

研究論文

白鑄鉄による粉碎サーメット粒子の鑄ぐるみ性評価

池 浩之,* 後藤正治,** 勝負澤善行,* 麻生節夫,**
小松芳成,** 小西信夫***

Study on Microstructure of Cermet Powder Layer Inserted by Molten White Cast Iron

Hiroyuki IKE†, Shoji GOTO††, Yoshiyuki SYOBUZAWA†, Setsuo ASO††
Yoshinari KOMATSU†† and Nobuo KONISHI†††

In order to improve wear resistance of white cast iron, cermet powder layer only and cermet powder layer mixed with some metallic powder were inserted by molten 27 mass% Cr white cast iron at 1773 K. Various sizes of the cermet powder were adopted for the insertion. The microstructure of surface and vertical cross-section of the inserted layer was examined to investigate castability of the molten cast iron for these powder layer. The results obtained are as follows. (1) For the cermet powder size of more than 3.4 mm, the inserted layer shows satisfactory metallographic structure. (2) For the cermet powder size of less than 3.4 mm, many voids are located in the inserted layer and cermet powder remain, but good metallographic structure is obtained by the addition of Ni powder or Cr powder. (3) For the mixed cermet powder added 50 vol.% Ni powder, a compression method to make a compact is available to obtain a good microstructure of inserted layer. (4) A suspension method for the cermet powder in the mold is also effective to obtain the good microstructure because it is easy to obtain a good admission of the molten cast iron into the cermet powder.

Key Words : insert, surface hardening, white cast iron, cermet, microstructure, composite

1. 緒言

TiC などの硬質粒子を主成分とするサーメットは、耐摩耗性、耐熱性および耐酸化性に優れるために切削用チップや耐摩耗材料として多用されている。最近、これらの使用済み廃材の有効活用がクローズアップされている。そこで著者らはサーメット廃材をスタンプミルにより粉碎し、この廃材サーメット粒子を強化材とした高耐熱、高耐摩耗性鑄ぐるみ材料の開発に取り組んでいる⁽¹⁾。ここで鑄ぐるみ母材として用いた材料は、ステンレス鑄鋼や耐熱鑄鋼に比較して安価でしかも耐熱性や耐摩耗性が優れる27%クロム白鑄鉄溶湯を用いた。しかし、粉碎前の切削用サーメットチップ自体を27%クロム白鑄鉄溶湯（以下白鑄鉄溶湯という）で鑄ぐるみ複合化し、組織評価を行った結果⁽²⁾、サーメットチップと母材である白鑄鉄との接合界面には、約10 μm と薄く、強度も高くない相互拡散層が生じるだけで、ま

た接合面に空隙が観察されるなど母材との接合の点で難点があることが懸念されている。一方、同じ高硬度材料である超合金チップと白鑄鉄との接合界面に生じる反応層の厚みは約150 μm と比較的厚く、良好な接合強度が得られることが分かっている。そこで、サーメット粉碎粒子に Ni や Cr などの金属粉末を同時添加して接合性を向上させ、母材である白鑄鉄との鑄ぐるみ複合化状態についてモデル実験を行うことにより詳しく検討してきた⁽¹⁾。その結果、サーメット粒子単独では白鑄鉄とは複合化できないが、Ni および Cr 粉末を50 vol.%以上添加することによりサーメット粉末も白鑄鉄溶湯で完全に鑄ぐるみ複合化できることが分かった。そして、Ni 粉末添加の場合は、サーメット粒子の組織形態が崩され、鑄ぐるみ層の硬度の低下を招くが、Cr 粉末添加では、サーメット粒子の組織形態は維持され、しかも多量の M_7C_3 炭化物の析出や TiC の鑄ぐるみ層への分散強化などにより高硬度の鑄ぐるみ層が得られることなどが分かった。しかし、母材と完全に密着接合し、接合不良や鑄ぐるみ層内にポアなどが生じない鑄ぐるみ層を形成するためにはサーメット粒子のサイズや鑄ぐるみ条件によって大きく左右されることが推察された。

