

レーザー肉盛り用バルブシート合金の開発

田中浩司, 斎藤 卓, 志村好男, 森 和彦, 河崎 稔

Development of Laser Clad Valve Seat Alloys

Kouji Tanaka, Takashi Saito, Yoshio Shimura, Kazuhiko Mori, Minoru Kawasaki

要 旨

レーザークラッド法により、アルミニウム合金製シリンダヘッドに直接肉盛り可能な、高性能バルブシート合金を開発した。開発合金の特徴は、重力の作用により、これまで実用上の利用が困難と考えられてきた二液相分離型合金を、レーザークラッド法の特殊性を活かした組織制御手法により、硬質粒子を分散させた耐摩耗合金として利用した点にある。

新開発のレーザークラッド法においては、レーザービームの高速オッシレートにより、溶融プールが強撹拌されるため、二液相に分離した合金の一方の液相を、比較的粗大な球状粒子として均一分散させることができる。この球状粒子の中に、耐摩耗性と潤滑作用を持つ硬質相を晶出させて硬質粒子を形成すれば、レーザー

クラッド処理後のきわめて急速な凝固過程によって、硬質粒子分散組織を凍結することが可能になる。

開発合金は、上記の考え方に基づいた全く新しいタイプの偏晶反応型銅基合金であり、その組織は、耐熱銅合金系マトリクスと、ホウ化物あるいはケイ化物(ラーベス相)主体の硬質粒子により構成されている。

高温摩耗特性を評価した結果、開発合金は現用の鉄系焼結バルブシート合金よりも優れた耐摩耗性を有しており、特に高温での凝着摩耗特性に優れていることが確認された。

本稿では、開発合金における組織制御の考え方、ならびに高温摩耗特性におよぼす組織の役割について述べる。

Abstract

New type copper-based alloys for valve seats of automotive engines have been developed, which are directly deposited onto an aluminium-alloyed cylinder head by a laser cladding technique.

These alloys have unique microstructures resulted from rapid solidification of immiscible two liquid phases, in which coarse grains containing fine hard particles of borides and/or silicides (from liquid B) are homogeneously dispersed in the heat-resistant copper-based solid solution (from liquid A).

The controlled irradiation of a high-frequency oscillated

CO₂ laser beam results in melting of only the material powder for cladding on the aluminium-alloyed substrate and stirring of the molten pool to form a homogeneous dispersion of liquid B in liquid A, followed by rapid solidification to freeze the dispersion by heat conductivity of the aluminium-alloyed substrate.

The deposited alloys provide considerable abrasive- and adhesive-wear resistances in a wide temperature range owing to the unique microstructures consisting of hard particles, heat-resistant matrices and/or lubricating phases.

キーワード

レーザー・クラディング, 表面改質, アルミ合金母材, 銅合金, 二液相分離, 硬質粒子, 耐摩耗合金

1. はじめに

自動車用エンジンにおいては、空気と燃料との混合比（空燃比）を改善し、より完全燃焼に近づけることによって、低燃費化と低公害化を両立することができる。しかし、燃焼効率の向上は必然的に排気ガス温度の上昇をもたらすので、排気系部品の耐熱性や動弁系周辺の冷却能を向上させることが不可欠である。このため近年、エキゾーストマニホールド、排ガス浄化用触媒担体、フレキシブルパイプなどの高耐熱化が進められている¹⁻⁴⁾。また、エンジンバルブについても、中空化+金属ナトリウム封入により冷却能を向上させる方法や、高耐熱化と軽量化の両立を可能にするセラミックス製またはTi-Al系金属間化合物製バルブの実用化が検討されている⁵⁻⁶⁾。

一方、バルブシートについては、シートリングを打ち込む従来の方式に替えて、バルブシート合金をシリンダヘッドへ直接肉盛りすれば、熱伝導性が大幅に改善され、冷却能を向上させることができる。しかし、アルミ合金製のシリンダヘッドに適用できる、信頼性の高い肉盛り技術がこれまで確立されていなかったため、その実用化は困難とされてきた。

