

プラスチック成形金型材料の実用特性

Properties of Plastic Mold Steel from the Customer's Standpoint

田村 庸* Yasushi Tamura
中津英司** Hideshi Nakatsu
松本正治*** Masaharu Matsumoto
細田康弘*** Yasuhiro Hosoda
遠山文夫*** Fumio Tohyama

需要が拡大するエンジニアリングプラスチック成形における金型腐食の問題，高速切削化による金型加工の能率向上など，プラスチック金型材料の顧客が直面している実用特性の評価を通じて，新しい金型材料やそれらの使用硬さを提案する。

Molders are faced with corrosion problems from some kinds of engineering plastic polymers which demand is being enlarged. Besides mold manufacturers are struggling to improve efficiency of fabricating molds by using rapid machining techniques. Currently, studies are being carried out in response to customer demands in order to develop steels that have more corrosion resistance and propose new prehardened hardness.

① 緒 言

高分子材料市場は有望とされている。特にリサイクル対策や省燃費化のための軽量化を進めるため，自動車用高分子材料が2006年には5,460億円規模になり，2002年対比で13.5%拡大すると予測されている。このうちポリプロピレン（PP）やポリエチレン（PE）など汎用熱可塑性樹脂の成長率は年平均2%であるが，エンジニアリングプラスチック（以下，エンプラと略す）は年率平均4～5%程度の拡大傾向が続くと予測されている¹⁾。これは電装品のベース材として多用されるからである。またヘッドランプレンズなどに使われている透明性の高いポリカーボネート（PC）による窓ガラスの樹脂化が進む動きや，耐摩擦磨耗性に優れたポリアセタール（POM）や耐熱性の高いポリフェニレンサルファイド（PPS）などによる金属代替の傾向が顕著となっているからである。

一方，樹脂成形の主体技術である射出成形分野で新しい方法が次々に開発されている。一体成形や中空成形法で樹脂によってのみ低コスト化が可能な複合材製品や中空製品がポリエチレン（PE）製燃料タンクなどの新たな需要を生み出している。

このように，プラスチック素材，成形法が多様化している一方で，樹脂射出成形用の金型材料（以下，プラスチック金型材と称す）は20年来大きな変化がない。自動車用バンパー，インパネ用に代表される大物金型用SCM系と快削元素入りを除くと，SCM改良鋼系と鏡面磨き金型用の析出硬化系，光ディスクのケースや光学製品用の精密型に使用されるSUS420改良鋼である13%Cr系マルテンサイト系ステンレス鋼の3つに大別される²⁾。これらは用途によって使い分けされるが，表1に示すような金型の磨きレベルによって，熱処理硬さが定まっている。これがほかの金型材料と異なる点であって，ダイカストや熱間鍛造などに用いられる熱間工具鋼のSKD61などは，顧客によって指定する硬さに調質されるが，ステンレス鋼を除くほとんどのプラスチック金型材は，決まった硬さに予備調質されて顧客によって直彫り加工される。これは，プラスチック金型がほかの金型より高精度が要求されることが多く，特に短納期を要求されるため，鋼材販社が寸法ごとに在庫切断販売していることによるものである。

しかし，樹脂製品の適用が広がり，例えば大型化したヘッドランプレンズ用金型で，SCM系の材料の鏡面磨き性では不足する事例が増えた。析出硬化系の型材は

表1 プラスチック成形金型材料とその応用
Table 1 Plastic mold materials and their applications.

Material type	Hardness employed (HRC)	Recommended polishing grain size and mesh No.	Application examples
SCM improved	20-33 (prehardened)	6μm #3000	Mold required good weldability and machinability (autoparts, home electronics, house equipment)
NiAl precipitation grade	38-42 (prehardened)	3μm #8000	Mold with sensitive surface for mirror polishing, creping, EDM (OA electronics, transparent case)
SUS420 improved	50-55 (quench and temper)	1μm #14000	Mold for anti-corrosion/mirror polish (floppy cassette, medical instruments, food container)

* 日立金属株式会社 冶金研究所

** 日立金属株式会社 冶金研究所 工学博士

*** 日立金属株式会社 安来工場

* Metallurgical Research Laboratory, Hitachi Metals, Ltd.