そこで本研究では、あらかじめスタンプミルで破碎した種々の粒度のサーメット粉碎粉末を用いて、それのみ、あるいはそれに Ni や Cr 粉末などの金属粉末を同時添加したものを、鑄型内に充填し、白鑄鉄溶湯を母材として種々の条件で実際に鑄ぐるみむことにより、鑄ぐるみ試験片を作製した。そして試験片の表面や断面についてマクロ、ミクロ観察を行い最適な鑄ぐるみ条件を見いだすことを目的とした。

平成15年3月26日受付

*岩手県工業技術センター 材料技術部
〒020-0085 岩手県盛岡市飯岡新田3-35-2

**秋田大学工学資源学部 材料工学科
〒010-0085 秋田市手形学園町1-1

***(株)小西鑄造
〒027-0006 岩手県宮古市鍛ヶ崎上町6-14

†Iwate Industrial Research Institute, 3-35-2 Iiokashinden Morioka city 020-0852 Iwate prefecture Japan
E-mail: ike@sv02.kiri.pref.iwate.jp

††Faculty of Engineering and Resource Science, Akita University,
1-1 Tegata Gakuencho Akita city 010-8502 Akita prefecture Japan

†††Konishi Foundry CO., LTD, 6-14 Kuwagasakikamimachi Miyako city 027-0006 Iwate prefecture Japan

2. 実験方法

試験に用いたサーメットは、TiCN-19mass%-Mo₂C-24mass%Niの組成に調製しボールミル、乾燥、成型、焼結を得て、JIS抗折力試験片形状(25.0×8.0×8.0mm)に作製したものである。ここでTiCNを主成分としたサーメットを用いたのは、N添加合金はTiCN粒子が微粒となり強度⁽³⁾が高く、また耐熱性⁽⁴⁾も優れること、さらに通常工具として利用されているサーメットはN添加合金であることなどの理由による。この試験片をステンレス鋼製スタンプミルにて>3.4mm, 1.4~3.4mm, <1.4mmのサイズに粉碎してサーメット粉碎粒子とした。サーメットの形状と粉碎後の粉碎粒子の外観をFigure 1に示す。これらのサーメット粉碎粒子を単独、あるいはNi粉末(<45μm)やCr粉末(<10μm)を50vol.%混合して被鋳ぐるみ材とした。この強化材10gをFigure 2に示すようにセラビーズ製炭酸ガス鋳型内底部にそのまま充填した。そして1773Kで溶解した白鑄鉄溶湯(組成:Fe-2.7mass%C-27mass%Cr-0.8mass%Si-0.8mass%Mn)を鋳型内に注湯しサーメット粒子鋳ぐるみ試験片を作製した。本実験ではFigure 2に示すように鋳型寸法(上側鋳型の直径をφ28~48, 高さ60mmに、下側鋳型の直径をφ25~45, 高さを15~20mmに変化)を変化させ溶湯の容積比率を変化させた。得られた試験片については、鋳ぐるみ部の底面部および断面部周辺の組織観察を行い、鋳ぐるみ複合化の評価を行った。

3. 実験結果

3.1 鋳ぐるみに及ぼす粒度の影響

Figure 3は>3.4mm, 1.4~3.4mm, <1.4mmの3種類のサーメット粉碎粒子を単独で鋳型内に充填した後、白鑄鉄溶湯で鋳ぐるみだ試料の底面と鋳ぐるみ層近傍断面におけるマクロ組織である。>3.4mmのサーメット粒子の場合、一部に母材とサーメット粒子が接合できていない部分が観察されるもの

