

特集記事・7

希少金属資源と省合金型鉄鋼材料開発の今

工具鋼における希少元素の有効活用

Effective Utilization of Rare Metal Elements to Tool Steel

田村 庸

Yasushi Tamura

日立金属(株)
高級金属カンパニー 技術部
技術部長

1 はじめに

元来資源が少ない日本において、資源問題は我が国が直面する大きな課題である。なかでも希少元素は生産地域が偏在し、生産国が限られていることから、需要拡大による供給不安と価格不安定が繰返し問題となっている。希少元素に対する抜本的解決策として、それらの代替材料技術の革新は必須であり、省資源問題の中で材料技術開発の期待度は大きい。

鉄鋼材料に限らず金属材料の特性を向上するための方法の第一は、合金元素添加による合金化である。たとえば鉄鋼の場合、強度を高めるためのNbやV添加、靱性を高めるためのNi添加、耐食性を高めるためのNiやCr添加、高温強度を高めるためのMoやW添加、とくに工具鋼の場合、耐磨耗性を高めるためにCと組合わせて炭化物を形成させるためのCr,W,Mo,V添加量の調整は重要である。このようにさまざまな希少な合金元素が添加されている。方法の第二は、鉄鋼材料の金属組織の制御である。例えば多結晶組織を構成するひとつひとつの結晶の粒径を微細にすれば強度が向上する。主な第二相である炭化物を微細にすれば延性と靱性が向上する。したがって、金属組織を適正に制御できれば合金元素に頼らなくとも優れた特性を鉄鋼に賦与することができる。金属組織は相変態・析出・再結晶現象によって形成される。この組織制御を達成する手段が、塑性変形と熱処理を組合わせた加工熱処理である。

工具鋼の代表化学組成を表1に示す。工具鋼は高合金特殊鋼のひとつであり、まさにレアメタルを最大限有効に活用することで、付加価値を高めてきた第一の方法の典型例であり、その量そのものに特性が左右されてしまう。有効活用する方法として、リサイクルの徹底を実施してきた。工具鋼はほとんどが電気炉で溶製されるため、リサイクル率は高い。一方で、他の鉄鋼材料と比べて、高合金かつプロセスコストも比較的高いことから、その使用量そのものを減らすといった

材料開発が行われてきた。金型寿命そのものが倍増すれば、金型材の使用量は半分で済む。また金型サイズが半分で済めば、金型材の使用量は半分で済む。

日米欧の自動車生産に関わる生産性の指標を比較した例を表2に示す。1台の自動車を生産するのに消費される金型鋼の量は圧倒的に日本が少ない。日本は鍛造品の成形で、鍛造素材の価格、賃金のハンデを高い生産性で補っている。これらのグロスの統計結果のみから判断を下すことはできないが、日本は欧米に比べて、コンパクトな金型で、厳しい使用条件の下、耐久性の高い金型によるもの作りを行って、競争力を維持していることを示唆している。

また金型の種類によって異なるが、平均的な金型費におけ

表1 代表的な工具鋼の化学組成

鋼類	JIS 又は AISI	化学成分(代表値:Mass%)							
		C	Si	Mn	Cr	Mo	W	V	Co
炭素工具鋼	SK105	1.05	0.2	0.3					
合金工具鋼	冷間用	SKS93	1.05		0.95	0.4			
		SKS3	0.95		1.05	0.75		0.75	
		SKD11	1.5			12.0	1.0		0.35
	熱間用	SKD61	0.4	1.0	0.35	5.1	1.25		1.0
高速度工具鋼	SKH51	0.85			4.15	5.0	6.3	1.9	
	SKH40	1.3			4.15	5.0	6.2	3.0	8.4
プラスチック金型鋼	P21	0.1			3Ni-1Cu-1Al				

表2 日米欧の自動車一台を生産するための工具鋼使用量、鍛造品生産性の比較

Tool Steel Consumption	Western Europe	North America	Japan
PER VEHICLE PRODUCED	16.0kg	9.0kg	5.0kg
自動車一台を生産するための工具鋼使用量 出典:Beddows&Co社(2001)			
	Germany	North America	Japan
forging Productivity	55	75	150
鍛造品生産性の比較 出典:国際鍛造協会資料(2003)より再構成			

る金型材の比率は20-30%と言われている。コスト構造の大半は金型加工費であるので、工具鋼の被加工性を改善することは金型費の低減に大きな意味を持つ。日本には工作機械、ソルト焼入れ専門熱処理業者も含めた熱処理、表面処理のバリエーションなど要素技術のすべてが世界トップ水準で揃っており、これらを積極活用している素形材技術を始めとしたサポートインダストリーの充実と技術的な発展が、金型材料を独自に高度に発達させてきた。そこで本稿では、以上の背景から発展してきた工具鋼について、板金プレス用金型材料、鍛造用金型材料、ダイカスト用金型材料、プラスチック金型用材料それぞれについて解説し、それぞれの機能を希少元素との関係で整理したい。

