解説

Review

最近の熱・温間鍛造用金型材料の動向

並木邦夫*

The Trend of Hot and Warm Forging Die Steels

Kunio Namiki

Synopsis

The trend of hot and warm forging die steels is reviewed. The user's demand for these applications are summarized as cost cutting and short delivery time. To meet these requirements, the demand to die steels becomes more and more severe. As the failure modes of hot and warm forging are wear, heat checking and crack, high hot hardness, heat checking resistance and toughness are required for die steels.

DH31-S is one of the high performance hot work die steels and is widely used for forging press dies for automotive parts. Powder metallurgy matrix high speed tool steel, DEX-M1, shows much higher toughness than hot work die steels and is expected to be applied to warm forging dies. For the application where the die surface temperature becomes much higher, Ni-base heat resisting steels such as IN718 and U520 are prospected.

To reduce the cost of forging products total consideration is required such as not only die steels but machining, heat treatment, surface modification and forging conditions as well.

1. 緒 言

国内における熱間工具鋼の用途は 50%以上が自動車産業向けであり、鍛造用金型およびダイカストなどの熱間加工に用いられている。厳しい経済環境下にある現在のニーズは「コスト低減」と「納期短縮」に集約される。このため金型材に対する要望もより厳しいものとなっており、鍛造部品についてもトータルコスト低減のため種々の方策がとられている。これらの動きと金型材へのニーズを Fig.1 に示す。チップレス化や切削代削減には製品肌や寸法精度の向上が必要であり、熱鍛から温鍛などへの移行等、鍛造温度は低下する。また部品の一体化や形状の複雑化により金型は大型化の傾向にある。さらにサイクルタイムの短縮や高硬度材料の適用により金型への負荷はより過酷となっている。ライフサイクルの短縮や生産量の低下も大きな変化である。このため、多品種、小ロットとならざるを得ず、低価格材のみならず熱処理省略鋼や高被削性鋼など型製作費の低減に寄与できる金型材が要望される

ようになった。

本報では最近の熱・温間用金型材料の動向をとりまとめ、鍛造部品の品質、コスト、納期をより高めるための今後の課題を整理したい。

Fig.1. Trends of forging industry and its affects to die materials.

2. 熱・温間鍛造用金型の損耗形態

熱・温間鍛造型の損耗形態は製品により異なるが¹⁾、摩耗と割れに大別される。全体的には摩耗が主体であるが、コンロッドやクランクシャフトでは割れも同様に発生する。摩耗といっても単純ではなく、金型表面に生ずる浅いヒートチェックを起点として複合的に進行する²⁾。金型の損耗形態と寿命延長のために要求される特性との関連をFig.2に示した。金型表面は高温に曝された後、潤滑剤や離型剤で冷却されるため加熱・冷却が繰り返され、熱疲労の一つであるヒートチェックが生ずる。金型表面は焼戻し温度以上の変態点直下まで加熱される場合もあるため、軟化や塑性流動が生じ、その結果、表層部が摩耗したりヒートチェックが合体して剥離が生じ大割れに進展する場合がある。

Fig.2. Failure modes of forging dies and the required properties to die steels.

従って、金型材には高温での耐摩耗性、耐ヒートチェック性および耐割れ性に優れることが要求される。高温での耐摩耗性を支配する基礎特性としては軟化抵抗、高温強度が挙げられる。さらに窒化性や炭化物分布、使用中に形成する酸化膜の性状にも影響を受ける。耐ヒートチェック性については高温強度や軟化抵抗の高いこと、さらには靱性の高いことが必要である³⁾。なお、割れ対策としては金型材以外に金型の形状、特にコーナー部の R や抜き勾配、面粗さ、潤滑剤の塗布状況など設計、使用面からの方策も必要である。

3. 金型材料の位置づけ

熱・温間鍛造金型用鋼の主要成分とその位置づけを Table 1 および Fig.3 に示した。なお各社の熱間工具鋼のブランド対象表は特殊鋼誌にもまとめられているので参照されたい⁴⁾。

Fig.3. The relation between toughness and strength/wear resistance of hot and warm forging die steels.

Table1. Chemical compositions of tool steels used for hot and warm forging dies.

