

技術資料

Technical Data

# 金型用プレートに適した省資源冷間ダイス鋼 DCLT

清水崇行\*<sup>1</sup>, 増田哲也\*<sup>1</sup>, 井ノ口貴之\*<sup>2</sup>

## A New Matrix Type Cold Work Die Steel Saving Rare Metals “DCLT”

Takayuki Shimizu, Tetsuya Masuda, and Takayuki Inoguchi

### Synopsis

Saving rare metals and replacing rare metals by other elements become the important development theme from decreasing the load on the global environment. Recently for glowing demands in a variety of industrial fields, rare metals are more expensive. Therefore the production cost of cold work die steels including much quantity of rare metals causes big influence.

This time we have developed the new matrix type cold work die steel “DCLT” which decrease weight of molybdenum and vanadium in comparison with its of JIS SKD11. DCLT have the performance that it was necessary as various plates for progressive die process. We show that DCLT is adaptable to the same condition as heat treatment and wire electric discharge machining for SKD11 not only in fundamental study but in practical use. For the purpose of cost cut down, it is further expected to expand progressive die process and other process.

### 1. はじめに

工具鋼を含む特殊鋼には、マンガン、クロム、モリブデン、バナジウムなどの元素が必要特性に応じて添加されており、主成分である鉄以外の金属元素は、鉄と比べて地球上の埋蔵量が少ない<sup>1)</sup>ため、希少金属（以後、レアメタル）と呼ばれている。

近年、地球環境負荷低減の観点から、将来にわたって持続可能な消費構造が議論されてきている。枯渇が懸念されるレアメタルも同様であり、レアメタル使用量の削減や代替元素への置き換えが特殊鋼開発における今後の研究開発の大きなテーマとなりつつある。

ここ数年、Fig.1 に示すようにレアメタルは世界的な需要の高まりのため、従来の価格推移をはるかに超えて高騰<sup>2)</sup>した。金型に使用される工具鋼の多くは、レアメタルが大量に添加されているため、このようなレアメタルの価格変動は、工具鋼製造コストに大きな影響を

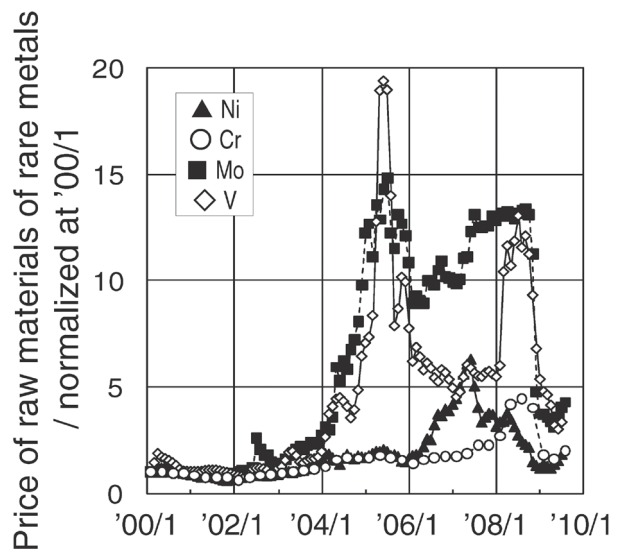


Fig.1. Price of raw materials of rare metals.

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)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.)

たえ、工具鋼の価格も大幅に変動した。価格の安定や安価な工具鋼という要求に対して、レアメタル使用量の削減は非常に大きな意味を持つ。

そこで、冷間成形用金型に多く用いられている冷間ダイス鋼 JIS SKD11 に含まれるレアメタル使用量を約7割削減することで製造コストを抑制しつつ、SKD11 とほぼ同等性能をあわせもつ省資源冷間ダイス鋼「DCLT (ディーシーライト)」を開発した。

## 2. 金型用プレートの要求特性

商品の差別化や多様化により、冷間成形用金型で製造する製品は、金型構造が複雑化や多品種小ロット化の傾向がある。そのため、Fig.2の模式図に示すように、冷間順送プレス成形金型では、比較的金型の損傷が起りやすいパンチやボタングダイに、高性能な冷間ダイス鋼や高速度工具鋼、あるいは、これら工具鋼に表面処理を行ったものを適用し、損傷がほとんど起こらないダイプレート、ストリッププレートやパンチプレートなど（以後、金型用プレート）には、できるだけ低コストで金型製造が可能な工具鋼を適用するという形で二極化傾向にある。

