

サブゼロと超サブゼロ処理

大和久重雄先生著「金型の熱処理ノート」より抜粋（日刊工業新聞社）

■サブゼロ処理の二法と超サブゼロ処理

サブゼロ処理には、(1)普通サブゼロ処理と、(2)超サブゼロ処理の二法がある。

(1)普通サブゼロ処理

−100℃までの処理（ドライアイス使用）

(2)超サブゼロ処理

−130℃以下の処理（液体窒素使用）

普通サブゼロと超サブゼロの学術的の区別は判然としないが、実用的には、−130℃を境にしている。超サブゼロ処理はCryo-treatmentといわれ、Cryo-tec、Cryotough、Ellenite、Perm-O-Bondなどの商標名で工業化されている。

超サブゼロ処理は、寒剤として液体窒素を使用する。液体窒素（−196℃）をつかう場合には、液体法とガス法の二法があるが、液体法が実用的で一般的である。図4.1の(a)は液体法、(b)はガス法の略図を示すものである。

超サブゼロ処理は、主として焼入れ部品に適用するのであるが、焼入れ直後に行なうと、サブゼロクラックを生ずることが多いから、100℃×1時間の湯戻しを行なってからサブゼロ処理をしないと、残留オーステナイト (γ_R) が安定化するからよくないといわれているが、安定化した γ_R (約5%) は却て耐衝撃性に好ましいものである。 γ_R の安定化を惧れて、焼入れ直後にサブゼロ処理をして割ってしまつてはなんにもならない。100℃×1時間の湯戻しはサブゼロクラックを防ぐ妙手であることを忘れてはならない。100℃の湯戻しをしておけば、いきなり液体窒素中に浸漬してもOKである。階段式に降温する必要はない。

液体窒素中に保持する時間の大小は重要でなく、超サブゼロ温度に冷やすということに意義があるのである。したがって、部品（ワーク）が−196℃になりさえすればよいのであって、保持時間は0でよい。部品が液窒（LN）温度になる時間は肉厚1mmにつき約1分を要するので、1インチ角 30 分のルールを採用するのがよい。長時間保冷しても悪いことはないが、不経済である。

サブゼロ温度から室温に戻すには自然解凍ではなく、水中または湯中に投入して急速解凍するのがよい。この急速解凍をアップヒル・クエンチング(up-hill quenching)という。このアップヒル・クエンチングによって急冷による残留応力 (σ_R) が解消、軽減されるので、耐摩耗、耐衝撃性に役立つのである。大気中放置による自然解凍などはすべきでない。急速解凍を活用すべきである。

超サブゼロ処理後は所定の焼戻しを行なうことはいうまでもない。ただし、この焼戻しも超サブゼロ後は繰り返し焼戻しの必要はなく、シングル・テンパで OK である。それは超サブゼロ−アップヒル・クエンチングによって、残留オーステナイト (γ_R) と残留応力 (σ_R) がほとんど解消されているからである。SKH と SKD11 のように焼戻硬化（2次硬化）を示す鋼種に対しても繰り返し焼戻しの必要はない。これは工程簡略化のうえからいっても大きなメリットになる。

図 4.2 は、著者が推奨する超サブゼロ処理の作業図解である。この方法の特徴は、

- (1)焼入れ直後100℃×1時間湯戻ししてから、サブゼロ処理する。
 - (2)サブゼロ温度から水中または湯中に投入（急速解凍）する。
- この二点である。この二点を守りさえすれば、超サブゼロ処理はうまくいくこと請合いである。

