

# 新冷間ダイス鋼SLD-MAGIC™の開発

Development of New Cold Working Die Steel  
"SLD-MAGIC™"

久保田邦親\* Kunichika Kubota  
小松原周吾\*\* Shugo Komatsubara  
扇原孝志\*\*\* Takashi Ogihara  
鳴海雅稔\*\*\* Masatoshi Narumi  
山岡美樹\*\*\* Miki Yamaoka

近年、自動車業界では、地球環境の保護や衝突安全性の確保の観点から、車体の軽量化や剛性の向上が急速に進められており、高張力鋼板（以下ハイテン材）の使用比率が高まっている。そのため、冷間プレス成形等の際、金型に過酷な摩擦力を発生させ、摩耗、カジリ（焼き付き）などの損傷が激しくなり、金型寿命の低下という課題を抱えている。

一方、金型業界においては、アジア各国との競争を勝ち抜くために、金型製作におけるコスト低減や納期の短縮が必要になっており、削りやすく、熱処理・表面処理による金型寸法の狂いが少ない材料開発が望まれている。

耐摩耗性と被削性は本質的に相反すると考えられていたが、適切な金属組織設計と自己潤滑機構の応用によりこの相反を高いレベルで両立させることに成功した。あわせて熱処理寸法安定性も克服する合金設計も織り込むことができ、汎用性と高性能を高いレベルで両立するSLD-MAGIC™の開発に到達した。本報ではこのSLD-MAGIC™の諸特性を中心に紹介する。

Immense progress has been made recently in the worldwide automobile industry in reducing individual vehicle weight while making car bodies more durable. These changes have allowed manufacturers to conserve natural resources as well as improve collision safety. Accordingly, usage of high-tensile-steel has also increased. Since high-tensile-steel is extremely rigid, since superior wear resistance and seizure resistance are required for the fabrication of the steels including the hard coated system.

In addition to improving vehicle durability and minimizing production costs, the need for the die steels' machinability as well as improved dimension stability after heat treatment and surface treatment are pressing needs in the Japanese metal mold industry. The industry's search for solutions to these problems stems from their efforts to reduce mold fabrication costs and delivery times in order to stay competitive with other Asian manufacturers.

Though it was believed that the relationship between superior wear resistance and high machinability was a tradeoff in conventional cold working die steel, conquest of this tradeoff has been achieved by the implementation of a new microstructure design and a self-lubrication mechanism. Furthermore, superior dimension stability has also been achieved by an original computing alloy design. This paper describes the concept and properties of the newly developed steel, "SLD-MAGIC™".

## ① 緒言

日本の金型技術は、世界最高の水準であるといわれ、例えば1台の車を製造する場合の工具鋼の消費量は欧州は日本の3.2倍、北米は1.8倍という数字が報告されている<sup>1)</sup>。これらは、塑性加工機械および工法、金型設計、高精度加工技術、材料技術等の総合力が数字となって表れたものと思われる。特に熱処理を必要とするプレス型はプラスチック型に比べ日本の国際優位性が高いといわれている<sup>2)</sup>。しかし、プレス型においても、他国の追い

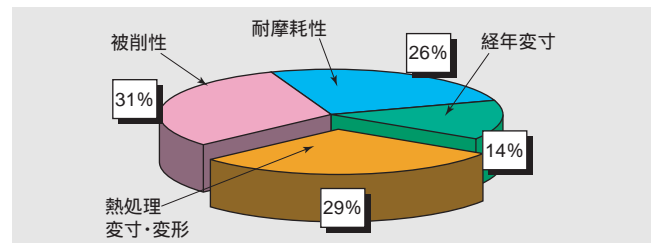


図1 主要25社のプレス金型に対する要望のアンケート結果  
Fig. 1 Result of investigation for mold material property requirements of leading 25 stamping mold manufacturers.

\* 日立金属株式会社 冶金研究所

\*\* 日立金属株式会社 安来工場（現；日立金属工具鋼株式会社）

\*\*\*日立金属株式会社 特殊鋼カンパニー

\* Metallurgical Research Laboratory, Hitachi Metals, Ltd.

\*\* Yasugi works, Hitachi Metals, Ltd.

\*\*\* Specialty Steel Company, Hitachi Metals, Ltd.

上げを当然考慮せねばならず、今後ますます国際競争が激化することが予想される。そのため、特に日本の強みを強化するという観点から新素材を開発することを主眼に置き、JIS SKD11系統材料の市場ニーズの調査を行った(図1)。

これらの結果より、被削性はもとより熱処理変寸の安定性の確保が急務であることが判明した。今までは効率向上の主眼は被削性に置かれ、ARK1®等の超快削ダイス鋼などが開発されてきた<sup>3)</sup>。しかし、加工性と熱処理変寸性を一体とした改善を行う必要があり、さらには耐久性向上も必要と考えた。この新冷間工具鋼の特徴を示す開発目標を図2に示す。作りやすさ(被削性、熱処理変寸安定性)と耐久性(耐摩耗性)自体は相反する材料特性であるが、これについても本材料は克服可能なように材料設計を行った。以下にこのSLD-MAGIC™の諸特性を紹介する。

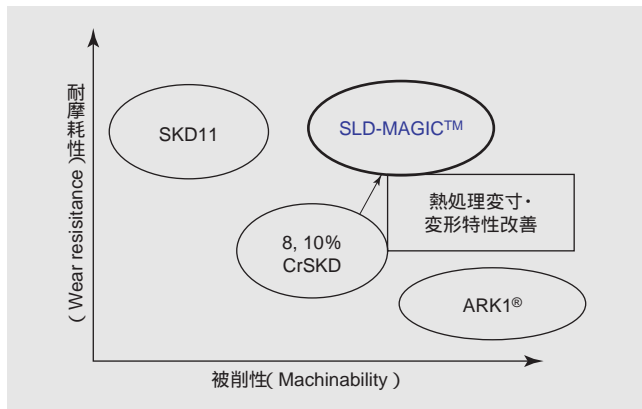


図2 SLD-MAGICの位置付け  
Fig. 2 Material concept of SLD-MAGIC.