[illegible]

JIS4404 に規定される合金工具鋼のうち、熱間用途を対象とする SKT や SKD を中心に種々の改良鋼が開発され既に定着してきた。最も靱性の高い鋼種群はプリハードン鍛造型用鋼 SKT4 や改良鋼 GF78 などである。これらは衝撃負荷の掛かるハンマー鍛造型のダイブロック、型彫り形状が深くコーナー部に大きな負荷がかかるクランクシャフトのプレス鍛造型などに用いられている。

一般のプレス鍛造型には汎用熱間工具鋼 SKD61 が主流であるが、前述したように金型への負荷増大に伴い特徴ある鋼種が使用されている。軟化抵抗や強度を中心に改善を図った 3Cr-3Mo 型、SKD7 系の DH72、DH32 などであり、高速熱間鍛造型や精密熱間鍛造型に用いられている。DH31-S は SKD61 に対して高温強度・耐摩耗性ととも耐ヒートチェック性を高めた高性能汎用鋼であり、鍛造型のみならずダイカスト型としても定着しつつある。さらに強度を重視する場合には MH85 などのマトリックスハイス鋼が用いられ、さらにマトリックスハイスを粉末法で製造した DEX-M1 などが検討されつつある。

Fig.4、Fig.5 には代表的な鋼種の焼戻し硬さ曲線と高温硬さ曲線を示した。熱間工具鋼系では高 Mo 鋼系材料が高い値を示し、マトリックスハイス、粉末マトリックスハイス鋼は高温でより安定していることが判る。

Fig.4. Tempering hardness of hot and warm forging die steels.

Fig.5. Hot hardness of hot and warm forging die steels.

4. 特徴ある鋼種と寿命改善例

4.1 高性能熱間工具鋼 DH31-S

DH31-S は SKD7 系と同等の軟化抵抗を示し、SKD61 に比べ2倍の焼入性を有する強度と靱性のバランスに富む汎用熱間工具鋼である⁵⁾。熱間工具鋼の最大の課題である耐ヒートチェック性については高温強度の向上を狙い Mo を増加させ、不純物元素の P や S を低減させるとともに組成を最適化し改善を図った⁶⁾。また、金型が大型化して焼入時にベイナイト組織が生じた場合、焼戻し時に靱性が劣化するため、高い焼入性を有することが重要である。この見地からは特にベイナイト焼入性を向上させ連続冷却時にベイナイト変態が生ずるまでの時間を SKD61 の 2 倍、SKD7 の 8 倍とした。

Fig.6 は焼入れ時の冷却時間、およびこれに対応する 440 丸材中心の厚さと焼戻し後のシャルピー衝撃値との関連を示したものである。SKD61 では厚さが 150mm を越えると焼戻し後の靱性が急激に低下するのに対し、DH31-S ではこれより厚みが大でも靱性が劣化しにくいことを示している。また、耐ヒートチェック性の試験結果を Fig.7 に示すがクラック深さが減少するとともに、発生頻度も 1/2 以下に減少しており、耐ヒートチェック性に優れることが判る。

熱間鍛造型での金型寿命改善例を Table 2 に示す。プレス、アプセッターなど自動車部品の熱間鍛造において、いずれも SKD61 や SKD62 等の JIS 鋼あるいは相当鋼に対し、摩耗が抑制され 1.3 ~ 2.8 倍の寿命が得られている。一方、DH31-S は SKD61 対比不純物元素を低減した清浄鋼でもあるため、被削性の劣化は免れない⁷⁾。また SKT4 や SKD7

Fig.6. Effect of quenching cooling rate on the Charpy impact values of tempered 440 dia. bars of DH31-S and SKD61.

Table2. Examples of the applications of DH31-S to hot and warm forging dies.

Dies	Products	Forging press	Work	HRC	Surface Treatment	Die life improvement
Hot press forging dies	Crankshaft	8000t Press	S48C	44	Ion nitriding	1.3 times as SKD61 by decreased wear
Hot press forging punch	Rear shaft	7.5" Upsetter	S48C	47	-	Twice as SKD62 by decreased wear
	Rear shaft	7.5" Upsetter	Micro-alloyed steel	47	-	
Hot press forging dies	Rear spindle	1600t Press	S48C	49	Ion nitriding	2.8 times as SKD62 by decreased wear
Hot press forging dies and punch	Parking gear	2500t Press	SCr420	54	-	1.3 times as SKD7 by decreased wear
Hot press forging dies and punch	Parts : Air conditioner	150t Press	Cu alloy	52	-	Twice as SKD7 by decreased wear

Table3. Examples of the applications of DH32 to hot forging dies.

