

プラスチック金型用鋼 HPM-MAGIC® の実用特性

Properties of Plastic Mold Steel, HPM-MAGIC®

遠山 文夫*

Fumio Tohyama

田村 庸*

Yasushi Tamura

井上 義之*

Yoshiyuki Inoue

中津 英司*

Hideshi Nakatsu

細田 康弘*

Yasuhiro Hosoda

菅野 隆一郎*

Ryuichirou Sugano

家電品、OA機器、自動車などの樹脂部品向け高精度プラスチック金型用鋼として、欧米では主としてP20Ni鋼（1 %Ni入り AISI P20鋼）が、日本国内では主としてP21改良鋼（NiAl析出硬化低炭素鋼）が用いられている。前者は高炭素組成のため、溶接性に劣る、工具摩耗が大きいなどの課題があり、後者は、Al添加のため、鏡面仕上性付与に再溶解を要し高コスト化しやすい、靱性が低いなどの課題を有している。日立金属は独自の介在物組成制御技術と合金最適化により、現用鋼の課題を克服した40HRC級汎用鋼HPM-MAGIC®を開発し、その実用特性、信頼性特性を詳細に調査した。

For high precision plastic molds for parts used in household appliances, OA machinery, automobiles, P20Ni steel (AISI P20 steel with 1 % Ni) is mainly used in Europe and America, whereas improved P21 grade (NiAl precipitation hardening low carbon steel) is mainly used in Japan. There are problems due to the fact that P20Ni has lower performance in weldability and machinability because of higher carbon composition, while improved P21 grade has low toughness and needs double melting for high mirror polishability because of Al addition. Hitachi Metals has developed the new 40HRC grade steel, HPM-MAGIC®, which overcame the problems of conventional steel mentioned above through alloy optimization and nonmetallic inclusion composition control technology. The practical use characteristics and the reliability characteristics of HPM-MAGIC were investigated in detail.

1. 緒言

新興工業国地域では、家電品、OA機器や自動車などの樹脂部品製造が一般化し、高精度プラスチック金型用鋼の需要が急増している。また、日本国内でも車体軽量化を目的とした、自動車内外装部品の樹脂化と高精度化が進展しており、高精度プラスチック金型用鋼の適材を求める声が高まっている。

いずれの場合にも金型製作および樹脂成形の現場では、従来の汎用鋼に比べて、量産精密成形に対応できる硬さ（40HRC級）と大物材における靱性、良好な溶接補修性、切削加工性、安定した鏡面仕上性、シボ加工性、窒化性などの特性を、優れたコストパフォーマンスで実現する金型用鋼が求められている。

そこで、上記のグローバルニーズに応えるべく、40HRC級プラスチック金型用鋼HPM-MAGIC®を開発した。以下、開発コンセプトの概略とその実用特性について報告する。

2. 開発コンセプト

2.1 開発の背景

現在、高精度プラスチック金型用鋼として流通する主要な鋼種を大別すると、AISI P20系（SCM系）、P21系（NiAl析出硬化型）の各プリハードン鋼（一定の実用硬さレベルに調質されて出荷される鋼）と、AISI 420系（JIS SUS420J2系）鋼の3種類となる。これらのうち、特に家電品、OA機器、自動車部品を成形する高精度金型に多用される40HRC級プリハードン鋼に絞ると、欧米では主としていわゆるP20Ni鋼（1 %Ni入り AISI P20鋼）が、日本国内では主としてP21系改良鋼（NiAl析出硬化低炭素鋼）が用いられている。両鋼種ともに開発されてから四半世紀以上が経過しており、使用実績も豊富だが、昨今の技術ニーズを十分に満たしていると言えなくなってきている^{1), 2)}。

欧米で使用頻度の高いP20Ni鋼の課題は、0.4 %の高炭素組成であるために、溶接性に劣る、工具摩耗が大きい、マイクロ偏析により良好な鏡面が得られ難い、などの点に集約される。高炭素組成の目的は、もともとスライド部品の

* 日立金属株式会社 特殊鋼カンパニー

* Specialty Steel Company, Hitachi Metals, Ltd.

摺(しゅう)動摩擦対策として、火炎焼入性を確保するためであったと推測されるが、窒化処理が新興工業国地域でも一般化した現在ではほとんど不要な特性と言える。

国内の現行P21系鋼の課題は、Al添加材であるため靱性が低い点にある。また鏡面仕上用途の場合、アルミナ凝集によるピンホール発生を防ぐため、VAR (Vacuum Arc Remelting；真空アーク再溶解) のような再溶解プロセスが必要で、製造コスト面で不利である。

本開発では、汎用の技術ニーズ変化に対して現用鋼の有する課題を克服し、国内のみならずグローバルなユーザーニーズに応える材料を提供することを目的とした。具体的手段として、低炭素でかつNiAl析出硬化によらずに、目標とする被削性、硬さ、靱性を得るための組織制御を可能とする化学組成の最適化設計を行った。さらに独自の精錬技術をベースにした非金属介在物組成制御によりピンホールなどの表面欠陥要因となる硬質介在物の生成を防止することで安定した鏡面仕上性の付与を実現した。