## ② 合金設計の考え方

### 2.1 耐摩耗性と被削性の両立

図3にSLD-MAGIC™の耐摩耗性向上に関する合金設計の考え方を示す。SKD11などの溶製冷間ダイス鋼は未固溶炭化物が粗いため、どちらかというとも摺動速度が遅く高面圧な摩耗に強い。一方粉末工具鋼は未固溶炭化物が微細なため、炭化物間の距離が狭いことにより高速摺動

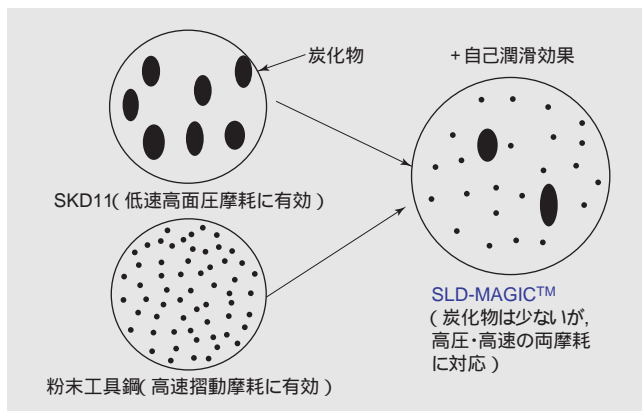


図3 耐摩耗性に関する合金設計の考え方  
Fig. 3 Alloy design for improvement of wear resistance.

摩耗に強い。SLD-MAGIC™は被削性向上のため、炭化物の絶対量は減らしているが、未固溶炭化物の一部を微細にすることで、今までSKD11で弱かった比較的高速の摺動摩耗に対応できるようにしている。さらには、摩擦中に摩擦界面で成長する酸化物に潤滑性を持たせる、いわゆる自己潤滑性を持たせた合金設計を行っている。

### 2.2 熱処理変寸・変形の低減

図4には焼戻し時の熱処理変寸低減のための合金設計の考え方を示す。従来鋼(8, 10%CrSKD鋼)は、二次硬化の頂点と膨張温度域が重なり合うため、硬さを高めると、熱処理変寸や経年変化の問題が多発していた。そのため開発鋼SLD-MAGIC™は、(1)特殊析出強化を行い、二次硬化域を低温にずらし、(2)寸法調整を容易にするため、最大膨張量を下げる合金設計を行っている。

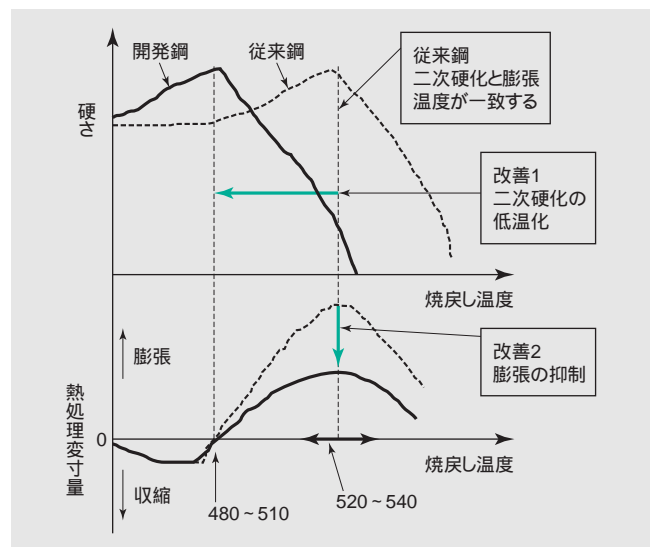


図4 熱処理変寸に対する合金設計の考え方  
Fig. 4 Alloy design for dimension stability at heat treatment.

## ③ 耐摩耗性および被削性

### 3.1 非表面処理時の耐摩耗性

図5に大越摩耗試験結果を示す。大越摩耗試験ではSKD11よりSLD-MAGIC™(以下、図表中ではS-MAGIC™と表記する。)が若干良く、既存の冷間ダイス鋼と比較しても最も耐摩耗性が高いことがわかるが、それほど顕著な差異ではない。

図6は作業時の発熱があまり起らない、PET樹脂切断の実型評価結果を示す。切断刃においてはSLD-MAGIC™の摩耗寿命はSKD11の2倍近くになり、刃先の摩耗量も半分以下になっている。これらの差異を考察するため、図7に組織観察を行った結果を示す。10μm以上の1次炭化物(図7(a)の白っぽい部分)の量はSKD11よりSLD-MAGIC™のほうが少なく被削性が良好な組織になっているが、1次炭化物のサイズはそれほど変わっていない。しかし、高倍率のSEMで観察される未固溶炭化物(図7(b))では、SLD-MAGIC™のほうが明らかに微細である。以下述べるように、このような金属組織の相違により、切断刃において顕著な摩耗寿命の差異が認められるようになる。

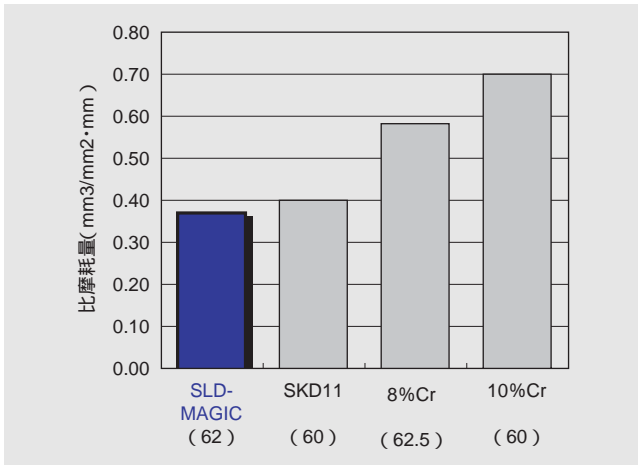


図5 大越摩耗試験結果 ( )はHRC硬さ  
熱処理条件 焼き入れ：1030 高温焼戻し  
相手材SCM415 摩擦距離400m 荷重67N

Fig. 5 Result of Ohgoshi type wear test.

