研 究

焼結鍛造により得られた SKH51 種相当高速度工具鋼の機械的特性

三菱金属(株) 中央研究所 西倉 靖, 河野 通

Yasushi Nishikura and Tohru Kohno : Mechanical Properties of P/M High Speed Steel (JIS SKH51) Produced by Sinter Forging

High speed steels (JIS SKH51) have been produced by sinter forging using high-pressure water atomized powders ($\approx 10\mu\text{m}$). The mechanical properties such as bend strength and hardness have been measured and optical and electron microscopic observation have been carried out. The properties of the forged steels have been compared with those of conventional sintered steels. The results obtained can be summarized as follows:

- 1) The grain of sinter-forged high speed steels is very fine and carbides ($\approx 1\mu\text{m}$) distributed uniformly are observed.
- 2) Carbide particle size is dependent upon powder size and sintering temperature, but not upon austenitizing temperature.
- 3) Bend strength of sinter forged steels is 450kg/mm^2 , whereas that of conventional products is 200kg/mm^2 .

(Received December 20, 1989)

1. 緒言

従来より、焼結高速度工具鋼の製造プロセスとしては、大別して2種類あり、ひとつは、ガスアトマイズ粉末をHIPによつて固化するHIP法^{1~2)}で、このHIP法が現行プロセスの主流である。もうひとつは、水アトマイズ粉末をプレス成形して焼結するプレス成形-焼結法で、このプレス成形-焼結法は、複雑形状のニアネットシェイプ素材を製造できるという特長がある反面、-100meshの水アトマイズ粉末を用い、焼結により緻密化をはかるためにどうしても結晶粒、炭化物が粗大化してしまい、HIP法と比較して特性(抗折力)が劣るという欠点があった。

本研究では、高圧水アトマイズ法により製造した平均粒径 $10\mu\text{m}$ 程度の粉末を原料に用い、結晶や炭化物を極力粒成長させない固化法、つまり結晶や炭化物があまり粒成長しない気孔が多少残留する条件で焼結を完了し、焼結鍛造により完全な緻密化をはかり、微細組織を保持した高速度工具鋼を作製すること(Fig.1)により特性の改善を試みた結果について報告する。

2. 実験方法

原料粉末として、Table 1 に化学組成および平均粒径を示した高圧水アトマイズ法で製造した粉末A、比較用として高圧水アトマイズ粉末を分級して得られた粉末B、さらに通常の水アトマイズ法により製造した-100meshの粉末Cの3種類の粉末を使用した。Fig.2 に示す製造プロセスに従い、この粉末を油圧プレスにより圧力 6t/cm^2 で成形した。焼結は、 $10^{-3}\sim 10^{-4}\text{torr}$ の真空中で行い、 $1100\sim 1260^\circ\text{C}$ の各温度で60分間保持し焼結した。さらに焼結後試料を高周波加熱装置により 1000°C に加熱し、金型中で圧力 8t/cm^2 で焼結鍛造を行ない、 $30.5\times 8.5\times 4.5\text{mm}$ の試料を作製した。鍛造時の圧下率は27%一定とした。

本実験では、上記の製造プロセスにより製造した試験片の他に、さらに比較用として粉末Cを用いて鍛造は行わず焼結のみによって緻密化をはかった試験片を

Fig.1 Schematic of sinter forging process and conventional process

Table 1 Chemical composition and size of powders

Powder	Composition (wt%)							Mean Particle Size (μm)
	C*	Cr	Mo	V	W	Co	O	
A	1.20	4.1	4.7	1.9	6.2	0.6	0.25	14
B	1.40	3.9	4.7	1.9	6.6	0.5	0.65	8
C	1.07	4.0	4.7	1.9	5.7	0.3	0.05	81

C*: 各粉末の含有C量は、焼結時の還元反応による脱炭量を考慮して、焼結体のC量が0.95~1.00wt%程度になるように調整してある。

用意し、焼結鍛造試験片と共に通常の熱処理を行い、機械加工により30×8×4mmの抗折試験片を作製した後、密度測定、光学顕微鏡観察、SEM観察、画像解析、抗折試験、硬さ試験等を行った。

3. 実験結果と考察

3.1 焼結性試験

鍛造用のプリフォーム作製のために、粉末粒度を変えて焼結性試験を行った。その結果をFig.3に示す。粗粉末では高温域で液相焼結が急激に進行する。また、真密度に達してネット状の共晶炭化物が晶出していない正常な組織を呈する適正焼結温度域は狭い。それに対して、微細粉末においては、低温から緻密化が始まり、徐々に焼結が進行するために、多少残留気孔は存在するが、結晶および炭化物があまり粒成長していない焼結体を得ることが容易である。

Table 2 Manufacturing conditions and forged density

Sample	Powder	Sintering temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Sintered density (g/cm^3)	Forged density (g/cm^3)
AF70	A	1100	5.82	7.89
AF80	A	1170	6.63	7.99
AF95	A	1190	7.70	8.08
AF100	A	1200	8.07	8.09
AF100*	A	1260	8.02	8.07
BF95	B	1180	7.83	8.08
CF95	C	1210	7.84	8.09
CS100	C	1230	8.09	—

(CS100; conventional process)

Fig.2 Experimental procedure

Fig.3 Relation between sintering temperature and sintered density

3.2 鍛造性試験

Fig.3に示した結果をもとに作製した各試料の作製条件(焼結温度、焼結密度)および鍛造後の密度などをTable2に示す。試料CS100は従来のプレス成形・焼結法で作製したものである。粉末Aを用いた試料AF70, AF80は鍛造後も真密度に達しなかった。これは現行の型鍛造を想定した本製造条件によるものであり、鍛造圧力および加熱温度を検討することにより、さらに密度を上げることは可能であると考えられる。