冒頭に挙げた金属材料の特性を向上するための方法の第二の加工熱処理は、精緻な加工ひずみ制御と温度制御を必要とする高度なプロセス技術である。省エネルギープロセスであり、時代にあったものづくり技術である。日本ではこの技術を70年代から積極的に導入して優れた鋼材を製造してきており、技術的な優位性を持っている、そして加工熱処理プロセスを最大限に活用した次世代鉄鋼材料の基盤研究の国家プロジェクトを行ってきた。金属系材料研究開発センター(JRCM)が遂行したスーパーメタルプロジェクト(経済産業省)、物質・材料研究機構が実施した超鉄鋼プロジェクト(文部科学省)がそれである。構造材料では大きな成果を挙げているが、工具鋼でもナノメタル化によっていかにほど稀少金属を削減できるか挑戦した結果を紹介する。これは未だ量産プロセスに到達したものではないが、工具鋼の今後の方向性を示すものとして紹介したい。

2 板金プレス用金型材料

日本の板金プレス用金型材料は、JIS SKD11をベースとした改良鋼が独自に発展してきた。この背景には、日本の金型業界が金型を製作していくうえでの加工方法、熱処理、表面処理などの新しい技術を積極的に取り入れて来たことがあり、また最近では自動車用高張力鋼板(ハイテン)の使用比率が増大していることが、改良鋼のニーズを生み出している。プレス金型用のJIS冷間工具鋼としては、油焼入鋼SKS3と1960年頃から主流になった空気焼入鋼SKD11が代表鋼であるが、真空炉が普及し、金型の焼入れにも使用されるようになって、大寸法の金型ではSKS3の焼入性が不足する場合がでてきた。SKD11改良鋼はこのようなニーズに応える形で開発されてきた。これらの開発の経緯と背景を図1に示した。

(1) 8%Cr系冷間工具鋼

山陽特殊製鋼が1982年頃に継ぎ目なし鋼管製造用工具用として開発したQCM8[®]や大同特殊鋼が1984年頃から上市したDC53などが相当する。1975年頃から金型の加工にもワイヤー放電加工が普及し始めたが、加工中の割れや歪が問題となった。これは焼入れによる残留応力が主な原因とされ、高温焼戻しで、その解決が図られていたが、高温焼戻しの場合でも60HRC以上の硬さを確保しようということと、TRD処理(Thermo Reactive Deposition and Diffusion)を行っても母材の高い硬さを維持でき、硬質皮膜の密着性を改善しようということなどが契機となって、2次硬化を積極的に利用した冷間工具鋼が開発された。

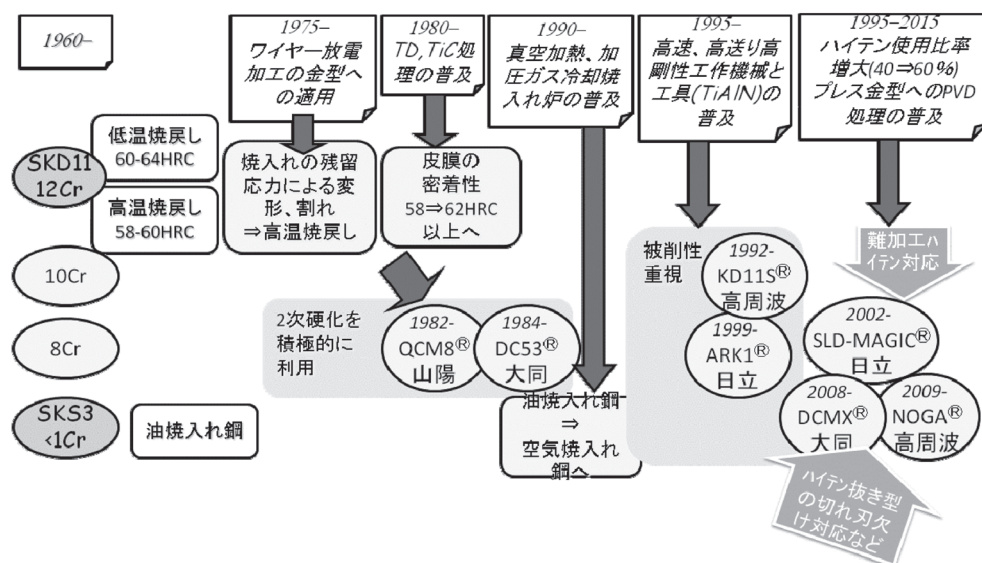


図1 日本における板金プレス用金型材料の開発の経緯と背景
山陽：山陽特殊製鋼、大同：大同特殊鋼、高周波：日本高周波鋼業、日立：日立金属

(2) 10%Cr系快削冷間工具鋼

日本高周波鋼業が1992年頃から実用化したKD11Sなどが相当する。アジア諸国との競争が意識され始めたときで、高速切削など新しい切削技術が注目され、普及し始めていた。SKD11相当の炭化物量で耐摩耗性を確保しながら、被削性を改善した冷間工具鋼である。

(3) 超快削冷間工具鋼

日立金属が1999年に発表したARK1[®]などが相当する。アジア諸国との競争が激化、短納期で金型を作りこむことが意識された。JIS SKS3レベルまで被削性が追求され、併せて短納期で光輝肌が得られる真空焼入れで十分な硬さの出る焼入性を持った冷間工具鋼である。

