

## 最近の冷間鍛造と材料

解 説

澤 辺

弘\*

## Recent Contributions of Work and Tool Materials for Cold Forged Products

Hiromu SAWABE

## 1. ま え が き

最近、冷間鍛造業界では多品種少量生産にたいする技術的な対応が叫ばれ、その一環として鍛造による付加価値の増加、高精度化、形状の複雑化の傾向が顕著となり、今まで主眼としていた粗形材の合理化から、材料から完成品にいたる総合的な工程の短縮と原価低減にたいする対応性が今後の課題として浮上してきた。それにともなって被加工材、工具材など材料にたいする要求が多様化している。

冷鍛技術は導入以来約 30 年の間に表 1 にしめすような過程で順調な発展を遂げ、わが国固有の技術として再構築された。その背景には型材料、型の表面処理、被加

工材料、潤滑処理、プレス機械など鍛造をとりまく周辺技術の長足な進歩が貢献するところが大きい。ここでは最近の鋼材および金型材料と冷間鍛造とのかかわりについて整理することにした。

## 2. 冷鍛品にたいする要望

表 2 にしめすように被加工材料はその製造方法に順次新しい技術を導入し、自動車産業などおもに冷鍛品の利用分野からの要請に対応した態勢づくりが進み、その上に立って冷鍛品もさらに適用範囲を拡大してきた。現在、冷鍛品にたいして需要家から要望されている問題について、あるていど対応が終わっているものから列記すると次のようになる。

表 1 日本における冷間鍛造の発展過程

年代	1950 ⇨ 1955	1955 ⇨ 1960	1960 ⇨ 1965	1965 ⇨ 1970	1970 ⇨ 1975	1975 ⇨ 1980	1980 ⇨ 1985	1985 ⇨ 1990
環境	戦後復興期 工業立国政策	自動車生産の制 限解除	自動車の基幹産 業化	QC 思想の導入	第一次石油危機	第二次石油危機 ニクソンショック	TQC の確立	円高不況・景気 回復
経過	冷鍛技術の小規 模工業化	冷鍛専門工場の 出現・各社冷鍛 部門新設	自動車部品の冷 鍛化	冷鍛利用分野の 拡大・定着	冷鍛品の大型化	他工法との複合 と温鍛化	多種少量生産	熱温冷鍛造技術 の融合 合理的生産の追 求
適用	自転車部品 紡機部品 袋ナット	オートバイ部品 スピーカー部品	小型自動車部品 ベアリング内外 輪	カメラ小物部品 小型ポンベ スブライン軸	大型自動車部品	高精度部品	内外歯車類 異形軸状部品	スパイラル歯車 非対称部品
目的	材料節減 施盤⇨冷鍛	大量生産指向 低コスト生産	仕上げ工数節減 熱鍛⇨冷鍛	冷鍛工程短縮 鍛造コスト節減	冷鍛設計の採用	合理的生産方式 への組込み	複雑形状の冷鍛 化 付加価値の追求	冷鍛品=製品
材料	低炭素規格鋼の 供給・介在物の 減少	低炭素合金鋼	中炭素合金鋼 軸受鋼 アルミ合金	冷鍛仕様材生産 連鑄技術開発	線材品質向上 雰囲気焼鈍普及	特定用途鋼の供 給	炉外精錬鋼の普 及	線材の大型化
重量	≤0.1 kg	0.1~0.3 kg	0.3~0.5 kg	0.5~2.0 kg	≤15 kg			
プレス	ナックルプレス マイ・プレス (≤200 t)	ナックルプレス クランクプレス (400 t)	冷鍛専用プレス (600 t)	プレスの多段化 コールドホーマ (材径≤24φ)	高速油圧プレス (2 500 t)	トランスファ化 リンクプレス (800~1 000 t)	長ストローク化 リンクプレス (≥1 000 t)	ホーマの大型化 温間ホーマ (材径 60φ)
加工法	後方押出・圧印	基本工程の組合 せ	多工程の複合化	多方向押出し	基本工程再検討	冷鍛・熱鍛⇨温 鍛	閉塞鍛造	工程・型の CAD システム 構築利用

平成元年 8 月 9 日受付 (Received Aug. 9, 1989) (依頼解説)

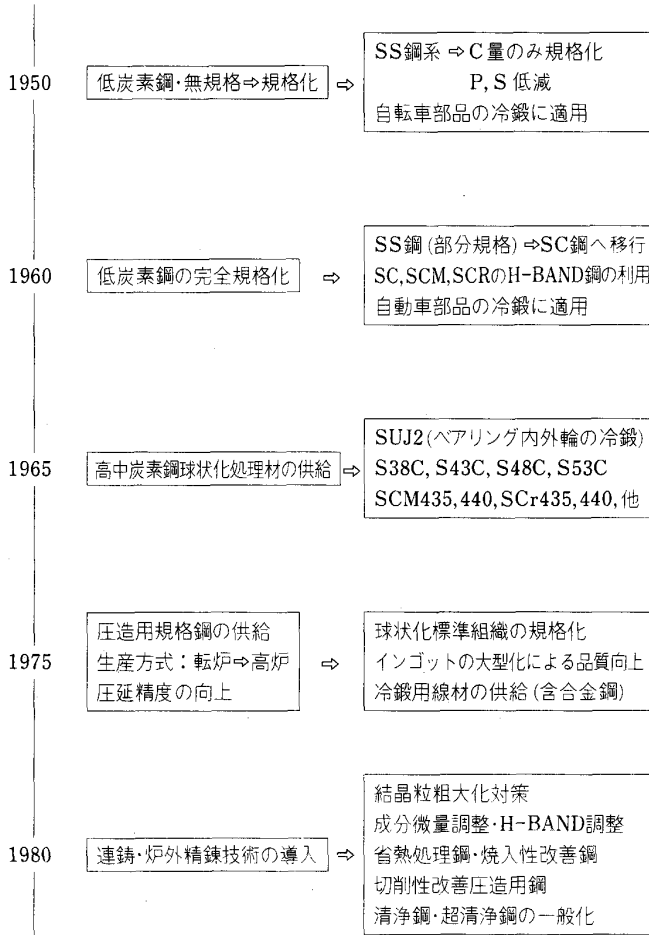
\* 冷間鍛造(株)取締役社長 (Cold Forming Co., Ltd., 3-186 Mihashi Omiya 330)

Key words : cold forging ; warm forging ; powder forging ; work material ; tool material ; surface treatment ; forged property ; forged accuracy ; machinability ; surface defect.

