

4.6 鍛造技術の進歩

4.6.1 自由鍛造

産業別分類によると、自由鍛造部門は鍛工および鍛鋼業に分たれ、前者は素材の鋼塊あるいは鋼片を購入するのに対して、後者は製鋼作業より一貫して鍛鋼品を製造する業種を指すが、本項では、この中の鍛鋼業に主体を置いて述べることにする。

(1) 生産および設備の動向

最近10年間の鍛鋼品の生産量は粗鋼生産量の推移と軌を一にして図4.6.1のように逐年増加したが、粗鋼生産量に占める鍛鋼品の比率はわずかに1%弱を示すに過ぎない。しかし、従来需要に対して生産設備が過剰であったものが、この10年間に初めて能力不足となり、同時に要求される鍛鋼品が大型、大重量化したため、鍛压机を始めとする諸設備の更新が活潑に行なわれた。また、労働集約型の生産形態からの脱皮を図るため自動化、省力化を始め公害対策などが大幅に取り込まれたことも、この間の特徴として挙げられる。

表4.6.1は鍛压机の機種、基数の変遷を示すもので、

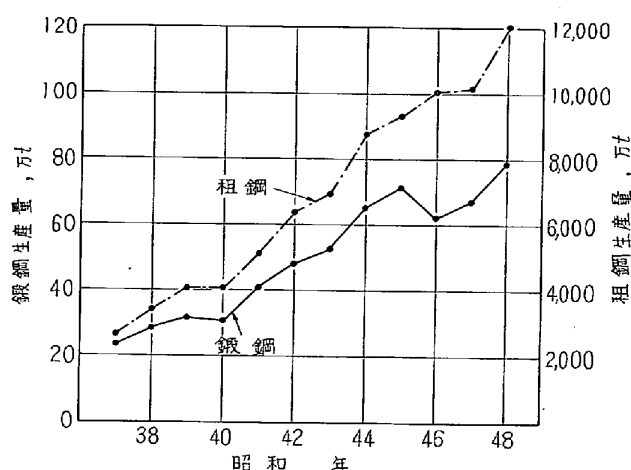


図 4.6.1 最近 10 年間の鍛鋼 (打放) と粗鋼生産量の推移
(日本鉄鋼連盟：鉄鋼生産設備の現況より抄録)

表 4.6.1 最近10年間にける鍛压机基数
(鍛工業を除く) の変化

(日本鉄鋼連盟：鉄鋼生産設備の現況より抄録)

機種 年次	スチーム ハンマ	エアハンマ	プレス
昭和 35 年	56 基	173 基	47 基
昭和 47 年	9 基	94 基	48 基

生産量の増加にもかかわらず、総基数では減少し、企業間の集約が促進されたこともうかがい知ることができる。とくにハンマ類の基数の激減は騒音、振動などの公害の発生回避のため、プレス、特に高速油圧プレスに移行したことを意味し、この傾向は今後も継承されるものと考えられる。

一方、プレスの基数には変動が見受けられないが、実際には際立つた更新が行なわれ、その主要なもののみを示しても表4.6.2のようになる。この中の過半は工場の移設、新設に伴うもので、附帯設備をも含めて生産規模、形態が著しく変ぼうしたことを物語っている。

このような大型鍛压机設備の更新は鉄鋼を始めとする重工業界や石油化学工業界などのスケールメリットの追求による諸設備の新、増設に伴う鍛鋼品の需要増と大型化に対処する必要性から生じたものであるが、最近の10年間に、単一國でこのような基数の大型プレス設置の動きを示したものは認められず、設備、生産能力、および生産される鍛鋼品の品質の点からも、世界的に群を抜く地歩を確立するに至った。

しかし、残念なことに(株)日本製鋼所の 8,000 t をプレスを除き、これらのプレスは海外からの輸入、もしくは導入技術によつて製作されなければならなかった。

(2) 鍛压机の動向

ほとんどのハンマには鍛造用マニプレタが附属されたが、ハンマ自体には振動防止のために空気バネを利用した吊基礎の応用が試みられている程度で、特記すべき改良は見られなかった。一方、プレス関係ではハンマに代わる 1,000 t 以下の簡易型の高速油圧プレスが急速に普及し始めたが、同時に 3,000 t までの中、小型プレスも従来の水圧蓄勢駆動方式から油圧直動方式へ転換し、一般

