

鉄系焼結材料のドリル穴あけ加工における振動および 工具寿命に及ぼす金属組織の影響

河 合 伸 泰*・脇 浜 智**

Influence of Microstructures of Ferrous Sintered Materials on Vibration during Drilling and Tool Life

Nobuyasu Kawai and Satoshi Wakiham

Drilling test was carried out in terms of the influence of microstructures and hardness of sintered 4650 alloy steels by using prealloy and mixed powders. It was made clear that tool life was influenced by hardness and structural inhomogeneity of sintered materials, although vibration amplitude of thrust force and torque during drilling does not have a clear relationship to hardness and inhomogeneity of microstructures.

1. 緒言

鉄系焼結材料は基本的には機械加工なしで部品形状に成形加工して製造されるが、圧縮成形の方向に直角な穴加工、アンダーカットの成形、焼結時の歪みの除去などのために切削加工が必要である¹⁾。とくに最近は自動車の軽量化などのために焼結部品も高強度化され、被削性が悪くなっている。このために切削工程に関する研究はますます重要になっている。

本論文では Fe-2%Ni-0.5%Mo-0.5%C (4650 系) の金属組織、添加剤とドリル加工中の振動および工具寿命の関係について実験を行ったので、この結果について報告する。

2. 実験方法

2.1 被削材の製造

本実験に用いた粉末は Table 1 に示すように純鉄粉 300M、4600 合金鋼粉は何れも神戸製鋼所製アトマイズ粉末であり、Fe-48%Ni はアトミックス社製アトマイズ合金粉末 PB47 (-150 μ m)、Fe-63%Mo L-100 は福田金属箔粉製粉碎合金粉末 (-150 μ m)、グラファイト粉末は日本黒鉛製である。焼結体で Fe-2mass%Ni-0.5mass%Mo-0.5mass%C となるようにこれらの粉末を V 型混合機で 1.8ks 混合して試験に供した。また、ゲーレンナイト($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$)、アノーサイト($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$)、硫化マンガン(MnS)などを添加した粉末は Table 1 に記した通りである。

* 機械工学科 ** 機械工学科学生

これらの粉末を 490MPa の圧力で $\phi 64\text{mm} \times \phi 24\text{mm} \times t20$ に成形し、1393K、1.8ks 窒素系の保護雰囲気中で焼結した。混合粉末 M1 から M3 および MH1 から MH3 に較べて予合金粉末はやや密

Table 1 Compositions of mixed powders, cooling rate and hardness of sintered compacts

grades	base powder	compositions of mixed powders	cooling rate	hardness HRB
A1	4600	4600+0.6%C+0.1% KSX	0.25K/s	65
A2	4600	4600+0.6%C+0.1% KSZ	"	64
A3	4600	4600+0.6%C+0.5% MnS	"	66
A4	4600	4600+0.6%C	"	65
M1	300M	300M+2%Ni+0.5% Mo+0.6%C+0.1% KSX	"	57
M2	300M	300M+2%Ni+0.5% Mo+0.6%C	"	56
M3	300M	300M+4.3%PB-47 +0.8%Fe-Mo L +0.6%C	"	48
MH1	300M	Same as M1	5K/s	63
MH2	300M	Same as M2	"	64
MH3	300M	Same as M3	"	53

KSX:gehlenite, KSZ:anorthite, PB-47:Fe-47%Ni, Fe-Mo L:Fe-63%Mo

度が上がりにくいため、成形圧力を 490MPa よりもやや高めて成形体密度が混合粉末と同様の 6.85Mg/m^3 になるように調整した。焼結後の冷却は 1173~973K の範囲で 0.25 K/s、さらに混合粉末 MH1 から MH3 については硬さを予合金粉末試料に近づけるために急速冷却、すなわち 5 K/s の条件でも行った。

2.2 ドリル穴あけ加工試験

ドリル穴あけ加工試験は自動送り装置付きボール盤を用いて行い、Kistler 社製の切削動力計によってスラスト力、トルクを測定した。また、穴あけ個数 10 個おきに切り屑を採取して、その形状変化、色変化を測定した。

ドリルの穴あけ加工条件を Table 2 に示す。すなわち、 $\phi 3\text{mmSKH51}$ 高速度鋼ストレートドリルを用いて、回転数 2800rpm、送り 0.14mm/rev、ドリル侵入深さ 5mm、乾式の条件で切削を行