2.2 HPM-MAGICの位置付け(硬さと鏡面仕上性)

プラスチック金型用鋼に要求される重要特性として鏡面磨き性がある。HPM-MAGICは、介在物組成制御と合金最適化により40HRC級の高硬度と#3000仕上(さらに#5000艶出し)磨きレベルに対応する安定した鏡面仕上性を付与した。図1に#6000手磨き仕上の表面観察例を、代表的な現用鋼であるP20Ni鋼(高硬度仕様材37HRC)、P21系再溶解鋼、P21系快削鋼と対比して示す。P20Ni鋼で顕著に認められるミクロ的な硬さムラに起因する「うねり」や硬質酸化物の破碎、脱落に起因する「ピンホール」、快削鋼で認められるMnSの一部脱落による「凹み」などの鏡面欠陥がHPM-MAGICでは低減されており、再溶解プロセスで製造されたP21系鋼に近い鏡面仕上性となっている。

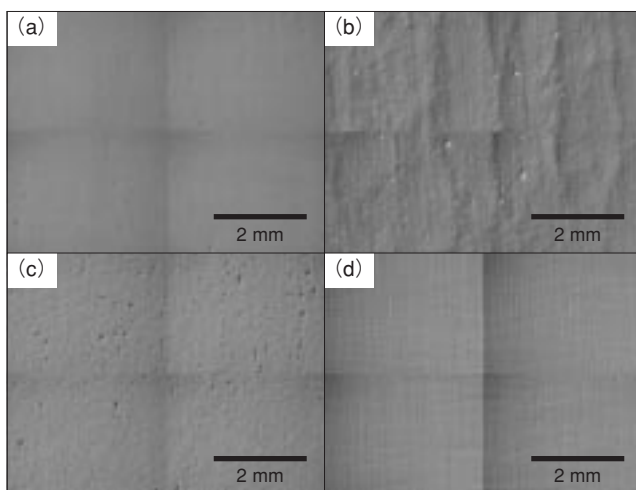


図1 鋼材と鏡面仕上面の微分干渉像比較

(a) 開発鋼HPM-MAGIC®, (b) P20Ni再溶解鋼,
(c) P21系快削鋼, (d) P21系鋼

Fig. 1 Polished surface of tested materials of (a) HPM-MAGIC®, (b) P20Ni remelt grade, (c) P21 sulfurized grade, and (d) P21 grade steel

図2には硬さと鏡面性の位置付けを日立金属代表鋼種とあわせて示す。図中、HPM®7はおよそ#3000のダイヤモンドコンパウンド仕上に対応し、シボ加工仕様品のみならず自動車ヘッドライトレンズ成型にも多用されている鋼種であるが、HPM-MAGICは高硬度化によりHPM7の鏡面仕上性をさらに向上させている。なお、図中のCENA1®は#8000仕上に対応する再溶解仕様のプリハードン鋼で、転写性の良いウェルドレス成形の光沢TV枠の成型などに適用されており、鏡面性はより高い位置付けである。

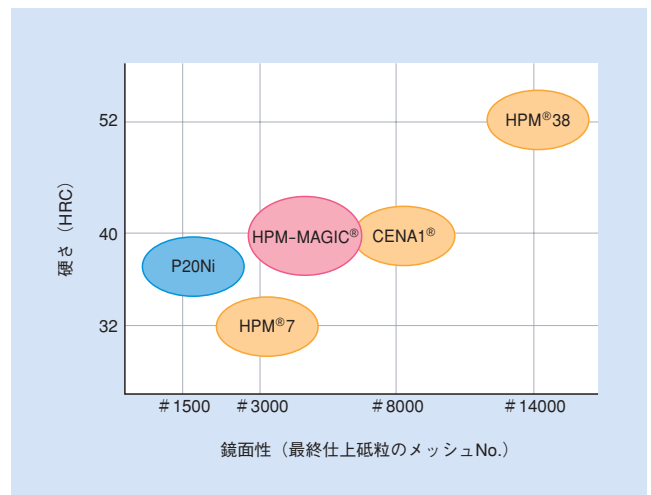


図2 各鋼材の硬さと鏡面仕上性

Fig. 2 Hardness and polishability of steel materials

3. HPM-MAGICの実用特性

3.1 靱性

HPM-MAGICの特長の第一は従来の40HRC級鋼に比べて靱性が高い点にある。図3に靱性測定例を市中に流通する比較材と対比して示す。(なお、ここでP21系鋼、P20Ni鋼の衝撃値数値は各鋼類の中で市場に最も多く流

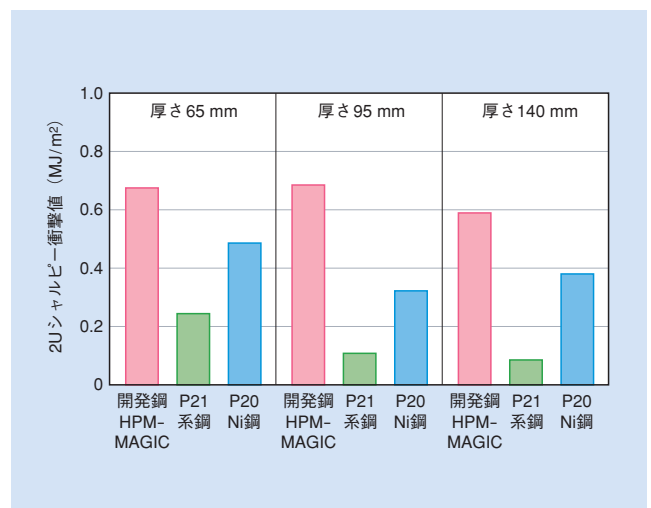


図3 鋼種による2Uシャルピー衝撃値の比較

Fig. 3 Comparison of steel materials Charpy impact value tested under 2 mm U notched specimen

