

技術資料



Technical Data

射出成形のサイクルタイム短縮に貢献する PAT868

伊吹基宏*¹, 安田泰士*²

“PAT868” Mold Material for Shortening Cycle Time in Injection Molding

Motohiro Ibuki and Taishi Yasuda

Synopsis

SUS420J2 grade steel has been widely used for injection mold. In injection molding, cooling rate for solidification determines productivity, so cooling path is put closed to mold surface. Cooling path close to mold surface often causes cracks from cooling path to mold surface.

PAT868 is superior in fracture resistance and thermal conductivity to SUS420J2 grade steel. PAT868 shows faster cooling rate and higher productivity as an injection mold material.

1. 背景

プラスチック成形金型はプラスチック製品の生産個数やプラスチック原料に含まれる硬質のガラスフィラーの量などから、使用される硬さが選定されることが多い¹⁾。使用される硬さによって金型用鋼の鋼種は大まかに決まり、30 HRC 級では SCM (P20) 系、40 HRC 級では析出硬化 (P21) 系、50 HRC 級では SUS420J2 系の鋼種が選択されることが多い。当社は SUS420J2 系のメイン鋼種として「S-STAR」を販売しており、耐摩耗性、耐食性や鏡面性が必要とされる金型に適用され、高品質なプラスチック製品を成形する金型用鋼として御使用いただいている。金型は生産設備の一部品であるため、高品質な製品を得ることが要求される一方、生産のサイクルタイム短縮に対する強いニーズが存在する。プラスチックの射出成形は型締め→射出→充填→冷却(固化)→型開き→製品取り出しのサイクルで生産をしている。他の工程に比べてプラスチック固化にかかる冷却時間のサイク

ルタイムに占める割合が大きいため、いかに冷却時間を短縮するかが重要となる。そのため金型内部の水冷孔を意匠面(金型表面)に近づけるような金型設計がしばしば行われる。水冷孔が意匠面に近づくことで冷却を強化することができるが、水冷孔から意匠面までを貫く割れが発生し、水漏れを起こすなどのトラブルも発生しやすくなる。そこで水冷孔からの割れを低減し SUS420J2 系の鋼種対比でサイクルタイム短縮に貢献する PAT868 を開発したのでその諸特性を紹介する。

2. 金型製造性

2. 1 焼入焼戻し硬さ

硬さは変形のしにくさを示す指標の一つで、鏡面磨きの仕上がりなどにも影響する²⁾。1303 K で 3.6 ks 保持後に急冷して焼入れを実施し、焼戻しは各温度で 3.6 ks 保持後に空冷の処理を 2 回実施した時の硬さを Fig. 1 に示す。PAT868 は S-STAR 対比で 3 ~ 4 HRC 低い値である

2014年6月2日受付

* 1 大同特殊鋼(株)研究開発本部 (Daido Corporate Research & Development Center, Daido Steel Co., Ltd.)

* 2 大同特殊鋼(株)機能材料製品本部 (Functional Material Business Center, Daido Steel Co., Ltd.)

が焼戻し温度 473 K や 773 K 付近で 50 HRC 以上の硬さが得られる。このため S-STAR と同様に使用環境に応じて低温焼戻しや高温焼戻しを選択することができる。

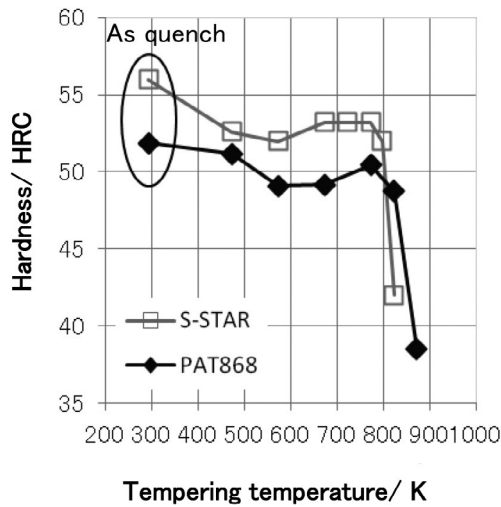


Fig. 1. Tempering hardness.

