

コンファインド型アトマイズノズルを用いて生成した合金粉末の粒度

福田 匡*・阿佐部 和孝*

Particle Size of Atomized Alloy Powder Prepared by Using a Confined-type Atomizing Nozzle

Tadashi FUKUDA and Kazutaka ASABE

Synopsis : The influences of the gas jet spouted from the atomizing nozzles, gas and metal flow rate ratio and gas pressure on the median diameter and particle size distribution were investigated. The median diameter of atomized powder varies in proportion to the square root of M_l/M_g value when the atomized powder was formed at various melt or gas flow rate under the same other conditions. The median diameter varies inversely proportional to the mean gas velocity when the powder was atomized using various atomizing nozzles which have different dimension i.e. the apex angle and gas jet nozzle configuration. Approximately the same median diameter powder was obtained at the same gas flow rate regardless of the gas jet pressure. An experimental formula was obtained as follows;

$$d_p^{50}/D_l = 63.6 \sqrt{(M_l/M_g) \cdot (\sigma_l/(D_l \cdot \rho_l \cdot V_g^2)) \cdot (v_l/v_g)}$$

where, d_p^{50} : Median diameter of atomized powder (m), D_l : Diameter of melt delivery tube (m), M_l : Mass flow rate of molten metal (kg/s), M_g : Mass flow rate of atomizing gas (kg/s), σ_l : Surface tension of molten metal (N/m), ρ_l : Density of molten metal (kg/m³), V_g : Gas velocity (m/s), v_l : Kinematic viscosity of molten metal (m²/s), v_g : Kinematic viscosity of atomizing gas (m²/s). The fraction of coarse powder increased when the atomization was performed with a concave gas velocity distribution compared to a convex one which is the ordinary case. The calculated particle size distribution coincides roughly with the experimental results. It was shown that the particle size distribution depends on the gas velocity distribution.

Key words: powder metallurgy; atomization; gas jet; confined-type nozzle; particle size.

1. 緒言

粉末冶金法は鉄系の焼結機械部品をはじめとして、偏析軽減やニアネットシェイプ成形に着目した高合金の素形材あるいは溶製材の表面に耐食材料として密着させたクラッド材料にも適用が広がっている。これらに用いられる原料粉末には、焼結性およびカプセル内の粉末充填密度の向上ならびに急凝固による偏析軽減などの観点から微細であることが求められる。酸化を抑制すべき高合金粉末の製造にはガスアトマイズ法の適用が一般的であり、既報¹⁾に述べたとおり溶湯（溶融状態の合金）から分裂した溶融状態の粒子を急冷して表面汚染の少ない粉末を生成するために、また通常の高さの工場建屋に設置できるアトマイズタンク内で溶湯粒子の凝固・冷却を完了させるためにも粒子が微細であることが求められる。このように粉末の特性およびガスアトマイズ設備の建設コストの観点から微粉末の生成が求められている。

従来から燃料や薬液などに空気を噴射して微粒化するアトマイズノズルについて、生成する液滴の粒度と噴霧条件

との関係²⁾ならびに粒度、粒子速度の空間分布³⁾あるいは噴射気流の乱れの影響^{4,5)}について研究されているが、生成液滴の粒度はアトマイズノズルの形式によって異なることが指摘されており、また液滴の急冷とともに物性値が急激に変化する溶融金属の噴霧とは分裂形態が異なることも考えられるため、求められた結果をそのまま金属粉末生成の場合に用いることはできない。例えば内部混合形の噴射弁に関する抜山らの式⁶⁾、フラッシュ形噴射弁に関するKimらの式²⁾を用いて金属のアトマイズ粉末の粒度を算出すると、いずれも実験値の数分の一程度になり差異が大きい。

また、金属のアトマイズ粉末の粒度に関する実験式やモデル式がいくつか提案されており、金属粉末の粒度については物性値が異なる多種類の金属・合金を統一的に扱うことができるLubanskaの式⁷⁾に言及する例が多いが、ガス流量が大きいと粒度に対するガス/溶湯比の影響度を適切に表さないといわれている⁸⁾。また、溶湯流が噴射ガスの衝突によって変形・分裂し生成粉末の粒度が決定されることから、粒度に与えるガス流速の影響を正確に見積もること