** Metallurgical Research Laboratory, Hitachi Metals, Ltd.

*** Yasugi Works, Hitachi Metals, Ltd.

40HRC前後の高硬度で、被削性（機械加工性）を重視する合金設計成分となっており、溶接時や薄肉金型の耐割れ性が不足するという指摘が顧客から多く寄せられた。またエンブラの中には、成形中に発生するガスで金型が腐食するという問題が増えているが、プラスチック金型材料の中で、耐食性を持つものは、ステンレス鋼のみであった。このような顧客ニーズにこたえるため、樹脂成形時の金型腐食や、磨き性に及ぼす金型材料や調質硬さの影響を調べ、これまで流通していなかった耐食性や磨き性と靱性（じんせい）や被削性の組み合わせを持った硬さと組成のプラスチック金型材を提案することが、本稿の目的であり、中国を始めとする海外勢の台頭する中、競争力強化に向けた素材メーカーへの一助とすることを最終目的としている。国内金型メーカーは、工作機械、切削工具における発展が日本で目覚ましい高速切削技術を競争力確保の主力のひとつと考えているので、高速切削における被削性も検討項目のひとつとした。

② 実験方法

2.1 供試材

供試材は市販のプリハードン鋼であり、入手状態で評価した。その概要を表2に示す。SCM系の溶接性、磨き性改良鋼、析出硬化系、含Cr析出硬化系および13%Cr系マルテンサイト系ステンレス鋼の4種である。SCM系改良鋼では日立金属製のHPM7[®]が、析出硬化系では大同特殊鋼のNAK80[®]が、ステンレス系ではウッデホルム社製のSTAVAX[®]と日立金属のHPM38[®]が広く流通している。含Cr析出硬化鋼CENA1[®]は当社が最近発表した新プラスチック金型材である³⁾。NAK80を代表とする析出硬化鋼は、40HRCの硬さで流通しているが、特性評価のため、焼戻し温度による調整で硬さを何通りか変えたものを準備した。13%Cr系マルテンサイト系ステンレス鋼は1,030 で焼入れ後、200 で焼戻しして、52HRCに調質した。

2.2 実験方法

2.3.1 成形中のガスによる腐食試験

図1に示す形状の可動型、固定型の試験入れ子金型⁴⁾を作製して、490kN射出成形試験機により、それぞれの樹脂で3,000ショットずつ成形した。樹脂の種類と成形温度は、実験結果の項に示す。可動型を供試材として、固定側は腐食の起こりにくい13%Cr系ステンレス鋼とした。固定型の周囲に溝を設けることによって、樹脂の最終充填（じゅうてん）部が金型の中心位置となるようになっており、発生したガスがこの位置に閉じ込められることによって、高温高圧化したガスが加速的に可動型表面を腐食させる形状となっている。

2.3.2 磨き試験

各供試材から100mm幅×10mm高さ×100mm長さの

表2 供試材の組成と硬さ

Table 2 Chemical composition (mass%) and hardness of test specimens.

Steel	C	Si	Mn	Cr	Mo	Others	Hardness (HRC)
SCM improved	0.17	0.3	1.6	2.3	0.4	S=0.04	32
NiAl precipitation grade	0.13	0.3	1.7	0.2	0.3	Ni=3, Al=1, Cu=1	29, 32, 36, 40
Cr contained NiAl Precipitation grade	0.06	1.2	0.5	4.0	1.0	Ni=3, Al=1, Cu=1	40
SUS 420 improved	0.37	0.9	0.4	13.4	0.1		52

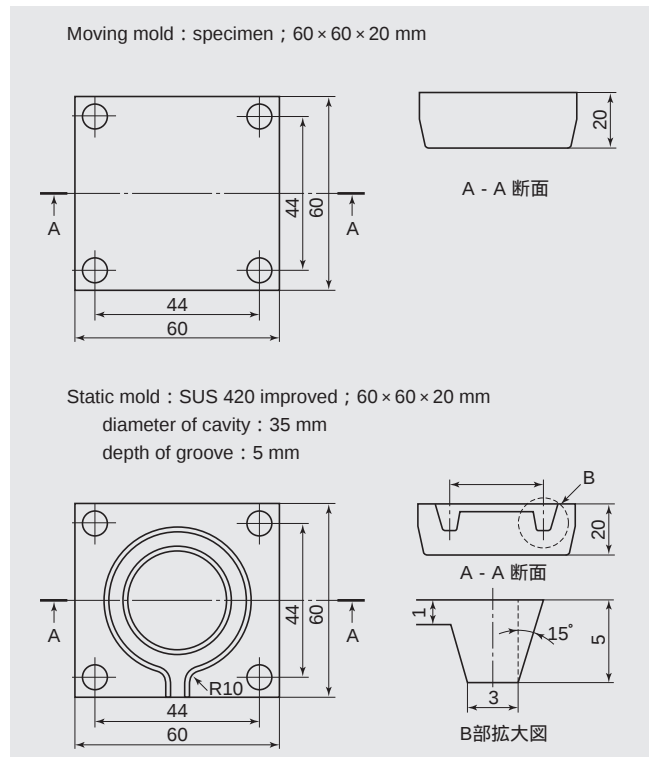


図1 射出成形テスト用試料の寸法

Fig. 1 Dimensions of specimens for injection molding test.

