

## Characteristics of Chromium Containing Alloyed Steel Powders with High Wear Resistance

### 要旨

高強度、耐摩耗性焼結部品用の鋼粉として、Cr 系予合金鋼粉および複合金鋼粉を開発した。1%Cr-0.7%Mn-0.3%Mo 組成の予合金鋼粉 KIP 4100V は水アトマイズ-真空還元法で製造され、低酸素で高い圧縮性が得られた。KIP 4100V は水素および窒素系いずれの焼結雰囲気を用いても、浸炭処理後に 1100 MPa 以上の高い引張強さが得られた。1%Cr 予合金鋼粉に 1%Mo を複合金して圧縮性をさらに高めた複合金鋼粉は、686 MPa の成形圧力で KIP 4100V より 0.10 Mg/m<sup>3</sup> 高い 7.18 Mg/m<sup>3</sup> の圧粉密度が得られ、光輝処理後の引張強さは KIP 4100V より高い 1420 MPa が得られた。耐摩耗性は KIP 4100V と同様に、Ni 系複合金鋼粉にくらべ 2 桁以上優れた。焼結寸法変化は遷移液相焼結により収縮が抑制され小さかった。

### Synopsis:

Alloyed steel powders containing Cr have been developed for the production of heavy-duty structural parts with high wear resistance. KIP 4100V is a low-oxygen pre-alloyed powder containing 1%Cr-0.7%Mn-0.3%Mo, and provides high compressibility. Produced by a water-atomizing and vacuum-annealing process, KIP 4100V attains a tensile strength of more than 1100 MPa after carburizing. Composite-type Cr containing alloyed steel powder, which contains prealloyed 1%Cr and composite-type alloyed 1%Mo to improve the compressibility of Cr-containing powders, attains a compressibility of 7.18 MPa, when pressed at 686 MPa, and higher tensile strength than that of KIP 4100V after bright-quenching at 1420 MPa. The wear resistance is comparable to that of KIP 4100V, and is more than one hundred times greater than that of Ni-containing composite-type alloyed steel powder. The sintering shrinkage of the composite-type Cr-containing alloyed steel powder is suppressed by transient liquid-phase sintering, and the dimensional change during sintering is very small.

いて、その圧縮性、熱処理材の静的強さ、疲れ強さおよび耐摩耗性について述べる。またこの複合金鋼粉の焼結挙動についても述べる。

### 2 低酸素 Cr 系合金鋼粉

焼結部品の機械的特性は基本的にはその焼結密度に依存し、圧縮性の向上は焼結密度の向上に加えて成形金型の寿命、複合形状部品の成形の点からも重要である<sup>2)</sup>。合金鋼粉の圧縮性を向上させるには、(1) 不純物元素を低減する方法と (2) 合金元素による固溶硬化を低減する方法とがある。



小倉 邦明  
Kuniaki Ogura  
ハイテク研究所 新素材  
研究センター 主任  
研究員(課長)



古君 修  
Osamu Furukimi  
ハイテク研究所 新素材  
研究センター 主任  
研究員(課長)・工博



矢筈 浩史  
Koji Yano  
鉄鋼研究所 電磁鋼板  
研究部



峰岸 俊幸  
Toshiyuki Minegishi  
千葉製鉄所 鉄粉部鉄  
粉技術室 主査(掛長)

### 1 緒 言

自動車の高性能化に伴い、自動車用焼結部品への合金鋼粉の適用が増加している<sup>1)</sup>。さらに、安全性や運転性の向上に伴い、オイルポンプなど耐摩耗性ととも強度の必要な部品も増加し、これらに適した焼結材料が要求されている。従来、自動車部品用の溶製鋼材では耐摩耗や強度の必要な箇所には Cr 系の鋼材が浸炭焼き入れ処理され多く用いられていた。一方、粉末冶金では Cr の酸素との親和力が強く、水アトマイズ法で製造した場合低酸素で圧縮性の高い鋼粉が得られ難いため、Ni 系の合金鋼粉がこのような用途に用いられてきた。しかし、Ni はオーステナイト中の C の固溶量を下げ、部品表面に軟らかいオーステナイト相が残り耐摩耗性を低下させるなど不十分な点があった。

本報では、水アトマイズ-真空還元法で製造される低酸素で圧縮性が高く耐摩耗性に優れた Cr 系の予合金鋼粉 KIP 4100V (1%Cr-0.7%Mn-0.3%Mo) と、さらに圧縮性を高めた複合金鋼粉につ