図4.1 超サブゼロ処理方法

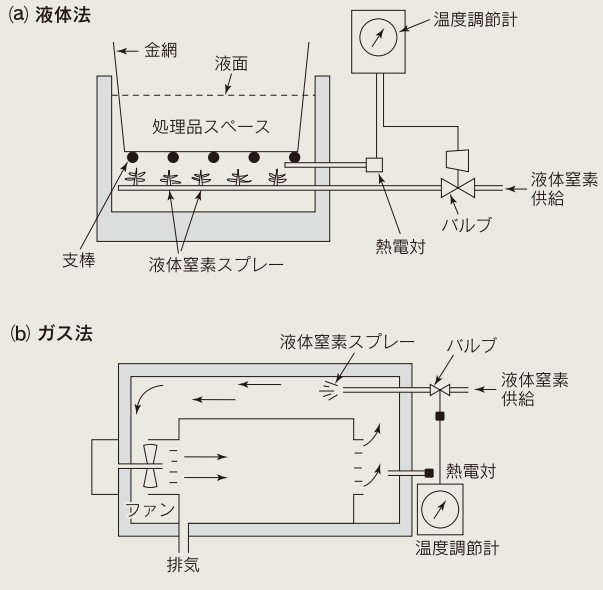
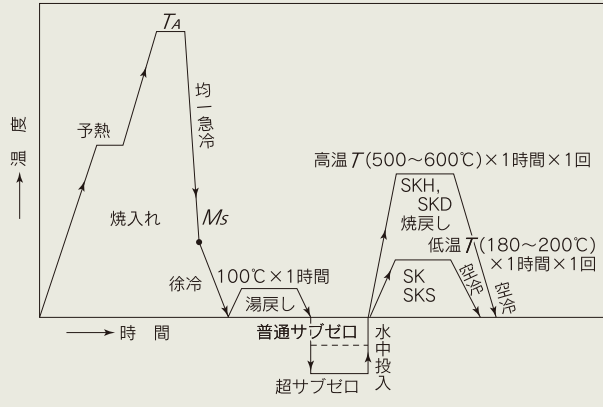


図4.2 超サブゼロ処理の作業図解



■超サブゼロ処理のメリット

鋼

焼入れした鋼には、残留オーステナイト (γ_R) と残留応力 (σ_R) が存在する。一般に (γ_R) はおよそ 300℃以上に焼戻しすれば消滅するし、(σ_R) はおよそ 450℃以上に加熱すれば消滅することができる。したがって、構造用鋼は 600~650℃に焼戻しで調質するから、サブゼロ処理を必要としない。これに対して、耐摩耗部品（浸炭部品、高周波焼入部品、SUJ、SK など）はおよそ 200℃の低温焼戻し、SKD11 や SKH は 500~600℃の高温焼戻し（焼戻し硬化）であるから、(γ_R) 対策、つまり、サブゼロ処理が必要となる。

超サブゼロ処理を行なうと、(γ_R) をほとんど全部マルテン化することができる。しかし、硬さは普通サブゼロと超サブゼロではあまり変わらないが、耐摩耗性は非常に変化し、大幅に増大する。

Dr. R. F. Barron の研究結果によれば、超サブゼロ処理によって、(1)残留オーステナイトは実質的には、ほとんど全部マルテンサイトに変化させることができる。

(2)普通熱処理品よりも、また普通サブゼロ処理品よりも、耐摩耗性が一段と向上する。

(3)組織の微細化と微細炭化物の析出が行なわれる。

(4)硬さは普通サブゼロ処理品とほとんど変わらない。

ということである。表 4.1 および表 4.2 は、各種工具鋼に対する普通サブゼロと超サブゼロ処理による硬さの変化と耐摩耗性の変化を示すものである。

また、図 4.3 は普通サブゼロと超サブゼロ処理による耐摩耗性の向上を示すものである。試験片のサイズはいずれも 10×10×65 mmで、摩耗試験は直径5インチ (125 mm) のアルミナのグラインダ(62rpm)に 431N の力で押押し、滑り速度 380 mm / 秒で 10 分間(M2のみは 30 分間)試験し、摩耗減量を秤量する方式である。

この結果によると、超サブゼロ処理による硬さは増加(表 4.1)は、普通サブゼロ処理に対してほとんど0で、僅かに A-2 (SKD12) のみが HRC で1ポイント増になっているにすぎない。しかし、耐摩耗性は超サブゼロ処理によって著しく向上し、普通サブゼロ品に対して約2~3倍 (非サブゼロ品に対して2~6.6倍)になる。つまり著しい耐摩耗性の向上が認められる。

表 4.3 は BOC 社による超サブゼロ処理(Cryotough)の結果³⁾を示すもので、耐摩耗性の向上(2~6倍)がよくわかる。同様な結果が日米の施工工場からも発表されている。

いずれにしても、超サブゼロ処理による耐摩耗性の向上を強調している。

超サブゼロ処理によって耐摩耗性が向上する理由として、J. Carbonare はつぎのように図説している。すなわち、超サブゼロ処理を施すと、工具は組織が均一微細化し、緻密な組織となる。これが硬さと粘さの原因となり、チッピングを起こさないようになる。