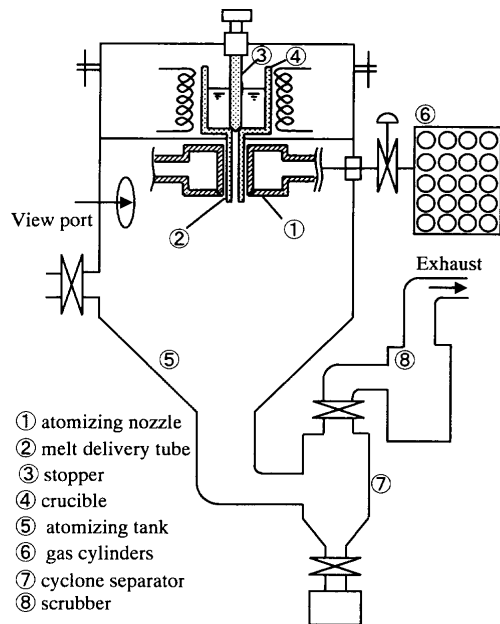


Fig. 1. Experimental apparatus for gas atomization.

が求められるが、Lubanska⁷⁾は供試された個々のアトマイズノズルが生成するガス流れ場の特性値を用いるのではなく、音速で放出されるガスジェットの流速減衰データを一律に用いて供試アトマイズノズルの幾何焦点における流速を算出している。これに対して、著者ら^{9,10)}はアトマイズノズルが生成するガス流れの特性を検討し、ガスのみを噴射した条件において幾何焦点廻りのガス流速分布に及ぼすアトマイズノズルの形状・寸法すなわち噴射孔と幾何焦点との近接度、噴射角度などの影響が重要であることを明らかにしている。

このようにガスアトマイズ粉末の粒度に与えるガス噴流の流速分布の影響について、従来の研究では十分明らかにされていない。そこで本研究では、溶湯流に噴射するガスの平均流速と生成粉末の平均粒度の関係、流速分布と粒度分布の関係を調べ、生成粉末の粒度に与えるアトマイズ条件の影響を検討し整理する。

2. 実験装置と実験方法

2.1 アトマイズ粉末の試作装置

アトマイズ粉末の試作装置の概略をFig. 1に示す。溶湯の調製は溶湯ノズルとストッパを備えたるつぼ内の原料合金をタンマン炉で加熱・溶解する方式、あるいは原料合金を誘導溶解して溶湯ノズルとストッパを備えたタンディッシュに傾転注湯する方式の両装置を用い、試料合金の溶解量に応じて使い分けた。アトマイズに用いる高圧ガスはArガスカードルから減圧弁を介して一定圧力のガスをアトマイズノズルに供給した。溶湯のアトマイズに使用したガスはサイクロンで微粉末を分離して大気放出した。溶湯はTable 1に示す主要成分の合金塊をAr雰囲気下で再溶解

Table 1. Chemical composition of the melting stock. (mass %)

Nd	B	Co	Al	Fe
13.0	3.8	3.4	0.8	bal.

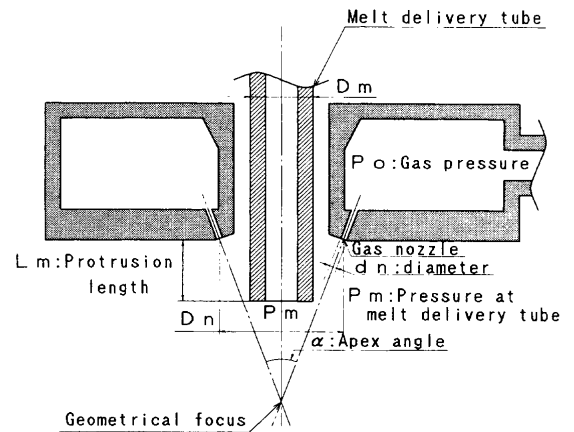


Fig. 2. Schematic illustration of atomizing nozzle used in this study.

Table 2. Dimensions of atomizing nozzles used in this study.

No.	Type	α	D_n (mm)	D_c (mm)	d_n (mm)	N
①	C	30°	13	12	$\phi 1.2$	20
②	B	30°	22	16	$\phi 1.2$	20
③	C	40°	13	12	$\phi 1.2$	20
④	C	45°	13	12	$\phi 1.2$	20
⑤	CL	30°	13	12	$\phi 1.2 \times \phi 1.6$	20
⑥	C	30°	13	12	$\phi 1.0$	20
⑦	C	30°	13	12	$\phi 1.5$	18

して調製し、約1300°Cに保たれていることを確認してからストッパを抜いて溶湯供給ノズルから流出させ、アトマイズ実験を行った。なお本合金は、急冷凝固による微細結晶の生成によって高い磁束密度を得ようとするものである。溶湯流量は溶湯ノズル径と溶湯供給管出口の負圧の組合わせで調節し、流出した溶湯量をアトマイズ時間で除して溶湯の平均流量とした。

