

新しく開発された熱間プレス鍛造金型用鋼の特性

Properties of a Newly Invented Die-material for Hot Forging

奥野利夫* Okuno Toshio

最近の厳しい社会、経済情勢を反映して、熱間塑性加工に使用される金型材料についても大幅な合理化が要求されてきている。日立金属株式会社は、このような背景を踏まえて、熱処理不要という大きなユーザーメリットをもち、かつ従来材より一段と長寿命を与え、金型合理化の要求に沿う新しい高性能の析出硬化形熱間プレス鍛造金型用鋼を開発した。

本型材の完成は、合金組成の問題と併せ実体金型の組織、残留内部応力など、一連の製造条件を含めた総合技術を基礎とするものであり、これに基づく特性の要点を紹介するとともに、適用分野、使用上配慮すべき事柄などにつき併せて紹介を行った。

1 緒言

熱間塑性加工技術の進歩、多様化、公害、エネルギー、省力の問題、その他本分野を取り巻く環境条件の変化は、熱間塑性加工分野全般における使用型材料についても新たな観点に立った見直しを要求してきていることは周知のとおりである。

例えば、騒音防止策としてのハンマー鍛造→プレス鍛造への移行、ユーザーでの熱処理工程の廃止、高速、精密鍛造への移行、型寿命向上による総合メリットの追究などがその動きの例である。

上記の背景を踏まえながら、日立金属株式会社では自動車メーカーを中心とするユーザー各位の協力を得て、熱間での使用時、金型に生起する諸現象の見直しを行ない、型寿命向上のための要求特性を基礎的に再吟味の上、大きなユーザーメリットをもたらす新しい高性能の析出硬化形熱間プレス鍛造金型用鋼YHD3(以下、YHD3と略す)の開発を行なったので、その特性、適用分野、使用上の注意事項などにつき紹介を行ない関連ユーザーの参考に供するものである。

2 YHD3の特長

本鋼は熱処理不要という大きなユーザーメリットをもっている点、及び特に肉流れの激しい過酷な摩耗作用に耐え、長寿命をもたらす点が最大の特長である。

すなわち、本鋼はプリハードン状態($H_B 375 \sim 401$)で供給され、型彫加工後そのまま使用するもので、上記のとおりユーザーでの熱処理は不要である。

また使用時の昇温により型表面部だけが析出硬化し、高い常温～高温強度が得られるとともに、優れた軟化抵抗を示すものである。

したがって、使用時の型面での被加工材の激しい肉流れによる摩耗、昇温下での鍛造作業応力の繰返し作用によるへたりに対し、特に強いことが大きな特長である。

このため、本分野で従来使用されてきている3Ni-3Mo析出硬化形鋼、5Cr系のマルテンサイト系熱間工具鋼DBC(SKD62)に対し、一段と優れた損耗寿命が得られており、また使用用途中の型面補修の低減可能などの効果が得られている。

また、使用時の急熱急冷に伴う熱応力、鍛造作業応力の繰返し作用によるクラックの発生、進展に対する抵抗性の付与、

残留内部応力低減にも十分配慮したもので、型彫加工時、使用時の割れ、変形の懸念を要しないものである。ペーナイト組織鋼で合金元素量から言えば中合金鋼に相当するものである。

3 各種性質

3.1 高い析出かたさ($H_R C48$)と優れた高温強度

型表面及びこれに接するゾーンは、高温の被加工材からの熱伝達、被加工材との摩擦による急激な昇温と型面からの潤滑並びに冷却の作用とによる熱応力及び昇温下での鍛造作業応力の繰返し作用を受け、漸次組織変化の進行による実質的強度の低下を招き、へたり、摩耗、あるいはクラックの発生と進展とにより廃却に至るのが一般である。

YHD3は使用時の型面昇温により析出硬化($H_R C48$)し、塑性変形、摩耗、クラックの発生及び進展に対する抵抗性をDBC(SKD62)及び3Ni-3Mo析出硬化形鋼よりも一段と高めたものである。