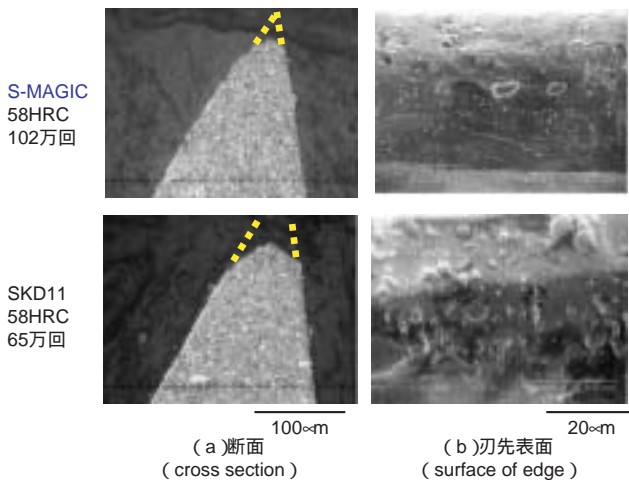


図6 樹脂切断刃の実型摩耗状況

Fig. 6 Observation of worn edge of resin cutter mold after use.

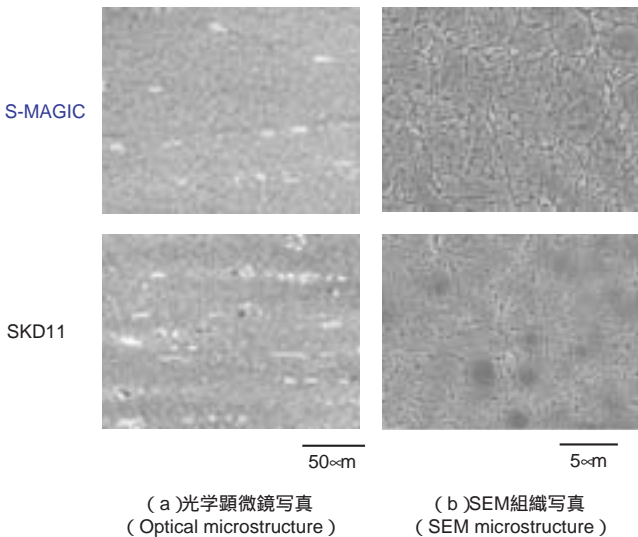


図7 ミクロ組織観察結果

Fig. 7 Observation of microstructure.

図8はPV値(圧力×速度; 単位面積あたりの摩擦エネルギー値)が一定の大越摩耗試験に対比させるため、時間や場所によりPV値が一定とはならない実際の切断刃の一般的な摩耗挙動の考察を示したものである。切断刃は高面圧を受けるが摺動が少ない高圧面と、面圧は低いが摺動速度の速い摺動面の2面から構成され、切断の機能を果たす(図8上図模式図参照)。前述したように、大きな炭化物は高圧面での耐摩耗性を担うが、適量存在すればよく摺動面では役に立たない(図8中段、下段の図参照)。一方、摺動面では摺動距離を炭化物の平均自由行程(図8下段の図中のL)が支配するため、これが摩耗速度を支配し、SLD-MAGIC™のほうが有効に働く。このような違いが実型の耐摩耗性に大きく作用することがわかる。

図9には、発熱による型損傷であるカジリを再現したカジリ試験結果を示す。このカジリは特に、ハイテン成形時頻発することが報告され、そのため表面処理を多用する傾向が最近強まり、型製作のコスト高を招いている現象である。この条件ではSKD11で見られたカジリ痕がSLD-MAGIC™のほうでは全く見られない結果となった。カジリは発熱による拡散現象によって起り、被加工材と

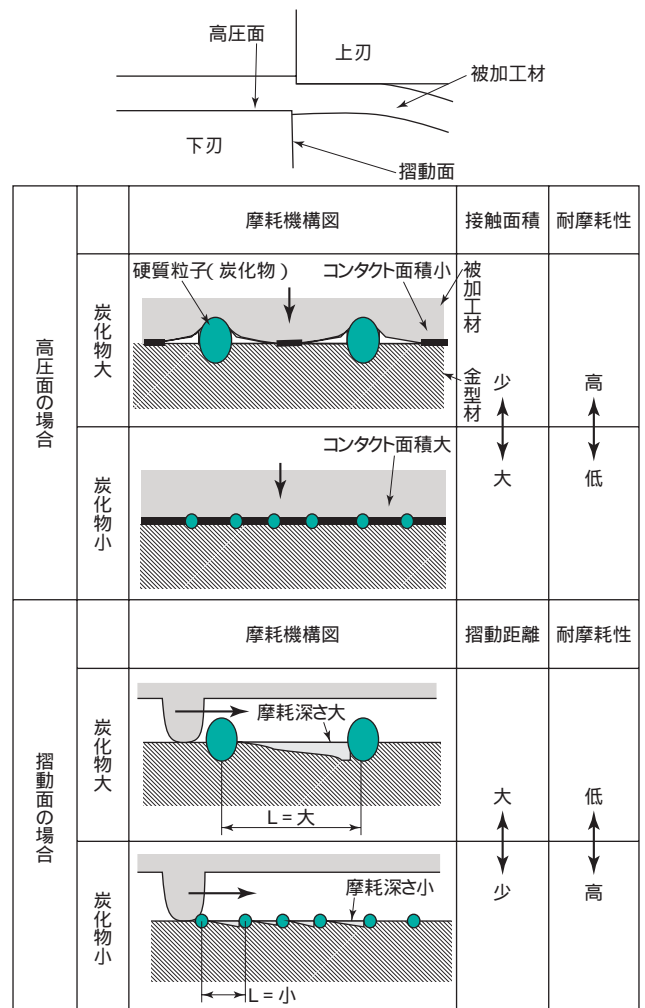


図8 高圧面/摺動面における摩耗挙動の差異の説明図

Fig. 8 Difference of edge wear behavior between on upper and side face.

