

プラスチック金型用鋼の現状

館 幸生*

1. はじめに

金型は、「ものづくり」において素材（被加工材）を所望の形状・性状に加工するために不可欠な工具であり、成形方法、加工温度、被加工材などによって分類されている。成形方法では、プレス、鍛造、鑄造、ダイカスト、押出し、射出成形などがあり、加工温度では、冷間（室温～数百℃）、温間（～900℃程度）、熱間（～1200℃程度）に分けられている。被加工材においては、鉄鋼材料、銅・アルミニウム・マグネシウムなどの非鉄金属、プラスチック・ゴムなどの樹脂、ガラス・セラミックスなど様々である。これらを考慮して、金型は冷間金型用、熱間金型用、プラスチック金型用に分類されている。

金型に使用される材料（金型材料）もまた、多岐にわたっている。図1に、金型材料の分類¹⁾を示す。鉄鋼材料系ではJISで機械構造用鋼、工具鋼、ステンレス鋼に分類される特殊鋼が多用されている。非鉄材料の超硬合金、アルミニウム合金、銅合金なども用いられている。ただし、これらの中で最も多く利用されているのは、工具鋼である。

表1に、工具鋼のJIS規格鋼²⁾（JIS G 4401,4403,4404）および相当するAISI鋼種記号を示す。JIS規格において、工

具鋼は、炭素工具鋼、高速度工具鋼、合金工具鋼に分類されており、合金工具鋼はさらに、切削工具鋼用、耐衝撃工具鋼用、冷間金型用および熱間金型用と主要用途別に区分されている。

表1 工具鋼の規格と分類²⁾

| JIS 規格 | | | | AISI 相当鋼 |
|--------|--------|---------------------|---------------|------------|
| 番号 | 分類 | 用途 | 代表例 | |
| G 4401 | 炭素工具鋼 | ゲージ、各種金型 | SK105 | W1 |
| G 4403 | 高速度工具鋼 | Mo系溶製材 各種金型、切削工具 | SKH51 | M2 |
| | | Mo系粉末材 各種金型、切削工具 | SKH40 | — |
| | | W系溶製材 各種金型、切削工具 | SKH2 | T1 |
| G 4404 | 合金工具鋼 | 切削工具鋼用 | SKS3 | O1 |
| | | 耐衝撃工具鋼用 | SKS4 | (S1) |
| | | 冷間金型用 | SKS3 SKD11 | O1 (D2) |
| | | 熱間金型用 | SKT4 SKD61 | L6 H13 |
| — | — | プラスチック金型用 | — | P20 P21 |

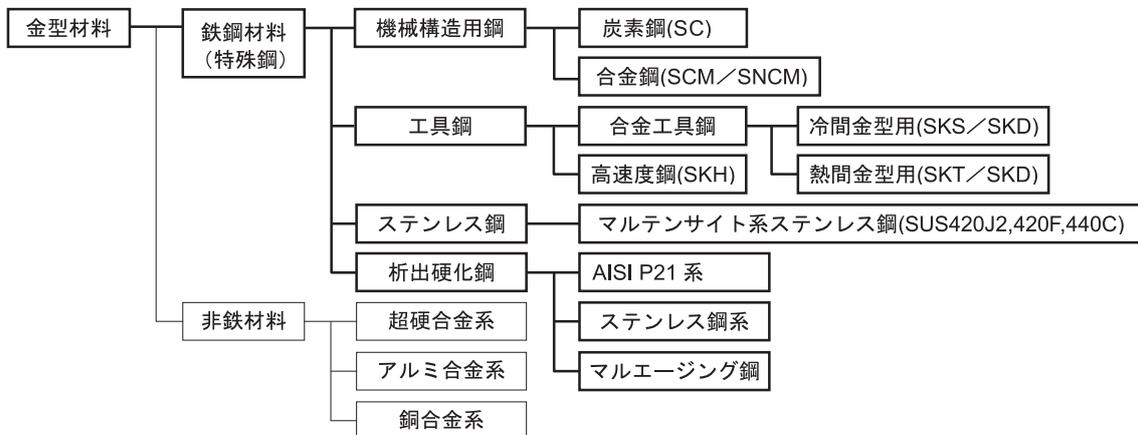


図1 金型材料の分類

* 研究・開発センター 高合金鋼グループ

前述したように、金型は、ほとんどの場合において、冷間金型、熱間金型、プラスチック金型に分類されており、それらに用いられる工具鋼（特に、合金工具鋼）も、冷間工具鋼、熱間工具鋼、プラスチック金型用鋼と呼ばれる場合が多い。ところで、冷間工具鋼と熱間工具鋼は、それぞれ10種類程度がJISに規格化されている一方で、プラスチック金型用鋼は規格化されていない。AISIにも、数種類の規格があるのみである（表1参照）。P20はSCM系であり、P21はSCr鋼とSMn鋼の中間鋼に4%程度のニッケル（Ni）と1%程度のアルミニウム（Al）を添加し、熱処理によりNi-Al金属間化合物を析出させて硬さを得る析出硬化系である。