った。穴あけ順序は被削材の製造要因が打ち消されるように乱数により決定した。

切削加工中のスラスト力とトルクは Fig.1 に示すような形状をしている。図の左側から切削が始まり、約 1s で穴あけは終了するが、この間全体にわたって振動の振幅をとると、初期は被削

Table 2 Drilling conditions used in this test

drill	high speed steel, 3 mm in diameter
rotation speed	2800 rpm (19.8m/min)
feed	0.14mm/rev (392mm/min)
coolant	no (dry)
test specimen	sintered disc (64mm dia., 20mm high)
hole	5 mm in depth
tool life criterion	totally worn out, impossible to cut hole

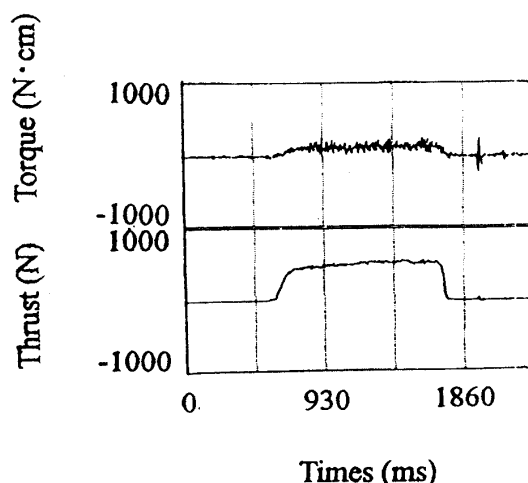


Fig.1 The curves of thrust force and torque

材の脱炭や浸炭などの表面欠陥や位置決め穴（ポンチ穴）の状態によって図形が安定しないので、終了時点から時間をさかのぼり、0.2～0.25s の間、すなわち 50ms の範囲内の最大値と最小値から振動の振幅を採ることにした。すなわち、この区間 50ms 中の振幅（最大値－最小値）を各試料毎に穴明け個数順に算出した。

また、各試料毎に工具寿命を求めたが、鉄系焼結体の場合、切削が不能となる時点があまり明瞭でないが、工具が折損するまでの穴明け個数を採った。さらに穴明け個数が多いために試料が不足して寿命点を見いだせないものが半数近くにのぼった。

3. 実験結果

3.1 被削材の性質

被削材の焼結後の顕微鏡組織を Photo 1 に示す。試料番号 A1～A4 の予合金粉末試料についてはフェライト+パーライトであるが、初析フェライトはこの写真では明瞭には見えない。パーライトは層状ではなく、やや粒状化している。これに対し、試料番号 M1～M3 の混合粉末試料はフェライト+オーステナイト+パーライトであり、フェライトのサイズが大きく、パーライトは層状と粒状が混在している。試料番号 MH1～MH3 の混合粉末試料は基本的にフェライト+オー