の、サーメット粒子のほぼ全体を母材が覆っており、良好な複合化がなされていることが分かった。一方、1.4~3.4mm, <1.4mmのサーメット粒子を用いた場合は、溶湯がサーメット粒子間を埋めつくしておらず、また、サーメット粒子内の焼結も全く進行せず、鋳型内に残留してしまつた。このように、サーメット粒子の粒度によって鋳ぐるみ性が異なつたが、これはサーメット粒子の粒度が大きいほど白鑄鉄溶湯とサーメット粒子が直接接触しやすく、またサーメット粒子間隙も大きくなることから、>3.4mmのサーメット粒子の場合、粒子間に溶湯が容易に流動侵入し、サーメット粒子全体と溶湯が直接接触したために複合化が可能であつたと考えられる。一方、それ以下の粒度のサーメット粒子を用いた場合は、サーメット粒子が密に充填され、溶湯の進入間隔が小さくなり、溶湯の進入経路も増加したことに加え、元来サーメットと白鑄鉄溶湯との濡れ性が悪いため、白鑄鉄溶湯とサーメット粒子が直接接触することが少なくなり、サーメット粒子間隙に溶湯が流動侵入することができなかつたものと考えられる。また溶湯進入経路の増加とサーメット粒子との接触面積が増加するため白鑄鉄溶湯の冷却速度がかなり大きく、サーメット粒子が複合化するための十分な熱量、すなわち反応に必要な熱量が白鑄鉄溶湯からサーメット粒子に伝わらなかつたために、ほとんどの粒子が複合化せず鋳型内にそのまま残留したものと考えられる。

3.2 鋳ぐるみに及ぼす容積比率の影響

本研究では、鋳型内に充填したサーメット粒子の量を10g一定とした。その理由は、サーメット粒子の粒径が大きく異なることから、体積を一定にすると、細かいサーメット粒子の場合には粒子が多量に必要なこと、また>3.4mmの粗大な粒子の場合、体積を一定にすることが困難となるためである。しかし、鋳ぐるみにおける被鋳ぐるみ材と母材溶湯との容積比率の影響についてはこれまでも種々検討されており、その比率により鋳ぐるみ特性も異なるとの報告もある⁽⁵⁾。そこで、こ

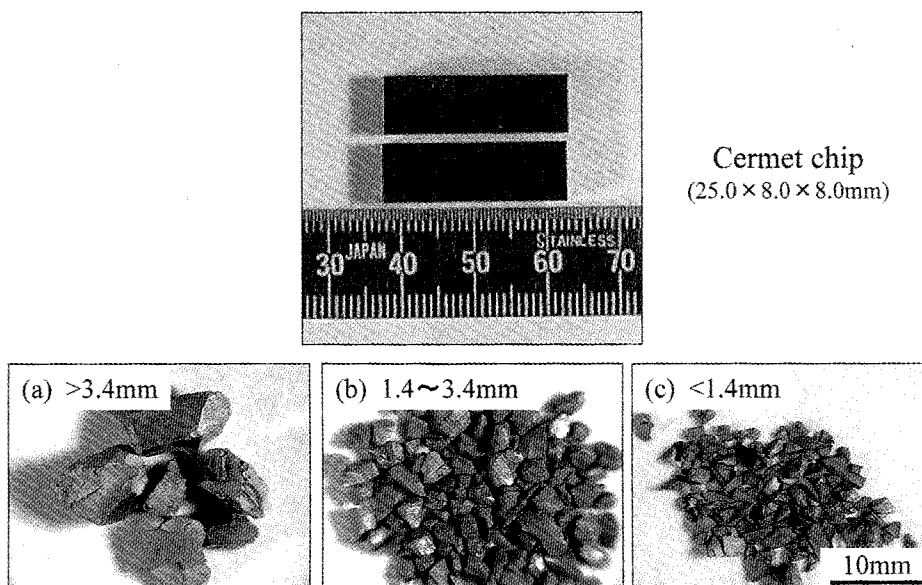


Figure 1 View of cermet chips and three grades of the crushed powder.

では被鑄ぐるみ材として $<1.4\text{mm}$ のサーメット粒子のみ 10g 一定として鑄型内底部に充填し、鑄型の内径及び高さを Figure 2 に示すように変化させた。その結果の一例を Figure 4 に示す。Figure 4 は下側鑄型の底部高さ 20mm として直径を 45mm と 40mm とした例を示す。ここで試験片の径が大きくなると容積比率 {Capacity Rate: $\text{CR} = (\text{粉末体積} / \text{溶湯体積}) \times 100\%$ } が大きくなり、CR値は鑄型径が $\phi 25 \sim \phi 45$ で約 $13.3 \sim 2.5\%$ と変化する。CR値が大きい $\phi 25$ ($\text{CR} = 13.3\%$)の例は Figure 3 (c) に見られるように、ほとんど複合化できないことが分かっている。そして、Figure 4 の $\phi 40$ ($\text{CR} = 4.4\%$)の場合、底面から観察すると接合していないサーメット粒子も部分的にみられる。しかし、 $\phi 45$ ($\text{CR} = 2.5\%$)の場合ではほぼサーメット粒子全体を白鑄鉄溶湯が覆っており、鑄ぐるみ複合化できることが分かった。以上のことより被鑄ぐるみ材として

