

ガラスレンズ成形金型用材料に求められる 超硬合金の特性

富士ダイス(株) 和田 光平*、小椋 勉**、福島 崇洋***

ガラスレンズ（以下、レンズ）は、デジタルカメラや医療機器など、さまざまな分野で使用されている。レンズは硝材を直接加工して製造されていたが、近年非球面や自由曲面などの複雑形状のレンズ製造やコストダウンを目的として、モールドプレス成形法により製造されることが多い。

モールドプレス成形法では、成形時にパンチの役割を果たす上下に設置されたコアと、それを固定するダイの役割を果たすスリーブが使用される。当社は超硬合金製のレンズ成形金型のパイオニアとして、さまざまなレンズ成形金型に適した材料を開発し、市場に提供してきた。

本稿では、まずレンズ成形金型に必要な材料特性に関して説明する。その後、当社の既存超硬合金のレンズ成形金型材料を紹介し、最後に新たに開発した高熱膨張係数材料 Z126R、Z127R（開発コード）を紹介する。

レンズ成形金型材料として必要な特性

1. 加工性、および金型仕上げ時の面粗さ

レンズなどの光学製品は、光を屈折させるため、表面状態が重要である。モールドプレス法でレンズ成形を行う場合、コアの面形状がそのままレンズに転写される。すなわち、金型の面粗さが成形後のレンズの面粗さとはほぼ同じになるため、金型の加工性、および仕上げ時の面粗さが重要となる。

*Kouhei Wada、**Tsutomu Ogura：技術開発本部 開発センター 材料開発部

***Takahiro Fukushima：同 部長
〒257-0015 神奈川県秦野市平沢 36-1
TEL (0463) 82-9588

超硬合金は炭化タングステン (WC) をコバルト (Co)、ニッケル (Ni) などの結合相で焼結した材料であるが、加工性と仕上げ時の面粗さを決める材料要素としては、結合相量と WC の粒度の 2 つがあげられる。結合相量が少ない材料ほど、加工性と仕上げ時の面粗さが優れる。これは WC と結合相の硬さが大きく異なるためであり、加工時には硬い WC は削りにくく、軟質な結合相は削りやすくなる。

また、WC の粒度が微粒子の材料の方が、加工性と仕上げ時の面粗さが優れる。これは加工中に WC 粒子が脱落した場合に、微粒子の方がその後に削る量が少なく済むからである。したがって、レンズ成形金型材料としては、バインダレス超硬合金で、WC 粒子径がなるべく微粒子の材料が多く使用されている。

超微粒バインダレス超硬合金 TJS02（材料の詳細は後述）、超微粒 WC-Co 系超硬合金、粗粒超硬合金を、集束イオンビーム (FIB) にて同一条件下で $2\mu\text{m}$ ずつ階段状に加工した結果を図 1 に示す。結合相量が少なく、WC が微粒子の TJS02 の方が、加工性が優れることがわかる。本結果は FIB の場合であるが、切削加工、研削加工、レーザー加工などでも同様の結果が得られている。

2. 熱膨張係数

モールドプレス法でのレンズ成形は、硝材が軟化する $873\sim 1,073\text{ K}$ で行われることが多い。このため、レンズ成形時には金型も熱膨張する。金型のコア材料とスリーブ材料を同一とする場合もあるが、成形時のコアとスリーブのクリアランスを小さくするため、コアを熱膨張係数の大きな材料とする場合が多い。

また、レンズ形状によっては、硝材と金型のコア材

料との熱膨張係数差により、冷却時に硝材が割れる、冷却後金型から硝材の取り外しができないなどの問題を生じることがある。さらに、より高精度な形状のレンズ製品を金型にて成形する場合は、可能な限り硝材と金型材料の熱膨張係数を合わせる必要がある。このようにレンズ成形金型において、材料の熱膨張係数は重要な特性である。

3. そのほかの必要な特性

そのほか、レンズ成形金型材料として必要な特性値には、熱伝導率、耐酸化性、耐熱衝撃性などがある。これらは、成形を行うサイクル時間の短縮のため、必要な特性である。すなわち、熱伝導率は高ければ金型を加熱・冷却しやすく、レンズ成形にかかる時間が短縮可能となる。また耐酸化性、耐熱温度が高ければ、金型の寿命が長くなり、さらに 450~600 K で金型を取り出すことができるようになるため、これらの特性値を重要視する場合もある。