2. 2 焼入性

PAT868 と S-STAR の連続冷却変態曲線 (CCT) を比較したものを Fig. 2 に示す。鋼材組織に 1100 K から 900 K でパーライトが析出し始める冷却速度、つまり臨界冷却速度を比較すると S-STAR が約 0.16 K/s であるのに対して、PAT868 は約 0.04 K/s と低冷却速度側に位置しており、より焼入性に優れていることがわかる。焼入性に優れるということは、焼入れ時に遅い冷却速度となり易い大きなサイズの金型であってもパーライト析出のない組織や必要硬さが得られることを意味し、PAT868 は S-STAR よりも大きなサイズの金型作製が可能である。

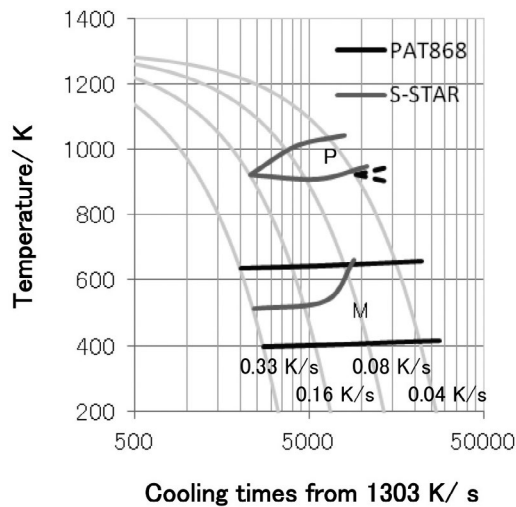


Fig. 2. Continuous cooling transformation diagram.

2. 3 熱処理変寸

PAT868 は球状化焼きなましの状態で当社より出荷される。そのため、金型は球状化焼きなましの状態で粗加工し、所定の硬さに熱処理で調質してから精加工が実施されることも多い。この場合粗加工時の取りしろは熱処理による寸法変化を見込んで設定する必要がある。Fig. 3 に球状化焼きなましの状態で直径 10 mm 長さ 50 mm の試験片を採取し、熱処理による長さや直径の寸法変化率を測定した結果を示す。また、素材の長手方向 (鍛伸方向) が試験片の長さ方向となるように向きをそろえて採取した。PAT868 の熱処理変寸率は S-STAR とほぼ同等であるため、S-STAR と同等の取りしろを設定することを推奨している。

2. 4 被削性

金型製造コストにおいて切削工程の占める割合は大きく、金型用鋼の被削性は重要な特性である。球状化焼きなまし状態のエンドミル加工の被削性を Fig. 4 に示す。PAT868 と S-STAR を切削した工具の摩耗曲線はほぼ重なっておりエンドミル加工の被削性は同等と考えられる。次に球状化焼きなまし状態のドリルの被削性を Fig. 5 に示す。ドリル加工の被削性においても PAT868 と S-STAR はほぼ同等と考えられる。一方、焼入焼戻し状態でのエンドミル加工の被削性には差が認められた。この時の工具の摩耗曲線 Fig. 6 に示す。PAT868 は S-STAR に比べて摩耗が早く進行した。よって球状化焼きなまし状態での切削加工については S-STAR と同条件での加工を推奨しており、焼入焼戻し状態の切削加工ではより耐摩耗性に優れた工具 (材質・表面処理) の使用を推奨している。

Quenching: 1303 K x 1 h → gas fan cooling
 Tempering (twice): 473 ~ 873 K x 1 h → air cooling

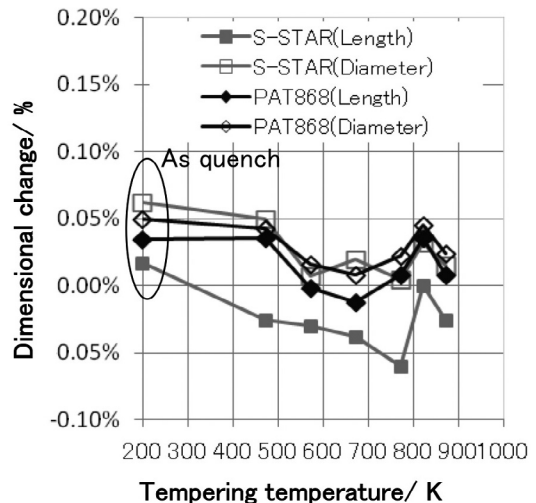


Fig. 3. Dimensional change at heat treatment.