2-1 切削性の改善

材料の被削性と塑性変形能とは互いに相反した性質で、鍛造品の仕上げ加工においてつねにクレームの対象となってきた。冷鍛品は焼ならし処理なしで行う仕上げ切削が多く、表面付近は鍛造時の高温、高圧による変質硬化層があって、工具の損耗が激しく加工精度の維持が困難となる。一般に 0.5 mm 以上の切削代をつけることにしているが、材料の節約からできるだけ取り代を少な

表 2 冷鍛用鋼材改良経過



くしたい。

とくに歯切、ブローチ、タップ、ドリルなどの加工では処理しやすい切粉形状が要望され、NC化が進むにつれて材質そのものの被削性の改善が一段と問題となってきた。このようなときは、鉛快削鋼の冷鍛品が要求されるが、写真1のようにファイバフローに沿ってクラックが発生し、以後の成形で大きな割れに発展する原因となる。とくに内部割れの危険が大きいのは致命的な不安要因である。快削鋼で冷鍛を安全に行うためには成形限界について詳細なデータの蓄積が必要であり、さらに冷鍛性と切削性を共存する材料が研究されてきた。

鉛快削鋼については、たとえば QLTS 鋼(山陽特殊製鋼)のように、S含有量をきわめて微量に制御した清浄鋼に、微量の Pb を微細かつ均一に分散した切削性改善圧造用鋼が開発されている<sup>1)</sup>。この材料のドリル試験の結果と切粉形状を表3に示す。非金属介在物と切削性改善のための添加元素の形態と分布状態の冷鍛性におよぼす影響がかなり大きいとおもわれる。

2-2 熱処理変形の抑制と均一化

写真2のような歯形、ワンウェイクラッチの軌道面、球面による連結部、スプラインなど、冷鍛成形した部分を熱処理したままで使用する製品では熱処理変形による

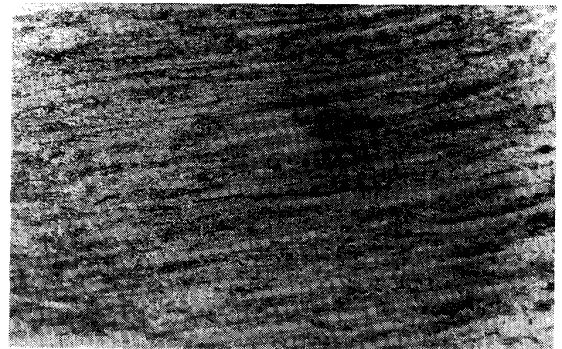


写真 1 鉛快削鋼の前方押し出し軸の内部クラック (SCM21L, 押し出し比=4.65 押し出し半角=45°)

鋼種	S (%)	Pb (%)	硬さ (HB)	穿孔時間 (s)	工具寿命 V60 (m/min)	V60比	切屑形状		
							100m/min	150m/min	200m/min
基本鋼	0.013	—	156	8.48	65.1	100			
QLTS	0.005	0.024	157	8.25	67.9	104			
QL	0.018	0.026	156	7.70	69.5	107			
TL	0.017	0.064	154	7.57	75.1	115			

穿孔時間: ドリルで 10 mm 穿孔するのに要した時間  
 工具寿命: 旋盤でハイス工具寿命が 60 min になるときの切削速度  
 V60 比: 基本鋼の V60 値を 100 としたときの他の鋼種の V60 値の比  
 TL: 低炭低鉛快削鋼

表 3 極低鉛快削鋼の切削試験 (山陽特殊製鋼: QL, QLTS 鋼)

精度の低化が問題となる。たとえば歯車類のように熱処理変形のばらつきを考慮すれば金型の摩耗代を見込めないような厳しい公差を要求される製品がすくなくない。このような製品にたいして、熱処理変形の絶対量を小さくするとともに材料ロッド、熱処理ロッドによるばらつ

きを均一化するために、図1のように焼入性能曲線の幅を HRC $\pm$ 2 に制御するような微細範囲の成分設計を行った材料を用いて安定生産にのせることができた(三菱製鋼:FM 鋼シリーズ)<sup>2)</sup>。

### 2.3 高周波熱処理への転換

製品の熱処理コストの低減を目的として今までの浸炭焼入れに替えて高周波焼入れを採用するケースがしだいに多くなっている。たとえば歯車、スプライン軸はすでに部品設計の段階で合金肌焼鋼(SCM415H など)から合金強靱鋼(SCM435 など)に変更されている。冷鍛加工度によっても異なるが、原則として C $>$ 0.3% の材料は冷鍛前に球状化焼なましが必要で、鍛造形状が複雑になるにしたがって均一組織でかつ球状化率 80% 以上の素材が要求される。球状化焼なまし時間の短縮、あるいは通常の低温焼なまし(LA)で成形が可能な材料が要望されている。

鍛造からの取組としては、摩擦圧接を利用して鍛造性のよい部分と熱処理が必要な部分にそれぞれ適当な材質をえらんで素材段階または鍛造後に結合する方法が試みられてきた(図2)<sup>3)</sup>。しかし、接合部位の強さにたいする信頼性の評価からまだ一般的な方法として確立していない。一体構造のものについては写真3の等速ジョイントのハウジングにみられるように、700°C 付近での温間鍛造で粗成形を行い LA 後に加工度の小さい冷鍛で精度の向上をはかる方法が一般化されているが、温間域における型材料、潤滑処理などに問題が残っている<sup>4)</sup>。

材料からの取組としては、日産自動車などによって開発された低炭素強靱鋼のように、C 量の低減による LA 化、強靱鋼の機械的性質の保存、高周波焼入性を保証する成分元素(B)の添加の方向で開発がおこなわれ

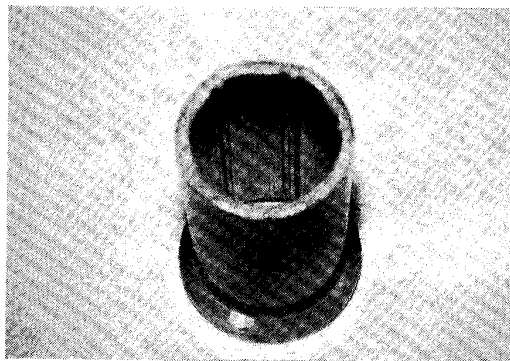
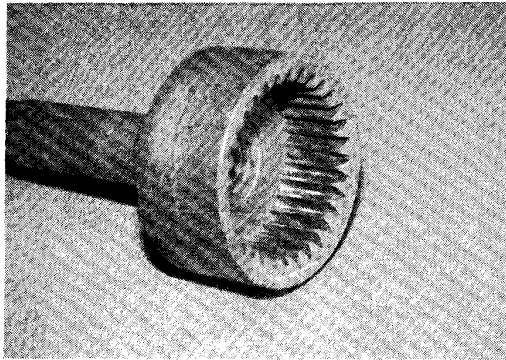