試験片を採取した。試験片の長さ方向は鍛伸方向と一致させた。100mm幅×100mm長さの面を平面研削加工後、エメリー・ペーパーで#2000、バフで#6000まで研磨した後、ダイヤモンドペースト粒度3μm（メッシュNo.#8000）による仕上げ研磨を行った。研磨は実際の金型研磨作業を考慮して、磨き職人の方に依頼してすべて手仕上げで行った。

鏡面磨き性の評価は、磨き面に45°方向から蛍光灯で照らしたときにできる表面の微小な凹凸を拡大観察した。実際の金型の鏡面性は、表面粗さ計で測定される最大高さRyや反射率等で評価されるのではなく、金型の微妙な凹凸が転写される成形物としての樹脂の表面性状で合否が判定されるものであることを考慮して、定性的ではあるが、このような方法でのピンホールやうねりの観察を通して、鏡面性の評価とした。

2.3.3 切削試験

切削試験はボールエンドミル、フライス工具、ドリル、ガンドリルを用いたが、それぞれの切削条件は、実験結果の項に示す。ドリルはJIS汎用ドリルを用いたが、先端角の検討は、市販のJISドリルの刃先を再研削することで行った。

切削温度の測定は古典的な手法である旋盤を用いた工具 - 被削材間の起電力法によった。供試材ごとに工具と

の起電力の温度依存性をあらかじめ測定して、測定された起電力を温度に換算した。

③ 実験結果

3.1 成形中のガスによる腐食試験

需要増が見込まれているエンプラ製品のうちで、ポリフェニレンサルファイド（PPS）はSを含むため、射出成形中に樹脂から発生するガスが金型を腐食すると言われている。ポリアセタール（POM）や汎用プラスチックであるABS樹脂も近年ほとんどのものが難燃性グレードのものに置き換わり、量産品では金型腐食が問題になるという。これまで樹脂に対する腐食性の評価は、樹脂成分や添加剤などから発生するガスを想定した酸に鋼材を浸漬する耐食試験で評価されてきたが、実際の金型で腐食が進行する部位は決まっており、ガスが閉じ込められる部位や、金型間の隙間のようなガスが高圧となって逃げる部位であった。このため、滞留する部位からポンプを使ってガスを吸い出すとか、クリアランスを大きくするといった対策が講じられてきた。そこで、ガスを故意に閉じ込めるような試験金型を作って射出成形実験を行った。

図2にPOM樹脂と難燃グレードのABS樹脂とをいずれも3000ショットずつ成形した後の金型表面の観察結果を示す。POM樹脂では、成形後金型表面を水洗いすることで、含Cr析出硬化鋼ではほとんど変化はなかったのに対して、析出硬化鋼は変色が残った。図2中段には変色位置の顕微鏡観察結果を示しているが、析出硬化鋼は、表面に無数の腐食ピットが観察される一方、含Cr析出硬化鋼はピット生成が認められるもののごく微小で目視では観察できない。難燃ABS樹脂の場合は、含Cr析出硬化鋼、析出硬化鋼のいずれも変色があったが、析出硬化鋼は腐食が進行して、着色部の全面が窪んでいたうえ、放射状に伸びた変色も観察された。これは実際の金型にも

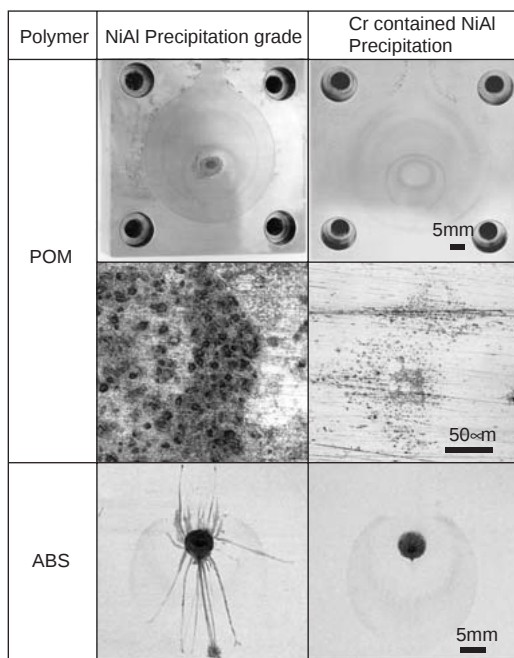


図2 射出成形後の試料表面変化

Fig. 2 Surface change of specimens after injection molding tests.

