
アトマイズ鉄粉の製造設備と品質

Atomized Iron Powder Plant and Product Quality

藤川 允文(Takafumi Fujikawa) 前田 義昭(Yoshiaki Maeda) 安田 勢二(Seiji Yasuda) 野中 浩(Hiroshi Nonaka) 伊藤 俊治(Shunji Ito) 新田 稔(Minoru Nitta)

要旨：

1978年4月溶接棒・鉄粉工場（千葉製鉄所内）において、粉末冶金用鉄粉の製造を目的とした生産能力400t/month（第1期工場計画分）のアトマイズ鉄粉製造設備の操業を開始した。5t電気炉で種々の鋼種に溶製した溶鋼は、当社技術研究所で開発した水アトマイズ法により粉化され鉄粉となる。この鉄粉は、市販のアトマイズ鉄粉に比べて、純度・圧縮度・成形性が優れ、粉末冶金用高密度鉄粉として適切である。(1) 品質の安定した鉄粉の製造 (2) 発塵、排水に対する公害防止 (3) スラリーや鉄粉の搬送を中心とした自動化と消化 (4) 異種鋼粉の混入防止

Synopsis：

In April 1978, the welding electrode and iron powder plant at Chiba Works of Kawasaki Steel Corp. started the manufacture of atomized iron powder for powder metallurgy with 400t/month capacity as the first stage. Various types of steels melted in the 5t electric furnace are pulverized into iron powder with the water atomizing method developed by Research Laboratories. This iron powder exceeds commercial-grade atomized iron powder in purity, compressibility and compactibility, and is best suited to high density iron powder for powder metallurgy use. For its industrialization, special attention is paid to the following points: (1) Manufacture of iron powder of stable quality, (2) Prevention of environmental pollution caused by dust teneration and water effluence, (3) Automatization and labor-saving centered on transportation of slurry and iron powder, and (4) Prevention of mixing foreign powders.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

アトマイズ鉄粉の製造設備と品質

Atomized Iron Powder Plant and Product Quality

藤 川 允 文*

Takafumi Fujikawa

前 田 義 昭**

Yoshiaki Maeda

安 田 勢 二***

Seiji Yasuda

野 中 浩****

Hiroshi Nonaka

伊 藤 俊 治*****

Shunji Ito

新 田 稔*****

Minoru Nitta

Synopsis:

In April 1978, the welding electrode and iron powder plant at Chiba Works of Kawasaki Steel Corp. started the manufacture of atomized iron powder for powder metallurgy with 400t/month capacity as the first stage.

Various types of steels melted in the 5t electric furnace are pulverized into iron powder with the water atomizing method developed by Research Laboratories. This iron powder exceeds commercial-grade atomized iron powder in purity, compressibility and compactibility, and is best suited to high density iron powder for powder metallurgy use. For its industrialization, special attention is paid to the following points:

- (1) Manufacture of iron powder of stable quality,
- (2) Prevention of environmental pollution caused by dust generation and water effluence,
- (3) Automatization and labor-saving centered on transportation of slurry and iron powder, and
- (4) Prevention of mixing foreign powders.

1. 緒 言

鉄粉工場では、昭和41年以来ミルスケールを原料とした還元鉄粉を生産している。この間自動車、家電機器、事務機などの産業機械の伸びとともに需要量が増加し、当工場も設備の増設を重ね対処してきた。

しかし、粉末冶金技術の発展や用途開発により現在の還元鉄粉よりもさらに高強度、高密度部品に適した粉末の開発が、要求されてきた。この需要動向に対処するため、昭和45年頃より技術研究所で開発を進めてきたベンシルジェット方式の水

アトマイズ法による鉄粉製造設備の工場建設の計画を進め、昭和52年5月に工事に着手し、昭和53年4月にアトマイズ工場の第1期工事を完了して、操業を開始した。

従来のミルスケール還元法は、合金鋼粉の製造が困難であり、また鉄粉粒子が海綿状で不規則なためさらに高密度を必要とする部品用の鉄粉製造には不適當である。これに対してアトマイズ法は、電気がで成分目標値に合せて合金材を添加したあと注入溶鋼流を直接高圧水で粉化する方法であり、種々の合金鋼粉が製造できるとともに、粒子内部の気孔が少ないため高密度部品用鉄粉の生産に適している。

* 溶接棒・鉄粉工場技術管理室主査(課長待遇)

*** 溶接棒・鉄粉工場技術管理室主査(副部長待遇)

***** 技術研究所粉体研究室室長・1.博

(昭和55年1月23日原稿受付)