金型の原子が交換することで被加工材の一部が金型に凝着して起こる現象である。そのため摩擦発熱時の金属同士の接触回避と潤滑膜の形成が重要である。このような観点からの合金設計をSLD-MAGIC™には行っており、そのためSLD-MAGIC™のほうが耐カジリ性に優れる結果となったものと考えられる。

### 3.2 被削性

図10には正面フライスによるテスト条件と工具摩耗量を示す。SLD-MAGIC™の工具摩耗量はSKD11に比べ半分、比較した冷間ダイス鋼の中では最も摩耗量が小さい結果となっている。図11には切削後の表面の肌を比

較したものであるが、SLD-MAGIC™の鏡面性は一番高く、工具摩耗量では僅差であった10%Cr鋼に対しても格段に優れていることがわかる。図12には切り粉の写真を示すが、従来鋼が青色系統の酸化膜による着色が認められるが、SLD-MAGIC™は黄金色に着色されており切削温度が低かったためと考えられた。そこで切削時の測温を実施した。

図13にはエンドミル切削時の工具の昇温挙動を示している。エンドミル切削で、切削点のちょうど180度の

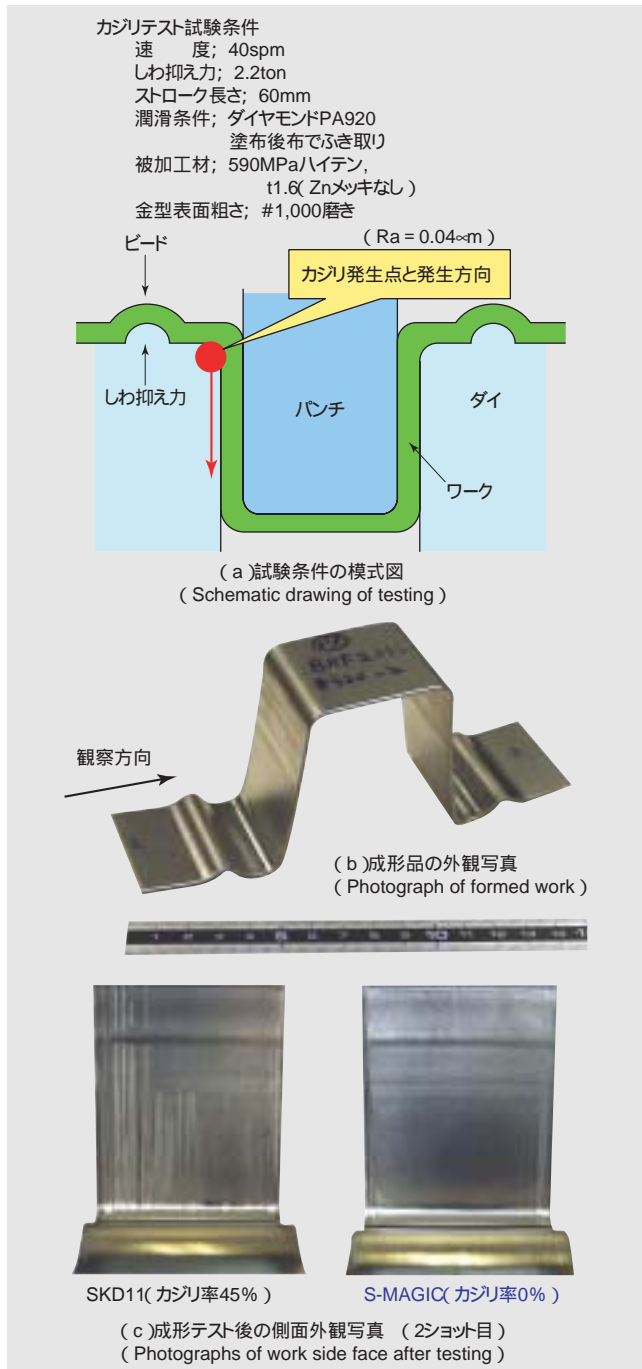


図9 ハイテン材によるカジリテスト結果  
 Fig. 9 Result of seizure resistance test with 590MPa high-tensile-steel work.

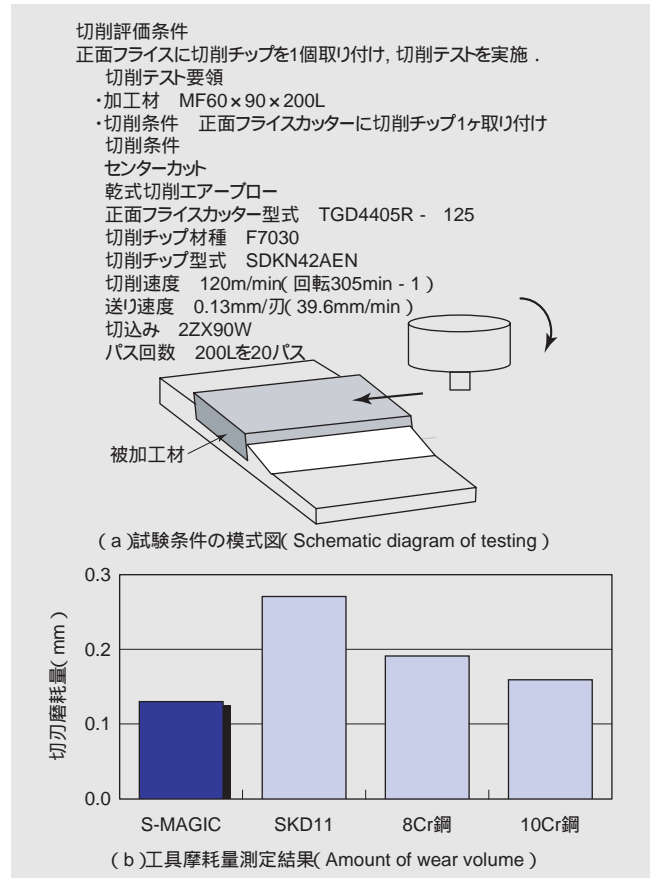


図10 正面フライスによる被削性テスト結果  
 Fig. 10 Result of machinability test by face mill.

