

図 4-9-6 溶接生産のシステム化 (稲垣)

量が前述のように約25年後に倍加するであろうことを考えれば、アーク溶接使用の絶対量の伸びは著しいことが予想される。

アーク溶接法の自動化すなわち溶接法の自動制御のための命題としては、溶接作業および技術者の機能をどのようにして装置に置き換えるかということである。従来の機械溶接では、人間の出力機能を代行することに主体があつたが、今後は人間の目や耳などの感覚に相当する入力機能を持たせて溶接の状況を検出し、さらに情報処理機能によりそれぞれの状況に応じて最適制御を行ない、適正な溶接施工の諸条件を自動的に設定することが必要であり、これに出力機能が加わり相互に有機的に連動することが大切である。そして、情報処理技術のための主要機器は電子計算機であり、エネルギー出力技術のための主要機器は工業用ロボットであるが、これらの機器を人間の役割との関連において、経済性、生産性および信頼性を考慮し、どのように配分するかが問題である。溶接技術における電子計算機の利用は、複雑な溶接現象のシミュレーション解析、溶接法の自動制御、工程管理、原価計算、在庫管理などの一般事務管理、さらに溶接生産工程のシステム化などが挙げられ、これらのうち個別的にはすでに種々のかたちで利用されているが、今後一層の研究開発および検討が望まれる。

溶接生産のシステム化については、図 4-9-6 のように提案することができる。溶接構造物の生産方式は工場生産と現地生産によつて大いに異なり、また構造物の種類、大きさ、形状および用途などによつて変化するが、その生産方式を検討する必要がある。従来の生産方式は、能率を強調するあまり機械化に重点が置かれ、それに人間が従属あるいは人間無視の「機械主導型」であつたが、今後は人間性を重視したいわゆる「人間主導型」の生産方式でなければならない。このため、人間性あるい

は生きがいの追求、省力化、省人化、作業環境の改善を計り、かつ溶接製品の信頼性および安全性を確保することを目ざした真の意味の自動化、すなわち人間機能の拡張を計らねばならない。さらに今後は特殊な環境下、たとえば海洋、宇宙あるいは原子炉の高放射能下での溶接などが問題になり、溶接の無人化のための開発も要望される。

4.10 粉末冶金技術の進歩

4.10.1 粉末製造法

最近の鉄系粉末冶金製品の生産の伸びは著しいものがあり、この原料としての鉄粉の需要もそれにともなつて増加の一途をたどっている。以前は主として輸入にたよつていたが、国内における鉄粉製造の技術が確立されて、現在は約70%が国産となつている。また、製造別にみると、従来おもに使用されている鉄粉は還元鉄粉と一部電解鉄粉であつたが、最近ではアトマイズ鉄粉が使用されるようになってきた。これらの推移を表 4-10.1 に示す。

(1) 還元法

鉱石あるいは鋼材の熱間圧延時に発生するミルスケールを固体炭素（コークス）で還元し、できた海綿鉄を粉碎後、仕上還元する方法である。

原料の鉱石は純度の高い品質の一定なものが利用され、鉄粉メーカーとして世界的に有名なスウェーデンのヘガネス社では同国で産出する約70% Fe の鉄鉱石を使用しているという。使用される鉄鉱石は磁鉄鉱が多いが、同和鉄粉工業(株)では硫化鉄鉱を酸化焙焼し、高純度の酸化鉄鉱として原料に用いている。一般に、鉱石還元鉄粉は他の鉄粉に比較して不純物が多く、圧縮性が悪いほか焼結体の強度、とくに焼入性などがやや劣るため、国内の粉末冶金用鉄粉としてはミルスケールを原料とした還元鉄粉が多く用いられている。

原料にミルスケールを用いている川崎製鉄(株)での製造工程を図 4-10.1 に示す。原料のミルスケールと還元剤（コークス）、脱硫剤（石灰）とを Si C 容器（サガー）に充填し、トンネル炉を用いて粗還元を行なう。粗還元温度は約 1,100°C である。できた海綿鉄を 100 メッシュ以下に粉碎後、磁選機によつて不純物の除去を行ない、NH₃ 分解ガス中にて仕上還元を実施する。この温度は約 900°C である。仕上還元粉を解砕後、ふるい分け、粒度調整を行なつて製品とする。

表 4-10.1 粉末冶金用鉄粉消費量推移 (神戸製鋼技報 24(1974) 2, P2)

%

年 度	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
還 元 鉄 粉	99	99	98	98	98	97	95	95	95	93	91	89	86
電 解 鉄 粉	1	1	2	2	2	3	5	5	5	5	4	3	3
ア ト マ イ ズ 鉄 粉	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	5	8	11
国 産	3	3	3	5	5	5	10	20	30	45	50	60	72
輸 入	97	97	97	95	95	95	90	80	70	55	50	40	28