表 4.6.2 最近 10 年間に設置された大型鍛造プレス、マニプレタと使用最大鋼塊

設置個所	設置年	鍛 造 プ レ ス		鍛 造 マ ニ プ レ タ		最大鋼塊
		容 量	製 造 者	容 量	製 造 者	
関東特殊製鋼	昭和38年	水圧 4,100 t	シュレーマン	60 t-M	ヒドロリック	110 t
川崎製鉄・水島	昭和44年	水圧 6,000 t	ヒドロリック	305 t-M	日本製鋼	200 t
日立製作所勝田	昭和45年	水圧 6,000 t	ヒドロリック-日立造船	145 t-M	日本製鋼	160 t
日本製鋼・室蘭	昭和45年	水圧 8,000 t	日本製鋼	360 t-M	日本製鋼	500 t
日本鉄鋼	昭和46年	油圧 8,000 t	ザック-三菱製鋼	240 t-M	ザック-三菱製鋼	210 t

注 1：容量 4,000 t 以上の鍛造プレスとそれに付属するマニプレタを示す。

注 2：上記の他、従来から稼動している鍛造プレスとしては日立製作所・勝田 水圧 5,000 t × 1 基、神戸製鋼所・高砂 水圧 5,000 t × 2 基、日本製鋼所・室蘭 水圧 10,000 t × 1 基がある。

注 3：現在建設中の鍛造プレスとして神戸製鋼所・高砂水圧 8,000 t × 1 基がある。

化するに至った。また、プルダウン型プレスも採用され始めた。

油圧駆動方式の採用は高圧、大容量の油圧ポンプの製造技術が進歩し、寿命に対する信頼性が向上したことによるが、水圧駆動方式に比べ加圧速度の増加など生産性上の利点が認められるほか、水圧蓄勢器などの附帯設備が省略できるため、設備費上の利点にもよる。現在、プレスに採用されている主油圧ポンプは吐出圧 350 kg/cm^2 、吐出量 300 l/min 程度のものが標準となり、プレスの圧下回数も仕上鍛造に際しては圧下量 20 mm で 100 c/min 以上のものの採用が一般化した。

このようなことから、さらに大型プレスの油圧化も検討された結果、世界に先駆けて $8,000 \text{ t}$ 油圧鍛圧プレスが日本鑄鍛鋼(株)に設置された。このプレスの特徴は油圧化のほかに写真 4-6-1 のようにプレス本体を従来の丸4柱より角2柱とし、フレームを含め大幅に溶接構造を採用したことなどがあげられる。また、運転はマニプレタと連動し、手動、自動いずれかの方式も可能とされている。表 4-6-2 から明らかなように鍛造プレスとマニプレタの組み合わせは必須なものとなり、最大容量のマニプレタとしては 360 m-t 機も稼働しているが、プレスにおける厚み制御の普及から、プレス・マニプレタとの連動、自動運転化も急速に取り入れられ、さらにコンピュータによるプログラム制御方式さえ採用され始めている。

