は低下しますが、耐摩耗性は若干向上します。放電加工や表面処理実施時には高温焼戻しは必須です。

焼戻しは何回行うべきか？

工具鋼では通常2回焼戻しが推奨されますが、断面積が大きな製品や複雑形状を持つ製品、もしくは高い寸法安定性が要求される製品では通常3回焼戻しが必要です。

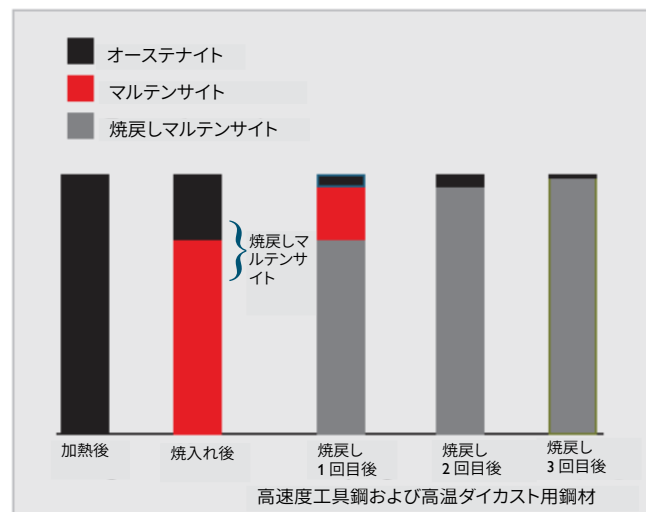
焼入れの基本的なルールとしては50~70°Cで焼入れは終了します。

そのため一定量のオーステナイト

が焼戻し前には変態していません。焼戻し後の冷却において、大半のオーステナイトは新たに焼戻しされていないマルテンサイトに変態します。2回目の焼戻しにより、材料に狙いの硬さと適度な靱性が与えられます。

焼戻しの保持時間

多くのケースで適用できる一般的なルールがあります。工具全体が熱せられたら最低2時間は保持しなければいけません。



熱処理での各プロセスによる相割合の評価



熱処理直前のアルミニウムリムの下型ダイス
写真:
voestalpine High Performance Metal
Anonim Sirketi

寸法と形状安定性

工具鋼の焼入れと焼戻しによる歪み

工具鋼が焼入れと焼戻しされる時には反りと歪みが発生します。このことはよく知られており、焼入れ前に仕上げ加工のための取り代を残すことで、焼入れ・焼戻し後に研削等で適切な寸法に調節できるようにするのが一般的です。

歪みが発生する原因

原因として材料中の応力が挙げられます。

応力は

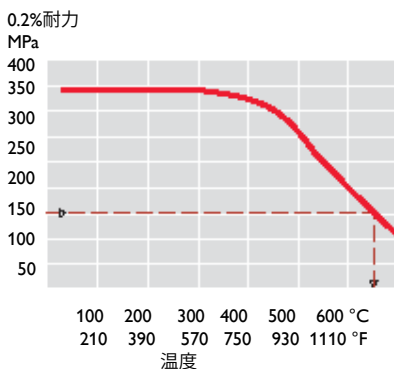
- 加工応力
- 熱応力
- 変態応力

に分類することができます

加工応力

加工応力は旋盤、フライス、研削のような機械加工、または冷間加工中に発生します。

製品中に蓄積された応力は、加熱中に解放されます。加熱により強度を低下し、局所的な歪みが発生して応力が解放されます。これが全体的な歪みにつながる可能性があります。



軟化焼鈍時のASSAB 8407 Supremeの降伏応力の温度影響

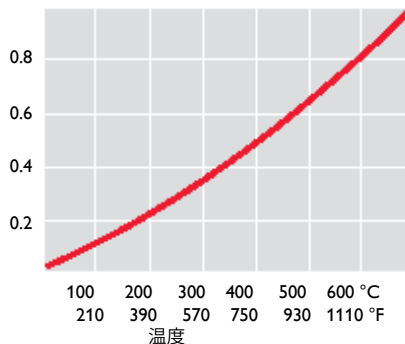
焼入れ時の加熱中に生じる歪みを低減させるためには、応力除去を焼入れ前に実施すべきです。粗加工後に応力除去を実施することを推奨します。その後、焼入れ前の中仕上げで歪みを調節することができます。

