

最近の熱間工具鋼

奥野 利夫*・田村 庸*²

Trends of Hot Working Tool Steels in Recent Years

Toshio OKUNO and Yasushi TAMURA

Key words : hot work die steels ; forging dies ; die casting dies ; extrusion dies ; properties ; high-temperature strength ; toughness ; microstructures ; heatcheckings ; heat treatment.

1. はじめに

熱間加工技術は、自動車の軽量化、高性能化や精密機器部品への適用などを背景として、多様化、高度化してきた。これに伴い、量産化、高速化、自動化、精密化に対応する金型材料が求められた。熱間鍛造加工用金型の損耗現象は図1¹⁾のように、摩耗、塑性変形、熱疲労、機械的疲労であり、金型材料にはこれらに耐える特性が要求される。金型材料の特性を構成する要素を表1に示す。金型用鋼はJIS規定の工具鋼を基本として、用途に応じた様々な改良が加えられてきたが、高強度化や型寿命の安定性の面から破壊強度の向上が重要な要点となってきた。実用鋼の破壊特性は組織により大きく影響されるが、型材の製造技術や熱処理技術の急速な進歩による組織制御の高度化により、高

強度鋼の実用化が進むと同時に金型の破壊現象のより精度の高い解析が行われるようになってきている。さらに、金型の耐摩耗性や熱疲労特性を改善するための表面改質など利用技術の実用化が進み、これらの効果を評価する実用性能評価技術についての検討も進められている。ここでは代表的な熱間加工用の金型用鋼の最近の動向について、これらの周辺技術を含め紹介する。

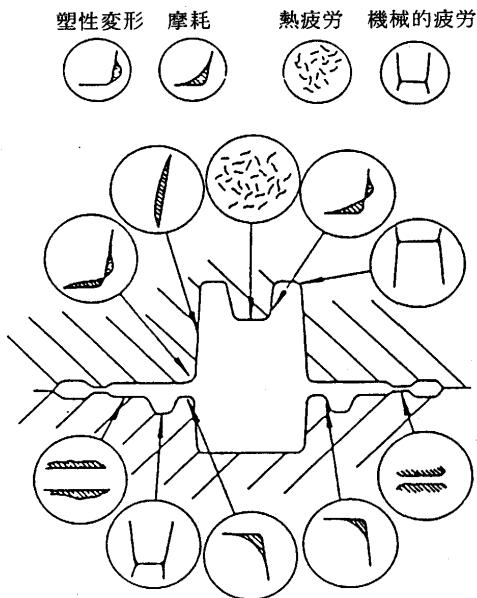
主な熱間金型用鋼の成分を表2に示す。

表1 熱間金型材料の特性を構成する要素

組成	(JIS鋼, 各種専用開発鋼, マトリックス高速度工具鋼, 超耐熱合金, 超硬合金など)
組織	型材製造技術 (高纯净化, 凝固組織制御, 特殊溶解, 熱的取り扱い) 熱処理技術 (熱処理組織制御, 加圧ガス冷却真空炉)
特性	(高温強度, 軟化抵抗, じん性, 破壊力学的特性)
利用技術	表面改質 (窒化, CVD, PVD, 溶射 ほか)
実用性能	(摩耗, 熱疲労, 変形, 機械的疲労)

表2 代表的な熱間工具鋼の化学成分⁹⁵⁾

区分	記号または鋼種	化学成分(wt%)									参考用途例
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	V	Co	
JIS鋼	SKD4	0.30	0.4以下	0.6以下	—	2.50	—	5.50	0.40	—	プレス型・ダイカスト型・押出工具
	SKD5	0.30	0.4以下	0.6以下	—	2.50	—	9.50	0.40	—	
	SKD61	0.37	1.0	0.5以下	—	5.00	1.25	—	1.00	—	
	SKD62	0.37	1.0	0.5以下	—	5.00	1.25	1.25	0.40	—	プレス型・押出工具
	SKD7	0.33	0.5以下	0.6以下	—	3.00	2.75	—	0.55	—	
	SKD8	0.40	0.5以下	0.6以下	—	4.35	0.40	4.15	1.95	4.15	プレス型・ダイカスト型・押出工具
	SKT4	0.55	0.35以下	0.80	1.65	0.85	0.35	—	—	—	鍛造型・プレス型・押出工具
析出硬化鋼		0.2C-3Ni-3Mo 0.2C-3Cr-W-Mo-V									プレス型
マトリックスハイス鋼		0.5~0.6			2以下	3~5	2~5	1~3	0.5~2	0~2	温間(閉そく)鍛造型

図1 熱間鍛造用金型の損耗現象¹⁾

平成5年1月6日受付 平成5年4月9日受理 (Received on Jan. 6, 1993; Accepted on Apr. 9, 1993) (依頼解説)

* 日立金属(株)安来工場冶金研究所所長 (Metallurgical Research Laboratory, Yasugi Works, Hitachi Metals Ltd.)

* 2日立金属(株)安来工場冶金研究所研究員 (Metallurgical Research Laboratory, Yasugi Works, Hitachi Metals Ltd., 2107-2 Yasugi-cho Yasugi 692)

2. 熱間工具鋼の基本特性

熱間加工用工具には、熱間プレス金型、ダイカスト金型、熱間押出用工具などがあり、使用条件によって、金型に負荷される温度や応力が異なり、廃却現象も様々であり、用途に応じた特性を備えた金型用鋼の選定が重要となる。図1に示した損耗現象について、摩耗や変形に対しては高温強度と昇温時の軟化抵抗や炭化物の分布形態などが、割れに対しては、じん性が、熱疲労に対しては、高温強度とじん性の両者が必要特性であるが、これらの基本特性について、硬さや組成の影響や、金型の寸法形状を考慮した熱処理条件の影響を明らかにする必要がある。また金型の破壊現象を精度良く解析するために、疲労き裂進展特性や破壊じん性値 K_{IC} など破壊力学的パラメータの挙動も重要である。