Endmill:BAE600R322S32(MMC), ϕ 32 mm
 Indexable insert:AEMW19T308ER(VP15TF)
 Cutting speed:150 m/min
 Feed: 0.15 mm/tooth, Down cut, Dry air
 Axial depth of cut: 4 mm, Radial depth of cut :1 mm
 S-STAR:88.7 HRB
 PAT868:76.8 HRB

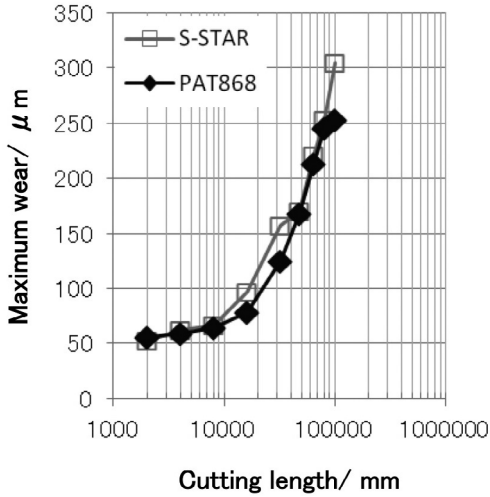


Fig. 4. Milling machinability of annealed steel.

Drill:SD (Nachi), ϕ 5 mm
 Cutting speed: 150 m/min
 Feed:0.15 mm/rev
 Coolant:Yushiro-kenFGE360(5 %)
 Depth of hole: 20 mm
 S-STAR:88.7 HRB
 PAT868:76.8 HRB

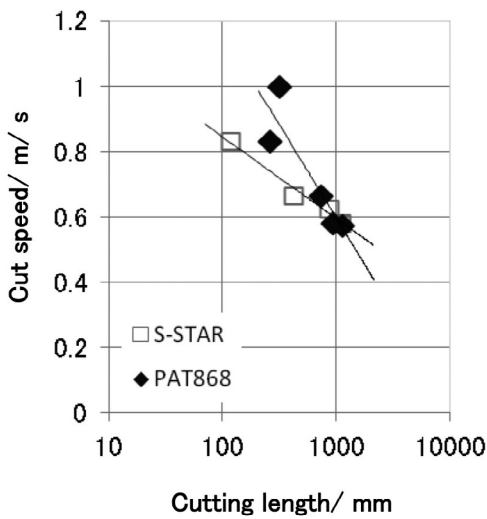


Fig. 5. Drill machinability of annealed steel.

Endmill:BAE600R322S32(MMC), ϕ 32 mm
 Indexable insert:AEMW19T308ER(VP15TF)
 Cutting speed:150 m/min
 Feed:0.15 mm/tooth, Down cut, Dry air
 Axial depth of cut:4 mm, Radial depth of cut :1 mm
 S-STAR:51.9 HRC
 PAT868:48.5 HRC

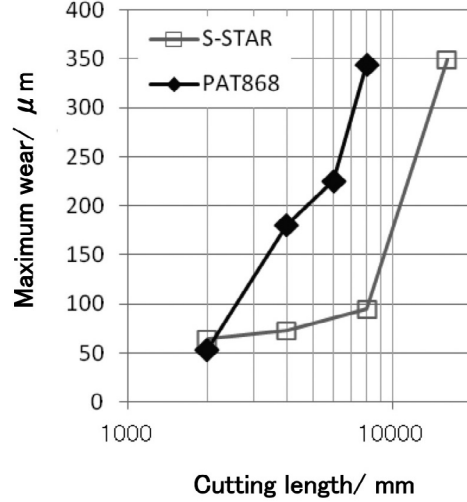


Fig. 6. Milling machinability of quenched and tempered steel.

3. 金型性能

PAT868 の金型使用時の特性を以下に示す。特性調査に使用した試験片の焼入温度は 1303 K、焼戻温度 773 K 前後で 2 回実施し、硬さを 50 HRC \pm 1 となるように調質した。

3. 1 熱伝導率

冷却時間を短縮するためには熱伝導率の高い金型用鋼を選択することも有効である。PAT868 と S-STAR の熱伝導率を Fig. 7 に示す。PAT868 の室温 (298 K) での熱伝導率は S-STAR 対比で約 30 % 高く、698 K では約 10 % 高い。Fig. 8 に熱伝導率を変えて金型の冷却時間を計算した結果を示す。計算は金型の初期温度を 50 $^{\circ}$ C、250 $^{\circ}$ C の樹脂が充填され、金型表面温度が再び 50 $^{\circ}$ C になるまでの時間を比較した。金型には表面から 11 mm のところに温調穴を設け、温調穴の温度は 35 $^{\circ}$ C とした。この条件では S-STAR は冷却に 11.7 s かかるが、PAT868 では 9.6 s となり、高熱伝導率により約 20 % 冷却時間が短縮できる計算結果となった。