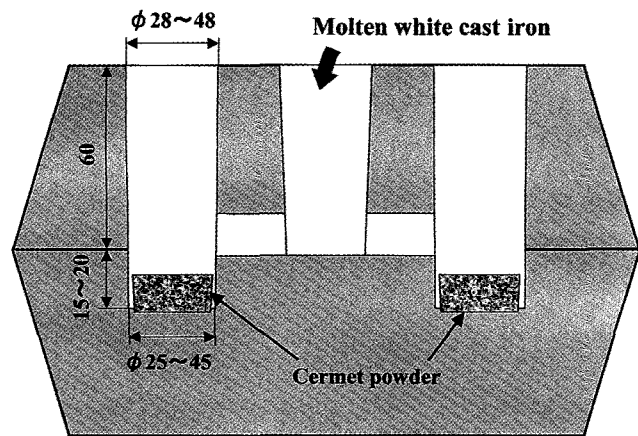


Figure 2 Casting mold and arrangement of cermet powder.

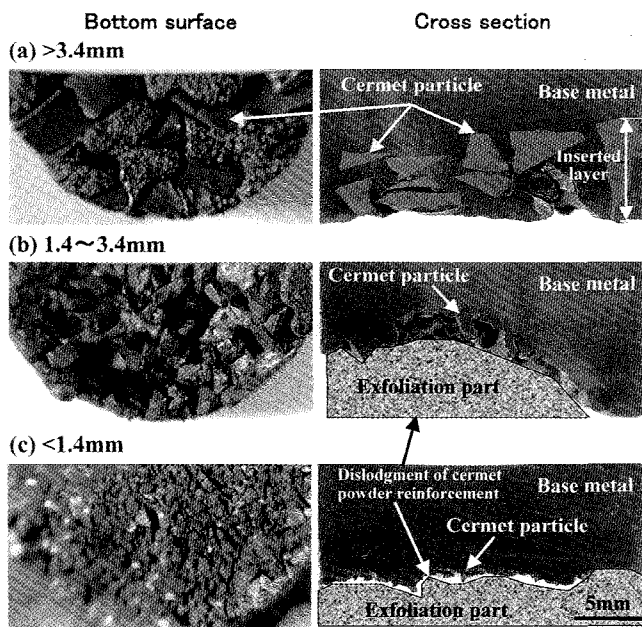


Figure 3 Effect of cermet powder size on morphology of inserted layer.

添加するサーメット粒子径のみでなく、鑄ぐるみの際の容積比率も鑄ぐるみ複合化に影響を与える大きな要素であることが本実験でも確認できた。

3.3 金属粉末同時添加の効果

次に本実験に先だてに行ったモデル実験⁽¹⁾で鑄ぐるみ性が良いと判断されたNi粉末及びCr粉末をバインダーとして複合添加した場合について検討した。Figure 5 は、 $<1.4\text{mm}$ の粒度のサーメット粒子にNi及びCr粉末をそれぞれ $50\text{vol.}\%$ 添加した粉末材を鑄ぐるんだ試験片の底部と鑄ぐるみ部近傍の断面マクロ組織である。Ni粉末を同時添加した場合、母材と鑄ぐるみ層とは良く接合して、かつ鑄ぐるみ層内も被鑄ぐるみ材の複合化が促進しており、明らかにサーメットの場合に比較して複合化は進んでいることがわかる。しかし、鑄ぐるみ層内はポラスで多くの間隙が散見され、鑄ぐるみ層と母材との接合部にも間隙が多く観察された。一方、Cr粉末を同時添加

