高ニッケル・マルエージング型焼結鋼に 関する研究 (第3報)

—— 合金元素を低減した焼結鋼について* ——

木下 禾大**・徳永 洋一**・谷口 勲***

Toshihiro Kinoshita, Yōichi Tokunaga and Isao Taniguchi: High-Nickel Maraging Steel by Powder Metallurgy (Part III) On the Sintered Steel with Reduced Concentration of Alloying Elements.

The sintering and age-hardening-characteristics of 18 Ni-7Co-5Mo sintered steel were reported before. In the present paper, a composition of 78Fe-12Ni-5Co-5Mo was chosen for examining the structural and mechanical properties of the sintered steel which was reduced effectively in the amount of alloying elements. Specimens were prepared by mixing reduced iron powder with powders of alloying element, compacted mainly at 6t/cm² and sintered in hydrogen for 1hr at 1300°C. Subsequently, the sintered compacts were aged for 5hrs at 500°C. The results are summarized as follows;

1) The variations of concentration of alloying elements in the sintered steel were determined by electron-probe microanalyser. The concentrations were 8~12% for nickel, 4~6% for cobalt and for molybdenum. From these results, therefore, the structural characteristics of the sintered compact may be estimated as follows; Ms-temperature; 465~260°C, age-hardenability; 3~14 HRC and tensile strength after aging; 80~150kg/mm².

2) The mechanical properties of sintered steel are mostly determined by chemical composition and also by relative porosity. An empirical relationship is established between the porosity and yield strength of sintered steel, given by; $Y. Ss/Y. Sm = 1 - 1.58\varepsilon^{2/3}$, Where, Y. Ss and Y. Sm are the yield strengths of the sintered and forged steel respectively, and ε is relative porosity. This relationship shows good agreement among the results obtained with 12Ni-5Co-5Mo and 18Ni-7Co-5Mo steels. The transverse-rupture strength, however, is markedly affected by the stress concentration generated by pores. Consequently, the ratio of the strength of the sintered steel to that of the forged steel is lower than the ratio of tensile property.

3) Addition of copper to sintered steel resulted in higher tensile strength, but in lower transverse-rupture strength, which might be due to the improved age-hardenability in the martensitic matrix. Attempts to obtain compacts with higher density by adding phosphor and boron has been unsuccessful, probably due to the extremely brittle nature of the sintered compacts.

(Received March 29, 1967)

I 緒 言

ニッケル・マルエージング鋼は極低炭素の高合金マルテンサイトを時効処理して微細な金属間化合物 (六方晶 Ni₃Mo¹⁾ または Fe₂Mo²⁾) を分散析出させることにより材質を強靱にしたものである。したがって、この鋼種を焼結機械部品に応用した場合、焼結状態では容易にサイジング加工もできるようなやわらかいマルテンサイト組織を示し、ついでこれを時効すると、ほとんど寸法変化を伴わないで、きわめて高強度の材料を得ることができる。これに関する前報^{3,4)} までの結果を総合すると、

1300°C×1hr の焼結条件では、還元鉄粉を主原料にして 18%Ni-7%Co-5%Mo の組成にした混合粉の焼結体で最高の強度を示し、たとえば密度 7.5~7.6g/cc の焼結鋼を 500°C×5hr で時効すると抗張力 120kg/mm² 程度に達している。さらに、ごく最近入手した J. J. Fischer の報告⁵⁾ によれば、平均粒径 6 μ の鉄粉 (おそらくカーボニル粉) に各合金元素粉を用いて 18% Ni-

* 昭和41年秋季大会にて発表

** 九州大学工学部鉄鋼冶金学教室 福岡市箱崎町

*** 同上大学院修士課程

11%Co-7%Mo の組成に混合し、加圧成形後 1200°C×4hr で焼結して 7.8g/cc 以上の高密度焼結鋼を作り、これをいったん 816°C×1hr で焼鈍してから 500°C 前後で 30min 時効すると抗張力 160kg/mm² のものが得られるという。ただこの場合も伸びは 2~3% にすぎないことが強度上の欠点である。