金型用プレートは、汎用的に冷間ダイス鋼 SKD11 と、SKD11 対比で素材コストが安い特殊工具鋼 JIS SKS3 や SKS3 改良鋼が使用されている。冷間ダイス鋼と特殊工具鋼では、金型製造工程での取り扱い、特に熱処理工程に大きな相違がある。これは、特殊工具鋼の焼入れ温度が SKD11 よりも低いことと、焼入れ時の冷却が、SKD11 では一般的な加圧ガス冷却ではなく、水冷や油冷などの急冷であるという2点である。前者は、取り扱い量の多い SKD11 の熱処理機会が非常に多いのに比べて、特殊工具鋼のそれは少なく、金型作製のリードタイムが SKD11 よりも長くなりやすい。後者は、焼入れ時の急冷のため、比較的大きな焼入れ時の歪みが金型用プ

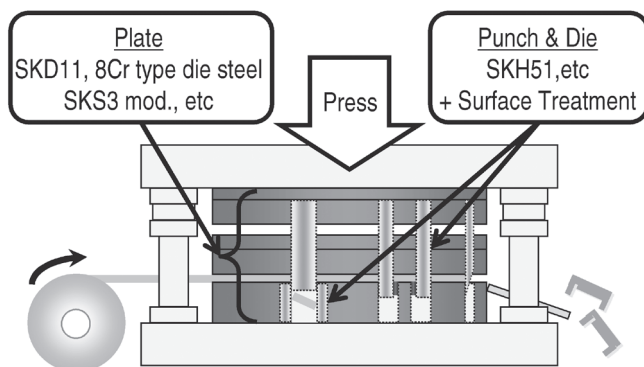


Fig.2. Schematic illustration of progressive die press.

レート内部に蓄積され、焼入れ後や熱処理後のワイヤ放電加工（以後、W-EDM）時にプレートが大きく反ったり、割れたりする事例が散見される。このような理由から、金型用プレートとしては、素材コストが安い特殊工具鋼から、冷間ダイス鋼へ徐々に切り替えられてきた。

一方、金型用プレートでは素材コスト低減のニーズは非常に強く、特殊工具鋼に近い素材コストで、SKD11 と同一条件で熱処理ができることや焼入れ後または W-EDM 時での反り量や割れの発生頻度が特殊工具鋼よりも小さいという冷間工具鋼が強く望まれている。

## 3. 開発コンセプト

冷間ダイス鋼に添加されているレアメタル使用量の削減は、主に焼入れ性と高温焼戻し硬さの特性を低下させる。これらの特性は、金型用プレートに用いられる冷間工具鋼に対するニーズと密接に関係している。

特に、W-EDM 時の反りや割れといった問題に対して、従来 8%Cr 系冷間ダイス鋼<sup>3)</sup>が推奨されてきた。これは 8%Cr 系冷間ダイス鋼が高温焼戻しが可能で、高温焼戻し時に焼入れ歪みが低減されるためとの説明がなされていた。このため、SKD11 を用いる場合でも W-EDM を適用する場合には、高温焼戻しを行うことがしばしば見られた。しかしながら、SKD11 を用いた冷間順送プレス金型でも、低温焼戻しのまま W-EDM を適用し、問題なく使用されているものも多く、W-EDM 時の反りや割れに及ぼす焼入れ条件や焼戻し温度の影響については不明な点が多かった。

そこで、特殊工具鋼 SKS3 改良鋼 (0.87C-0.3Si-1.1Mn-0.5Cr-0.5W) と、8%Cr 系冷間ダイス鋼 (1C-1Si-0.4Mn-8Cr-2Mo) を用いて、焼入れ条件や焼戻し温度を変化させて、W-EDM 後に発生する反り量を調査した。Fig.3 に試験片形状および W-EDM による加工形状を示す。試験は、Fig.3 に示す同一形状の試験片を、それぞれ Fig.4 に示す 4 種類の焼入れ冷却を行い、焼入れ後に W-EDM を実施した。抜き取った直方体形状の試験片はバナナ形状に変形するため、この反り量を Fig.4 中の縦軸とした。特殊工具鋼と冷間ダイス鋼の成分の大きな相違にも関わらず、反り量は焼入れ冷却条件に大きく依存しており、冷却速度の速い油冷に比べて、ガス冷など緩冷する方が反り量は低減する。これは、焼入れ冷却速度低下により、材料中の残留応力が低くなり、反り量が小さくなったものと推定される。よって、特殊工具鋼よりも焼入れ性に優れる冷間ダイス鋼は、通常、ガス冷による緩冷で焼入れられるため、W-EDM 加工後の反りが特殊工具鋼に比べ

