

(技術資料)

被削性に優れたプラスチック成型金型用新鋼種

New Die Steel with High Machinability for Plastic Molds



藤綱宣之*
Nobuyuki Fujitsuna



田村史彦*
Fumihiko Tamura



岡本隆志**
Takashi Okamoto



家口 浩*** (Ph. D.)
Horishi Yaguchi, Ph. D.

Improved machinability for die steels is required in order to reduce the production time and cost of plastic molds. A new steel, called KTSM21M, with high machinability was developed for S55C-type carbon steels. Based on the evaluation of actual size trial forging, it was clarified that the mechanical and etching properties of the new steel was almost the same as that for KSTM21 (the conventional steel used for dies) and that the weldability of the new steel was better than that for KSTM21. The machinability for both heavy milling processes and high-speed machining such as end-milling was also improved. The new KTSM21M steel is expected to be suitable for all processes: from rough machining to finishing.

まえがき = プラスチック成形用金型においては、自動車バンパや浴槽などの大型製品の一体化がこれまで図られてきた。昨今では、さらなる金型コストの低減や製作納期短縮を目的として、金型の加工時間短縮のための加工速度向上や夜間自動運転による省力化を図るため、被削性向上の要求が強くなってきている。

当社では S55C 系汎用鋼として S 快削鋼の KTSM21 を上市し、硬度安定性に優れ、加工時のひずみも小さいという理由から好評を得てきた。この KTSM21 をベースとして、被削性を改善した KTSM21M を開発した。本稿では、新型用鋼 KTSM21M の基本特性を KTSM21 と比較して紹介する。

1. 材料設計の考え方

S55C 系普通鋼の範疇での被削性改善鋼種として、高 Si 鋼やベイナイト+フェライト二相組織鋼¹⁾²⁾などが上市されている。高 Si 化による被削性改善は、加工中に低融点酸化皮膜が生成し、潤滑効果を発揮して工具の損耗を低減するためとされている³⁾。ベイナイト+フェライト二相組織鋼は、切削性に悪影響を及ぼす硬いパーライト組織を抑制し、切削性を改善しつつ、同時に硬度を維持することを目的として開発された鋼種であり、Mn, Cr, Mo などの合金元素が多量に添加されている⁴⁾。

このような高 Si 化やベイナイト+フェライト二相組織化のための Mn, Cr, Mo など合金元素を多量に添加した鋼を大型型材に適用する場合、鋼塊中の逆 V 偏析(ゴースト)やマイクロ偏析の生成を助長し、写真 1 に示すようなシボ加工不良(シボムラ)が起こり易くなるという問題がある。

一方で、成形品の大型化の流れの中で型材も大型化(極厚化)しており、焼きならし時の素材内部の冷却速度が表層近傍と中心部では大きく異なっている。このた



写真 1 シボ加工不良の例
Photo 1 Example of irregular etching

表 1 プラスチック金型用炭素鋼の成分系
Table 1 Type of carbon steel for plastic die (mass%)

| | C | Si | Mn | Others |
|---------|------|------|------|--------------|
| KTSM21 | 0.42 | 0.30 | 1.25 | Cr, Mo, S |
| KTSM21M | 0.30 | 0.30 | 1.25 | Cr, Mo, V, S |

め、内部硬度を均質に安定化させるためには、硬度に対する冷却速度の影響を小さくできる鋼種、すなわち、安定してフェライト・パーライト組織が得られる鋼種が好ましい。

このような検討結果から、安定した硬度が得られ、シボムラの原因となる顕著な偏析を形成しない現用鋼 KTSM21 をベースとして、フェライト・パーライト組織のまま低 C 化および V 添加(表 1)した KTSM21M を開発した。

2. KTSM21M の基本特性

新型用鋼 KTSM21M の実体特性を評価するため、20ton 鋼塊から板厚 500mm の試験材を製造し、機械的特性、被削性、熱物性値を評価した。

2.1 機械的特性

試験材トップ部およびボトム部の板厚硬度分布を図 1 に示す。図 1 の横軸は、表面からの位置を板厚で割った相対位置で表示しており、0.5 が板厚中心となる。図より、鋼塊トップ側中心ではカーボンの正偏析のため硬度が若干高くなり、鋼塊ボトム側中心ではカーボンの負偏

