

## 技術資料



## Technical Data

# 熱処理寸法の制御が容易なマトリックス冷間ダイス鋼 DCMX

清水崇行\*<sup>1</sup>, 井上幸一郎\*<sup>2</sup>, 関谷 篤\*<sup>3</sup>

## A New Matrix Type Cold Work Die Steel with Isotropy of Dimensional Change “DCMX”

Takayuki Shimizu, Koichiro Inoue, and Atsushi Sekiya

### Synopsis

*The corrections of mould sizes after heat treatment are more expensive to manufacturing process for large-scale of cold work dies and moulds. For shortening at manufacturing period and cost reduction for manufacturing of dies and mould, Minimization of dimensional change at heat treatment is always needs. But because of its anisotropy of dimensional change, it isn't possible to minimize of dimensional change for conventional cold work die steels.*

*The best way to minimize, attain isotropy of dimensional change, is to decrease coarse carbides volume in cold work die steel. This time we have developed the new matrix type cold work die steel “DCMX” with decreasing coarse carbides volume. The most suitable cold work die steel for cold working of automotive parts is DCMX that gives isotropy of dimensional change, superior machinability, higher hardness and higher toughness. We have clarified its superiority to conventional cold work die steels not only in fundamental study but in practical use. The matrix type cold work die steel is further expected to expand automotive components fields and other fields.*

## 1. はじめに

自動車部材の高強度化や軽量化のため、ハイテン材の使用率<sup>1)</sup>が向上している。ハイテン材のような高強度材の成形は、金型への負荷が高まることから、金型の欠けや割れ、あるいは、金型の摩耗やカジリ（凝着）といったさまざまな損傷の防止対策が必要となる。一方、国際的な価格競争の激化や商品生産ラインの立ち上げ短期間化のため、金型製造コストの削減や金型製造リードタイム短縮の要求がますます高まってきており、従来以上に金型製造工程や製造条件の最適化も必要となってい

る。

これらを背景に、金型材料として高靱性化、高硬度化といった高性能化が要求されるだけでなく、金型製造工程における熱処理時の寸法変化量の抑制や切削加工性の向上といった優れた金型製造性を兼ね備えた金型材料が強く求められている。

そこで、汎用鋼 JIS SKD11 対比高性能な 8 %Cr 系冷間ダイス鋼<sup>2)</sup>（以後、8Cr 鋼）と同等以上の高硬度・高靱性を確保しつつ、優れた切削加工性を有し、熱処理寸法の制御が容易なマトリックス冷間ダイス鋼「DCMX（ディーシーマトリックス）」を開発した。

2010 年 2 月 16 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)研究開発本部, 工博 (Dr., Eng., Daido Corporate Research & Development Center, Daido Steel Co., Ltd.)

\*3 大同特殊鋼(株)ステンレス・工具鋼事業部工具鋼営業部 (Tool Steel Marketing & Sales Department, Daido Steel Co., Ltd.)

## 2. 冷間ダイス鋼の熱処理変寸

Fig.1の模式図に示すように、自動車部材を成形する大型冷間プレス金型は、他の冷間順送プレス金型などに比べると、幅、長さだけでなく、高さも大きく、冷間ダイス鋼で製造されるブロックを複数組み合わせて、一つの大きな金型とする構造である。このような大型冷間プレス金型では、特に熱処理時のブロック寸法変化量を抑制することが大きな課題の一つとなっていた。これは、既存冷間ダイス鋼には熱処理変寸の異方性があるためであり、Fig.2に示すようにAISI D2の鍛伸・圧延方向（Fig.2中のL）とその直角方向（Fig.2中のWやT）では、熱処理条件によらず、熱処理変寸率（=（熱処理後寸法-前寸法）/前寸法×100）が大きく異なること<sup>3)</sup>が知られている。

このため、従来は、熱処理時にブロックの一方方向の熱処理変寸率をゼロになるように焼戻し温度や時間を調整しても、他の方向はゼロにならないため、熱処理後に、ブロックの背面や底面を切削や研削加工により寸法修正を行っていた。このような寸法修正をブロック一つ一つに対して行う必要があり、多大な工数がかかっていた。

また、大型冷間プレス金型には、SKD11対比、高硬度・高靱性の8Cr鋼も多く用いられてきた。しかし、8Cr鋼は、熱処理変寸の異方性以外に、最高硬度が得られる高温焼戻し条件では、熱処理変寸率がゼロ付近ではなく大きな値となり<sup>4)</sup>、高硬度化との両立が得られにく