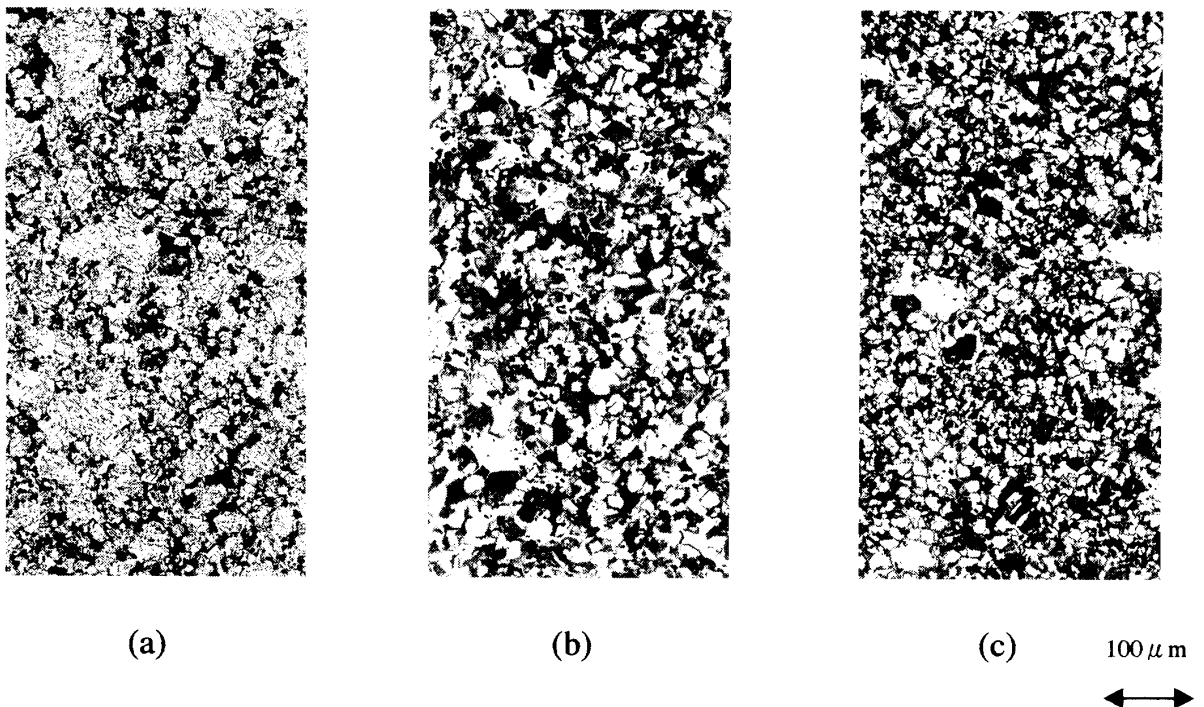


Photo 1 Microstructures of work materials

(a) Prealloy sintered steel

(b) Mixed sintered steel (cooling rate : 0.25K/s)

(c) Mixed sintered steel (cooling rate : 5K/s)

ステナイト+パーライトであるが、M1～M3 と比べて全体に組織が細かい。また、M3 と MH3 は原料粉末として粒度の大きい Fe-Ni、Fe-Mo を用いているので、フェライトまたはオーステナイトが M1、M2、MH1、MH2 よりも大きい。

以上の組織の状況を反映して被削材の硬さは Table 1 に示すように A1～A4 は HRB で 64～66, 同じ冷却速度の M1～M2 の硬さは 56～57, 合金添加粉末の粒度が大きい M3 の硬さは 48 と低く、Ni、Mo が十分に拡散していないことを伺わせた。混合粉末では予合金粉末と同じ冷却速度では

硬さが十分に高くないため、切削試験で硬さの影響が現れる。その影響を小さくするために冷却速度を高めて製造した MH1~MH2 は HRB62~64 と M1~M3 よりも約 6~7 ポイント上昇した。A 材とは 1~2 ポイントほど低い値であった。また、MH3 は 53 と 5 ポイント上昇した。しかし、A 材と比べると 10 ポイント以上低い値であった。

3.2 工具寿命

Fig.2 に示すように穴あけが不可能となる工具寿命、すなわち穴あけ個数は予合金粉末ベースの A1、A2、A4 がそれぞれ 765、935、623 個であり、MnS が添加されている A3 のみが 1036 個以上の寿命を有している。これに対して混合粉末ベースの M1、M2、M3 は低い硬さのために、いずれも 1036 個以上穴あけが可能であった。さらに高硬度化した混合粉末ベース材 MH1、MH2 は 748、618 個といずれも組織が均質な A1、A4 材よりは穴あけ個数がやや少なく、MH3 は 447 個と A1、A4 よりもはるかに工具寿命が短かった。MH3 は Ni が Fe-48%Ni パーマロイ ($-150\mu\text{m}$) の状態で添加されており、また、Mo は Fe-62%Mo($-150\mu\text{m}$) の状態で添加されているので、マクロ的な硬さは低く、Ni、Mo の拡散が十分でなく広い範囲に亘って元素の偏析があるために工具寿命は短かったものと思われる。

添加材を加えていない予合金粉末ベース材 A4、混合粉末ベース材 M2、混合粉末ベース材

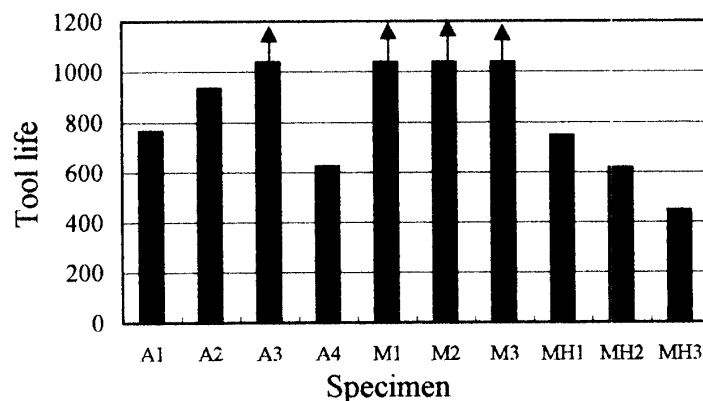


Fig. 2 Tool life (Cut hole number)