自由鍛造による鍛鋼品に対しても仕上精度の点から型入による成形の問題が採りあげられ、3方向鍛造プレス、4方向鍛造プレス各1基が(株)日本製鋼所に設置さ

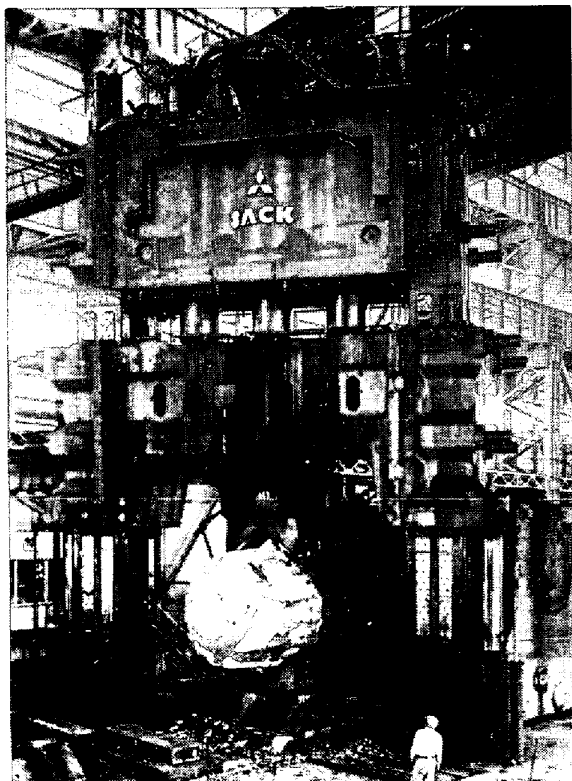


写真 4-6-1 油圧・直動式 $8,000 \text{ t}$ 鍛造プレス
(日本鑄鍛鋼(株))

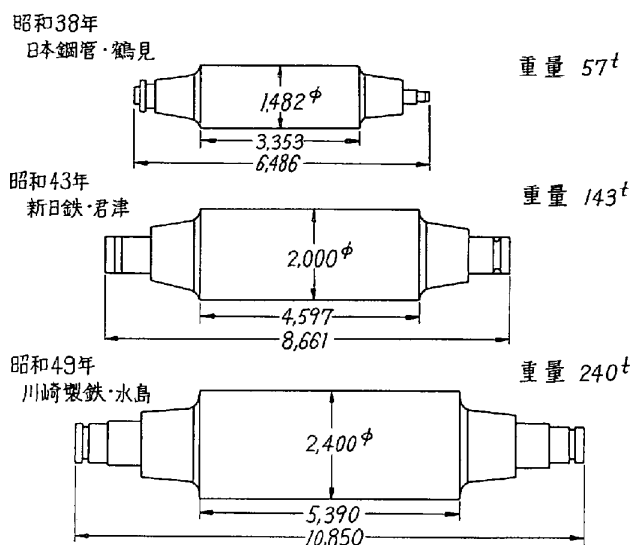


図 4-6-2 最近 10 年間に於ける鍛鋼品の大型化の一例—厚板 4 段圧延機補強ロール

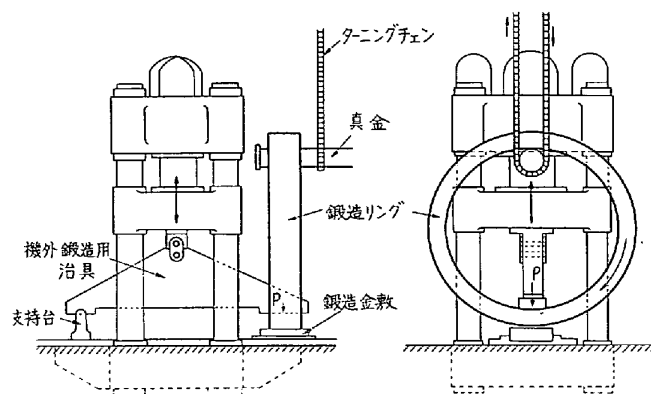


図 4-6-3 大径リング材のプレス機外鍛造方法
(公開特許公報 49-2315 石川島播磨重工)

れたが、その詳細は明らかにされていない。このほか、特殊な鍛圧機として、オーストリアの GMF 精密鍛造機が(株)神戸製鋼所ほか 4 社に設置され、鋼片や軸材の鍛造に高能率な稼働実績をあげている。

(3) 鍛造技術の動向

鍛鋼品の生産量が増加したとはいえ、同一材質、同一形状のものの数量的増加ではないため、常に多種、少量生産の形態が強いられている。反面、極めて大型、大重量の鍛鋼品の需要が生じたため、鍛造工場の性格を一層複雑なものとした。大型鍛鋼品の代表的なものは火力、原子力発電機軸、タービン軸、原子力圧力容器、厚板圧延機用ロールなどであるが、最近の大型化の一例を図 4-6-2 に示した。このような大型化の要望は逐年高められ、すでにプレス柱間では鍛造できないものさえ現われたため、図 4-6-3 のような、プレス機外で鍛造する方法なども考案、採用せざるをえない状態に至っている。