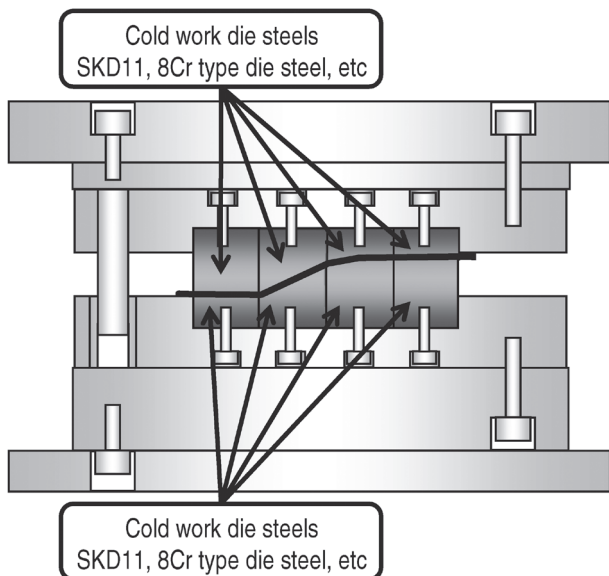


Fig.1. Schematic illustration of cold forming for large size of automotive parts.

いため、8Cr鋼の性能が十分に発揮できない場合があった。

よって、大型冷間プレス金型では、熱処理変寸の異方性が極めて小さいこと、さらに熱処理変寸率がゼロになるような熱処理条件下で8Cr鋼と同等の62 HRCを超える最高硬度が得られるという冷間ダイス鋼が要求されていた。

## 3. 開発コンセプト

前節の課題を解決するためには、まず、熱処理変寸の異方性の発生要因を明確にする必要がある。G.Stevenは、炭化物を多く含む12Crレデプライト鋼（1.7C-0.4Si-0.3Mn-12.0Cr）において、炭化物の異方的な形状や分布により異方性が発生することを報告<sup>5)</sup>している。そこで、8Cr鋼（1C-1Si-0.4Mn-8Cr-2Mo）の組成をベースにC、Cr量を変化させることで晶出炭化物量を変化させ、同一条件で焼入れを行い、熱処理変寸の異方性を調査した結果<sup>6)</sup>をFig.3に示す。Fig.3中の横軸は、試験片中の鍛伸方向、すなわちL方向と平行な面で測定した円相当直径2 μm以上の晶出炭化物の面積率とした。L方向の熱処理変寸率は、晶出炭化物面積率の向上に伴い増加する一方、L方向と垂直なT方向の熱処理変寸率は減少する。この供試材の晶出炭化物は、L方向と平行に伸びた形状、あるいは、同方向に帯状に分布していた。従来の知見<sup>5)</sup>と同様に、熱処理変寸の異方性は、冷間ダイス鋼に含まれる晶出炭化物の異方的な形状や分布に依存すると考えられる。

熱処理変寸の異方性を低減させるためには、すべての

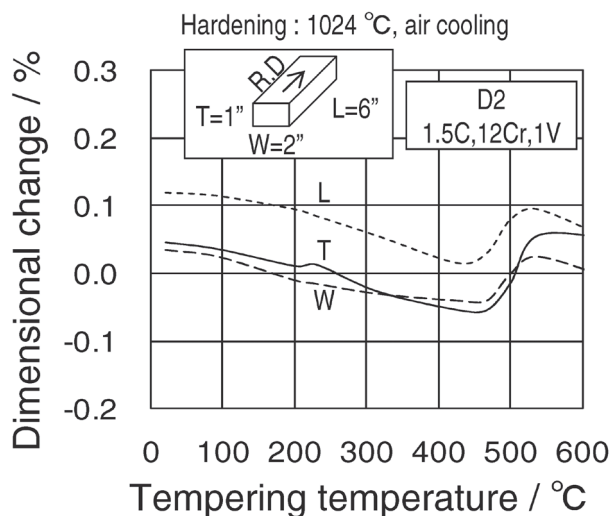


Fig.2. Results for dimensional change of conventional cold work die steel.