* 鉄鋼部門 鋳鍛鋼事業部 技術部 ** 鉄鋼部門 鋳鍛鋼事業部 鋳鍛営業部 *** 技術開発本部 材料研究所

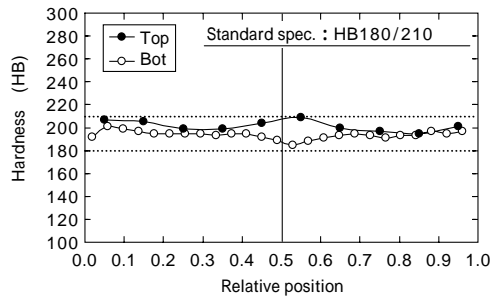


図 1 KTSM21M の板厚硬度分布

Fig. 1 Hardness profile in thickness direction of KTSM21M

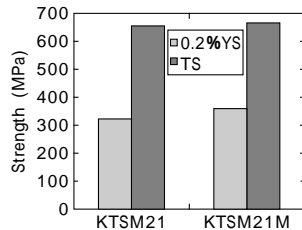


図 2 KTSM21 と KTSM21M の強度特性

Fig. 2 Mechanical property of KTSM21 and KTSM21M

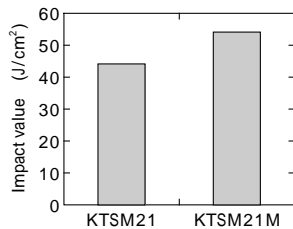


図 3 KTSM21 と KTSM21M の衝撃特性比較

Fig. 3 Comparison of impact value between KTSM21 and KTSM21M

析のため硬度低下が認められるものの、表面から中心まで極端な硬度変化がなく安定した硬度が得られていることが確認された。

引張強度特性およびシャルピ衝撃値を現用鋼 KTSM21 と比較して、図 2、図 3 に示す。これらの図より、強度、靱性とも現用鋼 KTSM21 と同等以上であり、KTSM21M は S55C 系炭素鋼として十分な機械的特性を有していると判断される。

2.2 切削加工性

被削性評価試験として、表 2 に示す切削加工を行った。Test A は深掘加工としてのフライス加工で、Test B から D はエンドミル加工であるが、Test C および D は昨今の加工時間短縮ニーズに即した高速加工試験である。

フライス加工試験の結果を図 4 に示す。図より、KTSM21M は KTSM21 と比較して、加工初期の工具摩耗幅に差は認められないが、加工が進み切削長さが長くなるにつれて工具摩耗幅の増加が少なくなり、同一切削長

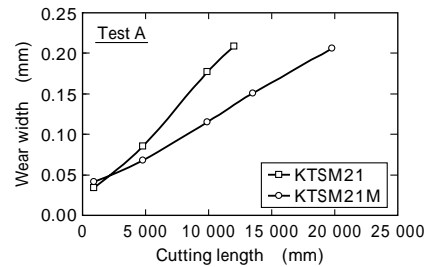


図 4 フライス加工 (Test A) における工具摩耗量の変化

Fig. 4 Amount of tool wear in milling process (Test A)

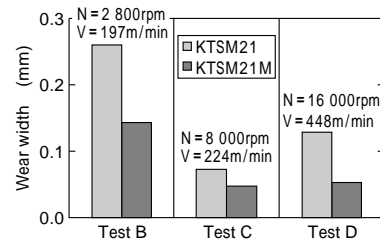


図 5 エンドミル加工における工具摩耗量の変化

Fig. 5 Amount of tool wear in end-milling process

さでの工具摩耗幅が約 1/2 となり、工具寿命となる摩耗幅 0.2mm での切削長さは約 2 倍となった。

この結果より、フライス加工による重切削時の被削性が大幅に改善されていることが確認された。

エンドミル加工 (Test B-D) の試験結果を図 5 に示す。図より、エンドミル加工においても工具摩耗幅が KTSM21 と比較して 1/2 から 2/3 に減少しており、被削性が改善されている。特に同一加工方法で、切削速度 (回転数) のみ変えた Test C と D を比較すると、切削速度が速い Test D における工具摩耗幅の減少が顕著であり、高速加工になるほど被削性改善効果が大きくなっていると推察される。