観察された現象であった。

PPS樹脂を同様に3000ショット成形すると、13%Cr系マルテンサイト系ステンレス鋼でも析出硬化鋼と同様に腐食していた。しかし図3内矢印で示した部位で比較すると、それぞれ白く円弧状に変色しているが、析出硬化鋼よりその変化が小さかった。この部分は、可動入れ子と固定入れ子の型彫りの合わせ位置であり、この隙間から逃げるガスによっても、PPS樹脂の場合、腐食が起きているが、13%Cr鋼はCrを含まない析出硬化鋼に比べ、腐食性ガスに強いことを物語っている。PPS樹脂は腐食性が強く、CrNなどの硬質皮膜が効果のあることが報告されている⁴⁾。

そのほか、腐食問題が指摘されている樹脂でも同様の実験を行った。定性的であるが樹脂温度と整理して表3に示した。添加剤や樹脂に含まれる成分などさまざまな因子がこれまで指摘されてきたが、成形時の樹脂温度の影響が大きいと言えそうである。

ところで、金型材の種類による腐食挙動差には、添加Crの影響が認められる。含Cr析出硬化鋼には4%のCrが添加されており、Crを含まない析出硬化鋼と比較すると、腐食が起こりにくい。水道水浸漬試験による錆（さび）の発生状況においても両者の差が明確であった。そこで長時間の放電加工など錆が問題になる場合に、析出硬化鋼に代わって、含Cr析出硬化鋼が使用される場合がある。また金型の成形面の内側に多数の水管を設けて、これに高圧の蒸気と水を射出のタイミングに同期させて、瞬時の温度制御を行うことによって、樹脂の射出成形に特有のウェルドと呼ばれるきずの発生を防ぐ「ウェルドレス金型」が発表され用途を拡大している⁵⁾が、水管の腐食を抑えるために含Cr析出硬化鋼が使用されている。

3.2 磨き試験

現在磨きによって仕上げられるSCM系改良鋼、析出硬化鋼、ステンレス鋼はその鏡面性によって、研磨剤の粒度で使い分けられている。鏡面性は鋼材の種類だけでな

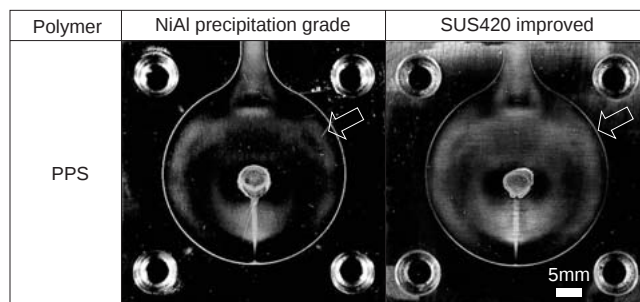


図3 射出成形後の試料表面変化

Fig. 3 Surface change of specimens after PPS injection molding tests.

表3 金型表面腐食に対する射出成形温度の影響

Molding temperature	Corrosion of die surface
340	× × ×
320 (PPS)	× ×
270	×
230 (ABS)	
195 (POM)	○

く、調質硬さと鋼材の溶解法⁶⁾で確保されている。そこで、一律#8000鏡面磨きを行った試料の表面を蛍光灯で陰影を付けて観察することで、鏡面性の比較を行った。SCM系改良鋼の推奨磨きは#3000までであるが、比較のため、#8000磨きを行ってみた。

40HRCに調質され流通している析出硬化鋼，含Cr析出硬化鋼では，図4に示すように#8000磨きを推奨しており，凹凸のない磨き面が形成されている。

一方，SCM系改良鋼は同図に示すように，線状の凹凸が見られるうえ，微小な窪みが多量に観察された。SCM系改良鋼には，被削性を改良するため，長さ50μm程度の軟質の硫化物（MnS）が分散分布している。これらは，基地硬さ（30HRC前後）に比べて，軟らかいため，研磨中に窪みとなってしまう。これらが微小窪みとなって観察される。