3.3 鍛造体組織のSEM観察

粉末Aを用いた試料をSEM観察した結果をPhoto.1に示す。試料AF70, AF80においては気孔が残っており、鍛造体密度が上がっていないことが写真からもわかる。また、過焼結した試料AF100*については、(a)に試料中心部の組織を、(b)にパンチ面付近の周辺部の組織を示す。

このように、圧下率27%程度の鍛造では、焼結によってネット状に晶出した共晶炭化物は、焼結鍛造により、中心部では分断されるが、周辺部では分断されずにネット状のまま残っていることが分かる。

3.4 結晶粒径および炭化物の画像解析

試料AFにおける焼結温度と焼結体の結晶および炭化物の画像解析の結果をFig.4に示す。結晶粒は温度の上昇とともに徐々に成長しているが、炭化物においては、1190°Cまではあまり成長しないが、焼結体が真密度に近づく(1200°C)につれて急激に粗大化してくることが分かる。そのため焼結を気孔が多少残留する条件で完了し、焼結鍛造により緻密化をはかる本製造方法が組織の微細化に非常に効果的であると考えられる。

3.5 抗折および硬さ試験

鍛造体密度と抗折力および硬さの関係をFig.5に示す。試料AF95において抗折力450kg/mm²というHIP法並みの強度が得られた。試料AF70,AF80において抗折力が低いのは鍛造体密度が低いためであり、試料AF100,AF100*において抗折力が低いのは炭化物が粗大化あるいはネット状に

Photo. 1 Microstructure of forged specimens (SEM)

Fig.4 Effects of sintering temperature on austenite grain and carbide size

Fig.5 Effects of forged density on bend strength and hardness

なっているためであると考えられる。鍛造体密度と硬さ試験の関係においても抗折力とはほぼ同様な結果が得られた。

3.6 原料粉末粒度および鍛造の影響

試料の光学顕微鏡組織をPhoto.2に示す。試料CF95,CS100の結果から、同一粉末を用いた場合は、焼結のみによって緻密化をはかるよりは、焼結を気孔が多少残留する条件で完了し、焼結鍛造で緻密化をはかる方が結晶粒および炭化物が微細な組織になることが分かる。

また、粉末粒度を変えて、密度比95%程度の鍛造用プリフォームを作製し焼結鍛造により緻密化した試料AF95,BF95,CF95の結果から、原料に微細粉末を用いた方が結晶および炭化物(AF95;平均粒径 $0.85\mu\text{m}$)は細くなる。しかしながら、微細粉末を用いても、高温域で焼結した場合には、粗粉末と同様に粒成長することから、粉末粒度の影響は二義的なものであり、本質的には、プリフォーム作製時の焼結温度の影響が大きいと考えられる。そのために微細粉末を用いた方がプリフォームを低い焼結温度で作製できるので組織も細くなる。また、試料AF95とBF95において、組織に大きな相違がみられないのは、焼結温度にあまり差がないことによるものと考えられる。本実験においては、結晶および炭化物粒径を制御しているのは、焼結温度と焼入温度が考えられるが、焼入時間は3minと短いため焼入温度の影響は少ないものと推察される。

同様に原料粉末粒度を変えて作製した試料の抗折力および硬さ試験結果をFig.6に、炭化物粒度分布をFig.7に示す。

Fig.6 Bend strength and hardness of specimens produced by sinter forging process and conventional process (CS100; conventional process)

Photo.2 Optical micrograph of specimens produced by sinter forging process and conventional process (CS100; conventional process)

抗折力は微細な粉末を用いて鍛造により緻密化をはかった方が高強度になることが分かる。この理由は、本実験において抗折力に影響をあたえるのは炭化物粒径および炭化物形状であり、焼結のみによって緻密化をはかった試料CS100においては、炭化物が粗大化(最大粒径 $9\mu\text{m}$)および角形化してしまい抗折力は低下したものと推察される。試料AF95, BF95において抗折力がほぼ同じレベルなのは、上述したように焼結温度はあまり差がなく、そのために炭化物粒径および形状に大きな相違がないことによるものと考えられる。硬さにおいては、各試料ともほぼ同じレベルであるが、微細粉末を用いた方がわずかながら高い値を示す。これは微細粉末を用いた方が微細炭化物が均一に分散しているために平均硬さが上昇したものと考えられる。

本焼結鍛造法により得られる高速度工具鋼の炭化物粒径は、鍛造用プリフォームを作製する場合の焼結温度により決定される。そのため、さらに低い温度で鍛造用プリフォームを作製するにはより微細な粉末の使用を検討するか、あるいはより低温での固化法を検討することにより、さらに組織の微細化および特性の向上が期待できよう。

4. まとめ

高圧水アトマイズ法により製造した平均粒径 $10\mu\text{m}$ 程度の粉末を原料に用い、焼結を気孔が多少残留する条件で完了し、焼結鍛造により完全な緻密化をはかることにより、

(1)平均粒径 $1\mu\text{m}$ 以下の微細な炭化物が均一に分散した高速度工具鋼が得られた。

(2)従来のプレス成形-焼結法では抗折力は $200\text{kg}/\text{mm}^2$ 程度であるが、今回開発した方法では $450\text{kg}/\text{mm}^2$ というほぼHIP法並みの値が得られた。

5. 参考文献

- 1)たとえば河合,平野,立野,本間:粉体および粉末冶金,33[8](1986),402.
- 2)中村,清永,山根:日本金属学会会報,27[6](1988),477

Fig.7 Carbide distribution of specimens produced by sinter forging process and conventional process (CS100; conventional process)