で高硬度化した MH2 を比較すると、工具寿命は 623、1036 以上、618 個と硬さの低い M2 の工具寿命が最も長く、ついで、A4 と MH2 であり、MH2 は A4 よりも硬さが 1 ポイント以上低いにもかかわらず、工具寿命はほぼ同じになっている。さらに、MH3 は A4 に比べて 12 ポイント以上も硬さが低く、その割には工具寿命が短かった。

さらに、添加材の効果としては MnS 添加の A3 は予合金粉末ベース材 (A 材) で高硬度であるが、1036 個以上と工具寿命は長かった。また、ゲーレンナイトを添加した A1 と M1、MH1 では硬さが最も低い M1 が 1036 個以上、続いて硬さが最も高い A1 が 765 個、MH1 が 748 個と最も低寿命であった。A1 と A4 を比較すると、ゲーレンナイトを添加した A1 は無添加の A4 よりも長

寿命であり、添加の効果が現れている。混合粉末試料でもゲーレナイトを添加した MH1 は無添加の MH2、MH3 よりも長寿命であり、添加の効果が明らかである。A2 と A4 の比較では、アノーサイトを添加した A2 は無添加の A4 よりもやはり長寿命であり、添加の効果が現れている。このように高速度の切削ばかりでなく²⁾ この実験のような低速度の切削においてもゲーレナイト、アノーサイトは工具寿命を向上させる効果が認められた。

3.3 穴あけ時のスラスト力、トルクと振幅

Fig.3 は無添加被削材の穴あけ初期から寿命までのスラスト力の振幅を示したものである。また、Fig.4 は Fig.3 と同じ被削材の穴あけ初期から 100 個目までのスラスト力の振幅を拡大して示した。Fig.3 から 400 個目までは振幅は小さく安定していることが判る。Fig.4 を見ると M2 と MH2 の振幅が最も小さく、ついで MH3、A4 となる。これらのことから切削初期の振幅と工具寿命は相関が無いことが判る。同様に、同じ被削材のトルクの振幅も工具寿命とは相関がない。他の被削材についても両者の間には相関関係が無く、切削初期のスラスト力やトルクの振幅から工具寿命が予測できないことが判った。また、MnS を含有する A3 のスラスト力の振幅は著しく小さいことが判った。

3.4 切屑形状、色の変化

各被削材間の切屑形状、色には大きな差はなく、切削初期には 2~3mm の大きさの金属色の切屑が生成し、あまり粉末状の切屑が発生しないのに対して、切削の進行とともに紺色や褐色に着色した切屑が生成し、切削温度が上昇していることを伺わせる³⁾。大きさは初期よりも後期がやや小さくなり、1mm 以下の粉末状切屑が混ざるようになる。

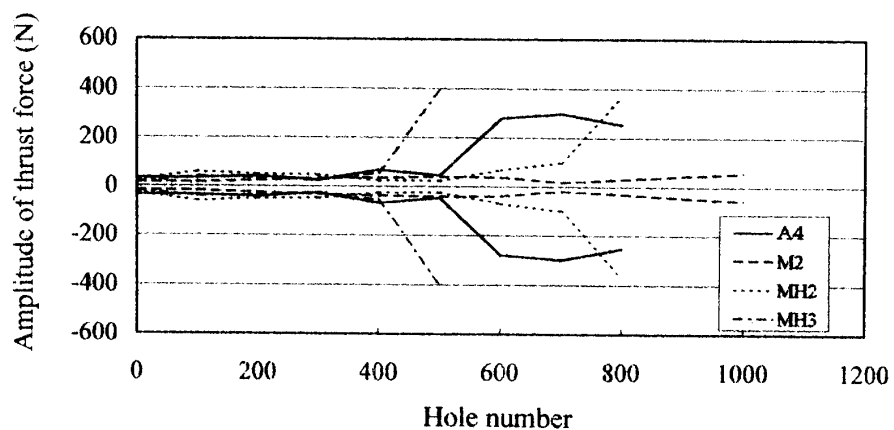


Fig. 3 Vibration amplitude of thrust force for A4, M2, MH2 and MH3 through finish