Sを数ppm以下まで低下させた析出硬化鋼で，調質硬さを変えて，#8000磨きした試料の結果も図4に示した。29,32HRCでは細かい段差が観察されるが，36HRCでは40HRCと遜色（そんしょく）ない磨き面が得られている。実際に成形してみて樹脂への転写を確認した36HRCの金型が合格の評価を得ている。40HRCプリハードン析出硬化鋼では低靱性で被削性を確保しているが，薄肉部を持つ大物型では，溶接補修時や成形時に加わる応力で，割れが発生する場合があります，36HRCに硬さを下げることで，このような問題が回避される場合がある。表4には，350mm厚みの析出硬化鋼素材の破壊靱性値の測定例を示した。ダイカスト金型を含め，熱応力の加わる金型が大割れを起こしやすい破壊靱性値のしきい値は，ほぼ35MPa・m^{1/2}といわれており，36HRCの硬さであれば，析出硬化鋼でも大割れの起こる頻度はかなり低減すると言える。

36HRCでは穴明け加工にも改善効果がある。これに

ついては3.4節に記述する。

表4 析出硬化鋼素材の破壊靱性値の測定例
Table 4 Examples of measured fracture toughness of precipitation hardened plastic mold steel.

Hardness (HRC)	Fracture toughness (MPa・m ^{1/2})
40.5	36
36.2	58

3.3 高速切削性

国内では主軸の回転数が毎分一万を超える金型用の工作機が普及し，十万に至る超高速のものも販売されている。これには国内の切削工具メーカーの新しい硬質皮膜の開発を基軸とする高速切削用の高性能工具の開発が大きく貢献しており，金型業者の競争力確保の原資となっている。そこで高速切削の比較試験を行なった。

図5は，高速切削試験結果を視覚的に比較するために，ボールエンドミルを用いて平面削りを行った試料を並べて，切削面にタイプした文字を映しこんだ写真を示している。

3枚の真中に並べた含Cr析出硬化鋼は，158m/minの高速切削で，汎用析出硬化鋼より文字がクリアに映し出されている。これは切削面の表面粗さが均質であることを示している。

この差の原因を調べるため，切削温度の測定を行った。切削温度の測定は旋盤を用いた起電力法で行った。エンドミル加工は断続切削で，旋盤加工は連続切削であるので，切削速度との挙動を単純に比較できないが，図6に示すように，同じ条件すなわち同じ切削速度では，含Cr析出硬化鋼の切削温度が，汎用析出硬化鋼より低いことがわかった。