生成した粉末はサイクロンならびにアトマイズタンク底部から回収し、粒度測定に供した。また、アトマイズノズルを水平方向から観察する位置に観察窓を設けて、溶湯の噴霧状態をビデオカメラにて撮影・観察した。

2.2 供試アトマイズノズル

供試アトマイズノズルの断面形状をFig. 2に、寸法をTable 2に示す。本ノズルを用いたアトマイズでは既報⁹⁾に記したとおり、溶湯はほとんど自由落下しないのでコンファインド型に類別される。また溶湯供給管の位置を調節することで、出口部に生成する負圧を変化させて溶湯流量を変化させることができる。負圧値はアトマイズノズルの形状・寸法、溶湯供給管の突出し長、噴射ガス圧力によ

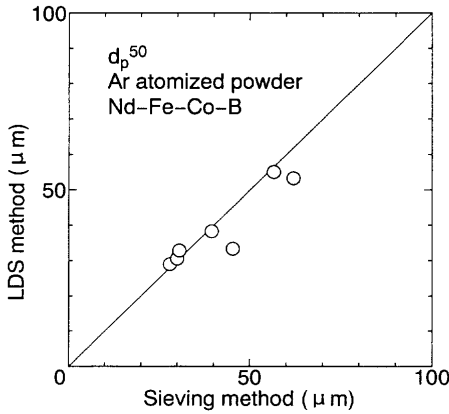


Fig. 3. Correlation between sieving method and laser diffraction and scattering (LDS) method for mass median diameter of atomization powder.

て変化するため、装置の各部品を組立後に実験予定の圧力でガス噴射し所定の値であることを確認した。

アトマイズノズルの形状・寸法が粉末粒度に与える影響を明らかにするため、次の諸点について実験的に検討した。

(1) ガス噴射孔と幾何焦点の距離 L_g ：噴射角度 α と孔径が同一であり、噴射孔の配置円径が異なるアトマイズノズルを用いて実験 (② typeB-30° と ① typeC-30° を比較)。

(2) 噴射角度 α ：噴射孔の孔径および配置円径は同一で α が異なるアトマイズノズルを用いて実験 (① typeC-30° と ③ typeC-40° を比較)。

(3) ガス噴射孔の縦断面形状；通例の直管状噴射孔からガス噴射する場合と縦断面がテーパ形状のガス噴射孔から出口マッハ数の高いガス流れを噴射する場合について実験 (① typeC-30° と ⑤ typeCL-30° を比較)。

(4) ガス噴射圧力の影響；ガス流量が同じで、ガス圧力が異なる場合について実験 (typeC-30° ①； $d_n=1.2$, ⑥； $d_n=1.0$, ⑦； $d_n=1.5$ を比較)。

(5) ガス流速分布の影響；幾何焦点まわりのガス流速分布が凸形と凹形の場合について実験ならびに粒度分布を計算 (① typeC-30° と ④ typeC-45° を比較)。

2・3 粒度分布測定装置と測定方法

回収粉末の粒度分布は JIS Z 8801 に規定されたふるいをを用いて測定するとともに、微量の界面活性剤を含む純水中に懸濁させた試料粉末についてレーザ回折/散乱法 (マイクロトラック FRA 型) によってメジアン径および粒度分布を測定した。両方法のメジアン径測定結果は Fig. 3 に示すように比較的よく一致したので、以下の検討にはレーザ回折/散乱法によって測定した値を用いた。

3. 実験結果および考察

ガスアトマイズ法による粉末生成について、噴射ガスの運動エネルギーの一部が生成粒子の表面エネルギーに変換

されるとして関係式を導き、粒度に影響するガスの噴射条件ならびに溶湯の物性値などの因子を抽出するとともに、各因子の影響度を実験によって求めた。前記の粒度に関する関係式および従来知見をもとにして、アトマイズ粉末の粒度に影響すると考えられるアトマイズ条件について実験的に検討した。

3・1 溶湯流の分裂・粉化状況

供試アトマイズノズルを用いて生成したガスアトマイズ粉末は球形で、また高 Ni 合金粉末断面の凝固組織の解析から冷却速度は粒子径の -1.5 乗に比例することが判明¹¹⁾している。これは溶湯流がガス噴流の作用で分裂して粒度が決定された後に、熔融状態で球形化し凝固することを示している。