** 溶接棒・鉄粉工場技術管理室主査(部長待遇)

**** 溶接棒・鉄粉工場副工場長

***** 技術研究所粉体研究室

本設備の稼動によって当社の鉄粉工場は、日本では初めて還元鉄粉とアトマイズ鉄粉という、それぞれ特徴をもつ鉄粉の生産を開始した。

生産能力は次のとおりである。

(1) アトマイズ鉄粉

粉末冶金用（第1期）400t/month（完成時約1200t/month）

(2) 還元鉄粉

粉末冶金用：1400t/month

溶接棒、その他用：300t/month

アトマイズ鉄粉には純鉄粉のほか、3Cr 鋼粉（Cr-Mo-V系）、6.5Co 鋼粉（Ni-Mo-Co系）、4100 鋼粉（Mn-Cr-Mo系）、4600 鋼粉（Ni-Mo-Cu系）などの合金鋼粉がある。

なお、現在の仕上還元工程は、AXガスにて前置還元して粉末冶金用鉄粉を生産する方式であるが、将来は当社で開発した焼入れ性と靱性に優れた酸素の低い合金鉄粉を製造できるVIDOP（Vacuum Induction-heating De Oxidation Process）装置を建設して、より高強度部品用の原料鋼粉を供給できるよう計画中である。

以下に設備の概要品質について報告する。

2. 設 備

2.1 製造工程

製造工程の概略をFig. 1に示している。5t電気炉で溶製した溶鋼を注入場に運搬し、保温炉でタンデッシュ内温度を一定に保持しながら注入作業を進め高圧水による噴霧を行う。噴霧槽で生成した鉄粉スラリーは、スラリーポンプで連続的に洗滌槽に送られて水と高濃度の鉄粉スラリーに分離される。振動脱水機で一次脱水したあとスチームドライヤで乾燥し、クーラーで常温まで強制冷却後解砕・磁選・分級をして、アトマイズ生粉となる。この生粉は還元鉄粉と同様に仕上還元炉にてAXガスによる仕上還元を行い、解砕・分級・篩分をしてアトマイズ鉄粉となる。

2.2 設備概要

2.2.1 電気炉

Photo. 1は電気が出鋼時を撮影したものである。

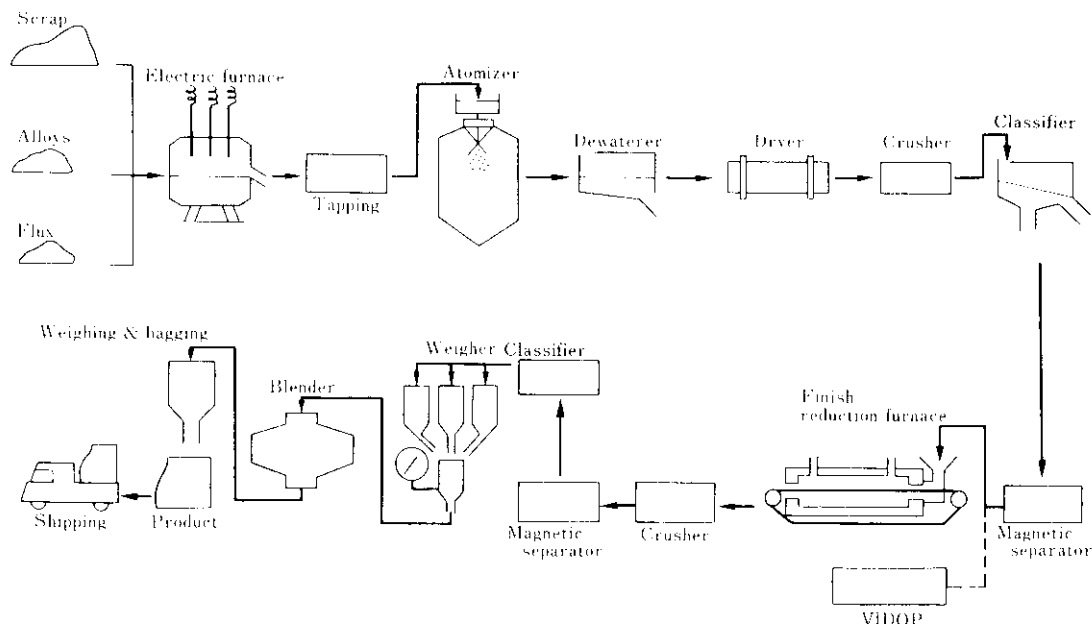


Fig.1 Manufacturing process of atomized steel powder



Photo.1 Tapping at 5t electric furnace

屑鉄・合金材などを溶解・精錬して、溶鋼を目標とする成分・温度に調整する。公称 5t の製鋼用アーク炉で変圧器は定格 3 000kVA である。

2・2・2 保温設備

注入場において取鍋内の溶鋼を加熱することにより、注入中のタンデッシュ内溶鋼温度を目標温度に調節し、鉄粉の品質安定とノズル閉塞事故の減少を目的とした装置である。変圧器容量を定格 800kVA とし、 $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ の昇温が可能である。