熱応力

熱応力は、材料中に温度勾配があると常に生じます。例えば温度が部品全体で均一でない場合です。

熱応力は加熱が急速な場合に増加します。不均一に加熱されると、体積膨張率も不均一になり、局所的な体積の違いが発生し、応力とひずみの発生原因となります。この問題を解決するためには、一般的に材料を段階的に加熱し表面と中心の温度を均等にします。

線形膨張 mm/100 mm



軟化焼鈍されたASSAB 8407 Supremeの線形膨張に及ぼす温度の影響

部品全体の温度が均等になるように、常にゆっくり加熱するように条件設定する必要があります。加熱に関する注意事項は、冷却時についても当てはまります。冷却中には非常に大きな応力が生じます。一般原則として、焼入れをゆっくり行うことができれば、熱応力によるひずみは小さくなります。しかし前述のように、焼入れを早く行った方が機械的性質は良くなります。

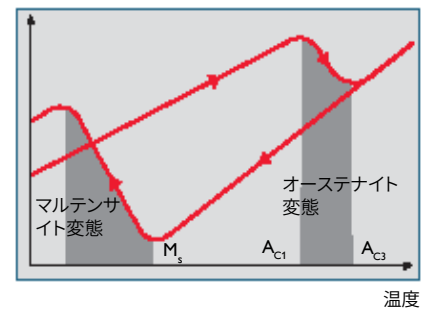
焼入れ媒体は、できるだけ均一に当てることが重要です。特に、衝風または保護ガス雰囲気(真空炉など)を使用する場合に注意が必要です。そうしないと工具内部の温度差により大きな歪が生じます。

変態応力

変態応力は、鋼材のマイクロ組織が変態する際に生じます。これは3つのマイクロ組織、フェライト、オーステナイト、マルテンサイトの密度、つまり体積が異なるためです。

熱処理中に発生する全てのマイクロ組織的な変態で変態応力は生じますが、最も影響が大きいのは、オーステナイトからマルテンサイトへの変態です。マルテンサイト変態では体積が増加します。速すぎる不均一な焼入れでは、マルテンサイト変態が局部的に発生して、その部位の応力が增大します。応力は歪の発生の原因となる他、焼割れの原因になることもあります。

Volume



組織変化に伴う体積変化

歪の低減方法

歪は以下の方法によって低減できます。

- 単純で対称形の設計とする
- 粗加工後に応力除去焼戻しを行い、加工応力を除去する。
- 焼入れ時の加熱はゆっくり行う。
- 適切な鋼種を使用する。
- 焼入れ速度は、適正なミクロ組織が得られる範囲で極力遅くする。
- 適切な温度で焼戻しを行う。

機械加工の取り代のガイドラインを以下に記します。

ASSAB 鋼種	機械加工の取り代 (長さと直径に対する割合%)
CALDIE	0.25 %
CALMAX/CARMO	0.20 %
CHIPPER/VIKING	0.20 %
ASSAB 88	0.25 %
ASSAB XW-42	0.20 %
VANADIS 4 EXTRA SUPERCLEAN	0.15 %
VANADIS 8 SUPERCLEAN	0.15 %
ASSAB PM 23 SUPERCLEAN	0.15 %
VANCRON SUPERCLEAN	0.20 %
CORRAX	0.05-0.15 %*
ELMAX SUPERCLEAN	0.15 %
MIRRAX ESR	0.20 %
STAVAX ESR	0.15 %
UNIMAX	0.30 %
DIEVAR	0.30 %
FORMVAR	0.30 %
ASSAB 8407 2M	0.20 %
ASSAB 8407 SUPREME	0.20 %
QRO 90 SUPREME	0.30 %
VIDAR SUPERIOR	0.25 %