ここで、現用鋼 KTSM21 と開発鋼 KTSM21M の大きな相違点は C 量と V 添加の有無であり、KTSM21M では低 C 化し、硬度確保のため V を微量添加している。被削性の改善は主に低 C 化の効果と考えられるが、高速加工での改善効果が大いことから V の微量添加も寄与している可能性が示唆される。V 添加効果としては、結晶粒微細化、パーライト分率の変化、V 炭化物の固溶析出の影響などが考えられるが、詳細な検討を実施していないため、現時点では V 添加効果の直接的な要因については明確となっていない。

2.3 溶接性

型用鋼では、金型の設計変更にもなう形状変更や、使用によるへたりなどの補修などで肉盛溶接される場合があり、溶接性も必要となる。

表 2 切削加工試験の試験条件

Table 2 Conditions of machining tests

| Test No. | A | B | C | D |
|----------------|--|---|--|---|
| Process | Milling cutter | Endmill | Endmill | Endmill |
| Tool material | Cemented carbide | Coated carbide | Coated carbide | Coated carbide |
| Condition | N = 1 050rpm V = 99m/min F = 260mm/min Ad = 5mm Down cut - Dry | N = 2 800rpm V = 197m/min F = 1 400mm/min f = 0.25mm/tooth Ad = 5mm Down cut - Dry | N = 8 000rpm V = 224m/min F = 2 000mm/min f = 0.125mm/tooth Ad = 2mm Down cut - Dry | N = 16 000rpm V = 448m/min F = 4 000mm/min f = 0.125mm/tooth Ad = 2mm Down cut - Dry |
| Cutting length | Max. 20m | 50m | 50m | 50m |

N, V : cutting speed, F : feed speed, f : feed rate, Ad : Axial depth of cut

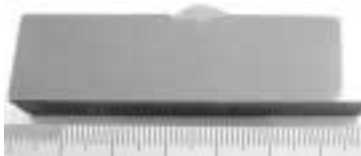


写真2 内盛溶接部の断面写真
Photo 2 Cross section of welded portion

表3 HAZ 最高硬さ
Table 3 Maximum hardness in HAZ

| Steel | KTSM21 | KTSM21M |
|----------|--------|---------|
| Hardness | 700 | 550 |

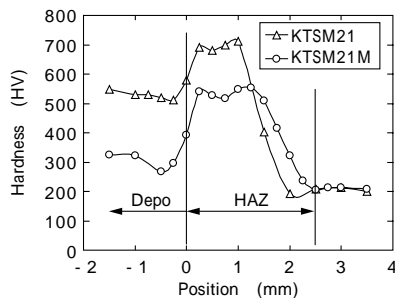


図6 KTSM21M の溶接部硬度分布
Fig. 6 Hardness in welded portion of KTSM21M

そこで、JIS Z 3101 の溶接熱影響部の最高硬さ試験方法に基づき溶接試験を行い、同時にビード下の状況を確認した。試験体サイズは 200L × 75W × 75(mm)とし、溶接条件は、溶接棒として LB52 を用いて、予熱なし、溶接電流 170A、溶接速度 15cm/min で TIG 溶接とした。

KTSM21M 溶接部の断面写真を写真 2 に示す。写真より明らかなように、予熱なしのビードオン溶接で割れは認められなかった。

溶接部の HAZ 最高硬さと断面硬度分布を、KTSM21 と比較して、表 3 および図 6 に示す。

KTSM21M 溶接部硬度は、KTSM21 と比較して大幅に低下していることが確認された。具体的には、KTSM21 の最高硬さ HV = 700 に対して、KTSM21M の最高硬さは HV = 550 と大幅に低下している。これは、KTSM21M では KTSM21 と比較して、低 C 化しているためと考えられる。また、溶着金属 (Depo) の硬度も、KTSM21M では KTSM21 より大幅に低下している。これは溶接ワイヤは同じであるが、素材と溶接ワイヤとの融合・希釈の結果、両鋼種において溶着金属の C 量が異なり、KTSM21M の方が C 量が低くなったためと想定される。