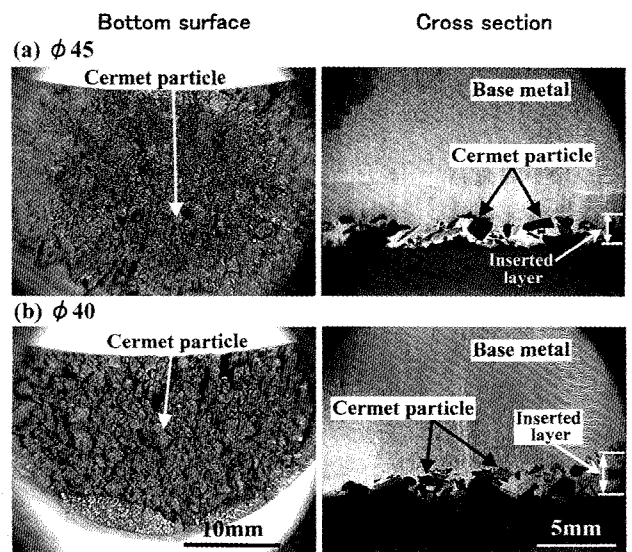


Figure 4 Effect of mold diameter on morphology of inserted layer in the case of cermet powder size $<1.4\text{mm}$ and cermet powder mass 10g .

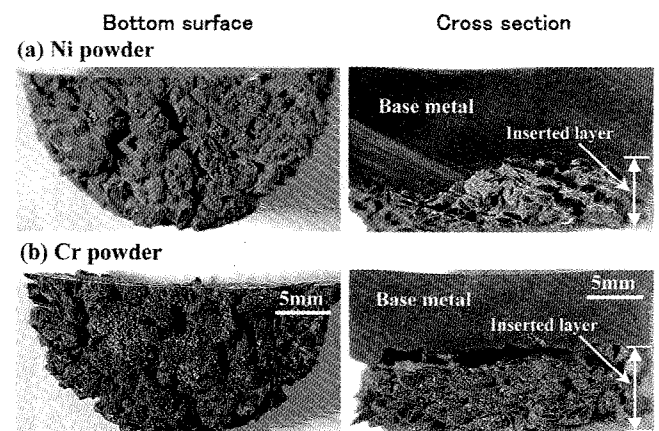


Figure 5 Effect of additional element on morphology of inserted layer.

した場合も、サーメット粒子単独で铸ぐるんだ場合に比較して複合化は進んでいる。しかし、铸ぐるみ部と母材とが剥離しており、Ni 粉末添加の場合に比較すると、ほとんど複合化が進まないことが分かった。この理由は、本研究の場合、母材溶湯と被铸ぐるみ材が接触した際に溶湯側から十分な熱量の供給がなされなかったために、接触界面および铸ぐるみ層内部での拡散反応時間が短く、拡散反応が十分に行われなかったものと考えられる。つまり、モデル実験の場合⁽¹⁾、白铸铁溶湯を室温から3.6ksで1673Kまで昇温、その後炉冷で室温まで冷却している。したがって、この場合は母材と被铸ぐるみ材との界面及び铸ぐるみ層内部で十分に拡散反応が終了するのに必要な熱量が電気炉内で供給されることになる。したがって、Ni 粉末やCr 粉末をバインダーとして添加すると健全な铸ぐるみ層が得られたものと考えられた。そこで、溶湯からの供給熱量を増加させるために铸型への白铸铁溶湯の注湯温度を1773K、1823Kと上昇させ、同じ粉末材を铸ぐるみ、複合化実験を行って注湯温度の効果について調べた。しかし、铸ぐるみ部および断面ともにFigure 5に示した結果とほとんど違いはなかった。これは本研究の実験範囲内では、容積比率（CR 値）が大きかったために注湯温度を高くしても十分な熱量を铸ぐるみ層に供給することはできなかったと考えられる。

4. 考察

4.1 铸型への粉末添加方法

サーメット粒子を白铸铁溶湯で铸ぐるみ、複合化するためには、溶湯とサーメット粒子が十分に接触し、サーメット粒子間隙を溶湯が流動侵入しやすくする必要がある。そのためには白铸铁溶湯とサーメット粒子の濡れ性を向上させ、サーメット粒子径や容積比率を最適な条件に設定することが必要であることが確認できた。そこで白铸铁溶湯と被铸ぐるみ材を铸型内で十分に接触させることができるように、Figure 6に示すようにステンレス鋼（SUS304）製の網を用いて被铸ぐるみ材を铸型内底部で空中に保持した状態で铸ぐるみを行った。なお、ここで用いたサーメット粒子は<1.4mmの粉末であるが、このような方法で铸ぐるみ複合化を行うと、被铸ぐるみ材は铸型内でそのまま保持され、被铸ぐるみ材全体を白铸铁溶湯で覆うことが可能となることが分かった。その際に得られた铸ぐるみ試験片