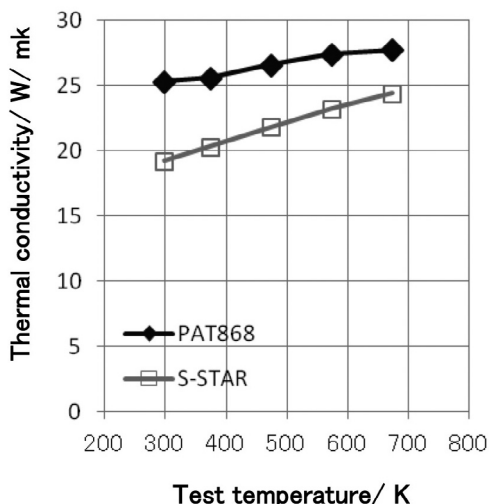


Fig. 7. Thermal conductivity.

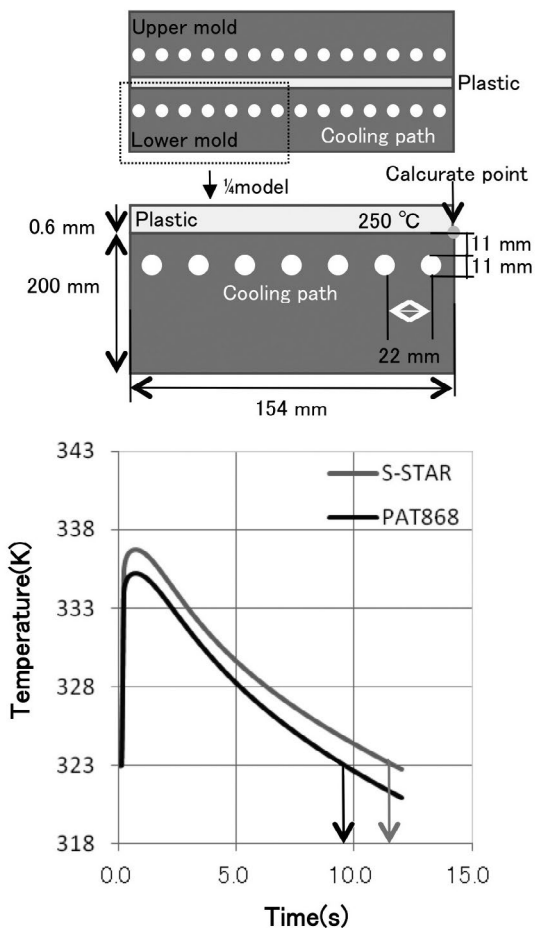


Fig. 8. Calculated cooling time.

3. 2 強 度

金型は Fig. 8 に示したように、使用中に温度が上下する。そこで 298 K から 673 K までの 0.2 % 耐力と引張強度の調査結果を Fig. 9 に示す。温度が上昇するにつれて引張強度が低下する傾向は PAT868 と S-STAR で同じである。298 K での引張強度は PAT868 と S-STAR では同等であるが、試験温度が上昇するにつれて PAT868 の方が、やや高い引張強度を示す。その一方、0.2 % 耐力は PAT868 の方がやや低い値となった。また高い温度ほどその差は小さくなった。このため PAT868 は S-STAR と比較して、バリなどを挟んだ場合に金型表面がへこみやすくなることや樹脂に含まれるフィラーなどによる摩耗量がやや多くなることが考えられる。

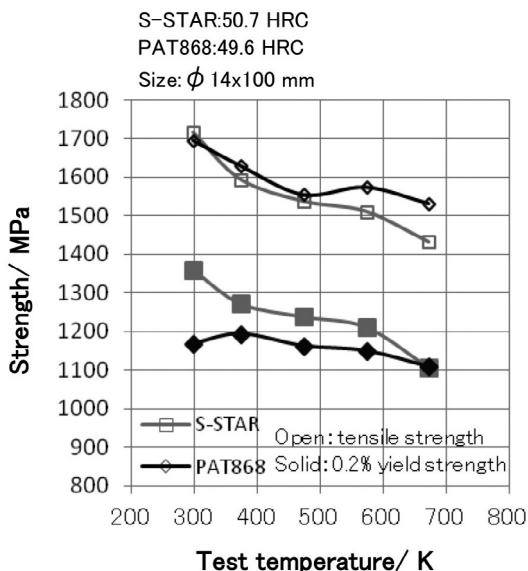


Fig. 9. Tensile strength.

