

表面処理性、摩擦特性に優れる冷間工具鋼の開発

久保田邦親¹⁾, 阿部行雄²⁾, 小松原周吾³⁾

1) 日立金属(株)冶金研究所, 2) 日立金属(株)安来工場, 3) 日立金属工具鋼(株)

Development of Cold Work Tool Steel with High Suitability for Surface Treatment Technology and Superior Friction Behavior

Kunichika KUBOTA¹⁾, Yukio ABE²⁾, Shugo KOMATSUBARA³⁾

- 1) Hitachi Metals, Ltd. Metallurgical Research Laboratory, Yasugi, Shimane, Japan
- 2) Hitachi Metals, Ltd. Yasugi works, Yasugi, Shimane, Japan
- 3) Hitachi Metals Tool Steel, Ltd. Chuou-ku, Tokyo, Japan

Abstract

The past development of die steel was concerned with the cases in which one or two properties were improved. However, the die and mold industry is exposed to the global competition, and is expected to satisfy two or more material properties which are not only the material performances such as strength and/or toughness, etc. but also the easiness of the die and mold manufacturing on the machining, heat-treatment, and the surface treatment recently.

Then, we controlled the most kinds of alloying elements, which are contained in the tool steel, in the world by alloy design using computer, and developed a cold work tool steel with above-mentioned six superior properties including both performances and easiness of manufacturing. The friction behaviors of this material with and without surface treatment at practical or fundamental test are shown.

1. 緒言

JISG4404-SKD11(以下SKD11と表記)は作りやすさと耐久性のバランスの良さから40年以上の永きに渡ってその多様な要求を満たしており, 金型素材の中心的な役割を担ってきたが近年作りやすさと耐久性の複数の特性の高度化要求が著しくなってきた。

そのため, 計算機支援による合金設計を駆使し, 工具鋼では世界最多の合金元素種を添加, 制御することで作りやすさと耐久性に関わる6特性が同時向上した冷間工具鋼⁽¹⁾を開発した。その適用内容とその解析結果を中心に報告する。

2 開発鋼の基本特性

Fig.1 には SKD11 及び SKD11 改良鋼と開発鋼の各特性の比較を示す。金型の耐久性に係る耐摩耗性、靱性、表面処理性と、金型の作りやすさに係る被削性、熱処理性、溶接性の6特性が既存鋼よりも優れた特徴をもつ。これらの特性が実際使用された

場合,どう反映されるかについて実際の金型の耐久性の観点に絞って報告する。

3.耐摩耗性の基礎実験

Table1 には実験に用いた供試材の化学組成をしめす。これらの材料は数~数十トンのインゴットに鑄造後、1100℃前後の熱間加工を施し、所定の寸法に仕上げ、焼鈍を行い270HB以下の硬さにしたものを素材とした。

基礎実験は、素材から所定の寸法に切り出し、焼き入れ温度 1030℃×30 分で空冷、焼戻し 500~540℃の間で施し硬さ(58~63HRC)に調整した試料を用いて行った。

Table1 Chemical compositions of each steels (mass%)

	C	Si	Cr	Mo	W	Al	その他
SKD11	1.48	0.32	11.5	0.87	<0.1	<0.01	bal Fe
8%Cr 鋼	0.98	0.98	8.32	2.01	<0.1	<0.01	bal Fe
10%Cr 鋼	1.18	0.35	10.7	1.36	<0.1	<0.01	2 元素 0.1%以下添加
開発鋼	1.01	1.02	8.31	0.81	0.35	添加	5元素 合計 2.0%以下添加

Fig.2 には大越摩耗試験結果を示す。開発鋼はSKD11と同レベルで大きな差は出ていないが、炭素の低い既存鋼である8,10%Cr鋼よりも摩耗が押えられていることが分かる。