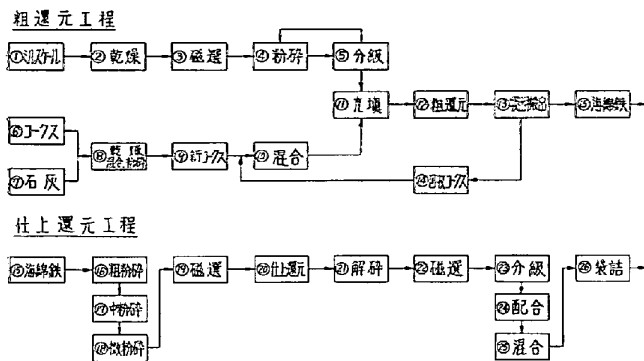


図 4.10.1 ミルスケール還元鉄粉の製造工程

これらの方法で製造した還元鉄粉は、原料として用いられる酸化鉄が固相で還元されるときに粒子内部に気孔が発生し、鉄粉は海綿状、多孔質である。一般に粒子形状は不規則なものが多く、粉末の見掛け密度の値は低く、流れは遅い。純度は、電解鉄粉に比べればやや悪い。これらの理由から、還元鉄粉は通常の粉末成形工程で高密度(圧粉密度 7.0g/cm^3 以上)が得られにくい。しかし、粉末粒子同志のからみ合いがよいので圧粉体の強度が高く、焼結性も良好で、しかも値段が安価であるので、一般の構造用部品の原料鉄粉としてもつと多く使用されている。

(2) 電解法

電解によって鉄粉を製造する方法としては、陰極面上に直接粉末として析出させる方法と、いつた陰極面上に板状で析出させ、これを粉砕する方法とがあるが、現在ではおもに後者の方法が用いられている。電解鉄粉は純度が非常に高く、圧縮性が良いので、高密度部品あるいは磁性材料用として使用されている。

(3) アトマイズ法(噴霧法)

従来、粉末冶金の市場はおもに還元鉄粉で占められていたが、最近、焼結部品が高密度化される傾向にあることと、粉末鍛造(焼結鍛造ともいわれる)技術の出現によって低合金鋼粉などの合金粉の必要性が強調されるようになり、溶湯金属を細孔より流出させ、その溶湯流に圧縮ガス、あるいは水流ジェットを作用させて粉末を作る、いわゆるアトマイズ法が注目されてきている。

アトマイズ鉄粉を製造している(株)神戸製鋼所の例では、10tのアーキ電気炉で溶解精錬および成分調整を行なったのち、タンディッシュ(保温炉)より溶湯を流下させ、これに高圧水を噴射することによってアトマイズを行なっている。粉化された生粉は、水蒸気加熱方式のロータリーキルンにより乾燥後、分解アンモニアガス中にて仕上還元を行なっている。アトマイズ法により量産を行なっているマンネスマン社(西ドイツ)では原料として一部銑鉄を用いており、ケベック社(アメリカ)ではイルメナイト鉱製鉄の際の溶融鉄を、ユーオースミス社(アメリカ)では自動車用鋼板などの切断屑を原料としている。

このアトマイズ法により製造された鉄粉は、粒子内部に気孔がほとんどなく、平滑な表面を有しているほか、形状が球状に近いので、粉末の見掛け密度が高く、流れも

速い。このため、圧縮性が良好で高密度の構造用部品に使用されている。製造される粉末の形状、粒径は、溶湯温度、溶湯ノズル直径などアトマイズ時の諸条件、あるいは水圧、水量など噴霧媒の条件によって比較的簡単に調整することができる。

(4) 合金鋼粉の製造

アトマイズ法の大きな利点は、合金粉を作ることができることにある。鉄粉に合金成分粉を混合して焼結部品をつくる混合法は、焼結過程において合金成分のFeへの拡散が十分でなく、均一性という点に問題があることから、合金粉の製造用開発が大きな問題になつてきている。とくに、粉末鍛造技術によって、従来粉末冶金が対象としてきた鋳鉄、特殊鋳鉄、炭素鋼のほか、調質による炭素鋼あるいはCr、Cr-Mo鋼など一般鋼材と同等の性質が得られるようになってきた。

この粉末鍛造用の原料粉としては、還元またはアトマイズによる純鉄粉に合金元素粉を混合するプレミックス法があるが、この方法では溶製鋼材に比較して靱性、焼入性などが劣る。一方、すでに国内でも市販されているアトマイズによるNi-Mo鋼粉(2% Ni, 0.5% Mo)は、Ni, Moなどその酸化物が容易に還元されやすい合金元素のみを含み、従来使用されているRX焼結雰囲気で使用でき、衝撃値もかなり高いので評判はよいが、粉末の値段が高価なことと、焼入性が悪いために、現在、Mn, Crを含む低合金鋼粉へとその開発が移行しつつある。