鍛造の主目的は素材である鋼塊内部に存在する亀裂や孔の圧着や鋳造組織の微細化などの内部性状の改善と成形に分れる。き裂や孔を完全に圧着することは至難なこととて、圧着効果をたかめるため JTS 法と称される特殊

な鍛錬方法が開発されている。しかし、最近是不純物元素を極限まで低下せしめ、真空カーボン脱酸法を応用した独特な製鋼、造塊技術によつて健全な鍛造用鋼塊が作られるようになったこと、電算器を利用して、鍛鋼品の大きさと合金元素量に適合した熱処理条件を決定することによつて、鍛鋼品内部の強度を十分に付与することが容易になったことから、鍛造技術の重点は内部性状の改善よりも、むしろ成形と生産性の面に移行した。

鋼塊重量に対する鍛鋼品の歩留りは鍛鋼品の価格を直接左右する要素であるが、通常40～60%に止まる。また大鋼塊になるに従がい、小鋼塊に比べ内部欠陥の発生率が増加するだけではなく、鍛造に際してプレス能力を始め運搬、加熱なども含めた諸設備にも問題を生じ、生産性にも大きな影響を与えるから、極力、正確に鍛造し、仕上代を少なくすることによつて、できる限り小鋼塊を利用することに努力が傾注された。プレスにおける厚み制御の普及も、この目的のものであるが、さらに数量的にロットとして纏められるものは自由鍛造でありながらも、仕上鍛造に際して型入れする手段の採用が増加した。この方法の著名なものとして、昭和28年に(株)神戸製鋼所に導入された一体型クランク軸のRR法を挙げることができるが、その後、類似のTR法が昭和45年に後

藤鍛工(株)に導入された。一方、(株)日本製鋼所では表4・6・2の8,000tプレスに3方向鍛造の機構をもたせ、船用機関のピストン、クロスヘッド、クランクサドルのほか、各種の高温、高圧大型バルブボデーなどの型入鍛造に適用し、成功するに至っている。

(4) 学界活動の動向

自由鍛造業界の国内機関としては日本鑄鍛鋼会が存在するが、学術的な研究活動はほとんど行なっていない。鍛鋼品の製造技術は単に鍛造技術に止まらず、製鋼、造塊技術より始まり、鍛造後の熱処理や検査技術などが含まれて初めて一貫したものとなるが、このような包括技術の公開論議の場は少なく、2年ごとに各国持ち廻りで開催されるInternational Forgemasters Meetingを挙げ得る程度である。この会議は鍛鋼品の製造に従事する研究者、技術者のみならず、鍛鋼品の利用者側からも参加して開催されるが、ESRあるいはESWの技法を含め大型鍛鋼品の製造限界の模索や鍛鋼品に存在する欠陥に対する破壊力学の導入などが最近の主題となつている。

4・6・2 型 鍛 造

(1) 熱間鍛造

(a) 設備の革新

表 4・6・3 過去 10 年以内にわが国で使用されるようになった自動鍛造機

熱間 冷間	機 械 の 分 類	適 用 領 域	型の配列 (トランス ファ方向)	加圧方向	機 構, 動 作
熱 間	模型多段連続加工機 (使用材料径70mm 程度の大型のもの)	素材径70φ程度、歯車素 材ベアリングレースなど 円形に近いもの	水 平	水 平	棒材を供給、送り途中で加熱4工 程で成形。 生産量：毎分70個
	たて型トランス ファプレス (2,000～3,000t程 度の大型のもの)	コネクティングロッドなど 非円形の製品	水 平	垂 直	切断された素材を加熱して供給、 4～5工程で成形バリ抜き。 生産量：毎分20個
	トランスファプ セッター (1,000～1,600t程 度のもの)	軸径40φフランジ径150 φ程度のフランジ付軸部 品、軸付傘歯車など自動 車用後車軸など	水 平 垂 直	水 平	切断された素材を加熱して供給。 4～5工程でグリップダイ、ソリ ッドパンチで据込みおよび、バリ 抜き。生産量：毎分12～15個
冷 間	模型多段連続加工機 (使用材料径25mm以 上45mm程度の大型 のもの)	ピストンピン、ベアリン グレースなどの中空部品	水 平	水 平	コイル材を供給し切断後4～6工 程で、せん孔加工を含む成形、打 ち抜きを行なう。 生産量：毎分50～80個
	模型連続押しプ レス	直径45φ長さ800程度の 段付軸、自動車の後車軸、 変速機の出力軸など	水 平	水 平	定寸切断された材料を供給、4工 程で軸の押し出し加工を行なう。 生産量：毎分12個
	たて型トランスファ プレス (1,000～1,600t)	50φ～100φ程度の大型、 円形短寸の部品、仕上げ 工程数の多いもの、オー ルタネーターコア、など	水 平	垂 直	切断され被膜処理された素材を供 給、6～8工程で成形。抜きを行 なう。 生産量：毎分30～50個