また、既報⁹⁾に記したとおり、溶湯は溶湯供給管出口近傍で溶湯供給管外縁と幾何焦点付近を含む逆円錐領域に広がったのち、幾何焦点付近で粉化され、赤熱状態の粉末群は幾何焦点付近から下方に少なくとも約 100 mm の区間では直径が 20~30 mm 程度の限定された領域を流下することが観察されている。

このとき、供試アトマイズノズルの幾何焦点から下方に約 100 mm の区間でガス流速の減衰が少ないことを確かめているので、幾何焦点の流速を有するガス流れの作用によって粉末粒度が決定されると考えられる。すなわち、溶湯の粉化には幾何焦点まわりのガス流速が強く関連していると推定できる。

3・2 アトマイズ粉末の粒度に影響を及ぼす因子

噴射ガスの運動エネルギーは、熔融粉末粒子の表面積の拡大およびアトマイズで生成した粒子と周囲ガスの加速に費やされる。噴射ガスの運動エネルギーの一部が粒子の表面エネルギーに変換されるとして (1) 式を導き、これを整理して (2) 式を得る。

$$(1/2) \cdot M_g \cdot V_g^2 = k_1 \cdot \pi \cdot d_p^2 \cdot \sigma_l \cdot M_l / (\pi \cdot \rho_l \cdot d_p^3 / 6) \dots\dots\dots (1)$$

$$d_p / D_f = 12 / k_1 \cdot (M_l / M_g) \cdot (\sigma_l / (D_l \cdot \rho_l \cdot V_g^2)) \dots\dots\dots (2)$$

ここで

- d_p : 平均粒度 (m)
- D_l : 溶湯供給管の外径 (m)
- M_l : 溶湯質量流量 (kg/s)
- M_g : ガス質量流量 (kg/s)
- k_1 : 定数
- V_g : ガス流速 (m/s)
- We : ウェーバ数 $(D_l \cdot \rho_l \cdot V_g^2) / \sigma_l$
- ρ_l : 溶湯の密度 (kg/m³)
- σ_l : 溶湯の表面張力 (N/m)

(2) 式から、粉末粒度に影響を及ぼす因子として溶湯とガスの流量比 M_l/M_g およびガス運動量と表面張力の比 We ($=D_l \cdot \rho_l \cdot V_g^2 / \sigma_l$) が挙げられることが分かる。これに従来のアトマイズ粉末粒度に関する実験式に含まれる動粘度比 v_l/v_g (v_l, v_g はそれぞれ溶湯およびガスの動粘度 (m²/s)) を加えて、アトマイズ粉末の粒度には次の諸量に関連していると見なした。

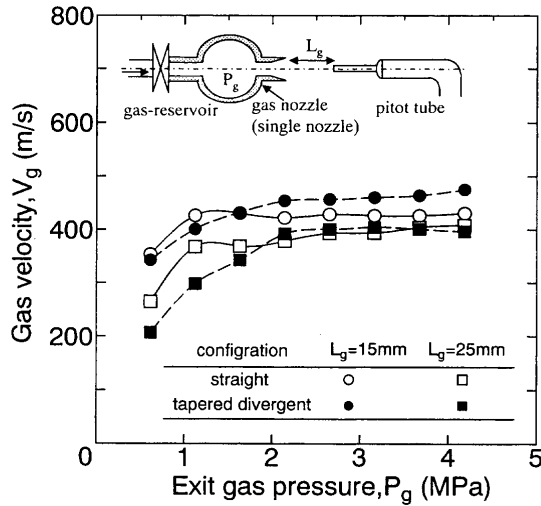


Fig. 4. Effect of exit gas pressure (P_g) on gas jet velocity (V_g).

$$d_p/D_l = f_n \cdot [(M_l/M_g), ((D_l \cdot \rho_l \cdot V_g^2)/\sigma_l), (v_l/v_g)] \dots \dots \dots (3)$$