て小さいと評価されていると考えられる。

Fig.5 に、8 %Cr 系冷間ダイス鋼の焼戻し温度を変化させて同様の試験を行った結果を示す。焼入れ条件によらず、200 °C 付近の低温焼戻しよりも 500 °C 付近の高温焼戻しの方が反り量は小さい。一般的に焼戻し温度の上昇とともに残留応力は低下する。このため反り量が小さくなったものと推定される。ただし、焼入れ時にガス冷を行った材料での高温焼戻しによる反り量低減は、焼入れ条件を油冷からガス冷に変更する効果に比べて非常に小さい。特殊工具鋼で見られる W-EDM 時の反りや割れは、焼戻し温度よりも焼入れ時の急冷が主要因であることが明らかになった。

そこで、厚さの薄い金型用プレートを主用途に考えれば、SKD11 のような多量のレアメタルを添加しなくてもガス冷却で十分焼入れすることが可能で、前述したように W-EDM 時の反りや割れ防止のために高温焼戻しが必須でなければさらに大幅なレアメタルの削減が可能である。

以上のような考え方にに基づき DCLT は製造サイズの最大厚さを 53 mm 以下に限定し、SKD11 対比大幅なレアメタル使用量の削減に成功した。

## 4. DCLT の諸特性

W-EDM machine : FA20M(Mitsubishi electric corporation)  
 Wire :  $\Phi 0.25$  mm  
 Test piece : 5 × 15 × 60 mm

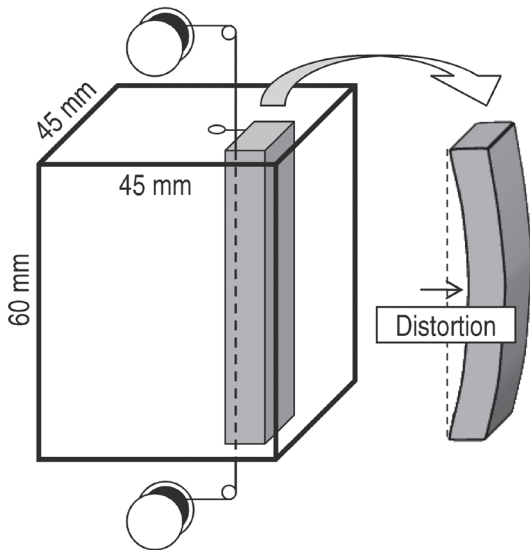


Fig.3. Schematic illustration of test shape at wire electric discharge machining.

## 4. 1 位置付け

Fig.6 に特殊工具鋼と冷間ダイス鋼の位置付け概念

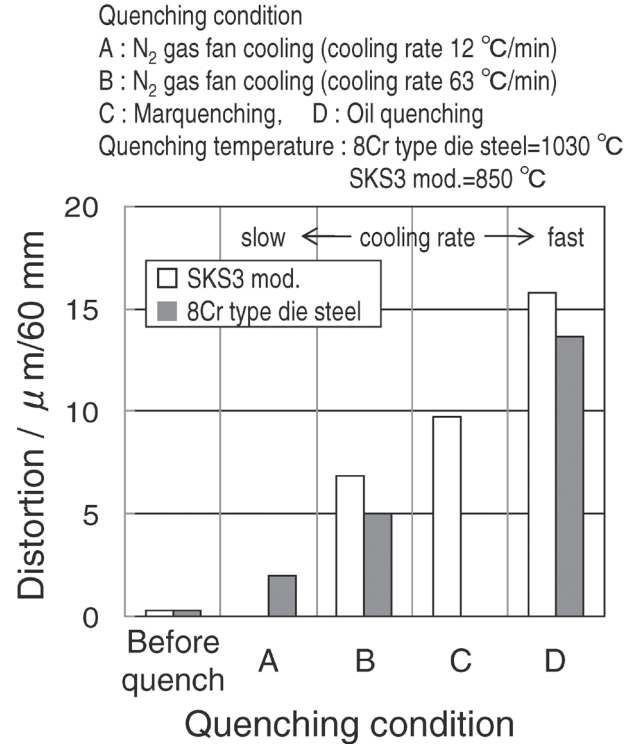


Fig.4. Influence of quenching condition on distortion after wire electric discharge machining.

Test piece : 8Cr type die steel  
 Quenching temperature : 1030 °C  
 Tempering (twice) : 200 ~ 560 °C × 60 min → air cooling as Quench

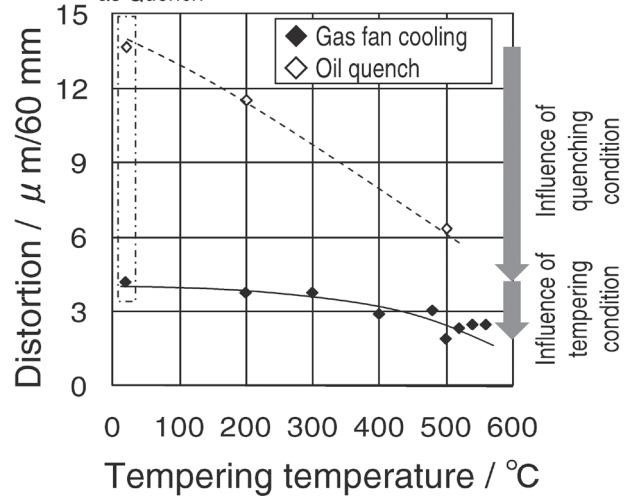


Fig.5. Influence of tempering temperature on distortion after wire electric discharge machining.