さらにフライス工具で切削加工後の工具すくい面の元素分析をX線マイクロアナライザーで行ったところ，図

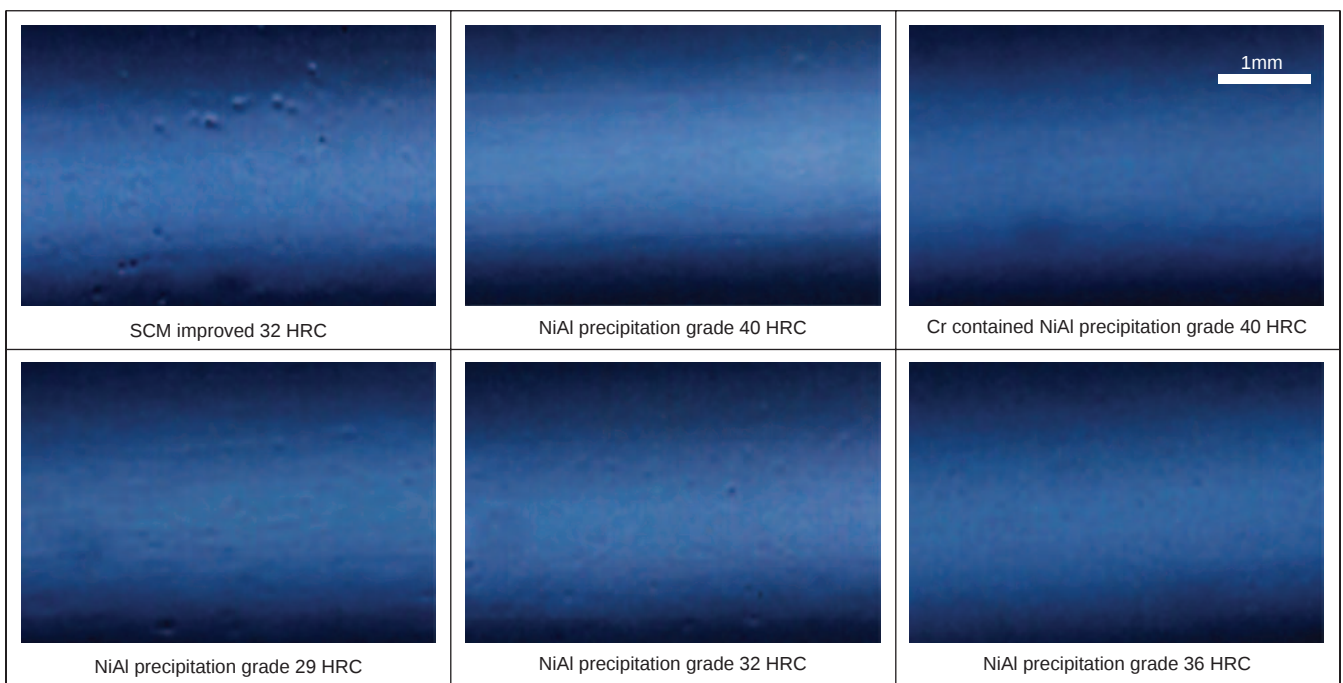


図4 8000ダイヤモンドペーストによる鏡面研磨表面の蛍光灯反射観察

Fig.4 Observation of reflected surface by fluorescence after mirror polishing with diamond paste number #8000.

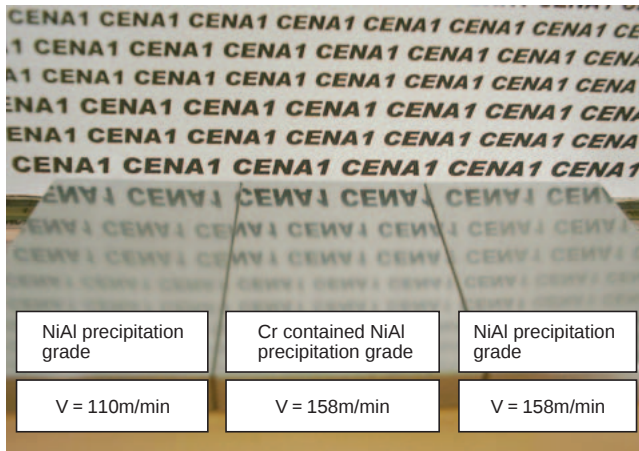


図5 反射による高速切削試験評価

Fig. 5 Influence of cutting velocity on machined surface by reflection.

diameter of ball end mill: 10 mm
rotation speed: 12,500, 18,000 min.⁻¹
feed speed: 0.1 mm/tooth
Ad × Pf: 0.2 × 0.2 mm
high pressure water soluble coolant

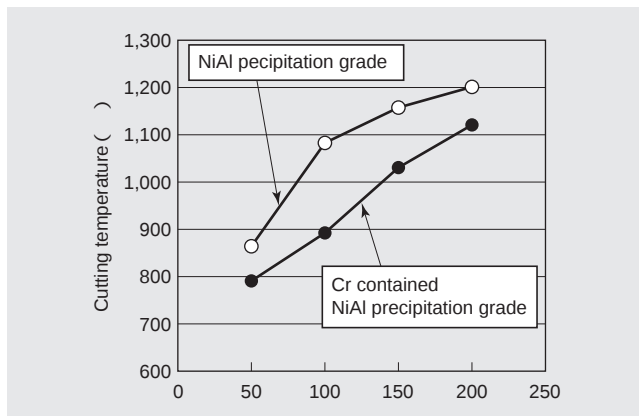


図6 切削温度と切削速度の関係

Fig. 6 Relationship between cutting velocity and cutting temperature by turning.

Feed speed: 0.2 mm/rev. cutting depth: 1 mm

7に示すように、高速側で、汎用析出硬化鋼では、すくい面への酸化物付着量が低下していることがわかった。加えて熱き裂も観察された。この工具表面への酸化物の付着堆積は、切削工学の分野で「ベラーク」と呼ばれ、切りくずの擦過による工具の温度上昇などによる劣化を防ぐ役割を果たすことが知られている⁹⁾が、汎用析出硬化鋼では切削速度が速くなると、酸化物の融点近い温度まで切削点の温度が上がるため、酸化物が流れ落ちるためベラークが形成されにくいことがわかる。

このように含Cr析出硬化鋼が高速切削に適している理由は、切削温度が過度に上がらないためであるが、その理由ははっきりしていない。Crは熱伝導率を下げる元素であるので、そのほかの実験事実よりCrではなくて、CやSi量の違いによるものと考えられている。