3. 3 疲 勞

金型は型締めなど生産サイクルの中で、繰り返す機械的・熱的応力が付与される。そこで材料の疲労特性として小野式回転曲げ疲労試験を実施した結果を Fig. 10 に示す。 10^7 回の疲労強度は S-STAR よりも PAT868 の方が高い結果となった。よって極微細な割れが徐々に広がって金型寿命に至るような金型に PAT868 を適用することで、金型寿命が改善する可能性が考えられる。

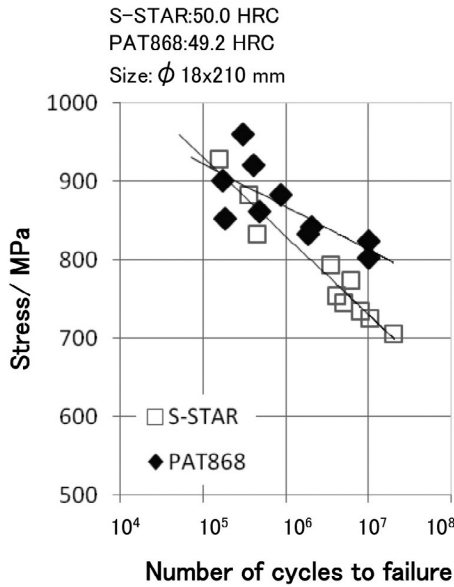


Fig.10. Fatigue strength.

3. 4 韌 性

金型の大割れを抑制するには、高韌性の金型用鋼を選択することも有効である。Fig. 11 に PAT868 と S-STAR のシャルピー衝撃試験結果を示す。試験片は 2 mm U ノッチを有した形状で、試験は室温で実施した。PAT868 は S-STAR 対比で 2 倍以上の値を示しており、耐割れ性に優れる。また、Fig. 12 に PAT868 と S-STAR の破壊韌性値を示す。破壊韌性値はすでに亀裂が存在している場合に、その亀裂が進展する条件を示す指標で高い値であるほど亀裂が進展しにくい。PAT868 は衝撃値と同様に破壊韌性値も高い結果が得られた。

これらの特性から水冷孔からの割れへの影響は次のようになると考えられる。水冷孔からの割れはまず腐食ピットや加工時の段差などを起点として水冷孔表面に亀裂が発生し、その亀裂に生産サイクル中の機械的・熱的応力により応力集中が起こって亀裂が進展し、意匠面（金型表面）に貫通すると考えられる。PAT868 は衝撃値が高いため亀裂発生抑制が期待できる。また破壊韌性値が高いため亀裂伝播の面でも有利である。このため、PAT868 を使用することで水冷孔からの割れの抑制が期待できる。

3. 5 耐食性

金型の腐食については使用環境に応じて評価することが必要である。使用期間外での金型保管中の錆発生につ

いては湿潤試験で評価を行った。試験結果を Fig. 13 に示す。試験条件は湿度 98 %、温度 323 K、試験時間は 5 h である。PAT868 と S-STAR はともに発錆がなく良好な耐食性を示している。樹脂による腐食の 1 例としてポリアセタール (POM) を想定した蟻酸浸漬の耐食試験結果を Fig. 14 に示す。試験条件は蟻酸濃度 1 %、試験温度 298 K、試験時間 24 h とし、腐食減量を測定した。PAT868 と S-STAR 共に約 1 % の同程度の腐食減量であった。PAT868 は金型保管や樹脂による腐食の試験では S-STAR とほぼ同等の耐食性を示した。