Fig.3 には耐焼付き性を評価するために行う実機近似のハット曲げ試験方法を示している。板の両端を押さえながら、パンチによりハット型に板を成形するとダイと接触するコーナー部に被加工材が凝着し、それが被加工材表面の成形方向にスジ状の痕跡を残し、これを通称カジリと呼んでいる。

Fig.4 には同条件でダイの材質のみを変えた場合の被加工材の外観をしめすが、開発鋼はその他の既存材料に比べこのカジリが少ないことが分かる。Fig.5 にはしわ押さえ荷重変化させることによってダイへの面圧を高めた場合のカジリ発生臨界荷重をストロークスピードを変化させて実験した結果で被加工材は980、580MPaの2種類を用いている。いずれの条件でも開発鋼はSKD11よりもカジリの限界荷重が高く耐カジリ性に優れていることが分かる。本試験の潤滑条件は乾式で、ハイテン材に元々付

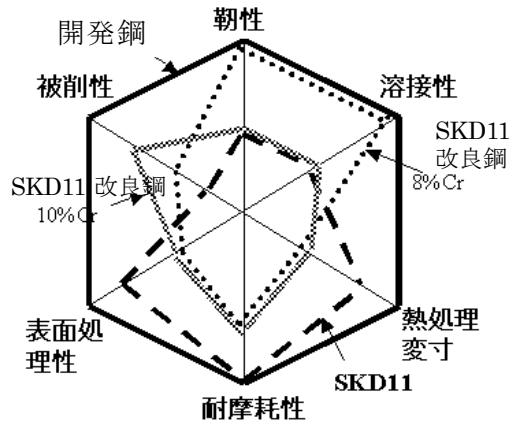


Fig1 Comparison of properties of each cold work tool steel

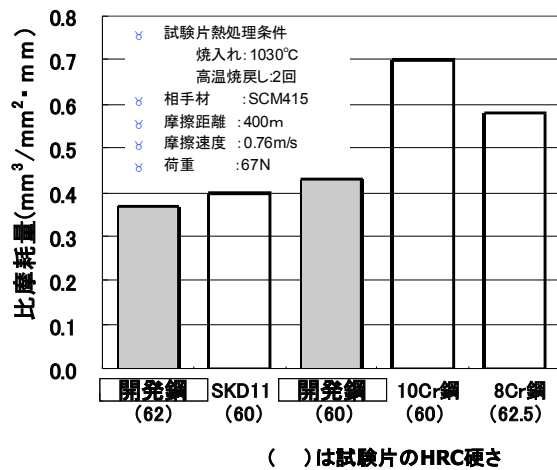
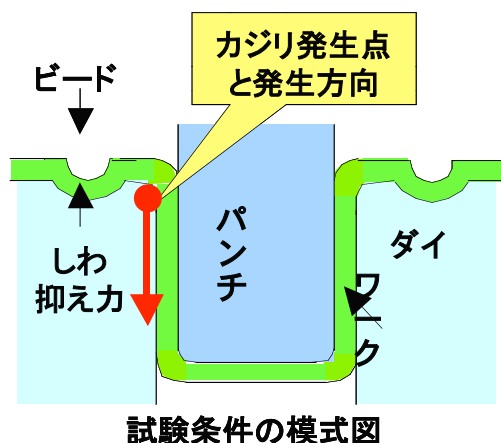


Fig.2 Result of Ohgoshi wear test of steels



カジリテスト試験方法

速度; 40spm
 しわ抑え力; 2.2ton
 ストローク長さ; 60mm
 潤滑条件; ダイヤモンドPA920
 塗布後布でふき取り
 被加工材; 980, 590MPaハイテン (t1.6; Znメッキなし)
 金型表面粗さ; #1000磨き (Ra=0.04 μm)