プラスチック成形用の金型材料には、硬さ、耐食性、鏡面磨き性などの要求特性と製品製造コストに許容される金型費用の大きさに応じて、図1で示した機械構造用鋼から析出硬化鋼までの全ての鉄鋼材料から選択されて用いられている。図1の鉄鋼材料を、その主要な合金元素である炭素（C）とクロム（Cr）の含有量で整理してみると、図2のように表すことができる。さらに、高速工具鋼には、モリブデン（Mo）、バナジウム（V）、タングステン（W）などが多く含まれ、ステンレス鋼、耐熱鋼にはニッケルが含まれることがある。このように、多種多様な鋼種を適用しており、JISでは規格化されておらず、AISIでも規格鋼が少ないのは、プラスチック金型用鋼を一つの括りとして規格化することが困難なためと思われる。逆に、それぞれの鋼種が持つ特長を上手く利用して、プラスチック成形用の金型材料に転用していると言える。

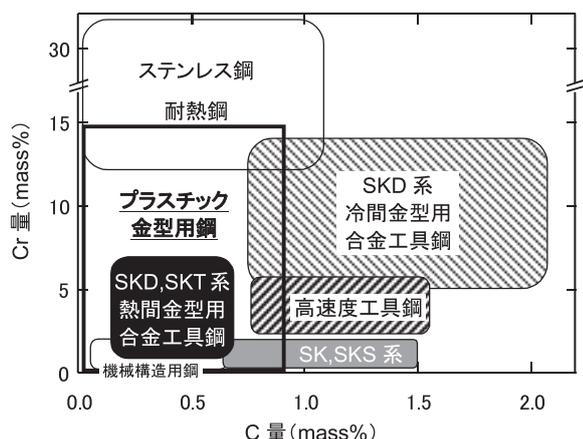


図2 C量-Cr量 (mass%) による金型材料の区分

2. プラスチック金型用鋼への要求特性

私たちの身の回りには、ありとあらゆる所にプラスチック製品が使用されている。自動車・航空機・列車などの輸送機械、家電、OA機器、光学機器、携帯電話、記録媒体用光ディスク、家具・建具、玩具、文房具、飲料・調味料・

洗剤用のボトルや食品容器・・・と、日常生活のあらゆる場面で接している。それらのプラスチック製品は、機械や装置の内部で普段は人目に触れない、或いは塗装を施すなど、製品・部品そのものの美観を重要視しないものから、自動車のヘッドライト部品、眼鏡やカメラなどのレンズ、DVDなどの記録媒体用光ディスクのように、透明度や平滑度が重要でキズがあってはならないものまで、要求される表面性状品位の幅は広い。また、プラスチック製機械部品の多用化により、ガラス繊維や炭素繊維を添加した繊維強化プラスチックや、耐熱性向上のために難燃剤を添加したエンジニアリングプラスチック（エンプラ）やスーパーエンプラといった高機能なプラスチック素材の開発が進み、それらの素材を成形する金型には、これまで以上の特性が要求されている。

以下に、プラスチック金型用鋼に要求される代表的な特性を示す。

2.1 金型使用時の要求特性

2.1.1 耐摩耗性

金型材料が高硬さであるほど、一般論として耐摩耗性は優れる。耐摩耗性が不足すると、例えば、金型（射出成形機の可動型と固定型）の合わせ目が摩耗し、製品中に異物が混入する可能性が考えられるのと、摩耗して広くなった隙間に素材が入り込み、離型性（＝生産性）を阻害したり、製品にバリ・余肉が発生することで、工程が増加したり製品外観を損ねたりすることになり得る。

プラスチック金型材料に用いられる鋼材の硬さとしては、SC系の13HRC程度、SCM系の25～35HRC程度、P21タイプ析出硬化系の40HRC程度が一般的である。それ以上の硬さが必要な場合は、マルテンサイト系ステンレス鋼（50～56HRC）、SKD系工具鋼（45～60HRC）や粉末製高速工具鋼（60HRC以上）が適用される。近年では、繊維強化プラスチックの増加により、耐摩耗性の重要度が高まっている。

2.1.2 靱性

プラスチック金型には、割れに対する強さを表す靱性も必要な特性である。プラスチック製品は微細で複雑な形状が多く、小型部品も多い。従って、プラスチック金型には、それを反転した微細で複雑な型彫りが施されるので、応力集中による割れや欠けの発生が危惧される。さらに、それらの小さな欠陥から大割れに進展し、設備トラブルを引起す可能性もある。また、プラスチック金型は溶接補修が施工されるケースが多く、靱性が低いと溶接の熱影響により割れが発生する。これらのトラブル回避の為に、高い靱性が要求される。

靱性は、上記の耐摩耗性（＝硬さ）と相反する傾向が強いので、金型材料の選定時には留意が必要である。

2.1.3 耐食性

製作時や保管時などの取扱い状況によって、或いは、最近のプラスチックへの難燃剤の添加に起因して成形時に発生する腐食性ガスの影響により、金型表面は腐食される。腐食により表面性状（鏡面性の維持）が劣化すると、製品品質が低下し、腐食に起因した割れが発生して、短寿命となり、金型コストが上昇することも考えられる。また、特に射出成形において、製品品質を維持しつつサイクルタイムを短縮することが求められ、樹脂の流動性を損なわないために射出前に金型を予熱し、射出後はなるべく早く固化させるために金型を冷却することが行われている。そのため、金型の内部、成形面の下には、加熱冷却用の水（蒸気）路が設けられており、金型保管時に水分が残存しないように留意しないと、錆が生じる。