3.4 穴明け加工性

高速切削の導入により形状加工の能率は飛躍的に向上した。一方で高速化が難しいのが、穴明け特に深穴の加工である。複数の理由があるが、高速切削用に開発され

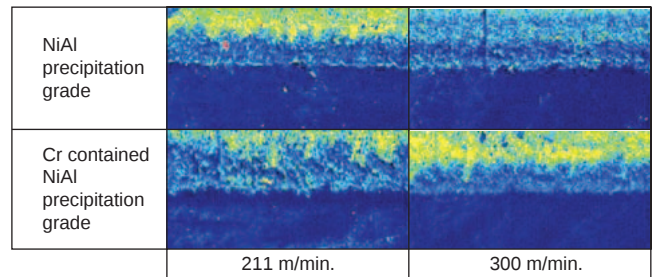


図7 工具すくい面の付着酸化物分析 (XMA分析)

Fig. 7 Oxides adhering to surface of face milling tool measured with X-ray micro analyzer.

た新しい工具のほとんどが、超硬材に硬質皮膜をコーティングしたものであるが、金型用の孔明け工具のほとんどは、深い穴を加工中に工具が折損することに配慮して、ほとんどが高速度鋼製のものが使用されているからである。

穴明け中に工具が折損するとリードタイムに大きな被害を及ぼす。埋り込んだ工具を放電や専用の超硬ドリルで取り除かねばならないからである。よって、金型に要求される材料の穴明け加工性とは、工具の摩耗が進みにくいとかが切削面が良いという点より、加工中に工具が折損しにくいといった特性が金型作りの現場においては、重要関心事となる。

ボール盤などで、析出硬化鋼をドリル加工していくと、きしみ音が発生し、続いてドリルが空転を始め、穴明けが進まなくなる。これを無理に進めると、ドリルが折損する。作業者は異常音を聞き、過去の経験をもとに、ドリルを交換するが、それらのドリルを観察すると、刃の外周側に切りくずが付着しているが、それを外すと工具はさほど摩耗していないことに気付くことがある。

40HRC析出硬化鋼で孔深さがドリル径の3倍以上の孔を加工する場合に、こうしたことが頻繁に起こる。Co入り高速度鋼製のドリルやコーティングドリルを用いると、比較的多くの孔加工が可能であるが、多くの金型業者はこの種の高硬度鋼だけでなく、軟質の炭素鋼も加工するので、JIS標準ドリルを再研削しながら使用しているのが一般的である。ところで、JIS標準ドリルの先端角はJISで118°±3°と規定されている⁹⁾が、SUS304のような軟質でねばっこいステンレス鋼を穴明けするときには先端角を120°以上にすることがある。そこで硬質でもろい析出硬化鋼について、先端角を検討したところ、逆に先端をとがらせたときに、切りくずの排出性が良くなる結果が得られた。図8は含Cr析出硬化鋼を標準の118°と110°で加工したときの、切りくず排出挙動を示している。切りくずの排出性を観察するために、切削油を用いずに加工した事例である。118°の場合、切りくずが細かく、穴の外に排出されなかった切りくずがドリル外周側にかんできしみ音が発生し、ときどき伸び切った切りくずが排出された。一方、110°の場合にはきれいに巻いた切りくずが連続的に排出された。実際の加工の場合には、ステップ加工を行うことで、順次切りくずが切断されるので、工具にからみつくようなことはない。

プラスチック金型では、しばしば温調のために水管が設けられる。大寸法の金型では超深穴加工にガンドリルマシンが用いられることが多い。超深穴加工に要する時

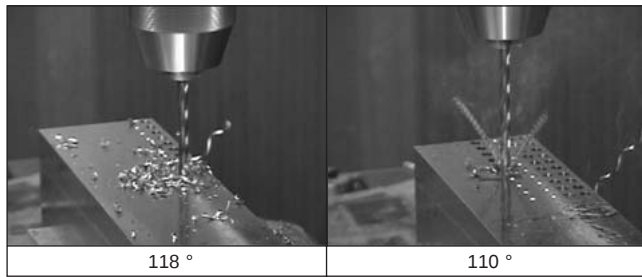


図8 含CrNiAl析出硬化鋼加工時におけるドリル先端角による切りくずの変化

Fig. 8 Cutting chips by drill using different tip angles for drilling NiAl precipitation grade.

diameter of drill: 5 mm, cutting depth: 25 mm
cutting velocity: 15.1 m/min., rotation speed 960 min.⁻¹
feeding by hand

