研 究

液圧HIP法による工具鋼粉末の成形実験

(株) 神戸製鋼所 技術開発本部 納富完至, 山崎龍雄, 松下富春, 河合伸泰

Kanji Notomi, Tatsuo Yamasaki, Tomiharu Matsushita and Nobuyasu Kawai: Hot Isostatic Compaction of Tool Steel Powders by Visco-plastic Pressure Medium.

A new HIP process using visco-plastic pressure medium, named "Q-HIP Process", has been developed. In this process, capsulized powder was charged into pressure vessel with a lump of visco-plastic pressure medium, and compacted with a stroke of piston. Compaction in the "Q-HIP Process" was done isostatically as well as that of conventional gas HIP. In this study, three kinds of gas atomized tool steel powders (adamite steel, SKD 11 steel and KHA 30 steel) were completely compacted in a few minutes. Consolidated materials through this process proved to have similar micro-structure, bend strength and tensile properties to that of gas HIP'ed product. (Received August 22,1988)

1. 緒 言

従来、ガスアトマイズ粉末の固化成形にはHIP 装置が用いられているが、同成形法では圧力媒体として、Ar又はN₂ガスを用いるため、サイクルタイムが3～7時間と長く¹⁾、生産性が低いという問題を有していた。現在もサイクルタイム短縮のため、種々の改良が行われているが、ガス圧媒を用いる限り、大幅な短縮は期待できない。

今回、当社にて開発された液圧HIP 法 (Q-HIP と呼ぶ) は圧力媒体としてグリースを用いるため、サイクルタイムも分単位まで大幅に短縮され、また同法で得られた成形体の特性も、従来ガス圧HIP 材の特性に比べ遜色のない値を示すことが確認されたので以下に報告する。

2. 実験方法

供試粉末として、Table 1 に示す3種類のガスアトマイズ粉末を使用した。アダマイト鋼はロール用鋼、SKD11 鋼は冷間ダイス鋼、KHA30 鋼は粉末高速度鋼である。アダマイト鋼粉末の外観形状を走査型電子顕微鏡にて観察した結果をPhoto.1 に示す。粉末の形状は球状でその表面上にデンドライト模様が

Table 1 Compositions of the powders and conventional steel.

Alloy	Composition (%)								Remarks
	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W	Co	
Adamite	1.93	0.79	0.91	1.20	0.28	—	—	—	Powder
SKD11	1.53	0.31	0.31	12.22	1.03	0.38	—	—	Powder
	1.47	0.26	0.41	12.75	0.82	0.28	—	—	Conv. steel
KHA30	1.29	0.49	—	3.63	5.10	2.91	6.09	7.75	Powder

Photo.1 Micrograph of adamite steel powder.

見られる。これらの粉末を軟鋼製カプセル内に充てんし、真空加熱脱気後密封して、液圧HIP 用プレフォームを作製した。次いでこれらのプレフォームを電気炉でHIP 温度まで加熱した後、耐熱グリースと共に圧力容器内に挿入し、ステムにてグリースを介して加圧処理を行った。液圧HIP の概念図をFig.1 に、また液圧HIP 条件をTable 2に示す。

本実験では、上記液圧HIP 成形体の他に、比較用として、Table 2 に示すガス圧HIP 成形体および溶製SKD11 材を用意し、Table 2 に示す各種熱処理を施した後、①成形体の寸法測定、②密度測定、③ミクロ組織観察、④引張試験、⑤抗折試験などを実施した。

Fig.1 Schematic of Q-HIP.

Table 2 Density(heat treated condition)after hot compaction.

Test No.	Alloy Powder	HIP'ing			Heat treatment	Density (% of theoretical)	Remarks
		Temp. (°C)	Pressure (kg/cm ²)	Time (min)			
1	Adamite	1050	1000	1	700°C/3hr, F.C.	99.7	Quick-HIP
2	"	"	5000	1	700°C/3hr, F.C.	100.0	
3	SKD11	1150	5000	1	1020°C/15min OQ.(150,200,290°C)A.C.	100.0	
4	KHA30	"	5000	1	900°C/2hr, F.C.	100.0	
5	Adamite	1050	200	60	700°C/3hr, F.C.	98.8	Conv. HIP
6	"	"	400	60	700°C/3hr, F.C.	100.0	
7	"	"	1000	60	700°C/3hr, F.C.	100.0	
8	SKD11	1100	800	60	1020°C/15min OQ.(150,200,290°C)A.C.	100.0	
9	KHA30	1150	1000	69	900°C/2hr, F.C.	100.0	

