

技術資料

Technical Data

高信頼性汎用熱間ダイス鋼 “DHA-WORLD”

森川秀人*

High Reliable and Wide Useable Hot Work Die Steel
“DHA-WORLD”

Hideto Morikawa

Synopsis

The 5% chromium hot-work die steel JIS SKD61 has been widely used for hot forging die and die-casting die. For these dies, the main factor of short die life is cracking, so die steels have been required high toughness. In the case of this steel type, toughness depends on cooling rate in quenching. Recently, die block size have been larger and larger, especially hardenability is very important for hot-work tool steels.

“DHA-WORLD” has been developed to improve hardenability on SKD61, by optimizing the chemical composition balance. Besides, though “DHA-WORLD” is manufactured by single melt process, toughness of this steel is as high as remelting steels.

1. はじめに

熱間鍛造やダイカストなどの工法は、自動車部品製造を中心に世界各国で広く用いられており、それに使用される金型も極めて多い。近年、部品の高強度化やニアネットシェイプ化、サイクルタイムの短縮化が進み、金型に対する負荷は増大しており、金型寿命は短くなる傾向にある。そのため、金型費用の低減を目的に、金型寿命の長寿命化・安定化が求められている。金型の寿命要因のなかで、もっとも避けるべきは大割れである。大割れは突然発生するために生産への影響も大きく、さらに補修が困難であることから型費への影響も大きい。そのため、熱間鍛造型やダイカスト型には、焼入性が高く、高い衝撃値が得られる5%Cr系熱間ダイス鋼 JIS SKD61（以下SKD61）が広く用いられている。

近年、製品の大型化にともなって金型も大型化しており、SKD61を用いても焼入性が不足し中心部まで高い

衝撃値が得られていない金型も散見される。また海外で金型を製造する場合、日本国内のように高いスキルを有する熱処理業者が少ないため、安定した品質が確保できない場合も多い。一方、熱処理後の仕上げ加工の工数削減を目的に、熱処理時の歪みを抑える要求も高まっており、ある程度緩慢な冷却でも内部まで高い衝撃値が得られるような、さらに焼入性の高い型材のニーズが高まっている。

従来、金型が大きい場合など高い焼入性が求められる場合には、焼入性を高める元素であるMoを多く含有し、ESRなどの特殊溶解工程で製造された、いわゆる高性能鋼が用いられてきた。当社においても、高Moの特殊溶解材であるDH31-EX(DH31-SS1)が開発された¹⁾。高い焼入性を有し、晶出炭窒化物と非金属介在物量を減らすことで高い衝撃値と疲労強度が得られ、ダイカスト型を中心に高い評価を得ている。しかしながら、Moは非常に高価な希少金属で、かつ大気溶解材に比べて特殊溶

2010年2月2日受付

*大同特殊鋼(株)ステンレス・工具鋼事業部 (Stainless & Tool Steel Div., Daido Steel Co.,Ltd.)

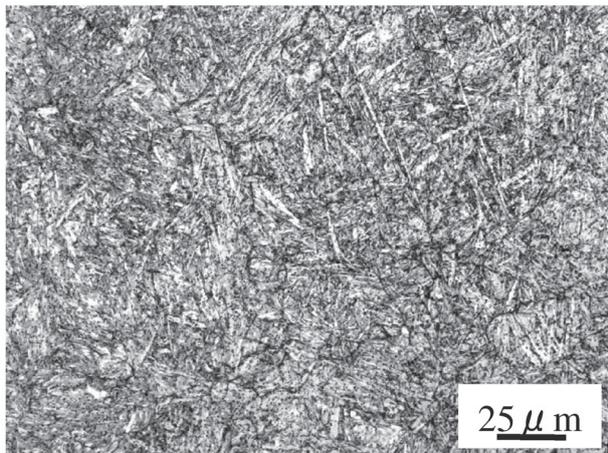
解工程を追加していることから、SKD61 対比で高価である。そのため、極めて負荷の高い金型など、適用部位としてはやや限定的となっている。

以上のような背景から、前述の DH31-EX の開発で得られた知見を活かし、SKD61 をベースに合金成分バランスの適正化によって焼入性と衝撃値を改善し、さらに大気溶解で製造コストを抑えつつ、特殊溶解した高性能鋼並の特性を確保した、SKD61 代替の高信頼性汎用熱間ダイス鋼 DHA-WORLD を開発した。

