

© 1987 ISIJ

金型用鋼の動向



井上茂保*

Trends of Die Steel

Shigeyasu INOUE

1. はじめに

金型用鋼は、JIS 規定の工具鋼をベースとして産業の発展に寄与してきたが、現在は加工技術の進歩から、量産化、高速化、自動化、精密化の要求に従って高性能工具鋼の開発が求められている。一方、金型のコスト低減や、短納期化ならびに金型加工方式の変化など、金型へのニーズは多様化し、それぞれに適合する金型材料の開発が不可欠となっている。ここでは代表的な用途における金型用鋼の最近の動向について紹介する。

主な金型用鋼の代表成分を表1に示す。

2. 冷間加工用金型

冷間加工用金型には、冷間プレス金型、板金プレス金型のほか冷間鍛造金型、圧造金型などの種類があり、これらの金型の廃却要因は、摩耗、割れ、欠け、座くつ、焼付き、疲労破壊などである。したがって金型に必要な特性は、つぎのようになる。

- (1) 硬さが高く耐摩耗性に優れること。
- (2) 耐衝撃性があり、じん性の高いこと。
- (3) 疲労強度が高いこと。
- (4) 耐焼付き性に優れ、400°C までの熱的負荷に耐えること。

これら特性の中で、(1)と(2)の特性が基本となる。

2.1 要求特性と冶金的要因との関係

2.1.1 耐摩耗性

鋼材の摩耗に関する研究は非常に多いが、その機構は複雑である。機械的摩耗の大部分は凝着摩耗 (Adhesive wear) とアブレシブ摩耗 (Abrasive wear) で 65% を占める¹⁾といわれている。凝着摩耗の場合、摩耗率 W は次式で示される²⁾。

$$W = K \cdot L / 3P_0$$

W : 単位長さ当たりの摩耗体積 L : 荷重

K : 比例常数 P_0 : 材料の塑性流動圧

材料の硬さを H としたとき $H/3$ 以下の接触圧の場合、 W と H との間に直線関係が得られ、摩耗率は材料の硬さに反比例する。

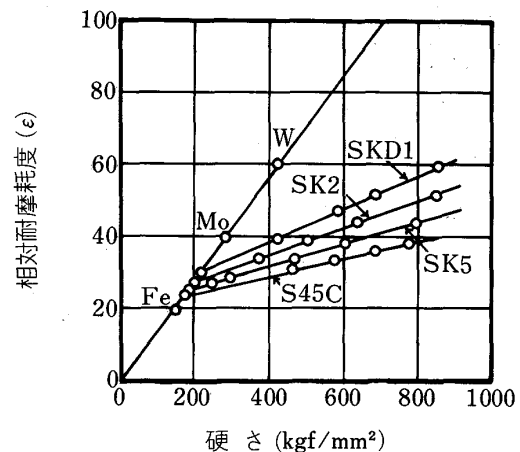


図1 焼入れ焼もどし処理した鋼の相対耐摩耗度と硬さの関係⁵⁾

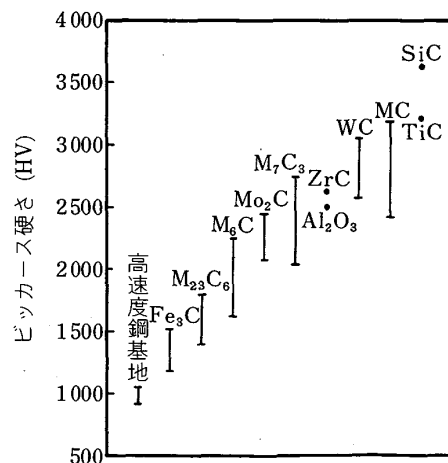


図2 鋼中に存在する炭化物の硬さ⁶⁾

昭和 61 年 12 月 9 日受付 (Received Dec. 9, 1986) (依頼解説)

* 日本高周波鋼業(株)開発部 部長 (Development Dept. Nippon Koshuha Steel Co., Ltd., 3-10-15 Hachimanmachi Shinminato 934)

Key words: die steels; properties; review; blanking dies; die casting dies; die heads; drawing dies; extrusion dies; forging dies; pressing dies; compacting dies.

表 1 代表的な金型用鋼の化学成分

	記号または鋼種	化 学 成 分 (wt%)									適 用
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	V	CO	
冷間金型用	SK3	1.05	0.35 以下	0.55 以下	—	—	—	—	—	—	
	SKS3	0.95	0.35 以下	1.05	—	0.75	—	0.75	—	—	
	SKD11	1.50	0.4 以下	0.6 以下	—	12.0	1.00	—	0.35	—	
	SKD12	1.00	0.4 以下	0.75	—	5.0	1.00	—	0.35	—	
	ハイス マトリックス鋼 A B	0.5~0.7			2 以下	3~6	2~5	1~3	1	0~2	高じん性高速度工具鋼
	フレームハード鋼	0.7	1	0.8	—	1	0.5 以下	—	0.3 以下	—	一例
	真空熱処理鋼	0.8~1.0	1 以下	1 以下	—	5~8	4~6	5~7	1~2	—	真空熱処理鋼
	〃 (AISI-A4)	1		2	—	1	1	—	—	—	
	A 鋼	0.8~1.5			—	8~11	1~3	—	1 以下	—	高温焼もどし鋼
	B 鋼	1.5			—	10~13	1~3	—	1 以下	3 以下	
	SKH51	0.85	0.4 以下	0.4 以下	—	4.2	5	6.1	1.9	—	
	SKH55	0.90	0.4 以下	0.4 以下	—	4.2	5	6.2	1.9	5.0	
	SKH57	1.27	0.4 以下	0.4 以下	—	4.2	3.5	10	3.4	10.0	
	粉末ハイス A	1.35			—	4.0	6.0	6.0	3.5	—	SKH53 相当
	〃 B	1.25			—	4.0	5.0	6.0	3.0	8.0	SKH57 相当
	〃 C	2.00			—	4.0	3.0	3.5	7.0	—	
熱間金型用	SKD4	0.30	0.4 以下	0.6 以下	—	2.50	—	5.50	0.40	—	
	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	—	
	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	
	SKT4	0.55	0.35 以下	0.80	1.65	0.85	0.35	—	—	—	
	AISI-6F4	0.20	0.30	0.70	3.00	3.40	—	—	—	—	析出硬化鋼
	3Cr~3Mo	0.20	0.30	0.70	0.50	3.00	3.00	—	0.50	—	析出硬化鋼
	ハイス マトリックス鋼	0.5~0.6			2 以下	3~5	2~5	1~3	0.5~2	0~2	温間(閉そく)鍛造用