さて混合法を採用する限り焼結体における各合金元素の拡散は不十分で、ある程度の成分偏析はまぬがれない。この傾向はとくに本焼結鋼のように高合金組成の場合には顕著になると思われるから、このような状態では添加された各合金元素は十分にその機能を発揮していないわけである。さらにまた、本焼結鋼では従来の鉄系機械部品に比べると、高価な合金元素をあまりにも多量に配合している。そこで、時効硬化能をひどくそこなわない程度において、なるべく各合金元素を低減することが望ましいと思われる。その結果、若干の強度低下はやむをえないとしても、かわりに延性・靱性が改善されるかもしれない。これらの点を考慮して、本報ではとくに抗張力 100kg/mm² 程度の時効強度を目標にし、得られた焼結鋼について組織ならびに強度の評価を行なった。また同様の目的で本焼結鋼に銅・燐・ボロンなどを添加した場合の効果についても検討したので、あわせて報告する。

II 実験方法

焼結試片はすべて混合法、単一加圧により作製した。すなわち、原料鉄粉はヘガネス還元粉 (MH100, 2.9), これに配合する基本合金元素としてカーボニル Ni 粉 (2.9~3.6 μ), Co 粉 (1 μ), および Mo 粉 (3 μ) を用いた。そのほかに添加元素の影響をみる場合には福田金属箔粉工業 K. K. 製の電解銅粉 (CE8), 燐化鉄 (29% P, -325mesh) およびフェロボロン (23%B, -325mesh) をそれぞれ追添加した。これらに潤滑剤としてステアリン酸カルシウムを 0.5% 添加したのち、搗潰機で 10min V 型攪拌機で 30~50min 混合した。成形加圧力は 6t/cm² を標準とし、両面押しにより加圧断面積 1.5cm² のタブレット型試験片, 8×30mm の抗折試験片および ASTM 規格の抗張試験片 (焼結後は平行部の断面を 4.5×3.8mm に切削加工) にそれぞれ成形した。これらの圧粉体は水素炉を用いて、いったん 820°C×30min で予備焼結し、ついで 1300°C×1hr の焼結を行なったのち、炉端の水冷部で空冷した。最後に焼結試片に施す時効処理条件は、あらかじめ各種組成の焼結鋼について予備実験したのち、すべて 500°C×5hr に定めた。

焼結鋼における各合金元素の偏析状態は明石 TRA 型 X 線マイクロアナライザーを用いて検討した。この際、Fe, Ni および Co の分析は K α , Mo については L α の各特性 X 線を用い、試料研磨面での走査距離を約 600 μ ずつ、2~3 回繰り返して行なった。

なお、一部の実験では焼結鋼で得られるデーターを考察するために、真空溶解によりニッケル・マルエージング鋼を作製したが、これらはいずれも鍛造後、水素炉で 1300°C×1hr の焼鈍を施したのち各種測定に供した。

III 合金組成の検討

本焼結鋼の基本合金元素を効果的に節減するためには、もちろん加圧・焼結条件を変えたり、あるいは焼結性のすぐれた特殊な原料鉄粉を用いることによって目的を達しうが、いま、それには触れないで、たんに合金組成の選定だけを検討してみよう。この場合、強度的には少なくとも 100kg/mm² 程度の抗張力を保障しておきたいから、あらかじめ、これが得られる時効硬度値をしておく都合がよい。そこで、著者らが前報までの実験で作製した各種の焼結鋼ならびに鍛造鋼 (いずれも 500°C×5hr 時効) のほかに、Fischer が 18Ni-11Co-7Mo 型焼結鋼を 816°C×1hr 焼鈍後 480~590°C×15min~8hr で時効して得たデーターも引用して検討した。その結果を Fig. 1 に示す。これら焼結鋼はいずれも高密度

Fig. 1 Relation between the aged hardness and the tensile strength for sintered compact and forged steel.