試験条件の模式図

Fig3 Schematic drawing and condition of plate bending test

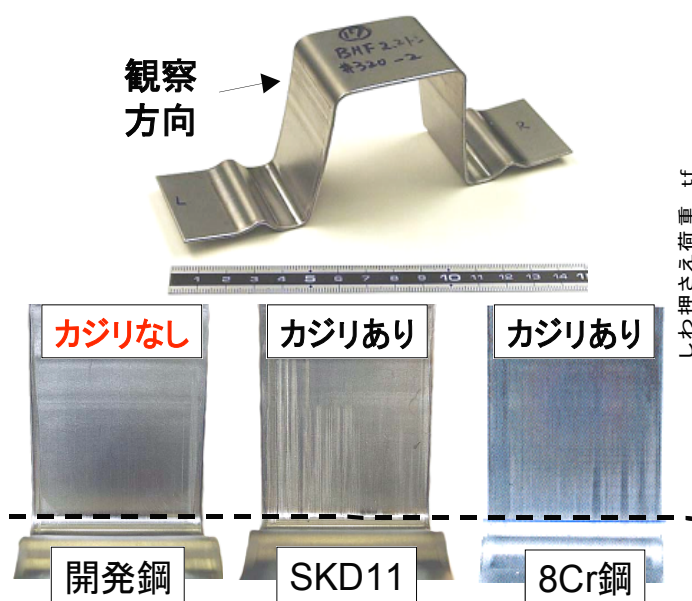


Fig.4 Optical photograph of plate surface after bending test(60spm, 1.5ton force, 580MPa)

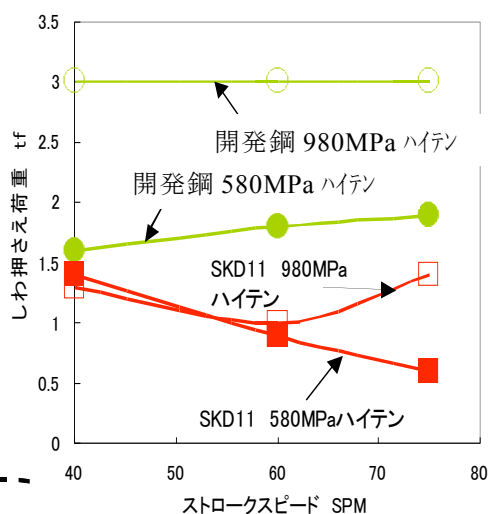


Fig5. Relationship between critical galling load and stroke velocity

着している防錆油を布でふき取って試験を行っているので流体潤滑的な効果は起こり得ないが、両者の差異は高速になると生じるため、摩擦発熱による何らかのトライボケミカル反応⁽²⁾が生じている可能性がある。また、開発鋼において980MPaハイテンのほうが580MPaのものよりも限界荷重が高い傾向が強く表れている。一般的にはハイテン強度が高いほど押し付け面圧が高くなり、カジリが発生しやすくなるが、形状凍結法を用いていない本条件では980MPaのほうがスプリングバックが大きく発生し⁽³⁾ハット形状が開いている。そのためカジリ現象は被加工材の面圧だけでなく塑性変形により表面に新生面が生じる効果にも左右されるものと考えられる。

単純な凝着現象の場合、摩擦エネルギー $E = \mu PV$ (μ ; 摩擦係数、 P ; 面圧、 V ; 速度) であらわされるとすると、この E が一定値以上になると凝着が発生することが容易に推察される。その場合 $\mu = \text{一定}$ とすると P と V は反比例の関係となり、Fig. 5 の SKD11(580MPa) のデータのように V を上げると P が低下することになるが、本開発鋼はそのような依存性を見せ

ていないのも特徴的である。このことは、(1)被加工材が塑性変形をする際に表面の酸化膜が割れて活性で凝着しやすい新生面が生成する挙動と(2)その新生面や金型表面で発生したトライボケミカル反応による両面の化学的不活性化という2つの観点からの研究を進めてゆく必要がある。