2・1 高温強度²⁾³⁾

図2に熱間工具鋼の高温強度を示す⁴⁾。常温から550～600℃付近までの温度域の強度は鋼種によるよりも初期硬さによって大きく左右される。熱間工具鋼の炭化物の大部分は焼入れによって基地中に固溶し、焼もどしの際、500℃を超える温度でW、Mo、Vを含む特殊炭化物を形成し、二次硬化をもたらし、高温強度を与える。W、MoはCとの間に微細な針状の M_2C を形成し、Vは同様に雲状のMCを形成して基地中に密に析出する。高温強度はこれらの炭化物の種類や大きさ、分布状態ならびに凝集の速度で決まる。SKD61、SKD7およびSKD8の基地に析出している微細な炭化物をレプリカに抽出し、電子顕微鏡で観察した結果を図3に示す。SKD61は M_2C 、MCの析出量を中位に抑え、高温強度とじん性を兼備させている。SKD7はCr量を下げ、Mo量を上げて微細炭化物 M_2C 、MCの析出量と分布密度を高めるもので高

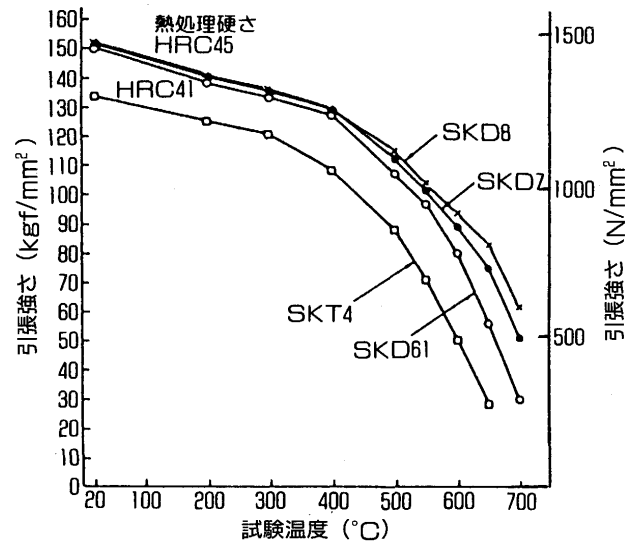


図2 熱間工具鋼の高温引張強さ⁴⁾

温強度が高い。SKD8はMCのみにより析出硬化させるもので、分布密度が高いうえ、昇温時に凝集しにくく、もっとも高温強度がすぐれている。またSKT4はとくに高いじん性を与えるために微細炭化物の析出は行わず、 M_3C よりも凝集の進みにくい $M_{23}C_6$ を形成させ、500～550℃以上での炭化物の凝集をおさえ強度を高めたもので、高温強度は熱間工具鋼の中では低い。上記のように使用温度域に適した初期硬さと鋼種の選定を行うことが適切である。また軟化抵抗はこれらの炭化物の凝集抵抗と対応し、高温強度の大きい鋼種は軟化抵抗も大きい。

2・2 じん性⁵⁾

熱間工具鋼は焼もどし時、特殊炭化物の析出による二次硬化を生じ、高温強度が付与されるが、同時にじん性が低

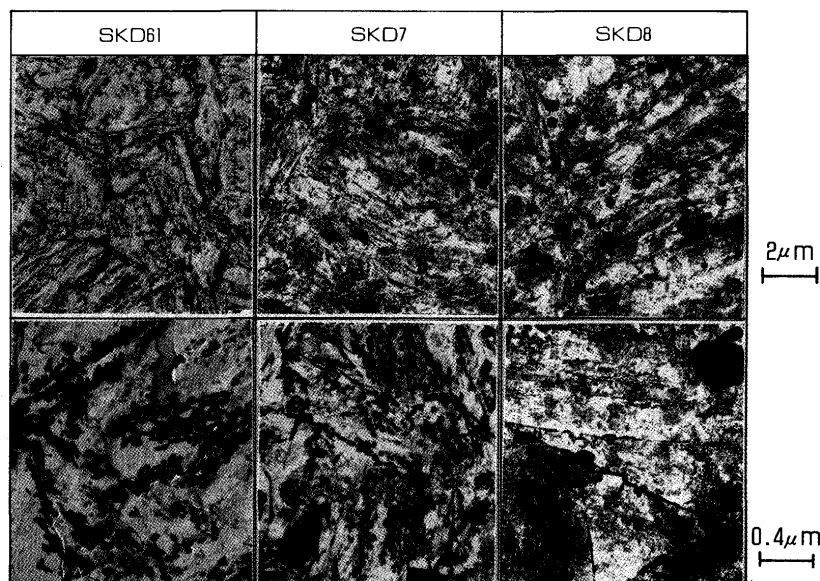


図3 SKD61, SKD7, SKD8の焼もどし時の炭化物の析出分布の状況 (抽出レプリカ法による電子顕微鏡像)⁵⁾
オーステナイト化温度: SKD61, SKD7: 1020℃, SKD8: 1140℃, 焼入冷却: 油冷, 焼もどし硬さ: 44HRC

下する。二次硬化を与える焼もどし温度を超え、硬さが低下し始めるとじん性が回復する⁶⁾ため、通常二次硬化を超えた温度で焼もどしされる。この二次硬化に伴う焼もどし脆性はSiを低減することにより改善されることが報告されており⁷⁾、この効果を利用した熱間工具鋼も実用されている。

またじん性は焼入冷却速度の影響を受ける⁴⁾⁸⁾。図4に焼入冷却速度が遅くなるにつれて焼もどし後のじん性が減少する挙動を示す。ここには破壊じん性値 K_{IC} の挙動を示しているが、衝撃値についても同様の傾向が認められる。図5にSKD61, SKD7について焼入冷却速度を油冷および半冷時間⁹⁾(焼入冷却速度の指標であり、連続冷却で焼入加熱温度と室温の中間温度まで降温するのに要する時間を指す)をかえて冷却した場合の焼入組織の光学顕微鏡組織を示す。油冷の場合は幅 $0.2\mu\text{m}$ 程度のマルテンサイトのラスの束¹⁰⁾が形成されているが、焼入冷却速度の減少に伴ってマルテンサイトの場合よりもラスの幅が広くて長い上部ベイナイト

が生成する。この組織変化に伴って、衝撃試験片の破面粒度¹¹⁾があらくなり、じん性が低下する。SKD61に比べ、Cr量の低いSKD7はこの傾向が大きい。また焼入冷却速度の低下に伴い、焼もどし時の微細析出炭化物の分布密度や旧オーステナイト粒界の析出挙動が変化し、じん性に影響する¹²⁾。熱間金型は寸法が大きく、また形状が複雑なものが多く、焼入処理を行う場合には割れや変形を生じないように配慮しつつ十分な性能を得るための適切な冷却条件を選ばねばならない。大寸法の金型でも変形の少ない衝風焼入れて良好な焼入組織の得られる熱間工具鋼も開発されている¹³⁾。