写真 4-6-2 熱間鍛造品の変遷を示す例

生産量の増大に対応して、生産性を高めるための設備の革新が、相次いで行なわれた。60年代前半ごろの型鍛造方式の主体は、歯車素材や車軸などの軸対称部品はスプリットダイによるアプセッター、非対称部品ではハンマーまたはプレスによるバリを伴った型鍛造方式であり、生産速度は毎分10個程度のものであつた。しかし、表4-6-3に示す自動鍛造機が60年代前半に開発され、同年代の中～後期にかけて、わが国の業界に積極的に導入されて、様子は変つた。多段連続加工機では、抜き勾配の少ない密閉鍛造が可能で、これが鍛造品の精度の向上を、また、横型であるため型の冷却や液体潤滑が容易になつて、型寿命の向上をもたらし、この方式の機械や型構造は、さきに開発されていた冷間自動鍛造機の方式と考え方を同じくしており、その開発は冷間の方式の影響を受けて促進された。トランスファーアプセッターでは、それ以前の長尺素材を用いる方式のアプセッターと異なり、定寸に切断された素材を供給することにより自動化が可能になつた。

また、これらの自動化には、燃焼式から誘導式への加熱方式の変革が必須の条件であつた。これらの自動鍛造機は表に示すように、それ以前の鍛造方式に比べて著しく生産性が高く、過去10年間の生産の拡大に大きく寄与した。わが国は各種自動機の開発の直後に生産の著しい拡張期を迎えたために、同時期に設備増強の機会に恵まれなかつた欧州などよりも自動化設備においていくぶん先行するほどになつた。しかし、これらの設備は極めて高価であり、全負荷で稼働できない場合の償却負担が重く、生産の変動に対する適応能力は低い。いまだこの種の高能率機の評価は定まつたとは見なしえない。

(b) 成形技術

熱間鍛造品の精度は冷間鍛造、薄肉精密鑄造、鉄系焼結合金などこの時期に開発実用化されたほかの加工法と競合し、あるいは互いに影響し合つて著しく向上した。写真4-6-2(a)に示すように抜き勾配を少なくすること、段付軸状部品や軸付異形部品(写真4-6-2(b))の加工工程に押し出し加工を取り入れることによつてバリによる材料損失を少なくするなど、型設計、工程設計の考え方の変化があつた。これらは型材の適切な使用法、型の潤滑、冷却方法など型の摩耗対策の研究が進んだ結果として可能になつた。仕上げ加工なしで自動車などに使用

しうる精度の高い傘歯車(写真4-6-2(c))の鍛造が行なわれるようになった。

(2) 冷間鍛造

(a) 生産システムの変化

60年代前半までに、この鍛造法のおが国への導入は、ほぼ完了した。軸径20mm程度までのボルトなど軸状部品は多段連続式ヘッダーにより、コイル材から切断を含む数工程で加工され、また、直径30～50mm程度の中空部品は、ナックルジョイントプレスなどを用いて加工されていた。多段ヘッダーによるもの以外はまだまだ自動化されていなかった。主として米国で開発された表4-6-3に示す自動鍛造機が65～70年にかけてわが国に導入された。中空部品の生産にもコイル材を用いる多段連続加工方式が普及しはじめた。図4-6-4(a)にその加工工程の一例を示す。コイル材から切断されて潤滑被膜のない端面からの深い後方押し出しも、超硬ポンチと液体