* 焼戻し温度による

サブゼロ処理

工具中の残留オーステナイトは使用中にマルテンサイトへ変態します。その結果、局所的な歪が発生します。また、焼戻しされていないマルテンサイトの存在により工具は脆化します。

したがって、最大限に寸法を安定化させるためには残留オーステナイトをかなり低減させる、もしくはゼロにすることが求められます。これは焼入れ後にサブゼロ処理を実施するか高温焼戻しを行うことで達成できます。

サブゼロ処理では工具や部品を極低温に曝すことによって残留オーステナイトを低減します。一般的な処理温度は-80°Cと-196°Cです。低温焼戻しが行われている場合、サブゼロ処理をすることで硬さが1~2HRC上昇します。高温焼戻しが行われている場合、硬さは僅かに上昇するか全く上昇しません。高温焼戻しされた工具はサブゼロを実施しなくても残留オーステナイトの含有量は低く、多くの場合、寸法安定は良好です。但し、寸法安定性の要求が高い場合には、焼入れ後と各焼戻し後に液体窒素中でのサブゼロ処理を推奨します。焼戻しされていないマルテンサイトの存在を避ける

ために、最後には焼戻しを行う必要があります。

表面処理

窒化処理

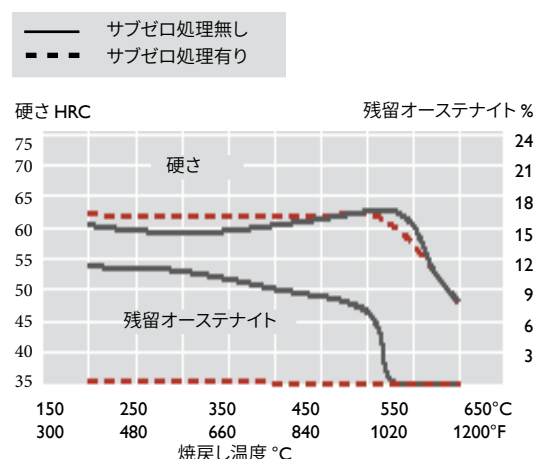
窒化処理では特定の物理条件下で部品を窒素に富んだ媒体に曝露させることで鋼材中に窒素原子を拡散させ、窒化物を形成させます。部品の表面は硬くなり、高い耐摩耗性が得られます。

クロムを多く含有するステンレス鋼の場合、窒化処理は材料の耐食性を悪化させるということを考慮することが重要です。それ以外の鋼種では、窒化処理により耐食性は向上します。

窒化処理に適した鋼材としてはクロムやアルミニウム、モリブデン、バナジウム等の窒化物形成元素を含む中炭素鋼が一般的です。

鋼材内部は機械的特性とミクロ組織に関して安定した基材として機能する必要があります。

窒化処理中に基材が軟化しないようにするために、熱処理された材料は窒化処理温度よりも高い温度で焼戻し温度をする必要があります。



ASSAB 88
サブゼロ処理の有無と焼戻し温度の違いによる硬さと残留オーステナイト

窒化表面は切削加工することができず、研削は可能ですがかなり困難であることは注意すべきです。また、窒化面については溶接補修も問題になります。

窒化処理はいくつかの種類がありますが、主に使用されるのはガス窒化、高圧窒化（真空炉内で実施）およびプラズマ窒化です。

通常の窒化技術には2つ問題点があり、それは基材が過剰に焼戻しされる可能性があることと、鋭利なコーナー部で窒化層が厚くなることです。

パルスプラズマ窒化は断続的にプラズマを部品に当てることで過剰な焼戻しのリスクを低減させる技術です。この処理では処理中に局部温度を高精度に制御可能です。

アクティブスクリーンプラズマ窒化もまた新しく開発されたプラズマ窒化です。この技術により形状に関係なく窒化層を均一にすることが可能になりました。

軟窒化

軟窒化は部品を窒素と炭素に富んだ状態にする処理で、それぞれの元素に富んだ雰囲気中に曝露することで行われます。この目的に適し

た雰囲気としてアンモニアガスと一酸化炭素もしくは二酸化炭素の混合ガス挙げられます。処理温度は550~580°Cで、処理時間は30分~5時間です。処理後は急冷します。