また、焼入冷却過程で、パーライト変態の起こる温度域より高温でオーステナイト粒界に炭化物が析出する¹⁴⁾¹⁵⁾、とくにマトリックス高速度工具鋼(以下高速度工具鋼をハイスと表記)のような高強度鋼についてじん性への影響が指摘されている¹⁶⁾¹⁷⁾。

2・3 耐熱疲労性^{18)~27)}

成形サイクル短縮による生産性向上のため、熱間プレス型やダイカスト型では、型面の強制冷却が一般的になった。これにより、金型表面には、熱サイクルによる熱応力が繰り返り作用し、熱疲労により、型面にはヒートチェックが発生する。ヒートチェックの評価方法については種々のものが提案されており、鋼種や硬さの影響について調べられている。また最近では、表面処理による耐熱疲労性の向上効果が報告されている^{22)~26)}。図6に各種熱間工具鋼の耐熱疲労性を示す¹⁸⁾。ハンマー型に使用されるSKT4に対し、高温強度の高いSKD61, SKD4, SKD5, 3Cr-3Mo鋼は、それぞれヒートチェック深さが改善される。耐熱疲労性の向上には高温強度とじん性が高いことが必要であるが、熱伝導

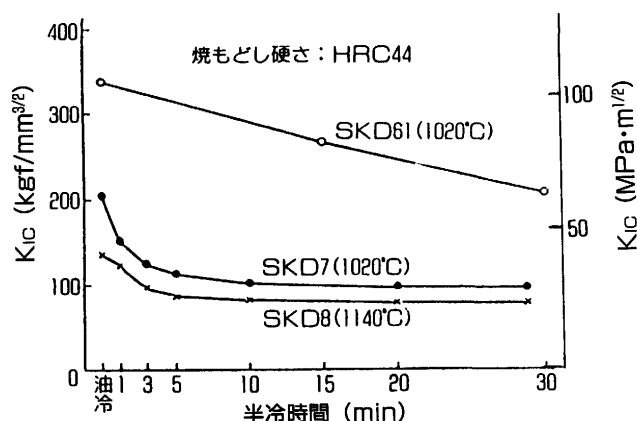


図4 焼入冷却速度と平面歪み破壊じん性値 K_{IC} ⁵⁾

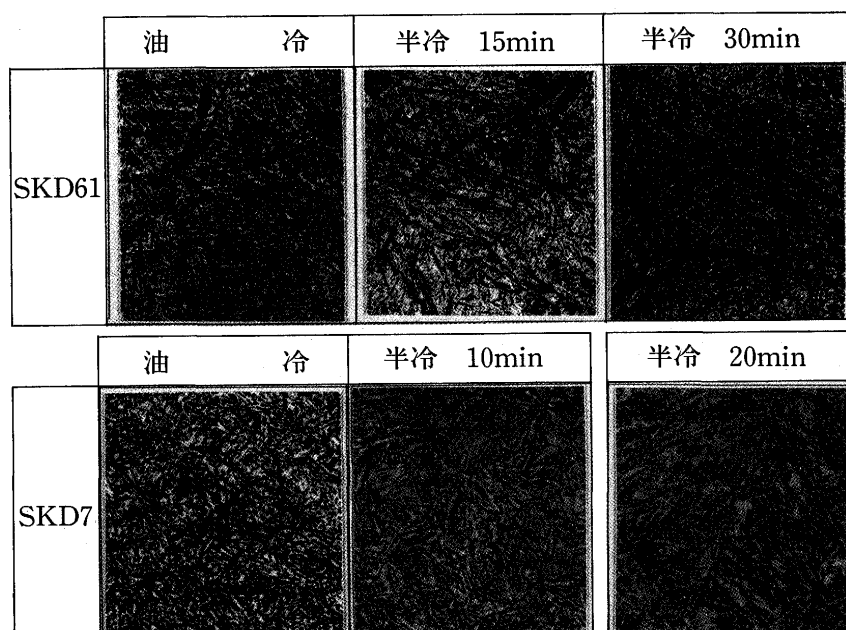
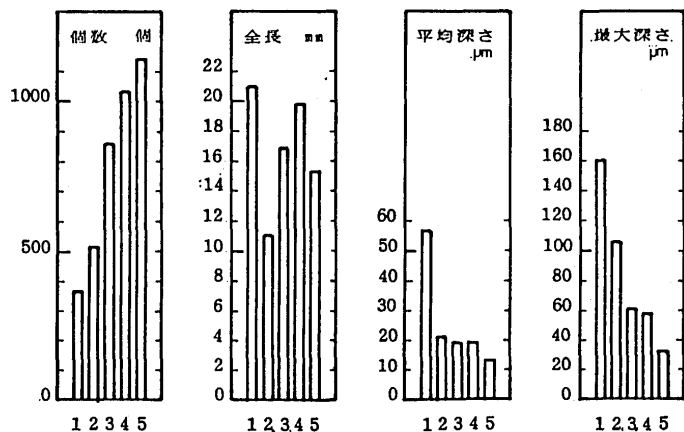


図5 SKD61, SKD7の焼入冷却速度と焼入組織⁴⁾

オーステナイト化温度: 1020°C



1. SKT4 (44HRC) 2. SKD61 (51HRC) 3. SKD4 (48HRC)
4. SKD5 (43HRC) 5. 3Cr-3Mo改良鋼 (51HRC)

図6 各種熱間工具鋼の熱疲労特性の比較¹⁸⁾

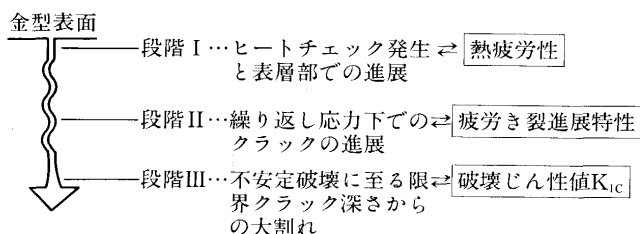


図7 クラック発生、進展の段階と関連特性²⁷⁾

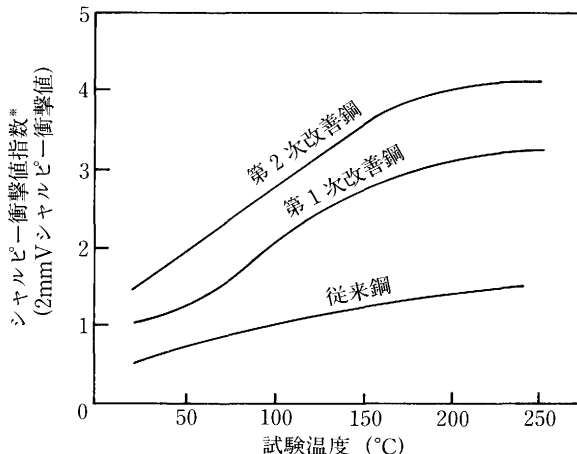
率が小さく熱膨張率の大きい材料は熱応力が大きくなりヒートチェックが発生しやすい。また硬さを高めることにより、耐熱疲労性は良くなるが、破壊特性を考慮して、適当な硬さを選定する必要がある。