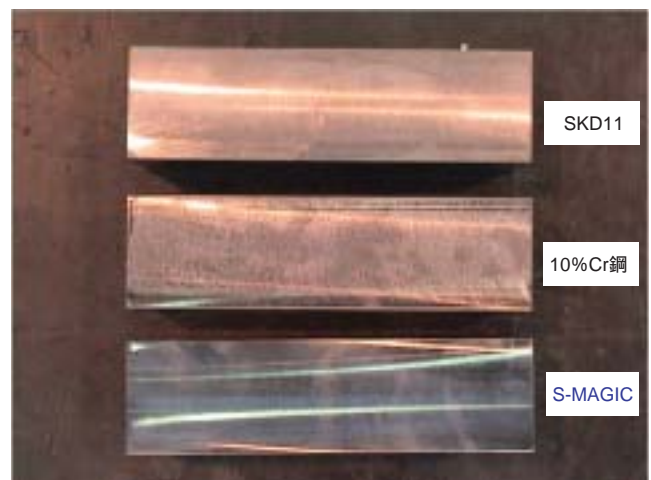


図11 正面フライステスト後の加工肌の外観写真  
 Fig. 11 Observation of the surface after face milling.



図12 フライステストで得られた切り粉の外観写真  
Fig. 12 Observation of chips after face milling test.

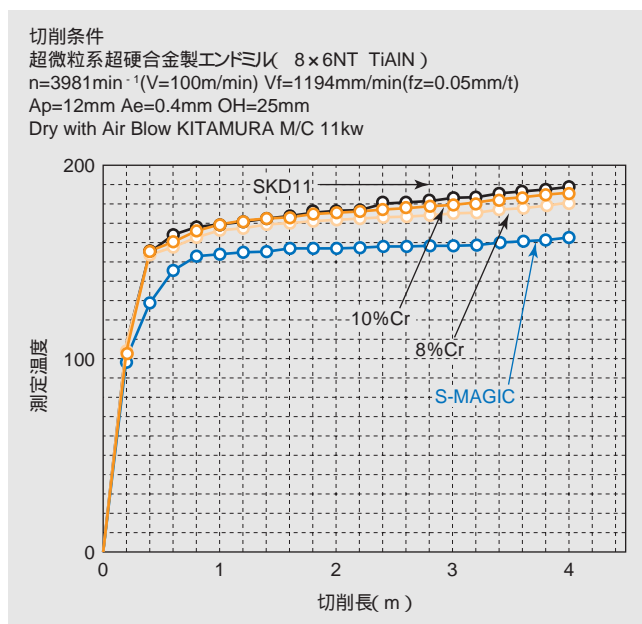


図13 エンドミル切削による工具温度の測定結果率  
Fig. 13 Tool temperature measurement at end-milling test.

角度をなす背面での工具温度を測定しているのので、この温度は切削点での温度を直接測定していないが、同一条件での被削材の違いによる切削発熱の大小関係は保証されるものと考えられる。この測温結果からSLD-MAGIC™の温度上昇が最も低く、切削点での自己潤滑作用が被削性の点でも有効に作用することがわかる。

以上のように耐摩耗性と被削性は一般的には相反するが、自己潤滑作用を有効に活用することで、これを克服可能にすることができる。

### 3.3 硬質皮膜処理時の耐摩耗性

ハイテン成形の増加に伴い、硬質皮膜処理が増えてお

り、中でもCVDや塩浴処理によるTiCやVC皮膜のコーティングが板金成形用に多用されている。膜は一度使用し剥離が生じると、皮膜を化学処理ですべて除去し、再度コーティングを繰り返し使用する。このようにコーティングを繰り返すことで密着性が低下することが硬質皮膜形成時の耐久性を決定している。

図14はCVD (TiC) 処理を3回行った場合の密着力の測定結果であるが、各冷間ダイス鋼の中でSLD-MAGIC™が最も密着性に優れていることがわかる。そのため、このテストピースを切断し表面近傍部の硬さ分布の測定を行った。

図15にはその結果を示すが、各材料とも表面近傍の硬さが低くなっていることがわかる。これらの化学的な硬質皮膜形成法は、金型母材中から膜中に炭素(C)を吸蔵させることで膜成長を起こす方法を取っている。SKD11に比べ8, 10%Cr鋼はCの添加量が少ないため表面近傍の固溶C量が不足しやすく、硬度低下も著しい。それに対しSLD-MAGIC™はマトリックスの拡散速度を向上させる合金設計を行っているため、膜中に吸蔵され不足気味になった最表面部のC量を母材深部から多量に供給することで、最表面部の硬度低下を最小限に抑えていることがわかる。そのためSLD-MAGIC™の密着性は高い。

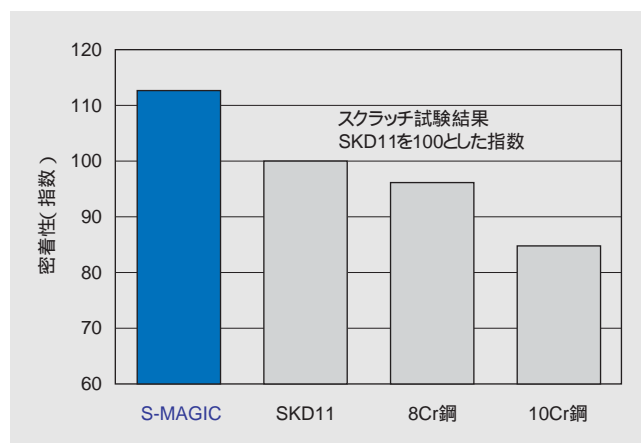


図14 TiC 3回後の密着性テスト結果  
Fig. 14 TiC film adhesion force after 3 repetitions of CVD.