3.3 幾何焦点におけるガス流速

3.1 項に述べたとおり、アトマイズ粉末の粒度には幾何焦点のガス流速が強く関連していると推定できる。溶湯の噴霧にはアトマイズノズルから3~4 MPaのガスを噴射するが、プローブ強度の制約からガス流速分布は1.1 MPaでガス噴射して測定した。なおガス流速の測定方法は既報¹⁰⁾に記したとおりである。噴射圧力が流速に及ぼす影響を調べるため、アトマイズノズルに設けた噴射孔と同一寸法の単孔ノズルからガス噴射した場合の流速を測定した結果をFig. 4に示す。噴射孔が直管の場合、噴射圧力 P_g が約1 MPaより大きいと噴射圧力の増大に対するガス流速 V_g の増加は比較的小さい。一方、噴射孔がTable 2-⑤に示す上流側内径1.2 mm、下流側内径1.6 mm、末広がり部の長さ3.0 mmのテーパ管の場合、 P_g の増大とともに V_g は上昇して約2 MPaより高压の場合、 $L_g=15$ mmでは直管噴射孔より高流速に達する。また $L_g=25$ mmでも P_g の増大とともに V_g は増大するが $P_g > 2$ MPaでは直管噴射孔とほぼ同じ流速を示す。このように噴射孔がテーパ管の場合、噴射圧力の増大に伴って流速も増大する挙動を示すが、3.5 (3)に後述するとおり $P_g=1.1$ MPaにおいて typeCL-30°のアトマイズノズルが生成する噴流の幾何焦点まわりの平均流速(V_m)は噴射孔が直管の場合 (typeC-30°) とほぼ同じ値であるため、溶湯のアトマイズにおける噴射圧 $P_g=3\sim 4$ MPaの場合も、アトマイズノズルの V_m はテーパ管噴射孔と直管噴射孔の両方で差異は小さいと推定した。

3.4 メジアン径と溶湯/ガス流量比との関係

Table 2-①に各部の寸法を示すアトマイズノズルを用い、ガス噴射条件が一定のもとで、溶湯供給管の突出し長を調節して溶湯供給管出口の負圧値を変えることにより、溶湯流量 (M_l) を変えて生成した粉末のメジアン径 (d_p^{50})、なら

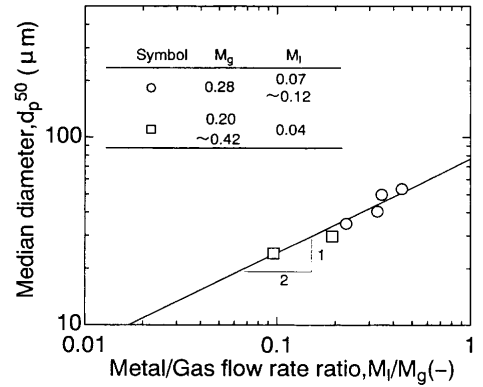


Fig. 5. Correlation between d_p and M_l/M_g (typeC-30° atomizer).

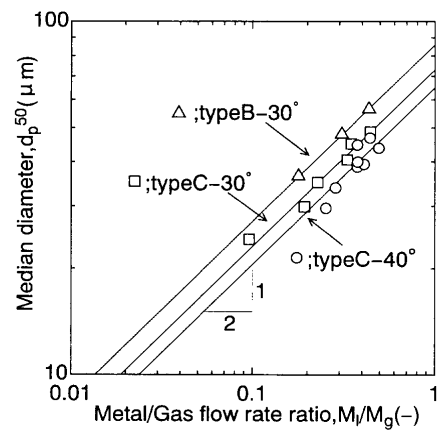


Fig. 6. Effect of nozzle configuration and apex angle of atomizers on particle size.

びに M_l がほぼ同じ値のまま噴射圧力を変えることによってガス流量 (M_g) を変化させて生成した粉末のメジアン径をそれぞれの M_l/M_g 値に対してプロットした結果をFig. 5に示す。これらの実験値は同一の直線関係にあることから、溶湯流量およびガス流量がメジアン径に与える影響は流量比 M_l/M_g で表すことができる。なお各実験条件における幾何焦点まわりの平均ガス流速 (V_m) はほぼ同じ値(255 m/s)である。

3.5 粉末の平均粒度とガス平均流速との関係

形状・寸法の異なるアトマイズノズルを用いて粉末を生成し、生成粉末の粒度と平均流速 V_m との関係を検討した。

(1) ガス噴射孔と幾何焦点の近接度の影響

typeB-30° (Table 2-②) と typeC-30° (Table 2-①) のアトマイズノズルを用いて生成した粉末の d_p^{50} と M_l/M_g との関係をFig. 6に示す。同図に示すように、同じ M_l/M_g において typeC を用いるほうが微細粉末が生成する。これは typeC ではガス噴射孔と幾何焦点を近接して配置したため $V_m=255$ m/sとなり、typeBの場合の $V_m=223$ m/sに比べて高流速であることが要因と考えられる。

(2) 噴射角度の影響

typeC-40° (Table 2-③) のアトマイズノズルを用いて生成

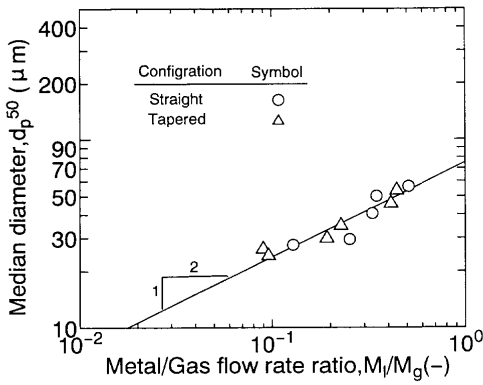


Fig. 7. Effect of gas-nozzle geometry on atomized particle size.