2・2・3 注入設備

鉄粉粒度および酸素含有量などの品質に大きく影響する設備であり、また溶鋼と水が接触する作業であるため、品質面と水蒸気爆発防止等安全面での対策が必要とされた。

Fig. 2 に注入設備全体の組立図を示している。

(1) 噴霧設備

Fig. 3 に組立図を示す。噴霧槽上部に円形に高圧水ノズルを配置して、溶鋼をその円錐膜焦点に落下させ粉化する槽である。槽全体は粉化時の溶鋼酸化を防止するために気密性をもたせており、不活性ガスによる置換を完全なものとしている。また鉄粉の粒度に影響する高圧水膜の乱れを防ぐために、水膜近傍の圧力変動と上下の圧力差を解消するドラフト管、均圧管を設けている。

(2) 酸化防止装置

製品品質および仕上還元炉の生産性に影響する生粉の H_2 ロス値は、溶鋼が粉化する際の雰囲気酸素濃度では決定する。この酸素濃度を低下させるためには、槽を密閉型としてタンデッシュ下面と槽上部間の注入流周りからの大気流入を防ぐ必要がある。そのため、機械的に大気を遮断する方法を採用して、注入中の槽内酸素濃度を下げ H_2 ロスの低い製品がえられるようにしている。

(3) ノズル芯出装置

タンデッシュからの溶鋼流を、高圧水膜の焦点に正確に落下させるための装置である。注入位置と別の段取場に芯を設けタンデッシュを台車に据付ける際に位置ぎめして、注入時の溶鋼流が高圧水膜の中心に落下するようにした。なお、このタンデッシュは常時 2 台を準備しており、1 台は非常用としてたえず待機させている。

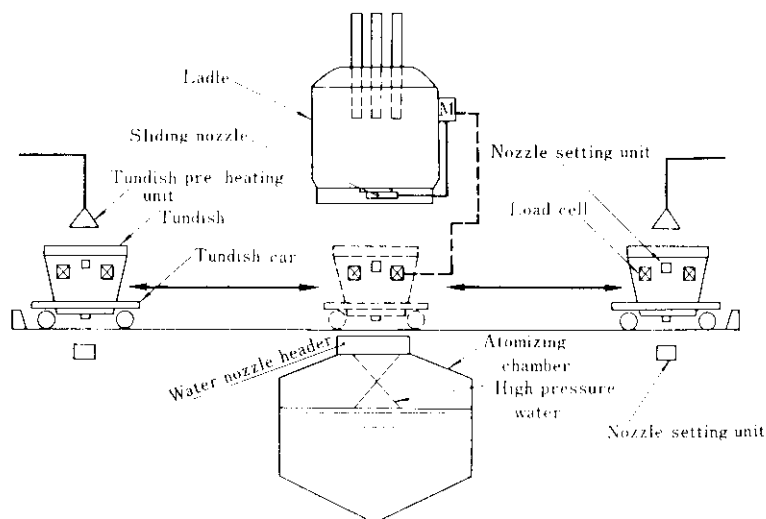


Fig.2 Equipment for pouring and atomization

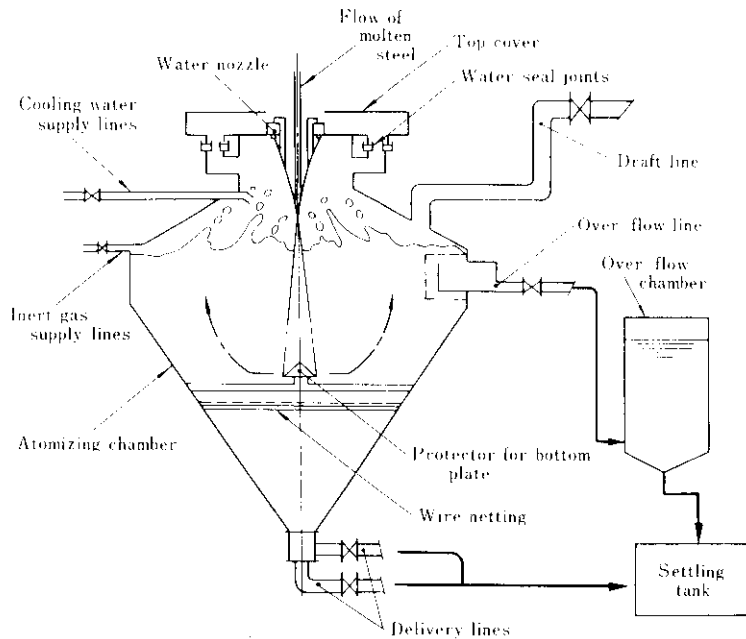


Fig.3 Schematic drawing of atomizing chamber

(4) 溶鋼流量制御装置

注入溶鋼流量はタンデッシュのノズル径と溶鋼の深さなどで変化する。深さは通常、人が観察し調整するが、これには作業員間のバラツキが必然的に発生する。このバラツキをなくして安定した粒度の鉄粉をうるために、タンデッシュ内の溶鋼量を測定して、取鍋からの流出量を変え溶鋼高さを自動制御するものである。