従って、耐食性もまたプラスチック金型に要求される重要な特性の一つとなっている。特に高耐食性が必要な場合は、ステンレス鋼系の金型材料が適用されている。

2.2 金型製作時の要求特性

2.2.1 被削性

13HRC程度～40HRCクラスで使用されるプラスチック金型用鋼の多くは、鋼材（未加工）の状態では硬さに調整されてユーザーに納入される。容積が大きな製品を対象とすると、必然的に金型の切削除去量が多くなる。また、先に述べた加熱冷却経路を多く設置しようとするれば、加工量が増加する。切削加工時間と切削工具費用を削減するために、金型材料の被削性向上が求められる。

定性的に、金型材料の硬さが低いほど被削性（工具寿命）は良く、同じ硬さの場合、靱性が高いほど被削性が悪い（切削抵抗、摩擦発熱が大きく、工具寿命に悪影響）と考えられる。被削性改善目的として、硫黄（S）などの快削元素を添加した金型材料も開発されている。ただし、快削元素は、鋼中に介在物を形成することで切削抵抗を低減させており、従って、鏡面性を阻害し、また、靱性も低下させる。

2.2.2 鏡面性

鏡面性とは、字の如く、鏡のように平滑に磨き上げることが出来る度合いを言う。DVDなどの記録媒体用光ディスクや眼鏡などのレンズを成形する金型には、極めて平滑な表面粗さが求められる。ピンホールなどの凹みや研磨面のうねりの存在は、これらの製品には全く好ましくない。

鏡面性を阻害する要因の一つは、非金属介在物である。鋼材に混在する非金属介在物は、一般に基地組織に比べて硬いものが多く、研磨の過程で磨き残り、脱落してピンホールを形成する。

もう一つの要因に「偏析」が挙げられる。鉄鋼材料には、溶解～凝固の過程において、結晶成長に起因してミクロ的に合金元素が濃化する「偏析」が生じる。凝固後の鋼塊は、

鍛造や圧延により所定の形状に熱間加工され、熱処理を経由して提供される。一般的には、鋼材の鍛造・圧延方向に平行に、偏析帯が形成される。偏析帯は合金元素の濃化部であるため、周辺に比べると非金属介在物や炭化物、金属間化合物などの析出物が多くなりやすく、周辺よりも若干硬くなりやすい。そのため、研磨時にうねりが生じる。

従って、鏡面性の向上には、清浄度の改善（非金属介在物の低減）と偏析の軽減が必要となる。これらに対しては、ESR（Electro Slag Remelting）やVAR（Vacuum Arc Remelting）といった特殊溶解法の適用が有効である。特殊溶解法は、通常の大気溶解法で製造した鋼塊を再溶解・再凝固させる手法である。これにより、鋼材中の不純物は除去低減され、非金属介在物は低減かつ微細分散され、鋼材の清浄度が向上する。また、再凝固時には、凝固組織の微細化により偏析も軽減される。特殊溶解法により再溶解した鋼材をダブルメルト材と呼ぶこともあるが、記録媒体用光ディスクのように、極めて高い鏡面度が要求される場合には、特殊溶解を繰返したトリプルメルト材の適用も行われている。

2.2.3 シボ加工性

“シボ”は、漢字で「皺」と書き、これは“シワ”とも読む。皮革製品の加工で、皮にシワ模様を付けることを「皺（シボ）をつける」と言い、織物の縮緬（ちりめん）の凹凸模様のことも「皺（シボ）」と言う。古くは、鎌倉時代の烏帽子の凹凸模様もシボと呼んだらしい。これらのことから、布や皮革製品に凹凸やシワ模様を付けることをシボ加工と呼び、それらの模様をシボと呼んでいる^{3),4)}。転じて、プラスチック製品に革模様や梨地模様などを付けること、また、そのために金型に反転模様を加工することをシボ加工と言う。

金型にシボ加工を施す方法の一つにエッチング法（化学腐食法）がある。成形品に付与したい模様の逆パターンで金型表面をマスキングし、エッチング液に浸漬することで、マスキングしていない箇所が浸食溶解されマスキングした箇所が凸で残る。均一なシボ加工を得るためには、偏析が少なく、均質なミクロ組織を有することが求められる。ESR材やVAR材は大気溶解材に比べて偏析も改善されるので、より優れたシボ加工性を有している。

2.2.4 溶接性

金型は、溶接補修されるケースが多い。熱間のハンマー鍛造金型やダイカスト金型では、損傷箇所周辺を除去し、肉盛溶接補修を施して元の形状に復元する。プラスチック金型も同様の処置も行うが、それ以上に、新規製品の生産立上げ段階において、湯流れ改善などの設計変更に伴い、溶接補修が頻繁に行われている。成形面を溶接補修した場合は、切削加工後に再度鏡面磨きやシボ加工が行われる。

この場合、熱影響部を含む溶接部と周辺との硬さや組織の変化があると、鏡面磨きやシボ加工の仕上がりが悪くなる。鏡面性やシボ加工性の要求が比較的高い金型に用いられている析出硬化系工具鋼（P21系）は、硬さ変化を発生させない為に溶接材料には共金を用いている。ただし、溶接による入熱の影響で、溶接部周辺には軟化が生じる。そのため、溶接補修後には再度熱処理（時効処理）を行い、硬さレベルを一様に戻す必要があり、金型材料には、均一な硬さが得られることが求められる。