(>7.5g/cc)であるから、一般の鉄鋼材料の場合と同様に、ロックウェル硬度値と抗張力との間には良好な直線関係が示されている。そして抗張力 100kg/mm² の焼結鋼は時効硬度として HRc28~30 程度の場合に得られるわけであるから、以下これをめやすにして検討をすすめることにしたい。

Fig. 2 は焼結ならびに時効硬度におよぼす Ni と Co の影響をみたもので、試料の Mo 配合量はいずれも 4

%に一定としてある。まず Ni 量が少なくなるにつれて当然ながら焼結・時効両硬度とも低下してくるが、とくに Ni 量12%と10%の間で差が大きい。したがって、Ni を低減するにしても、せいぜい12%程度にとどめるべきである。一方、Co は Ni に比べると若干その影響は小さいけれども、5%程度までは硬化能上昇の割合が大きい。

つぎに上述の結果を参考にして 12%Ni-5% Co に選り、Mo 量の影響を調査した結果が Fig. 3 である。Mo

Fig. 2 Effect of nickel and cobalt contents on the hardness of sintered compact, before and after aging.

Fig. 3 Effect of molybdenum content on the hardness of sintered compact, before and after aging.

は拡散し難い元素であるから、できるだけ低減したいが、Fig. 3 からわかるように本焼結鋼ではもっとも重要な硬化元素なのでむやみに低減できない。つまり時効硬度として HRc 28~30 程度を得るためにも、どうしても 5% の Mo 配合量が必要である。

結局、以上の結果を総合すると、高ニッケル・マルエージング型焼結鋼の合金元素を効果的に節減し、かつ時効処理後に少なくとも 100kg/mm^2 の抗張力を得るためには、12%Ni-5%Co-5%Mo の組み合わせが妥当であ

Fig. 4 Line analysis for 12% Ni-5% Co-5% Mo sintered compact by X-ray microanalyser.

る。事実、この目標強度は後述の Table 2 に示すようにほぼ達成されている。以下、この基本組成にしばって、焼結鋼の組織ならびに強度の評価を行なうことにする。

IV 12Ni-5Co-5Mo 焼結鋼の組織ならびに強度

混合法によって作られる焼結合金では、つねにミクロ的な成分偏析を伴う。具体的な例は前報⁴⁾で 18Ni-7Co-5Mo 鋼について示したとおりである。ただ、X線マイクロアナライザーによる元素分析は試料のきわめて限られた局部についての結果を示しているから、再現性に若干の不安は残るが、走査線を延ばすことにより、焼結体における成分偏析の上下限值だけは推定できる。Fig. 4 は 12Ni-5Co-5Mo 焼結鋼について得られた代表的な結果の 1 例である。これによると Ni の変動がもっとも大きく、8%から 15%までの範囲に分布している。また Co と Mo も平均値に対して±1%程度の偏差が見込まれる。したがって、このような成分偏析に応じて、局部的にマルテンサイト変態ないし時効析出硬化の挙動も異なり、結果として焼結鋼の強度を左右しているわけである。

Table 1 Structural constituent for 12%Ni-5%Co-5%Mo sintered compact.

Composition %	Ms~Mf °C	Hardness Rc		Tensile Strength kg/mm ²
		Before Aging	After Aging	
15Ni-6Co-6Mo	260~140	29	43	(150)
12Ni-5Co-5Mo	341~212	24	37	127
8Ni-4Co-4Mo	465~335	20	23	(80)

() ; Estimated from Fig. 1

さて、上述の分析結果から推定すると、12Ni-5Co-5Mo 焼結鋼では合金元素がもっとも多量に偏析したとして、15Ni-6Co-6Mo、逆に最低値としては 8Ni-4Co-4Mo の組み合わせが考えられる。そこで、これらと同一の組成をもつ溶解・鍛造鋼の試料を作成して、膨張試験によるマルテンサイト変態の挙動ならびに 2, 3 の時効強度を測定した。その結果を Table 1 に示す。まず Ms・Mf 点は合金量の増加とともに確実に低下し、15%Ni 鋼と 8%Ni 鋼では約 200°C の差がある。もっとも、このようにして鍛造鋼で求めた変態温度がそのまま焼結鋼での組織成分に適用できるかどうか疑問も起こるが、これについては、つぎの点を指摘できる。つまり 19%Ni-7%Co-5%Mo の組成をもつ噴霧合金粉より作成した焼結鋼ではマルテンサイト変態量を表す試片の全膨張量は常に 0.40~0.45%で、鍛造試片のそれと変わらないが、Ms・Mf 点は密度が低くなるにつれて 0.1g/cc あたり約 2°C ずつ低下する。これは焼結体が多孔質になるほど、マルテンサイト変態の核生成をひきおこす歪が容易に除去されるためであろう。いずれにせよ、