(4) 高張力鋼板（ハイテン）の使用比率増大に対応する耐摩耗性と金型の作りやすさの両立

1980年代、自動車の車体軽量化による燃費改善のため、ハイテンの使用率は30%にまで高まった。1995年以降は衝突安全性向上のため使用率が40%に増えた。1990年代後半からは高加工性を有する新しいハイテンが開発され、比較的成形の難しい部分への適用が可能になり、直近では使用比率は60%前後となっていると推測されている。ハイテンの定義は冷延系で340MPa以上、熱延系で490MPa以上であるが、最近では1000MPa以上のハイテンの適用も進められている。

ハイテンの使用にあたっての課題は成形性である。降伏強度が高く弾性回復量が大きいため、スプリングバック現象による寸法不良が問題となっており、これは成形技術側の解決課題である。難加工であるため、金型にとってもかじりや焼付などの問題が以前にも増して注目されている。板金プレス金型材としては、鋳物、フレームハード鋼、冷間工具鋼などが使い分けされるが、ハイテンの使用比率の増大、または車型の統合による1金型当たりの生産数が増大することを背景として、冷間工具鋼の使用比率が今後ますます増大すると予想される。鋳物、フレームハード鋼の場合は、熱処理による寸法変化を想定する必要がなかったため、これらから冷間工具鋼に移行する場合は、熱処理による寸法変化が小さいこと、寸法変化が安

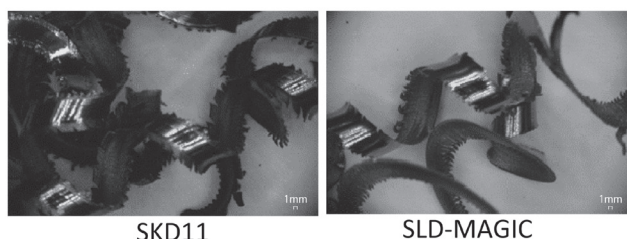


図2 フライス加工による切屑写真の比較（切削速度120m/min.）

定していることが望まれる。仕上加工は研磨作業が主体なので、熱処理変寸を小さくすることは金型製作期間を短縮するうえで、大切な特性なのである。金型新興国との競争関係にある現在、国内の金型業者にとって、最新の切削技術で効率的な金型加工を行うことも重要である。日立金属のSLD-MAGIC[®]（S-MAGIC[®]）を例に取り、作りやすさ（被削性、熱処理変寸安定性）と耐久性（耐摩耗性）に関わる特性を紹介する。

図2にフライス加工による被削性試験結果のうち切屑写真を示す。この切削条件におけるSLD-MAGIC[®]の切り屑の酸化色は黄金色であり、青色のSKD11と比べて、高速条件の切削での温度上昇がSKD11より低く抑えられることがわかる。次の項で紹介する各社の最近の冷間工具鋼も同じような考え方で被削性改善が図られている¹⁾。図3にはハイテン成形の場合にしばしば問題となる成形材と金型のかじりについて、ハット面形状のしわ押さえ試験を行った結果を示す。SLD-MAGIC[®]とSKD11の比較試験を行ったところ、590MPaや980MPaハイテンの成形でかじりが発生しない限界しわ押さえ荷重が、SLD-MAGIC[®]の方が高いこと、すなわちかじりが発生しがたい結果が得られている。図4には、実体寸法、形状での熱処理テストを行った結果を示す。SLD-MAGIC[®]はもっとも変寸がゼロに近く、そのばらつき幅も小さいこと、素材の長手方向、幅方向の寸法変化差が小さいことがわかる。TRD処理やCVD（TiC）処理のような焼入れを兼ねる表面処理のように、処理後の寸法修正をほとんど許さない場合にとくに好評を博している。

(5) 板金プレス金型へのPVD処理の普及と金型の作りやすさの追求

板金プレス金型の表面処理は従来高温処理であるTRD処理、CVD処理が採用されてきたが、低温処理であるPVD処

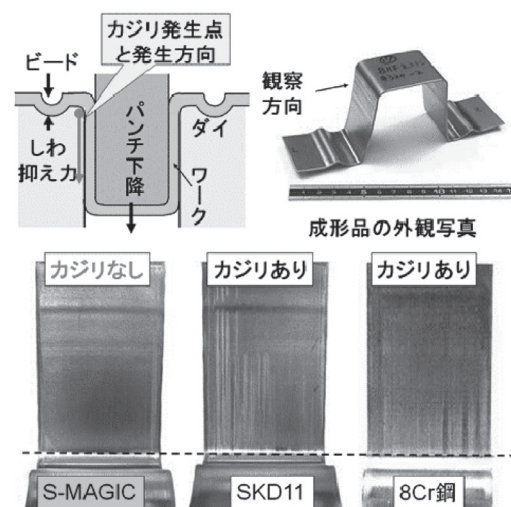


図3 590MPaハイテン鋼のハット形状しわ押さえ成形試験による型かじり性の評価（押さえ力1.5ton、乾式）

理の技術開発が進み、ハイテン成形への適用が広がっている。Bピラー部品などへの適用が進められている980MPaハイテン成形の適用事例としてしわ押さえの対策を行っておくこと、PVD処理前にRa0.3 μm 以下に磨きこんでおくことで大きな効果が得られていることが報告されている²⁾。摩耗や焼付きに対する機能はPVD処理に任せて、被削性、図4に示した熱処理変寸安定性をさらに追及したマトリックス系（一次炭化物を極力抑えた）冷間工具鋼が開発されている。日本高周波鋼業のNOGA^{®3)}、大同特殊鋼のDCMX^{®4)}がこれに相当する。マトリックス系冷間工具鋼は韌性が高いため、780MPaハイテンなど硬い材料の抜き型の切れ刃で欠けが起りにくく寿命向上効果が得られていることが報告されている^{5,6)}。