アプレシブ摩耗の場合、摩耗体積 W は次式で示され、
いづれの摩耗も材料の硬さの高いほど摩耗量は減少する

$$W = K \cdot L / H \quad H: \text{材料の硬さ}$$

硬さと耐摩耗性については多くの文献³⁾⁴⁾があり一例を
図 1⁵⁾ に示す。摩耗には硬さのほか焼入れで残存する炭
化物の種類、量、大きさが影響する。各種炭化物の硬さ
を図 2 に示す⁶⁾。炭化物を微細化した粉末高速度工具鋼
(粉末ハイス)を用いた摩耗実験⁷⁾では、摩擦速度が低
速側では、VC 炭化物が多いほど、また高速側では炭化
物総量が多いほど摩耗量は少なくなる (図 3~4)。

粉末ハイスは、自由に成分変更ができるため溶解材よ
り高硬度が容易に得られる。したがって冷間金型用鋼の
耐摩耗性は、SK3→SKS3→SKD11→SKH51→SKH57→
高 V 系 (7~10% V) 粉末ハイスの順に向上する。

2・1・2 じん性

高硬度で使用する冷間金型用鋼は、10 mm R シャル
ピー衝撃値が 2.5 kgf・m/cm² 以下と低く、じん性改善

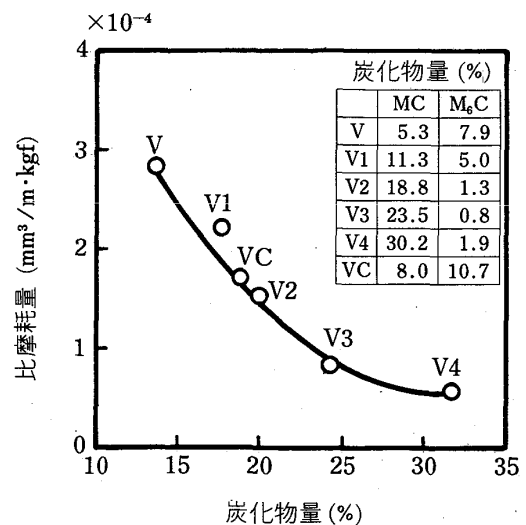


図 3 炭化物総量と比摩耗量の関係⁷⁾(摩擦速度: 2.86 m/s)

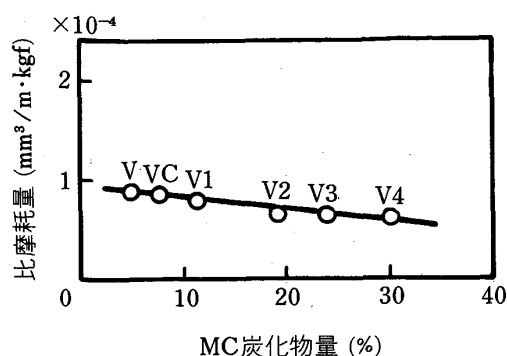


図4 MC炭化物量と比摩耗量の関係⁷⁾(摩擦速度: 0.30 m/s)

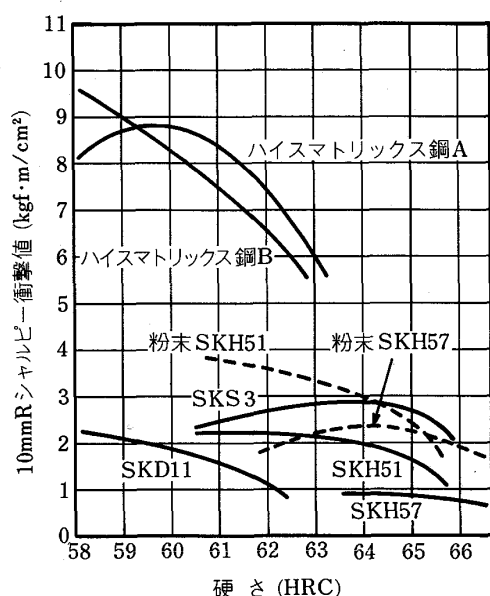


図5 冷間工具鋼の硬さとじん性の関係⁸⁾

は常に底流にあるニーズといえる。じん性は(1)硬さ(2)C量(3)結晶粒度(4)焼入時の未固溶一次炭化物量と大きさ、および分布などに影響される。図5⁸⁾に硬さと衝撃値の関係を示す。粉末ハイスは溶解ハイスの1.5~2倍のじん性を示し、一次炭化物の少ないセミハイス系は、さらに高じん性を有する。清永⁹⁾によると高速度工具鋼において、抗折力は結晶粒度と一次炭化物分布、衝撃値は炭化物分布(偏析度)の影響を強く受けると報告されている。一次炭化物を含む冷間工具鋼の場合、破壊じん性値 K_{IC} は一次炭化物の大きさに無関係で硬さと逆相関の関係が得られている^{10)~11)}。

2.2 冷間金型用鋼の動向

最近の冷間工具鋼は多様化する金型へのニーズのためJIS規格鋼種だけでは対処できなくなっている。例えば、長寿命が要求される金型への粉末ハイスの適用や、じん性向上を目的として開発されたセミハイス(ハイスマトリックス鋼を含む)の出現などが挙げられる。一方普及

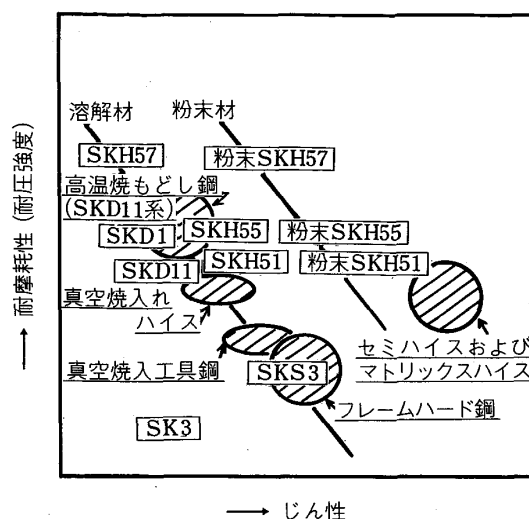


図6 冷間工具鋼の特性図⁸⁾

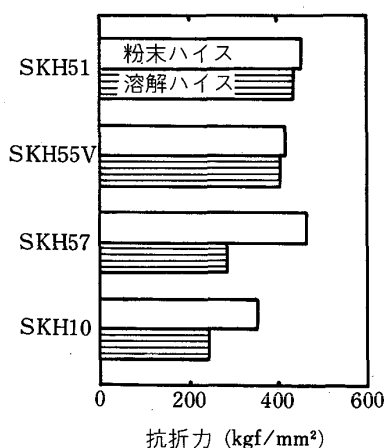


図7 高速度工具鋼の抗折力(横方向)¹²⁾

の著しいワイヤー放電加工に適した鋼種の開発、真空熱処理に適した焼入性改良鋼種の開発なども行われている。図6⁸⁾に各鋼種の特性を概念的に示す。

2.2.1 粉末ハイス

粉末ハイスは、じん性が高く、熱処理変形が少ない特徴がある。通常の溶解材と粉末ハイスでの抗折力の比較を図7¹²⁾に示す。VC炭化物の多いSKH10を除くと、鋼種間のじん性の差は少ない。高じん性を利用して冷間鍛造金型や圧造工具に適用され、高V系は冷間プレス型やロールへの適用が多い。また熱処理変形が少ないためファインブランピングダイにも適する。