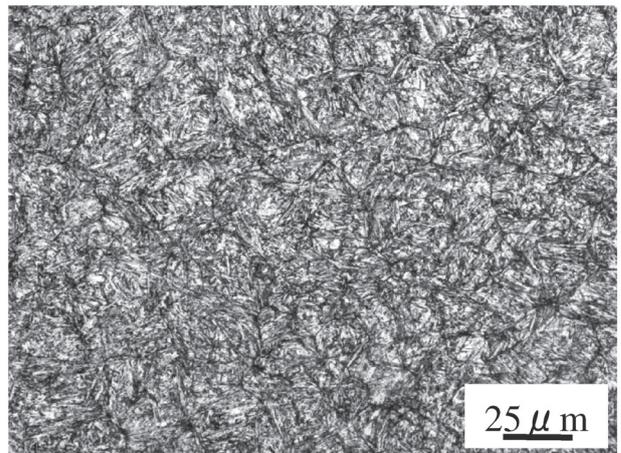
2. DHA-WORLDの諸特性

2. 1 焼入性

DHA-WORLD の化学成分は、SKD61 をベースに焼入性を高める元素として Mn と Cr の含有量を増やしている。これらの元素は、高性能鋼で用いられている Mo に比べて安価なため、SKD61 に比べて大幅なコストアップを防ぐことができる。DHA-WORLD と SKD61 の連続冷却変態曲線 (CCT) を比較したものを、Fig.1 に示す。臨界冷却速度を比較すると、SKD61 が約 9 K/min であるのに対して、DHA-WORLD は約 6 K/min と低冷却速度側に位置しており、より焼入性が高いといえる。また、変態点が約 40 K 低温側にシフトしているため、焼入れによって得られる組織が微細になる。厚み 200 mm、幅 600 mm、長さ 300 mm のブロックを真空炉で 6 bar から 9 bar のガスファン冷却により焼入れしたときに、ブロックの中心付近で得られた組織を Fig.2 に示す。SKD61 が粗大なベイナイト組織を示しているのに対して、DHA-WORLD の組織は微細であり、焼入性が向上していることが確認できる。



(a)SKD61



(b)DHA-WORLD

Fig.2. Optical Microstructure.

2. 2 衝撃値

前述のように、金型の大割れを防ぐためには衝撃値を高めることが有効である。衝撃値は焼入時の冷却速度、特に 673 K から 473 K 周辺の低温域での冷却速度との相関が強く、焼入性の低い型材ほど冷却速度依存性が高い。低温域での冷却速度を変化させたときの衝撃値を Fig.3 に示す。いずれの鋼種も冷却速度の低下にともなって衝撃値が低下するが、焼入性を高めた DHA-WORLD は冷却速度の遅い領域においても衝撃値の低下量が少なく、高性能鋼である DH31-EX に近い衝撃値が得られている。

実際に、厚み 200 mm のブロックを真空炉で焼入れしたときの衝撃値を Fig.4 に示す。DHA-WORLD は、いずれの硬さにおいても SKD61 に比べて高い衝撃値を

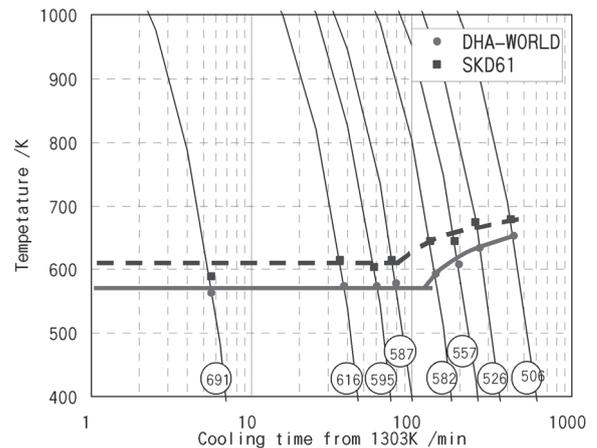


Fig.1. Transformation temperature on continuous cooling processes.