また、ステンレス鋼やSKD系合金工具鋼に代表される高合金鋼の溶接補修の場合、適正な予熱と後熱を実施しないと、溶接割れを起こすので、留意が必要である。

3. 各種プラスチック金型用鋼の特徴と主な用途

図3に、各種プラスチック金型用鋼の対応可能な鏡面レベル（仕上砥粒のメッシュNo.）と鋼材硬さの関係を示す。一般的には、高硬さ材ほど高品位の鏡面仕上げが実現可能である。SC系、SCM系およびSKD系は、通常の大気溶解法で製造されているものが多い。析出硬化系やSUS系は、ESRなどの特殊溶解法で製造される場合が多い。また、45HRC程度を境界として、それ以下は予め調質して提供されるプリハードン鋼であり、それよりも高硬さになると、金型製作の途中工程で焼入焼戻しを実施する。プリハードン鋼の利点は、金型メーカーでの熱処理が不要で、金型製作のリードタイム短縮を可能にする。また、熱処理前後の歪みや変形の心配も少ない。焼入焼戻し鋼では、耐摩耗性や靱性などの機械的特性、或いは、特に優れた鏡面性が得られることにおいて、プリハードン鋼よりも優れている。

以下に、プラスチック金型に使用されている各種鋼材の特徴と主な適用を示す。

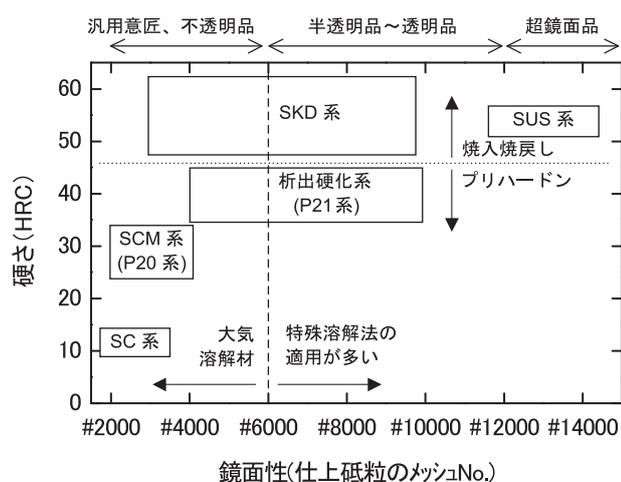


図3 各種プラスチック金型材料の鏡面性と硬さの関係

3.1 機械構造用炭素鋼（SC系鋼）

SC系鋼の長所は安価であることと、低硬さであるので比較的被削性が良好であることが挙げられる。従って、大型金型への適用にも、低コストで対応できる。しかし、低硬さであるために鏡面仕上げの品位は低く、Ni、Crの添加がないので耐食性も低いという短所を有する。

現状では、モールドベースへの適用が多い。モールドベースとは、固定側取付板、固定側型板、可動側取付板、可動側型板、スペーサーブロックなどを組合せて成り、実際に製品を成形する金型（キャビティ部）を取付ける構造部品のことを言う^{5),6)}。

成形金型に用いられる場合は、大型で表面性状をあまり重視しない、バンパー用金型などに用いられている。

3.2 機械構造用合金鋼（SCM系鋼）

SCM系鋼は、SC系鋼に比べてCr,Moが添加されていることから焼入性が良く、鋼材表面に対する内部の硬さ低下は比較的小さい。適用硬さは25～35HRC（30～33HRCが主流）とSC系鋼よりも高硬さで靱性も優れている。SC系鋼に次いで安価であることから、比較的大きな金型に用いられている。ある程度の鏡面性があり、汎用意匠品用の金型材料としても重宝されている。また、被削性向上の目的でSが添加（最大0.05質量%程度）されている鋼種が多い。ただし、最近では、#3000～#4000の鏡面仕上げでの自動車のヘッドライト、テールランプのレンズカバー用金型への適用が拡大しており、切削技術の向上の後押しもあることから、S添加量を低減し（＝非金属介在物を低減し）、鏡面性を向上させる動きも見受けられる。

3.3 析出硬化系鋼

析出硬化系鋼では、比較的低CでNi、Alおよび銅（Cu）を添加した鋼種が主流である。この鋼種は溶体化処理と時効処理と呼ばれる熱処理を施され、基地組織中に微細なNi-Al金属間化合物や ϵ -Cuを析出させることで硬さを得ている。先述したように、高硬さであるほど鏡面性は良くなるが、プリハードン材として切削可能限界に近い40HRC程度に調質されている。もちろん、プリハードン材の中では、最高位の鏡面性を有している。なお、多くの場合、ESRやVARにより清浄度を改善し、鏡面性の向上に寄与している。また、SCM系鋼よりも被削性に優れる利点も有する。

また、C量が少ないので溶接性が良好であり、溶接後の硬さ上昇が生じ難い。共金を使用し、溶接後に再度時効処理を行うことにより、母材（基の金型材料）、肉盛溶接金属および熱影響部の硬度差が解消されるため、溶接補修後の鏡面仕上げ品位やシボ加工品位もムラが抑えられる。