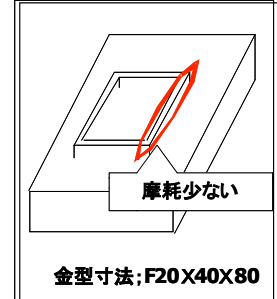
家電部品抜き型
部品: 家電部品 被加工材: フィルム(PET)

4.実機試験結果

4-1.非表面処理金型

Fig.6 には昇熱がほとんど起らない PET 樹脂切断金型による摩耗評価結果を示す。一定以上のバリ高さになると、寿命と判定される。開発鋼は SK

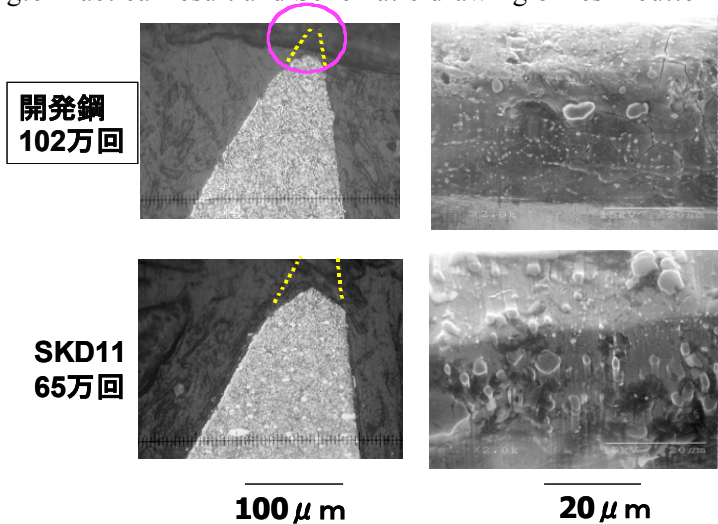
	現 状	開発鋼 状況
鋼 種	SKD11	
硬 さ	58~60HRC	58~60HRC
熱処理	530℃戻し	530℃戻し
被削性	悪い	良 好
寿 命	65万個	102万個
問題点	摩 耗	摩耗少ない



熱処理材の加工性は、SKD11より工具寿命や加工精度が大幅改善

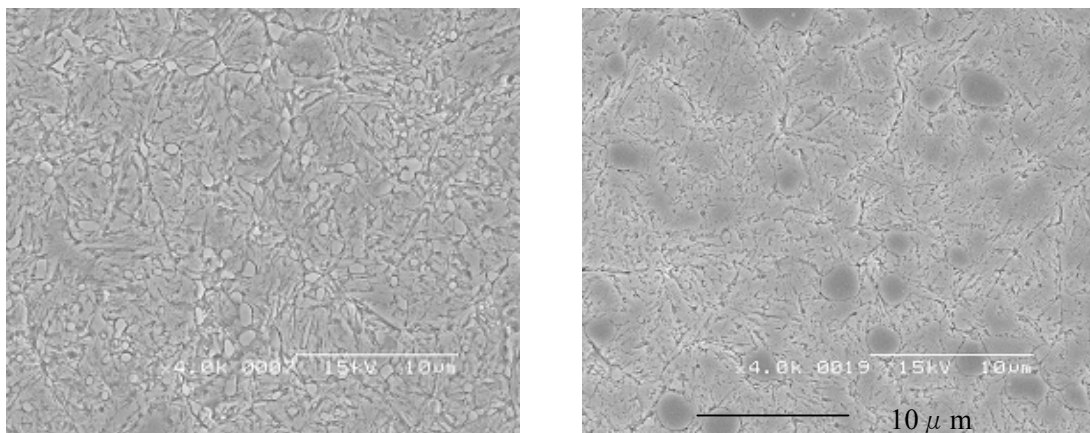
Fig.6 Practical result and Schematic drawing of resin cutter mold