レンズ成形金型材料（超硬合金） ラインナップ

当社のレンズ成形金型材料のラインナップとその機械的特性値を表 1 に示す。当社ではコア金型用のバ

インダレス超硬合金として、J05、JF03、TJS02、TJS01 の 4 材種をラインナップしている。一般的にバインダレス超硬合金は、ホットプレス法や放電プラズマ焼結法（SPS）などの方法を用いて生産されることが多いが、当社材料はすべて仮焼結法と熱間等方圧加圧法（HIP）での本焼結を組み合わせた焼結方法で生産されている。このため、大型焼結体であっても焼結体内部と外部で組成や WC 粒子の大きさの差が小さく、ほぼ均一の焼結体を提供可能である。また、ニアネットシェイプの焼結体の製作が可能となり、最終加工までの製造コストを安くできる特徴がある。

J05 は最も初期に開発された材料で、WC とチタン（Ti）や W などの固溶体炭化物相の 2 相からなる [図 2(a)]。通常の超硬合金で結合相として使用される Co や Ni と比較して、炭化物相の硬さが WC と近く、鏡面加工性に優れるために、モールドプレス法におけるバインダレス金型材料の先がけとなった。また、 ϕ 200 mm 程度の大きな金型の製作も可能である。一方で、硬さの異なる 2 相で構成されていること、また WC の粒子径が $1.4\mu\text{m}$ と比較的大きいため、バインダレス超硬合金の中ではやや加工性が悪く、特に初めて加工する場合は難しいとの問題があった。

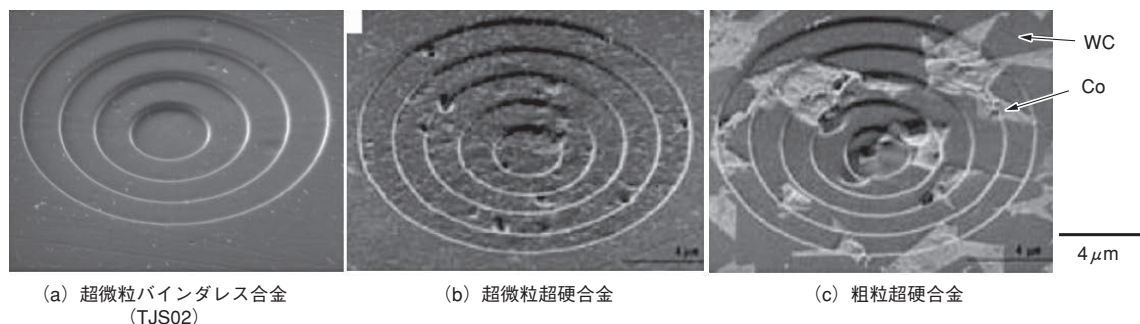


図 1 加工試験結果。FIB を用いて、深さ $0.2\mu\text{m}$ ずつ階段状に加工

表 1 レンズ成形金型材料のラインナップとその機械的特性値

材種名	WC 粒子径 (μm)	比重	硬さ、294 N (HV)	抗折力 (GPa)	破壊靱性値 ($\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$)	熱伝導率 ($\text{W/m}\cdot\text{K}$)	熱膨張係数 $\times 10^{-6}\text{K}^{-1}$			酸化増量 (g/m^2) ^{※1}
							RT-673 K	RT-873 K	RT-1,073 K	
J05	1.4	14.65	2000	1.3	2.1	63	4.6	4.8	5.1	220
JF03	0.6	15.40	2200	2.0	2.4	62	4.2	4.5	4.7	183
TJS02	0.35	15.40	2600	1.8	2.2	57	4.3	4.5	4.7	170
TJS01	0.16	15.10	2700	2.3	2.8	43	4.6	4.9	5.1	100
D10	1.5	15.20	1650	2.9	4.5	97	4.6	4.9	5.1	—