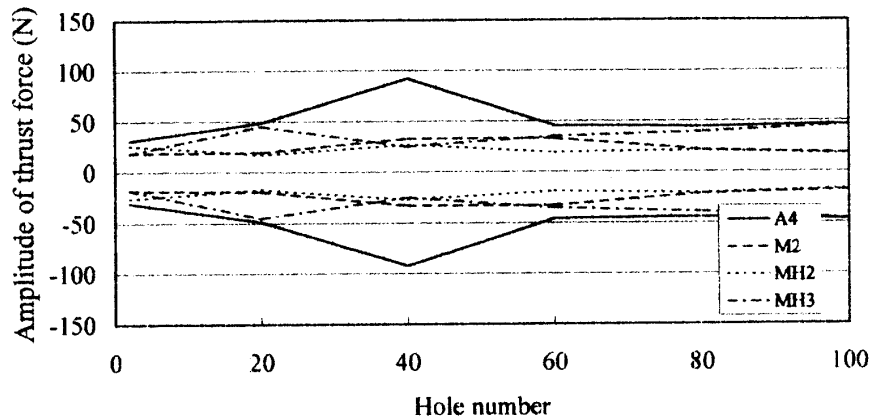


Fig. 4 Vibration amplitude of thrust force for A4, M2, MH2 and MH3 through hole number 100

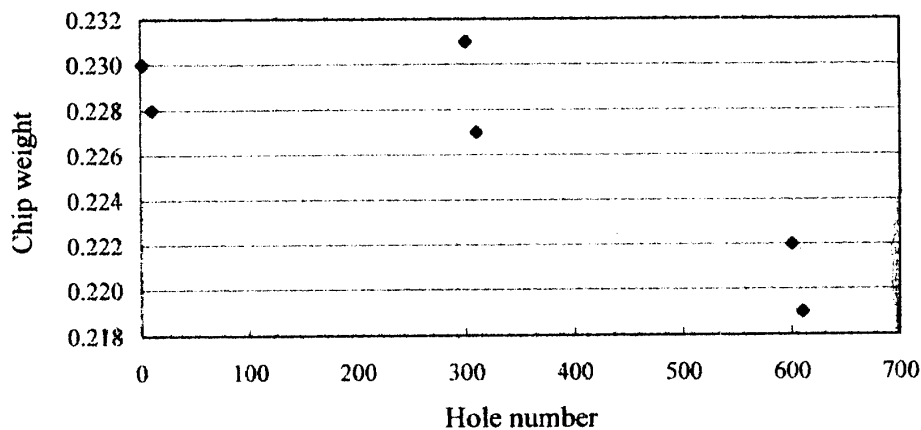


Fig.5 Change in chip weight

また、Fig.5 に示すように、いずれの被削材でも後期になると初期よりもやや切屑の発生量が少なくなっているように見受けられた。これは切削後期になると切刃が摩耗して、切屑を排出する代わりに、その圧力によって空孔が消滅するためと推定される。

4. 討論

実験当初の予想では、組織が不均質な混合粉末ベース材の方が均質組織の予合金粉末ベース材よりも切削加工中の振動が大きく、工具寿命も短くなると予想された。しかし、実験の結果では混合粉末ベース材のマクロ的な硬さが予合金粉末材と同等の製造条件では著しく低く、硬さの影響が大きく現れた。

焼結後の冷却速度を上昇させた材料では予合金と同等の硬さまで上昇しなかったが、工具寿命は予合金に較べて劣り、不均質な金属組織の影響が認められた。

すなわち、工具寿命に与える影響としては、硬さが最も大きく、不均質な金属組織も影響することが判明した。

5. 結論

- (1) 硬さが工具寿命に最も大きく影響することが判った。
- (2) 冷却速度が炉冷に近い 0.25K/s の混合粉末ベース材は硬さが予合金材よりも HRB で 8~9 ポイントも低く、工具寿命は長かった。
- (3) 金属組織の均質性も工具寿命に影響することが判明した。
- (4) ゲーレンナイト、アノーサイト、MnS 添加の効果は明瞭に認められた。
- (5) 切削加工初期のスラスト力とトルクの振幅と工具寿命の間には相関関係が無かった。
- (6) 加工が進行して穴あけ個数が増加するとともに振幅が大きくなった。
- (7) 工具寿命に近づくと切屑の発生量が少なくなる傾向が見られた。

6. 参考文献

- 1) 小野田：粉体粉末冶金協会 春季大会講演概要集 (1994)、p.197
- 2) 田中、津和、井川：精密工作法 上 (第2版 17刷)、共立出版、(1998)、p.91
- 3) 田中、津和、井川：精密工作法 上 (第2版 17刷)、共立出版、(1998)、p.49

(平成12年12月5日受理)