アクリル樹脂を含浸したバルブシート焼結合金の切削性*

小笠原 俊夫^{*1}, 尾谷 敬造^{*2}
眞木 邦雄^{*3}, 石橋 章義^{*4}Effect of Acrylic Resin Impregnation on Machinability
of Sintered Alloy Steel for Engine Valve SeatToshio OGASAWARA, Keizo OTANI,
Kunio MAKI and Akiyoshi ISHIBASHI

The effect of acrylic resin impregnation on machinability of sintered alloy steel for an engine valve seat was studied in turning operation. Flank wear of a carbide tool was decreased by acrylic resin impregnation in turning sintered alloy steel, and the scattering of tool life was also improved. As cutting speed was decreased, the effect of resin impregnation on improvement of tool life was considerable. Tangential and vertical forces increased as flank wear developed. On the assumption that an increase in cutting force was due to friction force on the flank face, the coefficient of friction on the flank face was estimated. As a result, it is inferred that the coefficient of friction on the flank face was decreased by resin impregnation. This effect caused a reduction of heat generation on the flank face.

Key Words: Powder Metallurgy, Tool Wear, Sintered Steel, Engine Valve Seat, Resin Impregnation

1. 緒 言

エンジン用バルブシートは、エンジンの燃焼によるバルブフェース面との摺動や、バルブの開閉に対する耐摩耗性が要求される部品である。材料としては、合金鋼の原料粉末を使用した高い高温硬さを有する焼結鋼が用いられることが多く、場合によっては硬質粒子の分散なども行なわれる。そのため、一般に切削性に劣る傾向にある。

鉄系焼結材の切削性を改善する方策として、鉛添加や鉛溶浸、非金属快削物質（ガラス、六方晶BN、タルク、ゲーレンナイト、MnS、Sなど）の添加¹⁻⁶⁾、樹脂の含浸などが提案されている。鉛はすくい面および逃げ面の摩擦係数を下げることによって、切削温度を低下させて工具寿命を延長させる効果がある。非金属快削物質による快削効果は、山口ら⁴⁾および鳴瀧ら⁵⁾によって詳細に検討されている。工具の材質によって具体的な作用は異なるが、これらの快削物質は、工具表面に安定的に付着して保護層を形成した

り、すくい面および逃げ面での摩擦係数を下げたりする効果がある。

鉛溶浸や鉛添加によりバルブシート焼結鋼の切削性は著しく改善されるが、環境への影響を考慮すると鉛の使用は必ずしも望ましいものとは言えない。また、非金属快削物質の添加では、焼結プロセスへの影響や、強度や耐摩耗性への影響が懸念される。これに対して、樹脂含浸は、焼結材の強度や耐摩耗性にほとんど影響を及ぼさないため、快削化の方策として有望である。

ところが、樹脂含浸による快削効果を系統的に調べた研究報告はほとんどなされていない。従来、樹脂含浸による快削効果は、樹脂含浸に伴う封孔による切削の連続化や、すくい面および逃げ面における潤滑作用によるものとされているが、それらを裏付けるデータは極めて少ない。最近になって、大石らが、アクリル樹脂を含浸したFe-Cu系焼結材の切削性を詳細に調べ、樹脂含浸によって主分力が大きく低下すること、これが被削材（切り屑）の脆化による作用であること、を報告している例を上げられるにすぎない⁷⁾。

* 原稿受付 1996年4月3日。

^{*1} 正員、日産自動車(株)総合研究所(〒237 横須賀市夏島町1)。^{*2} 日産自動車(株)総合研究所。^{*3} 日産自動車(株)材料技術部(〒230 横浜市鶴見区大黒町6-1)。^{*4} (株)リケン 精機部品事業部(〒360 熊谷市末広4-14-1)。

NII-Electronic Library Service

4. 考 察

ここでは、これまでに得られた実験結果に基づいて、樹脂含浸による逃げ面摩耗抑制のメカニズムについて考察する。

樹脂含浸の効果として、樹脂が気孔を塞ぐことによる振動の減少という説がある。そこで、切削抵抗波形に対して、FFTによる周波数特性解析を行なった結果を図7に示す。解析結果より、計測系全体の共振周波数は6~7 kHzであることがわかる。これ以下の周波数領域では、0.5~3 kHzの範囲に幾つかの大きな振動ピークが認められる。樹脂含浸の有無による比較では、樹脂未含浸の場合、主分力、加速度ともに、100 Hz前後での振動レベルが若干大きいようであるが、顕著な差異とは言えない。