(6) 板金プレス金型材料の化学組成

上記の日本で独自に発展したプレス金型用の工具鋼の組成を表3に示す。耐摩耗性を付与する炭化物はCr炭化物であるので、Cr量の調整により韌性、熱処理変寸の安定性などが耐摩耗性とのバランスで調整されている。一方、高温焼戻しにおける硬さの確保にMoが増量されている。MoはCrに比べて希少元素として高価であるが、以上に示したように金型としての性能すなわち価値に応じて、多様な組成の工具鋼が使用されているのが現状である。

表3 板金プレス金型材料の化学組成

鋼種 JIS	化学成分(代表値: Mass%)							
	C	Si	Mn	Cr	Mo	W	V	その他
SKD11	1.5			12.0	1.0		0.35	
8%Cr鋼	1.0	1	0.4	8	2		0.3	
マトリックス鋼	0.7	0.3	0.4	7.5	1.0		0.3	S添加
SLD-MAGIC [®]	1.0	1.0	0.4	8.3	0.9	0.4		S, Cu, Al添加

3 等速ジョイント部品 (CVJ) の温間鍛造化と工具鋼

FF車に必須である等速ジョイント部品CVJの技術導入は1962年鍛造専門メーカーから始まった。技術導入先は英仏。各自動車メーカーの技術導入、内製化は1968年から始まり、1980年には完了している。その後の1982年にFF車が50%となっている。一方、1981年から通産省が主導した産官連携の温間鍛造技術の開発が始まっている。温間鍛造は、熱間鍛造に比べて900℃以下の加熱温度で加工するためニアネットシェイプ化が可能で鍛造品の切削などの後加工が低減できるなどエネルギーコストの低減に結びついた環境親和型の塑性加工技術である。

CVJ温間鍛造金型の損傷事例と被加工材塑性流動方向平行断面の損耗部のマイクロ組織を図5に示す⁷⁾。一般に温熱間鍛

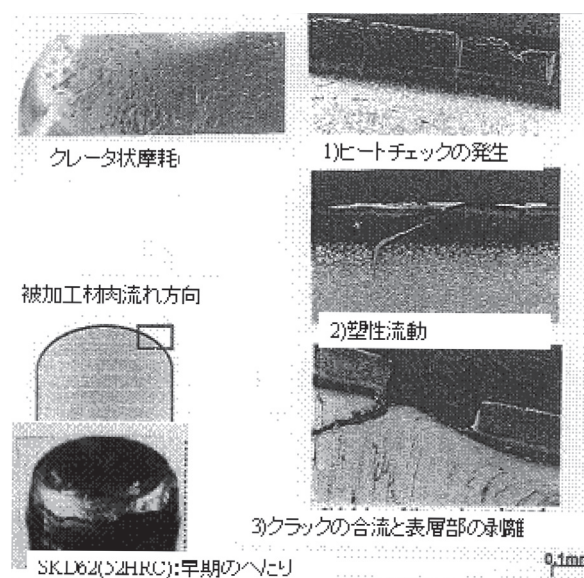


図5 温間鍛造パンチの表面損傷の事例

【熱処理条件】
①前処理: 焼入れ1025℃ 焼戻し500℃
②TD処理
③焼戻し505℃

寸法: 250×150×105 mm

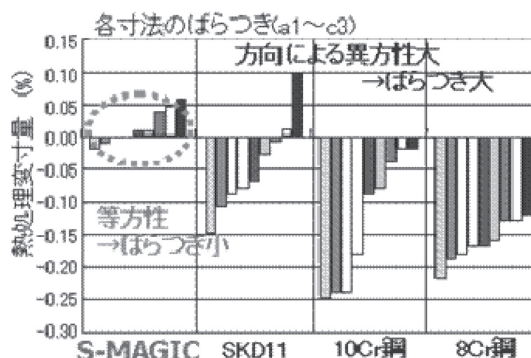
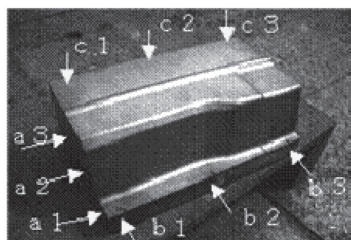


図4 熱処理変寸の測定事例

造金型の成形面は、高温の被加工材からの熱伝達、被加工材との摩擦熱による昇温と、潤滑・離型剤の噴霧による冷却の繰返しの熱サイクルを受けて、ヒートチェックが発生する。さらに加熱により金型表層部が軟化して流動摩擦を促進する。よって温熱間鍛造用金型鋼のもっとも重要な特性はヒートチェックや塑性流動が起こりにくいことであって、高温強度である。温熱間鍛造用金型鋼の高温強度を図6に示す。JIS SKD61とSKD7と比較すると、これらの高温強度は500℃前後までは、初期の調質硬さすなわち常温強度で左右されていること、500℃を超えて700℃までは金型材の種類すなわち組成で決定付けられていることがわかる。