製品サイズの冷間ダイス鋼で炭化物を等方的に分布させることが必要である。しかしながら、このような炭化物分布を工業的に実現することは非常に困難であるため、晶出炭化物量を大幅に低減すること、すなわち、マトリックス化が必要と判断した。

一方、この冷間ダイス鋼のマトリックス化による他特性への効果は既に調べられている。マトリックス化は、破壊の起点となる炭化物が少なくなることによる韌性向上<sup>7)</sup>や疲労強度向上<sup>8)</sup>、硬質な炭化物と切削工具が接触する機会を減らし切削工具のチップングが抑制されることによる切削加工性の向上<sup>9)</sup>といったさまざまな効果を有する。これらは、大型冷間プレス金型に要求される優れた金型性能と金型製造性の両者を満足するものであ

り、マトリックス冷間ダイス鋼 DCMX は本用途に最適である。

## 4. DCMXの諸特性

### 4. 1 位置付け

DCMX と既存鋼 SKD11, 8Cr 鋼の特性を比較した結果を Table 1 に示す。Fig.4 に示すように DCMX は粗大な晶出炭化物がほとんど見られず、これにより、既存鋼にはない熱処理変寸の異方性の大幅な低減、切削加工性

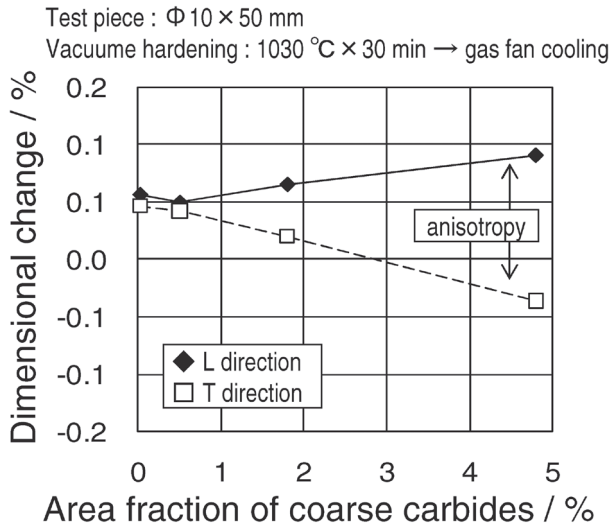


Fig.3. Influence of carbide volume on anisotropy of dimensional change.

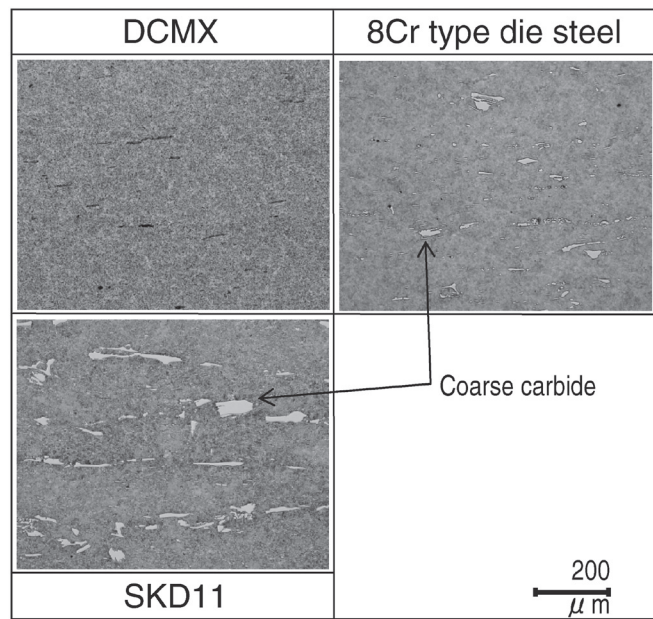


Fig.4. Optical microstructures of conventional cold work die steels and DCMX.

Table 1. Properties of cold work die steels.

Properties		DCMX	8Cr type die steel	SKD11
Manufacturing	Isotropy of dimensional change	◎	○	△
	Machinability	◎	○	△
	Hardenability	○	◎	○
	Surface treatment	○	◎	○
	Weldability	○	○	○
Performance	Hardness	◎	◎	△
	Fatigue strength	◎	○	△
	Charpy impact value	◎	○	△
	Wear resistance	○	◎	◎

Result : good ◎>○>△ bad

の向上，韌性の向上といった大きな特徴がある。また，成分最適化により，熱処理変寸率がほぼゼロとなる高温焼戻し条件で，8Cr鋼と同程度の最高硬さが得られ，金型性能と金型製造性を高いレベルで両立している。