した粉末の粒度も Fig. 6 に示す。同じ M_l/M_g に対して、 $\alpha=30^\circ$ の場合に比べて $\alpha=40^\circ$ のアトマイズノズルを用いて生成した粉末のほうが微細である。 $\alpha=40^\circ$ のアトマイズノズルではガス噴射孔と幾何焦点がより近接しているため $V_m=278$ m/s となり、typeC-30° の $V_m=255$ m/s に比べて高流速であることがこの場合も要因と考えられる。後述するように、両者のメジアン径の差異は幾何焦点の垂直下向きガス流速の差異に対応する結果を得ており、これは噴射角度を大きくした場合、既報⁹⁾ に示したように噴射ガスの流線が幾何焦点より上流において溶湯管端部を回避するようほぼ垂直下向きに方向を変えるため、垂直方向のガス流速増大の効果は現れるが、噴射孔出口近傍で有する水平方向分速度の影響は認められなかったものと考えられる。

(3) 噴射孔形状の影響

typeC-30° (Table 2-①) と typeCL-30° (Table 2-⑤) のアトマイズノズルを用いて生成した粉末の d_p^{50} は、Fig. 7 に示すとおり M_l/M_g に対して同一の直線で表わされ、テーパ管噴射孔を用いることによる生成粉末の微粉化は認められなかった。この理由としては、Fig. 4 に示した単孔ノズル噴流の流速測定結果によると、噴射圧力 (P_g) が 1.1 MPa、測定距離 $L_g=25$ mm においてテーパ管は直管より低流速の噴流を生成するが、 $P_g=2\sim 4$ MPa においてはテーパ管と直管で流速に差異がほとんどないことや、両アトマイズノズルが生成する噴流の平均流速は $P_g=1.1$ MPa において typeC では $V_m=255$ m/s であり、typeCL の $V_m=253$ m/s とほとんど同じであることから、溶湯をアトマイズした $P_g=3\sim 4$ MPa の条件において両アトマイズノズルから噴射されたガスの平均流速はほぼ同じであったためと推定される。

(4) 噴射ガス圧力の影響

Table 2-⑥, ①, ⑦ に示した噴射孔径が異なる typeC-30° のアトマイズノズルについてガス流量が同一となるよう、それぞれ 6.10 MPa, 4.27 MPa, 2.70 MPa でガス噴射してアトマイズ粉末を試作した結果を Table 3 に示す。ガス噴射圧力によらず生成粉末のメジアン径はほぼ同じであった。

上記 (1), (2), (4) に示した実験結果について、(3) 式

Table 3. Mass median particle size of the powder atomized at different atomizing pressure.

Nozzle	d_n	P_g	d_p^{50}
⑦	1.5 mm	2.70 MPa	56.4 μ m
①	1.2	4.27	60.1
⑥	1.0	6.10	53.7

NdFeCoB $M_l=0.12\sim 0.14$ kg/s $M_g=0.27$ kg/s

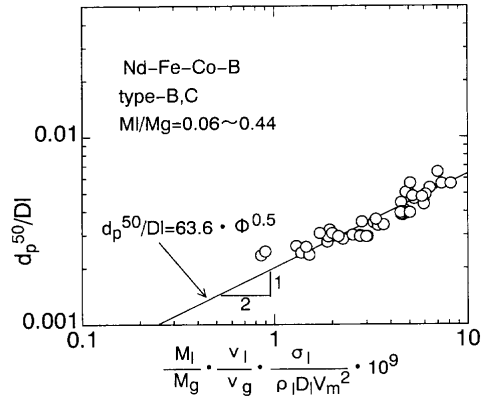


Fig. 8. Correlation between d_p^{50}/D_l and $(M_l/M_g) \cdot (\sigma_l/(D_l \cdot V_m^2)) \cdot (v_l/v_g)$ (all type atomizer).