写真 2 熱処理後の冷鍛精度を要する部品

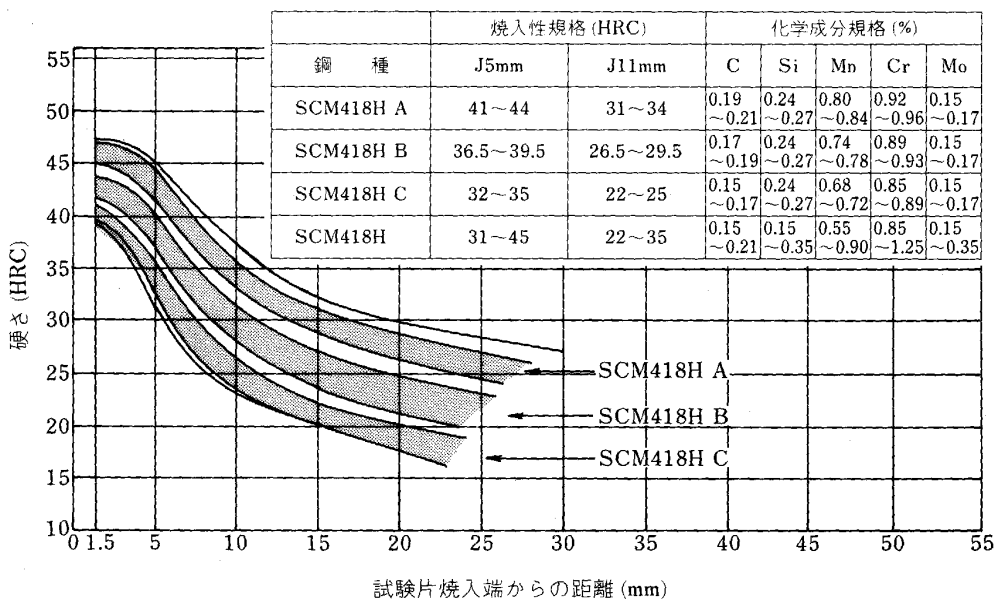


図 1 化学成分による焼入性能曲線の制御(三菱製鋼(株):SCM418H)

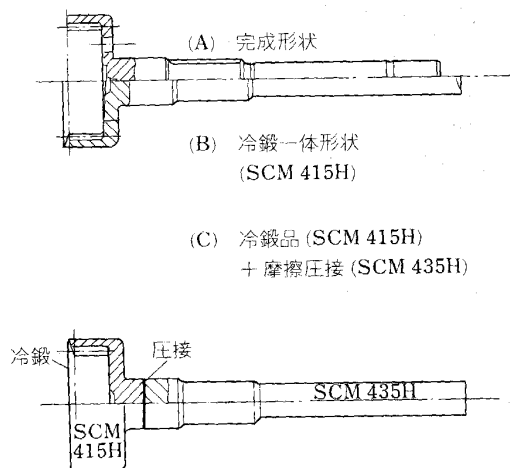


図 2 軸部品の摩擦圧接による合理化 (SCM415H-SCM435H)

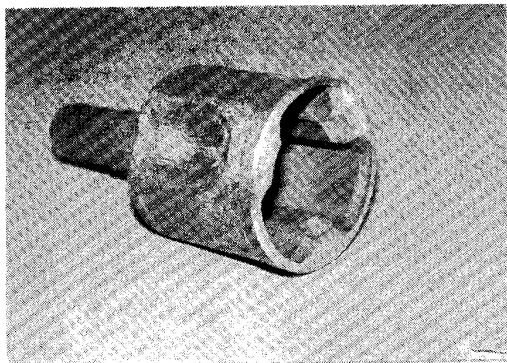


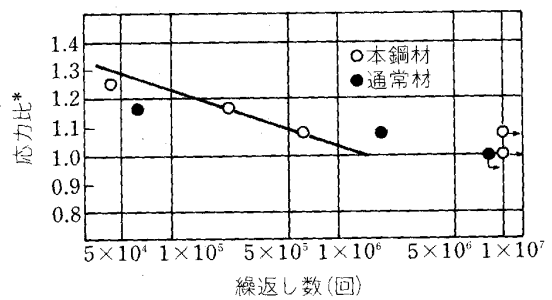
写真 3 温間鍛造-冷間サイジングによる成形

た<sup>5)</sup>(図3)。

表面焼入性を保証するためには鍛造品の表面の脱炭深さが問題となる。鍛造品に要求される脱炭許容深さは表4<sup>6)</sup>のように0.05mmとされているので、素材段階ではごくわずかしが許されない。現在仕様取決めのために熱延材で保証される全脱炭深さは棒鋼で0.3mm、線材で0.2mmで、とくに熱管理を行って圧延したものでも0.15~0.2mmといわれている。成形による鍛造品各部の脱炭層の厚さは素材よりも増減する。しかし冷鍛における工程間の歪みとり焼なましや温鍛における加熱の影響が付加されるので、製品の表面硬さを保証するためには冷間引抜き材やピーリング材を使用せざるを得ない現状であるが、原価低減のためには圧延材で対処したいところである。

2.4 製品熱処理の省略

中炭素鋼の冷鍛品の調質を省略するために、ボルト類に適用している熱処理省略鋼を拡大利用する要望が出ている。以前から冷間鍛造の特長として、加工硬化の利用が強調されてきたが、実際の製品にたいしてはあまり応用されていないようである。この方面ではSAE1524を



疲労試験結果  
\*応力比  $\delta/\delta_W$  ( $\delta_W$ : 通常材の疲労限  $\delta$ : 試験応力)

		化学組成 (wt%)						
		C	Si	Mn	P	S	Cr	B
本鋼材		0.25	0.10	0.60	0.006	0.005	0.40	0.0016
通常材		0.43	0.21	0.74	0.013	0.016	0.10	—

図 3 冷鍛用低炭素強靱鋼の一例 (日産自動車(株) 第二技術部による)