D11 の2倍近く寿命が伸び、被加工材の断面品位も開発鋼のほうが長く維持された。使用後の金型調査を行った結果を Fig.7 に示す。切断刃先端の摩耗も開発鋼が少ないことが Fig7(a)断面観察から分かる。切断刃頭頂部の表面 SEM 観察結果(Fig.7(b)参照)からは、母材部が優先的に摩耗しており硬質な炭化物が浮き出ている状況がわかる。



(a) Optical micrographs of cross section of edge (b) SEM micrographs of top of edge surface

Fig.7 Observation result of worn edge of resin cutter mold



(a) Developed steel(9%) (b) SKD11(13.6%)

Fig.8 SEM microscopic photographs of etched steel surface.

Number in parentheses shows carbide content.

更には Fig. 8 には炭化物分布がわかるように鏡面研磨したものをナイトールで腐食したミクロ組織をしめす。これより開発鋼のほうが炭化物が微細に分散されていることが分かる。炭化物の量のみをコントロールした実機実験では、炭化物の量が減じると同時に切り刃の摩耗が促進されるような結果を得ているが、同時に摩耗の単位が大きくなっていることが観察されている⁽⁴⁾。すなわち、炭化物間の平均距離間隔と摩耗しやすさが一致する結果であった。今回の炭化物の画像解析での結果を Table2 に示すが開発鋼の炭化物量は 9%、SKD11 は 13.6% であり炭化物の量だけで考えると開発鋼が不利であるが平均自由行程を考えると有利になる。ただし、開発鋼 3.8 μm に対し、SKD11 は 5.2 μm と量としての変化はそうないとも受け捉えられるが、最大炭化物面積でみるとその差は 2 倍程度に差が開いている。一般的になるべく局所的にも化学平衡を保とうとする働きにより、大きな炭化物の近傍には炭化物の存在が少ない場所が多く見受けられる。このような場所で摩耗が起りやすくなったため SKD11 のほうが摩耗しやすくなったことが考えられる。こう考えてゆくと、摩耗はバルクを削ってゆくので、

その時々にはむき出す表面の摩耗の単位を全面に渡り常に小さくしてゆくには、バルク中全体が微細均一になっていることが理想的な状態であると考えられる。

Table 2 Measurement result of carbide distribution.

	単位	開発鋼	SKD11
測定面積	μm ²	159227	159227
炭化物面積	μm ²	14283	21654
計測炭化物数	個数	16712	12278
最大炭化物面積	μm ²	349	611
最小炭化物面積	μm ²	0.01	0.01
炭化物面積率	%	8.97	13.6
炭化物平均粒径	μm	1.18	1.5
炭化物間平均自由行程	μm	3.78	5.18

4-2. 表面処理金型

Fig.9 には TiC(CVD)処理を行う 440 MPa ハイテンの曲げ型の評価結果を示す。SKD11 においては寿命直前にわずかに発生した膜剥がれを起点に凝着が広がり 1300 個程度でハット曲げ試験同様のカジリが被加工材に生じ寿命をむかえる状況であった。しかし開発鋼においては、100 倍以上の成形数でも剥離が全く生じなかった。

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	開発鋼状況
鋼 種	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	激しいカジリ	修了未確認

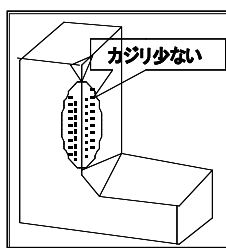


Fig.9 Practical result and Schematic drawing of bending die for 440MPa high tensile strength steel plate.

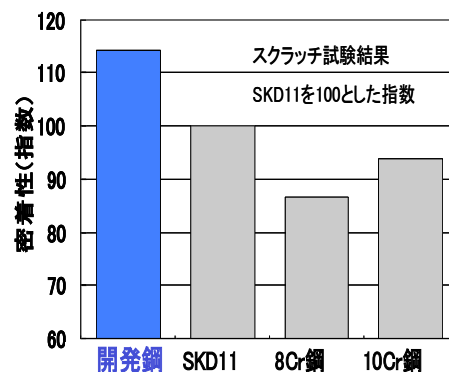


Fig.10 Measurement of TiC film adhesion force after 3 times.