2.2.2 フレームハード鋼

火焰焼入れで表面の2~3mmを硬化させSKS3と同等の特性が得られる組成として、0.7C-1Si-0.8Mn-1Cr-0.5Mo以下-0.3V以下の報告¹³⁾があり、各社はこれに類似した成分の鋼種を開発している。このほかSKD12の特性を対象とした鋼種や鍛造金型用鋼¹⁴⁾も供

給されている。一般に、これらは冷間成型および抜型に使用されているが、鋼板の高張力化に伴い絞り型では耐摩耗性の必要から表面処理を行うことが多い。

2・2・3 真空熱処理鋼

金型の高精度化に伴い真空熱処理が増加しているが、一般に焼入時の冷却速度が遅い。高速度工具鋼では焼入冷却過程で M_2C 炭化物が析出し¹⁵⁾¹⁶⁾ 硬さ不足となりやすい。この対策として Mn, Cr または Co の増量による焼入性改善や Si 増量による炭化物析出の抑制が、とられている。また SKS3 に代わる鋼種として AISI の A4 (1C-2Mn-1Cr-1Mo) が自硬性あり真空焼入鋼として採用されている。

2・2・4 高じん性高速度工具鋼

じん性を必要とするプレス金型や冷間鍛造用工具においては粉末ハイスのほか、さらに、じん性を高めた鋼種として、ハイスマトリックス鋼がある¹⁷⁾。Mo 系のマトリックスハイスの組成例を示すと、つぎのとおりである。

SKH 51 : 0.5C-2W-3Mo-4.6Cr-1.0V

SKH 58 : 0.6C-0.9W-4.7Mo-3.9Cr-0.9V

SKH 42 : 0.5C-0.7W-5.0Mo-4.2Cr-0.8V-8.3Co

これらの成分より、0.5~0.6% C, 1~3% W, 2~5% Mo, 4% Cr, 1% V をベースとし目的に応じて Si, Ni, Co を調整した鋼種の開発が多い。

2・2・5 高温焼もどし鋼

焼入時 15~20% の残留オーステナイトを含む SKD 11 は低温焼もどし処理ではワイヤー放電加工の際、受熱による歪みが生じワイヤー切れを生じやすい。このため高温焼もどしが考えられるが、この場合は残留オーステナイトの減少、残留応力の軽減に役立つが十分な硬度が得られず硬さは HRC 58~60 を示す。図 8¹⁸⁾ は SKD 11 と改良鋼の硬さ比較を示す。改良の A 鋼は C, Cr を若干低め、じん性の向上を図り、Mo を増量し二次硬化を強化したものであり、B 鋼は SKD 11 の組成で硬さの改善を図った鋼種で、いずれも高温焼もどしで HRC

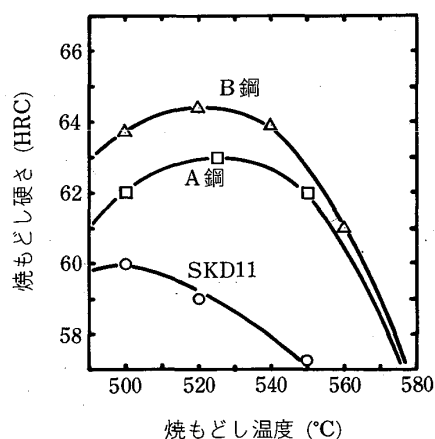


図 8 SKD 11 と A 鋼, B 鋼の高温焼もどし硬さの比較¹⁸⁾

62 以上が得られ、ワイヤー放電加工性も改善できる。

3. 熱間加工用金型

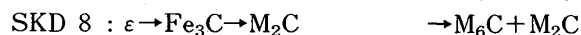
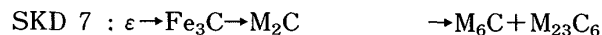
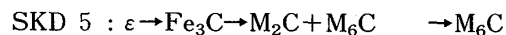
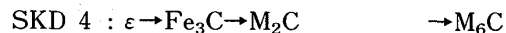
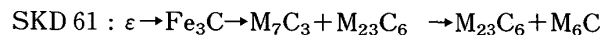
3・1 熱間工具鋼の基本特性

熱間加工用工具には、熱間押出用工具、熱間プレス金型、ダイカスト金型などがある。金型の主な廃却要因と要求特性を表 2 に示す。熱間の場合、工具によつて温度の影響が大きく異なり廃却要因と要求特性の関係を複雑にしている。熱間工具鋼の基本特性としては、(1) 高温強度、(2) 熱疲労性、(3) じん性が重要である。

3・2 必要特性と冶金的因子との関係

3・2・1 高温強度

高温強度は焼入れによつて固溶した基地組成と、基地から焼もどしによつて析出する炭化物の種類や大きさ、分布状態ならびに析出の速度で決まる。炭化物の析出はつぎの炭化物反応で進行する¹⁹⁾。



これらの炭化物反応が遅いほど硬さ低下は少ない。高温強度の比較は軟化抵抗からも把握でき、これを図 9⁸⁾ に示す。熱間の耐摩耗性は硬さと相関がある。

表 2 熱間用金型の廃却原因と必要特性

廃 却 特 性	要 求 特 性	対 象 金 型
(1) 摩 耗	高 温 強 度	熱間押出工具 熱間プレス金型
	軟 化 抵 抗	
	耐 酸 化 性	
(2) 疲 勞 (機械的疲労, 熱疲労)	高 温 強 度	ダイカスト金型 熱間プレス金型 熱間押出工具
	軟 化 抵 抗	
	じ ん 性	
(3) 変 形 (塑性流動)	高 温 強 度	熱間プレス金型 熱間押出工具
	軟 化 抵 抗	

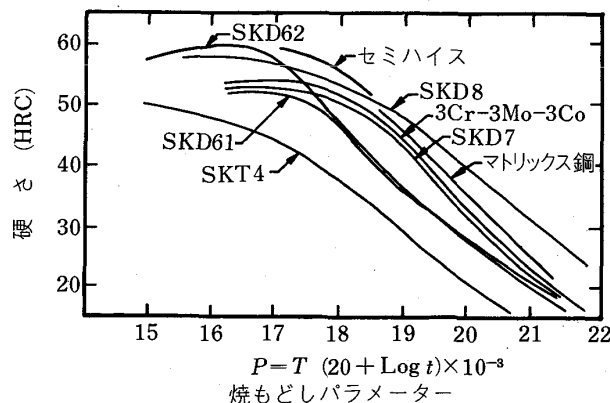


図 9 各鋼種の焼もどし軟化抵抗の比較⁸⁾

3・2・2 熱疲労性^{20)~22)}

工具は加工応力と熱の繰り返しを受け熱疲労が発生する。熱疲労性の向上には、(1) 高温強度およびじん性が高いこと。(2) 熱伝導率が大きく熱膨張率の低いことなどが必要である。硬さが高いほど熱疲労性は良くなるが金型の場合、割れの危険が増大し硬さ増大には限界がある。各鋼種の熱疲労特性を図 10²²⁾ に示す。工具表面の熱疲労クラックは、摩耗や破壊に結びつくので重要な因子である。

