

難削材の加工技術

- 粉末冶金法で成形した PSZ/Ni 複合材料の研削加工 -

菊地 新一

山形大学工学部機械システム工学科

1. はじめに

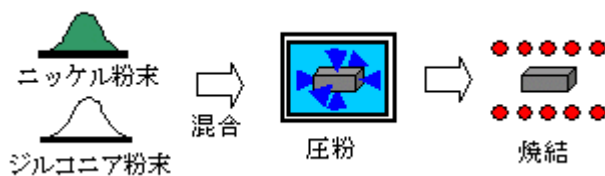
新素材、中でも高比強度、高温強度、耐摩耗性、耐腐食性などを持った航空宇宙機器、自動車関連材料の開発が盛んに行われている。それに伴って、その二次加工技術、特に切削・研削工具材料の進歩も著しい。

ここでは、セラミックスや超合金などの二次加工で使われている、ダイヤモンド砥石を使った切断・研削加工の一例を、粉末冶金法で成形した PSZ/Ni 複合材料の 4 点曲げ試験片製作を通して紹介する。

* PSZ: Partially Stabilized Zirconia (部分安定化ジルコニア)

2. 粉末冶金 (Powder Metallurgy, PM) 法

粉末冶金法は、図 1 のように金属粉末やセラミックス粉末を所要の形に混合・圧粉し、それを高温加熱して焼結する加工プロセスで、溶解・鑄造工程を通らずに、合金や複合材料を作ることができる比較的新しい素形材*加工技術である。



* 素材に熱や力が加えられ、形が与えられた部品や部材

図 1 粉末冶金法

3. PSZ/Ni 複合材料

粉末冶金法により、ジルコニア中に微細なニッケル粒子を分散させ、高温強度が高くかつ高靱性、伝熱性を付与した多機能セラミックスを成形する。特徴として、金属的な性質を併せもつ、断熱性がある、伝熱特性が制御できる、などがあげられ、エンジン部品などの高温構造材料として期待される。

原料粉末は、PSZ が $ZrO_2 \cdot 3mol\%Y_2O_3$ (TZ-3Y、東ソー(株)、平均粒径 $0.7 \mu m$ 、密度 $6.05g/cm^3$)、Ni 粉末は日本アトマイズ(株)製(密度 $8.85g/cm^3$)で、Ni 粉末粒径(5、15、 $36 \mu m$)およびその混合比を変えてボールミル混合し、圧粉後焼結して PSZ/Ni 複合材料を成形した。

その後、二次加工(切断・研削・研磨等の機械加工)を行い、組織観察(OM・SEM)、組成分析や成分分析(X線回折、SEM/EDS)、硬さ、曲げ強度、熱伝導率などの実験を行う。

ここでジルコニアについて簡単に説明する。

ジルコニア(二酸化ジルコニウム(ZrO_2))は、その温度によって単斜晶系、正方晶系及び立方晶系の 3 種の結晶系を持つ。それぞれの転移温度は、1150 および 2370 であり、融点は 2680 である。正方晶系から単斜晶系への相転移には約 5%の体積膨張を伴い、焼結後の冷却中にき裂が発生するため、一般には、 Y_2O_3 、CaO、MgO などを固溶させ、安定化ジルコニア(FSZ)又は部分安定化ジルコニア(PSZ)として用いる。

安定化ジルコニア(FSZ)は、低温から高温まで立方晶の構造を保持した安定なジルコニアで、耐火物、れんが及びコーティング材として使用され、また FSZ は酸素空格子を多く含むため、高温で酸素イオンの伝導体となり、固体電解質としても利用される。

部分安定化ジルコニア(PSZ)は、少量の安定化材を加えて焼結して得られた立方晶又は単斜晶と正方晶からなり、高い靱性と高強度を持つ。機械部品や加工工具として利用される。

4 . 切断加工

成形された PSZ/Ni 複合材料は、PSZ100%の HV1350 から Ni100%の HV85 の間の硬さを持ち、Ni が 80%以下の組成の場合、ハイスや超硬工具による切削・切断加工は困難である。

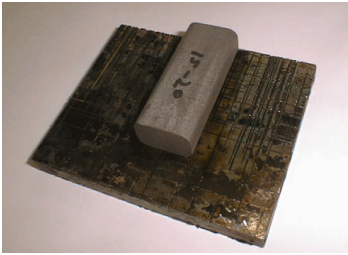


図 2 切断板に接着



図 3 精密切断機

さらに、切断砥石による切断加工の場合でも、Ni80%以上はアラシダム系 (Al_2O_3) やカーボラシダム系 (SiC) の切断砥石による加工が可能であるが、Ni60%以下になるとダイヤモンド切断砥石を使用しなければ切断加工は困難である。

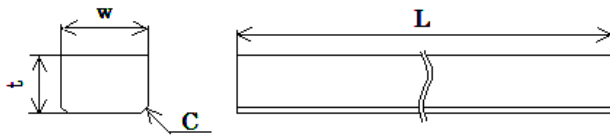


図 4 曲げ試験片形状

切断方法は、図 2 のように切断板に接着ワックス(アドフィックス A、(株)マルトー)で接着し、精密切断機で短冊形に切り出す。

4 点曲げ試験片形状は、 $t=3$ 、 $w=4$ 、 $L=40$ mm、 $C0.2$ とする。

5 . 平面研削加工

精密切断機で切り出した曲げ試験片を、平面研削盤のマグネットチャックの上に、図 5 のようにセットする。

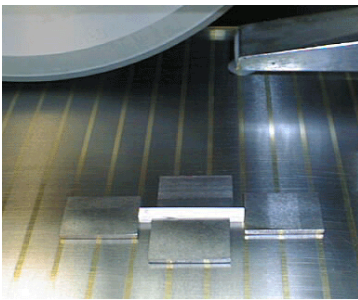


図 5 試験片セット

通常、平面研削盤では焼き入れをした鋼などの磁性体材料の研削加工が主な作業であり、セラミックスのような非磁性体材料を加工する場合、その素材の固定にはいろいろな工夫が必要になる。