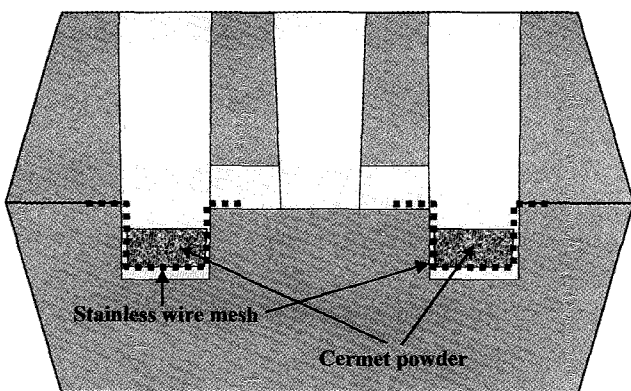


Figure 6 Method for suspending cermet powder in the mold.

の断面組織をFigure 7に示す。しかし、このような方法で铸ぐるみを行ってもサーメット単独の場合は、サーメット粒子層（铸ぐるみ層）内部までは十分に複合化が進まず、铸ぐるみ層には未複合化部分の隙間が多く観察された。すなわちサーメット粒子全体を溶湯で覆っても、サーメット铸ぐるみ層内部まで複合化を促進するほどの十分な熱容量が、白铸铁溶湯側からサーメット粒子へ供給されなかったものと考えられる。この結果は、铸ぐるみモデル実験においてサーメット粒子のみを白铸铁溶湯で複合化してもサーメットは全く铸ぐるむことができなかった結果と一致している。そこで、<1.4mmのサーメット粒子にNiおよびCr粉末を50vol.%添加した粉末材を、上述の方法と同様の条件で铸ぐるみ複合化を行った。その際に得られた铸ぐるみ試験片の铸ぐるみ層近傍の光学顕微鏡組織をFigure 8に示した。その結果によれば、この場合も铸ぐるみモデル実験の結果と同じで、铸ぐるみ層内部に全く隙間は観察されず、サーメット粒子は完全に铸ぐるみ複合化されることが分かった。これは次の理由によるものである。すなわち、サーメット粒子はTiCNなどの硬質粒子をNi粉末と混合したのち焼結して製造されたもので、TiCN粒子同士がNi相で結合（Ni結合相）された構造を有している。そのために、サーメット粒子粉末にNiやCr粉末を同時添加したことにより、白铸铁溶湯と被铸ぐるみ材の濡れ性が向上し、Ni粉末添加の場合は、サーメット中のNi結合相の量が増加するため、結合相中に多くのTiCNや（Ti, Mo）CN粒子が溶解し铸ぐるみが促進したのと考えられる。またCr粉末添加の場合は、Crと白铸铁溶湯及びサーメット中のNiや（Ti, Mo）CN粒子などの合金化が進み被铸ぐるみ材の複合化が促進した⁽¹⁾ことに加え、ステンレス鋼製網を用いて铸型内に被铸ぐるみ材を保持し十分に被铸ぐるみ材全体を白铸铁溶湯で覆うことができたことで、铸ぐるみ層内の複合化を促進するために十分な熱量が供給されたと考えられる。