表 4 熱処理の種類と鍛造品の脱炭許容深さ

熱 処 理	許容脱炭深さ (mm)
高周波焼入れ	0.05
焼入焼もどし	0.10
浸炭焼入れ	0.30

用いて耐力規格値で81kgf/mm<sup>2</sup>のショックアブソーバーの管状部品を量産した実績がある(三菱製鋼宇都宮製作所)。現在では加工硬化に寄与する成分量を調整して使用目的に適した材料をつくるのが可能なのでこの分野の製品開発が期待される。鍛造欠陥の発生頻度と鍛造限界を改善し冷鍛性のよいものとするためには、現在JIS, No. 8以上としている結晶粒度のさらに細かい制御が必要と考えている。これにともなう成形圧力の上昇にたいしては型材料の耐力、靱性の水準をさらに向上する必要がある。

鍛造からの取組としては製品全体に均一な変形をあたえる工程計画をおこなって加工硬化の部分的なばらつきを少なくすることが必要で、中間工程で焼なましを行わないコールドホーマでの鍛造にまず適用できるであろう。

2.5 複雑形状化と高精度化

冷鍛品の精度は表5にしめすように初期にくらべるとすでに相当に改善されている。しかし、最近の高精度化にともなって直角度、平面度、円筒度、面粗さ、曲がりなどすべての点で機械仕上げと同程度、あるいはそれ以上の精度が要求されている。

冷鍛品の精度に影響を与える因子は次のように要約できる。

- a) 鍛造プレスの弾性変形 (加圧方向の寸法精度)

表 5 冷鍛品に要求される精度水準

分 類	導入期	現 在
内外径 (mm)	±0.15	±0.02
真円度 (mm)	≦0.02	≦0.01
同心度 TIR (mm)	≦0.20	≦0.05
加圧方向厚さ (mm)	±0.30	±0.05
直角度 (mm)	≦0.10	≦0.02
円筒度 (mm)	≦0.10	≦0.02
平面度 (mm)	—	≦0.02
曲がり mm/100 mm	≦0.15	≦0.05
面粗さ	—	≦ 4μm $R_{max}$
輪郭偏差 (mm)	—	≦0.015

注) この数値は外径 50 mm の製品を対象とする  
現在の数値は要求精度の上限をしめす

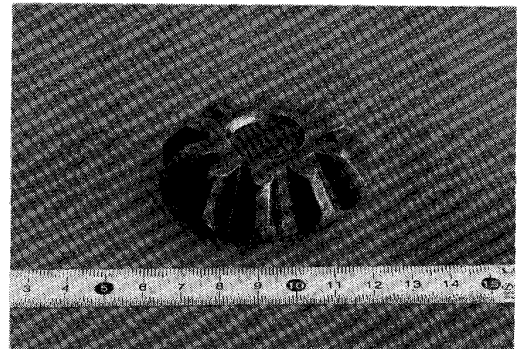
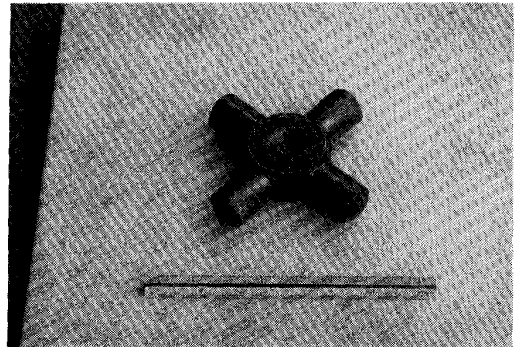


写真 4 閉塞鍛造による製品 ((株)小松製作所提供)

b)金型の構造 (同心度)

c)金型の弾性変形 (加圧方向および平面方向の寸法精度)

d)金型の製作 (再製時の寸法誤差)

製品精度に影響する要素の大部分は金型の弾性変形の絶対量, 被加工材の組織, 硬さ, 潤滑, 素材の切断重量などによる成形荷重の変動によって支配される。金型の弾性変形量は構成材料の縦弾性係数の値によって一義的に決まり, 現在のところ高い精度を要求される製品には弾性係数の小さい鋼系の材料では対応できないので,  $E = 56\,000 \sim 64\,000 \text{ kgf/mm}^2$  の WC-Co 系超硬合金が用いられている。型材料としての超硬合金にはできるだけ高い弾性係数と抗折試験における大きな吸収エネルギーの共存が必要である。

2.6 仕上げ加工の排除

ニヤネットシェイプ鍛造は製品形状全体を金型によってすまなく拘束する密閉鍛造化であり, 投入材料の重量に精密な均一性が要望される。この分野では冷, 温, 熱間ともに閉塞鍛造の技術がしだいに浸透してきており, 写真 4 のような製品が実用されている<sup>4)</sup>。しかし, 現在の冷間鍛造素材は大部分が棒鋼, 一部板材を使用しており, 切断による重量精度の向上には素材の精度から限界があるので完全な密閉鍛造は不可能といえる。このため重量選別のインライン化が必要条件となっている。

図 4 のような油圧・空圧を利用してプレスと型に過負荷が起らないような装置をもちいて密閉鍛造をおこなう方法が報告されている<sup>7)</sup>。

材料からの対応としては, 粉末材料を利用した技術が今後の方向として模索されている。

a)焼結, 熱間静水圧圧縮 (HIP) した単純な形状の素材から完全密閉で冷間鍛造をおこなう。焼結, 冷鍛による方法でも密度の改善があるていど可能であり (真密度比 95% 以上), HIP によってさらに効果が期待できる。素材段階でのコスト比較によって今後の方向をきめることになる。

b)製品に近似した形状まで焼結した予備成形品から熱間閉塞鍛造をおこなう。この方法は一部ではすでに歯車, コネクティングロッドなどの自動車部品について実

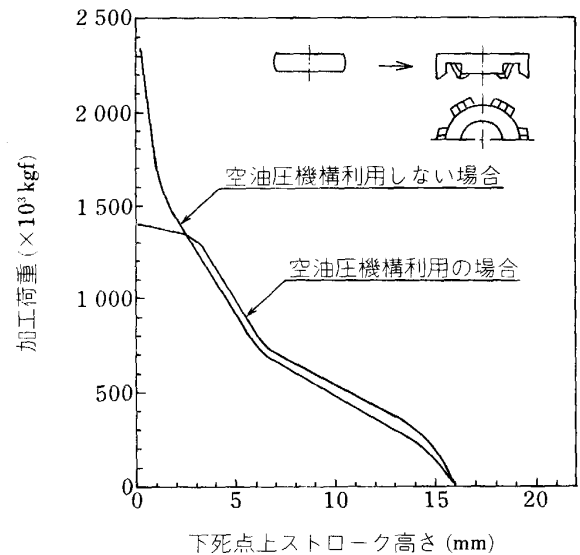


図 4 空油圧式ダイセットによる密閉鍛造の加工荷重

用化されている。鍛造圧力, 加熱温度の低下による型寿命の向上, 表面仕上がり, 寸法精度の向上, 機械的性質の等方性などの利点がある<sup>8)</sup>。

c)従来の焼結品の延長として焼結, HIP によって製品をつくる。この方法では焼結体の空隙の改善が問題であるが現在では空隙を前提として材質の高合金化によって要求強さを得る方向で研究が進められている。