これら特性値は保証値ではない。※1 大気中 1,073 K-30 min で試験

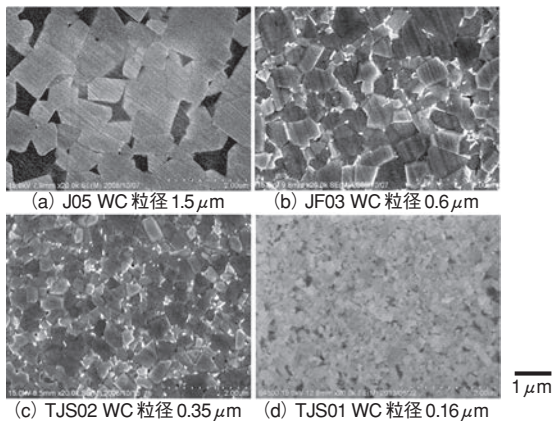


図2 バインダレス超硬合金のSEM像

そこで、加工性を改良したのがJF03である。JF03はJ05と異なり、ほぼWCで構成されており、WCの粒子径も $0.6\mu\text{m}$ と微粒子〔同図(b)〕であるため、加工性が良い材料である。本材料はコアのみならず、スリーブとしても使用されており、コアでは $\phi 70\times H 40\text{ mm}$ 程度、穴のあいた薄いスリーブでは $\phi 130\text{ mm}$ 程度の大きさの製品まで製作実績がある。

JF03よりもさらに加工性、および仕上げ時の金型の面粗さを向上させた材料がTJS02である。TJS02

表2 コア材料とスリーブ材料の組合せ

コア材料	スリーブ材料		
	同じ熱膨張係数	熱膨張係数小	
TJS01	J05	D10	JF03
TJS02	JF03		—
JF03	JF03		—
J05	J05	D10	JF03

はWCの粒子径が $0.35\mu\text{m}$ と細かく、JF03と同様にほぼWCのみで構成されているために〔同図(c)〕、加工性、また仕上げ時の金型の面粗さが優れた材料となっている。本材料はコアのみでの販売となっており、 $\phi 70\times H 40\text{ mm}$ 程度の大きさの実績があり、国内外で多く使用されている。

JF03、TJS02は加工性と面粗さは優れたが、熱膨張係数がJ05と異なり小さく、熱膨張係数をJ05と同等にし、さらに加工性と面粗さを向上させた材料が欲しいとの要望があった。これを受け開発されたのがTJS01である。TJS01はJ05と同等の熱膨張係数をもち、WCの粒子径が $0.16\mu\text{m}$ と当社で調べた限りは販売されている超硬合金の中で最も微粒子である。

また本合金はWCと M_2C 相(Mは金属成分)の2相で構成されている。同図(d)の灰色の部分WC、黒い部分が M_2C である。この2相の硬さが近いことから、加工性と仕上げ時の面粗さも良い。また、研削加工以外の切削加工やレーザー加工などでも高評価を得ている。生産上の都合から、現在は $\phi 40\times H 30\text{ mm}$ 程度の製品の販売となっているため、現在生産能力の向上と生産可能寸法を大きくする取組みを行っている。

これら材料は、熱膨張係数の関係から、表2のような組合せで使用されることが多い。D10はWC-Co基超硬合金であるが、Co量が少なく、熱膨張係数がJ05やTJS01と同等であるため、これらのコア材料のスリーブ材料として使用されている。

上述した材種を同一条件で加工し、面粗さの測定を行った結果を図3に示す。Pv、RaともにJ05、JF03、TJS02、TJS01の順に良くなっている。本結果からもWCの粒子径が細かい材料ほど加工性が優れることがよくわかる。