YHD3は焼入—低温焼もどし状態で納入されたもので、そのミクロ組織は図1に示すように、内外均一な低Cのペーナイト組織である。

図2は析出硬化特性を示したもので、ペーナイト基地からの微細特殊炭化物の析出による迅速硬化性を備え、その析出硬化かたさは $H_R C48$ で高く、かつ軟化抵抗は従来鋼、5Cr系のDBC(SKD62)及び3Ni-3Mo系析出硬化形鋼よりも優れている。

図3は参考としてプレス鍛造金型における鍛造作業後の表面→心部かたさ分布の実例を示したものである。

図4には高温かたさを示す。YHD3は600～650°C以上の高温域での強度が特に優れており、肉流れ、昇温の激しい過酷な使用条件下で特に優れた寿命をもたらすものである。

図5は温度(700°C)、応力作用条件下での変形抵抗挙動の一例を3Ni-3Mo析出硬化形鋼及びDBC(SKD62)と対比して示したもので、高温域でYHD3が格段に優れた変形抵抗＝強度をもっていることが本データから分かる。

3.2 優れた熱間耐摩耗性

本鋼の性能上の最も大きな特長は優れた熱間耐摩耗性にある。すなわち、YHD3は高温の被加工材との間に焼付を生じ

* 日立金属株式会社安来工場

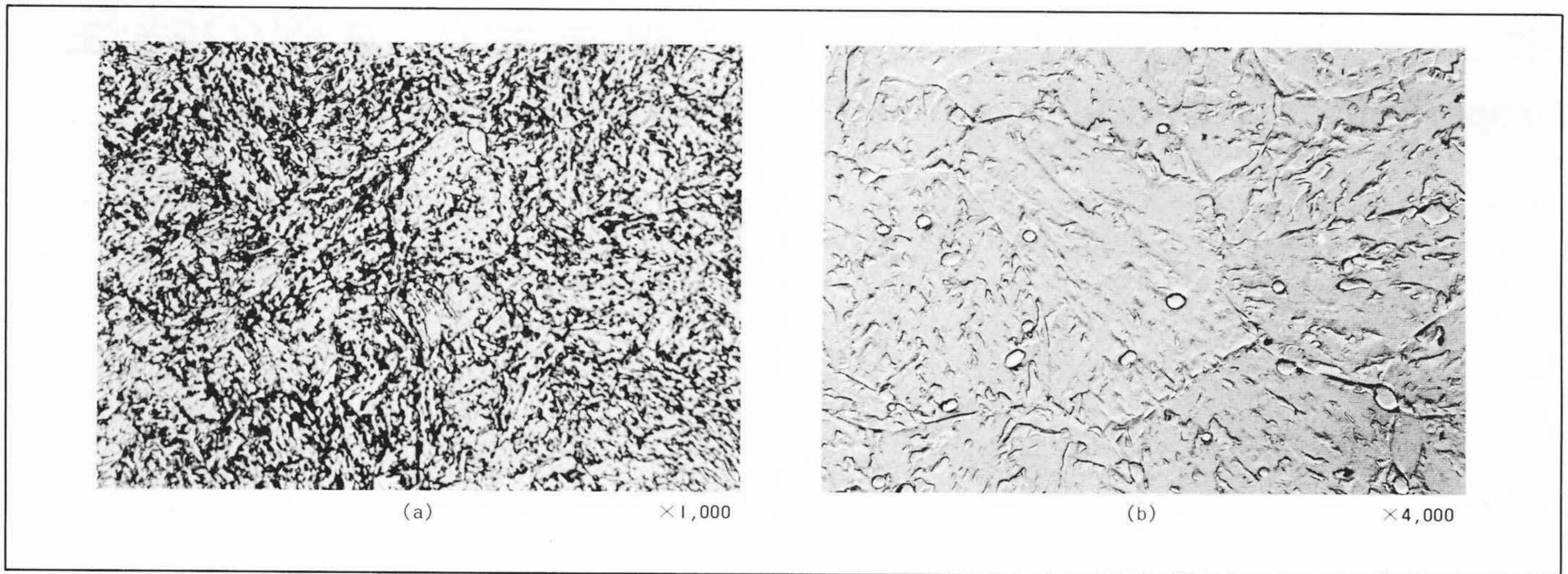


図1 YHD3の熱処理組織 少量の残留炭化物+ペーナイト組織である。

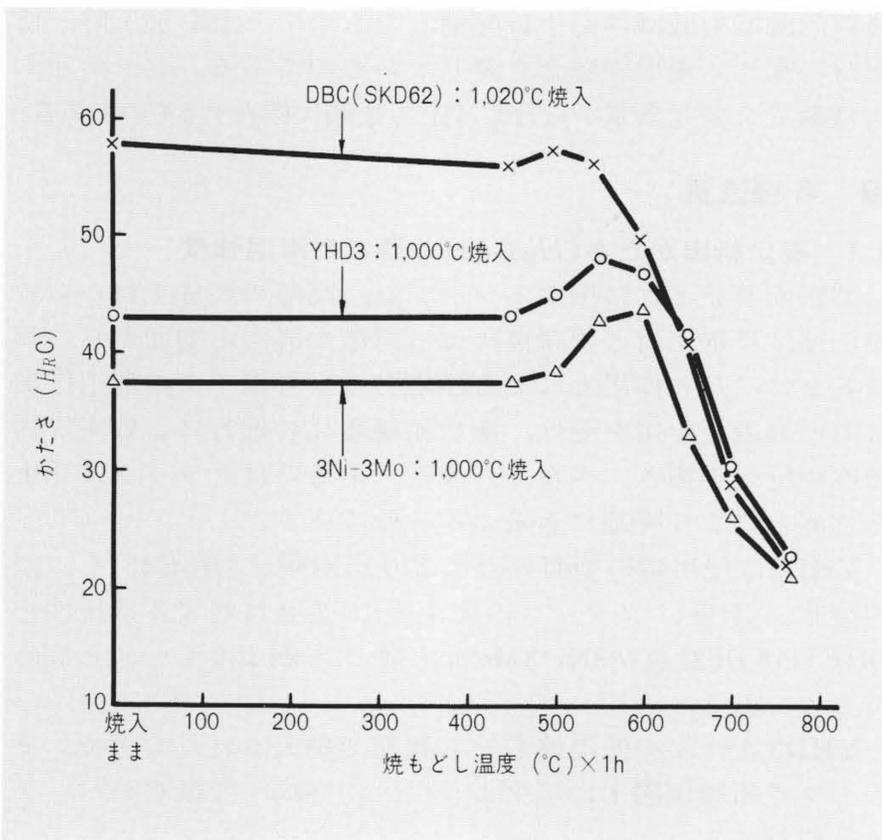


図2 YHD3の焼もどし温度とかたさの関係 YHD3は、400°C焼もどし以下では切削可能なかたさであるが、550°C前後で $HRC48$ に析出硬化し、強度が向上する。