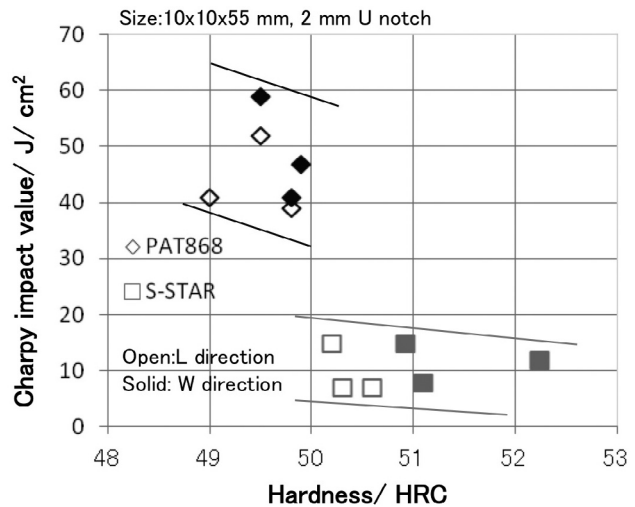


Fig. 11. Charpy impact value.

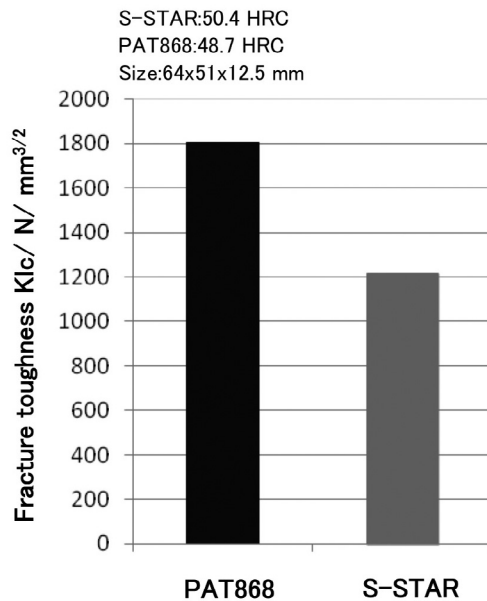


Fig. 12. Fracture toughness.

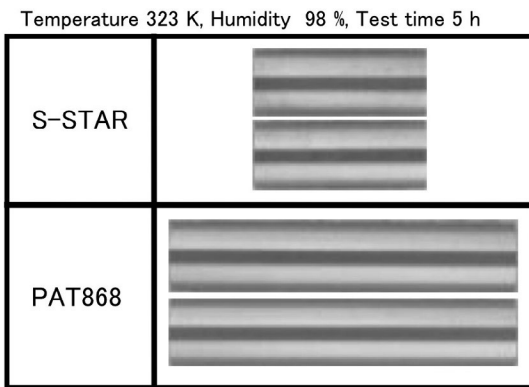


Fig. 13. Humidity cabinet test.

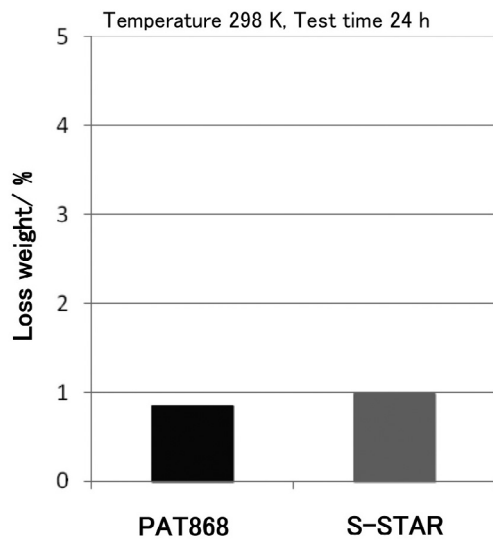


Fig. 14. Corrosion resistance for 1 % formic acid.

4. まとめ

PAT868 は SUS420J2 (S-STAR) 対比で高い熱伝導率 (約 25 ~ 28 W/m · K) を有したプラスチック金型用鋼である。熱伝導率が向上することで、射出成形での樹脂の冷却時間が約 20 % 短縮できることが期待できる。また、衝撃値や破壊靱性に優れることから、金型内部の水冷孔を意匠面に近づけた際の水冷孔からの割れ発生のトラブル低減が期待できる。よって PAT868 は SUS420J2 系鋼種を使用した金型のサイクルタイム短縮に大きく貢献できると考えている。

(文 献)

- 1) 井坂剛: プラスチックス, 12(2013), 37.
- 2) 清水崇行, 藤井利光: 電気製鋼, 74(2003), 125.