図 4.4 は工具の摩耗面の断面図で、(a)はサブゼロ未処理品、(b)は超サブゼロ処理品である。図から明らかなように、未処理品(a)の摩耗面は凹凸が激しく、したがって、再研磨代が大となる。これに対して超サブゼロ処理品(b)の摩耗面は凹凸が小さく、したがって、再研磨代が小となる。これが超サブゼロ品の使用寿命が長い理由といわれている。

なお、超サブゼロ品の再研磨はむしろ小さいことはなく、未処理

表4.1 サブゼロ処理による硬さの変化

鋼 種		硬 さ (HRC)		
AISI	JIS	普通サブゼロ (-85℃)	超サブゼロ (-196℃)	変 化
52100	SUJ 2	57.9	57.7	-0.2
D-2	SKD 11	62.4	62.3	-0.1
A-2	SKD 12	60.7	61.9	+1.2
M-2	SKH 51	63.1	63.9	+0.8
O-1	SKS 3	61.5	61.8	+0.3

表4.2 サブゼロ処理による耐摩耗性の変化

鋼 種		耐 摩 耗 性		
AISI	JIS	未サブゼロ	普通サブゼロ (-85℃)	超サブゼロ (-196℃)
52100	SUJ 2	25.2	49.3	135
D-2	SKD 11	224	308	878
A-2	SKD 12	85.6	174.9	565
M-2	SKH 51	1961	2308	3993
O-1	SKS 3	237	382	996

(注) 数字の大きいほど耐摩耗性が大きいことを意味する。

品とほとんど変わりはない。要すれば、超サブゼロ品は残留オーステナイト (γ_R) がマルテン化して硬さが上昇し、組織が均一微細化するため、耐摩耗性が向上するものと思われる。また同時に、残留応力 (σ_R) の軽減も耐摩耗性の向上に寄与していることはいうまでもない。

図4.3 サブゼロ処理による耐摩耗性の向上

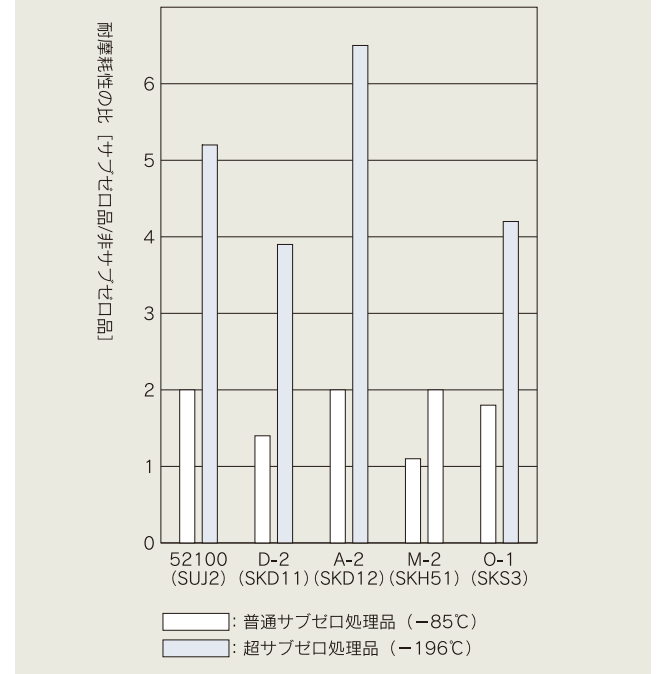


表4.3 超サブゼロ処理 (Cryotough) による耐摩耗性の向上率

工 員 名	耐摩耗性の向上率 [%]
熱 間 パ ン チ	600
パ ン チ	500
ス リ ッ タ ー ナ イ フ	400
サ イ ド ト リ ー マ ー	300
ロ ー タ リ ー シ ャ ー ナ イ フ	600
チ ョ ッ パ ー ナ イ フ	250
ペ ー パ ー ス リ ッ タ ー ナ イ フ	600
ス タ ン ピ ン グ ダ イ ス	400
切 削 工 具	400
ブ ロ ー チ	300
木 材 用 ハ ン ド ソ ー	250
ス リ ッ テ イ ン グ ソ ー	33
高 速 度 鋼 タ ッ プ	300
溶 接 用 銅 電 極	200

図4.4 摩耗表面の断面図