その程度は合金組成の差異による影響に比べるとずっと小さいので、鍛造鋼での測定結果から、焼結鋼の組織成分における変態温度を推定してもさしつかえないと考える。他方、時効強度も合金組成によって大きく変化する。8%Ni 鋼ではわずかに HRC 3 程度の時効硬化能を示すにすぎない。また Table 1 には時効硬度から前述 Fig. 1 の実験式を用いて算出した抗張力の値も示してあるが、これより推定すると、本焼結鋼を構成している組織は 150~80kg/mm² の範囲にわたる成分からできていることになる。

つぎに、Fig. 5 は焼結鋼の顕微鏡組織とこれに対応する微少硬度の測定結果を示したものである。同図中に

Fig. 5 Microstructure and micro-hardness of 12% Ni-5% Co-5% Mo sintered compact. Etched with picric and hydrochloric acid in alcohol.

Fig. 6 Electron micrograph of aged specimen of 12% Ni-5% Co-5% Mo sintered compact. Two-stage replicas. $\times 40,000$

付した点線は上述の鍛造鋼について求めた硬度値の平均である。これより、焼結鋼における硬度分布は、ほぼ成分偏析から推定した範囲に入っていると結論できよう。また、顕微鏡観察によって成分偏析を適確に推定することはむずかしいが、Fig. 5 の写真より次のことは指摘できる。エッチされがたい太い針状組織部は合金濃度の高い部分であり、逆に強くエッチされ、いわゆるソルバイト状を呈する部分は低合金組成で、しかもこの部分は往々にして微細な気孔を伴うことが多く、これが破壊時の起点として働き易くなることもうかがえる。なお、Fig. 6 は本焼結鋼の時効析出物を電子顕微鏡で観察した写真である。約300Å程度の球状析出物を呈しており、これは時効処理によってマルテンサイト晶の転位部分に析出した金属間化合物に相当すると考える。

焼結鋼の強度は以上述べてきたような基地組織だけでなく、むしろ残留気孔の量ないし形状・分布によってきわめて重大な影響を受けられると思われるので、つぎにこの観点から検討してみよう。

実験試料は 12Ni-5Co-5Mo 鋼のほかに、参考までに前報で用いた 18Ni-7Co-5Mo 鋼も選び、成形加圧力を 3~8t/cm² にして焼結密度を変化させた。そしてこれら焼結鋼と同じ組成をもつ真空溶解・鍛造鋼を作成し、その降伏点 ($\sigma_{0.2}$) を基準にして焼結鋼の強度を評価することにした。ここで抗張力を採用しない理由は、引張試験で最大荷重に達した時にはすでにミクロ的な亀裂がはじまっており、この状態で、破壊形式の全く異なる鍛造鋼 (伸び率10%以上) と焼結鋼 (同2~3%) を比較できないからである。実際に、強度比として抗張力を採用するとデーターのばらつきは大きい。Fig. 7は鍛造鋼に対する焼結鋼の降伏点の比 ($Y.S_s/Y.S_m$) を実測した気孔率 (ϵ) との関係でまとめたものである。従来、焼結金属の引張強度を気孔率との関係から求める試みがしばしば行なわれているが^{6,7)}、実際には気孔の形状・分布、原料粉の種類、加圧・焼結条件なども影響してくるので、事情が複雑となり、いずれも実験式の域を出ないようである。Eudier⁸⁾によれば、いま焼結金属の単位体積あたり半径 r の球孔が存在した場合、引張試片の破断面の最小面積は $1-\pi r^2$ であるから、これが焼結金属の溶解金属に対する強度比に相当するとしてつぎの式を与えている。すなわち

$$R/R_0 = 1 - \pi r^2 = 1 - \pi (3/4\pi)^{2/3} \cdot \epsilon^{2/3} \approx 1 - 1.19\epsilon^{2/3}$$

ここで、 R と R_0 は焼結金属ならびに溶解金属の抗張力、 ϵ は気孔率で、 $\epsilon = \frac{4}{3}\pi r^3$ 。このような考え方はどちらかといえば応力軸に平行な繊維状の気孔を仮定した場合に妥当と思われるが、実測結果によると、Fe, Fe-2.5% Si, Fe-5%Cu, Ni, および Cu-10%Sn, などの各焼結金属の抗張力は $\epsilon < 0.3$ の範囲において、良く上式を満

Fig. 7 Effect of porosity on the yield strength of sintered compacts.