例えば、切断でも使用したように、平面研削加工した鋼板に接着ワックスで接着して加工する方法や、チャック部分に小さな穴を空けておき、素材直下の穴から真空ポンプで空気を吸い出すことで素材を固定する方法(真空チャック)、鋼板と一緒に素材を冷凍しておいて、乾式で研削加工する方法(冷凍チャック)などがある。

ここでは、 $20 \times 30 \times 2.5$ mm の固定板(鋼板)を 4 枚準備して、素材を周りから囲むようにセットし、平面研削盤のマグネットチャックの磁力によって固定板を固定し、その面圧によって素材を浮き上がらせないようにする手法を使った。



図 6 固定板によるチャッキング

これは、素材と固定板を密着させるために、図 6 のよう



図 7 研削マーク

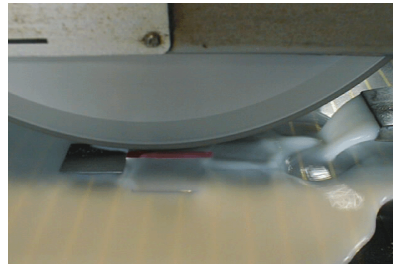


図 8 平面研削加工

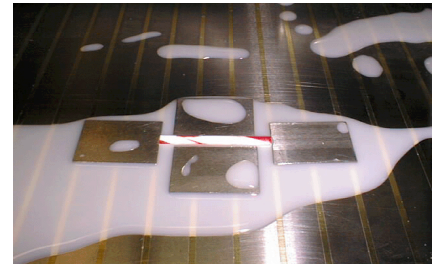


図 9 研削状況の確認

に、銅棒のハンマーを使って銅板を静かにたたき、反対側の固定板が動いたところで、固定完了と判断する。あまり強くたたくと、反対側の固定板を弾いてしまい、面圧がかからない状態にな

ることがあるので注意する必要がある。また、素材の研削状況確認のために、図7のように油性マーカーで表面に色を付けておく。色は見やすいものを選び、特に深い傷などがある場合には、その中まで十分に入り込ませることが重要である。

切込み量(0.004mm/回)に注意して、切削液を十分かけながら、ダイヤモンド砥石で研削加工を施す。この時、研削がまだ途中の場合、図9に示すように、研削マークが「まだら」に残ることで、その進行状況を確認することができる。

6．C面取り加工



図10 固定治具



図11 試験片セット

平面研削加工で3×4mmの矩形試験片を製作後、引張側のC面取りを行う。

この場合も、平面研削加工した鋼板にV溝を切っておき、接着ワックスを使って固定して行う方法もあるが、ここでは、固定板と同じ考え方で、図10の固定治具を製作し、図6と同様に固定治具を移動させて固定する方法を使った。

平面研削盤で、ダイヤモンド砥石が接触したところから、0.141mm切り込んでC0.2を加工する。

7．仕上げ研磨

組織観察や破壊靱性試験・曲げ試験を行うために、観察面および曲げ試験の引張側の面を鏡面仕上げする。



図12 仕上げ研磨

仕上げする。

これは、図12のように、試料琢磨機の回転板にポリシングクロスを貼り付け、ダイヤモンドペースト(粒径3μm)を使って仕上げ研磨を行う。

8．組織観察および機械的性質(曲げ試験・破壊靱性試験)

光学顕微鏡(OM)、走査型電子顕微鏡(SEM)により、組織観察を行う。また、4点曲げ試験装置およびビッカース硬さ試験機を使い、曲げ強度、IF*法による破壊靱性値、ビッカース硬さを調べる。

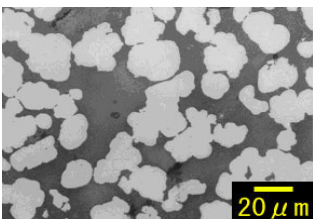


図13 Ni60%組織(OM)



図14 曲げ試験装置

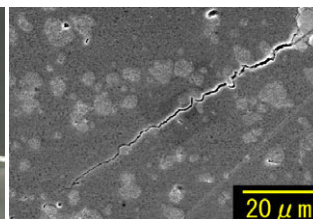


図15 き裂観察(SEM)

調べる。

図13に光学顕微鏡組織を示す。黒い部分がZr、白い部分がNi粒子である。

図14に自作した4点曲げ試験装置を示す。図15はNi20%の試験片で破壊靱性試験を行った時のSEM写真である。右上のビッカース圧痕先端からき裂が延びており、Ni粒子を迂回しながら進展している様子が確認できる。

* JIS R1607 IF法(Indentation Fracture Method)

9．おわりに

PSZ/Ni 複合材料のダイヤモンド砥石を使った切断・研削加工を紹介した。これらの技術は、通常の研削加工への応用も可能であり、非磁性体材料の研削技術として参考になるとと思われる。