を示す。DCLTはSKD11と同じ1030℃加熱保持、ガス冷却で焼入れが可能である。また、DCMXと同様にDCLTは粗大な晶出炭化物の量を大幅に低減したマトリックス冷間ダイス鋼に位置付けられる。Fig.7に光学顕微鏡写真を示す。マトリックス化は、切削加工性の向上<sup>4)</sup>や熱処理変寸の異方性の低減<sup>5)</sup>といった金型製造性を向上させつつ、疲労強度<sup>6)</sup>や靱性の向上<sup>7)</sup>といった金型特性を向上させる効果がある。そのため、マトリックス化したDCLTはSKD11と同等以上の金型製造性や金型特性を有している。そしてDCLTは、Fig.8に示すように材料中に添加されているモリブデン、タン

グステン、バナジウムといったレアメタルの使用量をSKD11対比約7割削減し、製造コストを抑制している。

### 4. 2 熱処理硬さ

各鋼種の焼入・焼戻し後の硬さ測定結果をFig.9に示す。200℃付近での低温焼戻し条件では、DCLTを含めいずれの鋼種も60HRC以上の結果となっている。一方、高温焼戻しの条件では、SKS3改良鋼が、50HRC程度となり、冷間金型として必要な硬さを確保できないのに対し、DCLTは、低温焼戻しで使用することを前提に設計しているため、SKD11よりもやや低硬度ではあるが、57HRC程度を得られる。このため、W-EDM時の反り

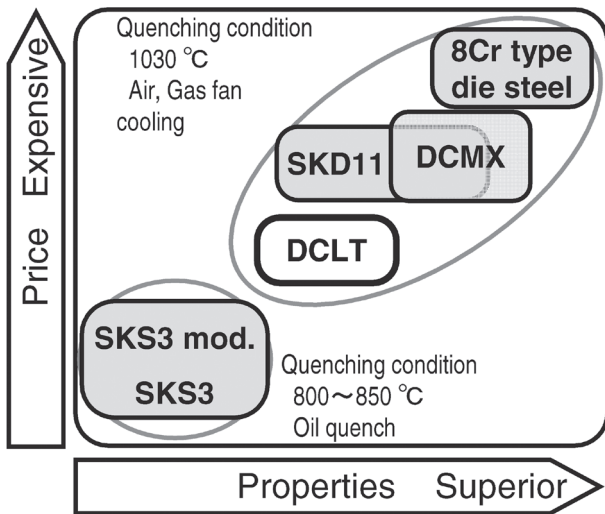


Fig.6. Positioning of cold work tool steels.

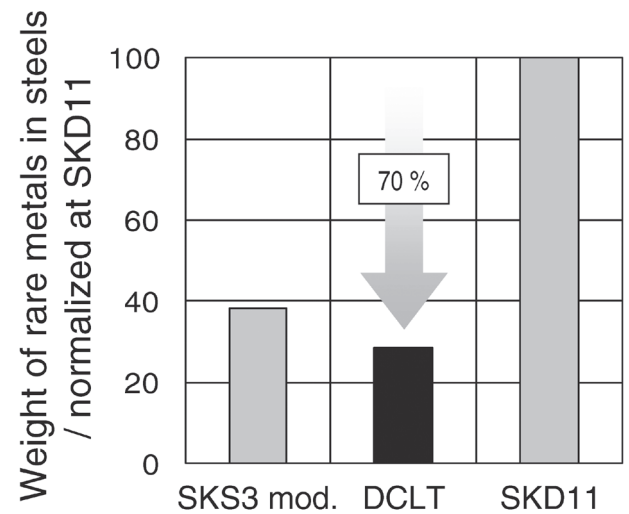


Fig.8. Comparison of weight of rare metals in steels.