\* 平成4年6月24日原稿受付

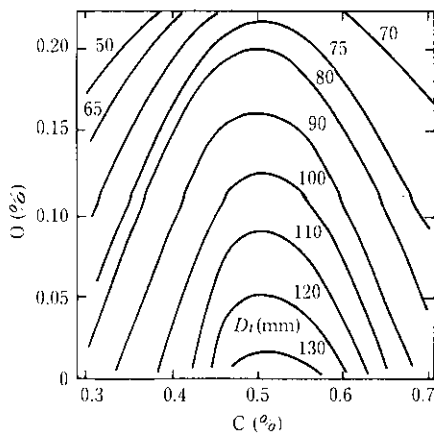


Fig. 1 Effect of C and O contents on ideal critical diameter  $D_1$  of Cr containing powder-forged steels

Cr 系合金鋼粉では、圧縮性は鋼粉中の不純物元素である O、C および N 量の低減とともに向上する。一方、Cr は、Mn および Mo に次いで焼き入れ性を高める元素として、Mn とともに溶製鋼材に広く用いられている。Fig. 1 に Cr 系合金鋼粉の酸素量と添加黒鉛量とを変化させて得られた焼結鍛造材の焼き入れ性を表す理想臨界直径  $D_1$  を示す。いずれの炭素量でも理想臨界直径は酸素量の低下とともに増加し焼き入れ性が向上するので、高強度用の Cr 系鋼粉は焼き入れ性の向上からも酸素量の低減が必要なることがわかる<sup>3)</sup>。川崎製鉄では、独自に開発した水アトマイズ-真空還元法で O、C および N が低く圧縮性とともに焼き入れ性に優れた Cr 系合金鋼粉の工業化に成功している<sup>3)</sup>。

### 3 Cr 系合金鋼粉の浸炭焼き入れ材の特性

Cr 系鋼粉は耐摩耗性の用途に浸炭処理されて用いられることが多いが、Cr は酸素だけでなく炭素とも親和力が強いので、浸炭処理時の雰囲気も重要である。また近年焼結雰囲気には省エネルギーの目的で従来の水素系ガスに替えて、窒素系ガスの使用が増加しつつあり、本章では 2 種類の焼結雰囲気と 3 水準の浸炭雰囲気をを用い、焼結、熱処理雰囲気と焼結体の静的強さとの関係を述べる。

#### 3.1 実験方法

KIP 4100 V 鋼粉 (1% Cr-0.7% Mo-0.3% Mo) の O、C および N 量を従来のガス還元鋼粉と比較して Table 1 に示す。鋼粉に 0.15% の黒鉛と 1% のステアリン酸亜鉛を混合して、686 MPa の圧力で成形後、75% H<sub>2</sub>-25% N<sub>2</sub> および 90% N<sub>2</sub>-10% H<sub>2</sub> 雰囲気中

Table 1 C, O and N contents of KIP 4100V (%)

	O	C	N
KIP 4100V	0.10	0.02	0.001
KIP 4100	0.58	0.05	0.006

1523K で 60 min 焼結した。浸炭焼き入れはカーボンポテンシャル 0.7、0.9 および 1.1% の条件で 1203K で 30 min 行い油中に焼き入れ後、453K で 60 min 焼きもどした。

#### 3.2 結果と考察

##### 3.2.1 KIP 4100 V 鋼粉の圧縮性

KIP 4100 V 鋼粉の圧縮性を Fig. 2 に示す。従来のガス還元鋼粉 (KIP 4100) と比べ、O、C および N が低減され圧縮性が 0.14 Mg/m<sup>3</sup> 向上した。