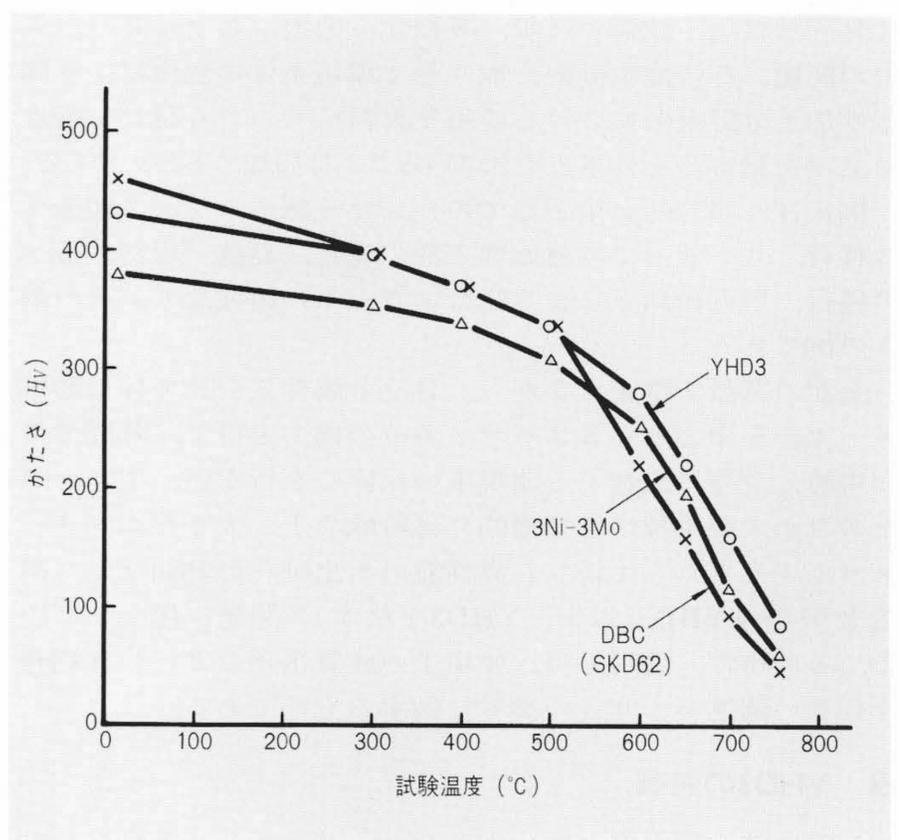


図4 YHD3の高温かたさ YHD3は600°C以上の高温域での強度が、特に優れており、肉流れ、昇温の激しい過酷な使用条件下での寿命が優れる。

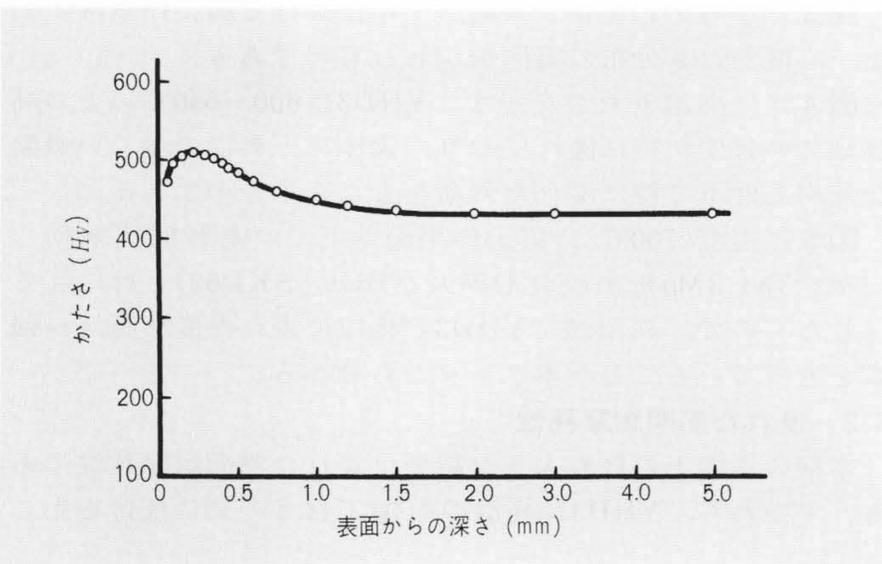


図3 使用済み鍛造型における表面→心部断面かたさ分布例 使用時の表面部昇温により、表面部だけが析出硬化していることが分かる。

にくく、使用時平滑な安定した表面層が形成され、過酷な摩耗作用に耐えるもので、後述するような顕著な摩耗寿命の向上が得られている。

これは高温強度、適量の炭化物分布、耐熱衝撃性、耐酸化性などの総合効果によるものである。

金型面にはだあれが生じにくいことより、使用途中での型面補修の低減が可能であり、この点のメリットも見のがせないものとなっている。

3.3 200°C以上での特に優れたじん性

YHD3は低Cのペーナイト組織をもち、クラックの起点を生じにくいことと併せて、生成した初期クラックが進展しにくい特性を付与したものである。

基本的特性としての温度と耐衝撃性との関係は図6に示したとおりで、200°C以上で極めて優れた耐衝撃性をもち、200°C以上の型予熱、表面潤滑冷却時の冷しすぎを避けることによ