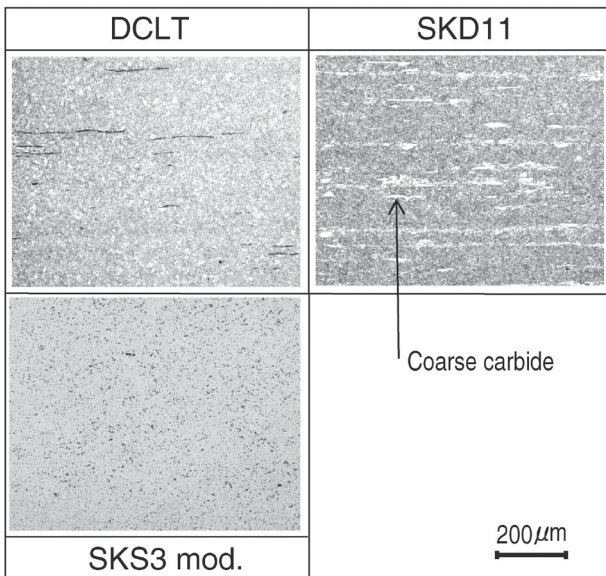


Fig.7. Optical microstructures of conventional cold work tool steels and DCLT.

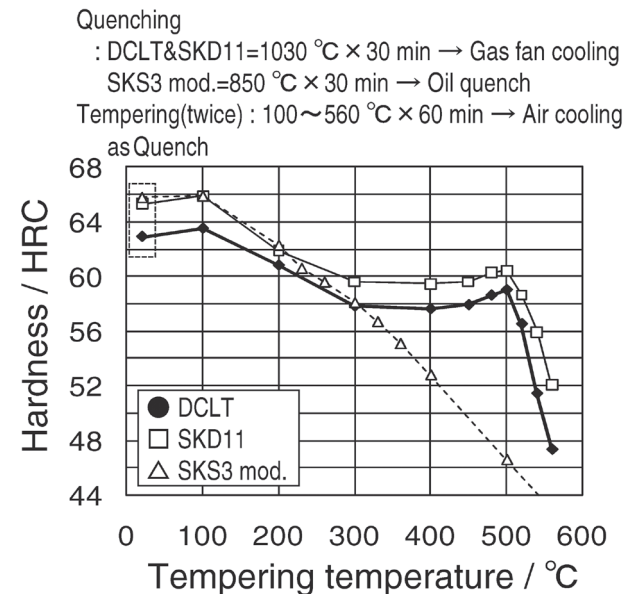


Fig.9. Relationship between hardness and tempering temperature.

Quenching : DCLT&SKD11=1030 °C × 30 min → Gas fan cooling  
SKS3 mod.=850 °C × 30 min → Oil quench  
Tempering(twice) : 100~560 °C × 60 min → Air cooling as Quench



量低減や PVD 処理などの表面処理を行うために高温焼戻しが必要な場合にも、SKD11 よりやや低硬度にはなるが DCLT は高温焼戻しでの使用も可能である。

### 4. 3 ワイヤ放電加工時の歪み量

各鋼種の標準的な焼入・焼戻しを実施した後、W-EDM を行い、材料の反り量の測定結果を Fig.10 に示す。油冷が必須である SKS3 改良鋼に比べ、SKD11 と DCLT はどちらも反り量が約 4 分の 1 と小さく、同程度の結果が得られている。高コストな SKD11 で製造していた金型用プレートを、低コストな DCLT に切り替えることで、特殊工具鋼のように熱処理工程や W-EDM 工程での反りや割れといったトラブルがなく、金型製造コスト削減に寄与できる。

### 4. 4 切削加工性

各鋼種の焼鈍し状態でのドリル切削加工試験の結果を Fig.11 に示す。同一切削工具寿命が得られる切削速度で比較した場合、DCLT は SKS3 改良鋼とほぼ同等であり、難加工である SKD11 よりも約 1.2 倍の能率向上が可能である。DCLT はマトリックス化による切削加工性の向上だけでなく、硫黄添加により、非金属介在物を形成させた快削鋼であり、多数の穴加工が必要な金型用プレートでは、加工時間を大幅に短縮できる。

### 4. 5 衝撃値

各鋼種の L 方向から採取した 10 R ノッチ形状の試験

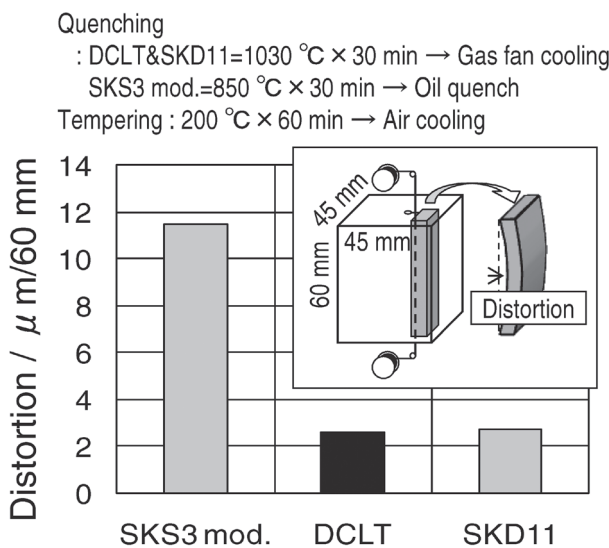


Fig.10. Comparison of distortion after wire electric discharge machining.