3. 実験結果と考察

液圧HIP 成形体の密度測定結果をTable 2 に示す。液圧HIP の場合1000kgf/cm²で加圧しても若干空孔が残っており、真密度化に必要な圧力はガス圧HIP に比べて高くする必要がある。これは、液圧HIP による粉体の緻密化が塑性変形および塑性流動により進行し、ガス圧HIP 時における粉末粒子のクリープ変形および拡散による緻密化が、短時間処理で期待できないためと考えられる。

次に液圧HIP 時の圧力-時間線図をFig.2 に示す。所定の圧力に達した後、ステムの位置を一定に保持しても、圧力は例えば、1176→1380kgf/cm²と上昇する。この圧力上昇はプレフォームの熱により、圧媒のグリースが膨張したためと考えられる。

液圧HIP 時のカプセルの変形挙動をPhoto.2 に示す。軸方向、径方向の収縮率はそれぞれ、12%、15%でガス圧HIP 時の収縮率とほぼ等しい。

これより、液圧HIP 時の収縮がほぼ等方的に進むものと思われる。なお、完全に等方的に収縮すると、計算上

Fig.2 Pressure-time diagram.

では収縮率は13%となる。例えば、プレフォームおよびHIP 成形体の径および高さをそれぞれ、 D_0, h_0, D_1, h_1 とし、粉末の充てん率を0.65とすると、

$$\frac{\pi \left(\frac{D_1}{2} \right)^2 h_1}{\pi \left(\frac{D_0}{2} \right)^2 h_0} = 0.65$$

ここで $\frac{D_1}{D_0} = \frac{h_1}{h_0}$ とすると

$$\frac{D_1}{D_0} = \frac{h_1}{h_0} = 0.87 \text{ となる。}$$

• Dimensional change
axial : -12%
radial : -15%

Photo.2 Dimensional change during Q-HIPing.

供試材のマイクロ組織をPhoto.3 に示す。白く見えているのが炭化物で、液圧HIP 材も均一微細なマイクロ組織を有しており、ガス圧HIP 材との間に顕著な差異は認められない。一方、溶製材のマイクロ組織をPhoto.4 に示す。粉末材で見られた微細な炭化物の他に $80 \times 10 \mu\text{m}$ もの巨大な炭化物も存在している。

Photo.3 Micrographs of specimens. 50μ

Photo.4 Micrographs of conv. SKD11 steel.

Fig.3 Bend strength(SKD11).

液圧HIP 材の抗折試験結果をFig.3 に示す。液圧HIP 材の抗折値は同一組成のガス圧HIP 材の抗折値とはほぼ同レベルであるといえる。この値は溶製縦目材と比べ20%以上、また溶製横目材と比べると実に2倍以上の値となっている。これは、液圧HIP 材が溶製材に見られるような巨大炭化物を含んでいないからである。

引張試験結果をTable 3 に示す。同表より、液圧HIP 材の引張特性は同一組成を有するガス圧HIP 材の特性とはほぼ等しいと言える。また、引張試験片の破壊起点近傍部におけるSEM 破面写真をPhoto.5 に示す。もとの粉末粒界に沿った破壊は全く認められず、粉末粒子間の結合は完全であると言える。

Photo.5 Fracture surface of adamite tensile test piece.

4. 結 言

アダマイト鋼粉末、SKD11 鋼粉末、高速度鋼粉末について液圧HIP 成形実験を行うことにより以下の結果を得た。

- (1) 上記3種類の粉末は液圧HIP 処理により、1サイクル5分以内で、いずれも真密度化した成形体を得られる。
- (2) 液圧HIP 処理によるプレフォームの収縮状態は、従来ガス圧HIP の場合と同様に完全に等方的な変形である。
- (3) 液圧HIP 法で真密度の成形体を得るに必要な圧力は、従来のガス圧HIP 時に比べ高くする必要がある。
- (4) 液圧HIP 処理により得られる真密度粉末材は、ガス圧HIP 真密度材と全く類似のミクロ組織、抗折値、引張特性等を有している。

文 献

- 1) 守時正人, 藤川隆男: 日本金属学会々報 19〔2〕(1980), 136