このことを理解するために、各材料の TiC 膜の密着力の測定をスクラッチ試験で行った。通常、TD、TiC 処理等の熱化学表面処理法は、母材の C を膜中に吸蔵することで炭化物膜

を形成している⁽⁵⁾が、そのため脱炭現象がおり密着性低下につながるということが知られている。そのため、各材料の脱炭現象を分かりやすくするため、TiC 処理を行った後に、化学的に剥離を起こし、更に成膜するといっ

たことを3回おこなった。Fig.10には成膜3回後のときの密着力を示し、Fig 11は母材表面の硬度分布の測定結果を示す。密着力の高さの順位と、表面硬度の低下しにくさの順番がほぼ一致していることから、脱炭が密着力に影響を与えていることが分かる。さらに、既存材の中では添加炭素の多い順番に、密着力は向上し、表面硬度低下も軽微となっていることから脱炭現象であることを裏付けている。

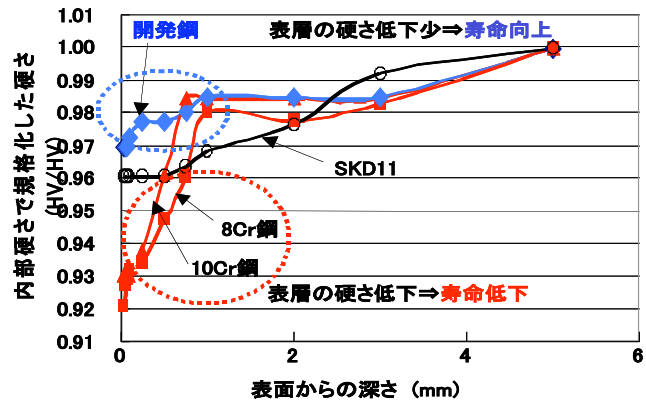


Fig.11 Hardness distribution of steel surface under TiC film

このなかで、開発鋼の密着力が高いのは Al 添加による拡散速度向上が考えられる。つまり、表面から抜けてゆく C を補う形で深部からの C の供給が行われた場合、脱炭は軽微になることが予想される。Al は鉄中の置換型元素では最も自己拡散速度が速く⁽⁶⁾原子半径が大きく結合力も弱いため、Al 原子に隣接して空孔が形成されやすく、この空孔の存在が C 拡散の速度を向上させているようなメカニズムが想定される。

5.結論

1. 開発鋼と SKD11 の大越摩耗試験結果では、耐摩耗性には差異は見られなかったが、PET 樹脂の切断刃においては2倍の寿命が得られ、その原因は炭化物の平均自由行程が小さいために生じた現象と考えられる。
2. 開発鋼と SKD11 の耐カジリ性は、開発鋼のほうが良好であった。摺動速度を増加させると性能差が大きくなる傾向があるので発熱による一種のトライボケミカル反応であることが考えられる。
3. TiC(CVD)処理のハイテンの曲げ型にて寿命を計測すると開発鋼はSKD11よりも100倍以上向上した。原因は、TiC 処理膜の密着性が脱炭現象に左右されることで説明付けができる。

参考文献

- (1) 久保田邦親、ほか：日立金属技報 vol.21,p45,(2005)
- (2) 桜井俊男：潤滑の物理化学 幸書房 p119(1978)
- (3) 岩谷二郎、ほか：神戸製鋼技報 Vol.51,No.1,p5(Apr.2001)
- (4) 阿部行雄、ほか：日立金属技報 vol.17p87(2001)
- (5) 戸石光輝、ほか：型技術,Vol.21,No.3,p57(2006)
- (6) P.ギラルダック著,平野賢一訳；技術者の拡散入門 共立出版,p84(1984)