片に対し、標準的な焼入・焼戻し状態でのシャルピー衝撃試験結果を Fig.12 に示す。晶出炭化物を多く含む SKD11 は、晶出炭化物が破壊の起点となりやすいため衝撃値は低い。これに対し、マトリックス化の効果<sup>7)</sup>により DCLT の衝撃値は SKD11 対比約 2 倍高い。SKD11 で製造したプレートで、使用初期に大割れや局所的なチッピングが発生する場合、DCLT の適用により

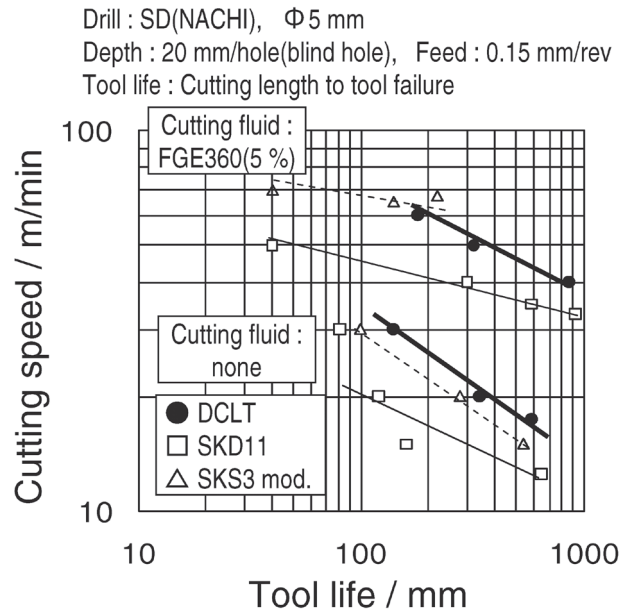


Fig.11. Drilling machinability of conventional cold work tool steels and DCLT at spheroidizing.

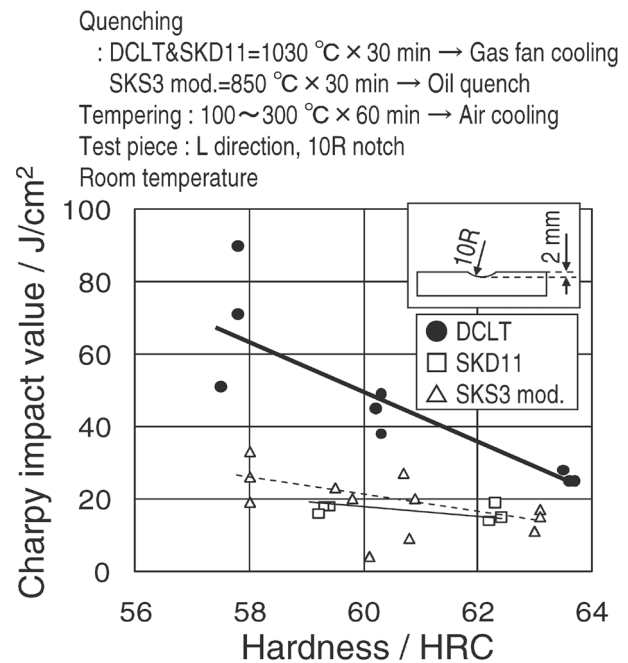


Fig.12. Influence of hardness on Charpy impact value.

割れやチッピングが抑制できる。

### 4. 6 疲労強度

Fig.13 に小野式回転曲げ疲労試験結果を示す。シャルピー衝撃値と同様に、破壊の起点となる晶出炭化物の量が多いSKD11に比べて、DCLTの疲労強度は高い。パンチやダイに微細なチッピングが見られるような疲労破壊形態の金型では、金型寿命向上の目的でDCLTの適用が有効である。

### 4. 7 耐摩耗性

Fig.14 に大越式摩耗試験結果を示す。本試験条件下では、鋼種によらず比摩耗量はほぼ硬さに依存する結果が得られている。被加工材の凝着というカジリによりパンチ先端などが丸くなるような凝着摩耗形態の金型では、既存鋼と同じ硬さ60 HRCでDCLTを使用すれば、同程度の耐摩耗性が得られる。