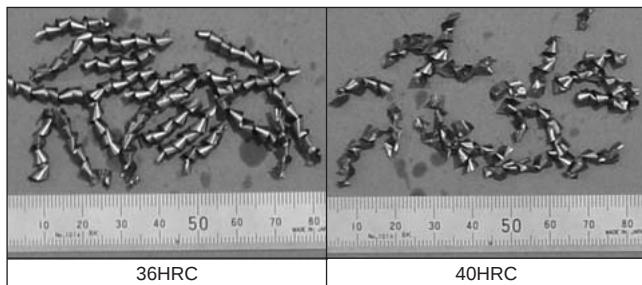


図9 NiAl析出硬化鋼の硬さとガンドリル加工による切り形状

Fig. 9 Cutting chips of different hardnesses of NiAl precipitation grade using gundrilling process.

diameter of drill: 10 mm, cutting depth: 580 mm × 10path
cutting velocity: 40 m/min., rotation speed 1275 min.⁻¹
feed speed: 19 mm/min.(0.015 mm/rev.)

間を考えて、夜間無人運転する場合には、切りくず詰まりによるトラブルを未然に防ぐと同時になるべく高効率に送りを大きくしたい。このような場合、切りくずの排出性は重要である。図9には、析出硬化鋼に10mm径のガンドリルで580mm深さの穴を明けたときの、析出硬化鋼の硬さと切りくず形状を示した。汎用鋼の硬さを40HRCから36HRCに下げることによって、切りくずがきれいに巻いている。この場合では、送りを70%増しても安定した穴加工が可能であった。

④ 結 言

本報告では、これまでの鋼材メーカーの研究報告のような材料特性を中心とした試験結果ではなく、お客さまが直面する問題に則した試験を行った。例えば、腐食を促進させる物質に対する耐食試験の結果ではなく、実際に使用されている樹脂で成形実験を行い、金型材の腐食挙動を示した。また例えば、工具摩耗ではなく、加工面の仕上がりや、実際の作業者が工具交換の判定を行う切りくず排出や切削音で被削性を評価した。その結果は以下のとおりである。

- (1) 樹脂の種類によっては、総焼入れ鋼である13Cr系ステンレス鋼だけではなく、含Cr(4%)40HRC予備調質析出硬化鋼でも金型腐食の問題を軽減することができる。
- (2) 含Cr析出硬化鋼は汎用析出硬化鋼に比べ、切削温度が低いため、より高速切削でもベラークが安定して工具表面に付着堆積するため、安定した加工が可能である。
- (3) JISドリルで40HRCの析出硬化鋼を深穴加工する場合、

合、先端角を118°からとがらせることが有効である。

- (4) 36HRC析出硬化鋼は、鏡面磨き性を損なうことなく、溶接割れ感受性が下がり、ガンドリル加工のような超深穴加工でも切りくず排出性が安定することから、大物金型製作の場合に必要な細やかな配慮を軽減することができる。

以上のようなこれまで市場に流通していなかったプラスチック金型材を用途に応じて使用することで、より安価な鋼材を選び、加工工数を低減することで、品質、価格の競争力のある金型が提供できると期待される。

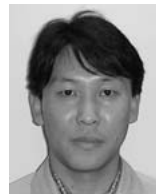
参考文献

- 1) 富士キメラ総研：最新市場調査レポート「2003年自動車用高分子材料の現状と将来展望」(2003/10/29)
- 2) 日立金属、カタログ：「YSS高級プラスチック金型鋼」
- 3) 中津英司、田村庸、村川義行、遠山文夫、福島捷昭：日立金属技報vol.17(2001), p.81
- 4) 望月智仁、大塚弘己、三輪勝正、小林博行：PPS樹脂用金型の表面処理報による腐食対策、成形加工シンポジウム'98(プラスチック成形加工学会), p.211
- 5) 日経D&M(2003) no.589, p.20
- 6) 並木邦夫：電気製鋼vol.74(2003), No.2, p.109
- 7) 狩野勝吉：難削材の切削加工技術、工業調査会、(1989), p.96
- 8) JIS B4313 高速度工具鋼ドリル - 技術仕様5.12.2



田村 庸

Yasushi Tamura
日立金属株式会社 冶金研究所



中津英司

Hideshi Nakatsu
日立金属株式会社 冶金研究所 工学博士



松本正治

Masaharu Matsumoto
日立金属株式会社 安来工場



細田康弘

Yasuhiro Hosoda
日立金属株式会社 安来工場



遠山文夫

Fumio Tohyama
日立金属株式会社 安来工場