一方で、析出硬化系鋼は、比較的靱性が低いことが短所である。また、特殊溶解法の適用により製造コストが増加

するため、鋼材価格も高くなる。

3.4 ステンレス鋼

ステンレス鋼は、その金属組織により、マルテンサイト系、オーステナイト系、フェライト系ステンレスに大別されている。十分な硬さが得られることから、プラスチック金型には一般的にマルテンサイト系ステンレス鋼が使用されている。言うまでも無く、ステンレス鋼は耐食性に優れるので、成形面の耐食性が要求される金型に適用されている。使用中はもちろんのこと、保管時の発錆も抑制され、金型の長寿命化を可能にしている。冷却水経路の錆も抑制されることから、操業サイクルタイムの安定・短縮化にも好適である。

代表的な鋼種はSUS420J2系鋼であり、特に特殊溶解材は強度、靱性のバランスが良く、超鏡面仕上げが得られることから、光ディスクや精密機器部品用の金型として用いられている。

耐摩耗性の要求が高い場合はSUS440C系鋼が用いられており、炭化物を微細化し、均一分散させることで耐食性を向上させるために粉末冶金法による製造も行われている。

その他、被削性に重点を置く場合はSUS420F系快削鋼が使用され、高い耐食性要求に対しては、SUS630に代表される析出硬化型ステンレス鋼が選択されている。

3.5 SKD系合金工具鋼

SKD系としては、SKD61系熱間工具鋼とSKD11系冷間工具鋼の大気溶解材と特殊溶解材の双方が用いられている。SKD61系は靱性が優れていることから、大きな衝撃が負荷されたり、複雑形状で応力集中が生じたりする金型や金型部品に適している。コアピンなどが代表的な適用例である。

SKD61系は50HRC程度の硬さが限界であり、熱硬化性樹脂やガラス繊維などを多量に添加したエンブラを対象と

した場合には耐摩耗性が不足する。これに対し、SKD11系は60HRC以上の高硬さが得られるので、射出された素材が最初に衝突するゲート部をはじめとする、高い耐摩耗性が要求される金型や金型部品に適している。

図4に、ここまで挙げてきた各種プラスチック金型材料の簡単なまとめと用途の一例を示す。

3.6 高速度工具鋼 (SKH系鋼)

SKD11よりも高硬さの要求に対しては、SKH51などの高速度工具鋼（ハイス）や粉末冶金法により靱性を改善したSKH40などの粉末ハイスが用いられる。射出成形機のスクリーなど、機械を構成する部材としても用いられている。

3.7 マルエージング鋼

時効処理（エージング）によりマルテンサイト組織を得ることからその名が付いた、析出硬化鋼の一種である。低C-高NiベースにMo、Al、チタン (Ti)、コバルト (Co) が添加された組成で、55HRC程度の硬さが得られる。高強度高靱性の鋼種特性から、宇宙・航空機、CVT用金属ベルト、精密バネ、ゴルフクラブヘッドなど、多種多様に使用されている。プラスチック金型用途としては、高い鏡面性が得られることから光学レンズ成形用に用いられている。その他、高強度高靱性を活かして、薄肉部品や細径ピンにも適用されている。高価な合金元素を多く含有し、不純物低減目的で特殊溶解法を適用しているためコストが高く、難削材であることが欠点である。

4. 当社のプラスチック金型用鋼

3章で解説した各種プラスチック金型材料に相当する、当社のプラスチック金型用鋼をいくつか紹介する。

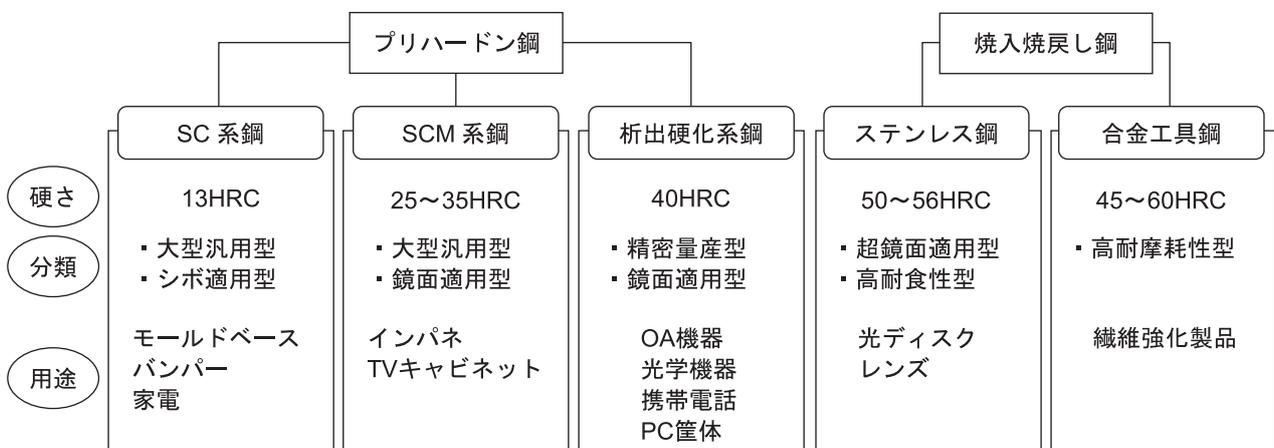


図4 各種プラスチック金型材料の用途一例

4.1 PC55

PC55は、S55C改良型の機械構造用炭素鋼タイプである。当社は軸受鋼専門メーカーとして操業開始以来、高纯净度軸受用鋼の製造技術を培ってきた。安定且つ長寿命なベアリングの実現には、軸受用鋼の製造段階で、徹底した脱ガス・精錬による非金属介在物の低減が不可欠である。その技術を適用し、高纯净度の汎用プラスチック金型用鋼PC55を製造している。