表 6 材料欠陥と鍛造欠陥の関係



\* dA : A 系介在物清浄度, dB : B 系介在物清浄度 (JIS G0555)

\*2 JIS に規定する中心部のパイプ、ビット、割れ等の欠陥は冷鍛素材に不適格として圧延段階で除外される

いずれも製品の強さを保証するために真密度のものが要求され、コスト的には現在の鍛造品に仕上げ加工を加えた製品に匹敵することが条件となる。粉末材料の成分配合は自由度が高いため、製品にたいする材料設計の面では今までにない優位性が期待できる。

### 3. 被加工材料の対応

表 6 は冷鍛品の欠陥と材料欠陥との関係と対策の要点をしめす。鍛造品にあらわれる欠陥の多くは成形時の素材の表面および内部の応力状態と材料の特性との不一致が原因で、製品ごとに要求品質にたいして適当な材質、状態、表面性状を選択することが欠陥防止の前提となる。前述の冷鍛品にたいする要望にたいしても同様な方向で対処すべきであろう。材料からの対応は今までの経緯から、おおむね次の方法でなされているようである。

#### 3.1 化学成分の用途別調整

炉外精錬の普及によって成分元素の含有量が微小な範囲で調整でき、焼入性を制御した低歪み鋼など最終製品の用途や加工方式に適した材料が供給されるようになった。冷鍛業界で一時見られたような材質の低級化でコストを下げる傾向がなくなり、総合工程の合理化と品質の安定のためには材料のコストを二義的に考える傾向が浸透してきたため、多様な特定用途鋼が生産され冷鍛の品質要求にたいして細かく対応した材料が選択できるよう

になった(表 7)。

取鍋脱ガス法を併用して S の含有量を 0.001% 以下に制御した清浄鋼は、冷鍛用鋼として鍛造限界の向上による冷鍛工程の短縮に効果がある。前述のように S の化合物などの介在物の形態制御によって快削性を共有した冷鍛用鋼が開発されている。

N, O の制御によって冷鍛工程間の焼なましによる結晶粗大化を抑制し、製品の機械的性質の安定をはかることが可能となった。製鋼過程に連続铸造が導入された初期には、低炭素鋼にたいする Al 添加量の変化から、焼なましによる結晶の粗大化が顕著になった時期があったことが報告されている。

#### 3.2 制御圧延

鋼材の圧延工程において、加熱温度、圧延温度、冷却速度を制御する制御圧延冷却技術によって結晶組織が微細かつ均一になり、機械的性質を要求品質に適合させ、かつ冷鍛性を共有することが可能となった。マイクロアロイングによる非調質鋼<sup>9)</sup>、焼なまし省略鋼、焼ならし省略鋼がこの技術によって開発されてきた。図 5<sup>10)</sup>は非調質鋼 (KNCH-7) を使用した圧造ボルトの工程をしめし、他の冷鍛品についても同様な効果が期待できる。そのためには、これらの材料の冷鍛性について十分な調査と研究が必要である。

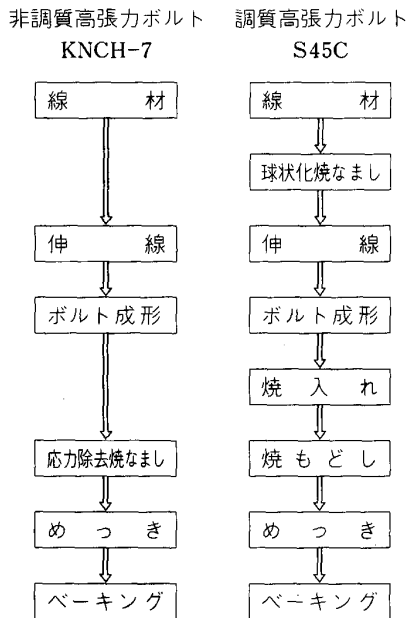
冷鍛作業にたいして、金型から解放したときの弾性回

表 7 取鍋精錬鋼の特性

精 錬 方 法	化学成分コントロール範囲 (%)						焼入性 (HRC)	清浄度 JIS (%)	介 在 物		用 途
	C	Si, Mn, Cr	Ni, Mo	Al	O	S			形態制御	大きさ	
EAF⇒LF⇒ 鋳込み	±0.01	±0.02	±0.01	±0.002	<25 ppm	—	±2	<0.08	—	—	焼入性制御鋼 低焼入歪み鋼
EAF⇒V⇒LF⇒ 鋳込み	±0.01	±0.02	±0.01	±0.002	<20 ppm	—	±2	<0.06	—	—	脱ガス指定鋼 極清浄鋼 冷間鍛造用鋼 ボロン鋼
EAF⇒IJ⇒LF⇒ 鋳込み	±0.01	±0.02	±0.01	±0.002	<20 ppm	<0.002	±2	<0.02	可能	<10 μm	極清浄鋼 冷間鍛造用鋼 介在物制御鋼 極低 [S] 鋼 快削鋼 地傷フリー鋼
EAF⇒V⇒IJ⇒LF⇒ 鋳込み	±0.01	±0.02	±0.01	±0.002	<18 ppm	<0.001	±2	<0.01	可能	<10 μm	極清浄鋼 極低 [S] 鋼 極低 [O] 鋼

EAF: アーク溶解 LF: 取鍋精錬 V: 取鍋脱ガス IJ: 粉体吹込み

(三菱製鋼(株): FM 鋼シリーズ)



非調質ボルトの機械的性質の一例

ボルト	応力除去 焼なし	降伏応力 (kgf/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (kgf/mm <sup>2</sup> )	伸 び G. L. = 5d (%)	くさび 引張強さ α = 10° (kgf/mm <sup>2</sup> )	衝撃値 (kg·m/cm <sup>2</sup> )	
						25°C	-50°C
M10	200°C ×4h	69	79	16	76	11	7
P=1.5	400°C ×30 min	70	80	17	78	11	8

図 5 非調質圧造用鋼によるボルトの製造工程 (神戸製鋼: KNCH-7)