足しているようである。しかし、本実験結果では両焼結鋼とも強度比はほぼ $1 - 1.58\epsilon^{2/3}$ の曲線を満足していることがわかる。つまり Eudier の実験式に比べて、若干低い強度比を示すが、この理由は基準に用いた鍛造材の降伏点 ($Y.S_m$) が一般の鑄造材より高過ぎるためとも思われる。前述のように、本焼結鋼において成分偏析のためにとくに気孔周辺が低強度になっていたとしても、それは降伏の起点として働くだけであって、試片に0.2%の永久伸びを与えるための強度としては基地組織全体の平均強度で表わされるから、影響は少ないはずである。詳しくは、さらに検討を要するが、いずれにせよ、この種のデーターが $\epsilon^{2/3}$ によって関係づけられることは注目すべきであろう。

同様に、Fig. 8 は抗折力の測定値を気孔率に対してまとめたものである。強度比は降伏強度の場合に比べてさらに低い値を示している。元来、抗折力は引張強度の場合と異なり、切欠効果の影響を鋭敏にうけるから、気孔の存在しない鍛造鋼では著しく高い抗折力を示すだけでなく、最大荷重をすぎても破断しない。したがって、鍛造鋼と焼結鋼で抗折力の比を求めてもあまり意味はない。また、18Ni-7Co-5Mo 焼結鋼は 12Ni-5Co-5Mo 焼結鋼に比べ、基地組織自体の強度が高いから、気孔周辺の応力集中が高められ、結果として強度比はさらに低下することになる。おそらく、この傾向は衝撃値の場合にはもっと顕著になるであろう。

Fig. 8 Effect of porosity on the transverse-rupture strength of sintered compacts.

Fig. 9 Effect of porosity on the transverse deflection of sintered compacts.
span: 20mm

以上、要するに本焼結鋼ではミクロ的な成分偏析に対応して、基組織ないし強度も変化してはいるが、これらによって一般の機械的諸性質はあまり影響を受けず、むしろ合金元素の平均組成と気孔率によって定まる。そして同一組成の鍛造鋼を基準にして強度比を求めると引張強度では残留気孔の量により、また抗折力では気孔の量と形状に関係する切欠効果によって左右されると考えてよい。ただしその前提条件として焼結鋼における合金元素の拡散がある程度進行し、かつ高密度値を示す場合に限ることはいうまでもない。

なお、本焼結鋼の延性・靱性は合金元素を低減したに

もかわらずほとんど改善されていない。すなわち、引張試片における伸び率はいずれも1.0~3.2%の範囲にすぎず、測定値のばらつきが大きい組成や気孔率との相関関係は認めがたかった。また Fig. 9 に示すように、抗折試験におけるたわみ量は気孔率の増加とともに低下しているが、両 Ni 鋼の間では、はっきりした差異がない。得られた伸び率とたわみ量の絶対値が小さく、かつ精度にも問題があるから、ここで明確な結論は引き出せないが、要するに、本鋼種のように、降伏比の高い高強度鋼では切欠すなわち気孔の存在で破壊靱性が著しく低下することは明らかである。したがって焼結鋼の合金組成を多少変えたとしても、類似のマルエージング組織をもつ限り、画期的な延性・靱性の改善は望めないと考えられる。

V 銅、燐およびボロン添加の影響

12Ni-5Co-5Mo の組み合わせを基本組成とし、これに他の添加元素を少量加えた場合の影響について述べよう。ここで、添加元素を選ぶめやすとしては、つぎの2つが考えられる。つまり本鋼種のマルエージング効果をそこなないようにして、他の元素で置き換える方法、たとえば Ni のかわりに Cu や Mn で代用する場合がこれに相当する。もう一つは、マルエージング効果への影響は無視して、焼結体の密度上昇だけをねらった方法、たとえば、燐やボロンを添加する場合である。このような考え方でいくつかの実験を重ねてみたが、その結果は基本組成の焼結鋼に比べてほとんど強度的な改善がみられないだけでなく、むしろマイナスの面が強く現われたので、以下簡単に実験結果のみを要約して置く。