4.2 PCM30

PCM30は、30～34HRCクラスの機械構造用合金鋼タイプのプリハードン鋼である。#3000～#4000クラスの鏡面磨きにおいてもピンホールの発生を抑制すべく、当社の高い脱ガス技術および精錬技術の活用により、酸化物系の非金属介在物を低減している。一方で、鏡面性を阻害しない範囲で若干量の快削元素を添加し、金型製作時間およびコスト低減に寄与している。

図5に、厚さ360mm×幅800mmのプリハードン材の断面硬さ分布例を示す。幅方向および厚さ方向は、それぞれ鋼材の厚さ中央位置および幅中央位置において、外表面から中心部に向かっての測定値である。焼入性に寄与する合金元素の適正な配合により、大断面鋼材でありながら、中心部の硬さ低下を極力抑制することが可能である。

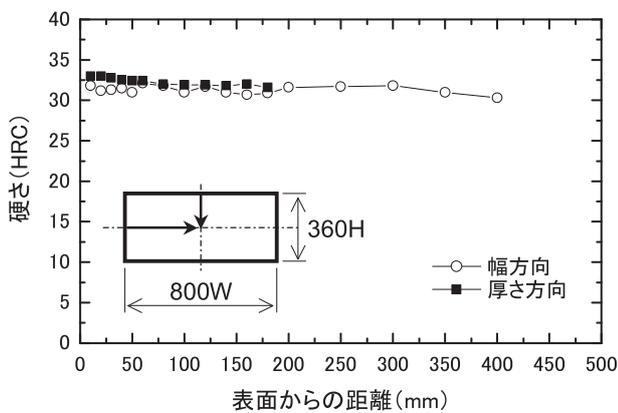


図5 PCM30の鋼材断面硬さ分布例

表2に、厚さ530mm×幅1020mmプリハードン材より採取したT方向（鍛造方向に垂直方向）の2mm-Uノッチ（JIS Z 2242）シャルピー衝撃値の例を示す。鋼材中心部においても、40J/cm²以上の高い衝撃値を有している。

表2 PCM30の衝撃特性の一例

| | 外周部 | 中周部 | 中心部 |
|--------------------------|------|------|------|
| 衝撃値 (J/cm ²) | 57.1 | 47.9 | 44.6 |
| 硬さ (HRC) | 33.9 | 32.1 | 30.9 |

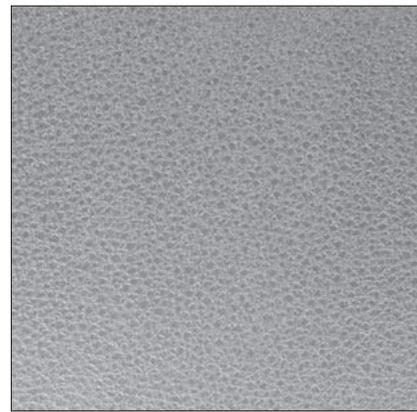


図6 シボ加工の一例（100mm×100mm）

図6に、シボ加工の一例を示す。#42砥石による研削後、標準的な皮シボ加工を施したものである。均質なシボ加工面が得られている。

以上のように、PCM30は、中心硬さの低下が少なく、優れた靱性とシボ加工性を有する。大型金型、汎用意匠金型への適用が容易であり、#4000程度の鏡面磨きによる自動車のライトカバーへの適用も可能である。

4.3 PCM40、PCM40S

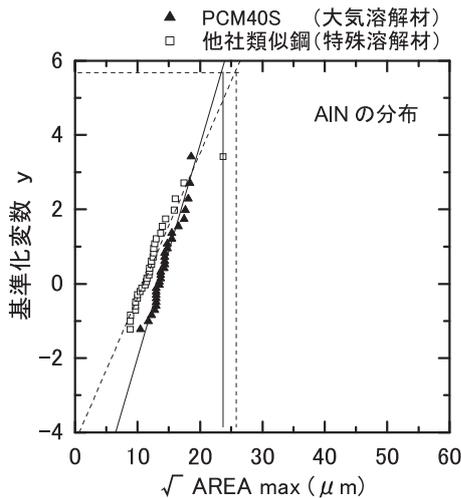
PCM40およびPCM40Sは、40HRCクラスの析出硬化系プリハードン鋼である。PCM40は被削性重視の快削タイプであり、快削元素を添加している。PCM40Sには快削元素は添加せず、あらゆる非金属介在物を徹底的に低減した、#6000～#10000鏡面磨き対応の高鏡面タイプである。