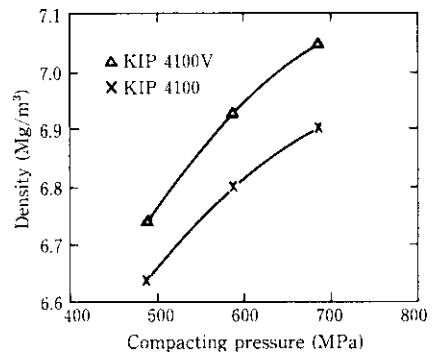


Fig. 2 Compressibility of KIP 4100 V

##### 3.2.2 浸炭雰囲気カーボンポテンシャルの影響

75% H<sub>2</sub>-25% N<sub>2</sub> 雰囲気中で焼結した焼結密度 7.11 Mg/m<sup>3</sup> の浸炭焼き入れ材の引張強さと衝撃吸収エネルギーを Table 2 に示す。引張強さと衝撃吸収エネルギーとも浸炭雰囲気カーボンポテンシャルの低下とともに向上し、0.7% で最も高く 1100 MPa、7.6 J が得られた。これは Cr の C との親和力が強いので、低いカーボンポテンシャルで容易に浸炭されるためである。Table 3 にこのときの浸炭材芯部の硬さを示すが、カーボンポテンシャルの上昇にともない硬さが上昇しており浸炭が芯部まで容易に進行していることが分かる。このため、カーボンポテンシャルの低下にともない衝撃値が向上している。

Table 2 Tensile strength and absorbed energy of the sintered, carburized and tempered compacts

Compacting and sintering condition			Carbon potential (%)	Tensile strength (MPa)	Absorbed energy (J)
Graphite addition (%)	Compacting pressure (MPa)	Sintering atmosphere			
0.15	686	75% H <sub>2</sub> -25% N <sub>2</sub>	0.7	1100	8
			0.9	1090	7
			1.1	990	6
0.15	686	10% H <sub>2</sub> -90% N <sub>2</sub>	0.7	1180	8
			0.9	1160	7
			1.1	970	7

Table 3 Core hardness of the sintered, carburized and tempered compacts (compacted with 0.15% graphite at 686 MPa and sintered in 75% H<sub>2</sub>-25% N<sub>2</sub>)

Carbon potential (%)	Core hardness (HRC)
0.7	27
0.9	28
1.1	30

3.2.3 焼結雰囲気の影響

90% N<sub>2</sub>-10% H<sub>2</sub> 雰囲気中で焼結した焼結密度 7.11 Mg/m<sup>3</sup> の浸炭焼き入れ材の引張強さと衝撃吸収エネルギーを Table 2 に示す。引張強さと衝撃吸収エネルギーとも 75% H<sub>2</sub>-25% N<sub>2</sub> 雰囲気中焼結と同等以上の値が得られ、KIP 4100 V の焼結には省エネルギー型の 90% N<sub>2</sub>-10% H<sub>2</sub> 雰囲気の使用が有効である。

4 高圧縮性 Cr 系複合金鋼粉

Cr 系合金鋼粉の圧縮性の向上をはかるため、真空還元法で鋼粉中の不純物元素の O, C および N の低減を行ってきた。さらに合金元素による固溶硬化の低減により圧縮性を高める方法として、(1) 予合金量を低減したり<sup>4)</sup>、(2) 圧縮性の高い純鉄粉の表面に合金成分を付着させる複合金化<sup>5)</sup> が Ni 系低合金鋼粉で実用化されている。Cr 系複合金鋼粉では、水アトマイズ-真空還元法による Cr 予合金鋼粉の高い圧縮性を利用し、これに Mo を複合金化する。

本章では、これまでの低酸素予合金鋼粉より格段に圧縮性が高く、その焼結鋼の引張強さおよび耐摩耗性が優れる Cr 系複合金鋼粉の圧縮性、熱処理材特性と焼結挙動について述べる。

4.1 Cr 系複合金鋼粉の原理

Cr を含有する低合金焼結鋼は、フェロクロム粉末を純鉄粉に混合したり<sup>6,7)</sup>、前章までに述べた Cr 系予合金鋼粉を用いて製造されてきた。しかし、Cr 濃度の高いフェロクロム中の Cr は焼結時に酸化されやすく、予合金鋼粉では合金元素の固溶硬化による圧縮性向上の限界がある。これらの問題点を解決するため新しい Cr 系複合金鋼粉を開発した。

この複合金鋼粉は Fig. 3 に示すようにフェライトへの固溶硬化作用の少ない元素を予合金し、他の合金元素を複合金して、従来の予合金鋼粉にくらべ格段に高い圧縮性を得るものである。

固溶硬化の少ない予合金元素としては、Ni や Mn にくらべ Cr が有利である。また、焼結鋼の熱処理による高強度化には焼入れ性に優れた元素が有利となる。Cr は Mn, Mo について高い焼入れ性をもっており、さらに Mn より酸素との親和力が弱いため焼結や熱処理時の酸化防止の点からも望ましい。加えて合金元素は鉄中に予合金した場合、その濃度の低下とともに活量が低下し、酸素との親和力が低下するため、予合金は酸化防止の点でさらに望ましい。