温間鍛造はニアネットシェイプ鍛造として、多くのメリットを持つ反面、金型に作用する応力条件、熱的負荷が過酷であり、熱間工具鋼では耐圧強度が不足し、高速度鋼（ハイス）では熱衝撃に対する靱性が不足し、いずれも1,000個前後以下の型寿命であった。また温間鍛造の表面損傷は図5のように、ヒートチェックの発生と窒化層直下の母材の軟化に伴う塑性流動が同時進行して、ヒートチェックが合流して剥離が生じたものであることが、損傷部の観察により明らかとなった。一方、表層部の昇温温度は700℃前後であることを確認した。図6に示したように、常温から700℃前後までの高温強度が高く、58HRC前後の硬さでハイスに比べて格段に衝撃値の高いマトリックスハイスを提案した。開発鋼の適用により10,000個以上の目標寿命が得られた⁷⁾。

上記の鍛造金型用工具鋼の化学組成を表4に示す。マトリックスハイスは熱間工具鋼に比べて、希少元素W,Mo,Vが多く添加されているが、これは高温強度を高めるためであ

る。一方でハイスに比べて、これらの希少元素の添加量が少なくなっており、靱性が確保されている。

2000年前後から温熱間鍛造の潤滑剤が、職場環境の改善を背景として黒鉛系から白色潤滑剤へ変更された。白色系潤滑剤への移行は金型寿命を大幅に低下させることが問題になった。金型寿命に対して潤滑剤の作用は絶大である。まずこの理由から説明する。図6では工具鋼の高温強度を700℃までしか記載していない。金型材の高温強度は型材の変態点付近で最も低くなり、熱間鍛造用ワークの変形抵抗（耐力値）と同程度まで下がってしまう。温熱間鍛造用金型材の特徴である高温強度が有効に生かされるのは、700℃前後までである。そこで700℃を超える温度にならないように摩擦発熱への考慮が必要である。鍛造方案と型潤滑に注意を払う必要があり、対策として有効なものは表面処理である。型材の材料特性は温度をパラメータとして評価されるので、実際の金型損傷部の上昇温度を知ることが重要となる。金型表面の温度は、被加工材と金型の温度で決まる静的な接触熱伝達と被加工材と金型表面の摩擦により消失したエネルギーが招く温度上昇が加算されたものとなる。この摩擦発熱は、定性的に以下の式で示される。

$$\Delta\theta = \frac{1}{2b} \frac{m \cdot \sigma_0}{\sqrt{2}} \frac{\ell g}{\sqrt{\Delta t}} \dots\dots\dots (1)$$

Δθ：温度上昇、b：熱流束、m：Tresca摩擦係数、σ0：被加工材の変形抵抗、ℓg：被加工材の滑り量、Δt：滑り時間

金型表面の温度上昇は被加工材の温度だけではなく、滑り量や滑り速度つまり鍛造方案によって、予期せぬ高温まで上がる可能性がある。

図7はある温間鍛造金型の損耗部の硬さを、金型寿命に対して整理したものである。成形数とともに軟化が進行していることが判る。また窒化処理の適用によって、金型表層部母材の軟化が2〜3倍程度進みにくることが判る。このように窒化処理は、表層部の硬化による耐塑性流動性の向上効果だけでなく、ワークと金型表面間の熱伝達に対する断熱効果と摩擦発熱を抑える効果により金型の摩耗寿命を向上させる。

そこで、摩擦発熱を抑える窒化層の開発に取り組んだ。摩擦

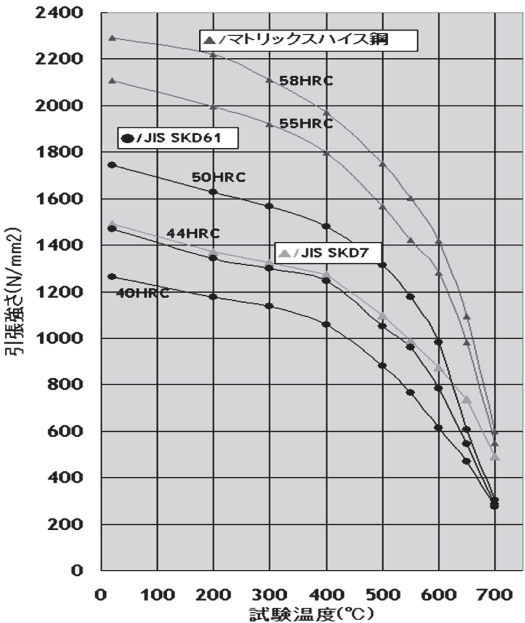


図6 温熱間工具鋼の高温強度

表4 温熱間鍛造用金型材料の化学組成

鋼種	JIS	化学成分(代表値: Mass%)						
		C	Si	Mn	Cr	Mo	W	V
SKD61		0.4	1.0	0.35	5.1	1.25		1.0
SKD7		0.3	0.3	0.3	3.0	2.8		0.55
マトリックスハイス		0.5	0.2	0.5	4.2	2.0	1.6	1.2
SKH51		0.85			4.15	6.3	5.0	1.9