先にも述べたが、これらの析出硬化系鋼は、一般的には特殊溶解法により製造され、非金属介在物の低減が追求されている。しかし、当社のPCM40,PCM40Sは、独自の脱ガス・精錬技術により、大気溶解材にも関わらず有害な硬質介在物の低減を実現している。PCM40やPCM40Sなどの析出硬化系鋼は、硬化機構の一つとして、NiとAlの添加により金属間化合物を形成させているが、Alは不純物である窒素(N)と結合し、硬質介在物であるAINも形成する。従って、脱ガスと精錬により、鏡面磨きに有害なAINを低減する必要がある。図7に、極値統計法によるPCM40Sの最大予測AIN介在物サイズを示す。極値統計法とは、複数の基準面積に存在する最大介在物の分布から、ある面積中に存在する最大介在物の大きさを統計的に推定し、鋼の清浄度を評価する手法である。図に示すように、予測面積30000mm²内のPCM40Sの最大予測介在物サイズは、特殊溶解法により製造される他社類似鋼のそれと同程度である。当社材は大気溶解材でありながら、特殊溶解材と同水準の清浄度を達成しており、優れた品質の提供と同時に、コスト削減にも貢献できる。

図8に、溶接施工部の硬さ分布を示す。溶接ままの場合、

溶接時の入熱により熱影響部は軟化するが、後熱処理（再時効処理）を実施することにより再度硬化し、均一な硬さ分布を呈する。鏡面磨きやシボ加工の際に生じがちな溶接部周辺のムラは、適正な後熱処理により解消できる。

PCM40およびPCM40Sは、大気溶解材でありながら他社の特殊溶解材と同等水準の清浄度を有する、トータルコストパフォーマンスに優れた析出硬化系プリハードン鋼である。PCM40は優れた切削性を活かし、ゴム成型型への適用も多い。PCM40Sは高い鏡面性により、精密量産金型や鏡面重視金型に広く適用されている。



| | PCM40S | 他社類似鋼 |
|------------|---------------------|--------------------|
| 最大予測介在物サイズ | 23.5 μm | 25.7 μm |
| 検査基準面積 | 100 mm^2 | |
| 検査視野数 | 30 視野 | |
| 予測面積 | 30000 mm^2 | |

図7 極値統計法によるPCM40Sの最大予測介在物

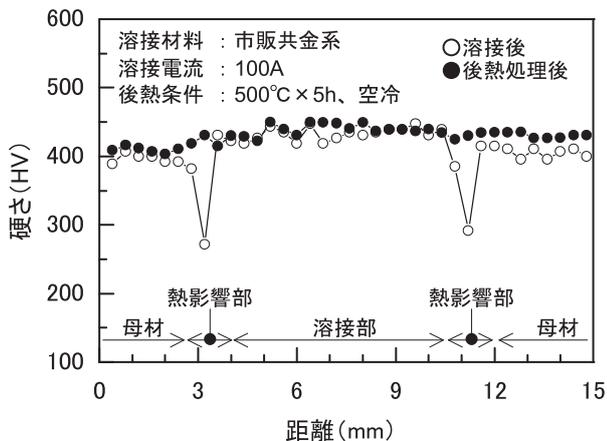


図8 PCM40Sの溶接施工部分の硬さ分布

4.4 SPMR8

SPMR8は、プラスチック成形用の金型材料としては、特に、成形機部品のスクリー用途に的を絞って、当社既存のSKH51系汎用粉末ハイスSPM23の強度と耐摩耗性に加え、靱性と耐食性の向上を図った独創的な粉末ハイスである。高C高合金鋼では、硬さと耐摩耗性に寄与する炭化物が多量に形成されるが、多量の炭化物は耐食性と靱性を低下させる原因の一つとなり得る。SPMR8では、腐食の起点となる炭化物を低減すること、基地組織の耐食性を改善すること、耐摩耗性を確保することを狙い、合金添加量を最適化した。

図9に、硬さとシャルピー衝撃値の関係を示す。合金成分の最適化により、汎用粉末ハイスと同等以上の硬さが得られながらも、優れた衝撃特性も有する。また、疲労強度も優れている（図10）。

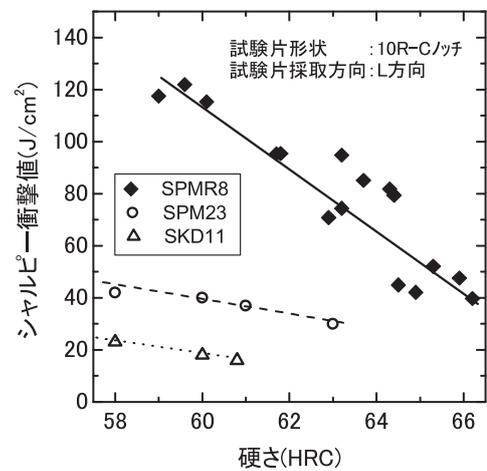


図9 硬さとシャルピー衝撃値の関係

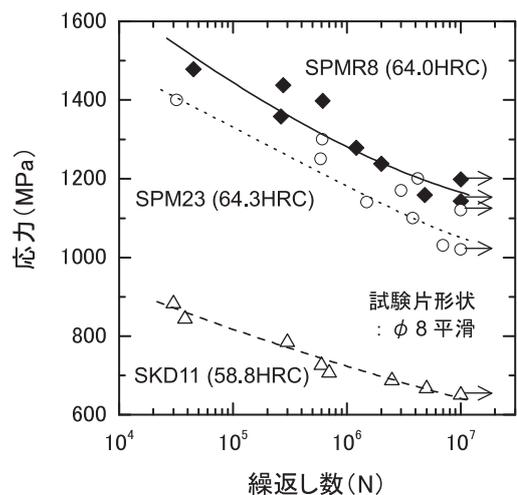


図10 回転曲げ疲労強度

図11に、各種酸環境下における浸漬試験結果を示す。SPMR8は、特にプラスチックの難燃剤として添加されるハロゲン系やリン系の酸環境に対して優れた耐食性を示す。腐食起点となる炭化物の低減と基体組織の耐食性向上を狙った合金成分最適化の効果が得られている。