検出装置：ロードセル 4点和算式

検出重量： $\pm 10\text{kg}$

精 度：基準レベル $\pm 10\text{mm}$ 以内

(5) 安全装置

(a) 溶鋼処理

取鍋のスライディングノズルの開閉は、電動式であり停電対策としてエアモーターを備えている。タンデッシュ内溶鋼およびガースライディングノズルが閉とならぬ時の取鍋内溶鋼は、台車の走行または補助樋の出入れにより系外の非常樋へ排出する。

(b) 水量ならびに水温制御

水温が高くなると槽内の圧力変化で溶鋼流が乱れ、一方、水面が低下すると、噴霧槽下部の損傷を起こして事故の原因となる。そのため設定水温と水面高さを操業中に測定しその変化によって、自動的に給水量の補正を行っている。停電等緊急

時には、溶鋼処理が完了するまで高架水槽より通水できる。

2・2・4 脱水・乾燥装置

(1) 振動脱水機

沈澱槽より排出したスラリーは、水分約 35wt% あり、直接ドライヤに投入すると鉄粉の搬送機およびドライヤ内部への付着を起こし、機器の保全上や異鋼種鉄粉の混入防止上で問題がある。この問題を解決するためには脱水機を設け、水分を 10% 以下に低下させる必要がある。ここに設けた脱水機は、鉄粉の最適な脱水機として当社で独自に開発した装置であり、以下の特徴を有している。

(a) 脱水中に鉄粉が大気中へ露出する方法では、酸化の問題があるが本装置は脱水が水面下で進行し、酸化が少ない。

(b) 簡単な箱型形状であり洗滌が容易で、残留物がない。

主な仕様を次に示す。

容量：4.4m³ (箱型)

能力：6.5t/40min

加振力：30.0t

振動数：1450cpm

振幅：1.7～2.0mm

脱水効率：脱水前水分 35wt%

脱水後水分 10wt% 以下

(2) スチームドライヤ

水分が 10wt% 以下となった脱水鉄粉を乾燥する装置であるが、熱効率がよく 200℃ 以下の温度で乾燥が進行するために酸化が少なく、かつ乾燥中に不活性ガス雰囲気下で作業できるバッチ式スチームチューブドライヤを採用した。不活性ガスは、使用量節減のために、循環使用できるようにしている。乾燥中の酸素濃度は 1% 以下に抑えることができる。

主な仕様を以下に示す。

ドライヤ

型式：スチームチューブドライヤ 2 440mmφ
×4 500mm

蒸気：7atg

駆動：バッチ式

乾燥水分：0.02% 以下

スクラバー：容量 600m³/h

プレヒーター：蒸気ヒーター

2・2・5 分級設備

Fig. 4 に分級設備の系統図を、Photo. 2 に設備の外観を示している。アトマイズ中に生成した結合粒子の解砕、粒度安定のための分級、スラグ他介在物を除去する磁選を主たる目的とした装置である。適切な解砕を進めるためにハンマミルへの循環量の制御を行い、またベルトコンベアや配管途中のゲート部をなくして、振動コンベアや特殊なディストリビューターを採用し、異種鋼粉の混入や鉄粉の機体への付着を減少させるよう配慮している。