2・4 破壊力学的特性

金型表面のヒートチェックは図7に示す段階を経て、破壊に結びつく。硬さの適性化や高強度鋼の適用による、摩耗や疲労への耐久性向上の検討を行う場合には、疲労き裂進展性や破壊じん性の評価にもとづく破壊挙動に対する精度の高い定量的な解析が必要となる。熱間工具鋼の疲労き裂進展性におよぼす硬さや焼入冷却速度の影響についての報告^{27)~30)}や動的破壊じん性試験片破面上のストレッチゾーン幅と実際に破損した型の破面を比較して、破損時の金型温度や破壊応力を推定するなど、動的破壊じん性値の評価と破面解析(フラクトグラフィ)にもとづく熱間プレス金型の破損解析³¹⁾³²⁾が行われている。

3. 組織制御技術

実用鋼のじん性は、非金属介在物、不純物、偏析や結晶粒径やベイナイトなど熱処理組織により大きく影響される。精錬製鋼技術や熱処理技術の進歩により、これらの組織制御が行われ、高強度鋼の実用化が進み、金型寿命の安定化が得られている。



※第1次改善鋼室温のシャルピー衝撃値を1とした場合の衝撃値指数
第1次改善：介在物制御
第2次改善：純度向上偏析制御

図8 高纯净・等方性化によるSKD61の鍛伸直角方向じん性の向上効果⁴¹⁾

3・1 型材製造技術

鋼材の内質改善への取り組みとして、鍛造鋼材の機械的性質の異方性に大きく影響を及ぼす非金属介在物、偏析の低減による等方性工具鋼の製造法が開発された^{33)~36)}。これによって鍛造品の横方向のじん性や延性が向上し、縦横方向の強度比が改善され等方性に近づいた結果、品質のばらつきや初期の割れ事故が減少し、金型寿命が格段に延びている。さらに熱間工具鋼の焼もどし脆性におよぼす不純物元素の影響が調べられ^{19)37)~39)}、高纯净化、凝固偏析の制御、熱的取り扱いや鍛造方法など各工程の組み合わせによる内質の改善⁴⁰⁾により、遷移温度の低下とともにいっそうの衝撃値や破壊じん性値の向上効果が得られている。図8にSKD61での試験温度に対する衝撃値の向上効果を示す⁴¹⁾。遷移温度の低下により、金型の予熱による割れ防止効果が得られやすく、じん性の向上により初期硬さを高くすることができ、耐摩耗性や耐熱疲労性の向上を得ることができる。

3・2 熱処理技術

熱間金型は寸法が大きく、また形状の複雑なものも多く、焼入処理を行う場合には割れや変形を生じないような配慮が必要である。このため焼入性が大きく空気焼入鋼に分類されるSKD61などには空冷焼入れが適用されてきたが、熱間工具鋼のじん性におよぼす焼入冷却速度の影響に関する研究結果⁸⁾¹²⁾⁴²⁾⁴³⁾をもとに、型材の特性を高度に生かすための組織制御の指針が明確にされ⁴⁴⁾、じん性に影響するベイナイト変態温度域の冷却速度を制御した衝風冷却や油冷処理が採用されている。さらに最近では、急冷による工具鋼のじん性向上効果を積極的に利用した熱処理方法⁴⁵⁾も開発されている。一方、作業環境が良好であることや光輝肌が得られ後工程の省略ができるなどの利点から、真空熱処理が普及してきた。真空熱処理ではガス冷却のため冷却速度が小さい問題があったが、加圧ガス冷却真空炉⁴⁶⁾が開発され、か

なり改善されてきており、金型の熱処理にも適用されるようになってきた^{47)~50)}。

4. 熱間加工技術と型材の動向

熱間加工の分野としては、(1)プレス鍛造(2)ダイキャスト(3)熱間押出しがあるが、新しい製品ニーズや製品の軽量化、高強度化などを背景としてそれぞれの分野で新しい加工技術が開発され、その実用化の一端を新しい型材料が担っている。

4・1 プレス鍛造型

熱間鍛造の分野では、省資源、省エネルギー、後工程の切削加工を省略するなどの効率化によるコスト低減が強く求められ、精度の高い鍛造加工への動きが活発になってきた。同時に、複雑形状品の一体成形など高機能化の面からも、温間（閉そく）鍛造や精密熱間鍛造の適用が進んできた。また、ホットフォーマと呼ばれる多段式高速熱間鍛造機の導入による成形サイクルの短縮による効率化も進められている⁵¹⁾⁵²⁾。図9⁵³⁾に示すように、これらの加工法の適用対象製品が近年急速にふえている。またクランクシャフト