示している。これは、焼入性を改善したことによる効果も大きいですが、V量の適正化も影響している。DHA-WORLDはSKD61に比べてV量を低減しており、鋼塊段階でのバナジウム炭窒化物（以下V(C, N)）の晶出量が少なく、さらに鍛造・圧延工程において高温拡散処理を行いV(C, N)のマトリックス中への固溶を促進させることで、製品中のV(C, N)の量を抑えている。V(C, N)量の低減はき裂発生の起点を減らすため、衝撃値を向上させる。

以上のように、DHA-WORLDはSKD61に比べて高い衝撃値を示し、特に冷却速度が遅くなる大型の金型ほど優位性が顕著である。同じ硬さで使用した場合には、より高い衝撃値が得られるため割れや欠けの発生するリスクが低減できる。また、衝撃値を確保するために硬さを下げて使用している金型に対しては、より高硬度に設定することができるため、耐摩耗性や耐ヒートチェック性の向上が期待できる。

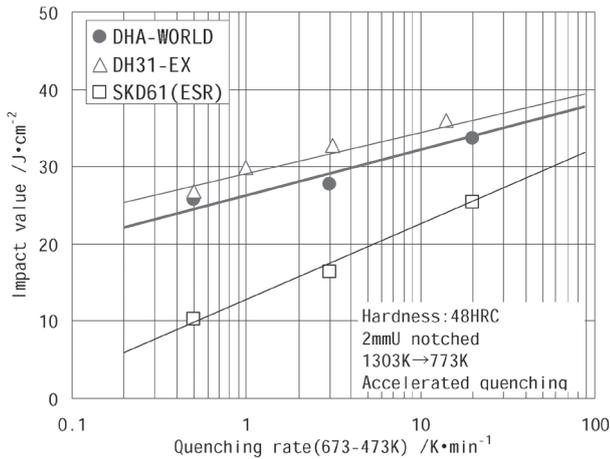


Fig.3. Quenching rate dependence on Charpy impact value.

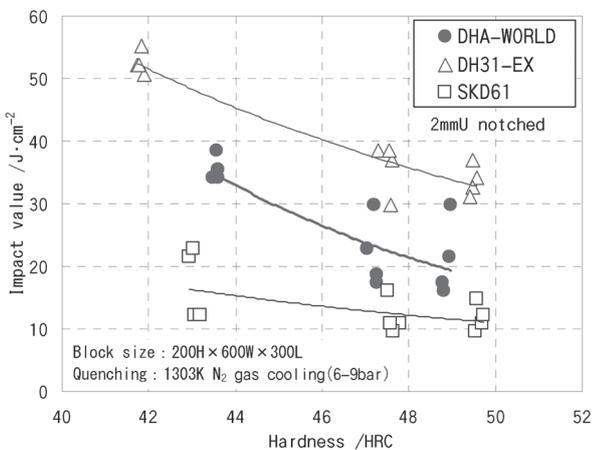


Fig.4. Charpy Impact value.

2. 3 軟化抵抗

熱間鍛造型もダイカスト型も、金型使用中に型温が上昇する。これは、熱間鍛造型の場合は被鍛材が、アルミダイカストの場合はアルミ溶湯が、それぞれ金型表面に接して熱伝達されるためである。使用中の型温の上昇にともない初期硬さから硬度が低下するが、軟化抵抗が高いほど硬度の低下量が少なくなるため、摩耗やヒートチェック発生の抑制が可能となり、金型寿命の向上が期待できる。

初期硬さを45 HRCに調質した試験片を、873 Kの焼戻しを追加したときの硬度低下特性を Fig.5 に示す。いずれも、保持時間の増加とともに硬さは低減するが、DHA-WORLDはSKD61より高硬度を示しており、軟化抵抗はSKD61以上といえる。

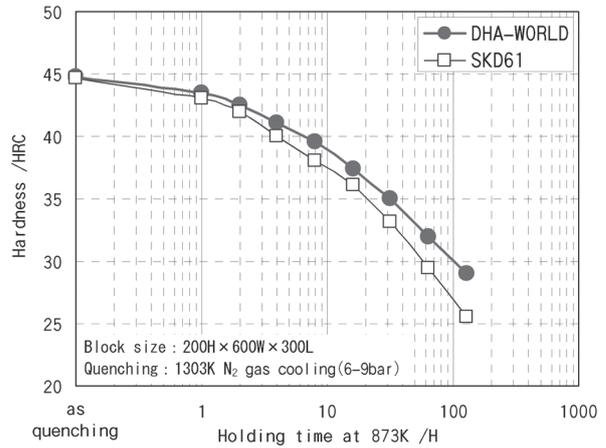


Fig.5. Resistance to softening tempered to 45 HRC.