切削速度80m/min (1333mm/sec)のとき、0.5~3 kHzという周波数は、0.5~3mm 程度に相当する。切り屑形状の測定結果から推定すると、これは剪断型切り屑の生成による振動成分であると思われる。一方、焼結鋼における気孔間の距離は、その1/10~1/100程度であり、周波数としては、10 kHz以上になる。これは今回使用した計測系の共振周波数を越えており、実際に測定することは困難である。ただし、このような高い周波数での振幅は小さいと考えられることから、樹脂含浸による振動低減による効果は、小さいものと思われる。

図6に示したように、主分力、背分力ともに、逃げ面摩耗の進行とともに増加している。切削加工では、切り込みに相当する強制変位が刃先に与えられる。強制変位のうち多くの部分は切削加工に寄与するが、一部はワーク加工面に弾塑性変形を与え、背分力増大の原因となる。摩耗していない工具では、工具逃げ面とワーク加工面との接触は点接触となり、強制変位に対する接触圧は小さくなるため背分力も小さい。逃げ面での摩耗が進展すると、接触部の面積が大きくなるため、強制変位に対する接触圧が増大し、背分力が増大する。樹脂含浸によって硬さがHRBスケールで5ポイントほど増加しているため、強制変位に対する接触圧の増大は樹脂含浸材の方が大きくなる傾向にある。

一方、逃げ面摩耗の進行に伴う主分力の増大は、背分力の増大に伴う逃げ面摩擦力によるものと考えられる。図8は、主分力と背分力の関係をプロットしたものであるが、ほぼ比例関係にあることがわかる。すなわち、逃げ面摩耗の成長→背分力の増大→逃げ面摩擦力の増大→主分力の増大、といった関係

があるものと考えられる。

(a) Tangential force

(b) Vertical force

Fig.6 Effect of acrylic resin impregnation on flank wear and cutting force (V=80 m/min, f=0.06 mm/rev, d=0.2 mm)

(a) Resin impregnated

(b) Unimpregnated

Fig.7 Effect of acrylic resin impregnation on power spectrum of tangential force (V=80 m/min, f=0.06 mm/rev, d=0.2 mm)

そこで、図9に示すような2次元切削モデルに基づいて、逃げ面でのみかけの摩擦係数を推定する。すくい面摩耗深さが数 μm 以下と小さかったことから、すくい面の摩耗による切削抵抗の変化は無視できるほど小さいと仮定すると、逃げ面摩耗の進行に伴う主分力の増大分は逃げ面での摩擦力に等しくなる。逃げ面での摩耗が全くない場合の主分力を F_{ho} とすると、これは被削材の切削に伴う真の主分力と見なせる。この時、すくい面での摩擦力によって、逃げ面摩耗のないときの背分力 F_{vo} が発生する。

ここで、逃げ面での摩擦係数を μ 、測定された主分力と背分力をそれぞれ F_h 、 F_v とすると、上述した仮定のもとで次式が成り立つ。

$$F_h - F_{ho} = \mu(F_v - F_{vo}) \quad (1)$$

すなわち、背分力 F_v に対して主分力 F_h をプロットしたときの傾きが、逃げ面における摩擦係数 μ に等しくなることがわかる。このようにして、得られた逃げ面での見かけの摩擦係数と切削速度の関係を図10に示す。逃げ面での摩擦係数は切削速度とともに増大する傾向にある。これは、切削速度の増加によって切削温度（逃げ面での摩擦によるフラッシュ温度）が高くなり、工具と被削材の凝着力が大きくなるためと思われる。樹脂含浸によって逃げ面での摩擦係数は低下していることが認められる。この傾向は、

Fig.8 Relationship between vertical force and tangential force
($f=0.06 \text{ mm/rev}$, $d=0.2 \text{ mm}$)

切削速度が小さいほど顕著であり、図5に示した切削速度と工具寿命の関係を説明できる。

次に、樹脂が逃げ面での摩擦係数を低下させる機構について考察する。ひとつの機構として、焼結鋼中の気孔が封孔され、切削形態が連続になることによる、摩擦係数低減の効果が考えられる。これを検証するため、硬さが同一（HRB103）で、密度のみが異なるV13B焼結鋼（樹脂未含浸材）に対して切削抵抗測定を行った。切削速度は80m/minである。密度と逃げ面摩擦係数との関係を図11に示す。逃げ面での摩擦係数は、予想に反して、密度が低い方が若干ながら小さくなる傾向を示した。本実験結果から判断すると、単に気孔を封孔しただけでは、摩擦係数の低減は実現しないと考えられる。