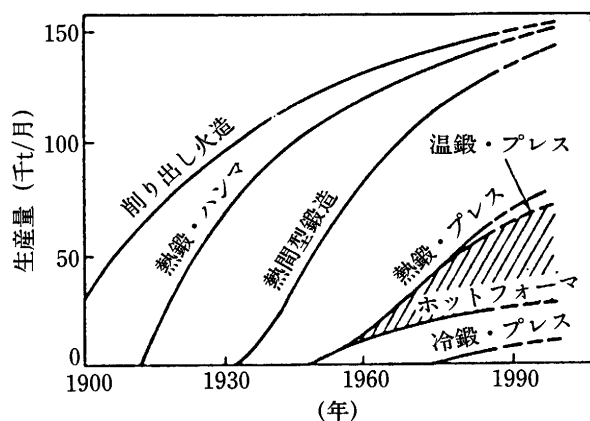


図9 鍛造法別生産量の推移⁵³⁾

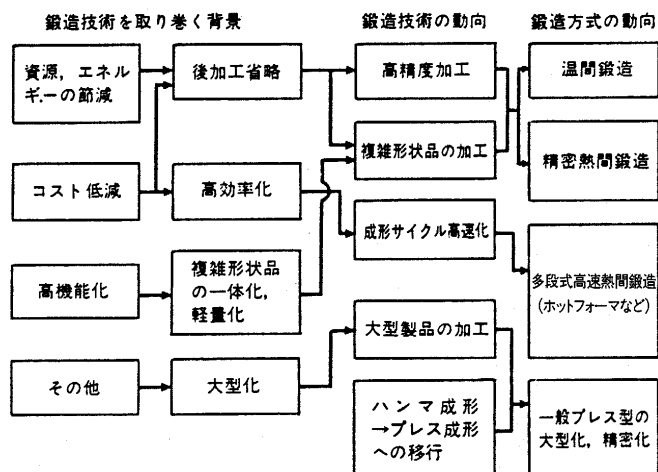


図10 温，熱間鍛造技術を取り巻く背景と動向⁶³⁾

のような大型製品の鋳鋼から鍛鋼への移行⁵⁴⁾など一般プレス型の分野でも大型化や大物用鍛造金型の高性能化のニーズが高まってきた。これらの熱間鍛造分野での動向を図10に示す。さらにアルミ鍛造も1989年現在で鍛造品全体の1.2%と全体に占める割合は未だ小さいが、5年前の約10倍と急速な伸びを示している⁵⁵⁾。これらの加工方法では、それぞれ加工温度、加工面圧や金型の冷却条件が異なり、金型に負荷される熱応力や摩耗作用が異なるが³⁾、金型に作用する熱負荷^{56)~58)}や応力負荷⁵⁹⁾の解析が進み、それぞれの加工方法に適した型材の開発が進みつつある。

4・1・1 温間（閉そく）鍛造型

温間鍛造技術は、ベアリングレースや前輪駆動車用等速ジョイントアウターレースの成形⁶⁰⁾からミッションギヤ⁶¹⁾などへと用途が拡大している。温間鍛造は一般に600~900℃と熱間鍛造より低い温度で加工が行われるため被加工材の変形抵抗が大きく、型面には高い面圧と摩擦作用が加わる。また冷間加工と比べると型に熱衝撃が作用する。このため、熱間ダイス鋼(SKD62など)では耐圧強度が不足し、ハイス(SKH51など)では耐熱衝撃性が不足していた。これらに対し、耐熱強度に優れ、じん性に優れるマトリックスハイス系の型材⁶²⁾⁶³⁾が開発され、窒化処理など表面処理を適用し、所期の型寿命が得られている。図11にこれらの型材の特性による位置付けと温間鍛造パンチの金型寿命例を示す⁶³⁾。

4.1.2 精密熱間鍛造型

ホットフォーマは横型の多段式熱間鍛造機であるが、インダクションヒータによる高速加熱と大量の水溶性潤滑剤の使用により高速加工が可能となっている。このため、金型には急熱急冷により、激しい熱応力や熱衝撃が作用する。これらの用途には前記のマトリックスハイス系型材やSKD7をベースとした改良鋼⁽⁶⁴⁾⁽⁶⁵⁾が使用されている。

4・1・3 一般プレス鍛造型

比較的寸法の大きい金型には現在も SKD61, SKD62 の使

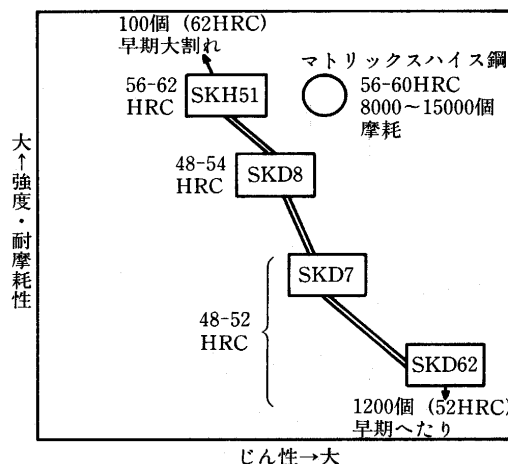


図11 温、熱間鍛造金型用材の特性による位置付けと、
温間鍛造パンチの金型寿命例⁶³⁾

用が一般的であるが、高速化や精密化が進み、高性能材への移行が進められつつある。焼入れ後400℃前後の低温で焼もどし処理し、型加工後使用され、使用中の昇温により型表面層のみを析出硬化させる低Cの析出硬化型鋼として、3Ni-3Mo鋼⁶⁶⁾⁶⁷⁾や3Cr-3Mo鋼が古くから使用され、最近では3Cr-W-Mo-V-Co鋼⁶⁸⁾がイオン窒化処理⁶⁹⁾されて適用され、約40%の寿命向上効果が得られている。窒化層による析出硬化までの初期摩耗への耐久性と析出硬化後のとくに優れた母材の高温強度により、高い耐摩耗性を示す。今後、インサート方式の採用や半熱間から温間への移行などが進み、窒化処理を併用したより耐摩耗性の優れた鋼種の開発へと進む動向にある。

さらに型寸法の大きいクランクシャフト等の成形には従来ハンマー鍛造用に使用されていたSKT4が使用されてきたが、より高温強度のすぐれるプリハードン型材(HRC40前後)が開発され、窒化処理の適用により型寿命向上の実効があがりつつある⁷⁰⁾⁷¹⁾。

4.1.4 その他の技術動向

高温間鍛造用潤滑剤としては、潤滑性能が優れていることから、黒鉛系の潤滑剤が多く使用されてきたが、作業環境の面から、潤滑性能が多少低下しても白色系の潤滑剤を適用する検討が進められつつある。この場合、摩耗や焼き付きの面で型寿命が低下する方向にあり、今後これへの対応の点からも表面処理の適用が進むものと考えられる。工具鋼の窒化処理についての基礎検討や新しい窒化法の開発が進む一方で、生産現場での窒化処理の適性化⁷²⁾も進められている。またアップセットダイス等の一部には超硬合金の適用がすすみつつある。