2. 4 耐ヒートチェック性

アルミダイカストの金型において、金型寿命要因はヒートチェックが最も多い。ヒートチェックは金型の表面の熱応力によって発生する微細なクラックである。ヒートチェックが進行していくと、溶湯が差し込むことでバリが発生し、それが製品に転写される。さらに進行すると亀裂どうしが繋がって型欠けが発生し、製品形状に影響を及ぼす。特に、溶湯の温度が高い湯口付近や、コーナー形状部では発生する熱応力が高く、ヒートチェックの発生が顕著である。近年、ダイカスト金型の型費低減目的に耐ヒートチェック性に優れた金型の要求が強くなっている。

135 tのダイカストマシンで行ったヒートチェック試験の結果を Fig.6 に示す。これは、厚み 62 mm、幅 200

mm, 長さ 205 mm の評価用の金型を製造し, それを用いて実際に鋳造を行いヒートチェックの頻度を比較したものである. いずれも, 湯口側 (写真下側) ほどヒートチェックが顕著に発生しているが, DHA-WORLD は SKD61-ESR に比べてヒートチェックの数が少なく, 耐ヒートチェック性に優れているといえる. なお, このダイカストマシンは金型の損傷評価を目的としているため, 加速的な試験となるようにアルミ製品の形状, アルミ溶湯の温度, 外冷のスプレー条件などを通常の工業生産におけるものに比べて, より過酷な条件に設定している.

DHA-WORLD の耐ヒートチェック性が高い理由については十分に解明できていないが, 現時点では熱伝導率の差が影響しているものと推測する. DHA-WORLD は, SKD61 に比べて Si 量が少ないため, 熱伝導率が 20% 程度向上しており, それにともない金型表面と内部との温度勾配が減少し, 発生する熱応力が低減していると推測する.

2. 5 熱処理変寸

焼鈍し状態の試験片を焼入・焼戻しを行った際の, その前後での寸法変化の挙動を Fig.7 に示す. それぞれ, 試験片の幅方向と長さ方向で変寸量を評価しているが, SKD61 は幅方向と長さ方向での変寸量の差 (異方性) が大きい. 一方, DHA-WORLD は幅方向と長さ方向の変寸量の差は小さく, SKD61 の 1/5 以下である. 異方性が大きい材料の場合, 金型の切り出し方向によって熱処理変寸の挙動が異なるため, 切り出し方向を指定するか, もしくは仕上げ加工時の切削代をある程度確保することが必要となる. 一方, DHA-WORLD のように異方性の小さい材料の場合, 金型の切り出し方向による変寸量への影響が小さく, 切り出し方向を指定しなくても変

寸量が安定するため, 仕上げ加工時の切削代を少なくした形状設計が可能となる.

DHA-WORLD の異方性が小さい理由としては, 晶出炭化物の影響と推測される. 前述のように, DHA-WORLD は V 量の低減と高温拡散処理の適用により, ベースの SKD61 に比べて V(C, N) 量を抑えている. これまで, SKD11 に代表される冷間ダイス鋼において, 晶出炭化物量と異方性には相関が認められており, 晶出炭化物量の低下にともない異方性が低下することが分かっている²⁾. これは, 晶出炭化物が鋼中において素材長手方向に規則的に配置されるため, 晶出炭化物量が多い材料ほど素材長手方向とそれと直交する方向とで, 変寸挙動に差が発生するものと考えられる.