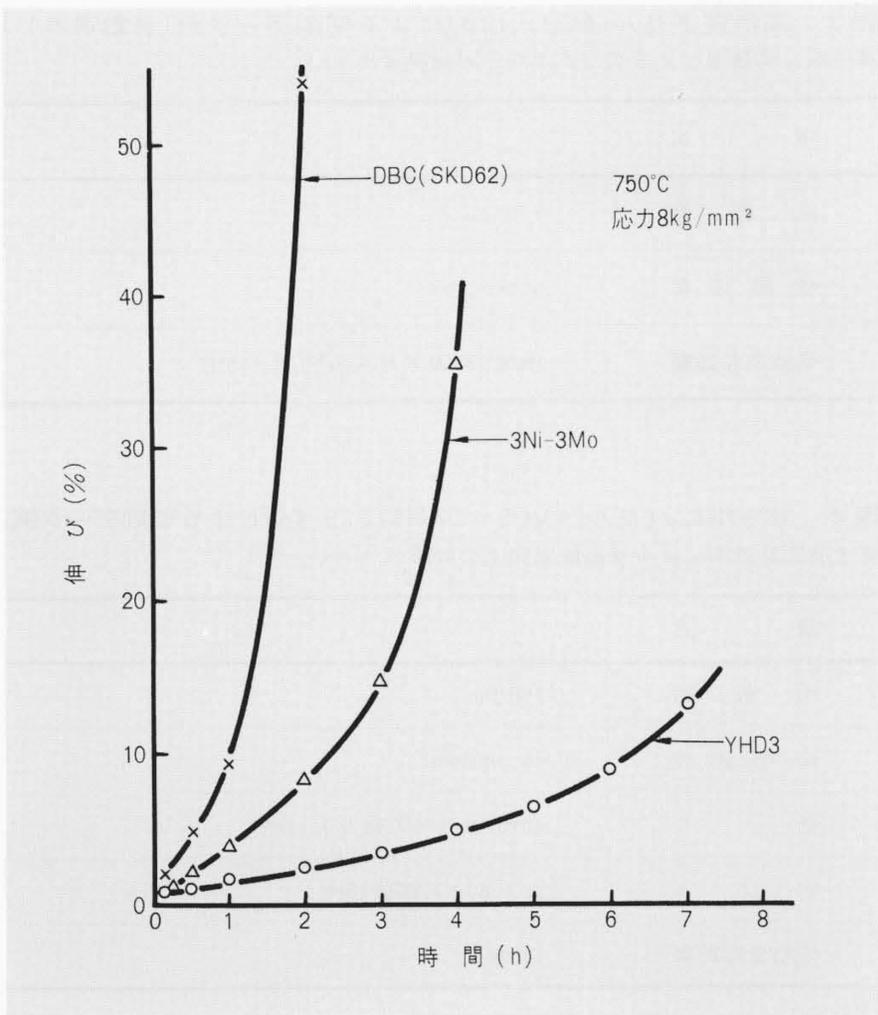


図5 YHD3のクリープ特性データ YHD3は、高温域での変形抵抗(塑性変形に対する抵抗性)が特に優れている。

り、大割れを生ずることなく、安定した成績を示すことが確認されている。

3.4 心部まで均一なかたさと組織

図7はYHD3の恒温ベーナイト変態特性を示したものである。YHD3はベーナイト組織鋼として焼入性が大きく、350mm角ないしそれ以上の断面寸法のものでも中心部かたさの低下、組織変化(フェライト析出など)は生じない。このため、リシンクなどによる型寿命の低下の傾向は小さく、トータル寿命を大きく向上させるものである。