3・2・3 じん性

熱間工具鋼の大部分は二次硬化性が強いが、じん性の低下も同時に起こる。二次硬化を超え、硬さが低下し始めると、じん性が回復し硬さと逆相関を示す。図 11 は焼もどしによるじん性の変化を示す²³⁾。また、じん性は焼入冷却速度の影響も受ける。図 12²⁴⁾ は衝撃値、破壊じん性値ともに油焼入材が最高で、冷却速度の低下に伴いじん性が低下する。また、じん性を支配する要因として、複炭化物の分布や密度²⁵⁾ も考えられる。

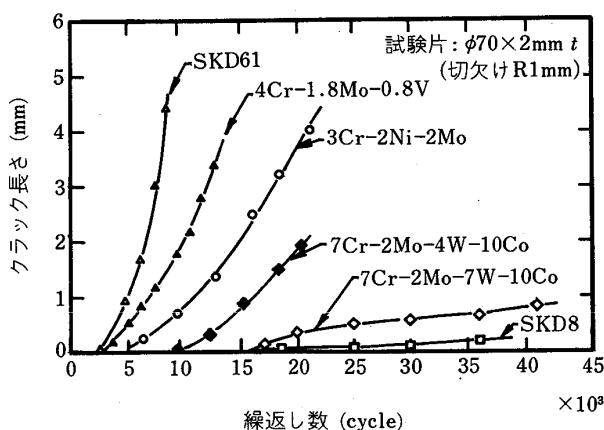


図 10 各鋼種の熱疲労き裂成長曲線²²⁾
(700 $\pm$ 130 $^{\circ}$ C)

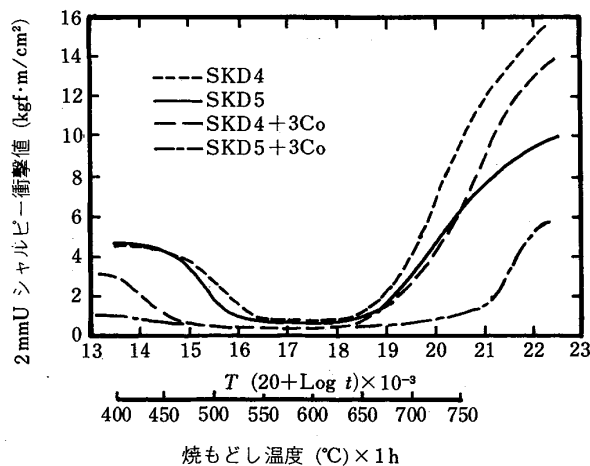


図 11 焼もどしパラメーターと衝撃値の変化²³⁾

3・3 熱間金型用鋼の動向

熱間塑性加工の進歩により、間接押出しや熱間静水圧押出方式が普及してきた。また鋼材の内質面の改善を狙ってじん性を著しく改良した等方性高纯净度鋼や、温間鍛造に適した高じん性高速度工具鋼の開発がある。また Cu, Cu 合金押出用金型材として耐熱鋼や超耐熱合金の採用などが新しい傾向といえる。

3・3・1 等方性高纯净度鋼

熱間工具鋼の飛躍的なじん性改善策として工具鋼の材質の異方性を無くして等方化する製造法が開発された^{26)~28)}。SKD 61 での改善効果は図 13²⁹⁾ に示すように、従来鋼に比べ、じん性が向上するとともに等方性に近づいている。引張試験での伸び、絞り値も同様の向上を示す。これは結晶粒界の強化と結晶粒の微細化によるもので、遷移温度の低下とともに、衝撃値や破壊じん性値の向上が著しい。

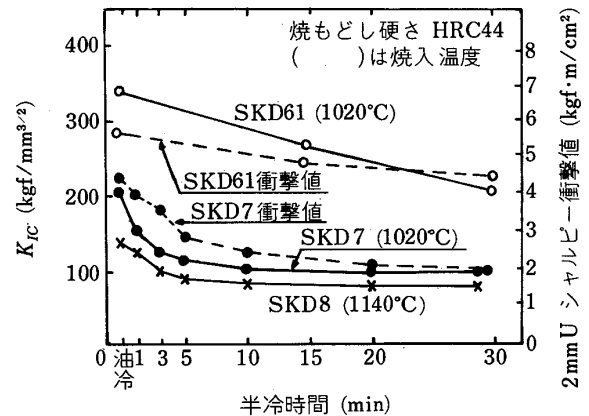


図 12 焼入冷却速度と破壊じん性値および衝撃値の関係²⁴⁾

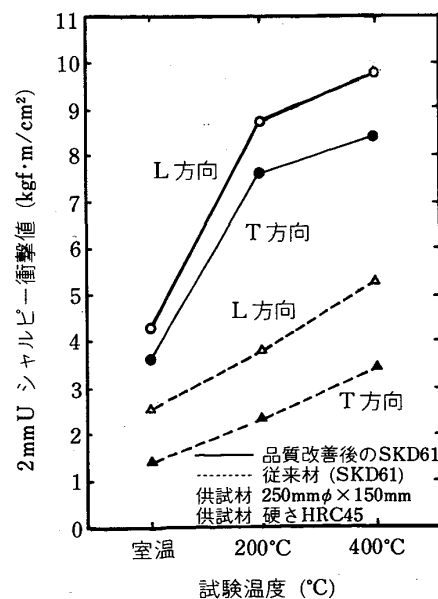


図 13 SKD 61 の従来鋼と等方化改善鋼のじん性比較²⁹⁾

表 3 抽出工具用超耐熱合金その他の鋼種

合金名および 記号	化 学 成 分 (wt%)										用 途
	C	Cr	Ni	Co	Mo	W	Ti	Al	Fe	その他	
A-286 (SUH 660)	0.05	15.0	26.0	—	1.25	—	2.00	0.20	53.6	0.3V 0.015B	ライナー
V-57	0.08	14.8	27.0	—	1.25	—	3.00	0.25	52.0	0.3V 0.10B	ダミブロック ライナー
U-718	0.04	18.6	53.0	—	3.10	—	0.90	0.40	—	15.0Nb 0.01Mg	ダイ・ライナー ダミブロック マンドレル
Stellite	1.00	26.0	—	残	—	5.00	—	—	—	—	ダイ
U-700	0.08	15.0	53.4	18.5	5.20	—	3.50	4.30	—	0.03B	
U-720	0.04	18.0	55.0	15.0	3.0	1.5	5.0	2.5	—	0.03B 0.03Zr	ダイ ライナー
B-300 (マルエージ鋼)	0.03	—	18.5	9.0	5.00	—	0.70	0.40	残	—	マンドレル ステム