#### 4. 2 熱処理寸法の制御

各鋼種から同一形状の試験片を採取し，熱処理変寸率と硬さの測定結果を Fig.5 に示す。既存鋼 SKD11 と 8Cr 鋼の熱処理変寸率は，焼戻し条件によらず L 方向と T 方向に大きな差が認められるのに対し，DCMX ではほとんど差が認められない。よって，DCMX で作製した金型のいずれかの方向の寸法について，熱処理変寸率がほぼゼロを達成していれば，他の方向の寸法もほぼゼロを達成できると考えられる。また，熱処理変寸率がゼロ付近となる 510 °C 焼戻し条件で，DCMX はほぼ最高硬さ 62 HRC を得ることができる。

冷間ダイス鋼では熱処理条件，特に高温焼戻し終了後に，材料寸法の経年変化が発生すること<sup>10)</sup>が知られている。Fig.6 に DCMX の高温焼戻し終了後からの経年変化を測定した結果を示す。DCMX は，既存冷間ダイス鋼と同様に，すべてではないが高温焼戻しの条件によっては経年変化が発生する。経年変化を抑制するためには，追加して 400 °C 焼戻しの安定化処理を実施することが有効である<sup>11)</sup>。

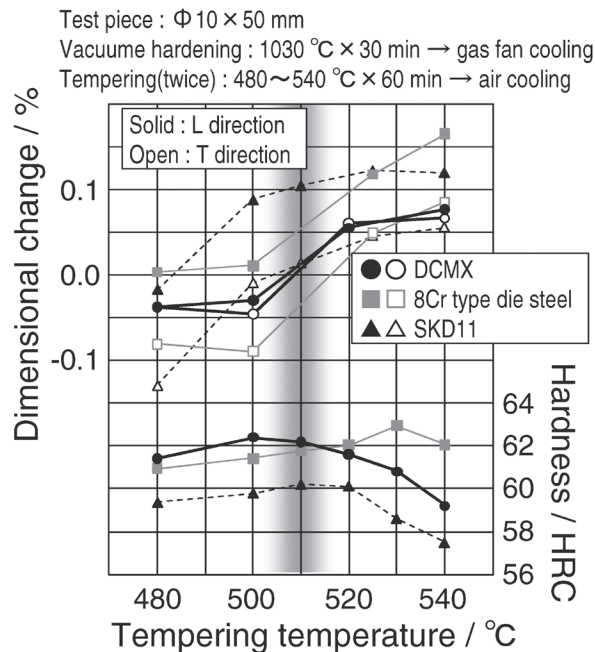


Fig.5. Influence of tempering temperature on dimensional change and hardness.

Test piece :  $\Phi 20 \times 100$  mm (DCMX)  
 Vacuum hardening :  $1030\text{ }^{\circ}\text{C} \times 30$  min  $\rightarrow$  gas fan cooling  
 Tempering (twice) :  $520\text{ }^{\circ}\text{C} \times 60$  min  $\rightarrow$  air cooling  
 Stabilizing :  $400\text{ }^{\circ}\text{C} \times 60$  min  $\rightarrow$  air cooling

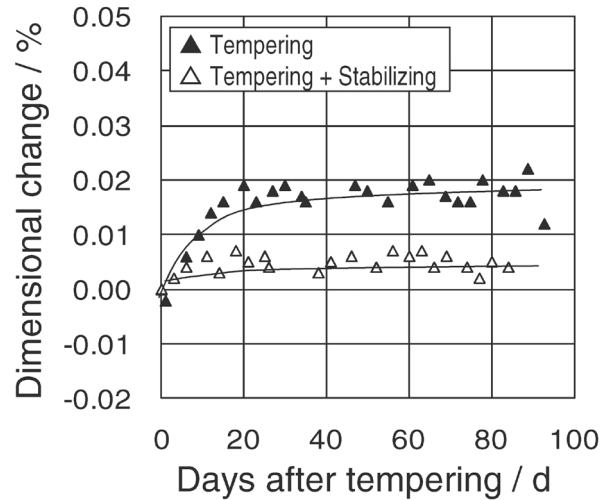


Fig.6. Influence of tempering conditions on elapsed dimensional change.