復による製品の歪みの改善, 冷鍛品の機械的性質の安定, 鍛造前および中間工程での焼なし (LA) の省略などに効果が期待できる。

### 3.3 無欠陥材の供給と圧延精度の向上

コールドホーマ製品では, 冷間圧造用線材の表面欠陥に起因するものが致命的な欠陥となる。最近, 圧延工程における表面欠陥の自動検出, 自動処理が完備し, このような事故が極めて少なくなった。圧延精度の管理技術が改善され, 1 ロッドの材料については冷鍛で要求する直径の±0.25% 以下の寸法精度のものが供給可能となったので, 線材, 棒材とも精度改善のために引抜き工程を経ることがしだいに減ってきた。

## 4. 型材料の対応

ここ 15 年にわたって, 日本塑性加工学会, 鍛造分科

会で冷鍛品の事例研究をおこなってきたが, 問題品として提起される事例はすべて金型の破損につながるものである。この調査研究によれば, 生産現場における型部品の破損はおおむね図 6 のような過程でおこることがわかった。その結果として, 金型材料には成形圧力に耐える耐力と表面の微細なクラックが進展して欠損や摩耗にいたるまでの負荷の繰返し数すなわちクラックの伝播速度との共存についてどのように配慮するかが問題として提起され, このような特性の評価基準について論議されている。現場における破損事例からみると, 圧縮試験における耐力と抗折試験における吸収エネルギーによって判断するのが実際に近い評価ができるようである。

冷鍛にたいする工具材料の取組については次のようにまとめることができる。

### 4.1 高速度鋼の多品種開発

これまで冷鍛用金型の材料は図7のような圧縮耐力を基準に選択されており、SKD11とSKH51が基準材料となっている。前述の研究などで被加工材料と接触する部分の表面の熱影響と、それによって生じられたクラックの伝播にたいする抵抗が寿命にたいして大きな要素となることが明らかになったので、靱性、耐熱性の改善の方向に高速度鋼の高合金化が進んできた。この結果、Mo系高速度鋼の品種が豊富になり冷鍛作業にたいする選択の自由度が高まり、成形圧力の限界として初期の2倍近くの $>400 \text{ kgf/mm}^2$ まで引き上げられ、高い局部面圧が必要な複雑な成形が可能となった。

4.2 粉末高速度鋼の一般化

溶製材料では圧延方向にたいする縦横の機械的性質の差が金型の破損に影響するので、アイソトロピー材(日立金属)のような等方質を目指した工具材料が開発された。現場の経験から縞状偏析が粗く明瞭な材料は金型の

使用初期に破損が頻発する傾向が大きい(写真5)。この現象は大径溶製素材から削り出した金型に顕著にあらわれ、粉末高速度鋼を使用して寿命のばらつきを均一にすることができた。

粉末高速度鋼は写真6のように、表面の摩耗状況が溶製材とことなり構成粉粒の脱落によるため、成形された製品の表面は材料の流動による筋傷がすくなく、仕上がりが極めて良好である。また粉末の配合によって溶製材では不可能な高合金の材料をつくることのできるの、たとえばHAPシリーズ(日立金属)のように溶製高速度鋼と超硬合金との中間の特性の材料を得る可能性がある。しかし鍛造精度に影響する弾性係数の向上の面では期待できない。

4.3 超硬合金のHIP処理

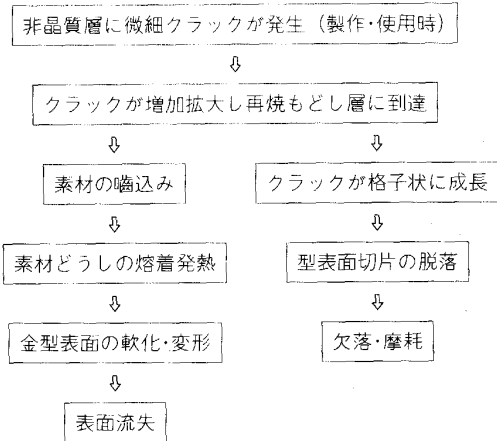


図6 金型表面の破損過程の考察

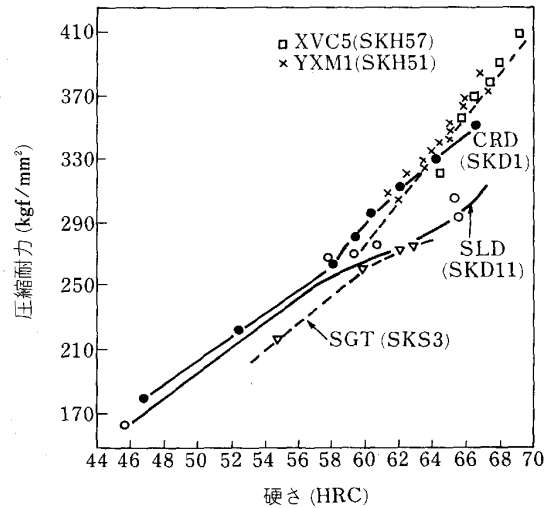
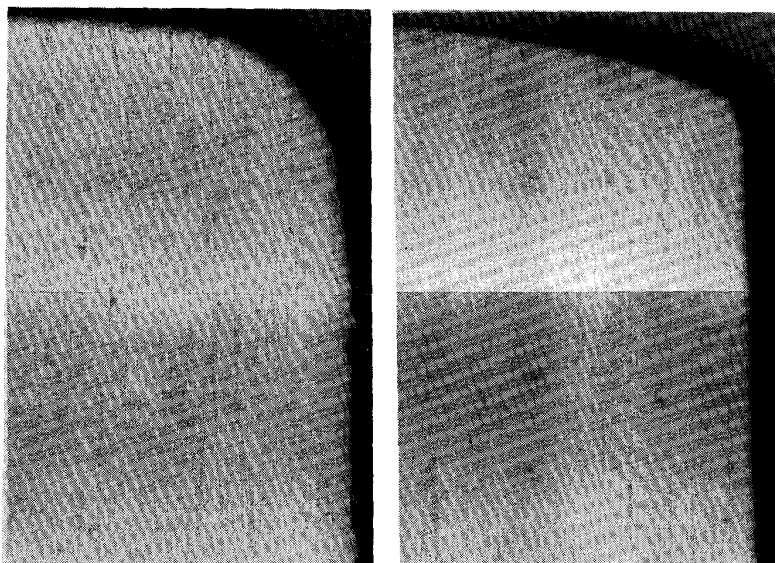


図7 工具材料の圧縮耐力 (日立金属:技術資料 No. 288)



(A) 素材径 φ60

(B) 素材径 φ110

写真5 工具材料の直径寸法による縞状偏析の差異 (歯車押し出しパンチ歯形部) SKH 51, HRC 62 (×45)