3.5 十分小さい残留内部応力

YHD3は低温焼もどし処理で納入されるものであり、したがって、残留応力の低減に特に配慮した製造条件を採用しており、本系鋼にありがちな、残留応力に基づく型彫加工中、あるいは使用中のひずみ、割れ発生などの事故を生ぜず、この点もYHD3の特長の一つである。

3.6 物理的性質

表1、2にYHD3の物理的性質を示す。本分野での汎用鋼、DBC(SKD62)と同一クラスであり、この点に関し特別な配慮は要しない。

表1 YHD3の熱膨張係数(20°Cから各温度までの平均値) 汎用鋼DBCと同等である。

温度(°C)	100	200	300	400	500	600	700
鋼種							
YHD3	11.2	11.3	12.0	12.5	13.1	13.3	13.5
DBC(SKD62)	11.0	11.2	11.8	12.3	12.9	13.3	13.5

注: $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

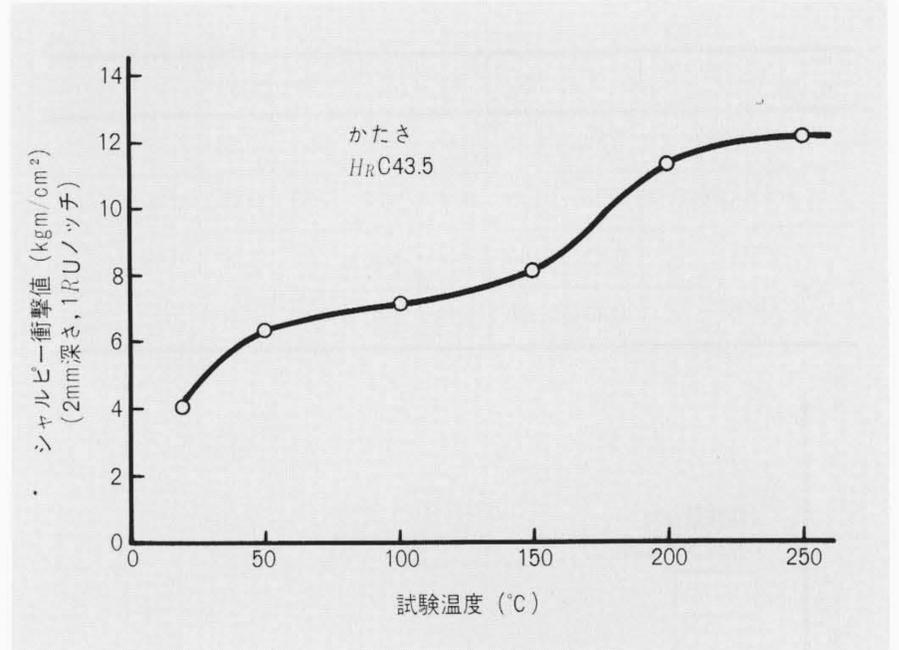


図6 YHD3の温度とじん性 200°C以上でのじん性が特に優れている(使用時200°C以上の予熱により割れ事故を防止し、長寿命を得ることができる)。

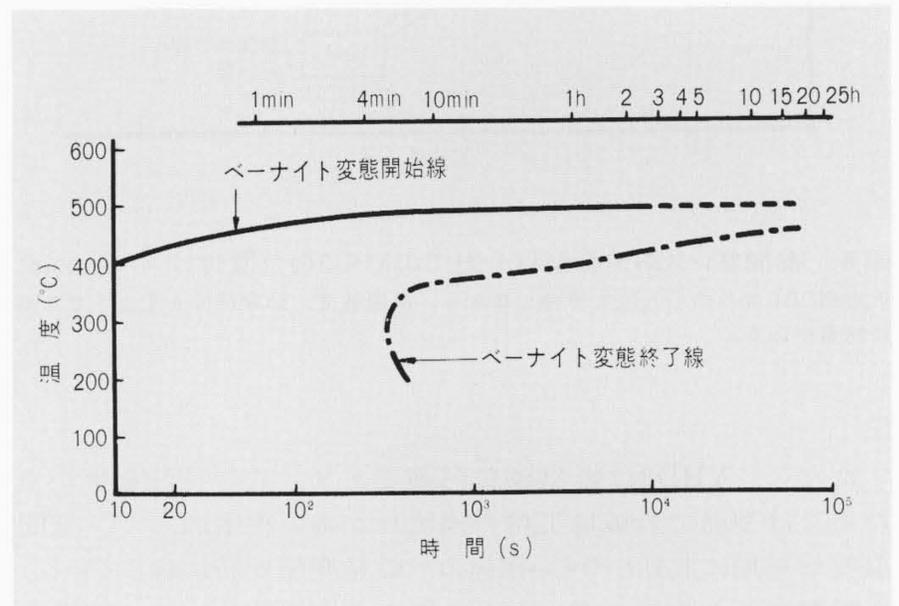