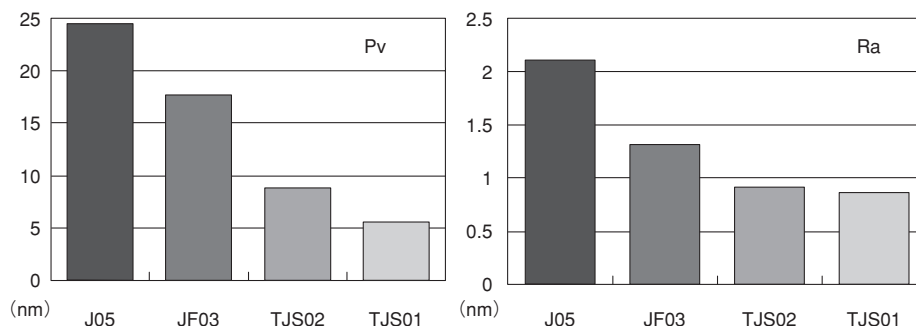


図3 同一条件下で加工したバインダレス超硬合金の面粗さ測定結果

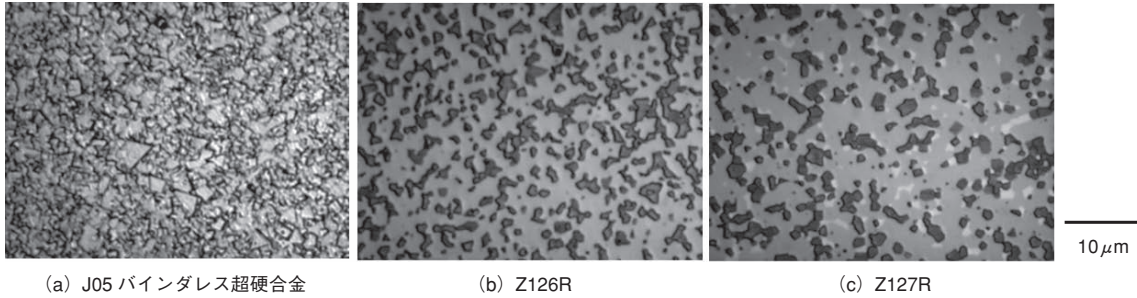


図4 既存バインダレス超硬合金 J05 と新材種 Z126R、Z127R の合金組織写真

表3 Z126R および Z127R の機械的特性値

材種名	比重	硬さ (HRA)	抗折力 (GPa)	破壊靱性値 (MPa・m ^{1/2})	熱伝導率 (W/m・K)	熱膨張係数 ×MK ⁻¹			酸化増量 (g/m ²) ^{*1}
						RT-673 K	RT-873 K	RT-1,073 K	
J05	14.65	93.5	1.3	2.1	63	4.6	4.8	5.1	30
Z126R	7.00	92.7	1.0	1.7	13	8.5	9.1	9.6	20
Z127R	7.15	90.6	1.3	3.3	13	8.7	9.1	9.5	10

これら特性値は保証値ではない。 ※1 大気中 973 K・30 min で試験

高熱膨張係数材料 Z126R、Z127R (開発コード)

一般的なガラス硝材の熱膨張係数は 6~10MK⁻¹ 程度であり、熱膨張係数が 4~6MK⁻¹ のバインダレス超硬合金製のレンズ成形金型でも十分対応できる。しかし、それ以上の熱膨張係数を有する硝材を金型成形した場合、形状によっては冷却時にレンズに割れが生じる、高精度の製品ができないなどの問題があった。そのため、高熱膨張係数を有し、さらに鏡面加工性と仕上げ時の金型の面粗さが優れる金型が要望されていた。そこで開発されたのが Z126R、Z127R である。これらの材料は WC を使用せず、クロム (Cr) 炭化物を主成分とするまったく新しい材料 [図 4(b)、(c)] である。

Z126R、Z127R の材料特性値をバインダレス超硬合金 J05 と比較した結果を表 3 に示す。通常のバインダレス超硬合金の熱膨張係数は 5MK⁻¹ 程度であるが、開発材料 2 種は熱膨張係数が 8~10MK⁻¹ 程度と通常のバインダレス超硬合金の 2 倍近い。また、同一条件下で加工試験を行った結果、Z126R は既存バインダレス超硬合金である J05 に近い面粗さが得られた (図 5)。Z127R は、面粗さは劣るものの、Z126R よりも靱性が高く、扱いやすい材料であり、使用条

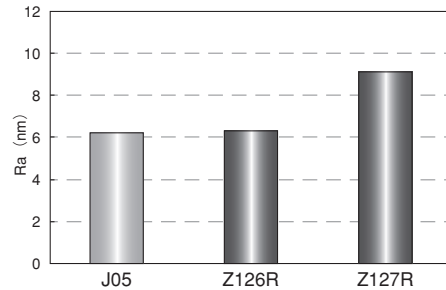


図5 同一条件にて加工した J05、開発材種 Z126R、Z127R の表面粗さ測定結果 (図 3 の加工条件とは異なる)

件によって使い分ける。

☆

当社はモールドプレス法初期からレンズ成形金型材料を開発し、顧客の要望にあった材料を開発・提供してきた。今後もより微粒な合金の開発やさらなる大型化、複雑形状化などの要望を可能な限り実現していきたい。また、今回紹介した新材料 Z126R や Z127R は硬く、耐磨耗性があることはもちろん、超硬合金と比較して軽いことや WC や Co を含んでいないことも特徴としてあげることができる。レンズ成形金型材料以外にも使用用途があると考えているため、興味がある場合は問い合わせいただければ幸いである。