Cr の予合金量は鋼粉の圧縮性と還元性から選択される。水アトマイズ-真空還元法で製造される Cr 予合金鋼粉の圧縮性は Fig. 4 に示すように Cr 量の減少ともない向上し、1% 以下で 7.18 Mg/m<sup>3</sup> 以上が得られた。本複合金鋼粉では Cr 予合金量を 1% とした。

一方、複合金元素は焼き入れ性の向上に優れ、かつ酸素との親和力が Cr に比べて弱い Mo が有利となる。Mo を複合金した場

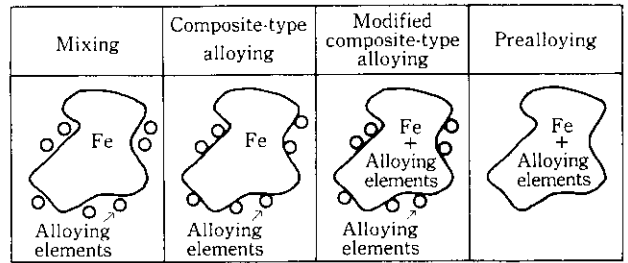


Fig. 3 Alloying methods for steel powders

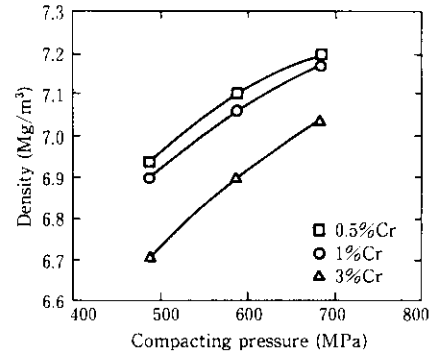


Fig. 4 Compressibility of Cr prealloyed powders

合の圧縮性は 1~2% Mo の範囲では差がない。Mo の複合金量は焼結体の機械的特性より選定し 1% とした。

4.2 実験方法

Table 4 に実験に用いた鋼粉の化学的組成を示す。鋼粉 A は水アトマイズ-真空還元法で製造された 1% Cr 予合金鋼粉に Mo を 1% 複合金させた複合金鋼粉である。比較として用いた鋼粉 B は水アトマイズ-真空還元法で製造された KIP 4100 V で、鋼粉 C は純鉄粉の表面に 4% Ni, 0.5% Mo および 1.5% Cu を複合金させた圧縮性の高い Ni 系複合金鋼粉である。

1% Cr-1% Mo 複合金鋼粉 A は Fig. 5 に示すように、予合金鋼粉 B に比べ圧縮性が 0.10 Mg/m<sup>3</sup> 以上向上し、圧縮性の高い Ni 系複合金鋼粉 C と同等の圧縮性が得られた。

鋼粉に所定量の黒鉛粉と 1% ステアリン酸亜鉛を添加し、686 MPa で成形後、75% H<sub>2</sub>-25% N<sub>2</sub> 雰囲気中 1523K で 60 min 焼結した。黒鉛粉を 0.8, 1.0 および 1.2% 添加したものは焼結のまま引張試験および衝撃試験を行った。黒鉛粉を 0.4, 0.6 および 0.8% 添加したものは焼結後、さらに油中へ光輝焼き入れ・焼きもどした後、引張試験と衝撃試験を行った。焼き入れの温度は 1143K

Table 4 Chemical compositions and alloying methods of the studied powders

Powder	Chemical composition (%)					Alloying method
	Cr	Mo	Mn	Ni	Cu	
A	1	1	—	—	—	Modified composite-type alloying (Cr prealloying and Mo composite-type alloying)
B	1	0.3	0.7	—	—	Prealloying
C	—	0.5	—	4	1.5	Composite-type

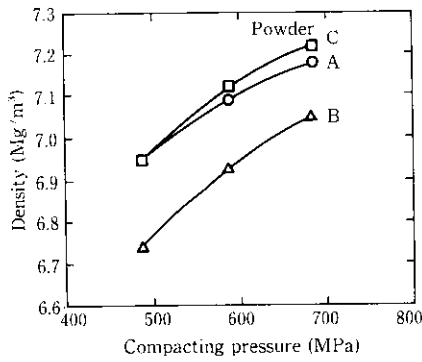


Fig. 5 Compressibility of 1%Cr-1%Mo modified composite-type alloyed steel powder

である。黒鉛粉を 0.15% 添加したものは焼結後、浸炭焼き入れ・焼きもどした後、引張試験、衝撃試験、疲労試験および摩耗試験を行った。浸炭は、1203K で 30 min、カーボンポテンシャル 0.7% の条件で行った。焼きもどし温度はいずれの熱処理も 453K である。