#### 4. 3 衝撃値

Fig.7 に各鋼種の L 方向から採取した 10R ノッチ形状のシャルピー衝撃試験結果を示す。破壊の起点となりやすい晶出炭化物の量を大幅に低減したマトリックス化の効果により，DCMX は既存鋼より高いシャルピー衝撃値が得られている。マトリックス化による衝撃値の向上は，高い衝撃負荷を受ける金型への適用により，金型使用初

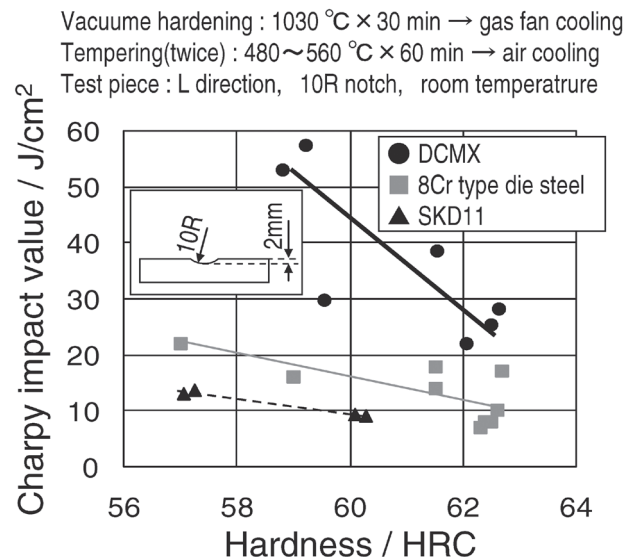


Fig.7. Charpy impact value of conventional cold work die steels and DCMX.

期での欠けや割れの抑制に効果があると推測される。

#### 4. 4 切削加工性

Fig.8 に各鋼種の球状化焼鈍し状態, Fig.9 に焼入・焼戻し状態におけるエンドミル切削加工試験結果を示す。材料の硬さが大きく異なるどちらの条件でも, マトリッ

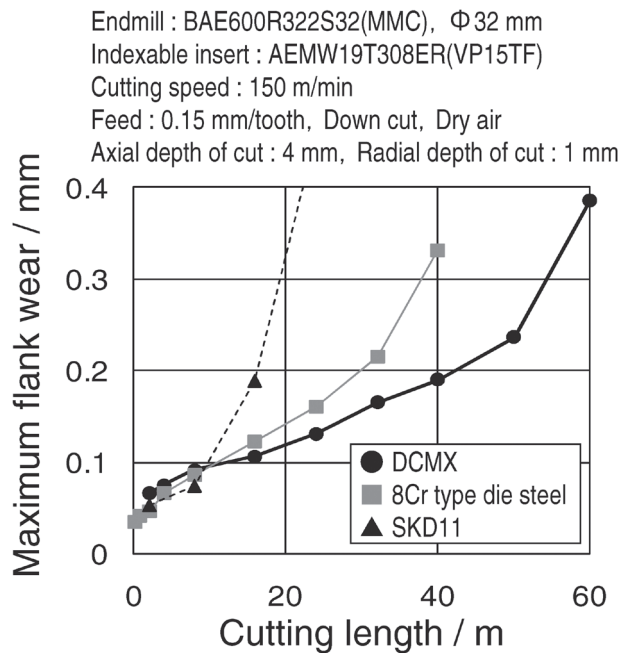


Fig.8. Endmilling machinability of conventional cold work die steels and DCMX after spheroidizing.

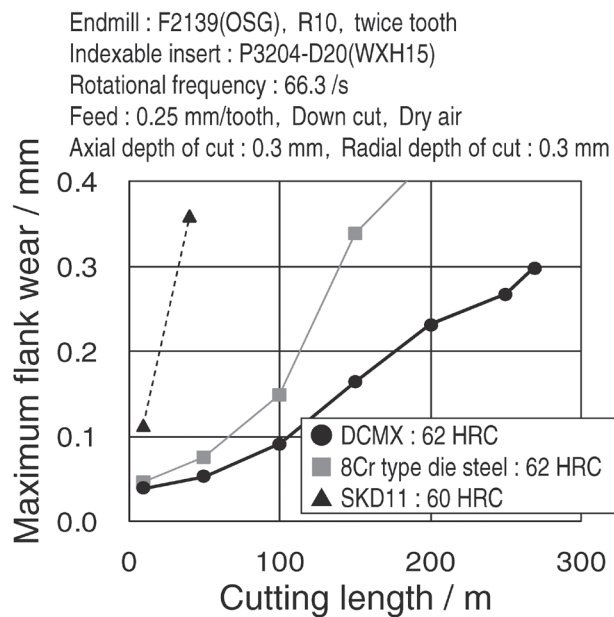


Fig.9. Endmilling machinability after quenching and tempering.