そこでトヨタ自動車では、炭酸ガスレーザによるレーザークラッド法について検討を重ね、これをアルミ合金部品への肉盛り技術として確立した⁷⁻⁹⁾。

また、著者らはこれを受けて、レーザ肉盛り用バルブシート合金の開発に取り組み、レーザークラッド法に特有な現象（溶融プールの強撹拌とそれに続く急冷凝固）と、銅合金特有の二液相分離反応とを組み合わせ、全く新しい組織制御法を確立し、高性能合金の開発に成功した。本稿では、その組織制御の考え方を紹介するとともに、開発した合金の組織構成、摩耗特性などについて報告する。

2. レーザ肉盛り技術

Fig. 1は、従来の打ち込み式バルブシートと、直接肉盛り式バルブシートの断面を示す模式図である。直接肉盛り式バルブシートでは、熱伝導性の改良に加えて、冷却水ジャケットとの距離を短くしたり、ポート径を拡大するなど、出力アップに有効な設計変更が可能になる。また、打ち込み式ではシートリングの製造コストを別に考慮する必要があるため、コスト面で

も、直接肉盛り式バルブシートは有利である。

Fig. 2に、レーザークラッド法を用いたバルブシート合金の肉盛り技術⁷⁾を模式的に示す。熱源となる炭酸ガスレーザビームは、エネルギー密度が高く、また、照射条件（照射領域や照射時間など）の制御が容易であるなどの特徴を有している。新開発のレーザークラッド法では、このようなレーザビームの特徴を利用するとともに、オシレーターによりビームを高周期振動させることにより、アルミ合金基材をほとんど溶融さ

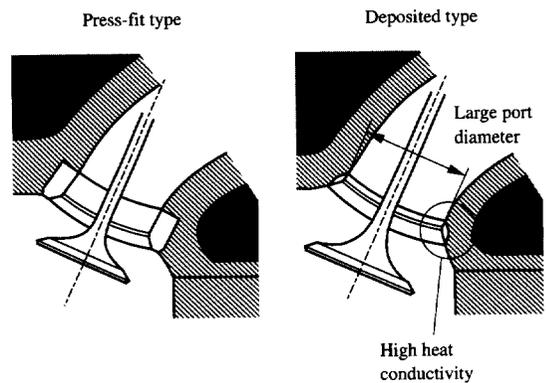


Fig. 1 Comparison of structural characteristics of valve system with press-fit type and deposited type.

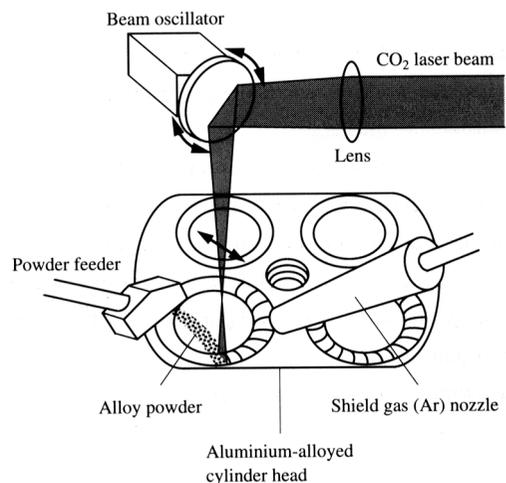


Fig. 2 Schematic illustration of laser cladding operation.

せることなく、肉盛り材のみを局所的かつ急速に加熱して溶着させることを可能にしている。

材料となる合金粉末は、ガスアトマイズ法などによって製造した球状粉末である。これをフィーダにて自動供給するとともに、シリンダヘッドを回転させながらレーザビームを照射してバルブシート合金を肉盛りする。レーザ肉盛り条件の詳細をTable 1に示す。

3. 基本合金系の選定

バルブシートは、エンジン内でバルブと繰り返し接触する部品として、耐磨耗性とバルブへの低攻撃性という相反する特性をバランスよく具備しなければならない。さらに、高温の燃焼ガスにさらされる排気用バルブシートでは、バルブへの凝着や焼付きが特に懸念されるため、潤滑効果を付与する必要がある。このような苛酷かつ多様な要求を満たすため、従来のバルブシートには、Fig. 3に示すように、Fe-Mo系の硬質粒

子やPbなどの潤滑成分を分散させた鉄系焼結合金が用いられている⁷⁾。

レーザ肉盛り用シート合金は、まず第一に、基材であるアルミ合金と過度に反応することなく、安定してビード状に肉盛りできることが前提となる。そこで基本合金系を選定するにあたり、溶射などの表面硬化手法に用いられる代表的な耐磨耗性ろう合金（鉄系、ニッケル系、銅系、コバルト系）を取りあげ、アルミ合金への肉盛り性を調査した。