まず、Cu の影響であるが、元来、この元素はニッケル・マルエージング鋼における時効硬化能を増大させる。そしてこの場合、Cu を含む独特の析出物が現われるのではなく、G. P. Zone のような擬析出で硬化を促進するといわれている¹⁾。事実、本焼結鋼の電顕観察でも Cu 添加による特別な析出物は確認できなかった。Fig. 10 は 12Ni-5Co-5Mo 鋼の焼結密度ならびに時効強度におよぼす Cu 添加の影響を示す。密度は Cu 量とともに確実に低下するが、これは焼結温度(1300°C)で Cu が溶け出して周辺のオーステナイト鉄の骨格を膨張させ、しかもその「抜けガラ」が十分に収縮しきれないためである。したがって、ロックウェル硬度の測定では比較的圧痕が大きく、気孔の影響を受けるので、その値は Cu 量とともに低下することになる。同じことが抗折力の変化についてもいえる。すなわち Cu の増加とともに気孔の量だけでなく、形も大きくなって、切欠効果が鋭敏に現われてくるので、結果として抗折力は低下するわけである。しかしながら、抗張力と降伏点は Cu 添加量と

Fig. 10 Effect of copper content on the mechanical properties and density of 12% Ni-5% Co-5% Mo sintered compact.

Fig. 11 Effect of copper content on the tensile and yield strength of 12% Ni-5% Co-5% Mo sintered compact, before and after aging.

Table 2 Effects of phosphorus and boron on the mechanical properties of 12% Ni-5% Co-5% Mo sintered compacts. Compacting pressure; 6t/cm², Sintering; 1300°C×1hr, Aging; 500°C×5 hrs

Composition %	Density g/cc	Hardness Rc	Tensile Strength kg/mm²	0.2 Yield Strength kg/mm²	Elongation %	Transverse Rupt. Strength kg/mm²	Deflection (Span:20mm) mm
12Ni-5Co-5Mo	7.5 ₃	30	99	86	2~3	222	0.9
12Ni-5Co-5Mo-0.6P	7.7 ₇	42	43	—	<0.1	90	0.3
12Ni-5Co-5Mo-0.6B	7.6 ₂	48	55	—	<0.1	139	0.4

もに確実に上昇しているが、この理由としてつぎの説明ができる。つまり Fig. 11 から明らかなように、引張強度におよぼす Cu の影響は、焼結したままの状態では密度減少に対応する低下として現われているが、他方、基地の時効硬化能は Cu 量に比例して著しく増大するので、気孔量増加による低下の分を相殺してなおあまりあるほどの強度上昇が結果に現われたのである。いずれにせよ、Cu の添加は引張強度の改善だけに若干の効果のみみられるだけで、同時に抗折力ないし衝撃値を確実に低下させるから、総合的にはむしろマイナスになると考えてよい。

Table 2 は機械的諸性質におよぼす磷とボロンの影響をまとめたものである。これら元素を 0.6% ずつ添加することにより、基本組成のものに比べ、たしかに密度は上昇し、硬度も高くなるが、反面著しく脆くなり、抗張・抗折試験ともきわめて悪い結果が現われている。つまり、本焼結鋼のように基本組成においてすでに高い密度をもつ強化鋼では、磷やボロンを添加しても基地の脆化だけが著しく強調されるので材質の改善は全く望めない。