に従って縦軸に d_p^{50}/D_l を、横軸に $(M_l/M_g) \cdot (\sigma_l/(D_l \cdot V_m^2)) \cdot (v_l/v_g)$ をとることにより、各アトマイズノズルが生成するガス噴流の平均流速 (V_m) の影響を考慮したアトマイズ条件とメジアン径の関係をプロットした結果を Fig. 8 に示す。ここで溶湯の物性値には普通鉄の値¹²⁾ を与えた。Fig. 8 によれば、上記 (1), (2), (4) に示した実験値は (4) 式によってうまく表わすことができる。すなわち、Fig. 6 に示す全実験値を d_p^{50} と (M_l/M_g) について最小二乗法で整理すると標準偏差 $\sigma=4.8$ μ m、相関係数 $r=0.79$ であるのに対して、(4) 式で示すようにガス流速の効果を検討した、 d_p^{50}/D_l と Φ についての関係については $\sigma=3.0$ μ m、 $r=0.94$ となり、実験式の精度が向上していることが分かった。

$$d_p^{50}/D_l = 63.6 \sqrt{\Phi} \dots \dots \dots (4)$$

ここで $\Phi = (M_l/M_g) \cdot (\sigma_l/(D_l \cdot V_m^2)) \cdot (v_l/v_g)$

(4) 式に示すように、ガス噴射孔の近接および高角度噴射に伴う V_m の増大に対しては、生成粉末のメジアン径は反比例して減少することが分かった。

3・6 粒度分布とガス流速分布との関係

前項 3・4 および 3・5 では、アトマイズ粉末のメジアン径がアトマイズノズルの形状・寸法やアトマイズ条件にかかわらず、幾何焦点まわりの平均流速と相関関係にあることを示した。そこでガス流速分布の影響を検討するため、流速分布が凸形となる $\alpha=30^\circ$ のアトマイズノズルならびに凹形となる $\alpha=45^\circ$ のアトマイズノズルを用いて生成した粉末の粒度分布とガス流速分布との関係を調べた。

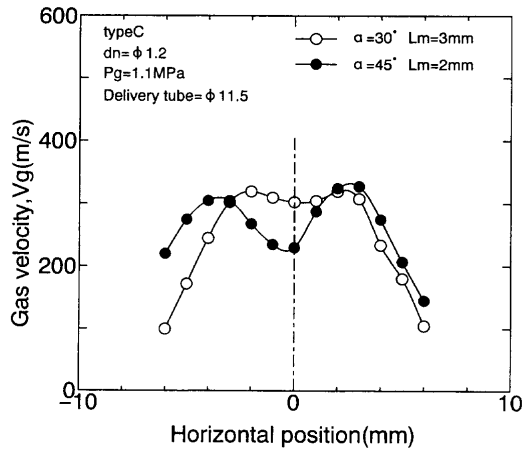


Fig. 9. Gas velocity distribution for typeC $\alpha=30^\circ$ and $\alpha=45^\circ$ atomizers.

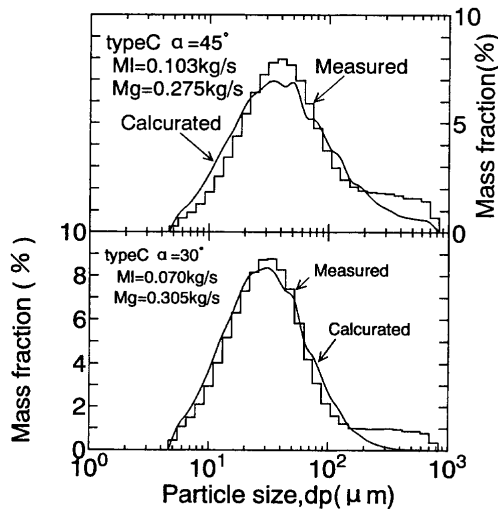


Fig. 10. Relationship between particle size distribution and gas velocity distribution in case of using type C $\alpha=30^\circ$ and $\alpha=45^\circ$ atomizers.

Table 2-①, ④ に示すアトマイズノズルから噴射されるガス噴流の幾何焦点まわりの流速分布を Fig. 9 に示す。最大流速は両者でほぼ同じであるが、 $\alpha=45^\circ$ の場合には中央部に低流速域が生成する。両アトマイズノズルを用いて生成した粉末の粒度分布を Fig. 10 の階段状線図にて示す。また同図中の実線は、Fig. 9 に示すガス流速分布を用いてアトマイズ粉末の粒度分布を計算した結果を示す。ここでアトマイズは幾何焦点を通り溶湯供給管の外径と同じ寸法の水平な円形断面内で行われるものとし、この円形断面を 19 箇の環状区域と中心円の 20 の区域に細分化し、各区域で生成する粉末の平均径を (4) 式により、粒度分布を対数正規分布によって計算し、各区域について求めた粒度分布を積算して全体の粒度分布を算出した。Fig. 10 に示すとおり、粒度分布の計算値はおおむね実測値と一致しており、流速分布を有するガス噴流の各部分で (4) 式に従うメジアン径を有し対数正規分布した粉末の集合体が生成すると仮定すれば、生成粉末の粒度分布が推定できることになる。