主な仕様を次に示す。

設備能力：3.5t/h

スクリーン：4ft×10ft×2 層

単床開放型 カバー付

ハンマミル：500mmφ×300mm

30kw×4p

磁選機：磁選 最大 1300G

フィーディングウエア：精度 ±1/100

ホッパースケール：精度 ±1/500、ロード
セル式

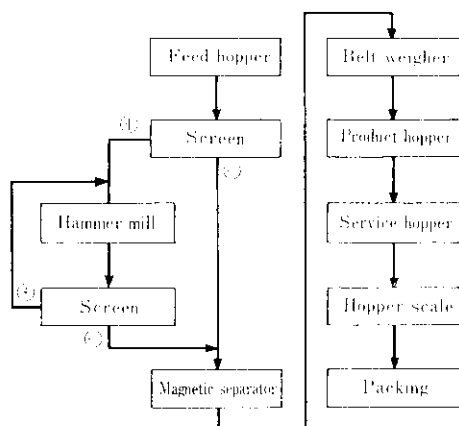


Fig. 4 Process diagram of the crushing and sieving system

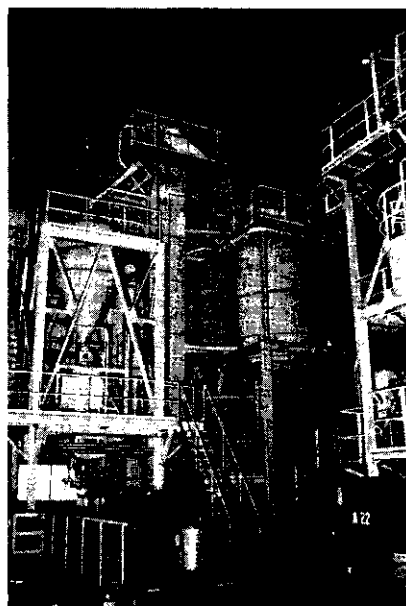


Photo. 2 General view of crushing and sieving facility

2・2・6 排水処理装置

Fig. 5 に循環水系統図を、Photo. 3 に設備の外観を示している。

鉄粉の混入したアトマイズ水と一般機器冷却水の 2 種類がある。後者が防錆剤添加水であり、SS 分が少なくすぐに循環再使用できるのに対して、アトマイズ水は混入した鉄粉からなる SS 分を、高圧水ポンプのインペラやノズルの摩耗を防ぐ

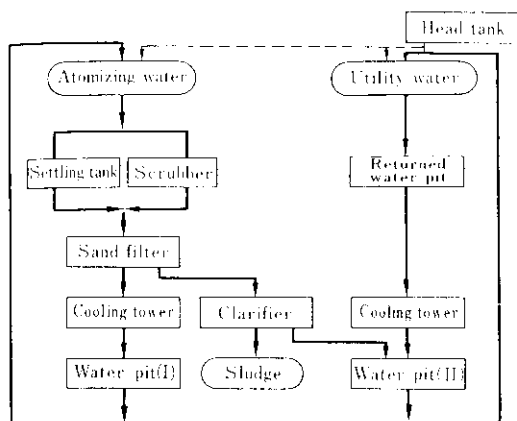


Fig. 5 Process diagram of circulating water



Photo. 3 General view of circulating water facility

ために、15ppm 以下になるようろ過する必要がある。ろ過塔の洗滌で発生する汚泥水もシックナーで処理し、上澄みは機器冷却水の補給水として使用し、スラジは所内スラジ工場で鉄源として回収し、工場外への排水は全く発生しない。

主な仕様を以下に示す。

(1) I 系（アトマイズ水）処理装置

循環量：180m³/h

砂ろ過塔：加圧式 40m³/h×2基、

1900mmφ×5000mm

SS<15ppm

冷却塔：誘引式強制通風型、木骨、スレート張、角型

クラリファイヤ：4800mmφ×5320mmφ

SS<15ppm

環水槽：365m³

(2) II 系（機器冷却水）処理装置

循環量：120m³/h

冷却塔：誘引式強制通風型、木骨、スレート張り、角型

環水槽：92m³

戻水槽：34m³

2・2・7 附属設備

(1) 電気集塵機

炉周りローカルフード、建屋フード、保温炉フードと吸引箇所が複数に分れ、かつ精錬時期と作業の重複により必要吸引量が変化する。省エネを目的として排風機モーターの（8p-6p）2極変換とダンパー開度制御を組合せた新しい集塵機を開発して設置した。

型式：押込式バグフィルター

排風機

能力：3900m³/min×410mmAq at 80℃

電動機：500/210kw 985/740rpm

集塵室：6室 濾過面積：3880m²

(2) 分級設備集塵装置

型式：吸引式バグフィルター

排風機

能力：400m³/min×300mmAg at 40℃

電動機：37kw, 2030rpm

集塵室：12室 濾過面積：324m²

2・2・8 仕上還元設備

アトマイズ生粉を仕上還元炉および附属設備にて、還元焼鈍、篩分け等の処理を施しアトマイズ鉄粉とする。

仕上還元の目的は、生粉中の C, N, S や O の不純成分およびアトマイズによる急冷歪を除去し、粉末冶金に適合する粉末をうるためである。

合金鋼粉は、Fe より O との親和力の強い成分（例 Mn, Cr 等）が多く入っているものがあり、これらの仕上処理においては、生粉を酸化させぬよう炉内雰囲気ガスの露点を十分下げ、かつ高温にて処理する必要があるため、加温は最高1000℃、雰囲気投入ガスの露点が0℃以下となるようにドライヤを設けている。

仕上還元炉および篩分け・混合・梱包・装置は、同一ラインにてアトマイズ純鉄粉、合金鋼粉およびミルスケール還元鉄粉を断続的に処理するため、お互いに混合し合わないよう充分配慮し、設計さ

れている。

(1) 仕上還元炉

型式：ラジアントチューブ加熱，スチール
ベルト連続式

炉寸法：炉長 49m，ベルト幅 1250mm

温度：1000°Cmax.