Fig. 4は、ニッケル系ならびに銅系のろう合金粉末を、シリンダヘッド用のアルミ鑄造合金基材上にレーザ肉盛りしたときの断面組織の一例である。ニッケル系をはじめ、鉄系、コバルト系のろう合金は、(a)のように基材と合金化しやすく、レーザ肉盛りは困難であった。これに対し、(b)に示す銅系ろう合金では肉盛り性が比較的安定しており、ポイドや割れなどの欠陥も少ない健全な肉盛り層が得られることが分かった。この結果、以後は銅合金に限定して、シート合金

Table 1 Condition of laser cladding operation.

Laser power (kW)	3.5
Beam diameter (mm)	2
Oscillated width (mm)	7
Traverse speed (mm/s)	10

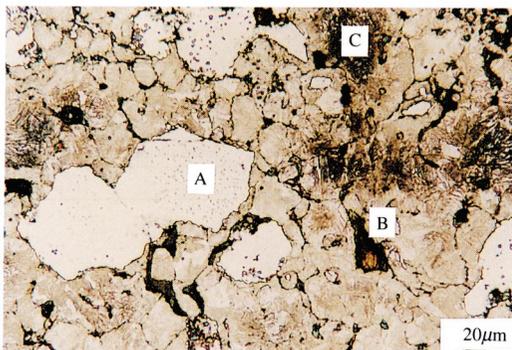


Fig. 3 A microstructure of the conventional press-fit type sintered valve seat alloy.

- A : hard particle (Fe-Mo compounds).
- B : infiltrated lead.
- C : bainitic matrix.

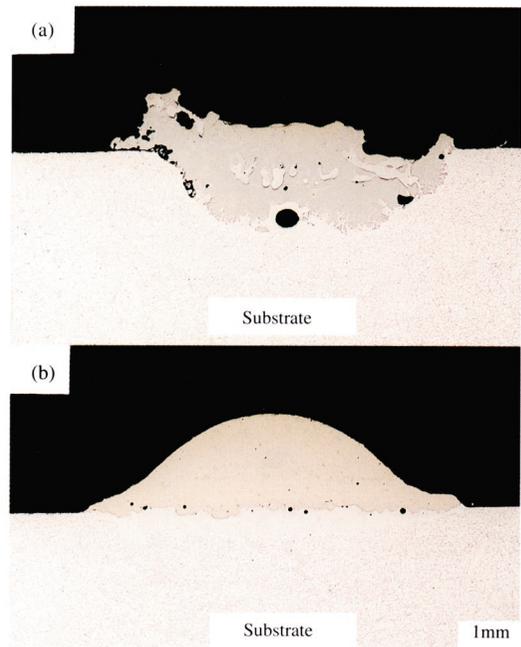


Fig. 4 Cross sectional views of laser clad beads deposited onto aluminum-alloyed substrate.
(a) nickel-based brazing alloy.
(b) copper-based brazing alloy.

の開発を進めた。

耐熱あるいは耐摩耗銅合金としては、ベリリウム銅、クロム銅、カドミ銅、アルミナ分散銅、コルソン合金などが知られているが、なかでもレーザ肉盛りに適したものととして、コルソン合金 (Cu-Ni-Si) 系を選定した。その理由としては、粉末の製造が容易であること、レーザビーム照射時にプラズマ化しやすい蒸気圧の高い成分を含まないこと、合金元素であるSiが肉盛り時にフラックス作用を持つこと、などがあげられる。

以上のように、まずシート合金の基本成分をCu-Ni-Siとし、次にそれぞれの要求特性に応じた硬質粒子や潤滑成分を、次節に述べる組織制御手法によって晶出・分散させるため、合金元素の選定ならびに組成の検討を行った。

4. 合金設計

4.1 二液相分離反応を利用した硬質粒子の分散

前述したように、シート合金には、耐熱性マトリクス中に硬質粒子や潤滑成分を分散させた複合組織が必要とされる。しかし、レーザ肉盛りは極めて急熱・急冷過程であり、ある程度の大きさの硬質粒子を得るためには、溶融状態においてすでに、これらの粒子を分散させておく必要がある。このためには、各種の硬質粉末をあらかじめベース合金粉末に混合しておく方法^{10,11)}が考えられるが、粒度分布や粒子形状、比重の異なる粉末をフィーダーにて自動供給しながら、均一に混合、分散させた状態で肉盛りすることは容易でない。