小野式回転曲げ疲労試験および森式面圧疲労試験を行い、耐久疲れ強さを求めた。大越式摩耗試験機で摩耗試験後、摩耗距離に対する摩耗体積を求め耐摩耗性を評価した。

0.6% 黒鉛粉を添加した試験片について寸法変化挙動を光学式熱膨張計を用いて測定した。1423, 1523K まで昇温後ただちに冷却した焼結体と、1523K で 60 min 焼結した後、光輝焼き入れ焼もどした焼結体の組織を光学顕微鏡、微小部 X 線回折を用いて検討した。浸炭焼き入れ・焼きもどし材についても通常 X 線回折を用いて組織を検討した。

4.3 結果と考察

4.3.1 複合金鋼粉の光輝焼き入れ材の特性

複合金鋼粉 A の焼結体および光輝焼き入れ・焼きもどし材の引張強さを Fig. 6 に、じん性を Fig. 7 に示す。複合金鋼粉 A は、焼結体および熱処理材ともに、同一黒鉛添加量の予合金化鋼粉 B より高い引張り強さが得られ、衝撃吸収エネルギーもほぼ同等であった。熱処理材では引張強さは 1420 MPa が得られ、KIP 4100 V より 160 MPa 向上した。Table 5 に鋼粉 A および B の酸素量、黒鉛添加量 0.6% の焼結体 C 量、圧粉密度および焼結密度を示す。さらに、鋼粉 A は圧縮性が高いため焼結密度が高く、鋼粉酸素量も鋼粉

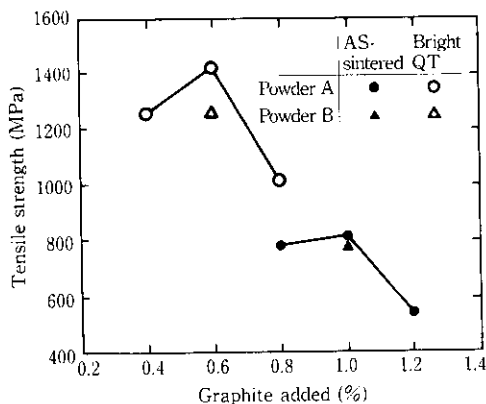


Fig. 6 Relationship between the graphite addition and tensile strength with and without bright-quenching and tempering

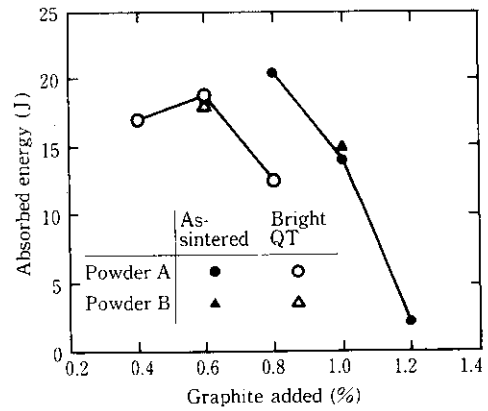


Fig. 7 Relationship between the graphite addition and absorbed energy with and without bright-quenching and tempering

Table 5 Green density, sintered density, oxygen content of the original powders, and carbon content of the sintered compacts (compacted at 686 MPa with 0.6% graphite)

Powder	Green density (Mg/m³)	Sintered density (Mg/m³)	O content of the powder (%)	C content of sintered compact (%)
A (1% Cr-1% Mo)	7.05	7.05	0.10	0.47
B (1% Cr-0.3% Mo-0.7 Mn)	6.94	7.02	0.16	0.40