肌焼き

肌焼きは仕上げた部品を高温かつ炭素雰囲気中で処理する工程です。処理温度は850~950°Cです。この処理で通常厚さ0.1~1.5mmの高炭素含有層が形成されます。層が形成された後、部品の焼入れを行い、この層を高炭素含有のマルテンサイトへ変態させます。その結果、高い硬さが得られます。その後は焼戻しを実施する必要があります。

熱拡散処理

熱拡散処理ではバナジウムを材料へ拡散させ材料中の炭素と反応させ、バナジウムカーバイドへと変化させます。鋼材は最低でも0.3%の炭素を含有している必要があります。この処理は非常に高い耐摩耗性を付与します。

コーティング

工具鋼の表面処理は広く使用されるようになりました。この種の表面処理の一般的な目的は、表面に非常に硬く摩擦係数が小さい膜を形成し、耐摩耗性を高め、凝着やかじりのリスクを最小化することです。これらの特性を最適な状態で使用するには、高品質な工具鋼を選択する必要があります。

最も汎用的に使用されるコーティング方法:

- 物理的蒸着 (PVDコーティング)
- 化学的蒸着 (CVDコーティング)

プラズマ技術を利用したCVD処理 (PACVD) も利用されています。

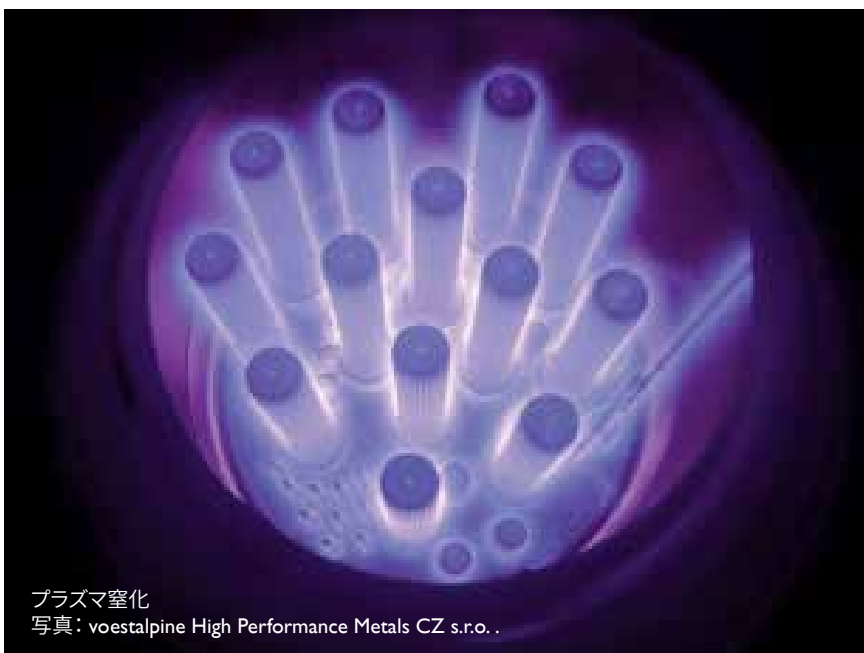


CVD TiC/TiN.

写真: voestalpine eifeler Coating GmbH.

めっき

クロムめっきやニッケルめっきは、プラスチック射出成形金型のような様々な金型用途に広く使用されています。めっきは殆どの鋼材に適用が可能で、焼付きやかじりを防ぎ、摩擦を低減し、表面硬さを向上させ、基材表面の腐食を防ぎます。



プラズマ窒化

写真: voestalpine High Performance Metals CZ s.r.o.