Dies	Products	Press	Work	HRC	Surface treatment	Die life improvement
Hot press forging punch	Structural parts	1600 ~ 3000t Upsetter	SC , SUJ2 SCM435	50 ~ 54	PS treatment	1.3 to 1.5 times as DH71
Hot press forging dies	Automotive gears	1200t press	SCr420 Others	48	Ion nitriding	Have been used from the beginning

Fig.7. Heat checking resistance of DH31-S.

Testing method : Induction heating , 20 700

Diameter of specimen : 15mm , Number of repetition : 1000 times

に比べて窒化性も良いため面下げ時の窒化層除去時の課題も有している。今後、加工方法の改善や窒化層除去の方策も検討しながらトータルコスト削減を図っていく必要がある。

4.2 DH32

SKD7はダイス鋼としては軟化抵抗が最も優れるものの焼入性に劣る難点があった。これを改善したのが DH32 である。焼入性は DH31-S に劣り、適用寸法の限界はあるが、特に高温強度や軟化抵抗が要求される小物の熱間鍛造型には効果を発揮している。寿命改善例を Table 3 に示す。

4.3 マトリックス系粉末ハイス DEX-M1

5Cr 系や 3Cr 系熱間ダイス鋼の靱性とハイスの高温強度を兼ねさせたのがマトリックス系ハイスであり、MH85 などが温間鍛造用金型に使用されている。さらに炭化物や結晶粒の微細化による靱性向上を狙いマトリックスハイスを粉末冶金法で製造したものが DEX-M1 である⁸⁾。

シャルピー衝撃値と硬さの関連を Fig.8 に示す。MH85 に比べても抜群に高い衝撃値を示している。また Fig.5 に示した高温硬さのみならず、圧縮強さも MH85 以上であり、強度不足による早期へたりや段付き部などの圧縮せん断割れなどの抑制が期待できる。ギア成形用温間鍛造型として実績があり、今後、負荷応力が高い温間鍛造金型として拡大が期待される。

4.4 その他

熱・温間鍛造用金型にもマトリックス系ハイスが適用されるようになったが、ハイスの焼入性は必ずしも良くない。さらに真空焼入れが増加するにつれ金型内部まで十分な硬さが得られないような例も出てきた。こうした背景の元に高焼入性ハイスが開発された。MH88 がその一例であ

る⁹⁾ .6Bar のガス圧で冷却した場合の材料中心部の焼戻し硬さの例を Fig.9 に示すが、汎用ハイスの SKH51 に比べていずれのサイズの丸棒でも高い硬さが得られている。今後、マトリックス系ハイスを中心に温間鍛造用金型への適用も増加すると期待されるが、こうした大型材や真空焼入れを念頭においた開発が必要と考えられる。

一方、熱間鍛造においては製品形状、金型設計および鍛造、冷却条件の制約によりどうしても金型表面温度が上昇し、オーステナイト領域への昇温時間が長くなる場合がある。この際には通常の熱間ダイス鋼やハイス系材料では高温強度が低下し摩耗が顕著となる。こうした場合には超耐熱鋼の適用が図られる例もある。Ni 基耐熱鋼の IN718 と U520 の高温硬さを SKD61 と比較して Fig.10 に示した。低温域での硬さは通常の型材料に比べて低いものの 700℃ を越える領域では逆転してこれらの超耐熱鋼が高くなる。高価格や難削材であること等の課題があるが、今後、適材適所で使用する例が増えると考えられる。

Fig.8. Charpy impact values of DEX-M1.

Fig.9. Effect of quenching cooling rate on the tempering hardness of MH88.

Fig.10. Hot hardness of Ni-base heat resisting steels.