2. 6 窒化特性

熱間鍛造型やダイカスト型において, 型材を表面処理なしで使用される場合もあるが, 金型寿命向上を目的に

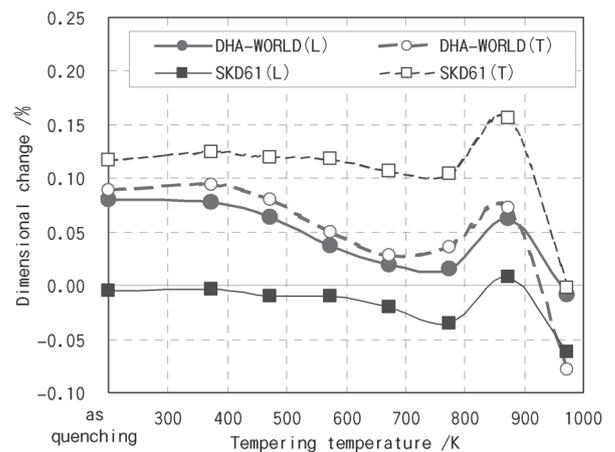


Fig.7. Dimensional change.

Mold size : 62mm×200mm×205mm
 Quenching : 1303K N₂ gas cooling (42HRC)
 135ton Die casting machine, ADC12(700°C), 10000shot

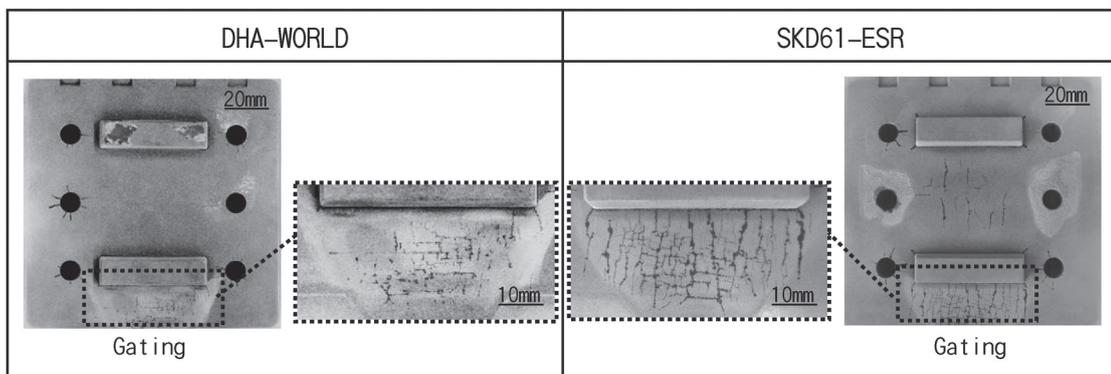


Fig.6. Casting test.

窒化処理が適用される場合が多い。これは、窒化を施すことで金型表面の硬度が上昇し、熱間鍛造型の場合には耐摩耗性の向上、ダイカスト型の場合には耐ヒートチェック性の向上が期待できるためである。また、窒化の種類によっては最表層に化合物層が形成されるため、ダイカスト型のアルミ溶湯に対する濡れ性が下がり、耐焼付き性や耐溶損性の向上も期待できる。

大同アミスター(株)殿の塩浴浸流窒化 (PS 処理)³⁾を行ったときの、窒化層の硬さ分布を Fig.8 に示す。SKD61, DHA-WORLD とともに、母材部分は約 450 HV であるのに対し、表層から約 0.2 mm 深さまで窒化による硬化層が見られ、最表層では約 1100 HV の高硬度が得られている。窒化層の深さと硬さは、SKD61 と同様で、窒化特性はほぼ同じであるといえる。よって、従来 SKD61 を使っている金型に DHA-WORLD を適用する場合、窒化条件を変更することなく同等の窒化層を形成することができる。

2. 7 被削性

金型製作費において、切削加工費が占める割合は一般的に非常に高く、金型材料の被削性の及ぼす影響は極めて高い。従って、どんなに金型性能が優れた型材でも、被削性が悪い型材を使用すれば結果的に金型費用が高くなるため、適用される金型としては限定されてしまう。

エンドミルおよびドリルについての被削性を比較したものを、それぞれ Fig.9 と Fig.10 に示す。いずれも SKD61 と同等の被削性である。前述のように、DHA-WORLD は SKD61 に比べて Si 量を若干低減している。一般的に Si 量を減らすと被削性は悪化し、高性能鋼でしばしばみられる 0.3 % 以下のような低 Si 材は切削工具の凝着摩耗が著しいため被削性は極めて悪い⁴⁾。そのた