還元ガス：アンモニア分解ガス

(2) 付属設備

解砕機：ハンマー式 2t/h

磁選機：ドラム回転型 2t/h

分級装置：振動式 2t/h

混合機：ダブルコーン型 10t/バッチ

梱包機：自動秤量式 250～1000kg/袋

3. 品質

ここでは、粉末冶金用アトマイズ鉄粉(KIP 300A)について主に説明し、合金鋼粉については、圧粉体までの特性を表示するだけにとどめる。

3-1 化学成分

当社のアトマイズ鉄粉(KIP 300A)は、千葉製鉄所で発生するスクラップのうち良質のものを選び、さらに電気炉で不純元素の減少を狙った精錬を実施しているため、市販アトマイズ鉄粉や、還元鉄粉の中で最も純度の高い当社のミルスケール還元鉄粉(KIP 270MS)と比べて、非常に高純度

となっている。Table 1に前述の純鉄系3品種および当社にて現在までに市販しているアトマイズ合金鋼粉の成分例を示す。

なお、参考として、現在技術研究所にて開発中のVIDOP装置によって造られるアトマイズ低酸素合金鋼粉の一例も示す。

3-2 粉体特性

Photo. 4に走査型電子顕微鏡による粒子外形写真、Photo. 5にアトマイズ鉄粉と還元鉄粉、両方の粒子断面写真を、Table 2に見掛密度、流動度および粒度分布の一例を示す。

アトマイズ鉄粉は、ミルスケール還元鉄粉に比べて粒子内の気孔が少なく緻密であり、かつ粒子表面の滑らかなものが多いため、見掛密度が高く流動性が良い。また粒度分布においては、ミルスケール還元鉄粉より粗粉、微粉両方ともに多く、分布の幅が広がっている。この粗粉側の多い理由は、還元鉄粉が100mesh以下に篩分けされているのに対して、アトマイズ粉は、80mesh以下に篩分けされているためである。

3-3 圧縮性

Fig. 6に各種鉄粉の圧縮性を示す。

高密度・高強度部品をうるためには、まず高い圧縮性を有する鉄粉が必要である。ここに開発された純鉄系アトマイズ鉄粉 KIP 300A は、還元鉄

Table 1 Chemical composition, hydrogen loss and acid insoluble of iron powders

		Chemical composition (%)												H ₂ loss (%)	Acid insolubles (%)
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Co	V	O		
Pure iron	KIP 300A	0.004	0.01	0.12	0.005	0.007	—	—	—	—	—	—	—	0.10	0.06
	Commercial	0.004	0.01	0.20	0.011	0.011	—	—	—	—	—	—	—	0.20	0.09
	KIP 270MS	0.004	0.02	0.25	0.006	0.006	—	—	—	—	—	—	—	0.12	0.18
Alloyed steel	KIP 4600	0.010	0.02	0.13	0.004	0.008	0.54	1.52	—	0.50	—	—	0.16	—	—
	KIP 4100	0.04	0.03	0.76	0.007	0.005	—	—	0.97	0.23	—	—	0.55	—	—
	KIP 4100V	0.12	0.06	0.82	0.019	0.007	—	—	1.06	0.25	—	—	0.088	—	—
	KIP 3Cr	0.05	0.03	0.13	0.007	0.005	—	—	2.98	0.28	—	0.31	0.75	—	—
	KIP 6.5Co	0.007	0.02	0.07	0.005	0.006	0.20	1.70	—	1.66	6.53	—	0.13	—	—

* Water atomized iron powders

** Mill scale reduced iron powders

*** Water atomized steel powders reduced by VIDOP

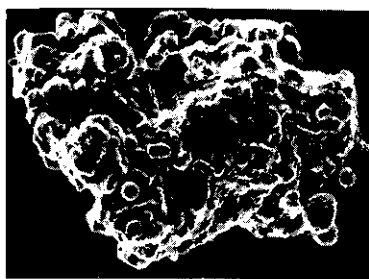
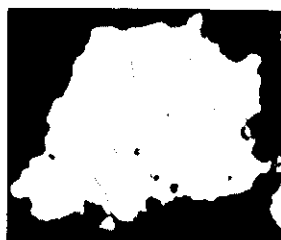