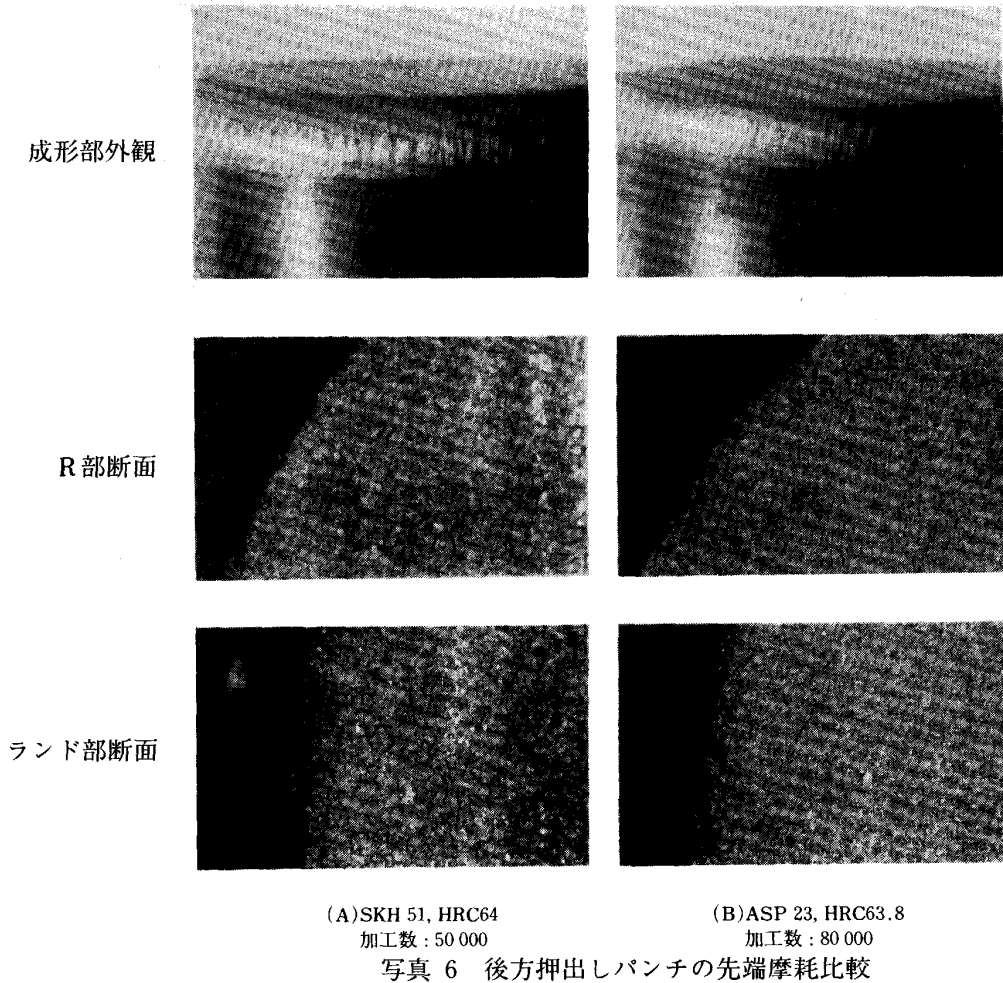
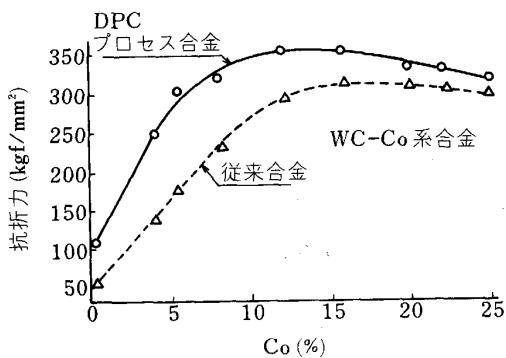


写真 6 後方押しパンチの先端摩耗比較



DPCプロセスと従来法の焼結条件

合金製造法	焼結温度	HIP温度
DPCプロセス	1360°C	1330°C
従来法	1450°C	

図 8 HIP 処理による WC-Co 合金の改善 (ダイジェット工業: DPC プロセス)

冷間鍛造の初期では金型の靱性を重視して  $Co > 25\%$  の超硬合金 (G6~8) が用いられていた。粉末焼結後、熱間静水圧圧縮を行う HIP 処理が応用されて、図 8 の

ように Co 含有量を少なくしても抗折強さの高いものが得られ、従来の合金では抗折力が急激に低下する  $Co \leq 15\%$  のものまで使用できるようになった<sup>11)</sup>。Co 含有量が少ないほど弾性係数が高く製品精度の管理が容易になるので、超硬合金は耐摩耗性よりも高精度品に用いる傾向が一般的となっており、これは HIP 処理の大きな効果といえる。

パンチ材などにたいして WC の粒度を  $< 2 \mu m$  に微細化すると引張強さのばらつきが少なくなるといわれている (図 9)。

超硬合金の摩耗状況の調査によって、Co が被加工物の表面とともに流動して WC 粒と一緒に脱落することがわかった。したがって、超硬金型にも CVD 処理を施し表面に TiN 皮膜を生成してよい結果が得られている。

#### 4.4 表面処理の一般化

1971 年から TD 処理が実用化された。この方法は熱拡散処理<sup>12)</sup> (化学的蒸着法 (CVD) および熱反応析出・拡散法 (TRD)) によって金型表面に V, Nb, Cr, Ti などの炭化物を形成し、耐摩耗性、耐焼付性を改善するもので、打抜き金型などに応用して大幅な寿命の延長が確認された。表 8 はこの種の皮膜処理法の比較をしめ

表 8 工具表面の耐摩耗皮膜処理法の比較<sup>12)</sup>

		TRD (各種炭化物)			CVD		PVD (TiN)
		溶融塩	粉 末 法		中・高温 (TiC, TiCN)	低 温 (W <sub>2</sub> C)	イオンプレーティング
		浸 漬	流動層	バック			
方 法	方法	塩浴中に浸漬	粉末層中に浸漬	容器ごと炉中加熱	ハロゲンガス中で加熱		イオンの蒸着
	雰囲気	大気	Ar	大気	H <sub>2</sub>		減圧 N <sub>2</sub>
	処理剤	〈ほう砂〉 金属粉	〈金属粉〉 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ハロゲン化物		〈H <sub>2</sub> 〉C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> ハロゲン化物		〈金属〉 N <sub>2</sub>
使用可母材		Cを含む金属, サーメット, 超硬合金, セラミックス			金属, サーメット, 超硬合金, セラミックス		
品物温度 (°C)		800~1200	800~1100	800~1200	900~1050	500~600	200~600
層成長速度 (μm/h)		2~10			2~10		30~40
実用上限厚さ (μm)		~20			~10		~5
品 質	層厚さ均一性	大			中		小
	層の密着性	大, ばらつき小				中	小, ばらつき大
	ひずみ発生	危険性あり				ほとんどなし	