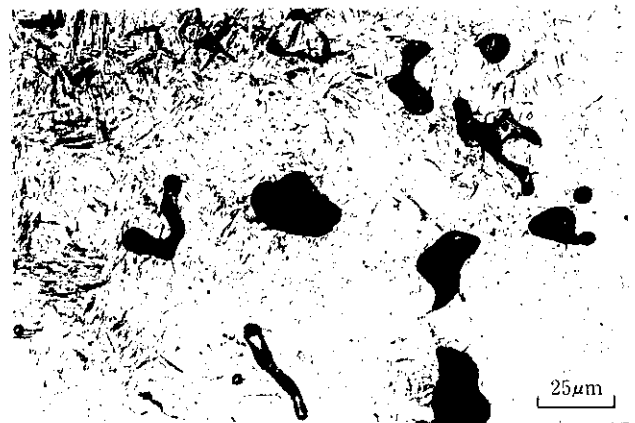


Photo 1 Photomicrograph of the compact of powder A sintered at 1523 K with 0.6% graphite and bright-quenched and tempered

B より低いため、焼結時の鋼粉酸素による C 低減が少なく、同一黒鉛添加量で高い焼結体 C 歩留りが得られた。光輝焼き入れ・焼きもどし材の組織は Photo 1 に示すように、ナイタールエッチした光学顕微鏡組織ではわずかに濃淡のある組織であるが、微小部 X 線回折の結果からはいずれの組織もマルテンサイトで差がなく均一な組織であった。

このように鋼粉 A は高い圧縮性、添加 C 歩留りおよび均一な焼結組織により、同一黒鉛添加量で鋼粉 B より高い引張強さと、同等の衝撃吸収エネルギーが得られるものと考えられる。

4.3.2 複合金鋼粉の浸炭焼き入れ材の特性

浸炭焼き入れ・焼きもどし材の引張強さと衝撃吸収エネルギーは

Table 6 Mechanical properties of sintered, carburized and tempered compacts

Powder	Tensile strength (MPa)	Absorbed energy (J)
A (1% Cr-1% Mo)	1120	9.4
B (1% Cr-0.3% Mo-0.7% Mn)	1100	7.6

Table 7 Fatigue properties of sintered, carburized and tempered compacts

Powder	Sintered density (Mg/m <sup>3</sup> )	Surface hardness (HRC)	Fatigue endurance limit (MPa)	
			Rotating bending	Contact
A (1% Cr-1% Mo)	7.15	36	440	2370
B (1% Cr-0.3% Mo-0.7% Mn)	7.11	48	410	2260

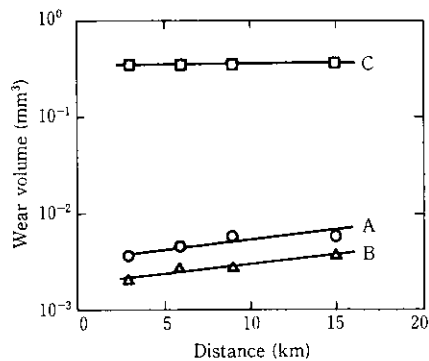


Fig. 8 Abrasive wear resistance of sintered, carburized and tempered compacts of powders A, B and C

Table 6 に示すように、いずれも鋼粉 A が鋼粉 B より高い値を示した。浸炭焼き入れ・焼きもどし材の回転曲げ疲れ強さおよび面圧疲れ強さも Table 7 に示すように鋼粉 A が鋼粉 B より優れている。これは、Table 7 に示すように圧縮性の高い鋼粉 A のほうが焼結密度も高いこと、および面圧疲労強さは表面硬さより密度により強く依存するため<sup>9)</sup>と考えられる。

耐摩耗性は Fig. 8 に示すように、Cr 系の鋼粉 A は鋼粉 B と同様に Ni 系の鋼粉 C にくらべ 2 桁以上優れる。これは浸炭焼き入れ・

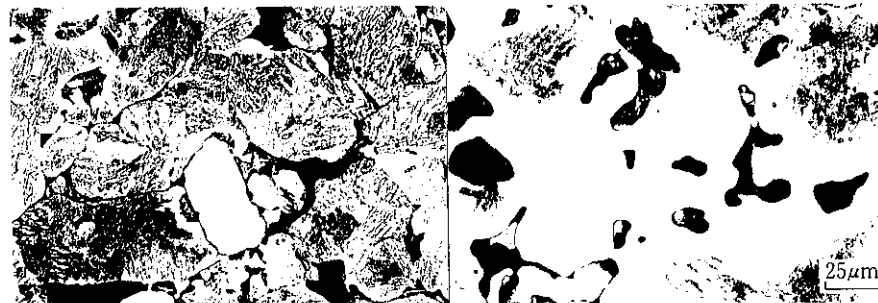
Table 8 Dimensional change of sintered compacts