これら低合金鋼粉の製造には、Mn, Cr元素の酸化の問題があり、とくに水アトマイズ法によって製造する場合、アトマイズ時あるいはその後の仕上還元工程での酸化を如何に防ぐかが重要な問題となつている。しかし、近い将来、これらの問題が解決され焼入性がよく、粉末酸素量の低い合金鋼粉が工業的に製造されるようになるであろう。

このほか、現在、ステンレス鋼、高速度工具鋼、スーパーアロイなど各種の合金粉が、水あるいはガスアトマイズ法によって作られ、量産化されようとしている。

4.10.2 加工法

(1) 成形および焼結法

鉄粉の成形は普通金型法によるが、最近では各種加圧機構を有する粉末専用プレス、型材料とその設計が進歩し、良質鉄粉の供給もあり、種々形状の成形体が効率よくプレス可能になつた。容量約1,000tまでの国産の機械プレス、油圧プレスが普及しプレス速度は約60ヶ/minにも及んでいる。金型よりも均一成形が可能で、複雑形状の長尺成品に適する静水圧成形法(Isostatic pressing)も一般に用いられるようになり、乾式法と回転ユニットとを組合せたRotpressなどによる高速静水圧成形法も実施の段階に達しつつある。

焼結関係では、普通の固相焼結法に対し、各種の活性化焼結法が発展し、広くこの方法が採用されるようになったことはまず大きな進歩である。本法によつても十分に緻密な焼結成品がえられやすいからである。溶浸法の技術はすでに確立し、Fe-Cu系の高力部品の焼結に重要な役割を果たしつつある。いずれの焼結を行なう場合も、

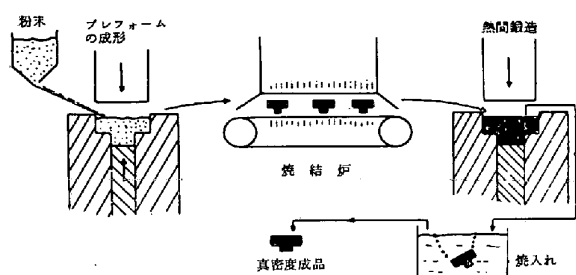


図 4-10-2 粉末鍛造法の模式図 (G. T. BROWN: Modern Develop. in P/M, IV (1971), 369)

焼結諸条件の調節が精度よく行なわれねばならないが、最近適切な連続焼結炉が市場にあつて、量産を可能とし、また品質の安定化もはかれるようになった。

自動車用などの高力部品の焼結には、焼結鍛造法 (Powder forging, Hot forging) が各国で着目されてきた。図 4-10-2 に示すように、まず鍛造用素材 (プレフォーム) を焼結し、次いで $900\sim 1,000^{\circ}\text{C}$ で鍛造し、効果的に高密度 (強度)、信頼性の高い成品をえようとする試みであるので、工業的にはもとより新しい加工法としても注目に値する。それゆえアメリカ、シンシナティ社をはじめ、ドイツ、わが国 (神鋼) においても自動焼結鍛造機が開発されすでに市販されつつある。しかし鍛造時の緻密化効率、鍛造材の焼入れ性・靱性の向上、その他経済性の点などについてはさらに検討を要するものがある。

同じく高密度成品をうる新しい焼結法に、高温静水圧焼結法 (Hot gas isostatic pressing, HIP) の発展のあることも見逃せない。1965年スウェーデン ASEA 社の開発にかかるものであり、今では他社の装置も市場に見られるが圧力媒体としては Ar ガスが普通用いられ、 $1,000\sim 2,000$ 気圧の Ar 中、 $1,300\sim 1,500^{\circ}\text{C}$ で成形と焼結とを同時に行なう方法や一次焼結体を再焼結する方法がとられている。わが国には ASEA 社の設備が多数導入され、目下長尺超硬合金の焼結に威力を発揮しているが、鉄粉、高速度鋼粉などの HIP についても多くの研究が進められつつある。高速度鋼粉の HIP 模式図を図 4-10-3 に示す。