4.2 サーメット粉末圧縮成形の効果

これまでに、超硬合金チップ自体を铸铁溶湯で铸ぐるむことは容易であることは著者らによって確められている。したがって

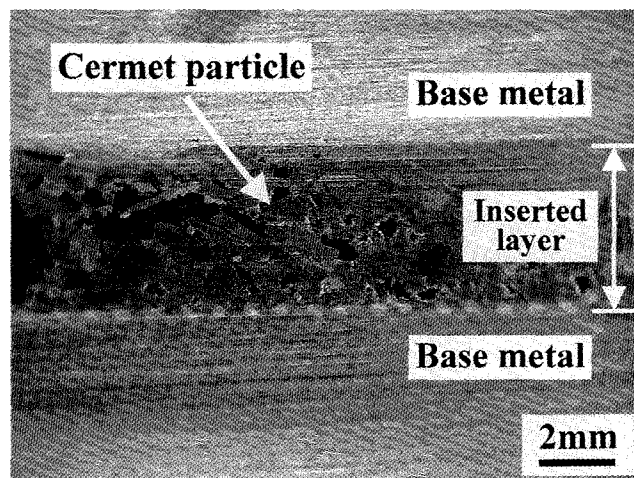


Figure 7 Microstructure of inserted layer with cermet powder size of <1.4mm, which was obtained by using the method of Fig. 6.

て、サーメットチップ自体を鑄型中で保持するためには、超硬合金チップの鑄ぐるみ技術を応用すれば、鑄造現場でも応用は可能と考えられる。しかし、鑄造現場でサーメット粉碎粉末を鑄ぐるむことによって複合材料を得る際、粉末を鑄型内に中空で保持するのは極めて困難な作業である。そこで鑄型内底部に配置しただけでサーメット粒子を含む被鑄ぐるみ材を鑄ぐるむ際の鑄ぐるみ性を向上させるためには、①Ni や Cr 粉末に比較して濡れ性が良く低融点の粉末成分を同時添加する。②または母材溶湯との濡れ性が良く、少ない熱量で十分に焼結できる成分粉末を同時添加する。③Ni や Cr 粉末を含む被鑄ぐるみ材の鑄ぐるみ層中の焼結を促進させるなどの方法が考えられる。①②の内容についてはさらに適正な粉末成分を見つけるために今後検討することとし、ここでは被鑄ぐるみ材粉末を金型中で圧粉成形し、被鑄ぐるみ材の焼結性を高める方法について検討した。

粉末冶金法で粉末の焼結を促進させる場合、粉末はプレス機を用い金型等で、100~300 MPa の圧力で圧縮成型した後、焼結する⁶⁾。すなわち添加する粉末同士の間隔距離は短いほど焼結は進行する。そこで、<1.4mm のサーメット粒子に50

vol.%Ni 粉末を添加した被鑄ぐるみ材粉末20g を $\phi 25 \times 30$ の超硬合金製金型に投入しプレス機で100 MPa の圧力で成形し、 $\phi 25 \times 5$ mm の圧粉体を作製した。これを鑄型内に充てんし、1773 K の温度で白鑄鉄溶湯を注湯した。その結果を Figure 9 に示す。これより被鑄ぐるみ材を鑄型内底部に配置しただけでも、被鑄ぐるみ材はほぼ完全に鑄ぐるまれ、鑄ぐるみ層の形成には溶湯からの熱が十分に内部まで伝えられるために、液相焼結の原理を利用することで完全な鑄ぐるみ層が得られることが分かった。

5. まとめ

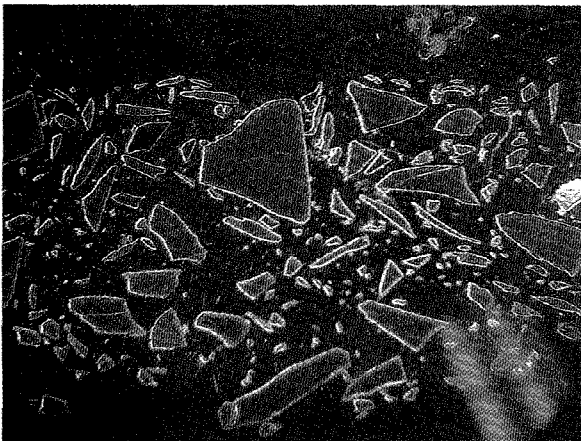
サーメット粒子を単独粉または他の金属粉末との混合粉とし、これらを被鑄ぐるみ材として、27%Cr 白鑄鉄溶湯で鑄ぐるみを行った結果、以下の結論が得られた。