通する鋼種について元素材寸法ごとに市中より任意に入手したサンプルを当社で評価した測定値で記述したものであり、これは各鋼類の性能を証明するものではない。) P21系鋼では素材の厚さが100 mm近辺より厚いもので靱性が低い(L方向2 mm Uノッチシャルピー衝撃値で0.1 MJ/m²未満)場合が出てくる。P20Ni鋼は比較的高靱性と評価されているが、厚物では靱性が低下している。これらP21系鋼およびP20Ni鋼に比較して、HPM-MAGICは高い靱性が得られ、素材寸法による差が少なく、社内製造実績では500 mm厚さでも安定した高靱性が確認されている。このため、金型の割れの心配が少なく、大物の自動車、家電品などを含む幅広い用途に適用可能である。

3.2 切削加工特性

HPM-MAGICは高硬度、高靱性でありながら、良好な切削加工性を有しており、P20Ni鋼に比較して工具摩耗を低減し、またP21系鋼に比較した場合には溶着による刃先のチップングが低減する結果が得られた。

代表例として、図4に、正面フライス工具によるV-T線図(切削速度-工具寿命曲線)を示す。なお、ここで工具寿命は逃げ面摩耗幅が0.3 mmに達するまでの時間と定義している。また、加工条件は表1に示す。ここで切削速度は120～180 m/minの範囲で3水準に設定し、P21系鋼と比較した。工具摩耗が一定量に達するとP21系鋼では刃先のチップングが生じて工具寿命となるのに対し、HPM-MAGICはチップングを生じず工具寿命が向上している。図5には切削速度150 m/min、26 min切削時点で

表1 正面フライス(図4記載)の加工条件
Table 1 Cutting conditions for face milling described on Fig. 4

切削速度 (m/min)	120, 150, 180
送り量 (mm/tooth)	0.13
切込量 (mm/回)	1.0×120
使用工具	カッター：A45E-4160R (日立ツール)
	インサート：CY250 SEE42TN-G9Y (日立ツール)

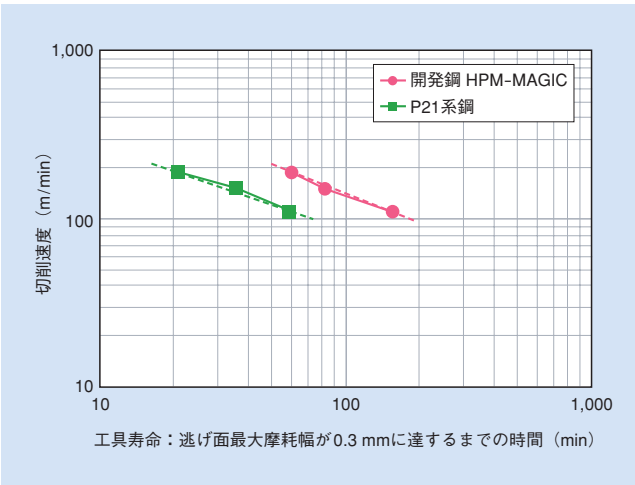


図4 正面フライス V-T線図
Fig. 4 V-T curve of metals for face milling

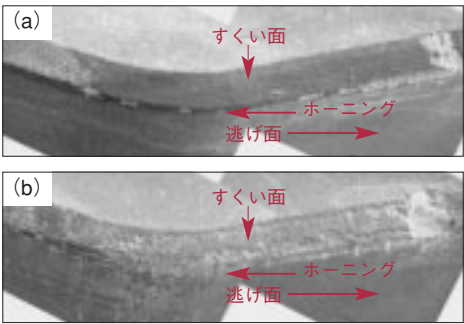


図5 正面フライス刃先摩耗の比較
(a) 開発鋼HPM-MAGIC, (b) P21系鋼
Fig. 5 Tool wear comparison of face milling chip after cutting
(a) HPM-MAGIC and (b) P21 grade steel

の切削後の刃先状況を示す。P21系鋼を切削したチップのすくい面(ホーニング面)には溶着による不均一摩耗とチップングが生じていたが、HPM-MAGICの場合にはすくい面の刃先摩耗は微少かつ均一であった。

P21系鋼に比べて溶着によるチップの欠損を生じにくい傾向は高送りラジASMILによる切削でも認められる。表2に高送りラジASMILによる加工条件、図6にその場合のV-T線図を示す。この例からP21系鋼と比較して工具寿命が30倍以上に延びるという結果が得られた。これは金型の粗取り加工などにおける切削効率がいかに向上したかを示すものである。

エンドミルによる切削においても粗取り加工のときと同

表2 ラジASMIL(図6記載)の加工条件
Table 2 Cutting conditions for radius milling described on Fig. 6