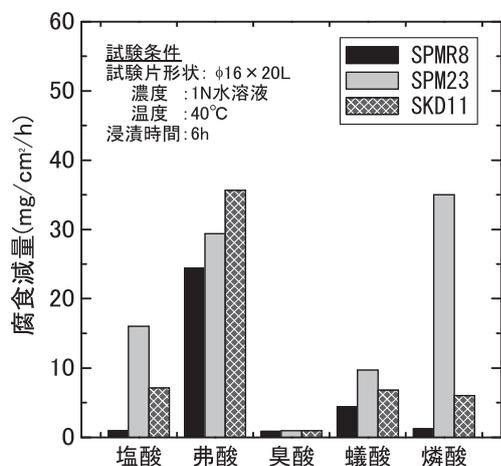


図11 各種酸における浸漬試験結果

プラスチック素材は、強化繊維増加による高強度化や難燃剤の増加による耐熱性向上などにより、ますます高機能化している。その結果として、自動車部品や電子部品へのプラスチック製品適用で拡大が期待されるが、一方で成形機部品の損傷を助長してしまうデメリットも存在する。これに対し、耐摩耗性・耐食性に優れたSPMR8は、成形機スクリーなどへの適用において、早期腐食摩耗の抑制に非常に効果的である。また、強度と靱性が高位にバランスしているSPMR8は、高トルク・高回転の機械設計を可能とし、生産性向上に貢献できる。

なお、SPMR8は、社団法人日本金属学会より、第32回技術開発賞を受賞している⁷⁾⁻⁹⁾。

5. プラスチック金型用鋼の動向^{10),11)}と今後の展望

現在の動向としては、比較的安価なSCM系鋼（P20系鋼）において、硬さと鏡面性を改善したNi添加型鋼が登場している。これらは、Super-P20と呼ばれる鋼種群で、Ni-Al-Cu析出硬化鋼に匹敵する硬さと#5000～#6000までの鏡面磨きが可能である。さらに、SCM系ベースのため靱性も悪くなく、大気溶解材であるので安価な点でNi-Al-Cu析出硬化鋼よりも有利である。

Ni-Al-Cu析出硬化鋼もまた、改良が求められている。プラスチック製品の表面にはウェルドライン（溶融プラスチック樹脂が金型内で充填される時に、合流箇所が発生する線状の痕）が生じる場合がある。高い鏡面性や意匠性を求められる製品にとっては、特に解決しなければならない課題であった。これを解決しつつあるのが金型の温度調整

を行う加熱・冷却システムである。金型内部の成形面（表面）に非常に近い深さに温度調整用の水路を設け、成形前に水蒸気を通して加熱し、充填後には冷却水を通して製品から奪熱する機構である。金型を加熱することによりウェルドラインの発生を抑制し、生産サイクル短縮のために冷却を行っている。そのため、金型材料には鏡面性に加えて高い耐食性も必要となり、従来のNi-Al-Cu析出硬化鋼にCrを添加することで耐食性を改善した40HRCプリハードン金型材料の開発が行われている。

今後も様々な部品へのプラスチックの適用拡大が予想され、プラスチック素材や成形方法の改善もさらに加速すると思われる。金型材料の需要家からは、被加工材や加工方法の進歩に後れを取らないよう、金型材料にも特性向上を望まれるのは必然である。また、新興国を含むアジア各国の金型材料メーカーも、いずれは価格競争力だけではなく品質面の実力が向上してくると想定される。したがって、今まで以上に市場ニーズを的確に把握し、それに適した金型材料を開発することが、我々日本の金型材料メーカーに架せられた使命である。

参考文献・参考資料

- 1) 日原政彦：型技術, 26-2 (2011), 83
- 2) 日本規格協会編：JISハンドブック鉄鋼I, (2011), 1551-1582
- 3) 渡邊豊彦：特殊鋼, 59-6 (2010), 24
- 4) 株式会社棚澤八光ホームページ, 「シボとは」
<http://www.tanazawa.co.jp/shibo.html>
- 5) 株式会社ミスミホームページ, 「プラ金型講座 第357回」
<http://koza.misumi.jp/mold/2008/04/357.html>
- 6) 青木正義：現場で役立つプラスチック金型技術 (2003), 48
- 7) 清水敬介ら：まてりあ, 48-1 (2009), 35-37
- 8) 日本金属学会編：まてりあ, 48-11 (2009), 538
- 9) 山陽特殊製鋼技報, 17 (2010), 67-70
- 10) 田村庸：塑性と加工, 50-7 (2009), 2-6
- 11) 森川秀人：特殊鋼, 59-6 (2010), 38-39