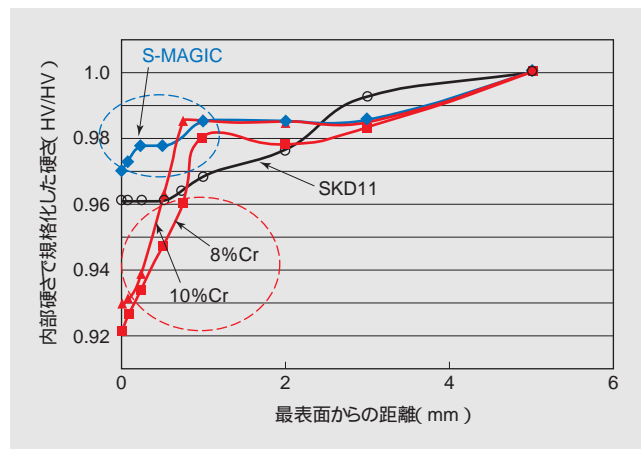


図15 TiC処理3回後の表面処理分布  
Fig. 15 Surface hardness distribution after 3 repetitions of TiC-CVD.

また、この特性は熱処理時に起りやすい脱炭不良の抑制にも有効に働くものと思われる。

#### ④ 熱処理変寸特性

図16には焼戻し硬さ曲線と、図17には熱処理変寸量曲線を示している。SLD-MAGIC™はMo-W系の2次硬化に伴う激しい膨張を回避するためMo量を適度に低下させているため、2次硬化のピーク硬さは8%Cr鋼より若干低くなる。ただしピーク硬さの得られる温度で変寸がちょうどゼロになることは図17とあわせて比較することでわかる。また、焼入れ時の膨張、あるいは2次硬化後の膨張においてもSLD-MAGIC™は最も低い値になっている。

図18は全国の主要金型熱処理メーカー8社で熱処理変寸特性の評価を行った結果である（各条件毎に8本の

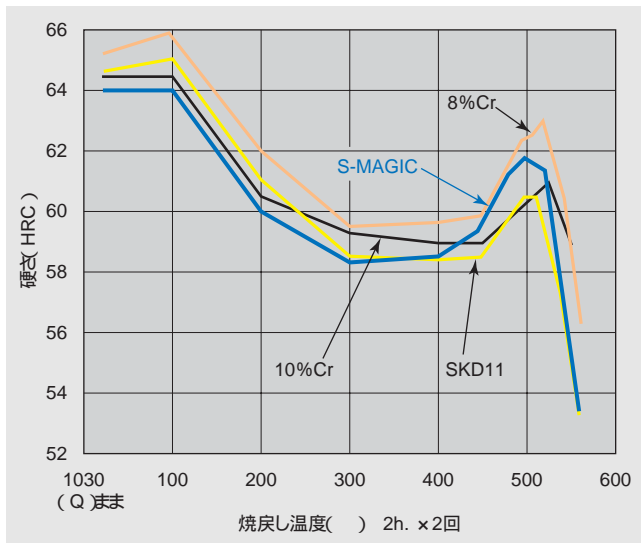


図16 焼戻し硬さ曲線  
Fig. 16 Hardness behavior at each tempering temperature.

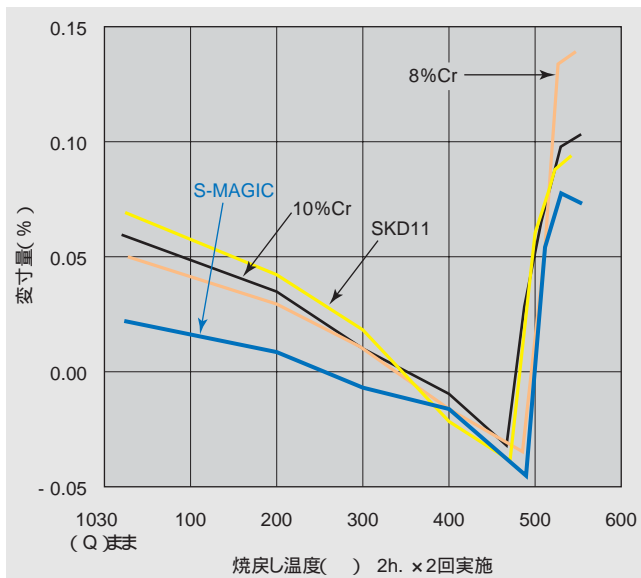


図17 熱処理変寸曲線  
Fig. 17 Dimension change at each tempering temperature.

棒グラフで各社データを表示)。メーカーにより処理条件が微妙に違うため、バラツキがあるがSLD-MAGIC™はメーカー毎の変化幅が少なく、L（圧延）方向とW（圧延と直角）方向の差が少なく等方的になっている。

図19には、別の処理メーカーにてSKD11の変寸が最も少ない条件設定で、金型形状に彫り込んだテスト材のXYZの3方向でそれぞれ3箇所の熱処理変寸を測定したものである。SLD-MAGIC™の等方的な変寸挙動が効果的に働き、変寸が最もゼロに近くバラツキが小さくなることが確認された。