(2) 焼結成品の用途拡大

主な鉄焼結成品には、軸受、集電材料などといった粉末冶金固有のものと、そうではない機械部品、磁性材料などがあるが、4.10.1でのべたように鉄粉の需要が世

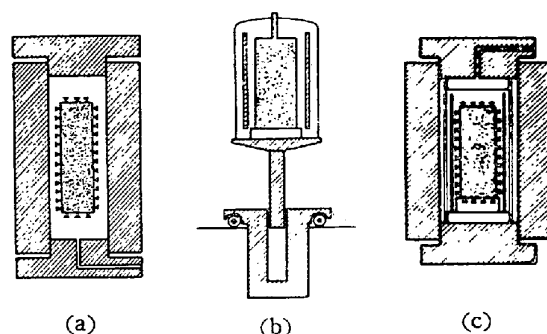


図 4-10-3 アセア・ストーラ法による高速度工具鋼ビレットの製法

(a), 粉末をカプセルに充填して比重約70%に湿式冷間静水圧成形; (b), $500\sim 1,000^{\circ}\text{C}$ でガス抜き; (c), $1,100^{\circ}\text{C}\times 1,000$ 気圧で HIP. (材料加工, 1973年8月)

界的にみて急増しつつあるのは、とりもなおさずそれら成品の用途拡大を裏付けている。とりわけ鉄粉の需要は軸受、機械部品などに対してとくに多く、このことはわが国の生産高の推移を示す表 4-10-2 によく現われている。

以下これら成品についてのべれば、まず鉄系軸受は鋼系に比べて、安価なうえ強度がすぐれ、軸との膨張係数差が小という特長のゆえに、PV 値 $1,100\text{ kg}\cdot\text{m}/\text{min}$ までの家庭機器、事務器、輸送機械、土木機械などの部品として広く応用され、その需要は年と共に拡大の傾向にある。軸受の種類、組成などは JISB-1581-1974 に規格化されるようになった。

鉄系機械部品は、大別すると焼結比重が $6.2\sim 7.2$ の範囲にあつて各種機械用、自動車用などの小型歯車、カム、リング、ナットに供される部門と、比重がほぼ真密度に近く自動車用のコネクティングロッド、ピニオンギア、自動変速機のインプットギアなどを目的とする部門とに分けられる。前者の普通密度成品は活性化焼結法、再加圧・再焼結法、溶浸法などにより量産されて、焼結機械部品の主流をなし材質的には Fe-C, Fe-Cu-C, Fe-Cu-Ni-C 系などが、引張強さ約 $65\text{ kg}/\text{mm}^2$ 以下で応用 (JPMIAI-1970) されている。自動車などの輸送機械への応用は諸外国と同様全体の約 $50\sim 60\%$ と高率を占めてきた。潤滑機能を備えた構造部品の応用もかなり多い (JPMA 2-1972)。引張強さ $100\sim 130\text{ kg}/\text{mm}^2$ の高力機械部品用その他特殊用途には、Fe-Ni-Mo-C, Fe-Ni-Mn-C, Fe-Mn-C, ステンレス鋼、マルエージ鋼などが主としてアトマイズ合金粉を原料として焼結されてきている。

表 4-10-2 鉄系粉末冶金成品生産高推移例 (重量, t; 金額, 億円)

昭和暦年	41	42	43	44	45	46	47	48
軸受合金	重量	1,100	1,420	1,790	2,060	2,300	2,040	2,510
	金額	16.1	21.5	26.7	29.9	32.5	29.2	35.7
機械部品	重量	2,920	4,130	5,430	7,040	9,210	10,840	13,020
	金額	26.9	37.3	48.8	62.2	80.3	91.4	110.8
								17,200
								150.5

比重7.2~7.5以上の高密度部品は各種鉄粉、合金粉を原料とする焼結鍛造法によつて作られ、多くの研究が積み重ねられてきた。それによれば焼入性を考慮してのNi-Mo 鋼 (0.5~3.0 Ni, 0.2~0.6 Mo, 0.1~0.7C), Ni-Mo-Cr (Mn) 鋼 (0~2.0 Ni, 0~0.6 Mo, 0~1.0 Cr, 0~0.7 Mn 0.3~0.6 C) などの性質は優秀であり、その例は比重 7.5~7.85, 引張強さ 60~180 kg/mm², 伸びは 100 kg/mm² 以上の場合ほとんど溶製材と同等とされる。安価で焼入性がすぐれる Mn-Cr 鋼の研究も進みつつあるが、焼結鍛造成品の用途拡大は、前述の理由により今後の研究に期待が寄せられている。

高速度鋼成品は焼結鍛造, HIP などにより製造され、

その切削性能は、炭化物の微細分散により普通品の数倍にも達することが知られているが、この場合も経済性が問題となり目下のところ大幅な伸びを示していないようである。この意味では適切な原料粉末と焼結法とにより、一度の焼結で緻密なしかも普通組成よりも高成分の高速度鋼がえられるとする最近の結果は注目に値しよう。鉄系機械部品は、常に粉末冶金では競争的分野に属し、国情とも関連することを考慮することにより、その用途拡大は今後大いに期待できると思われる。

種々の軟質・硬質磁性材料には、電解鉄粉、カーボニル鉄粉などが用いられ、生産量は軸受と機械部品の中位にあつて常に広い応用分野を保つてきた。