4.2 ダイカスト金型

自動車のアルミ化が急速に進められているが、エンジンのアルミ化は一応の水準に達し、脚回り部品やディスクホイールなどのアルミ化が進められている⁷³⁾⁷⁴⁾。これら高強度アルミ部品の製造法として溶湯鍛造法⁷⁵⁾、無孔性ダイカスト法⁷⁶⁾が開発されている。これらのアルミダイカストの技術動向を背景として、SKD61をベースに用途に適合した新しい型材の開発が進められている。Mg合金ダイカスト⁷⁷⁾にはSKD61が、さらに溶湯温度の高いCu、Cu合金ダイカストでは耐熱性の高いSKD8や、これのじん性を改善した型材が一般的に使用されている。

4.2.1 アルミダイカスト金型

軽量化、高性能化の追求のための自動車のアルミ化や家電機器、OA機器へのアルミ合金の適用が急速に進んだことを背景に、アルミダイカスト技術は高度化、多様化した。前輪駆動車の駆動機構部を収めるケース類など大型製品の成形に大寸法の型が使用され、複雑形状で高い精度と肌品位を要求されるOA機器部品用などの精密ダイカストや溶湯温度のとくに高い過共晶の高Si系耐摩耗アルミ合金ダイカストの場合、金型に作用する熱的負荷が過酷となり、熱疲労

(ヒートチェック)や溶損が進みやすい。また自動車の脚回り部品など高強度部品の製造法として溶湯鍛造法の適用が進んできたが、鑄造条件の面から金型に負荷される熱応力が過酷であり、金型の早期ヒートチェック対策が課題となっている。一般ダイカストの分野でもダイカスト製品の鑄肌をそのまま意匠面として使用する用途では、金型の初期ヒートチェック寿命向上が要求されている。これらの鑄造法からみたダイカストの技術動向を図12に示す。

従来ダイカスト型材としてひろく使用されてきたSKD61だけでは十分な対応ができなくなったため高温強度、じん性、焼入性など、それぞれの要求特性に応じた特徴を備えた高性能材が開発され実用化されている。

表3⁷⁸⁾に用途別の型材の選択基準例をまとめて示す。大寸法の金型に対しては、熱処理歪みの小さい衝風焼入れ熱処理でも安定したじん性値の得られる高焼入性の型材が適用されている。また複雑形状で高精度の部品を成形するため、狭いキャビティ部に溶湯を十分に充満する目的で溶湯温度を700℃前後まで上げ、圧力を高めて成形する精密

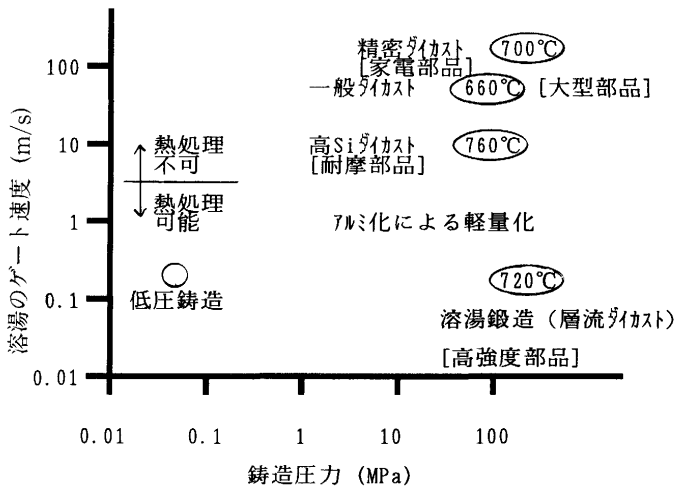


図12 アルミダイカストの技術動向

表3 アルミダイカスト用途別選択基準の例⁸¹⁾

用途	溶湯温度	問題点	適用型材	硬さ	標準焼入温度
耐摩耗アルミ用型(高Si系)	750~780℃ A390など	溶損 ヒートクラック (熱塑性歪み型)	3.5Cr-W-Mo-V鋼(高温強度重視)	47~52HRC 軟化を前提	1070℃
精密型(OA機器など)	680~730℃ ADC12	溶損 初期ヒートクラックによる肌あれ	5Cr-2.5Mo-V鋼(高温強度じん性兼備)	47~50HRC	1020℃
大物型 700×1000×1200mmなど	640~670℃ ADC12	早期コーナー割れ (クラックの発生→進展)	5.5Cr-Ni-Mo-V鋼(高焼入性)	42~45HRC	1020℃
肌重視一般型	640~670℃ ADC12	初期ヒートクラックによる肌あれ	SKD61など	44~49HRC	1020℃
一般型	640~670℃ ADC12	ヒートクラック コーナー割れ	SKD61 複雑形状型は高焼入性鋼	43~47HRC	1020℃
スクイズ型	690~720℃ AC4C	ヒートクラックの早期の発生と進展	5Cr-Mo-V(高強度高じん性)	44~52HRC	1020℃

ダイカストや溶湯温度が750℃前後の高温となる高Si系の高融点アルミ合金ダイカストの場合、型表面の軟化を伴ったクラックの開口の大きい熱塑性歪み型のヒートチェックが生じやすいため、650℃以上の高温域での強度とじん性を兼ね備えた型材が適用されている。SKD61に対し、Moを高めた型材やSKD8系のじん性改善材がそれである。

ヒートチェックによる金型寿命の低下への対策がとくに課題となっている溶湯鍛造用の金型については、型に作用する熱応力に耐える強度と、コーナー部からのクラックの発生、進展を抑える高いじん性を備えた型材⁷⁹⁾⁸⁰⁾の適用が進みつつある。アルミダイカスト金型は、クラック現象への対策が主体となるため、等方性化高纯净度化によるじん性の向上や焼入性の改善を基本として、耐熱性の向上への取り組みが進むものと考えられる。

4・2・2 その他の技術動向

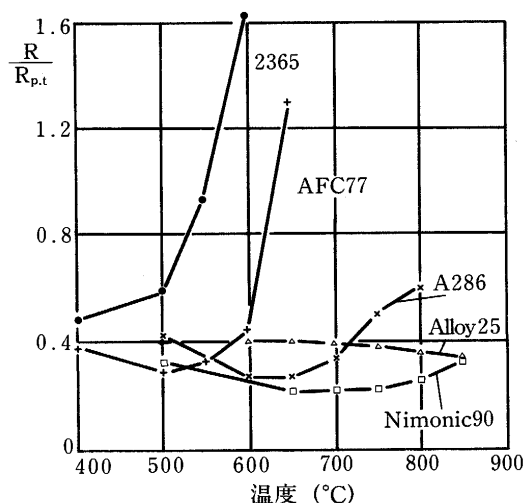
溶湯温度の上昇や鑄造の高サイクル化は同時に金型や中子ピン、スリーブなどの溶損の早期化をまねいている。溶損対策には表面処理の適用が有効であるが、ピン類には前記マトリックスハイス¹⁷⁾が、またスリーブや低圧鑄造の治工具用として、窒化処理により優れた耐溶損性が付与される型材⁸¹⁾が開発されている。