切削速度 (m/min)	120, 150, 180
送り量 (mm/tooth)	1.0
切込量 (mm/回)	0.7×32
オーバーハング (mm)	200
使用工具	カッター：ASR5063-4, φ63 (日立ツール)
	インサート：CY250 (EDNW15T4TN-15) (日立ツール)

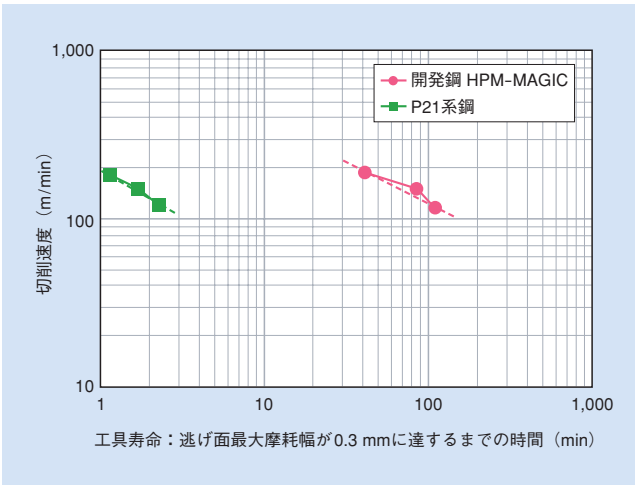


図6 高送りラジASMIL V-T線図
Fig. 6 V-T curve of high feed radius milling

様に、高速切削、高負荷切削領域で従来鋼対比優位の特性を示す。表3に、コーティング超硬のスクエアエンドミルにて高負荷切削を行った場合の加工条件、図7には、その場合の工具の損耗状況をP21系鋼の場合と対比して示す。

開発鋼 (a) では、(b) に見られるような欠け (中央部) や酸化に伴う変色 (左半分) が認められない。また、図上では不明瞭だが左半分の刃先の摩耗も少ないことが確認されている。

表3 エンドミル (図7記載) の加工条件

Table 3 Cutting conditions for endmill described on Fig. 7

切削速度 (m/min)	200
主軸回転 (min ⁻¹)	8,000
送り速度 (mm/tooth)	0.1
切込深さ (mm)	12 (1.5D)
切込幅 (mm)	0.8 (0.1D)
クーラント	エアブロー
切削時間 (min)	50
加工機種	立形マシニングセンター (BT40)
使用工具	CEPR6080TH (φ8-6枚刃スクエアエンドミル) (日立ツール)

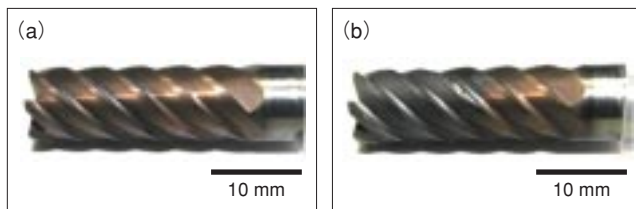


図7 超硬エンドミルの高負荷条件での工具損傷比較
(a) 開発鋼HPM-MAGIC (b) P21系鋼

Fig. 7 Tool wear comparison of coated carbide endmill in heavy cutting condition after cutting (a) HPM-MAGIC and (b) P21 steel

高負荷領域でHPM-MAGICは現用鋼対比優位の特性を示す反面、小径エンドミルでの切削やボールエンドミルのチゼル部のみを使用する切削など、低速・軽負荷領域では現用鋼より摩耗が目立つ場合もある。表4にボールエンドミルによる平面切削の加工条件、図8にはこの加工条件において逃げ面摩耗幅が0.04 mmの初期摩耗に達するまでの切削時間を比較して示す。そのような場合には切削条件を高速側へ見直すなどの対策をとることが、工具磨耗の抑制に有効である。

以上、正面フライス、高送りラジASMIL、各種エンドミルの切削加工評価結果をまとめると、HPM-MAGICは金型加工において粗取りから中仕上げまでの工数を大幅に低減する可能性を有する素材であると言える。

実際に実型形状例をP21系鋼とHPM-MAGICの各適正条件で加工した場合の工数比較を行い、総加工時間にして約20%の削減が見積もられた (図9)。

また金型加工において特に加工効率が問題となりやすいドリル加工においてもHPM-MAGICは比較的良好な加工性を示す。4 mm径、1 mm径のドリルによる加工テストの加工条件を表5、表6に、その結果を図10、図11に示

す。表7にはステップフィードの違いにより同一加工条件でも加工穴数が変わる一例を示す。P20Ni鋼と比べて刃先摩耗が少なく、P21系鋼と比較した場合には穴直進性に優れるなど穴開けが容易となることを示唆する結果が得られている。ただし、ドリル加工は切り屑の排出条件に注意が必要で、高靱性のHPM-MAGICにおいては切り屑が繋 (つな) がりやすいため、深穴加工ではその点を考慮したステップ条件ほかの設定が必要である。

表4 ボールエンドミル (図8記載) の加工条件

Table 4 Cutting conditions for ball endmill described on Fig. 8

切削速度 (m/min)	80,110,160
送り量 (mm/tooth)	0.13
切込量 (mm/回)	0.2×0.2
使用工具	EPBT2100 (φ10-R5ボールエンドミル) (日立ツール)