5. 熱処理および表面硬化処理

熱・温間鍛造型には表面処理を施して使用する 경우가多いが、この目的は硬化層による表面の塑性流動および被加工材と金型表面の摺動発熱を抑制することである。したがって窒化層の硬さが高く、また窒化層および母材ともに軟化抵抗が大であることが望ましい。一般的に窒化層の硬さは Cr 量が多いほど高いが、軟化抵抗は低 Cr - 高 Mo 系ほど優れることが知られている。この意味でも 5Cr-3Mo を主成分とした DH31-S はバランスが取れた材料といえる。

窒化処理にはガス窒化、ガス軟窒化、イオン窒化、塩浴窒化などが主流であるが、さらに耐焼付性や耐カジリ性をより向上させるための浸硫窒化などがある。浸硫窒化には塩浴法とガス窒化法があり、最近ではダイカスト用型での耐ヒートチェック性向上のため軽窒化が主流となっており、このための処理としてガス浸硫窒化が増える傾向にある。しかし熱・温鍛型の場合には耐摩耗性向上が主眼であるため、短時間で安定した硬化層が得られる簡便な塩浴窒化法がいまだ広く定着している。

PS 処理もその一つである¹⁰⁾。Table 4 に熱・温間鍛造用金型における PS 処理の効果をまとめた。無処理に対して大幅な延長が認められるだけでなく、ガス軟窒化あるいはガス浸硫窒化対比でも優位性が認められる。これは表層の化合物層が多孔質であるため、油膜保護の効果があること、さらに複合の化合物層により被加工材との凝着や溶着が抑制されるためと考えられる。

6. 結 言

以上、最近の熱・温鍛材料や関連技術の動向を紹介してきたが、最後に今後の課題を整理しておきたい。金型への負荷が過酷になるにしたがい高性能鋼が要求されるが、鍛造部品当りのコスト削減に当たっては素材費、加工費、熱

Table4. Examples of the applications of PS treatment to hot and warm forging dies.

Forging dies and punches	Grades	HRC	Die life improvement
Upsetter punch	DH31-S	49	2.7 times longer than gas-nitrided SKD62 of 45HRC
Hot press forging Dies	SKD61	44	Twice longer than non nitrided
Hot upsetting Dies	DH32	52	20 times longer than non nitrided
High speed hot Forging	DH71	47	1.4 times longer than gas nitro-sulfurized dies
Warm forging punch	MH85	58	Twice longer than non-treated

処理費を含めた金型コスト低減が必要である。特に切削加工費の圧縮に当たっては被削性の良いことが望まれるが一般的には金型寿命とは相反する傾向にある。これを両立するための金型材開発が今後の課題である。あるいは損傷の最も激しい鍛造工程や金型部位に限定して前述した超耐熱鋼を用いたり、これらの粉末を肉盛りする等の試みが増加するものと考えられる。

窒化処理などの表面処理は寿命向上に効果があるものの、面下げ時の機械加工を阻害する要因ともなる。局所的な窒化防止、窒化層の化学的除去あるいは切削加工条件の検討がなされているが、今後、効率的な手段の開発が期待される。

鍛造金型を効果的に使用したり、新金型材の開発にあたっては金型の損耗現象をより精度良くシミュレートすることが必須である。鍛造時の因子、例えば熱負荷、摩擦すべり、応力負荷を製品形状や金型形状に応じて予測する試みがなされているものの、さらなる精度向上が期待される。

以上、熱・温間鍛造用金型材の動向と課題を述べてきたが、今後とも鍛造品のコスト低減、精度向上に寄与できる金型材を提供していきたいと考えている。

(文 献)

- 1) 素形材センター: 研究報告書506, 鍛造用金型寿命向上調査研究報告書(1997)
- 2) 日本塑性加工学会, 第209回「塑性加工シンポジウム」鍛造金型寿命への挑戦」
- 3) 型技術協会, 熱間金型の寿命改善委員会: 熱間金型の寿命対策(2001) 日刊工業新聞社, 169.
- 4) 特殊鋼, 50(2001) 11.
- 5) 製品紹介: 電気製鋼, 71(2000) 2, 183.
- 6) 須藤興一: 電気製鋼, 60(1989) 4, 367.
- 7) 型技術協会, 熱間金型の寿命改善委員会: 熱間金型の寿命対策(2001) 日刊工業新聞社 41.
- 8) 須藤興一: 金属プレス, 11(1995) 20.
- 9) 松田幸紀, 柳沢民樹: 電気製鋼, 68(1997) 2, 123.
- 10) 伊藤武: 特殊鋼, 46(1997) 7, 15.