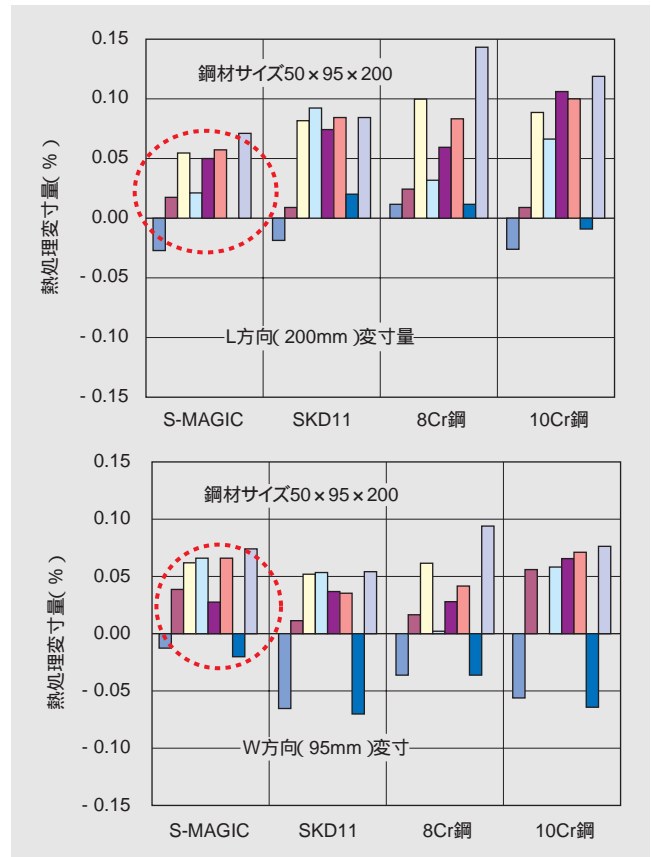


図18 主要熱処理メーカー8社での実作業テスト  
Fig. 18 Result of dimension change under normal operating conditions.

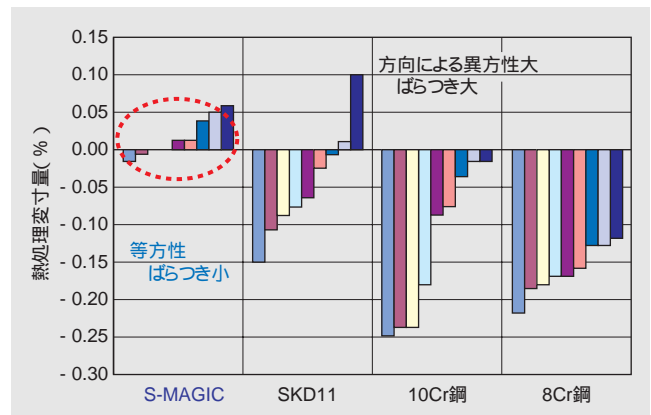
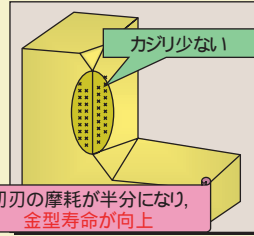


図19 金型形状9箇所熱処理変寸挙動  
Fig. 19 Dimension change behavior at each parts on one mold.

自動車部品曲げ型

部品;インナー部品 被加工材;SPH440(t3.2)

|      | 現 状        | S-MAGIC状況  |
|------|------------|------------|
| 鋼種   | SKD11      | SKD11      |
| 硬さ   | 59~61HRC   | 60~62HRC   |
| 熱処理  | 高温戻し       | 高温戻し       |
| 表面処理 | CVD(TiC)処理 | CVD(TiC)処理 |
| 寿命   | 1,300個     | 156,000個   |
| 問題点  | 激しいカブリ     | 継続中        |

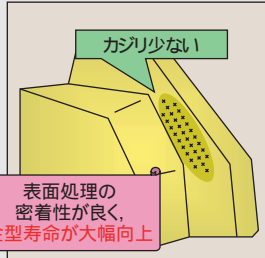


自動車部品曲げ型

部品;インナー部品 被加工材;SPH440(t3.2)

|      | 現 状      | S-MAGIC状況 |
|------|----------|-----------|
| 鋼種   | SKD11    | SKD11     |
| 硬さ   | 59~61HRC | 60~62HRC  |
| 熱処理  | 高温戻し     | 高温戻し      |
| 表面処理 | PVD処理    | PVD処理     |
| 寿命   | 1,300個   | 156,000個  |
| 問題点  | カブリ      | 継続中       |

途中約80,000個で再表面処理

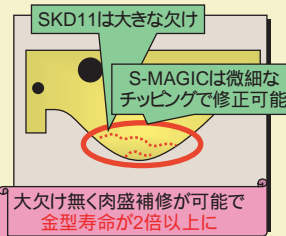


自動車部品抜き型

部品;機能部品 被加工材;SPH590(t7.0)

|     | 現 状      | S-MAGIC状況 |
|-----|----------|-----------|
| 鋼種  | SKD11    | SKD11     |
| 硬さ  | 58~60HRC | 58~60HRC  |
| 熱処理 | 170 戻し   | 170 戻し    |
| 寿命  | 6k~15k個  | 40k個      |
| 問題点 | 大きな欠け    | 継続中       |

途中約25,000個で肉盛補修



自動車部品抜き型

部品;クラッチ部品 被加工材;SK5焼入れ(t1.0)

|     | 現 状      | S-MAGIC状況 |
|-----|----------|-----------|
| 鋼種  | 10Cr鋼    | SKD11     |
| 硬さ  | 58~60HRC | 59~61HRC  |
| 熱処理 | 510 戻し   | 510 戻し    |
| 変寸  | 0.33mm   | 0.15mm    |
| 研削性 | 悪い       | 良好        |
| 寿命  | 1,000個   | 1,000個で中断 |
| 問題点 | 摩耗       | 摩耗が半分に    |

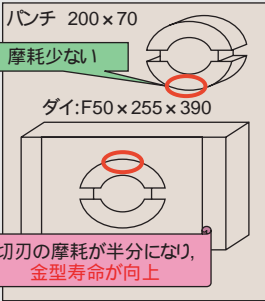


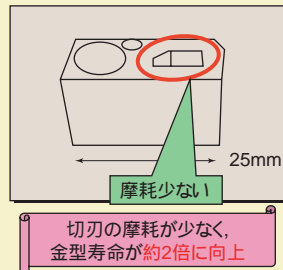
図20 自動車部品製造用金型の各材料特性評価結果

Fig. 20 Evaluation result of each material property of mold for automobile part forming.