VI 結 論

混合法を採用した高合金焼結鋼では十分に合金元素を拡散させ、しかも高密度にしない限り、すぐれた機械的諸性質を得ることはできない。そのためには焼結性のよい原料粉を用い、高圧で成形して、しかも高温・長時間の焼結を施すべきであるが、現実問題としては、これらの諸条件もいろいろな制限を受ける。同じ理由から、本焼結鋼における合金元素の低減策を検討する場合でも制約がある。いま、本焼結鋼の作製条件として、市販の各原料粉を混合して、加圧成形し、水素中 1300°C×1hr の焼結を行なうとすれば、500°C 時効硬化能をひどく低下させないで、しかも少なくとも 100kg/mm² の抗張力を得るためには 12% Ni-5% Co-5% Mo の組成を選ぶことが望ましい。これは前報で示した最高強度を得るための組成 18% Ni-7% Co-5% Mo に比べると、合金元素の配合量はかなり低減されたことになる。そこで、この基本組成の鋼種について、焼結組織ならびに強度の特徴を検討した結果は、つぎのように要約できる。

1) X線マイクロアナライザーによる分析結果では、焼結組織における合金元素の含有量は Ni = 8~12%,

Co=4~6%, Mo=4~6%の各範囲を示し、これに対応して基地の微少硬度値も変化している。また、成分偏析の上・下限値から推定すると、本焼結鋼は Ms 温度; 465~260°C, 時効硬化能; 3~14HRC, 時効後の抗張力; 80~150kg/mm² の各範囲にわたる組織成分から成っていることになる。

2) 本焼結鋼の機械的性質はいずれも平均組成と気孔率によって定まるが、同一組成の鍛造鋼に対する強度比を求めると、引張強度と抗折力では影響する因子の異なることがわかる。すなわち、降伏強度に関しては、

$$Y.Ss/Y.Sm = 1 - 1.58\varepsilon^{2/3}$$

により、平均組成のいかんにかかわらず、気孔率の函数として与えられる。他方、抗折力では気孔による切欠効果も加わるので、12Ni系よりも高い基地強度をもつ18Ni系焼結鋼のほうが、さらに低い強度比を示す。

3) 基本組成に対して、さらに少量の添加元素を加えても、材質の改善にはほとんど効果がない。すなわち 6

%までの Cu 添加で、引張強度はわずかに高くなるが、抗折力は低下する。また燐やボロンを少量添加して焼結密度を上げたとしても、脆化が著しい。

終わりに、本実験にあたり、熱心に御協力された九州大学工学部鉄鋼冶金教室後藤秀人ならびに大学院学生小林弘昌(現三菱製鋼 K.K.)の両氏に対し、厚く謝意を表します。

引用文献

- 1) G. R. Speich: Trans. of Metallurgical Society of AIME, 227 (1963), 1426
- 2) G. P. Miller and W. J. Mitchell: J. Iron and Steel Inst., 203 (1965), 899.
- 3) 木下, 徳永, 小林: 粉体および粉末冶金, 13 (1966), 228.
- 4) 木下, 徳永, 小林: 粉体および粉末冶金, 13 (1966), 236.
- 5) J.J. Fischer: International J. of Powder Metallurgy, 2 (1966), 437.
- 6) M. Eudier: Powder Metallurgy, 9 (1962), 278.
- 7) A. Ya. Krasovskii: Soviet Powder Metallurgy & Metal Ceramics, No. 4 (1964), 267.

MPIF ニュース

シンポジウム開催ご案内

MPIF の 1 部門である American Powder Metallurgy Institute は 10月17日 Cleveland で行なわれる Metal Powder の性質に関するシンポジウムを後援する。

このシンポジウムは、ASM 金属会議中に Sheraton-Cleveland Hotel で行なわれる。

プログラム

10月17日 morning session:

-FRICTION AS A NEW CHARACTERISTIC OF METAL POWDER
-PROBLEMS OF MICRO-SIEVING POWDERS
-PROBLEMS INVOLVED IN POWDER MIXING
-EFFECT OF PARTICLE SIZE AND SHAPE ON STAINLESS STEEL POWDER DENSITY, FLOW AND COMPACT DENSITY
-COMPARISON OF CHARACTERISTICS OF POWDER BY WATER AND INERT GAS ATOMIZATION

10月17日 afternoon session:

-PROBLEMS INVOLVED IN STORAGE OF METAL POWDERS
-DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF PUNCH AND DIE WALL FILM LUBRICATION FOR HIGH PRODUCTION POWDER COMPACTING PRESSES
-HIGH VOLUME PRODUCTION OF P/M PARTS
-LAMINATED CUPRONICKEL/COPPER COIN BLANKS FROM METAL POWDERS