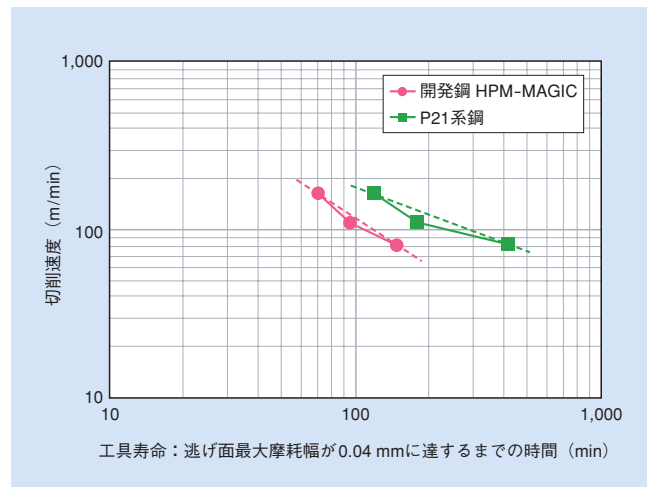


図8 超硬ボールエンドミル 初期摩耗 V-T線図

Fig. 8 V-T curve of initial small wear of carbide ball endmill

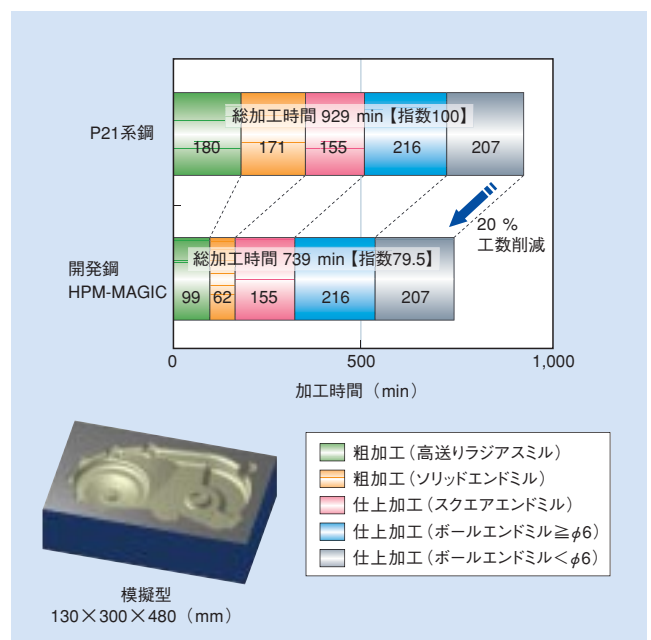


図9 HPM-MAGIC適用による金型加工工数低減試算例

Fig. 9 Evaluation example by applying HPM-MAGIC on decreasing machining time

表5 φ4 mmドリル (図10記載) による加工条件
Table 5 Drilling test conditions described on Fig. 10

切削速度 (m/min)	18
主軸回転 (min ⁻¹)	1,400
送り速度 (mm/tooth)	手送り
ステップフィード (mm)	5
クーラント	乾式切削
穴深さ (mm)	20
加工機種	卓上ボール盤
使用工具	ドリル: φ4.0 SKH51 スタンダードドリル

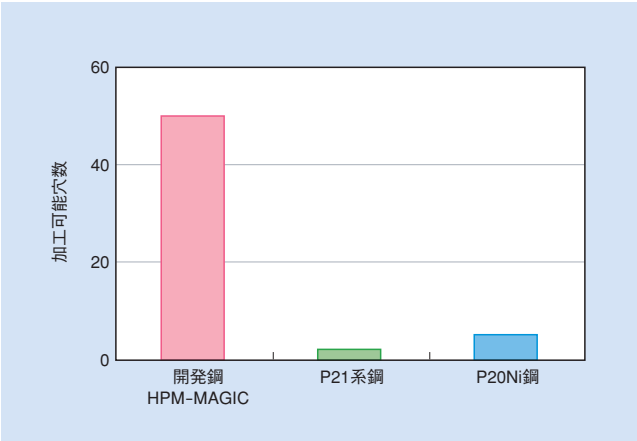


図10 ドリル加工テスト (φ4mm)
Fig. 10 Drilling test (φ4 mm)

表6 φ1 mmドリル (図11記載) による加工条件
Table 6 Drilling test conditions described on Fig. 11

切削速度 (m/min)	20
主軸回転 (min ⁻¹)	6,366
送り速度 (mm/tooth)	0.0
ステップフィード (mm)	0.2
クーラント	水溶性切削液
穴深さ (mm)	10
加工機種	縦型マシニングセンター
使用工具	ドリル: φ1.0 SKH51 スタンダードドリル