特性の良い窒化処理としては浸硫窒化が知られている。スルスルフという塩浴室化法が普及しているが、これは表面のFeとの窒素化合物 (Fe_3N) に鉄硫化物 (FeS) が含まれている構造となっている。塩浴室化法の場合、塩浴の温度と組成を大きく変化させて、 FeS の量を変えることが難しいので、ガス浸硫窒化法に取組んだ。実際の熱間鍛造金型に適用された事例を図8に示す。従来のガス軟窒化法と比べて、金型損傷形態が局部的なえぐれ状摩耗から、均一な摩耗形態へ変化することによって、金型寿命が約3倍に伸びた⁸⁾。この事例のように、表面処理が金型の寿命を整数倍に伸ばすことがある。工具鋼に多量に含まれる希少元素の使用量が整数倍削減できることにつながることから、最近ではさらに画期的に金型寿命を伸ばすことが可能なPVD処理膜が、鍛造用途にとどまらず、板金プレス、ダイカストの金型用にも開発されている。

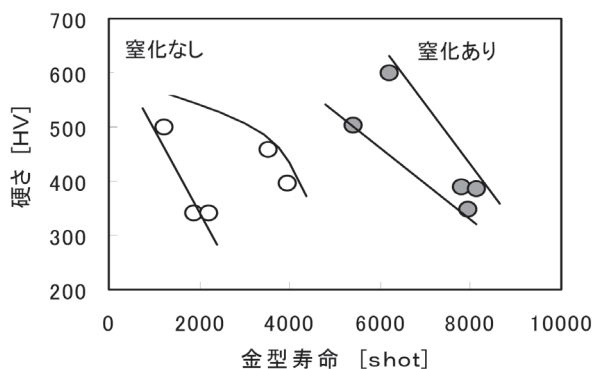


図7 金型損耗部の硬さ低下と成形数の関係

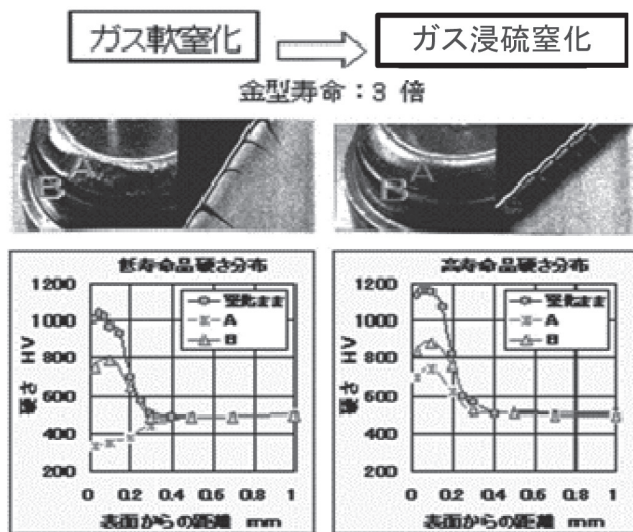


図8 熱間鍛造金型におけるガス浸硫窒化法の効果

4 ダイカスト用金型材料

ダイカスト金型材料からは、ハイサイクル化による生産性向上を目指す金型への負荷が大きくなり、ヒートクラック寿命が課題となることに対応した高性能材⁹⁾が提案されている。さらにこれらの開発材の特性を十分に発揮すべく顧客と連携した取組が積極的に進められ成果が報告されている^{10,11)}。

ITの活用という点では自動車各社からCAE解析 (Computer Aided Engineering) の活用による金型寿命延長の取組¹⁵⁾が活発化している。一方、金型材料メーカーからもダイカストマシンによる机上試験を行った結果のCAE解析から金型材料だけでなく、型構造、鑄造方案の面からも長寿命化を提案しようという取組が始まっている¹²⁻¹⁴⁾。

図9に高性能材の特性を、実験金型を製作して、実際のダイカストマシンで評価した結果を示す。ヒートクラックの発生ショット数とクラックの成長長さともに2倍以上に抑えられていることが確認されている。これは標準鋼JIS SKD61に比べて、希少元素Moが増量され高温強度が高まった結果、熱応力に対する耐性が改善された結果によるものである。次に、図10にはダイカスト金型の厚みを薄くして同じように評価を行った結果を示す。高性能材のヒートクラック特性が標準鋼と同様になっていることが確認された。CAE解析技術の進歩と普及により金型寿命の予測が容易になってきている。金型の使用者は、高性能材を用いて金型の耐久性を増すことで金型材料の使用量を減らすあるいは、金型の重量を減らすことで金型材料の使用量を減らすなど、個々に型構造、鑄造条件によって選択できるようになってきている。

5 プラスチック金型用材料

プラスチック金型は、他の金型に比べて、高精度と短納期が要求される。そこで、40HRCなどのプリハードン鋼すなわち工具鋼メーカーが熱処理済みで出荷された材料を直彫り