### 4. 8 熱処理変寸

Fig.15 に各鋼種を焼入・焼戻しを実施し、その熱処理変寸率(=(熱処理後寸法-前寸法)/前寸法×100)を測定した結果を示す。既存鋼では、圧延方向に平行なL方向とこれに直角なT方向の熱処理変寸率が、熱処理条件によらず大きく異なる、すなわち、熱処理変寸の異

方向性が認められる。このため、例えばSKD11で作製した金型用プレートでは、熱処理後にL方向の寸法が伸長し、逆にT方向の寸法が収縮することが多い。これに対し、DCLTはマトリックス化の効果により異方向性が大幅に低減される<sup>5)</sup>ため、金型寸法精度の向上に寄与できると考えられる。

また、焼戻し後の寸法の経年変化をFig.16に示す。

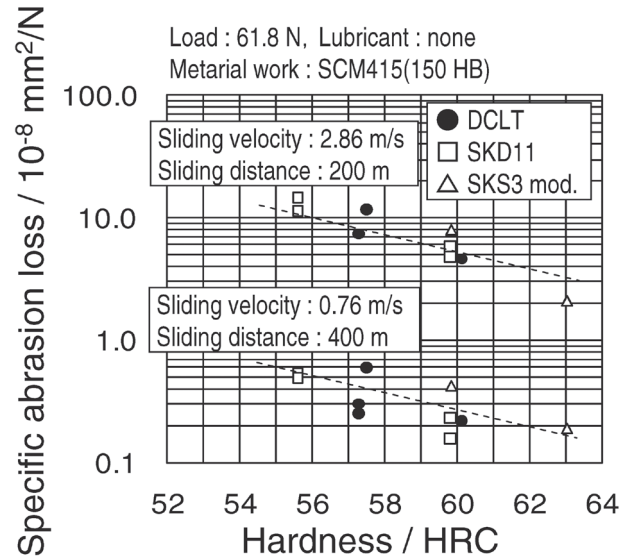


Fig.14. Influence of hardness on specific abrasion loss : Ohgoshi method.

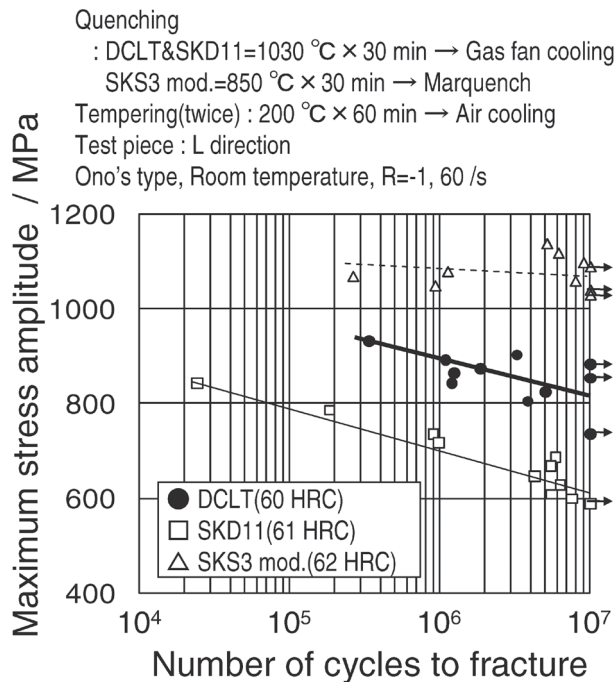


Fig.13. Comparison of fatigue strength of conventional cold work tool steels and DCLT.

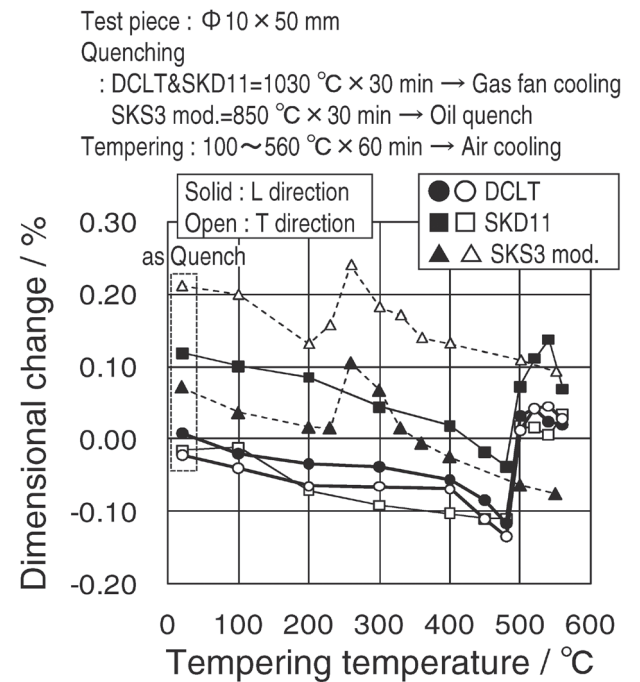


Fig.15. Influence of tempering temperature on dimensional change.