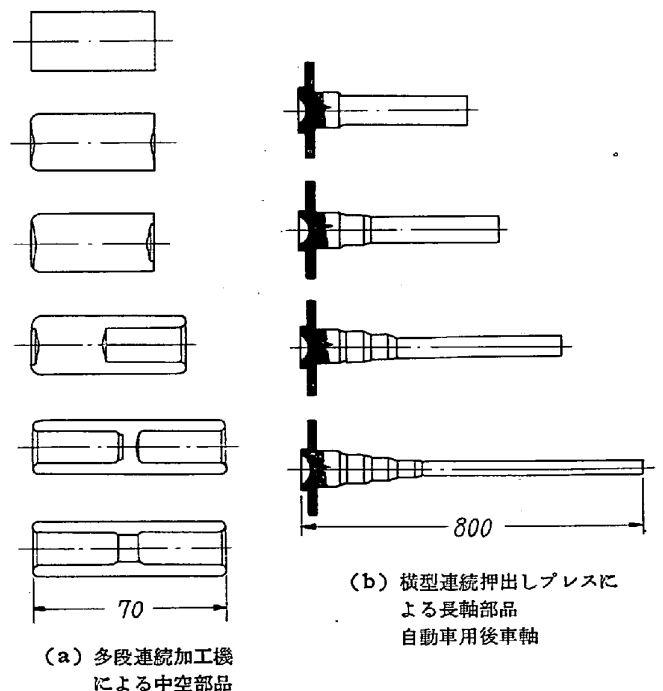


図 4-6-4 ピストンピン冷間自動鍛造機の加工工程の例

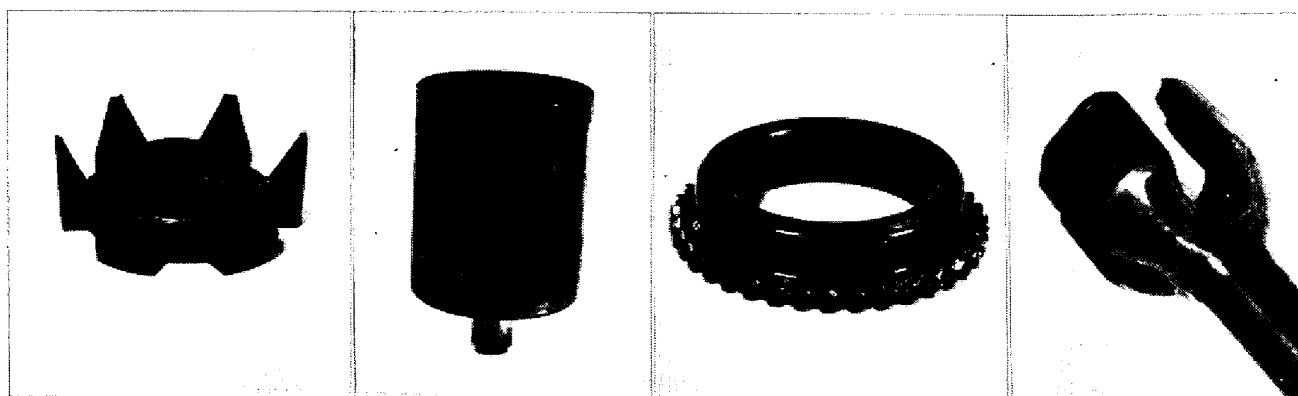
(a) 大物異形部品
オルタネータコア 0.8 kg(b) 大物後方押出品
ローター 1 kg(c) 精密歯形押出品
スプライン 0.4 kg(d) 冷間鍛造の仕上加工への
応用接手のR溝

写真 4.6.3 冷間鍛造品の新しい分野の例

封入潤滑の採用により可能になつてこの生産システムの実用化が成功した。67年ごろにはこの方式は材料径45 mm 程度の大物部品にまで広げられた。しかし、これくらいの大規模なものになると、機械および型が高価で、生産速度の限界もあり、対象の選択を誤ると利点を失うおそれがある。長軸シャフトの押出しは、わが国でも67年ごろから横型連続押出しプレスによつて図4.6.4(b)に示す工程で行なわれるようになり、この領域での生産性を著しく高めた。たて型トランスファープレスは、仕上げ工程数の多い大物異形部品に用いられて効果をあげた。