$\alpha=45^\circ$ のアトマイズノズルを用いて生成した粉末は、 $\alpha=30^\circ$ の場合に比べて粗粉末の分率が増し粒度分布が広がっている。計算結果は Fig. 10 に示すとおり実測結果に比べて粗粉末側で分率が低く算定されるが、 $\alpha=30^\circ$ と $\alpha=45^\circ$ の両者を比較すれば実測値に対応した粒度分布の傾向はガス流速分布から推算することが可能であることが分かる。このようにガス流速分布を用いて粒度分布を推算した結果と実験結果とはおおむね傾向が一致していることから、粒度分布はガス流速分布と密接に関連することが示された。

4. 結 言

ガスアトマイズ法によって生成される合金粉末の粒度に関連する各因子の影響度を明らかにするため、アトマイズノズルの形状・寸法、溶湯流量、ガス流量、ガス圧力を変えて実験し、アトマイズノズルによって生成するガス流れの特性と生成粉末の粒度との関係を求めた。溶湯流に噴射するガスの平均流速と平均粒度、ガス流速分布と粒度分布の関係を検討して得られた主な結果は次のとおりである。

(1) 噴射ガス流量ないしは溶湯流量の一方をほぼ同じ値のまま他方を変化させた場合、生成したアトマイズ粉末のメジアン径は M_f/M_g 値に対して同一の直線で表わすことができた。

(2) ガス噴射孔と幾何焦点の近接度、および噴射角度が異なるアトマイズノズルを用いた場合、生成したアトマイズ粉末のメジアン径は、各アトマイズノズルの幾何焦点まわりの平均ガス流速に反比例して減少した。また噴射孔径を調整して異なる噴射圧力でも、流量が同じ条件下でアトマイズした場合には、ほぼ同じ平均粒度の粉末が生成した。

(3) メジアン径は $(M_f/M_g)^{0.5}$ ならびに V_m^{-1} に比例し、次の実験式を得た。

$$d_p^{50}/D_f = 63.6 \{ (M_f/M_g) \cdot (\sigma_f / (D_f \cdot \rho_f \cdot V_m^2)) \cdot (v_f/v_g) \}^{0.5}$$

(4) アトマイズノズルが生成するガス流速分布が凹形の場合、凸形の流速分布の場合に比べて生成する粗粉末の分率が増大した。ガス流速分布から計算した粒度分布は実験結果と傾向が一致し、粒度分布はガス流速分布と強く関連することが示された。

文 献

- 1) T.Fukuda, Y.Ohashi, N.Usuki, K.Ogawa and K.Koshiro: *Tetsu-to-Hagané*, **82** (1996), 605.
- 2) K.Y.Kim and W.R.Marshall, Jr.: *AIChE J.*, **17** (1971), 575.
- 3) T.Inamura, N.Nagai and T.Hirai: *Trans. Jpn. Soc. Mech. Eng. B*, **57** (1991), 3248.
- 4) 金 永洙, 稲村隆夫, 永井伸樹: 第 20 回液体の微粒化に関する講演会講演論文集, 日本エネルギー学会, 東京, (1993), 7.
- 5) 金 永洙, 稲村隆夫, 永井伸樹: 第 2 回微粒化シンポジウム講

演論文集，日本液体微粒化学会，東京，(1993)，9.

- 6) S.Nukiyama and Y.Tanasawa: *Trans. Jpn. Soc. Mech. Eng.*, **5** (1939) 136.
- 7) H.Lubanska: *J. Met.*, **22** (1970) Feb., 45.
- 8) T.Fukuda and H.Ikeda: *CAMP-ISIJ*, **3** (1990), 294.

- 9) T.Fukuda, M.Nakanishi and T.Kubo: *Tetsu-to-Hagané*, **82** (1996), 665.
- 10) T.Fukuda: *Tetsu-to-Hagané*, **82** (1996), 635.
- 11) T.Fukuda, M.Nakanishi and H.Ikeda: *CAMP-ISIJ*, **2** (1989), 378.
- 12) 伝熱・凝固解析入門，大中逸雄編，丸善，東京，(1985)，326.