3.3.2 超耐熱合金

熱間工具鋼では、焼もどし温度以上の高温にさらされるため超耐熱合金の採用が進んでいる。表 3³⁰⁾ にこれらの鋼種を示す。Cu 合金押出用ライナーには SUH 660 が全面採用され、SKD 8 の 2 倍の高寿命が得られている。熱間静水圧・押出用工具にも一部使用されている。

3.3.3 高じん性高速度工具鋼

鍛造製品の寸法精度向上から温間鍛造が普及しており工具の特性として耐摩耗性が要求される。特性として初期硬さが HRC 55 以上あり、600°C での軟化抵抗に優れ、熱疲労にも耐えることが必要である。高速度工具鋼と熱間工具鋼の中間的特性が要求され、2・2・4 項で説明した Mo 系高速度工具鋼のマトリックス組成のものが使用される。鍛造条件、鍛造温度により工具への熱影響が変わるので、将来とも適材鋼種の開発が進む分野である。

3.4 熱間加工の種類と鋼種の紹介

熱間加工の分野として、(1) 熱間押出し (2) 鍛造プレス (3) ダイカストがあり、新しい分野として (4) 温間 (閉そく) 鍛造 (5) 熱間静水圧押出し³¹⁾ などがある。

3.4.1 押出用工具

使用工具の材質は大部分が SKD 61~62 である。Al 合金の間接押出用ダイシステムの材質は SKD 61 のほか、強度と、じん性が必要な場合には 18Ni マルエージ鋼が使用される。Cu 合金や Ti 合金押出用ダイスにセラミック系 ZrO₂ ダイスが使用され好結果を得ている^{32)~34)}。

熱間静水圧押出用工具の問題点はライナー、ダイスおよびマンドレルにおける摩耗と割れである。ライナーには疲労強度が要求され、SKD 61 または 18Ni マルエージ鋼が使用される。ダイスは耐摩耗性を必要とし、ハイスマトリックス鋼や U-718, René 40 など硬さと高温強度の高い材質を使用する。マンドレルは摩耗と熱疲労を生ずるためダイスと同材質が用いられる。工具寿命の安定化に対し、さらに検討の余地がある。

3.4.2 熱間プレス金型

プレスの自動化、高速化や精密化が進み、従来の SKD 61~62 以上の高性能材が望まれている。耐熱性に優れた SKD 7 をベースとして V1.2% を含む 3Cr-2Mo 鋼が SKD 7 より優れた特性を示すとの報告³⁵⁾ がある。析出硬化鋼として、3Ni-3Mo 鋼³⁶⁾、3Cr-3Mo 鋼が古くから利用され、じん性が必要な大型プレスやフリクションプレス用金型に用いられている。最近では 3Cr-1.8Mo-W-V-Co 鋼の報告³⁷⁾ がある。析出硬化までの初期摩耗防止のため、イオン窒化処理との併用が効果的である。プレス金型は、一般に表面処理により型寿命の延長が図られる。今後はインサート方式の採用や、半熱間から温間への移行、鑄造金型の利用などが進むものと思われる。

3.4.3 温間 (閉そく) 鍛造用金型

温間 (閉そく) 鍛造の普及は目ざましいが、金型寿命の安定化という点では今後の研究に待つところが大きい。金型の寿命要因は、機械的疲労または熱疲労と摩耗および変形のいずれかである。金型の表面温度³⁸⁾ は鍛造材が 800°C の場合には 600°C に達する。金型としては SKD 7 をベースに、C, W, Coなどを増量し耐熱性を上げた鋼種³⁹⁾ や、ハイスマトリックス鋼⁴⁰⁾ およびセミハイスが一般に使用される。また窒化処理などの表面処理により金型の摩耗、焼付きを防止し金型寿命が改善されている。

3.4.4 ダイカスト用金型

溶融温度の高い Cu, Cu 合金用金型には耐熱性のある SKD 4, 6, 8 および 3Cr-3Mo-3Co 鋼が使用される。Al, Mg 合金用金型では、SKD 61 の使用が圧倒的に多い。金型として熱疲労性が重視され、化学成分の影響²¹⁾²²⁾ や焼入冷却速度とじん性に関する報告²⁴⁾⁴¹⁾ があり、また ESR 溶解による品質改善の報告もみられる。鋼質の改善として前述の等方性高純度鋼の開発は従来の ESR 溶解材を凌ぐ特性を有し金型での寿命改善が注目

される。1983 年米国の A.D.C.I. (American Die Casting Institute) ではダイカスト用金型鋼として “Premium grade H-13” の基準を制定⁴²⁾した。変更点は化学成分が P0.020% 以下, S0.008% 以下, C, Cr の下限のアップおよび顕微鏡組織, 非金属介在物を規定し大型型材の焼入性改善と型材質のグレードアップを目指している。金型の長寿命化としてマルエージ鋼が一部使用されるが対アルミ溶損性改善として 0.1C-8Ni-5Mo-5Co 鋼⁴³⁾の開発がある。Al 合金用ダイカスト金型としては, SKD 61 の等方性高純度鋼をベースとして大型型材の焼入性改善または耐熱性向上による熱疲労性の向上を目的とした新鋼種の開発が進むものと推察される。

4. プラスチック用金型

プラスチック用金型は全金型使用量の約 40% を占めており, 金型素材にも多くの鋼種が使用されている。プラスチック用金型鋼としての JIS 規格は無く, AISI に P2~6, 20, 21 が規格化されている程度で, 各メーカーが独自に開発した鋼種が多く用いられている。

4.1 プラスチック用金型への要求特性と冶金的因子の関係

金型への主な要求特性としては (1) 鏡面仕上性 (2) シボ加工性 (3) 耐食性 (4) 耐摩耗性 (5) 被削性 (6) 溶接性 などが挙げられる。鏡面仕上性は製品の平滑度が要求される外装用透明プラスチック製品の成形用金型で重要な特性であり, 鏡面は金型表面の凹凸が光の波長 (0.1~1.0 μm) より小さいことで得られる。鏡面仕上性に影響する要因として, (1) 鋼中の SiO_2 , Al_2O_3 などの非金属介在物や炭化物の量, 粒度 (2) 金型の硬さが挙げられる。非金属介在物などは研磨時に脱落しピットを生成する原因となり, 鏡面仕上げ用金型材料には高度な清浄度が要求される。また, 金型の硬さが低い場合は磨ききずが発生しやすい。図 14⁴⁴⁾に硬さとピット生成量との関係を示す。鏡面性の評価には一定面積でのピ