そこで著者らは、単一の合金粉末を用いることを前提に、レーザ肉盛りにおけるごく短時間の溶融過程において、比較的粗大な硬質粒子を均一分散させる組織制御法を種々検討した。その結果、銅合金特有の二液相分離を利用する方法に到達した。

Fig. 5は、この考え方を模式的に示したものである。偏晶系状態図を持つ合金では、互いに混じり合わない二つの液相が平衡する領域が存在する。分離した二液相はそれぞれの比重差により上下に分かれ、これを徐冷すると比重の大きい相が下部に偏った凝固組織になる。しかし、新開発のレーザクラッド法では、レーザビームのオシレーションと対流との相乗効果により、溶融プールが強い攪拌を受けながら急冷される。このことは、ちょうど水と油とを混合して強攪拌したとき

のように、分離した二液相の一方が球状になって均一分散した状態を、急冷によって凍結させ得る事を意味する。したがって、球状になる液相から硬質相を晶出させて硬質粒子とすれば、マトリクス + 硬質粒子の複合組織が形成できることになる。

4.2 二液相分離を起こす合金系の検討

二液相分離を起こす合金の状態図は、Fig. 5に示したような偏晶 (monotectic) 反応、あるいは合成 (syntectic) 反応のいずれかを基本としている。銅との二元系合金において、二液相分離を起こす合金元素としてはV, Mo, Pb, Tlなどが知られており、いずれの場合も、偏晶系状態図を構成する。しかし、これらの合金では、二液相分離温度域が極端に高温であったり (V, Mo)、蒸気圧の高い成分を含んでいる (Pb, Tl) ため、前にも述べたように、粉末製造上あるいはレーザ肉盛り上好ましくない。

そこで我々は、Cu-Fe系、ならびにCu-Co系合金に着目した。これらの二元系状態図をFig. 6に示すが、いずれも包晶系であって偏晶系ではない。ただし、広い組成範囲にわたって液相線が水平に近いという、共通の特徴を有している。Hasebe¹²⁾らは、Cu-FeおよびCu-Co二元系状態図に関する研究において、各元素の

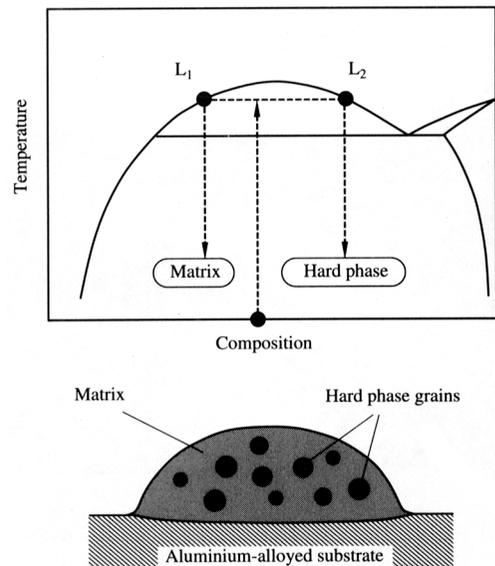


Fig. 5 Schematic representation of the formation of hard phase grains in the developed alloy.

融点、液相ならびに固相中での相互作用パラメータなどの熱力学的データを解析した結果、これらの特異な包晶系と、偏晶+包晶系とは熱力学的にきわめて近い状態図であることを指摘している。さらに、Nakagawa¹³⁾は、過冷却したCu-50at%Fe, Cu-50at%Co合金で実際に二液相分離が起こることから、液相線直下に二相分離曲線が存在することを実証している。Hasebeらによると、これらの包晶系状態図は、構成元素間の液相における相互作用パラメータがわずかでも増加した場合に、準安定であった二相分離曲線が液相線を越え、偏晶+包晶系状態図に変化する。このことから、Cu-FeおよびCu-Co二元系において、液相中でのFeあるいはCoの活量を増加させるような第三元素を添加することにより、偏晶反応すなわち二液相分離を促進させ得ると考えられる。しかも、このときの偏晶反応は、もとの包晶系状態図で液相線に近い温度、すなわち1600~1700K付近と予想され、二液相分離はレーザ肉盛りによる急冷凍結が十分可能な温度域で起こると期待される。