図7 YHD3の恒温ベーナイト変態特性 ベーナイト変態開始線先端は、極めて短時間側にある。変態終了は300°C前後が最も速い。

4 適用分野

現用各種熱間工具鋼の中でのYHD3の特性と適用分野に関する位置付けを試みた結果を図8に示す。

現在、熱間プレス鍛造金型材料として最も汎用的に使用されているマルテンサイト系熱間工具鋼DBC(SKD62)並みの優れたじん性を保ちつつ、かつ高温強度、耐摩耗性が一段と優れているものである。

表2 YHD3の熱伝導率 熱膨張係数と同様、汎用鋼DBCと同等であり、この点に関し金型設計、使用上特に問題はない。

温度(°C)	20	200	400	500	600	700
鋼種						
YHD3	0.073	0.071	0.070	0.070	0.069	0.067
DBC(SKD62)	0.072	0.070	0.070	0.069	0.068	0.066

注: cal/cm · s · °C

鋼種	成分	C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V	Co
DM(SKT4)		0.55	0.25	0.85	1.20	—	0.35	0.15	—
DBC(SKD62)		0.38	1.00	0.40	5.20	1.30	1.40	0.35	—
YEM		0.35	0.40	0.40	3.00	—	3.00	0.50	—
MDC		0.40	0.25	0.40	4.40	4.40	0.40	2.00	4.20