Photo.4 Particle surface by scanning electron microscope



(a) Atomized



(b) Millscale reduced

Photo.5 Cross section of iron powder particles

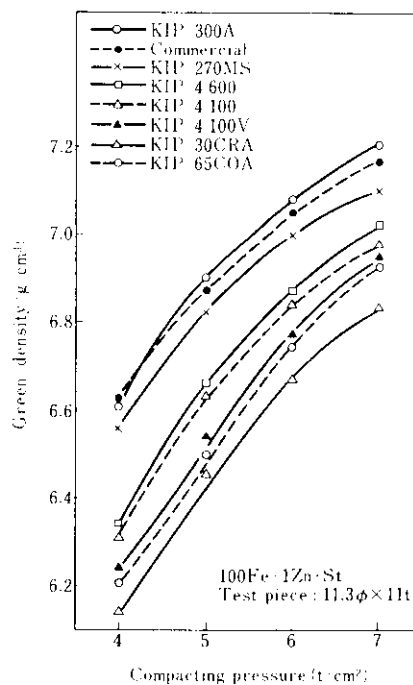


Fig.6 Compressibility of iron powders

粉の中で最も圧縮性の良い KIP 270MS よりもさらに高い圧縮性を示し、市販アトマイズ鉄粉に比べはば同等かそれ以上の圧縮性を示す。これは、KIP 300A が高純度であるため粉末が軟らかく、かつ粒子内の気孔が少ないためである。

Table 2 Particle size distribution, apparent density and flow rate of iron powders

		Particle size distribution, mesh (%)							A. D. (g/cm ³)	F.R. (s/50g)
		mesh + 80	80 + 100	100 + 150	- 150 + 200	- 200 + 250	+ 250 + 325	- 325		
Pure iron	KIP 300A	0.1	6.3	21.8	24.8	8.1	16.3	22.6	2.92	26.2
	Commercial	0.3	7.8	12.8	22.1	8.9	17.0	31.1	3.01	23.0
	KIP 270MS*	—	0.4	19.6	35.3	14.6	12.7	17.4	2.74	25.3
Alloyed steel	KIP 4600	0.1	8.6	20.5	23.5	7.9	15.4	24.0	3.05	25.0
	KIP 4100	0.1	6.3	21.6	25.3	10.1	13.2	23.4	3.20	23.6
	KIP 4100V***	3.4	15.1	25.8	24.8	7.1	12.1	11.7	3.23	23.0
	KIP 3Cr	Tr	2.8	12.0	20.0	8.6	18.4	38.2	3.14	23.6
	KIP 6.5Co	0.1	5.0	20.9	23.3	11.4	14.3	25.0	2.84	25.0

* Water atomized iron powders

** Mill scale reduced iron powders

*** Water atomized steel powders reduced by VIDOP

3・4 成形性

焼結部品の製造工程において、特に複雑形状部品や薄肉部を有する部品等の成形時、および成形された圧粉体を次の焼結工程に移動する際などに発生する圧粉体の割れ、欠け、亀裂などが問題となる。これらの程度を表す指標として、ラトラ値と圧粉体抗折力がある。ラトラ値は圧粉体の先端安定性を表し、値の小さい方が成形性がよく、圧粉体抗折力は圧粉体の強度を表し値の高い方が成形性はよい。

Fig. 7 にラトラ値を、Fig. 8 に純鉄系のみに

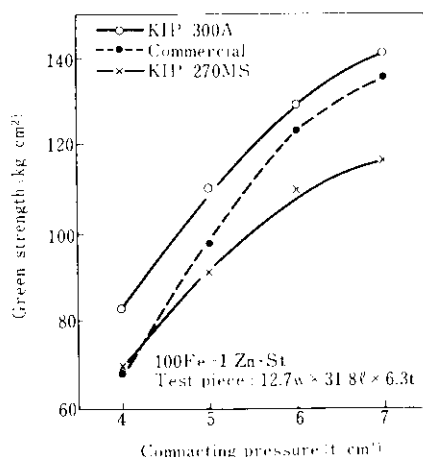


Fig. 8 Green strength of compact

についての圧粉体抗折力 (ASTM B312-64 にて約 270 kg/cm^2) を示す。KIP 300A は、ラトラ値、圧粉体抗折力ともに、KIP 270MS および他社アトマイズ粉より大幅に改善されている。

3・5 焼結体特性

鉄粉は需要家において各種合金元素を添加混合され、金型に充填され圧縮成形後焼結して、焼結部品となる。ここでは、純鉄系アトマイズ鉄粉 KIP 300A の一般的な焼結特性について述べる。なお、焼結体特性の測定条件を次に示す。

組成 $96.1\text{Fe}-3\text{Cu}-0.9\text{C}+0.75\text{Zn}\cdot\text{St}$

焼結雰囲気 RX ガス (ブタン変成ガス)
D.P. 4°C

焼結温度・時間 $1130^\circ\text{C} \times 25\text{min}$

3・5・1 寸法変化

Fig. 9 に寸法変化を示す。寸法変化は、添加元素の配合割合や焼結サイクルによっても値が変わるため、明確なことを述べることができないが、前述した条件のもとでは、外径・内径ともに同じ傾向を示し、KIP 300A は、KIP 270MS と市販アトマイズ粉との中間の寸法変化を示す。