4.3 合金元素の検討

銅合金中でFeおよびCoの活量を増加させる元素として、まず第一に、CuよりもFeあるいはCoと結合し

やすい元素、換言すればFe, Coと化合物を形成しやすい元素があげられる。また、前項で述べたように、その化合物は球状に分離した一方の液相中に晶出して、硬質粒子としての機能を付与するものが望ましい。しかし一方で、高融点の化合物は合金粉末のアトマイズを困難にし、また、特性面でも相手攻撃性を大きくするなどの欠点を持つことが予想される。すなわち、合金元素の選定にあたっては、二液相分離の促進に加えて、レーザ肉盛りに必要な特性（アルミ合金への肉盛り性、粉末製造性、耐ビード割れ性など）を損なうことなく、パルプシートとしての特性（耐摩耗性、低相手攻撃性、耐熱性、耐酸化性など）を最大限に向上させるための硬質相の形成について考慮する必要がある。

そこで、これら合金元素の影響を検討する手段として、レーザ肉盛りにともなう急凝固組織を再現する実験を行った。これは、アルゴン雰囲気の中つぼ中で溶解した合金溶湯を石英管中に吸引し、直ちに銅板上に滴下してボタン状の急凝固試料を作成するものである。試料の冷却速度はレーザ肉盛り時のそれよりやや小さいと考えられるが、組織構成は本質的に一致する。

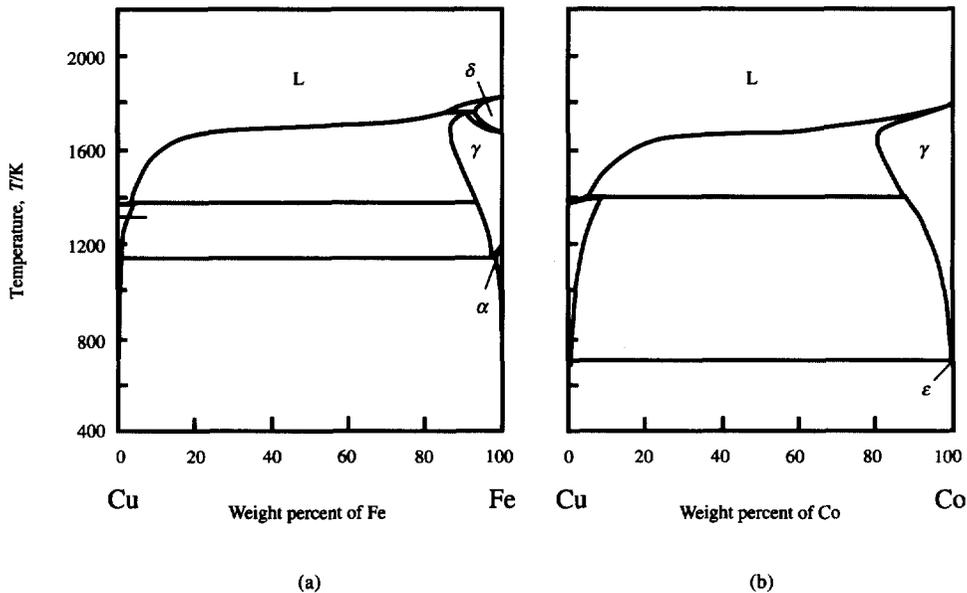


Fig. 6 Equilibrium phase diagrams of (a) Cu-Fe and (b) Cu-Co systems.