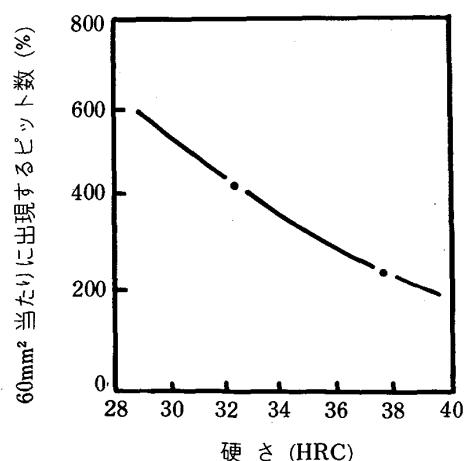


図 14 硬さとピット生起量との関係⁴⁴⁾

ンホール発生数の測定や表面粗さ測定が用いられている。

シボ加工は酸を利用した腐食処理であるが, 局部的に腐食性に差があると, いわゆるシボムラを発生するので, 金型材料には成分偏析の低減が必要である。また, 焼入後の下部組織の不均一もシボムラの原因となり, 微量元素添加による焼入性の向上が図られている。

金型への耐食性の要求は成形される膨脂の種類により異なるが, 樹脂に難燃性を付与するために添加される難燃剤などの熱分解による腐食性ガスの発生によるものが多い。金型材料の耐食性は合金元素量と熱処理条件に影響される。耐食性を向上させる合金元素として Cr, Ni, Mo, Cu, Co などが添加される。Cr は 12% 以上の添加で酸化性環境下で安定な酸化被膜を形成し優れた耐食性⁴⁵⁾を示す。しかし, 還元性ガスが発生する環境下では被膜が不安定となるため耐食性向上のため Ni, Mo などを複合添加されている。一方, 耐摩耗の向上には合金炭化物の存在が不可欠であるが, 炭化物はマトリックスとの間に局部電池を形成するため耐食性を損なう。図 15⁴⁶⁾に SUS410 の耐食性に及ぼす焼もどし温度の影響を示す。500~550°C における Cr 炭化物の析出は耐食性を劣化させるため, 金型の焼もどしには 200°C 程度の低温焼もどしが用いられる。しかし, 樹脂の成形温度が高い場合や精密金型のように残留オーステナイトの分解などによる金型の変寸を問題にする場合には高温焼もどしを採用する。耐食耐摩耗性の評価には腐食環境下での土砂摩耗による減量を測定する方法⁴⁷⁾が用いられている。

プラスチック用金型は加工度が高く被削性は重要な特性である。簡便な被削性の評価方法としてドリルによる穴明け個数の比較などが用いられている⁴⁸⁾。鋼の被削性と金属学的因子との関係は他の資料を参照された

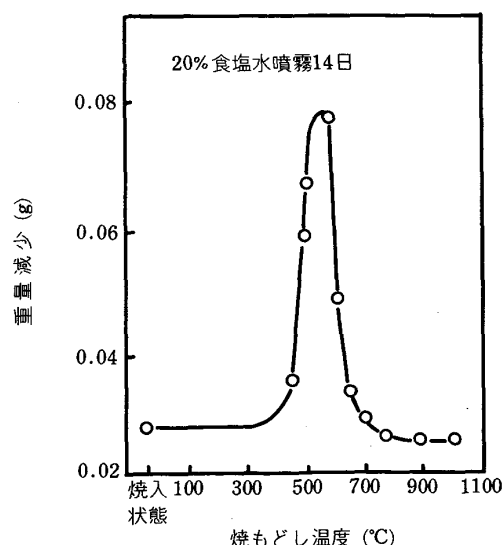


図 15 SUS410 の耐食性に及ぼす焼もどし温度の影響⁴⁶⁾

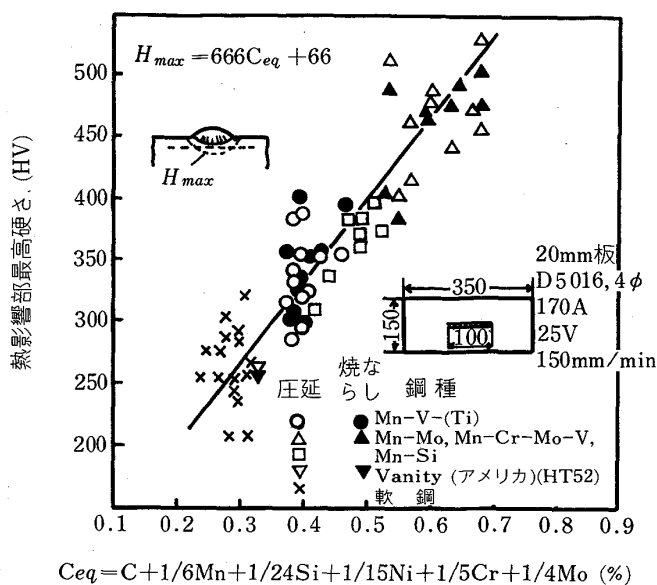


図 16 各鋼種の炭素当量と熱影響部の硬さとの関係⁵⁰⁾

い⁴⁹⁾。

プラスチック用金型は設計変更や加工ミスの場合、溶接補修を要するが、化学成分としてCが0.5~0.8%と高く溶接性は悪い。さらに母材の熱影響部は焼入硬化し、溶接割れやシボムラの原因となる。図16⁵⁰⁾は炭素当量と熱影響部の硬さとの関係を示す。

4.2 プラスチック金型用鋼の動向

4.2.1 SC鋼, SCM鋼

金型の大半は、これに属しSC鋼は焼ならし歪みとり焼もどし、またSCM鋼は焼入れ焼もどしで供給される。硬さはSC鋼でHS30, SCM鋼でHRC30前後である。SCM鋼の溶接性改善が今後の課題である。

4.2.2 析出硬化鋼

硬さHRC40に熱処理したプレハードン鋼で供給されるが被削性改善としてS添加が多い。一例として0.13C-1.5Mn-1Cu-3.2Ni-0.3Mo-1Al-0.1Sの報告⁵¹⁾がある。NiAlの析出硬化に関する研究は多いが⁵²⁾⁵³⁾, NiAlの固溶と析出に可逆性があり溶接性に優れている。鏡面度の要求に対してS無添加の材料も供給されている。

4.2.3 SKS鋼, SKD鋼

SKS3, SKD11, 12, 61の工具鋼が耐摩耗性を必要とする金型に適用されている。SKD11は共晶炭化物が大きく鏡面性に劣る。共晶炭化物がなく、焼入性や不変形性に優れたSKD12が多用されている、半導体樹脂封止金型にも使用されるが樹脂中のSiO₂が多いため耐摩耗性向上の要求が強い。

4.2.4 マルテンサイト系ステンレス鋼

SUS420J2と440Cが代表鋼種で、使用硬度は420J2でHRC54, 440CでHRC58程度である。いずれも

ESRまたはVIM溶解で製造される。420J2の硬さ、ならびに440Cでの高温焼もどし硬さの改良が課題となっている。

5. 射出成形機用部品

プラスチック射出成形機は、プラスチックを加熱溶融し可塑化して金型に高压で射出する機能を持つ。樹脂に直接接触するシリンダーとスクリーには特殊鋼が使用され、これらは樹脂が分解して発生する各種腐食性ガスに耐え、かつ樹脂とのアブレシブ摩耗およびスクリー、シリンダー相互の凝着摩耗にも耐える必要がある。