Powder	Alloying method	Dimensional change (%)	Standard deviation of dimensional change (%)
A (1% Cr-1% Mo)	Modified composite-type	0.08	0.02
A (1% Cr-1% Mo)	Mixing	0.09	0.05
B (1% Cr-0.3% Mo-0.7% Mn)	Prealloying	-0.52	0.03

焼きもどし組織中に残留する軟らかく耐摩耗性の劣るオーステナイト相の量が、鋼粉 C では、複合金化した 4% の Ni が高 Ni の残留オーステナイトを形成するため 9% であるのに対して、A、B 鋼粉では Ni を含まないため 5~6% と少ないためである。Cr は C との親和力が Ni とは逆に強く、Cr 炭化物も耐摩耗性の向上に寄与しているものと考えられる。

#### 4.3.3 複合金鋼粉の焼結挙動

Table 8 に鋼粉 A、鋼粉 A と同一組成の混合粉および鋼粉 B の焼結寸法変化とそのばらつきを表す標準偏差を示す。鋼粉 B の焼結寸法変化が -0.53% と大きく収縮傾向であるのに対して、鋼粉 A および同一組成の混合粉ではほぼ 0% と非常に小さい。鋼粉 A の焼結寸法変化のばらつきは鋼粉 A が複合金鋼粉であるため、予合金鋼粉の鋼粉 B と同様に小さく混合粉の 1/2 であった。このような安定した寸法変化特性は、複雑形状部品を製造する上では非常に有利な特性である。Photo 2 に黒鉛粉を 0.6% 添加した A 鋼粉圧粉体を 1423 および 1523K まで加熱後急冷した焼結体の組織を示す。Photo 2(a) に 1423K で白色の成長した相が認められるが、これは微小部 X 線回折の結果 Fig. 9 に示すように M<sub>6</sub>C 型炭化物である<sup>9)</sup>。さらに 1523K では Photo 2(b) に示すように M<sub>6</sub>C 型炭化物は消失し、Mo 濃度の高い白色組織が粒界に浸透し空孔が球状化している。Fig. 9(b) および (c) に Photo 2(b) の白色および黒色組織の微小部 X 線回折結果を示す。黒色組織にはオーステナイトは認められないが、白色組織にはマルテンサイトとオーステナイトが認められる。これらの点から 1423 から 1523K の温度範囲で生成した液相と M<sub>6</sub>C 型炭化物は γFe へと変化し、遷移液相焼結が起こったものと推察される<sup>9)</sup>。ただし、1523K 近くでの膨張量は 1.5% Mo-0.7% C で、従来示されている約 0.6% の膨張量<sup>10)</sup>にくらべ小さいので、生成した液相量はわずかであったものと推察される。このため焼結体の寸法変化も 0.08% と非常に小さい値が得られたと考えられる。



(a) Quenched from 1423K

(b) Quenched from 1523K

Photo 2 Photomicrograph of compacts made from powder A with 0.6% graphite quenched from 1423 K(a) and 1523 K(b)

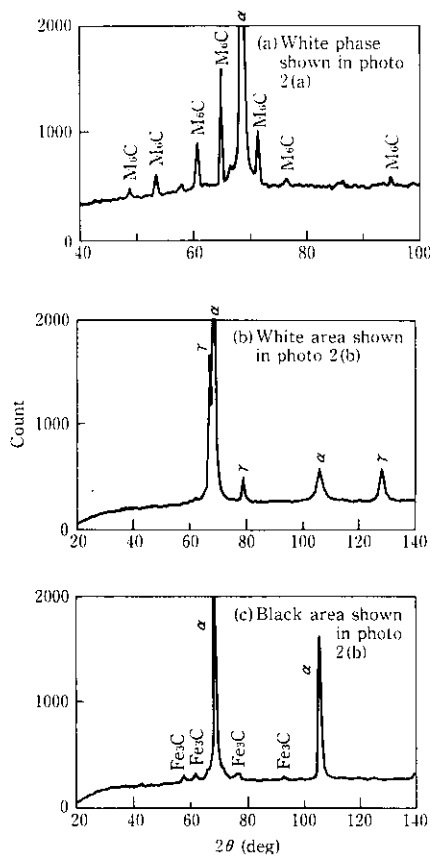


Fig. 9 Microbeam X-ray diffraction patterns of the white phase shown in Photo 2(a) and of the white and black areas shown in Photo 2(b)