3・5・2 機械的強度

Fig. 10 に焼結密度、Fig. 11 に硬さ、Fig. 12 に引張強さ、Fig. 13 に伸びを示す。

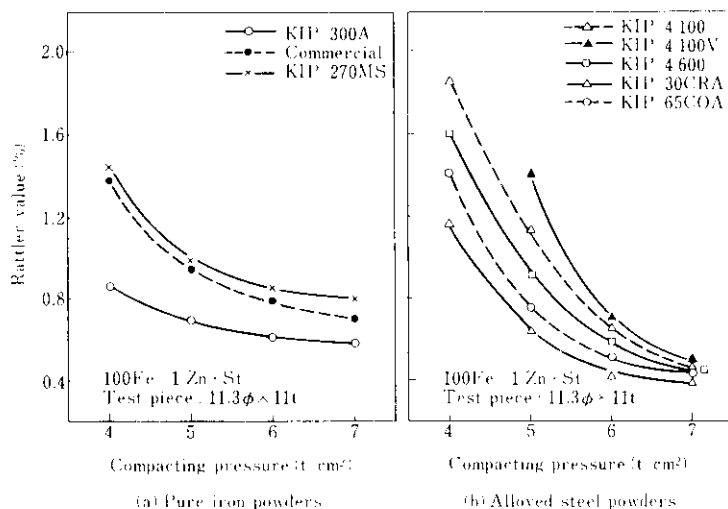


Fig. 7 Rattler value

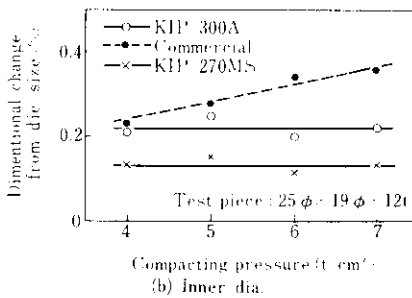
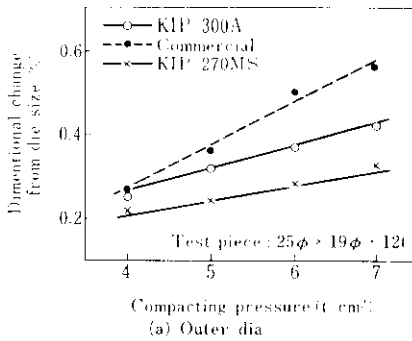


Fig. 9 Dimensional change of compact by sintering

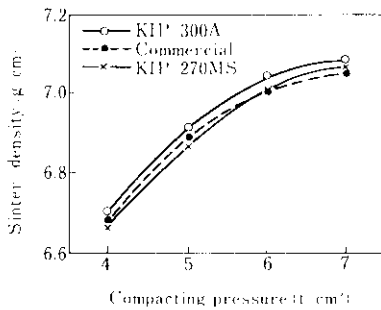


Fig. 10 Sinter density

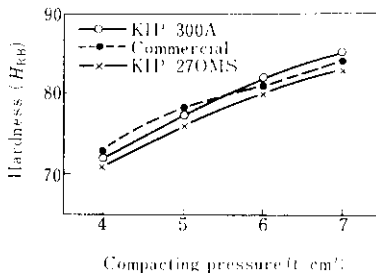


Fig. 11 Sinter hardness

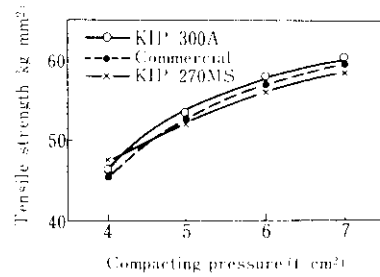


Fig. 12 Tensile strength of sinter

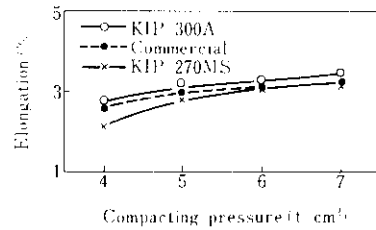


Fig. 13 Elongation of sinter

焼結密度は、KIP 300A が最も高い値を示す。硬さ、引張強さ、伸びで表される焼結体の強度は、KIP 300A は、市販アトマイズおよび KIP 270MS と同等の値を示している。

4. 結 言

本アトマイズ設備と一連の工程は、テストプラントなどによる基礎資料をもとに当社の技術力を結集し、工業化した工場である。この設備の完成で、当社は還元とアトマイズの両鉄粉を製造できる国内で唯一の会社となった。アトマイズ設備の稼働後1年半を経過して、操業も安定し、製品も市販のアトマイズ鉄粉や、還元鉄粉と比べて、純度がよく、圧縮性に優れ、かつ成形性の良い品質のものがえられるようになり着実に実績をあげてきている。

終りに、建設ならびに操業にあたって、ご協力いただいた関係部課の担当者の方々に心から謝意を表します。