機械的性質の試験方法

鋼材の焼入れ-焼戻しを行うと、強度に影響を及ぼすので、それらの特性の測定方法を説明します。

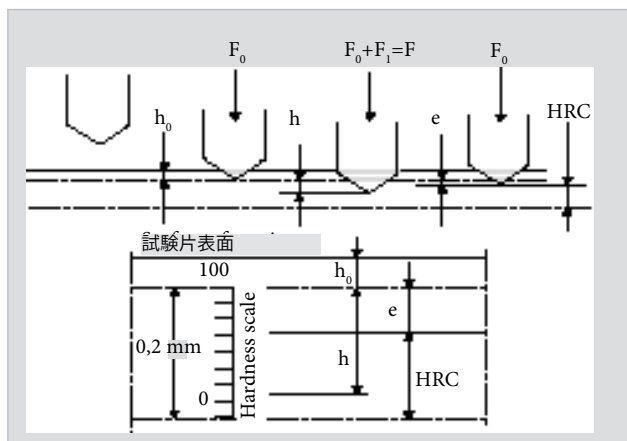
硬さ試験

硬さ試験は、焼入れの性能を調べる最も一般的な方法です。硬さは工具を焼入れする際に通常指定されます。硬さの試験は容易です。材料は破壊されず、測定機器は比較的安価です。最も一般的な方法はロックウェルC (HRC)、ビッカース (HV) およびブリネル (HBW) です。

「ヤスリでも削れないような硬さ」という古い言葉を思い出す必要があります。例えば60HRCを超える硬さが得られているかどうかを確認する場合には、丁寧にヤスリをかけることが良い指標を示してくれます。

ロックウェル (HRC)

この試験方法は焼入れされた材料には適していますが、焼鈍された状態の材料には適していません。ロックウェル硬さ試験では硬さを調べる試験片に対して、円錐状のダイヤモンドを、最初に荷重 F_0 で押し込み、次に荷重 F_0+F_1 で押し込みます。荷重を F_0 に軽減すると、 F_1 による圧痕の深さの増分 (e) が分かります。



ロックウェル硬度測定の実理

押し込み深さ (e) は硬さ値 (HRC) に変換されるので、試験機の見盛りまたは表示から直接読み取ります。

ビッカース (HV)

ビッカースは3種類の試験法の中で最も汎用性が高い試験法です。ビッカース硬さ試験では、頂角 136° の四角錐状のダイヤモンドを、荷重 F で硬さを測定する材料に押し込みます。除荷した後、圧痕の対角線 d_1 および d_2 を測定して、換算表から硬さ (HV) を読み取ります。

試験結果を報告する場合、以下の例に示すように、測定荷重と (必要に応じて) 荷重時間を示す添え字とともにビッカース硬さをHVとして示します。

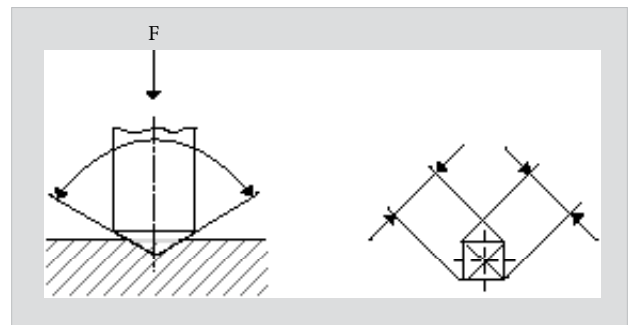
HV30/20=30kgの荷重を20秒間かけたビッカース硬さ

ブリネル (HBW)

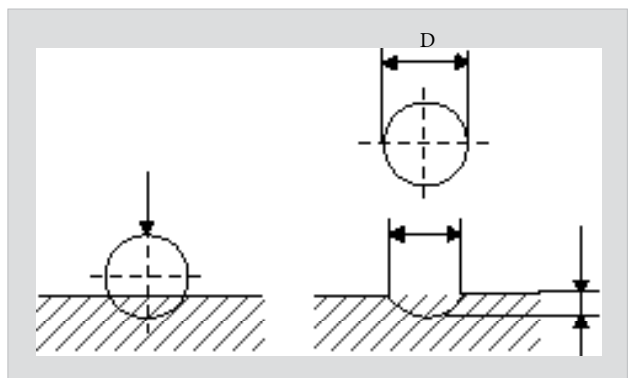
この測定方法は焼鈍し材や比較的硬さが低いプレハードン鋼に適しています。ブリネル硬さ試験では、硬さを測定する材料にタングステン球を押し付けます。除荷した後、圧痕の直径を直交する2方向 (d_1 および d_2) で測定し、 d_1 と d_2 の平均値から換算表のHBW値を読み取ります。