1. 粒径が3.4mm 以上のサーメット粒子を用いた場合は、サーメット粉末単独でも組織的に良好な鑄ぐるみ層が得られる。
2. 粒径が3.4mm 以下のサーメット粒子は、空中に保持して鑄型と接触させずに充填保持すると、溶湯が粒子の周囲に流れ込み、白鑄鉄母材と接合し易くなる。さらに、Ni や Cr 粉末を添加するとほぼ完全な接合体が得られる。
3. サーメット粉末に50vol.%Ni 粉末を添加した混合粉末をあらかじめ加圧成型して圧粉体を作り、これを鑄ぐるむと、鑄型内底部にそのまま充填しただけでも良好な鑄ぐるみ複合化組織が得られる。

参考文献

- 1) 池 浩之, 麻生節夫, 後藤正治, 勝負澤善行, 小西信夫: サーメット粉末鑄ぐるみによる27mass%Cr 白鑄鉄の表面硬化, 鑄造工学, 投稿中。
- 2) 麻生節夫, 後藤正治, 池 浩之, 勝負澤善行, 小西英二, 小西信夫: 27%クロム白鑄鉄による超硬合金の鑄ぐるみと組織評価, 鑄造工学, 70 (1998) 878~883。
- 3) 鈴木 寿, 林 宏爾, 山本 勉: TiC-Mo₂C-TiN-Co 合金の強度, 日本金属学会誌, 41 (1977) 432~437。
- 4) 鈴木 寿, 松原秀彰, 林 宏爾: 窒素を含む TiC-Ni 合金

(a) Cermet powder <1.4mm and Ni powder



(b) Cermet powder <1.4mm and Cr powder

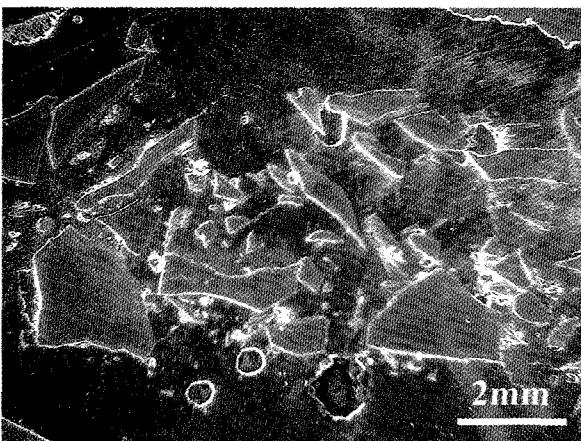


Figure 8 Microstructure of inserted layer with (a) mixture of cermet powder and Ni powder, and (b) mixture of cermet powder and Cr powder, which were obtained by using the method of Fig. 6.

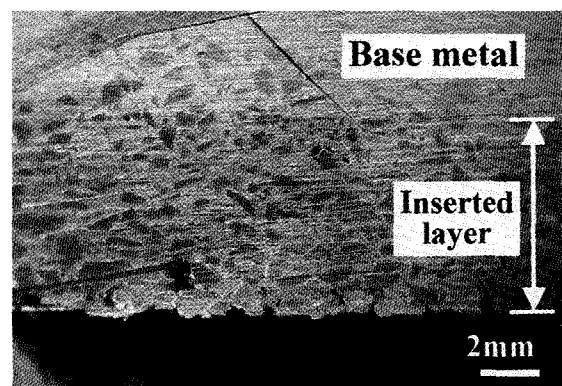


Figure 9 Microstructure of inserted layer with mixture of cermet powder and 50 vol.% Ni powder, which was compressed to 100 MPa before inserting.

-
- の高温酸化, 日本金属学会誌, 46 (1982) 651~656.
- 5) 堀川紀孝, 伊藤高志, 王立松, 野口徹, 鴨田秀一: 鉄による WC-Co 系超硬合金の端面接合とその熱的条件, 5) 鈴木 寿編著: 超硬合金と焼結硬質材料基礎と応用, 鉄による WC-Co 系超硬合金の端面接合とその熱的条件, (1986) 19.
- 6) 鈴木 寿編著: 超硬合金と焼結硬質材料基礎と応用, 鉄による WC-Co 系超硬合金の端面接合とその熱的条件, (1986) 19.