5. 押出工具

押出工具に使用されている材質の大半はSKD61, SKD62であるが、Cu, Cu合金用のインナーライナーには超耐熱合金が、Al合金用のダイスには、SKD61改良鋼などが使用されている。

5・1 Al合金用押出ダイス

アルミ押出材は、住宅やビル用の建材が主体であったが、押出技術の進歩により、自動車への適用部品の種類がふえ、またダイス設計やダイス材の進歩により、鉄道車両部品等大型押出部材への適用がふえた⁸²⁾⁸³⁾。



	主要成分					
	C	Cr	Ni	Mo	V	その他
DIN2365	0.3	3.0	—	2.8	0.5	
AFC77	0.1	10	—	5.0	0.5	10Co
A286	0.05	15	25	1.3	0.3	2.2Ti
Alloy25	0.1	20	10			15W 残部Co
Nimonic90	0.1	20	残部			2.4Ti 1.4Al 18Co

R: 65黄銅の真流動応力

R_{p,t}: 各工具材質の1%-1000hクリープ強度

図13 各温度における各工具材質のクリープ強度と銅合金の流動応力の比較⁹¹⁾

比較したデータ⁸⁸⁾であるが、純銅に比べ、ビレット温度の低い黄銅などの押出加工の温度域では、炭化物析出硬化型のマルテンサイト鋼SKD7などよりクリープ強度の優れるAFC77相当の金属間化合物析出硬化型のマルテンサイト鋼の適用が進みつつある。

6. 熱間金型に適用される表面処理技術の動向

金型の表面処理によって得られる効果としては、高温強度、軟化抵抗や耐摩耗性の向上、離型性や被加工材への耐濡れ性面からの改善などが挙げられる。表面処理は窒化処理が主体で、温熱間プレス型やアルミダイカスト型、アルミ押出工具などに使用されており、酸窒化、浸硫窒化や真空窒化処理など新しい窒化法が開発されている。これらについては本文中に記述したが、今後は用途、目的に応じた窒化組織と特性を備えた窒化処理の使い分けが進むものと考えられる。一方、これまで切削工具や冷間金型への適用から発展してきたTiC、W₂C、TiNなどを被覆するCVD、PVD処理やVC、Cr炭化物の被覆処理⁸⁹⁾の熱間工具への適用も進められつつある⁹⁰⁾。このほか、イオン注入⁹¹⁾、プラズマCVD⁹²⁾、溶射⁹³⁾やレーザー処理⁹⁷⁾による表面改質などの研究が進められており、実用工具への適用が期待される。

7. おわりに

金型材料の高性能化は材料開発だけでなく、その組織制御を行う製造技術や熱処理技術の高度化によりすすめられてきた。今後も等方性化、高纯净化や組織の微細化や均一化による内質改善をベースに材料の高性能化が進む動向にある。同時に金型の摩耗、熱疲労や破壊など損耗現象のより高度な解析により新しい材料や表面改質処理の実用化が進められると予想される。