試験結果を報告する場合、以下の例に示すように、球の直径、試験荷重、および (必要に応じて) 荷重時間を示す添え字とともにブリネル硬さをHBWとして示します。

HBW5/750/15=直径5mmのタングステン球に750kgfの荷重を15秒かけたブリネル硬さ。



ビッカース硬度測定の実理



ブリネル硬度測定の実理

引張強さ

引張強さは、試験片を引張試験機に固定し、試験片が破断するまでの徐々に引張荷重を増加させて測定します。機械的性質としては、0.2%耐力Rp0.2と引張強さRmが通常記録されます。伸びA5と絞りZは試験片から測定されます。一般に硬さは降伏応力と引張強さに依存し、伸びと絞りは延性と韌性を示す指標と言われます。

降伏応力と引張強さが大きいと通常は、伸びと絞りの値が小さくなります。

引張試験は、構造用鋼に対して行われることが多く、工具鋼ではあまり行われません。



引張試験

硬さが55HRCを超える鋼材の引張試験を行うのは困難です。高韌性の工具鋼、特に高強度構造鋼として使用される場合に、引張試験が行われる場合があります。例えばASSAB 718 SupremeやASSAB 8407 Supremeがこれに該当します。

衝撃試験

材料を破断させるには、一定量のエネルギーが必要です。このエネルギーを使用して、材料の韌性を測定することが可能で、エネルギーの吸収量が大きいほど、韌性が良好であることを示します。最も一般的で、容易に韌性を評価できるのが衝撃試験です。剛性の高い振り子を既知の高さから自由落下させて、振り子軌道の最下点で試験片に打ち当てます。試験片を破断した後、振り子が移動した角度を測定し、試験片が破断される際に吸収されたエネルギー量を算出します。

衝撃試験にはいくつかの種類があります。試験方法によって試験片の形状が異なります。V字型のノッチのある試験片とU字型のノッチのある試験片が広く使用され、それぞれシャルピーV、シャルピーUと呼ばれています。

多くの場合、工具鋼は高強度のため韌性はかなり低くなります。韌性が低い材料では、ノッチ感受性が高いため、工具鋼の衝撃試験では平滑でノッチがない試験片がよく使用されます。試験結果は一般的にジュールもしくはkgm(厳密にはkgfm)で表示されます。J/cm²およびkgm/cm²も、特にUノッチシャルピー試験で使用されることがあります。



シャルピー衝撃試験機

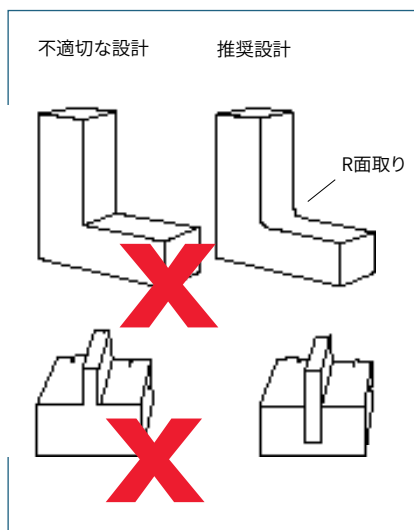
工具鋼設計者へのアドバイス

設計

避けるべきデザイン:

- 鋭利なコーナー
- ノッチ効果
- 断面内で厚さの違いが大きい

これらは、特に材料を冷却しすぎた場合や、焼戻しを行わずに放置した場合などに、しばしば焼割れの原因になることがあります。



熱処理

用途に応じて、適切な硬さを選択して下さい。特に、焼戻し脆性が発生する温度範囲に注意してください。

ひずみ発生リスクに注意して、推奨する機械加工の取り代を設けて下さい。

図面上で応力除去焼鈍しを指示するのは良い方法です。

焼入れ-焼戻し後の概略硬さ

ASSAB 鋼種	オーステナイト 化温度°C	各焼戻し温度でのHRC 2回×2)					
		200	250	500	525	550	600
CALDIE	1020	3 x 525°C*** 60		3 x 540°C 59		3 x 560°C 56	
CALMAX	960	59	58	53	53	50	43
VIKING	1010	59	57	59*	58	56	48
CORRAX	850 ²⁾	—	—	—	—	—	—
DIEVAR	1025	53	52	52*	—	52	47
ELMAX ³⁾	1080	59	58	60**	59**	58**	—
FORMVAR	1025	53	52	52*	—	52	47
IDUN	—	プリハードンの状態で納入					
ASSAB 718 SUPREME	—	プリハードンの状態で納入					
MIRRAX ESR	1020	—	50	52**	—	42**	36
MIRRAX 40	—	プリハードンの状態で納入					
NIMAX ESR ⁴⁾	—	プリハードンの状態で納入					
NIMAX ⁴⁾	—	プリハードンの状態で納入					
ASSAB 8407 SUPREME	1020	52	52	54*	—	52	46
ASSAB 8407 2 M	1020	52	52	54*	—	52	46
POLMAX	1030	53	52	54**	—	53**	37
QRO 90 SUPREME	1020	49	49	51*	—	51*	50 ⁵⁾
ROYALLOY	—	プリハードンの状態で納入					
ASSAB 88	1030	3 x 525°C*** 62		3 x 540°C 60		3 x 560°C 58	
STAVAX ESR	1030	53	52	54**	—	43**	37
ASSAB XW-42	1020	63	59	60	57	54	48
UNIMAX	1020	—	—	—	57***	55	49
VANADIS 4 EXTRA ³⁾		3 x 525°C***		3 x 540°C		3 x 560°C	
	1020 ⁶⁾	61		60		59	
	1150 ⁷⁾	64		64		63	
VANADIS 8 ³⁾		61		60		59	
	1180 ⁷⁾	64		64		63	
VANAX ³⁾	1080°C	60	—	—	—	—	—
VANCRON ³⁾	950–1150	3 x 540°C 57–65					
VIDAR 1 ESR	1000	54	53	55*	—	52	46
高速度工具鋼		3 x 560°C					
ASSAB PM 23 ³⁾	1050–1180	60–66					
ASSAB PM 30 ³⁾	1000–1180	60–67					
ASSAB PM 60 ³⁾	1000–1180	64–69					