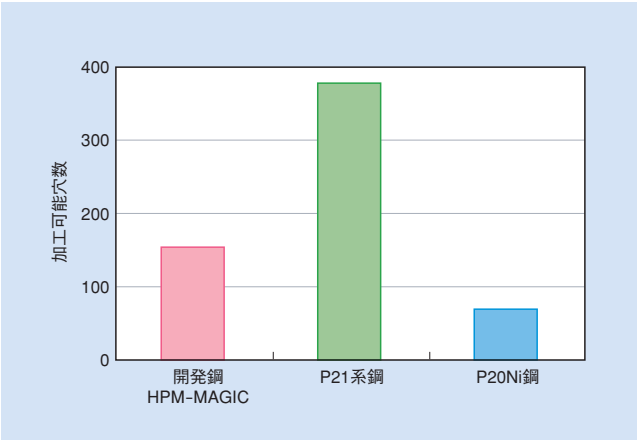


図11 ドリル加工テスト (φ1mm)
Fig. 11 Drilling test (φ1 mm)

表7 HPM-MAGIC 深穴加工におけるステップフィードと加工穴数
Table 7 Effect of step-feeding on deep hole drilling

機械	立型マシニングセンター	
工具	φ3.4 SKH51 ロングドリル	
クーラント	水溶性切削液外部給油	
回転 (min ⁻¹)	1,200	
切削速度 (m/min)	12.8	
回転送り (mm/rev)	0.05	
送り (mm/min)	60	
穴深さ (mm)	60	
ステップフィード	ステップバック	加工穴数
2 mm	穴入り口	≧ 32穴 (加工継続可能)
3 mm	穴入り口	4穴 (加工継続不可)

上述のようにHPM-MAGICは型彫り加工性、穴加工性、磨き仕上性を兼備しているの、キャビティ側とコア側の区別なく1鋼種で加工を済ませることができ、すでにサンプル試用したユーザーからは、その点でも好評を得ている。

3.3 溶接性

HPM-MAGICのもう1つの大きな特長は溶接補修が簡易に行える点にある。

表8にY形溶接割れ試験の条件を、図12にはP20Ni鋼と比較して、写真で試験結果を示す。HPM-MAGICは含有炭素量の高いP20Ni鋼に比較して「割れ感受性」が低い。P21系鋼に比較した場合にも、靱性が大幅に向上しているので溶接割れの心配が少ない。

表8 Y形溶接割れ試験 (図12記載) の試験条件
Table 8 Welding condition for weld cracking test described on Fig. 12

試験内容	JIS-Z3158 Y形溶接割れ試験
溶接方法	TIG溶接
溶接棒	共材
溶接電流 (A)	直流140
Arガス流量 (m ³ /min)	0.008
予熱 (℃)	180
後熱 (℃)	なし

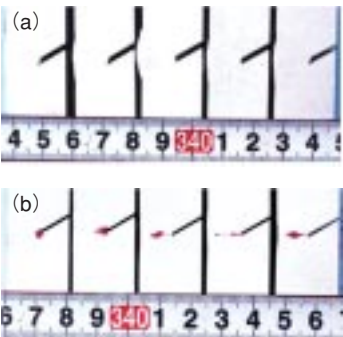


図12 Y形溶接割れ試験 (a) 開発鋼HPM-MAGIC, (b) P20Ni系鋼
Fig. 12 Y-groove weld cracking test of (a) HPM-MAGIC and (b) P20Ni steel

図13には溶接後の磨き面をP20Ni鋼と比較して示す。ここで破線で示した部分が溶接熱影響部である。P20Ni鋼では溶接熱影響部が硬化して磨き面上に認められるが、HPM-MAGICは溶接熱影響部の硬さ変化が少ないので後加工が容易で均一に仕上げやすい。

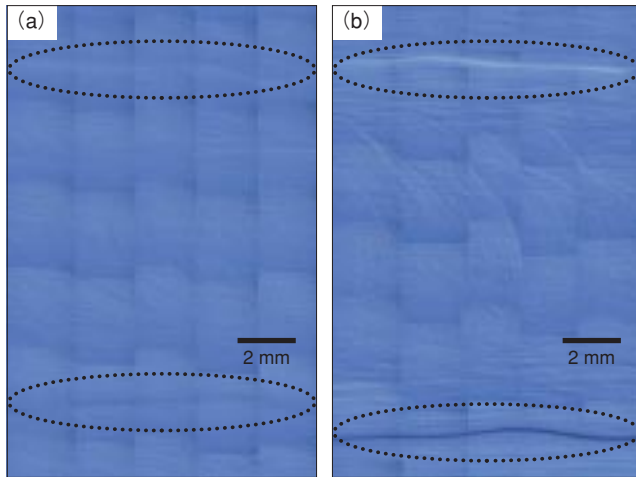


図13 溶接部磨き面の微分干渉像比較
(a) 開発鋼HPM-MAGIC (b) P20Ni系鋼

Fig. 13 Welded part polishing surface of tested materials of
(a) HPM-MAGIC and (b) P20Ni steel

3.4 放電加工性

放電加工は、複雑形状部の加工に広く普及しており、通常は後（あと）工程で磨きが行われるが、製品によってはそのまま意匠面に使用される場合もある。よって、放電加工肌の表面性状や表層熱影響部の硬さが意匠性や後工程の磨き工数の点から重要なポイントとなる。

図14に微細梨地仕上の条件で放電加工を行った場合の表面性状を、P21系快削鋼、P21系鋼と比較して示す。快削鋼には快削性の付与に有効な成分（MnS）の分布を反映したスジ状の模様が見られ、面粗さも粗くなって意匠面としての使用に適さないが、HPM-MAGICの放電加工面にはそのような模様は認められず、比較的均一な、いわゆる梨地肌を呈する。また放電加工溶融層が硬化しにくいいため後加工も容易である。