このように、KTSM21M では溶着金属、HAZ とともに硬度が大幅に低くなることから、補修溶接後の加工が KTSM21 より容易になると期待される。

2.4 熱物性値

KTSM21M の熱膨張係数および熱伝導率は、表 4、5 に示すように、現用鋼 KTSM21 と比較すると、両特性とも若干小さくなっているがほぼ同等であり、金型の加工および使用に対して大きな影響はないと推察される。

3. シボ加工性

シボ加工性を評価するため、偏析が顕著に現れる鋼塊トップ部を厚さ 200mm まで鍛錬した。写真 3 に示すようにサルファプリントにより S 偏析部を確認し、明確に

表4 プラスチック金型用炭素鋼の熱膨張係数
Table 4 Thermal expansion of carbon steel for plastic die
($\times 10^{-6}/$)

| Temperature range | KTSM21 | KTSM21M |
|-------------------|--------|---------|
| 20 ~ 100 | 13.2 | 12.3 |
| 20 ~ 300 | 14.1 | 13.4 |
| 20 ~ 500 | 14.9 | 14.1 |

表5 プラスチック金型用炭素鋼の熱伝導率
Table 5 Thermal conductivity of carbon steel for plastic die
(W/m·K)

| Temperature | KTSM21 | KTSM21M |
|-------------|--------|---------|
| RT | 44 | 42 |
| 100 | 45 | 42 |
| 200 | 46 | 42 |

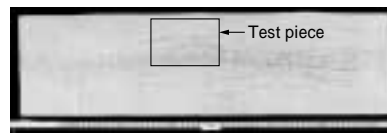


写真3 KTSM21M トップ部の S プリント
Photo 3 S-print of KTSM21M (top portion)

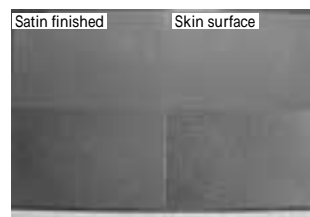


写真4 KTSM21M トップ偏析部のシボ加工試験結果
(上段：エッチングまま、下段：プラスト処理)
Photo 4 Etching test result of KTSM21M top portion
(Upper side : as-etched, lower side : after sand-brast)

S 偏析が認められる部分 (1/4D 近傍) からシボ加工試験材を採取した。

シボ加工は、S55C 系炭素鋼の標準的条件で皮シボ、梨地シボについて実施した。試験結果を写真 4 に示す。写真左側が梨地模様で、右側が皮シボである。また、上段はエッチングままの状態、下段はエッチング後プラスト処理した状態で成型した状態である。写真から明らかなように、問題となるシボムラ (エッチング不良) は認められない。この結果から、KTSM21M はトップ偏析部でも極めて良好なシボ加工性を有していることが確認された。

むすび=プラスチック成型金型用炭素鋼として、現用鋼 KTSM21 をベースとして低 C 化した KTSM21M を開発した。20ton 鋼塊を使用した実体特性評価結果より、開発鋼 KTSM21M は、現用鋼 KTSM21 と比較して優れた被削性、溶接性を有するとともに、良好なシボ加工性をあわせ持つことが確認された。

新型用鋼 KTSM21M の適用により、金型加工時間の短縮や、自動運転化による省力化が図れると期待される。

現在、金型メーカーでの評価試験のためのサンプル出荷を行っており、評価試験完了後、順次出荷を開始する予定である。

参考文献

- 1) 高橋国男: 特殊鋼, Vol.44, No.11 (1995) p.12.
- 2) 大木武博ほか: 型技術, Vol.10, No.2 (1995) p.64.
- 3) 特許: 第 3141735 号.
- 4) 公開特許: 平 08 - 13088 号ほか.