クス化した DCMX は最も切削工具寿命が長く, 切削加工性に優れている。特に, 難加工となる高硬度状態でも, DCMX は実際に仕上げ加工が可能なレベルの切削工具寿命が得られている。切削加工性に優れた DCMX の適用, および, 切削工具種類や切削条件の最適化を検討することで, 金型製造リードタイム短縮や製造コスト抑制に貢献できる。

#### 4. 5 耐摩耗性

Fig.10 に各鋼種の焼入・焼戻し状態における大越式摩耗試験結果を示す。乾式で行った本試験は凝着摩耗形態であり, 耐摩耗性は鋼種によらず硬さでおおよそ整理できる結果が得られた。本試験のようにカジリが甚大な金型では, カジリの発生を抑制することはできないが, 高硬度化により摩耗量は低減できる。

Fig.11 にスガ式摩耗試験結果を示す。本試験は, #220 研磨紙によって行い, 引っかき摩耗形態である。摩耗量は高硬度化により小さくなる傾向が認められる。一方, 硬質な晶出炭化物を多く含む SKD11 や 8Cr 鋼に比べると, DCMX の摩耗量はやや大きく, 硬質な異物を多く含むような環境下では, マトリックス化により耐摩耗性が低下する。

一方, 近年では, ハイテン材によるカジリや金型摩耗抑制のため表面処理を行う事例が多くなっている。SKD11 よりも高硬度が得られる DCMX の方が表面処理膜の密着性に優れるため, SKD11 よりも DCMX に表面処理を行った金型の方が耐摩耗性は向上すると考えられる。

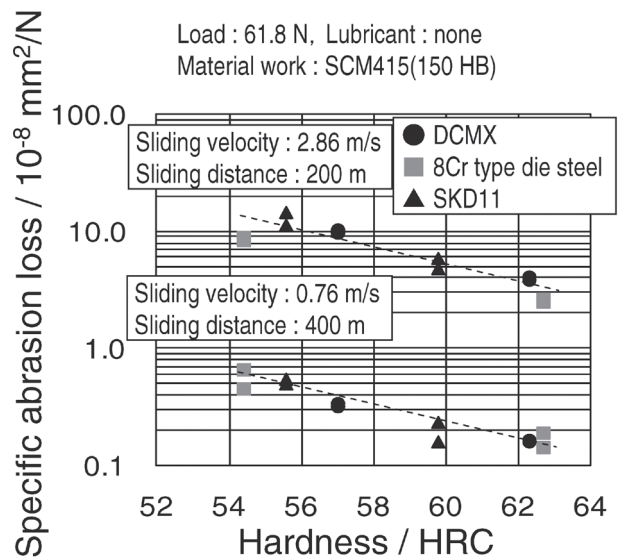


Fig.10. Influence of hardness on specific abrasion loss : Ohgoshi method.

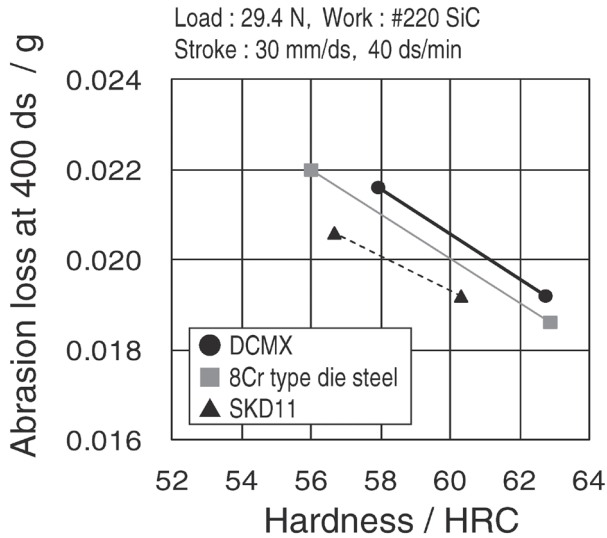


Fig.11. Influence of hardness on abrasion loss : Suga method.