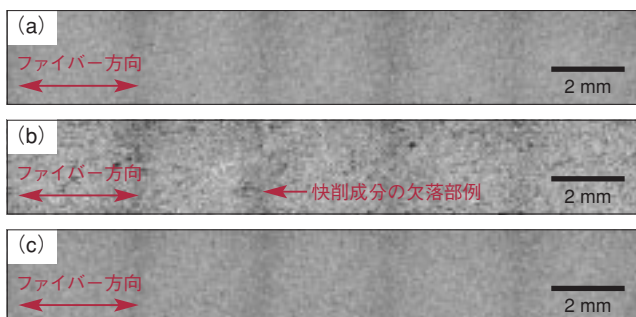


図14 放電加工面の比較
(a) 開発鋼HPM-MAGIC、(b) P21系快削鋼、(c) P21系鋼

Fig. 14 EDMed surface of materials of (a) HPM-MAGIC,
(b) P21 sulfurized grade, and (c) P21 grade steel

3.5 シボ加工性

プラスチック金型の意匠面の多くが磨き工程後にフォトエッチングやガラスビーズショットブラストなどの方法で表面に微細なパターン模様をつけられる。このような処理は総称してシボ加工と呼ばれており、プラスチック金型用鋼にとって重要な特性となっている。図15にプリンターなどOA機器に適用される代表的な微細な梨地肌のシボ加工（フォトエッチング後ガラスビーズ処理）を行った試料の表面写真を示す。HPM-MAGICは成分偏析などが少なく、比較的均質なマイクロ組織、硬さ分布を有するので、良好なシボ加工性を示す。

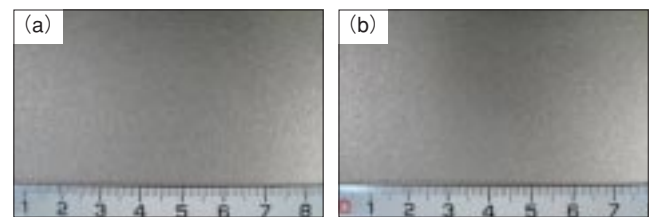


図15 シボ加工性 (a) 開発鋼HPM-MAGIC、(b) P20Ni系鋼
Fig. 15 Capability of (a) HPM-MAGIC and (b) P20Ni steel

3.6 窒化特性

型摩耗が大きい場合やスライド部のかじり対策として窒化処理が用いられる。ガラスフィラーなどの強化材を多く含む樹脂を成形する場合には60HRC鋼にまさる表面硬さを有していることが望ましいが、中大物型では焼入焼戻し鋼を使用するよりプリハードン鋼を窒化して使用する方が型加工工数やコストの点で有利と言える。図16はHPM-MAGICの540℃ガス軟窒化時の硬さプロファイル測定例を示したものである。HPM-MAGICは、約800HV（HRC換算で約64）の表面硬さと、表面下のなだらかな硬さ勾配が得られるほか、P21系鋼と比較して窒化層の剥離や欠けが生じにくい特長があり、優れた窒化特性を有する。HPM-MAGICの窒化表面部マイクロ組織を図17に示す。脆化相のない、内部組織との境界部には連続的な窒化層が認められる。

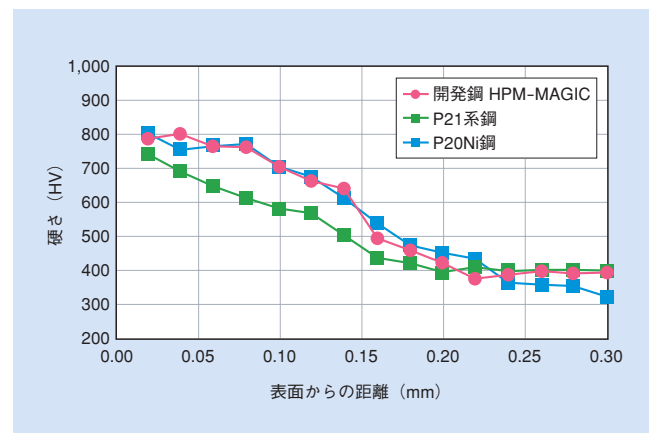


図16 窒化特性
Fig. 16 Nitriding property

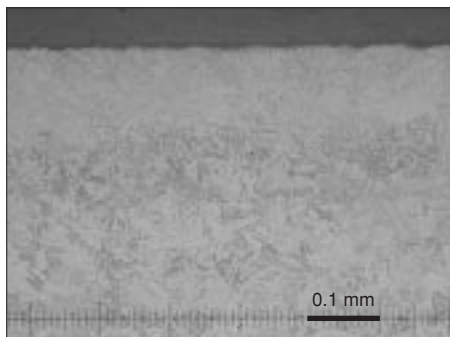


図17 窒化表面部のミクロ組織

Fig. 17 Microstructure at cross section of nitrided surface

3.7 耐錆性（高温高湿暴露試験）

表9に示す試験条件において、HPM-MAGICおよび各種比較鋼を用いて高温度と高湿度に曝露する試験を行ったあとの発錆状況を図18に示す。

P21系、P20Niの各現用鋼と比較して、耐錆性は同等または同等以上と言える。ただし、日立金属のYSS新プラスチック金型材CENA1と対比した場合には劣るため、耐錆性を重視される用途にはCENA1の方が適している。