一般にシリンダーは窒化鋼、スクリーにはSCM鋼に硬質Crめつきを施したものが多く、近年のエンジニアリングプラスチックに対して特に耐食耐摩耗性が要求される^{54)~57)}。ふつ素系樹脂や難燃材を含んだ樹脂では腐食性ガスで短期間に減耗し、また、ガラス繊維、グラファイト、Al₂O₃, SiO₂などの添加樹脂では摩耗が早い。一般の窒化鋼では耐食性、またCrめつきではピンホールからの局部腐食発生で腐食と摩耗が相乗的に進行し表面層が消失したあとは、摩耗が加速的に進行する⁵⁶⁾⁵⁸⁾⁵⁹⁾。

これらの対策としてスクリーでは素材そのものに耐食耐摩耗性のある材料を使用する方法と被覆法とがあるが前者の適用が多い。この用途には一般にSKD11やSUS440Cを充当する。特にテフロン成形など耐食性が重要な場合には、ハステロイなどの超合金も用いられ、これらを改善した合金が開発されている⁵⁸⁾⁶⁰⁾⁶¹⁾。被覆法には溶射^{62)~64)}としてステライト、コルモノイが用いられ⁶⁷⁾、さらに他の合金や⁶⁵⁾、WCを含んだ合金の開発⁶⁶⁾も行われている。

シリンダーはSCM系鋼種の内面に耐食耐摩耗合金を張りつけたバイメタリックシリンダーが開発され窒化鋼製シリンダーの性能を上回るものが実用化されている^{56)68)~70)}。インレイ合金としては耐摩耗のFe-Ni(Cr)-B合金と、耐食耐摩耗を兼ね備えたNi基、CO基、Ni-CO基合金にCr, Bを添加したものが主流である。さらに高度の耐摩耗性に対しては、WC, FeCrB, NbC, などの粒子を分散したものが開発されている⁵⁶⁾。これらのシリンダーの多くは遠心鑄造法により製造⁶⁸⁾されているが、最近、熱間静水圧プレス(HIP)を用いたシリンダーも開発されてきた⁷¹⁾。耐食性に優れたハステロイの強度不足を補うため冷間加工後に焼ばめするシリンダーも開発されており、インレイ合金の研究と並行して製造法の開発も盛んに行われている。

6. 金型への表面処理の適用

表面処理の効果として耐摩耗性、耐焼付き性、高温強度、耐食性、離型性などの改善が挙げられるが、金型の用途別に、最近の表面処理の動向について述べる。

冷間金型では表面処理により、耐摩耗性、耐焼付き性を向上させ寿命改善の効果が得られる。表面処理としては各種の窒化処理および TiC, W_2C , TiN などを被覆する CVD, PVD 処理, VC, TiC, Cr 炭化物の被覆処理などが採用されている。用途は金型成形の打抜型、プレス型、転造ダイス、ロールなどで焼入れ焼もどし後、処理される。近年、炭化物被覆処理で窒化処理よりも硬さ、摩耗特性などで優れた実績例が多い。

熱間金型に対しての要求特性は冷間金型と同様であるが、さらに高温強度、軟化抵抗や、離型性の向上、被加工材との濡れ性の改善などが大きな特徴である。表面処理は窒化処理が主体で、温間、熱間プレス金型、押出用工具および Al ダイカスト金型などに広く採用されている。プラスチック成形金型においては表面処理による改善効果は、耐摩耗性、耐食性、離型性が求められる。耐食耐摩耗の要求される金型では SKD 11 に硬質 Cr めつきを施す場合がある。耐摩耗性向上のため、プレハードン鋼や、SKD 11 製金型にガス軟窒化し寿命改善の得られた例がある。しかしガラス入りの樹脂成形や、プラスチック磁石の成形において窒化処理では不十分であり CVD などの炭化物被覆処理が摩耗の点で効果がある。特にプラスチック用金型では処理時の変形、表面仕上性に注意を要する。

表面処理の最近の技術では、(1) 新しい窒化法としてのイオン注入法⁷²⁾、酸窒化処理法⁷³⁾、浸硫窒化処理、(2) CVD, PVD による W_2C ⁷⁴⁾、 Al_2O_3 ⁷⁵⁾、TiN などの新しい被覆材料のコーティング、(3) プラズマ CVD⁷⁶⁾、(4) 各種複合めつき⁷⁷⁾、(5) 溶射、(6) レーザー処理による表面改質などが金型の表面処理法として期待されている。

イオン注入法は、窒素などの高速イオンを基材に打ち込み、表面硬度、耐摩耗性を向上させるが、その特徴は処理が 200°C 以下でできる点にある。

CVD, PVD の被覆材としては、TiC, VC, TiN の他に W_2C , Al_2O_3 などが実用化され、 W_2C は金型に適用され効果が得られた⁷⁴⁾。 Al_2O_3 は熱的摩耗に TiC よりも効果が得られる⁷⁵⁾。プラズマ CVD は処理の低温化が図られ、熱処理変形の軽減や再熱処理の省略、適用鋼種の拡大が図られる。

複合めつきは Ni, CO などの金属マトリックスに SiC などの耐摩耗粒子、 MoS_2 などの潤滑性粒子、 SiO_2 などの耐食性粒子を分散させる。使用目的に応じ金属と分散粒子にさまざまな組合せが可能であるが耐食、耐摩耗性の要求されるプラスチック射出成形機用部品への適用が検討されている。

溶射法では Ni 基や Mo などの金属や Al_2O_3 , ZrO_2 , TiC などのセラミックスを被覆することで耐摩耗、耐焼付き性を改善する。現在では被覆の密着性に問題があり、プラズマ法、減圧内アーク法、アングコート法、水

ジェット法などの溶射法の開発や、処理条件の検討により改善が進んでいる。冷間の絞り型に、Ni 基合金、Mo を溶射法により被覆し大幅な寿命改善が得られた報告⁷⁸⁾がある。

7. おわりに

金型用鋼の範囲は極めて広く、本稿では十分にいい尽くすことができなかつた。今後の動向としては、等方性高純度鋼にみられる基本的な品質改善の進歩が期待されるすう勢にある。一方、多様化するニーズに適合した金型材料の検討や開発も急テンポで進むものと予想される。