以上のように Cr 複合金鋼粉 A では遷移液相の出現により Mo の拡散および空洞の球状化ははかられ、焼結時の収縮が抑制され、さらにその液相量が少ないことにより焼結寸法変化が非常に小さくなったものと考えられる。

## 6 結 言

水アトマイズ-真空還元法による圧縮性に優れた低酸素 Cr 系子合金鋼粉 KIP 4100 V の浸炭焼き入れ後の特性と、さらに圧縮性を向上させた Cr 系複合金鋼粉の熱処理後の特性と焼結挙動を調べた。

- (1) 水素系雰囲気焼結した KIP 4100 V の浸炭焼き入れ材の引張強さは、浸炭雰囲気カーボンポテンシャルの低下とともに向上し、0.7% のカーボンポテンシャルで 1100 MPa が得られ、窒素系雰囲気焼結ではさらに高い値が得られた。
- (2) 1% Cr-1% Mo 組成の複合金鋼粉では、圧粉密度は 686 MPa の成形圧力で 7.18 Mg/m<sup>3</sup> に達し、KIP 4100 V よりさらに 0.10 Mg/m<sup>3</sup> 以上向上した。
- (3) 複合金鋼粉の光輝焼き入れ材では引張強さ 1420 MPa が得られた。
- (4) 耐摩耗性は、KIP 4100 V と同様に、Ni 系の複合金鋼粉にくらべ 100 倍以上優れている。
- (5) 複合金鋼粉は、0.6% の黒鉛添加で 1423~1523K の間で少量の遷移液相焼結がおり、焼結時の収縮が抑制され、寸法変化も非常に小さくなった。

このような新しい Cr 系合金鋼粉の出現により、耐摩耗性高強度部品を中心に Cr 系合金鋼粉の焼結部品への適用が、今後さらに拡大するものと確信する。

## 参 考 文 献

- 1) S. MocarSKI, D. W. Hall, J. Khuja, and S. K. Suh: "Powder Metal Parts for Automobile Application Part III", SAE Paper 890409, Intl. Congress and Exposition, Soc. Auto. Eng., Inc., Detroit (USA), Feb. (1989)
- 2) J. Reid: *Metal Powder Rep.*, Am. Met. Sci. Inst., 41 (1986) 11, 845
- 3) K. Ogura, R. Okabe, S. Takajo, N. Yamato, and Y. Maeda: "Production and Properties of Chromium-containing Low-Oxygen Steel Powders", *Progress in Powder Metallurgy*, Vol. 43, (1987), 619, [Met. Powder Ind. Fed.]
- 4) S. Takajo, I. Sakurada, J. Ohta, K. Ogura, and M. Kawano: "Ni-Cu-Mo Alloyed Steel Powder for High Strength Sintered Components Produced by Repressing", *Modern Development in Powder Metallurgy*, Vol. 21, (1988), 605, [Metal Powder Ind. Fed.]
- 5) K. Ogura, T. Abe, Y. Makiishi, T. Minegishi, E. Hatugai, and S. Takajo: "Characteristics of Composite-type Alloy Steel Powders Containing Ni, Cu and Mo", '87 International Symposium & Exhibition on Science and Technology of Sintering, Powder Metallurgy, Development Center, Tokyo (Japan), Nov. (1987), 148
- 6) J. Tengzelius, S. Grek, and C. Blaende: "Limitations and Possibilities in the Utilization of Cr and Mn as Alloying Elements in high Strength Sintered Steels", *Modern Developments in Powder Metallurgy*, Vol. 13, (1981), 159, [Met. Powder Ind. Fed.]
- 7) 川北宇夫, 榎山賢章, 吉本健也: 「焼結クロム鋼の諸性質について」, 粉体および粉末冶金, 16 (1970) 7, 314
- 8) 小倉邦明, 高城重彰, 前田義昭, 香月淳一, 桜田一男: 「合金鋼粉焼結体の再圧縮による高密度化とその特性」, 川崎製鉄技報, 21 (1989) 3, 104
- 9) Y. E. Smith and H. Watanabe: "Premixing Ferromolybdenum in Alloy Sintered Compacts with the Aid of a Liquid Phase", *Modern Developments in the Powder Metallurgy*, Vol. 9, (1977), 277, [Met. Powder Ind. Fed.]
- 10) H. Danninger: "Sintering of Mo Alloyed P/M Structural Steels", *Powder Met. Int.*, 20 (1988) 4, 7