文 献

- 1) A. Thoms: Iron and Steel, **39** (1966), p.116
- 2) 奥野利夫: 熱間工具鋼, 金属便覧 (改定4版), (1982), p.817 [日本金属学会]
- 3) 佐藤知雄, 西沢泰二, 玉置維昭: 鉄と鋼, **46** (1960), p.1519
- 4) 奥野利夫: 大阪大学学位論文, (1987)
- 5) 奥野利夫: 素形材, **28** (1987)11, p.29
- 6) 西村富隆: 鉄と鋼, **53** (1967), p.116
- 7) 朝倉健太郎, 藤田利夫, 乙黒靖男: 鉄と鋼, **69** (1983), S1253
- 8) 奥野利夫: 鉄と鋼, **69** (1983), p.655
- 9) M. A. Grossman, M. Asimov and S. F. Urban: Hardenability of Alloy Steels, (1938), p.124 [ASM]
- 10) 須藤 一: 日本金属学会会報, **14** (1975), p.1
- 11) 邦武立郎, 寺崎富久長, 大森靖也, 大谷泰夫: Toward Improved Ductility and Toughness, Kyoto, (1971), p.83 [Climax Molybdenum Co. Ltd.]
- 12) 奥野利夫: 鉄と鋼, **69** (1983), p.1676
- 13) 奥野利夫, 中尾敦輔: 日立金属技報, **3** (1987), p.41
- 14) I. Schruoff: Thyssen Edelst. Techn. Ber, (1990), p.32
- 15) D. L. Cocks: Heat Treatment of Metals, (1988)2, p.39
- 16) 田村 庸, 奥野利夫: 材料とプロセス, **6** (1991), p.1897
- 17) 田村 庸: 日立金属技報, **9** (1993), p.71
- 18) 宮田良雄, 田中 武: 大阪府立工業技術所報告No.83, (1983) p.56
- 19) 松田幸紀, 須藤興一: 電気製鋼, **57** (1986), p.181
- 20) 森 時彦, 細見広次, 保前正夫: 鉄と鋼, **70** (1984), S1272
- 21) 日原政彦, 藤原和徳, 向山芳世, 緒方 勲: 精密工学会誌, **55** (1989), p.1869
- 22) 日原政彦, 藤原和徳, 向山芳世, 緒方 勲: 精密工学会誌, **56** (1990), p.906
- 23) 日原政彦, 向山芳世, 緒方 勲: 精密工学会誌, **56** (1990), p.1507
- 24) 日原政彦, 藤原和徳, 向山芳世, 緒方 勲: 精密工学会誌, **57** (1991), p.150
- 25) 日原政彦, 向山芳世: 精密工学会誌, **57** (1991), p.1005
- 26) 大森宮次郎, 伊藤伸英, 長谷川勇治, 清山絃一: 日本熱処理技術協会講演大会概要論文集, 33rd, (1991), p.63
- 27) 奥野利夫, 中尾敦輔, 田村 庸: 日本ダイカスト会議論文集, (1990), JD-90-04, p.25
- 28) 猿木勝司, 小川一義, 山田春彦: 材料, **38** (1989), p.1296
- 29) 山田春彦, 猿木勝司, 小川一義: 材料, **40** (1991), p.1303
- 30) N. Y. Tang and A. Plumtree: Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct., **14** (1991), p.931
- 31) 江原隆一郎, 井上慶之助, 窪田勝昭: 材料, **29** (1980), p.599
- 32) 江原隆一郎, 山田義和, 山田 保, 窪田勝昭: 材料, **36** (1987), p.513
- 33) 紺谷良成: 特殊鋼, **35** (1986)3, p.66
- 34) 松田幸紀, 須藤興一: 電気製鋼, **57** (1986), p.236
- 35) 阿部源隆: 型技術, **2** (1987)1, p.108
- 36) 三島 進: 型技術, **1** (1986)2, p.93
- 37) 田村 庸, 奥野利夫: 材料とプロセス, **3** (1990), p.1859
- 38) 田村 庸, 奥野利夫: 材料とプロセス, **4** (1991), p.812
- 39) B. Ule, F. Vodopivec, M. Pristavec and F. Gresovnik: Material Science and Technology, **6** (1990), p.1181
- 40) 日経ニューマテリアル, 1989年4月3日号, p.75
- 41) 三島 進: 型技術, **4** (1989)4, p.64
- 42) 上原紀典, 並木邦夫, 高橋国男: 電気製鋼, **52** (1981), p.165
- 43) 伊藤一夫, 常陸美朝: 電気製鋼, **50** (1979), p.181
- 44) 田村 庸, 奥野利夫: 熱処理, **32** (1979), p.129
- 45) 相沢 力: 電気製鋼, **57** (1986), p.214
- 46) 山崎勝弘: 熱処理, **30** (1990), p.110
- 47) 紀田兼昭: 金属プレス, **22** (1990)8, p.33
- 48) J. G. Conybear: Mater. Australas, **23** (1991), p.16
- 49) K. Bengtsson, L. A. Norstrom and O. Sandberg: Proc. 6th IFHTM, (1988), p.189
- 50) 山住海守, 浅井武二: 鍛造と熱処理, (1991)528, p.41
- 51) 工藤英明: 鉄と鋼, **74** (1988), p.224
- 52) 小坂田宏造: 精密工学会誌, **56** (1992), p.943
- 53) 高橋 清: 塑性と加工, **30** (1989), p.1101
- 54) 日産自動車 中央研究所材料研究所材料実験部: 日経ニューマテリアル, 1991年8月12日号, p.64
- 55) 阿部寿雄: 鍛造技報, **46** (1991)7, p.57
- 56) 湯浅絃二, 岡本治郎: 塑性と加工, **22** (1981), p.133
- 57) 前川佳徳, 賓家信一: 型技術, **7** (1992)8, p.156
- 58) 津木弘行, 南 明宏: 塑性加工連合講習会34rd, (1983), p.507
- 59) 野々山史男, 北村憲彦, 団野 敦: 型技術, **6** (1991)8, p.128
- 60) 温間閑そく鍛造の研究, 現状と問題点((財)鍛造技術研究所編), (1983)
- 61) 伏見慎二, 島村三郎: 鉄と鋼, **78** (1992), p.1384
- 62) 水野博司: 金属プレス, **20** (1988)3, p.37
- 63) 田村 庸, 奥野利夫: 日立金属技報, **6** (1990), p.59
- 64) 電気製鋼, **60** (1989), p.392
- 65) 保前正夫: 特殊鋼, **37** (1988)3, p.57
- 66) 伊藤 守: 特殊鋼, **34** (1985)3, p.44
- 67) 奥野利夫: 鉄と鋼, **70** (1984), p.709
- 68) 奥野利夫: 鉄と鋼, **68** (1982), p.315
- 69) 長田幸雄: 特殊鋼, **41** (1992), p.42
- 70) 松井 実: 特殊鋼, **37** (1988), p.51
- 71) 田村 庸, 奥野利夫, 中尾敦輔, 加田善裕: 日立金属技報, **8** (1992), p.57
- 72) 清野次郎: プレス技術, **28** (1986)6, p.77
- 73) 中村元志, 栗野洋司, 山下育弘, 鈴木敏夫, 林 勝三: 鋳物, **61** (1989), p.334

- 74) 日経ニューマテリアル, 1992年6月1日号, p.10
- 75) 鈴木治夫: 鑄物, **60** (1988), p.737
- 76) 三木 功: 鑄物, **60** (1988), p.732
- 77) 杉原 晋: AI-ある, (1992), p.314
- 78) 田村 庸: 鑄物, **62** (1990), p.1008
- 79) 田村 庸, 奥野利夫, 加田善裕: 型技術, **7** (1992)7, p.96
- 80) 池上正良: 型技術, **7** (1992)7, p.50
- 81) 田村 庸: 私信
- 82) 潮田俊太: 型技術, **7** (1992)4, p.53
- 83) 杉尾栄治, 中村仁人, 道阪浩三: アルトピア, (1991)8, p.9
- 84) 榎本正敏: 軽金属学会第81会秋期大会概要集, (1991), p.215
- 85) 家田詔夫, 田中康之: 塑性と加工, **23** (1982), p.965
- 86) 田村 庸, 奥野利夫, 中尾敦輔: 型技術, **6** (1991)7, p.140
- 87) W. A. Kortmann: Extrusion tooling for N-F metals, Tube Int. **8**, (1989)5, p.247
- 88) H. Berns: Strength and Toughness of Hot Working Tool Steels, Tool Mater. Molds Dies, (1987), p.45
- 89) 新井 透, 太田幸夫, 武田裕正: 型技術, **6** (1991)12, p.52
- 90) 河田一喜: 型技術, **7** (1992)9, p.86
- 91) 藤花隆宣, 菅澤敬正: 月刊トライボロジ, (1989)3, p.23
- 92) 宮下文彬: 日本金属学会講演概要, **4** (1986), p.383
- 93) 木村洋文: 月刊トライボロジ, (1989)3, p.6
- 94) Q. F. Peng, Z. Shi, I. M. Hancock and A. Bloyce: Key Eng. Mater, **46/47** (1990), p.229
- 95) 井上茂保: 鉄と鋼, **73** (1987), p.1461