(b) 冷間鍛造の適用領域の拡大

小物部品の領域から大物部品、異形状部品へと、その適用領域を広めた。写真4.6.3(a)に示すオルタネータコア、図4.6.4(b)に示す段付軸、写真4.6.3(b)に示すローターなどはその例である。また、写真4.6.3(c)に示すような精度の高い歯車が作られるようになった。冷間鍛造加工法が熱間鍛造や機械加工の工程の間に入つて、一つの精度のよい仕上げ加工要素としてうまく応用される例が多くなつた。

写真4.6.3(d)に示す接手の溝のしごき加工、前出の写真4.6.2(c)の傘歯車の仕上コイニングなどはその例である。

(3) 特殊鍛造

過去10年間に行なわれた特殊鍛造の開発は、いずれも大きな展開を見ないで終つている。二、三の例をあげる。くさび形ダイスによる熱間回転鍛造がチェコスロバキアで発明され、わが国でも65年ごろから開発が進められた。段付部品の鍛造に対して、材料歩留り、量産性、精度、コストの上で著しい利点を示したが、適用領域が狭く、顕著な普及を見るに至つていない。70年代に入つて粉末成形体の熱間鍛造法の開発がわが国を含む各国で行なわれたが、経済性に疑問が持たれており、実用化の例はまだ多くない。鋼の溶湯鍛造も型材、溶湯の秤量の問題などから実用化には至つていない。

(4) 周辺技術の進歩

いくつかの周辺技術の進歩が鍛造技術の進歩を助けた。

冷間鍛造の開発の初期にわが国ではなかなか得られなかつた、キズや脱炭がほとんどない表面の清浄なコイル

材が得られるようになった。引抜きなしの高精度の圧延コイル材も使用されるようになった。

冷間鍛造用工具材の選択の範囲も広がつた。高Crの冷間ダイス鋼のほか、Mo 高速度鋼、高V-Co系Mo 高速度鋼も使用されるようになった。靱性の高い高Co超硬合金が後方押出しポンチ、据込みダイスなどにも使用されるようになった。しかし、最近では高価な超硬合金が安易に用いられ過ぎの観がある。

放電加工法では、トランジスタ回路が応用されて電極消耗が少なく加工速度が速くなり、加えて多分割電源、無短絡電源、各種適応制御などの開発によつて一層生産性があがつた。これが歯形精密鍛造型や超硬合金型の加工に寄与した。

また加工速度の速い電解加工法は10年来積極的にとり入れたが、電極製作や精度に問題があるので、もっぱら荒地型の加工に利用されている。

4.7 管理技術の進歩

過去10年間の圧延技術の進歩は、エレクトロニクスの進歩、特に電子計算機の適応に負うところ大であつた。1960年頃までの圧延は、計測の困難なことから、目視観察と経験の積上げが中心であり、理論は原則的な面では役立つていたが、実操業に広く利用する段階になかつた。同時に生産管理、特に計画と実績の把握は、各工場の経験的に作られた方策にたよつて来た。しかしながら、品種と生産量の急速な増大から情報量が急増し、情報の流れの管理の必要が生まれて来た。妥当な生産計画の設定と、操業状況の正確な把握、速いフィードバックが圧延操業を安定させ、品質、歩留り、生産性の向上に著しく影響することが、認識されるようになって来た。コンピューターが管理、操業面に役立つであろうことは、かなり多くの人々の感ずるところではあつたが、1960年頃は、コンピューター自身の能力、信頼性が十分でなかつたことと、適応に先立ち、管理判断をコンピューターで処理しようとする論理的なシステムを組立てる必要があつた。圧延作業に適応する上でも十分実用に供しようするモデルを作る上の変形抵抗、摩擦係数といった、基礎的なデータの収集を始めとする地道な解析を必要とした。したがつてコンピューターは、1950年頃から一般に使用