家電部品抜き型

部品;光学関連部品 被加工材;SPCC(t0.8)

|     | 現 状      | S-MAGIC状況 |
|-----|----------|-----------|
| 鋼種  | SKD11    | SKD11     |
| 硬さ  | 60~62HRC | 60~62HRC  |
| 熱処理 | 200 戻し   | 480 戻し    |
| 被削性 | 悪い       | 良好        |
| 寿命  | 10万個で寿命  | 10万個で中断   |
| 摩耗量 | 1.0mm    | 0.5mm(半減) |



家電部品抜き型

部品;液晶パネル部品 被加工材;SUS304(t0.3)

|     | 現 状      | S-MAGIC状況   |
|-----|----------|-------------|
| 鋼種  | 8Cr鋼     | SKD11       |
| 硬さ  | 60~62HRC | 60~62HRC    |
| 熱処理 | 505 戻し   | 480 戻し      |
| 変寸  | 0.05%以内  | -0.01~0.02% |
| 被削性 | 普通       | 良好          |
| 寿命  | 30,000個  | 40,000個以上   |
| 問題点 | バリ(摩耗)   | 継続中         |

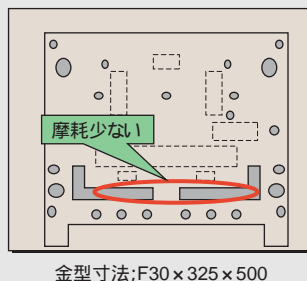


図21 家電部品製造用金型の各材料特性評価結果

Fig. 21 Evaluation result of each material property of mold for home electronics equipment part forming.

## 5 実型評価結果および特性のまとめ

図20には自動車部品用の成形金型，図21には家電部品成形用金型の実使用結果を示す。表面処理品，非表面処理品とも寿命が向上しているか，摩耗量が半減しており，金型価値が倍増していることがわかる。被削性等は実作業では測定できないので作業をしている方の定性的判断であったが，全部良いとのことであった。また熱処理変寸もすべて良好であった。

図22には各特性をそれぞれ比較したものである。本報告では述べていないが，溶接性，靱性とも良好な結果であった。このようにSLD-MAGIC™は総合的に見ても6項目の特性はすべて既存の冷間ダイス鋼を上回り，高性能でかつ汎用性が高い材質になっていることがわかる。

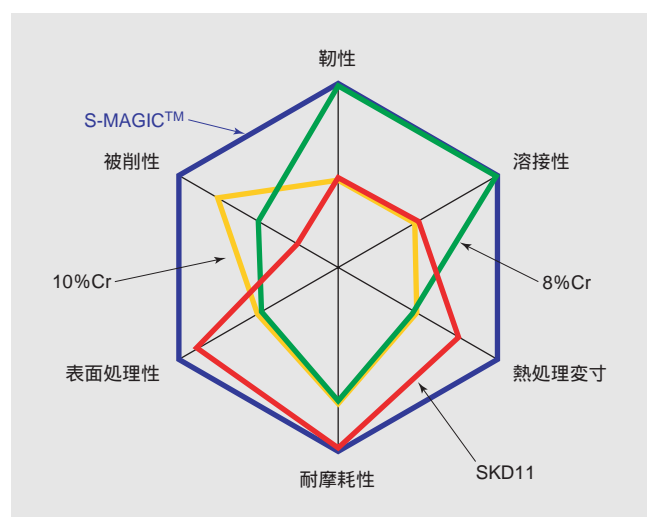


図22 冷間ダイス鋼の各材料特性の比較

Fig. 22 Comparison of each material properties of cold working die steels.

## 6 結 言

(1) SLD-MAGIC™は金属組織設計と自己潤滑特性を応用することで耐摩耗性と被削性の同時向上を達成した。

(2) SLD-MAGIC™はマトリックスの拡散速度を高速化する合金設計を行うことで，硬質皮膜処理の密着性を向上させることができた。

(3) SLD-MAGIC™は2次硬化現象を制御することで熱処理時の寸法安定性の確保ができるようになった。

以上，本材料が目指した諸特性には，実験室レベルの少量溶解材ではわからないものもあったため，スケールアップ化した材料評価が不可欠であった。そのため多くの金型メーカー，熱処理メーカー，スタンピングメーカー

，ツールメーカーの実使用のデータが大きな力となり，開発が推進できたと考えており関係者各位にこの場を借りて深く御礼を申し上げる。

## 参考文献

- 1) [http://www.hatch.ca/Consulting/Knowledge\\_Base/Articles/Tool%20Steels%20Thinking%20Internationally.pdf](http://www.hatch.ca/Consulting/Knowledge_Base/Articles/Tool%20Steels%20Thinking%20Internationally.pdf)
- 2) [http://www.ide.go.jp/Japanese/Publish/Report/pdf/2002\\_210\\_3\\_05.pdf](http://www.ide.go.jp/Japanese/Publish/Report/pdf/2002_210_3_05.pdf)
- 3) 阿部行雄，他：日立金属技報Vol.17(2001) P87



久保田邦親  
Kunichika Kubota  
日立金属株式会社 冶金研究所



小松原周吾  
Shugo Komatsubara  
日立金属株式会社 安来工場  
(現；日立金属工具鋼株式会社)



扇原孝志  
Takashi Ogihara  
日立金属株式会社 特殊鋼カンパニー



鳴海雅稔  
Masatoshi Narumi  
日立金属株式会社 特殊鋼カンパニー



山岡美樹  
Miki Yamaoka  
日立金属株式会社 特殊鋼カンパニー