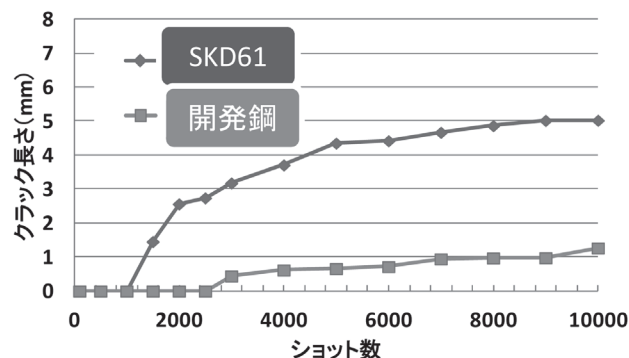


図9 ダイカストマシンを使用した実験金型のヒートクラック進行状況

加工で金型に仕上げる方法で完成されるため、金型材には切削加工の効率がとくに求められる。近年の工作機、切削工具の進歩で、高速・高送り加工が普及した。図11に切削工具のVT線図を示す。図2に示したような材料技術で、合金組成の調整により、高速切削でより工具寿命を伸ばすことができる工具鋼が開発されている。このような基礎データを用いて、実際の金型の切削加工手順を提案することによって、たとえば21%の工数低減、CO₂発生量に換算して従来鋼5.826 (Kg-CO₂) に対して開発で4.960 (Kg-CO₂) のように環境負荷率85%が達成可能となる。このように希少元素を消費する工具鋼であるが、有限な化石燃料やCO₂発生量といった地球環境規模での負荷低減といった役割も果たしているのである。

6 ナノタル超工具鋼

ここまでは、工具鋼は希少元素を多量に使用するため工具鋼の消費量そのものを少なくする材料開発技術について記してきた。最後に、スーパーメタルプロジェクト等で実績を挙げている金属組織の超微細化により特性を向上させて、希少元素の使用量を縮減させる可能性について工具鋼で検討した結果を示す。ナノメタル法で作製した試料の金属組織を一般法のSKD61と比較して、図12に示す。一般法では20 μ m前後の旧オーステナイト粒径が400nm以下の超微粒となっている。図13はナノメタル法で作製したSKD61とマトリックスハイスの焼入れ焼戻し曲線を示す。ナノメタル法で作製したSKD61の硬さはハイスSKH51と同程度の硬さが得られて

いる。SKH51には6mass%のW、5mass%のMo、2mass%のVが添加されているのに対して、SKD61は1.2mass%のMo、1mass%のVである。このように、大幅な希少元素の縮減が可能である。しかしナノメタル法は、特殊な酸化物をメカニカルアロイングのような強加工で強制的に基地に固溶させた後、熱処理を行うことで酸化物をナノサイズで析出させることで、超微細組織とするという特殊な工程を必要とするため、金型用に用いられるサイズの実用工程に至っていないのである。工具鋼は高強度であり、強加工の加工熱処理プロセスの実用化が難しい鉄鋼材料であるが、今後の性能改善の方向性のひとつと考えられる。