#### 4. 6 表面処理の適用例

Fig.12 に DOWA サーモエンジニアリング株式会社殿にて TD 処理を実施した試験片断面の光学顕微鏡観察結果を示す。DCMX は既存冷間ダイス鋼と同一条件で表面処理が可能であり、かつ、表面処理膜厚もほぼ同等の結果が得られている。

#### 4. 7 溶接性

Fig.13 に各鋼種の焼入・焼戻し状態の試験片に対し、東海溶業株式会社殿にてアーク溶接棒 DF3B-600-B (TM-10B) を用いて、予熱 350 °C、後熱 400 °C の条件で肉盛溶接を実施した溶接部の外観写真を示す。また、Fig.14 に肉盛り溶接ままと再焼入・焼戻し後での肉盛溶接表面から材料内部への試験片断面硬さの測定結果を示す。DCMX は既存冷間ダイス鋼と同条件下で溶接部の割れなどは見られないことを確認している。肉盛部硬さや材料内部硬さにおいても既存鋼と類似の硬さ分布が得られている。

### 5. 適用事例

DCMX は自動車部材を成形する大型冷間プレス金型を中心に採用されている。熱処理寸法の制御が容易な DCMX を適用することにより、ブロックを組み合わせる際の寸法修正の加工時間が半減、あるいは、修正加工工程の省略が可能との評価もいただいている。

Table 2 にハイテン成形金型へ適用した際の金型寿命

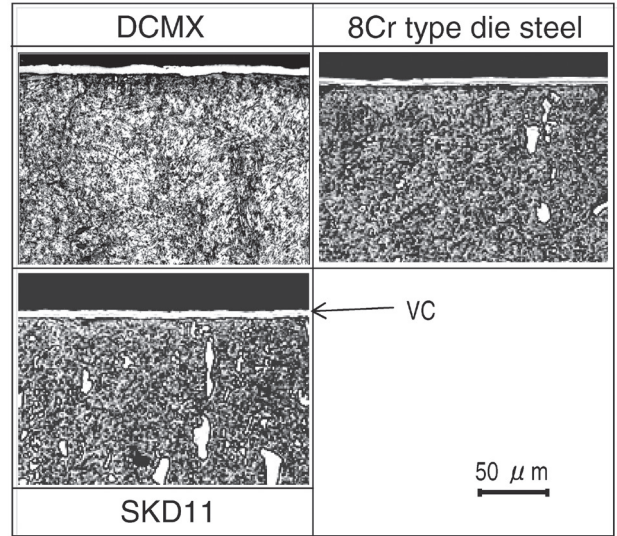


Fig.12. Optical microstructures of conventional cold work die steels and DCMX at TD coating process.

Electrode : DF3B-600-B, Φ3.2 mm  
Pre-heating temperature : 350 °C  
Post-heating temperature : 400 °C

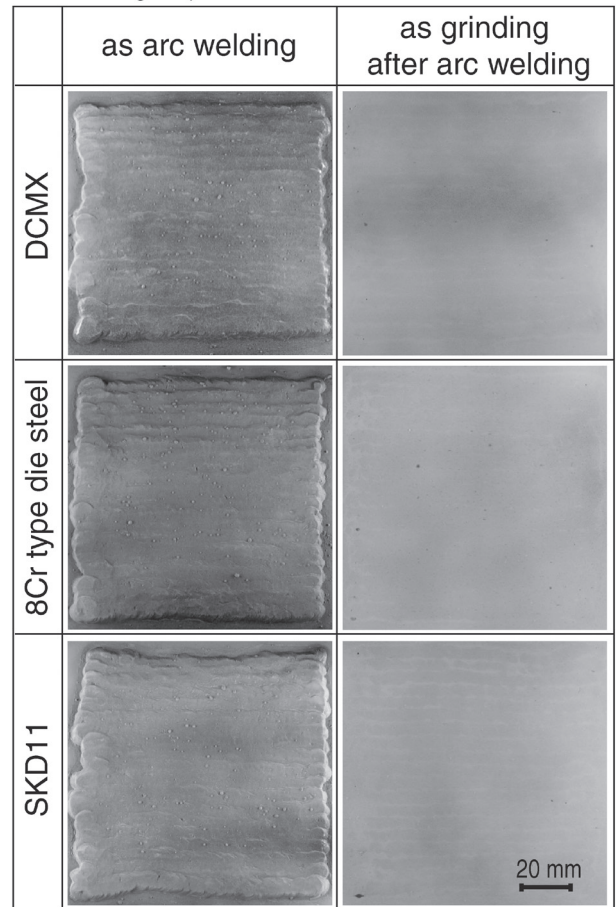


Fig.13. Photographs of test pieces after arc welding.