* 焼戻し温度は焼戻し脆性のリスクがある温度は選定しないでください。

** Stavax ESR, Mirrax ESR, Polmax, Elmax は耐食性が減少します。

*** 高温焼き戻し時の一番低い温度は525°Cです。

¹⁾ 油焼入れ

²⁾ 固溶化熱処理、時効処理 525°C/4h~51 HRC 575°C/4h~44 HRC 600°C/4h~41HRC

³⁾ 粉末製法で作られた清浄度の高い工具鋼

⁴⁾ NimaxおよびNimax ESR は硬さを高くすることができません。靱性の低下を避けるため、焼戻しは実施すべきではありません。

⁵⁾ 650°C 2 x 2h: 42 HRC ⁶⁾ 高靱性重視 ⁷⁾ 耐摩耗性重視

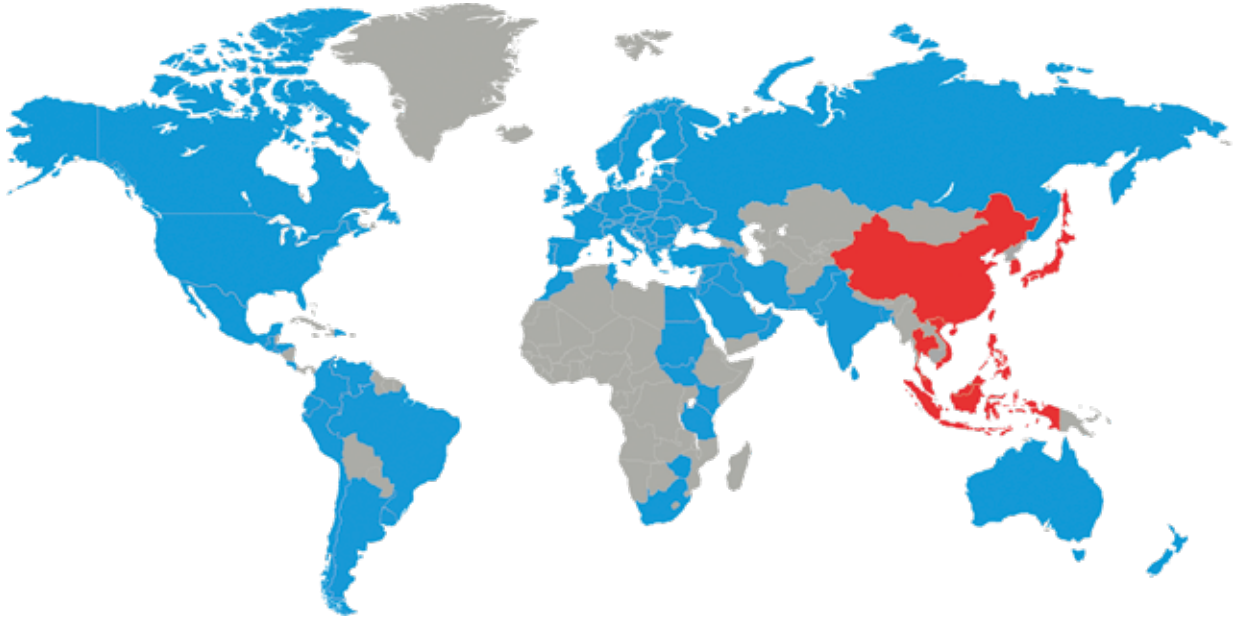
硬さ換算表

これらの換算はEN-ISO 18265:2013に基づいています。

硬さと引張強さの相関はおおよその目安です。

ロックウェル HRC	ブリネル* HBW	ピッカース 30 kg	参考引張強さ UTS	
			N/mm ²	kp/mm ²
26	259	273	873	89
27	265	279	897	92
28	272	286	919	94
29	279	294	944	96
30	287	302	970	99
31	295	310	995	101
32	303	318	1024	104
33	311	327	1052	107
34	320	336	1082	110
35	328	345	1111	113
36	337	355	1139	116
37	346	364	1168	119
38	354	373	1198	122
39	363	382	1227	125
40	373	392	1262	129
41	382	402	1296	132
42	392	412	1327	135
43	402	423	1362	139
44	413	434	1401	143
45	424	446	1425	145
46	436	459	1478	151
47	448	471	1524	155
48	460	484	1572	160
49	474	499	1625	166
50	488	513	1675	171
51	502	528	1733	177
52	518	545	1793	183
53	532	560	1845	188
54	549	578	1912	195
55	566	596	1979	202
56	585	615	2050	209
57	603	634	2121	216
58		654		
59		675		
60		698		
61		720		
62		746		
63		773		
64		800		

* 10 mm 球, 3 000 kg 荷重.



鋼材選びは非常に重要です。ASSABの販売・技術スタッフは、お客さまが用途に応じた最適な鋼材を選択し、適切な処理を行うサポートができるように努めております。

ASSABは高品質の鋼材を販売するだけでなく、最先端の機械加工、熱処理および表面処理サービスを短納期で提供することで、鋼材の特性を、お客様の要求に見合うように高めることに努めています。ワンストップ・ソリューションという包括的アプローチを用いることにより、他の工具鋼販売会社とは一線を画しています。

ASSABとUddeholmは五大陸全てに存在しています。これは世界中どこでも高品質な工具鋼が入手でき、関連したサービスが受けられることを意味すると同時に、私たちの工具鋼のリーディングサプライヤーとしての立場を揺るぎないものとしています。

詳しくは下記のサイトを参照して下さい。

www.assab.com