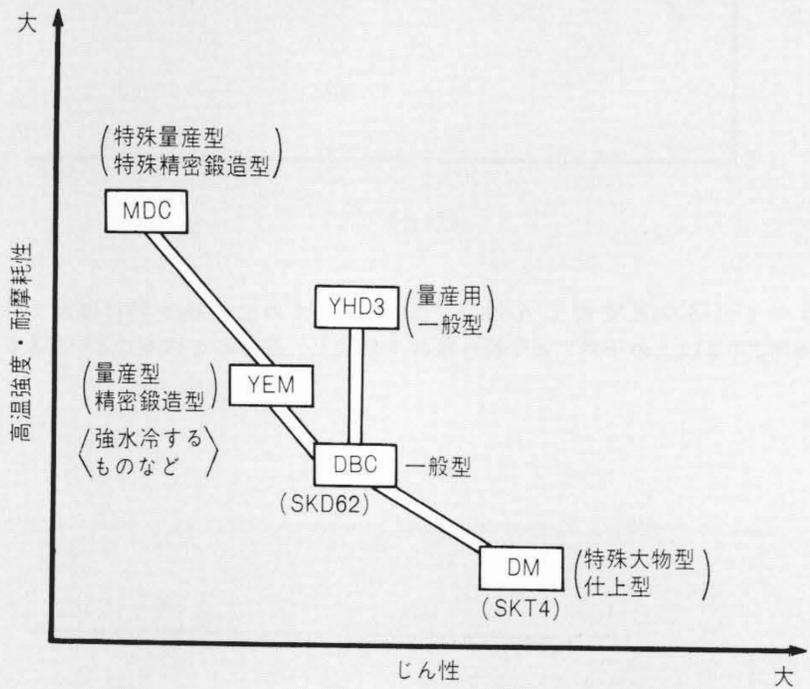


図8 熱間プレス鍛造金型材分野でのYHD3の位置付け YHD3は、汎用鋼DBC並みのじん性を保持しながら、高温強度、耐摩耗性を向上させた点に特長がある。

ただし、YHD3は析出硬化形鋼であり、この特性を生かすためには型面での被加工材の肉流れがある程度激しく、型面温度が早期に上昇しやすい用途の一般量産型が特に適している。

初期かたさ自体が高いことを要するとともに、かつ型面からの強水冷を施して昇温を極度に抑制しながら使用される用途の一部精密鍛造型については、析出硬化形鋼ではなく、マルテンサイト系鋼(YEMなど)が適している。

5 使用上の注意

図6に示したように、200℃以上で極めて優れたじん性をもっているもので、鍛造作業開始に当たって200℃以上の確実な予熱と潤滑冷却時の冷しすぎを避けることにより、割れを生ずることなく本来の優れた耐摩耗寿命を示すことが確認されている。

予熱には例えば、ガスバーナ方式を用い、十分な均熱が必要で、冬期には特にこの点に配慮が必要である。

なお、表面処理としての窒化処理については、500℃を超える温度での通常の窒化処理は型全体の析出硬化を招き、じん性面で不利となるので一般的には適当でない。

6 YHD3の機械加工

YHD3は一般にかたさHB375~401で供給され、通常工具による切削加工は可能である。ただし、いわゆる高性能工具使用の効果は大きく、例えばエンドミルでは、SKH57(XVC5)が適している。

ドリル、タップ類では、いわゆる高硬度高速度鋼(例えばM40シリーズ)が偉力を発揮する結果を得ている。

表3 高性能ドリル(M33, 10φ)による切削データ例(自動送り) 高性能工具適用による切削能率向上の効果は大きい。

項目	
回転数	170rpm
切削速度	5.34m/min
切削寿命距離	市販SKH9ドリルの約10~15倍

表4 ボールエンドミル(XVC5=SKH57, 25.4φ)による切削データ例 高性能工具適用による切削能率向上の効果は大きい。

項目	
回転数	190rpm
切削速度	15.1m/min
送り	40mm/min(一刃送り0.11mm)
切込み	上下6mm×前後18mm
切削寿命距離	880mm

表5 YHD3の使用壽命実績例 汎用鋼SKD62(DBC)の1.5~2倍の壽命が、コンスタントに得られている。

鋼種	工具	使用壽命
YHD3*	熱間プレス鍛造型	3Ni-3Moの1.5~2倍(摩耗)
		SKD62 8,000個(摩耗)に対し 13,000個(摩耗)
		SKD62 5,000個(摩耗)に対し 9,000個(摩耗)

注：*型面での被加工材の肉流れが激しく、型面温度の上昇しやすい型の場合、特性が生かされる。

ドリル、ボールエンドミルについての高性能工具による切削加工データ例を表3、4に示した。

なお、電解加工、放電加工による型彫加工についても問題はなく、一般的に採用されている。

7 使用壽命実績例

型面での被加工材の肉流れが激しく、型面温度の比較的上昇しやすい型に適用して効果を挙げている。

3Ni-3Mo析出硬化形鋼、5Cr系のマルテンサイト系汎用型用鋼DBC(SKD62)と対比した壽命実績は表5に示すとおりで、摩耗寿命の向上が得られており、また使用中の型補修低減のメリットが得られている。

8 結 言

以上新しい析出硬化形熱間プレス鍛造金型用鋼YHD3につき概要を紹介したが、開発過程でのユーザー各位の御指導、御協力に対し深謝の意を表わすとともに、今後も更にいっそうの御鞭撻をお願いするものである。