表9 耐錆性（図18記載）の試験条件

Table 9 Testing conditions for rust resistivity described on Fig.18

試料形状 (mm)	10 ^T × 20 ^W × 40 ^L
仕上げ	#800
温度 (°C)	80
湿度 (%)	90
試験時間 (h)	2

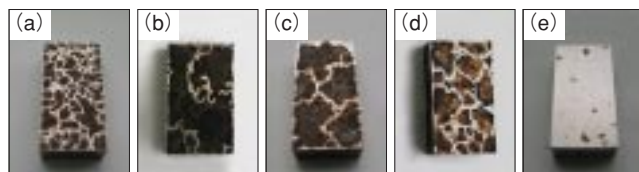


図18 耐錆性 (a) 開発鋼HPM-MAGIC, (b) P20Ni鋼, (c) P21系快削鋼, (d) P21系鋼, (e) CENA1®

Fig. 18 Rust resistivity of (a) HPM-MAGIC, (b) P20Ni steel, (c) P21 sulfurized grade, (d) P21 grade steel, and (e) CENA1®

3.8 物理特性（熱伝導率）

熱伝導率については、表10に示すとおり、現用鋼とはほぼ同等であり、より厳密に言えばP20Ni鋼に近く、P21系鋼よりもやや大である。したがって大物型のサイクルタイム短縮にも有利な特性である。その他の熱膨張率などは現用鋼に近似している。

表10 熱伝導率の比較測定

Table 10 Thermal conductivity

鋼 種	熱伝導率 (W / (mK))			
	20 °C	100 °C	200 °C	300 °C
HPM-MAGIC	31.4	34.1	37.7	40.2
P20Ni系	32.4	36.5	39.9	40.8
P21系	28.5	32.6	36.4	38.7

4. 適用例

適用例としては、すでに自動車用としてインテークマニホールドやヘッドライトレンズ、コンソールボックスなどに、家電品、OA機器、電子機器用としてはプリンターやデジタルカメラ、モバイルパソコンなどの筐体に、さらにホビー用としては、プラモデル、おもちゃ、遊技機などの成形金型に試用されており、いずれも好評を得ている。

5. 結 言

以上に述べたHPM-MAGICのパフォーマンスをレーダーチャートにまとめると図19のように示すことができ、合金組成の最適化と独自の副成分制御技術により、以下の成果を得た。

- (1) 耐久性（硬さ×靱性）と切削加工性を、従来鋼より高いレベルで両立させた。
- (2) 鏡面仕上性／コストの指標を、従来鋼では得られない高さに向上させた。

HPM-MAGICはP20Ni鋼、P21系鋼などの従来鋼に対して特性バランスとコストパフォーマンスに優れ、家電品、OA機器や自動車用途などの幅広い分野で樹脂部品成形のトータルコストを削減する次世代プラスチック金型用鋼として、今後適用分野の拡大が期待される。

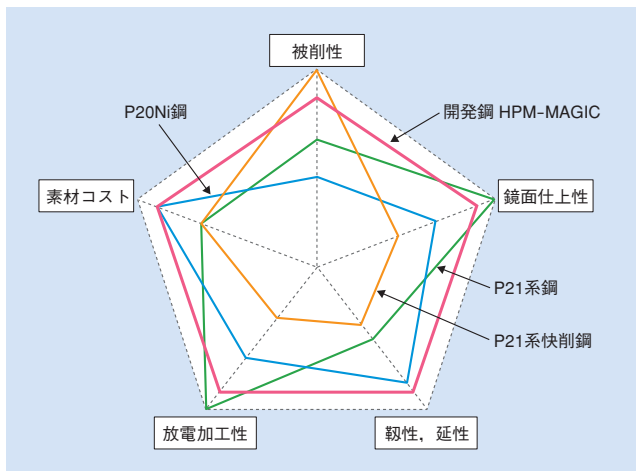


図19 パフォーマンス比較
Fig. 19 Total evaluation

参考文献

- 1) 田部博輔：型技術.20巻，8月号，p.105（2005）
- 2) 田村庸，中津英司，松本正治，細田康弘，遠山文夫：日立金属技報vol.20（2004），p.63



遠山 文夫
Fumio Tohyama
日立金属株式会社
特殊鋼カンパニー
安来工場
技術士（金属）



井上 義之
Yoshiyuki Inoue
日立金属株式会社
特殊鋼カンパニー
安来工場



細田 康弘
Yasuhiro Hosoda
日立金属株式会社
特殊鋼カンパニー
安来工場



田村 庸
Yasushi Tamura
日立金属株式会社
特殊鋼カンパニー
安来工場
技術士（金属）



中津 英司
Hideshi Nakatsu
日立金属株式会社
特殊鋼カンパニー
安来工場
工学博士



菅野 隆一郎
Ryuichirou Sugano
日立金属株式会社
特殊鋼カンパニー
冶金研究所
エネルギー科学博士