他の機構として、含浸した樹脂がフィルム状になって加工表面に伸ばされ、逃げ面における被削材と工具の直接的な接触を低減する効果が考えられる。図10からわかるように、逃げ面での摩擦係数低減効果は切削速度が小さく、切削温度が低いほど顕著である。切削温度が上昇すると樹脂が軟化し、上述した効果が認められなくなると考えることができる。しかしながら、この説については実証をしたわけではなく、今後詳細に検討する必要がある。

Fig.9 Friction model on flank and rake faces

Fig.10 Relationship between cutting speed and coefficient of friction in flank face
($V=80 \text{ m/min}$, $f=0.06 \text{ mm/rev}$, $d=0.2 \text{ mm}$)

最後に、逃げ面における摩擦発熱について簡単に考察する。すくい面摩擦力によって発生する背分力 F_{v0} が、 $F_{v0} \ll F_v$ であると近似する。これは、すくい角が 7° と小さいこと、図6において逃げ面摩擦をゼロに外挿したときの背分力が小さな値となること、などから考えると、現実性がある仮定である。このとき、逃げ面で発生する単位時間あたりの摩擦発熱量 Q は、次式で与えられる。

$$Q = \mu F_v V \quad (\text{J/sec}) \quad (2)$$

図12は、逃げ面で発生する単位時間あたりの摩擦発熱量と工具逃げ面摩擦幅との関係をプロットしたものである。逃げ面摩擦幅の進行に伴う摩擦発熱量の増大（傾き）は、樹脂含浸材が最も小さく、未含浸材では密度が低いほど大きくなっている。すなわち、樹脂含浸材では、逃げ面での摩擦発熱が少なく、結果として摩擦が安定的に進行することを意味している。

Fig.11 Effect of density of sintered alloy steel on coefficient of friction on flank face ($V=80 \text{ m/min}$, $f=0.06 \text{ mm/rev}$, $d=0.2 \text{ mm}$)

Fig.12 Heat generation at flank face as a function of flank wear ($V=80 \text{ m/min}$, $f=0.06 \text{ mm/rev}$, $d=0.2 \text{ mm}$)

5. 結 論

バルブシート用焼結鋼の切削性を改善するために、アクリル樹脂含浸の効果について検討した。アクリル樹脂の含浸によって逃げ面摩擦量は少なくなり、そのばらつきも低減した。アクリル樹脂の含浸による工具寿命延長効果は、切削速度が小さいほど顕著となった。主分力および背分力は、工具逃げ面摩擦の進行とともに増大した。そこで、逃げ面摩擦の進行に伴う主分力および背分力の増大が、逃げ面での摩擦力によるものであると仮定し、逃げ面でのみかけの摩擦係数を測定した。その結果、樹脂含浸により逃げ面での摩擦係数が大きく低下していることが認められた。また、逃げ面摩擦の進行に伴う逃げ面での発熱量の増加が、抑制されていることがわかった。

文 献

- [1] 鳴瀧則彦, 村越昭男, 焼結鋼の被削性, 精密工学会誌, 47-12 (1981), 1516.
- [2] 山口勝美, 中本剛, 水野哲哉, 大道重樹, 非金属材料添加快削焼結材の開発研究 (第1報 純鉄粉焼結材), 機論, 53-485, C (1987), 235.
- [3] 山口勝美, 中本剛, 西島義明, 非金属材料添加快削焼結材の開発研究 (第2報 ステンレス粉焼結材), 機論, 53-485, C (1987), 243.
- [4] 山口勝美, 中本剛, 木村篤良, 非金属材料添加快削焼結材の開発研究 (第3報 添加物の作用), 機論, 53-491, C (1987), 1581.
- [5] 山口勝美, 中本剛, 北野晶之, 鈴木雅邦, P. A. Abbey, 複合形合金鋼粉焼結材の被削特性と快削化, 機論, 60-570, C (1994), 687.
- [6] 鳴瀧則彦, 山根八洲男, 臼杵年, 島田兼成, 武田義信, 高強度焼結鋼の被削性とその改善, 精密工学会誌, 61-2 (1995), 238.
- [7] 大石健司, 安田亨, 焼結金属の被削性に及ぼす樹脂含浸の影響, 精密工学会秋季大会前刷り (1995), 665.
- [8] 藤木章, 眞木邦雄, 三木貞雄, 和田政一, 齊藤雅基, 小林浩一, 最近の自動車用エンジンに用いられる焼結部品, 機講論(M&P95), 95-38 (1995), 167.