既存鋼と同様に、低温焼戻し状態であれば、DCLTも経年変化はほとんど発生しない。一方、高温焼戻しの場合、既存鋼と同様にすべてではないが焼戻し条件によっては経年変化が発生する場合がある。経年変化を抑制するためには、追加して400℃焼戻しの安定化処理を実施することが有効である<sup>8)</sup>。

### 5. 適用事例

低コストなDCLTは金型用プレートに適用することで、SKD11対比、金型製造コストを削減することが可能である。現在、冷間順送プレス金型などの損傷が軽

Test piece : Φ10×50 mm  
 Quenching : 1030℃×30 min → gas fan cooling  
 Tempering(twice) : 200 or 500℃×60 min → air cooling  
 Stabilizing : 400℃×60 min → air cooling

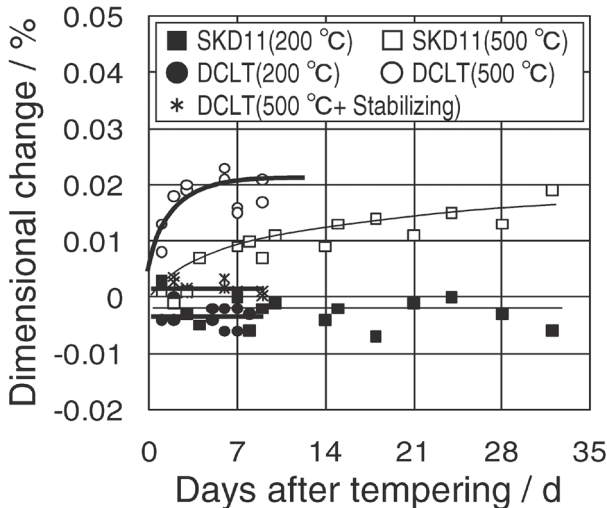


Fig.16. Influence of tempering conditions on elapsed dimensional change.

微なダイプレートやパンチに使用され始めてきている。Table 1に適用事例を示す。DCLTは低温焼戻し状態で使用されている既存冷間ダイス鋼と同条件で熱処理や加工を実施しても、大きなトラブルなく金型製造が可能なことを確認している。また、現時点では製品製造数が少ないため、10万ショット以上と想定される金型寿命から見れば、使用初期段階の評価ではあるが、金型の摩耗状況は、既存冷間ダイス鋼と大差がないと判断している。

### 6. まとめ

省資源冷間ダイス鋼 DCLT は、地球環境負荷低減という観点で、SKD11と同等以上の金型性能を確保しつつ、SKD11対比でレアメタル使用量を大幅に削減した。レアメタル価格に大きく影響されることのない安定した安価な冷間ダイス鋼であるとともに、金型用プレートとして必要な特性を兼ね備えた最もコストパフォーマンスに優れたものである。

今後は幅広い産業分野において、環境配慮の観点でDCLTの適用が促進されるとともに、金型製造コスト削減に大きく貢献できるものと期待される。

(文献)

- 1) 原田幸明: あたりあ, 46(2007), 543.
- 2) 工業レアメタル 125 Annual Review 2009, アルム出版社, 2009, 74.
- 3) 並木邦夫: 鑄造技報, 89(2002), 4, 13.
- 4) 清水崇行, 尾崎公造: 電気製鋼, 76(2005), 229.
- 5) 清水崇行, 井上幸一郎: 電気製鋼, 78(2007), 289.
- 6) 尾崎公造: 電気製鋼, 76(2005), 249.

Table 1. Applications of DCLT.

Size(mm) H×W×L	35×300×350	33×300×320	35×160×160	40×120×132	60×100×170	40×120×132
Work Thickness(mm)	SPCC 0.5	SPCC 2	SPCC 3.2	SCM415 2.9	SPCC 0.35	SPCC 2.3
Mould	Die & Punch		Die		Punch	
Conventional tool steel	8Cr type die steel	SKD11				
Hardness (HRC)	unknown	59.1	60.2	60	60	59.2
Machinability	○	○	○	○	◎	
Distortion after W-EDM	○	○	○	○	○	◎
Die life	Evaluating (○ at 12000shot)	Evaluating	Evaluating (○ at 5000shot)	Evaluating	Evaluating (○ at 9000shot)	Evaluating

◎ superior to conventional tool steel ○ same as conventional tool steel

- 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) 松田幸紀, 坂本良昭: 電気製鋼, 71(2000), 141.