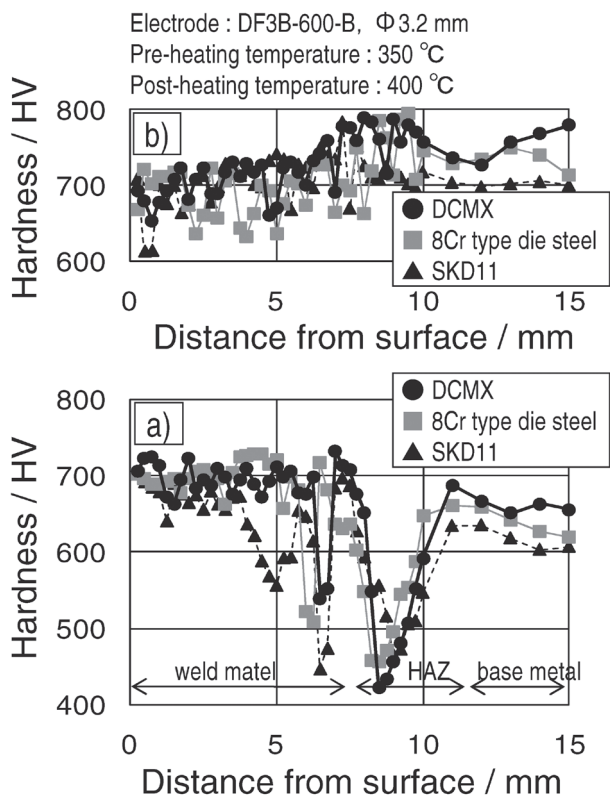


Fig.14. Hardness distribution from surface after arc welding. a) as arc welding. b) after grinding.

評価結果を示す。二つの事例では、DCMXはSKD11対比高靱性であり、チップング抑制にその効果が表れたものと考えられる。一方、他三つの事例では、DCMXにより使用初期のチップングが抑制されカジリにくくなったと推定されるものや、熱処理変寸の異方性の低減により熱処理変寸率がほぼゼロを達成することにより、設計どおりの金型部品のクリアランスが得られ、カジリにくくなったと推定される結果が得られている。

## 6. まとめ

粗大な晶出炭化物の量を大幅に低減するマトリックス化により、熱処理変寸の異方性が低減することによる熱処理変寸率のほぼゼロ化、切削加工性の向上、靱性の向上という三つの効果を得ることができ、大型冷間プレス金型で金型作製のリードタイム短縮や金型寿命向上を確認した。よって、大型冷間プレス金型の分野において、今後DCMXの適用が促進されていくものと考えられる。

今後の更なる展開として、他のプレス金型や治具部品などでも金型作製リードタイム短縮やコスト削減などの目的で、金型寸法制御性や切削加工性の向上のニーズが潜在していると考えられ、マトリックス冷間ダイス鋼「DCMX」の幅広い用途への適用が期待される。

Table 2. Applications of DCMX.

Mould	Work : High tension steel (Tension / Thickness)	Coating	Life (Shot / Failure mode / Hardness)	
			Conventional tool steel (SKD11)	DCMX
Time dies	600 MPa 2.0 mm	None	2000~4000 Chipping Unknown	19000< - Unknown
Trim dies	Unknown	None	1000 Chipping 59 HRC	5700> - 61 HRC
Draw dies	400 Mpa 2.6 mm	CVD	<100 Seizure Unknown	8700< - Unknown
Trim dies	590 MPa 2.0 mm	PVD	8000 Seizure 59 HRC	25000< - 61 HRC
Punch	Unknown	PVD	10000 Seizure 59.5 HRC	20000 Seizure 61.5 HRC

(文献)

- 1) 小宮幸久: 神戸製鋼技報, 52(2002), 3, 3.
- 2) 並木邦夫: 鑄造技報, 89(2002), 4, 13.
- 3) D. D. Huffman, C. R. Wendell, 竹内煌: 特殊鋼, 15(1966), 11, 40.
- 4) 大同特殊鋼(株)汎用冷間ダイス鋼 DC53基礎特性カタログ.
- 5) G.Steven: Trans. ASM, 62(1969), 130.
- 6) 清水崇行, 井上幸一郎: 電気製鋼, 78(2007), 289.
- 7) 清水崇行, 尾崎公造, 中浜俊介, 松田幸紀: まてりあ, 46(2007), 40.
- 8) 尾崎公造: 電気製鋼, 76(2005), 249.
- 9) 清水崇行, 尾崎公造: 電気製鋼, 76(2005), 229.
- 10) 中村恵一, 横井大円, 辻井信博: 山陽特殊製鋼技報, 3(1996), 48.
- 11) 松田幸紀, 坂本良昭: 電気製鋼, 71(2000), 141.