文 献

- 1) T. S. EYRE: Tribology, **9** (1976), p. 203
- 2) J. F. ARCHARD and J. APPL: Phys., **24** (1953), p. 981
- 3) A. S. WOOD: Wear, **4** (1961), p. 311
- 4) 第 20 期摩耗研究会, 日本潤滑学会第 3 報 (1976)
- 5) M. M. KRUNSCHOV and M. A. BABICHEV: Trans. of Friction and Wear in Machinery, **19** (1965), p. 655
- 6) P. L. EWING: Trans. Am. Soc. Met., **44** (1952), p. 348
- 7) 平野 稔, 辻 克巳, 本間克彦, 藤木引文, 立野常男: 粉体および粉体冶金 **25** (1978), p. 258
- 8) 井上茂保: 未発表
- 9) 清永欣吾: シンポジウム, 鋼の強靱性 (日本鉄鋼協会, 日本金属学会編) (1971), p. 207
- 10) K. J. ERIKSSON: Scand. J. Metall., **2** (1973), p. 197
- 11) L. R. OLSSON and H. F. FISCHMEISTER: Powder Metall., **28** (1978), p. 13
- 12) 辻 克巳, 本間克彦, 平野 稔, 立野常男: 鉄と鋼, **6** (1977), p. 415
- 13) 伊藤 守: 特殊鋼, **33** (1984), p. 17
- 14) 大蔵 宏: 特殊鋼, **33** (1984), p. 24
- 15) P. H. L. EWING: Met. Prog., **100** (1971), p. 86
- 16) 浅井武二, 山岸憲一郎, 江淵清和: 鉄と鋼, **59** (1973), S250
- 17) T. B. SMITH and N. H. MCBROOM: Iron & Steel Special Issue (1968), p. 56
- 18) 井上茂保: 特殊鋼, **32** (1983), p. 18
- 19) 西村富隆: 鉄と鋼, **53** (1967), p. 116
- 20) 邦武立郎, 加藤 直: 鉄と鋼, **54** (1968), p. 572
- 21) 上原紀興, 並木邦夫: 鉄と鋼, **67** (1981), S581
- 22) 森 時彦, 細見広次, 保前正夫: 鉄と鋼, **70** (1984), S1272
- 23) 西村富隆: 鉄と鋼, **53** (1967), p. 28
- 24) 奥野利夫: 鉄と鋼, **69** (1983), p. 655
- 25) 奥野利夫: 鉄と鋼, **69** (1983), p. 20
- 26) 三島 進: 型技術, **1** (1986), p. 93
- 27) 紺谷良成: 特殊鋼, **3** (1986), p. 66
- 28) 松田幸紀, 須藤興一: 電気製鋼, **57** (1986), p. 181
- 29) 井上茂保: 未発表
- 30) R. S. CREMISIO, J. W. PRIDGEON and D. W. MILLS: Hot Work Materials Processing and Metallurgy for Hot-Extrusion Applications (1982), p. 6 [Special Metal Corporation]
- 31) 西原正夫, 野口昌孝: 神戸製鋼技報, **31** (1981), p. 20
- 32) R. S. CREMISIO, J. W. PRIDGEON and D. W. MILLS: Hot Work Processing and Metallurgy for Hot-Extrusion Applications (1982), p. 34 [Special Metal Corporation]
- 33) S. T. GULART, J. D. HELFINSTINE and A. D. DAVIS: Ceramic Bulletin, **59** (1980), p. 211

- 34) S. T. GULART, J. N. HANSSON and J. D. HELFINSTINE: *Met. Prog.*, **12** (1984), p. 21
- 35) L.-A. NORSCREN: *Scandinavian J. Metall.*, **11** (1982), p. 33
- 36) R. B. CORBETT, J. A. SUCCOP and A. FEDUSKA: *Trans. Am. Soc. Met.*, **46** (1954), p. 1599
- 37) 奥野利夫: 鉄と鋼, **68** (1982), p. 315
- 38) 湯浅紘二, 岡本治郎: 塑性と加工, **22** (1981), p. 133
- 39) 温間閉そく鍛造の研究, 現状と問題点 ((財)鍛造技術研究所編) (1983年4月)
- 40) 小島久義: 電気製鋼, **55** (1984), p. 265
- 41) 上原紀興: 電気製鋼, **52** (1981), p. 165
- 42) ADCl/DCRF Proc. Technical Meetings. & Forum No.01-83-02D (1983年7月)
- 43) 上原紀興: 電気製鋼, **48** (1977), p. 45
- 44) 吉田勝彦: 特殊鋼, **22** (1973), p. 26
- 45) H. KAESHE: *Stahl Eisen*, **70** (1950), p. 596
- 46) 渡辺敏幸: 熱処理, **18** (1976), p. 95
- 47) 小川喜代一: 合成樹脂, **24** (1978), p. 5
- 48) 楓 博: 特殊鋼, **32** (1983), p. 43
- 49) 山本俊郎: 熱処理, **13** (1973), p. 144
- 50) 金属学ハンドブック (1965), p. 546 [朝倉書店]
- 51) 渡辺敏夫: 電気製鋼, **45** (1974), p. 44
- 52) 吉川徹: 日本金属学会, **29** (1965), p. 34
- 53) J. B. SEABROOK: *Met. Prog.*, **2** (1961), p. 80
- 54) 飯田 惇: 特殊鋼, **30** (1981), p. 18
- 55) 檜作克好: 特殊鋼, **33** (1984), p. 30
- 56) 荒木田豊, 三浦 毅: 機械技術, **32** (1984), p. 56
- 57) O. KT: *Soc. Plast. Eng. Annu. Tech. Conf.*, **39** (1981), p. 661
- 58) 荒木田豊, 近藤嘉一: 金属, **53** (1983), p. 13
- 59) 佃 昇: プラスチック, **36** (1985), p. 40
- 60) 小高根正昭: 金型ニュース, **27** (1986), p. 7
- 61) 吉田勝彦, 三島 進: 工業材料, **29** (1981), p. 96
- 62) E. LEHMANN and H. SALZMANN: *Kunststoffe*, **62** (1972), p. 10
- 63) M. NAITOVE: *Union Carbide Technical Report* (1978年2月)
- 64) G. THURSFIELD: *Modern Plastics*, **52** (1975), p. 94
- 65) W. W. McCANDLESS and W. D. MADDY: *Plastics Technol.* (1981) Feb., p. 92
- 66) Solve barrel and screw wear problems with Tungstem Carbide Composites, *Plastic Technol.*, (1985) Sep., p. 30
- 67) J. R. DOLE: *Moter Finish Inject Molds* (1984), p. 17
- 68) 大谷雲堂: プラスチック, **34p.** 60
- 69) K. D'BRIEN: *Plastics Technol.* (1983) Feb., p. 73
- 70) 田中守通: 日立評論, **6** (1972), p. 54
- 71) 河合伸泰: 粉体粉末冶金協会, 昭和 61 年春季講演概要集 (1986), p. 72
- 72) 岩本正哉: 鉄と鋼, **71** (1985), p. 1734
- 73) Z. ROGALSKI: *Heat Treatment*, **76** (1976), p. 21
- 74) 紀田兼昭: アルトピア, **7** (1985), p. 20
- 75) T. HOLE: *Conference on Cutting Tool Mater.* (1980), p. 9
- 76) 宮下文彬: 日本金属学会, 講演概要, **4** (1986), p. 383
- 77) 合成樹脂 (特集耐食耐摩耗用金型めつき), **30** (1982)
- 78) 月岡良介: 日産技報, **14** (1979), p. 161