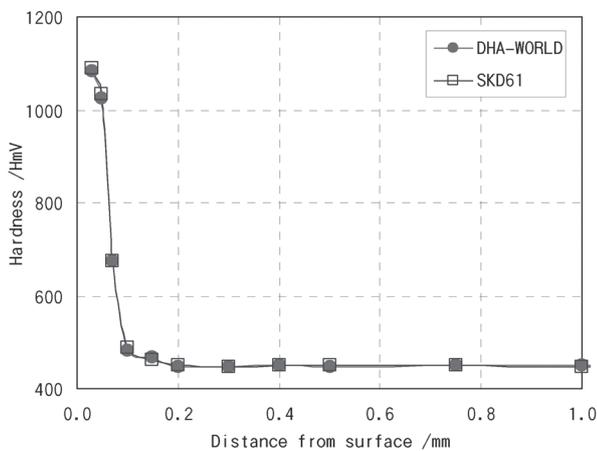


Fig.8. Hardness distribution of PS nitriding.

め、DHA-WORLD の Si 量は被削性への影響を考慮して、低 Si 材に比べてやや高い値に設定している。

3. まとめ

DHA-WORLD は、焼入性を高めることで、大型金型で想定される遅い冷却速度においても高い衝撃値が得られ、軟化抵抗、熱処理変寸、耐ヒートチェック性といった特性も優れており、極めてバランスの優れた金型材料である。さらに、大気溶解材でありながら高性能鋼に近い特性が得られ、かつ被削性にも優れることから金型製作費を抑えることもできる。熱間鍛造型やダイカスト型には、現時点では JIS 鋼である SKD61 が広く適用されているが、JIS 鋼であることにさえ拘らなければ、DHA-WORLD は SKD61 を全面的に置き換えられるポテンシャルを有している。今後、DHA-WORLD が SKD61

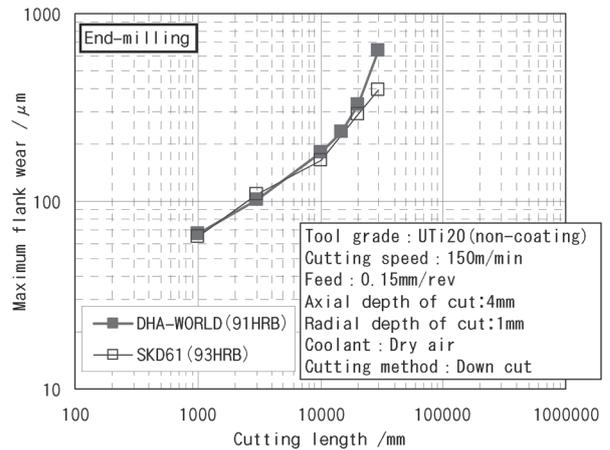


Fig.9. Relationship between cutting length and Maximum flank wear in end-milling.

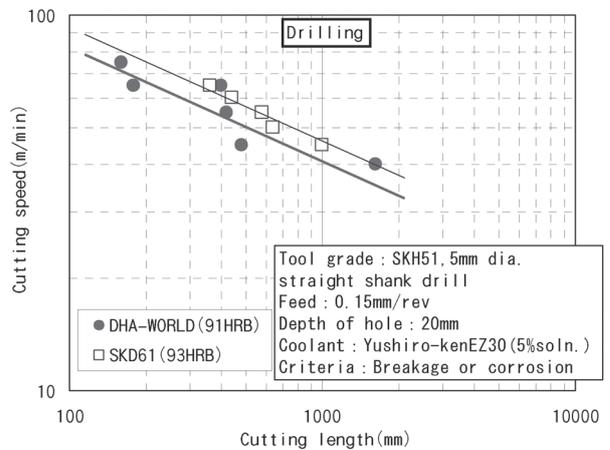


Fig.10. Relationship between cutting length and cutting speed in drilling.

に代わる“第二のスタンダード”として認知されるよう、市場に広めていきたい。

(文献)

- 1) 河野正道, 井上幸一郎: 電気製鋼, 78(2007), 347.
- 2) 清水崇行, 井上幸一郎: 電気製鋼, 78(2007), 289.
- 3) 本田弘之, 塩田哲郎: 型技術, 20(2005), 7, 144.
- 4) 藤井利光, 松田幸紀: 電気製鋼, 71(2000), 119.