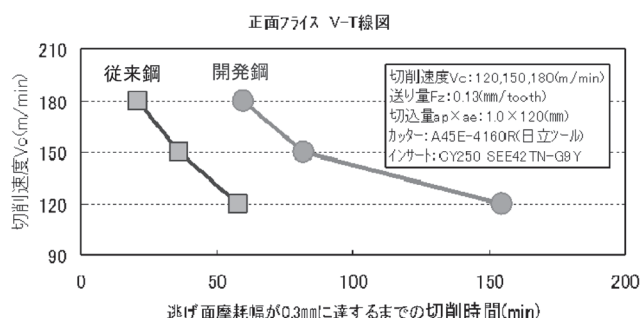


図11 プラスチック金型用材料の切削加工における切削速度と工具寿命の関係

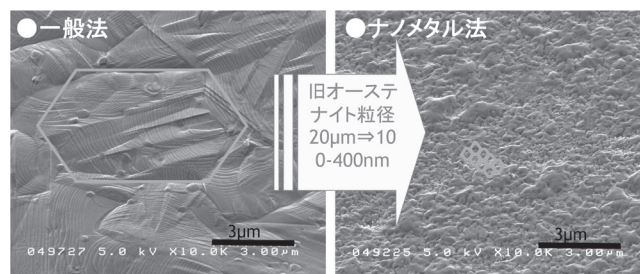


図12 ナノメタル法を適用したJIS KD61の熱処理組織写真内に枠で表示したのは旧オーステナイト粒の大きさ

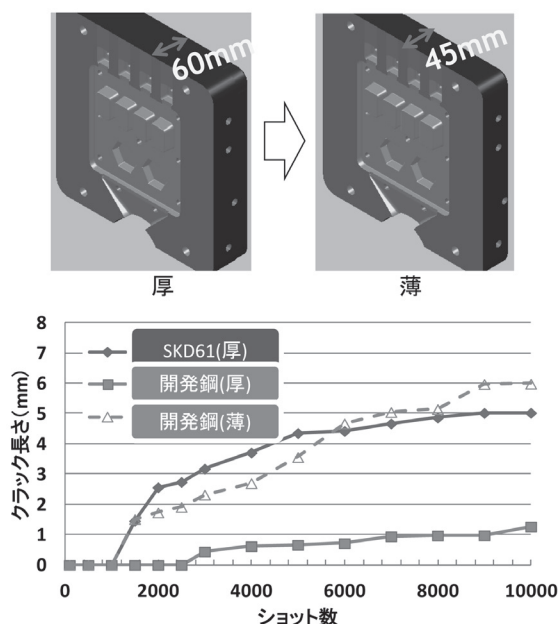


図10 ヒートクラック進行状況に及ぼす金型厚みの影響

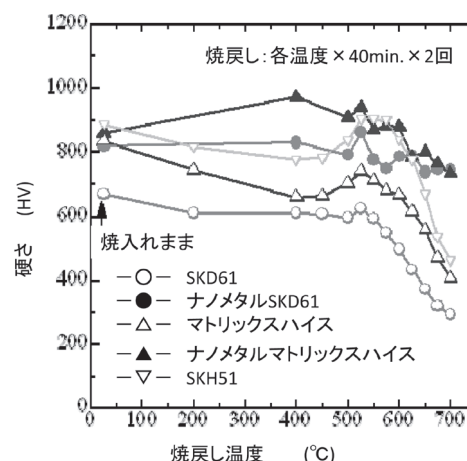


図13 ナノメタル法で作製したJIS SKD61の焼入れ焼戻し硬さ

7 おわりに

1981年に通産省主導でプレス各社による産官連携の温間鍛造技術開発が始まった¹⁶⁾。対象はベベルギヤ、コネクティングロッドなどであった。その後自動車各社によるFF車に搭載される等速ジョイント (CVJ) の量産に適用されるのにあたって型寿命が問題となった。このとき工具鋼各社より開発されたマトリックスハイス鋼も日本で独自に発達した金型材料である¹⁷⁾。日本のように、ハイテンに代表される被加工材、工作機械、ソルト焼入れ専門熱処理業者も含めた熱処理、表面処理のバリエーションなど要素技術のすべてが世界トップ水準で揃っている国はないであろう。これらを積極活用している素形材技術を始めたとしたサポートインダストリーの充実と技術的な発展が、金型材料を独自に高度に発達させてきた。「独自の発展」は「ガラパゴス携帯電話」に代表されるネガティブな印象でとらえられがちだが、素形材技術は一般消費財ではなく、ものづくり企業間で能力構築をいかに高めるかということである。しかし一方で自動車メーカーが推進し「円安」状況下でもその進行が止まらない「地産地消」のグローバルものづくり化に付いていくためには、希少元素を使いこなすだけでなく、加工熱処理プロセスとの組合せで、さらに特性向上を図っていく必要性を強く感じる。「希少金属資源と省合金型鉄鋼材料開発の今」というテーマをいただいて工具鋼について整理してみた現在の感想である。

参考文献

- 1) 伊達正芳, 片岡公太, 菅野隆一郎, 中津英司, 加田善裕: 2011年型技術者会議講演論文集, (2011), 164.
- 2) 野坂潤一郎, 久保田泰, 木村千映, 田中美徳: 型技術, 27 (2012) 2, 8.
- 3) 殿村剛史, 村上昌吾: 型技術, 24 (2009) 8, 36.

- 4) 中浜俊介: 型技術, 25 (2010) 7, 134.
- 5) 鈴木幹土: 型技術, 27 (2012) 7, 4.
- 6) 坂井智哉, 伊藤芳典, 山本勝大, 林田康宏, 山本兼司, 吉田潤二: 型技術, 27 (2012) 7, 6.
- 7) 田村 庸, 奥野 利夫: 日立金属技報, 6 (1990), 59.
- 8) 森下雅則, 麻田裕暉, 千葉芳孝, 原康介, 安藤光浩, 田村庸: 型技術, 14 (1999) 8.
- 9) 山口基, 片岡公太, 長澤政幸, 中津英司, 加田善裕: 2011年型技術者会議講演論文集, (2011), 206.
- 10) 長澤政幸, 山口基, 片岡公太, 山下泰宏: 2008年型技術者会議講演論文集, (2008), 100.
- 11) 長澤政幸, 井上健, 田村庸, 片岡公太, 武田旨弘: 2009年型技術者会議講演論文集, (2009), 42.
- 12) 河野正道, 横井直樹, 保母誠: 2011年型技術者会議講演論文集, (2011), 208.
- 13) 河野正道, 横井直樹: 型技術, 27 (2012) 7, 28.
- 14) 田村庸, 長澤政幸, 古閑正明, 山口基, 小畑克洋: 2012年日本ダイカスト会議論文, JD12 (2012) 03, 13.
- 15) 新川裕美, 植原賢治, 寺西直道: 2011年型技術者会議講演論文集, (2011), 196.
- 16) 中小企業事業団発行: 中小企業のための技術開発シリーズ, (1984) 74.
- 17) 田村庸: 日本鍛造協会広報誌JFA, 42 (2013), 24.

注) QCM8は山陽特殊製鋼株式会社の商標登録です。

ARK1, SLD-MAGIC, S-MAGIC, CENA1は日立金属株式会社の商標登録です。

NOGAは日本高周波鋼業株式会社の商標登録です。

DCMXは大同特殊鋼株式会社の商標登録です。

(2015年9月28日受付)