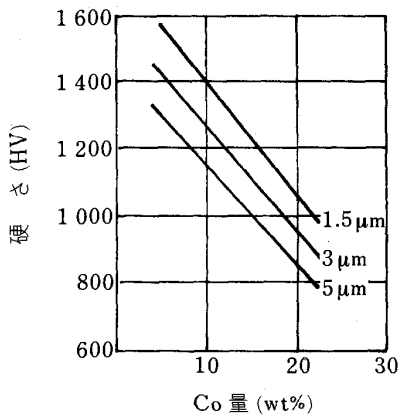


図 9 WC-Co 合金における WC 粒度と硬さの関係 (ダイジェット工業: 微粒合金)

す<sup>12)</sup>.

冷鍛金型には VC, TiC, TiN の単一皮膜, TiC + TiN の複合あるいは積層皮膜が用いられている。最近では耐摩耗, 耐焼付性は型材の要求特性から除外し, 皮膜処理によってカバーする考えに変わってきた。

冷鍛のように作業面圧が高いときには, 金型母材に塑性変形が起これば皮膜にクラックを生じ剝離することになる。また炭化物皮膜は母材の C の一部を吸収して形成されるので皮膜の下部に C 濃度の低い層ができて塑性流動が促進される。したがって, 今のところ対象となる金型によって効果に著しく差異があるといわれている。最近, 処理に必要な C を外部から供給する方法が検討されているようである。皮膜の密着度は処理前の表面粗さ, 表面の清浄度に敏感で, 前処理が適当でないと剝離しやすい。

皮膜の形成は金型材料の熱処理温度に近い高温 (800~1200°C) で行われるので, 所定の熱処理をした部品

を処理後に再度熱処理する必要があり, 母材に結晶粒粗大化の危険があり, 皮膜処理および熱処理変形によって金型の精密な寸法管理が困難である。型製作からみて処理温度は型材の焼もどし温度より低くして熱処理による影響をなくすることが望ましい。この点でイオンプレーティングのような処理温度の低い (200~600°C) 物理的蒸着法 (PVD) が有利であるが, TiN 皮膜の厚さと密着度が高温処理より劣る。皮膜厚さと剝離寿命の関係は数量的にまとめられていないが, 他の表面硬化処理と同様に厚さについて有効な限界があるように思われる。最近処理エネルギーをあげて皮膜厚さを改善して相当の効果が得られているので, 今後の動向が注目されている。

従来から使用されているタフトライド処理, おもに熱鍛型に利用されているイオン窒化など金型の表面処理技術は多種多様なものがある。それぞれに正当な評価を与えて利用分野をきめることが当面の課題といえよう。

## 5. 今後の見通し

これまで冷間鍛造は型材料の種類が多様化と品質の改良に支えられて成形技術を発展させ, 品質が安定した複雑な形状の製品をつくってきた。とくに超硬合金に対する評価の転換, 粉末高速度鋼の一般化はこの傾向を加速させている。加工用材料は製品の品質にたいする要求が成形技術上の要求品質に合致する方向に改良されてきた。この傾向は今後も継続することが十分予想できる。

冷鍛品の競合相手はロストワックス鑄造によって代表される精密鑄造品と考えられていたが, 最近の動向からは粉末焼結品が本命とされている。焼結の弱点といわれている強さとコストについては早晩解決する見通しが得られており, 溶製材の鍛造品で得られない利点があることも確かである。熱間鍛造と冷間鍛造が温間鍛造として加工温度の面で融合したように, 冷間鍛造と粉末焼結が

材料面で融合する可能性が予想できる。

それぞれの製品にたいするもっとも合理化された生産工程のなかで、冷鍛品はますます高精度となり、後加工の徹底した省略と形状の複雑化が進み、機能的な面だけでなく外観的な面も強調されてくる。したがって、いままでも比較的強かった型材料とのかかわりがしだいに加工材料に移っていくように思われる。高 Ni 磁性材、耐熱鋼、加工硬化性の強いステンレス鋼など冷鍛から敬遠されていた難成形材についても、最近ようやく冷温鍛化が研究され、あるていど量産見通しが得られている。

潤滑処理にたいする加工材質の影響はこれまであまり問題にされていなかった。たとえば、低炭素 Al キルド鋼は潤滑用のりん酸亜鉛皮膜が形成されにくいなどの指摘については、まだ明瞭な見解と対策が得られていない。温間鍛造の潤滑方式についても模索状態から脱却していない。このような冷温間鍛造と他の技術との接点にある問題について更に範囲を広げて詳しく追求していく必要を痛感する。

## 6. む す び

冷間鍛造に従事する立場から、材料に関するいろいろな問題について現状を正確に把握することが今後部品工業が発展する方向を判断する前提になると思われるので

手元の資料を整理してみた。成形技術そのものについても、冷、温、熱間鍛造とも未解決のまま残されていることが非常に多く、今後各方面の協力を得て解決したいと念願している。この稿で参照させていただいた資料を提供された各位をはじめ、日ごろいろいろとご意見とご指導を賜っている諸氏に深く謝意を表するしだいである。

## 文 献

- 1) 山陽特殊製鋼: 特殊鋼, **36** (1987) 3, p. 20
- 2) 三菱製鋼(株)技術資料
- 3) 澤辺 弘: 日本塑性加工学会, 鍛造分科会, 第 18 回冷温間実務講座前刷 (1988), p. 32
- 4) 日本塑性加工学会鍛造分科会温熱間鍛造研究班: 温間鍛造事例データ集 (1989)
- 5) 日産自動車第二技術部: 素形材, **30** (1989) 1, p. 30
- 6) 高橋昭夫, 澤辺 弘: 塑性と加工, **17** (1976), p. 644
- 7) 村松 勁, 森田一宏, 今井敏博: 塑性と加工, **28** (1987), p. 999
- 8) 黒石農士: 塑性と加工, **27** (1986), p. 1117
- 9) 磯川憲二, 田中良治: 日本金属学会会報, **22** (1983), p. 437
- 10) 山田凱朗: 鍛造技報 (1983) 15, p. 22
- 11) 青山 進: ダイジェット工業(株) Technical Report, No. 103 (1979)
- 12) 新井 透: 金属, **59** (1989) 7, p. 66