Fig. 7(a)~(c)は、基本成分系のCu-20Ni-3Si合金と、これにFe, Coをそれぞれ単独で10%添加した合金を、1673Kから急凝固した組織である。これから分かるように、Cu-20Ni-3Si合金の組織は、Cu-Ni-Si固溶体とニッケルケイ化物からなる均一なデンドライト状組織であり、FeやCoを単独添加した合金も同様な組織を保っている。このことから、基本成分系に含まれるNiおよびSiは、Cu-Fe系、Cu-Co系において、二液相分離を促進する元素ではないことが分かる。これはNi, Siが、FeやCoと直接には安定化合物を形成しないことから、ある程度予想できる結果である。

これに対して、Fig. 7(d), (e)は、鉄ホウ化物ならびにCo-Mo系ケイ化物を形成させることをねらいに、基本合金系に対して、10%Fe+2%B, 10%Co+5%Moをそれぞれ複合添加した合金の急凝固組織である。これから明らかなように、その組織はいずれも二液相分離を起こし、粗大な球状粒子が分散した状態が急冷により凍結されている。鉄ホウ化物は、特に耐摩耗性向上が期待できる高硬度の硬質相であり、一方、自己潤滑性¹⁴⁾を持つことが知られているCo-Mo系ケイ化物は、焼付きや凝着の抑制に有効な硬質相と考えられる。な

かでもLaves相に属する $\text{Co}_3\text{Mo}_2\text{Si}$ は、ピッカース硬さがHv1000~1200であり、相手攻撃性を比較的強く抑えることができるうえ、高温ではモリブデン酸化物の形成による潤滑作用¹⁵⁾も期待できる。

以上のように、Cu-Fe系、Cu-Co系の準安定な二相分離曲線を液相線以上に生じさせ、同時に上記の硬質相を形成させることを意図して、シート合金にはFig. 7(d), (e)に示した二種類の合金系を選定した。さらに合金組成の最適化にあたっては、耐熱性や耐酸化性などを含めた総合評価により、硬質相の種類や晶出量とマトリクス組織の最適化について検討を重ねた。

5. 開発合金の性質

5.1 組織の構成

Table 2およびFig. 8は、開発したシート合金の化学組成と急凝固組織である。吸気用シートには、耐摩耗性を重視して、鉄ホウ化物主体の硬質粒子を持つCu-Ni-Fe-Si-B5元素系の合金Aを、また、排気用シートには、耐摩耗性に加えて潤滑効果を考慮した結果、Co-Mo系ケイ化物主体の硬質粒子を持つCu-Ni-Co-Mo-Fe-Cr-Siの7元素系の合金Bを採用した。いずれも、二液

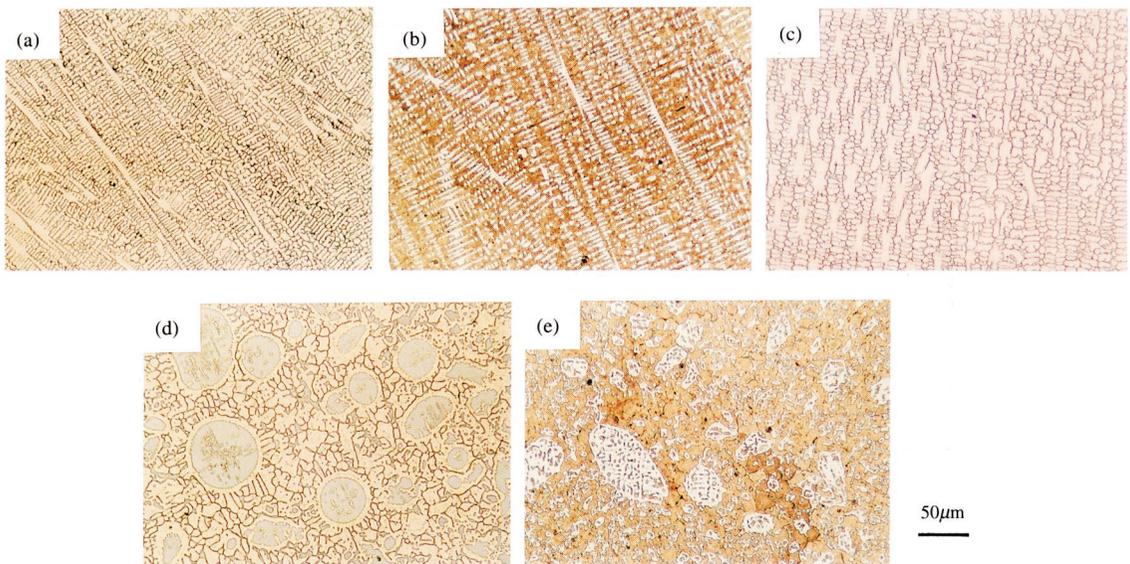


Fig. 7 Changes in microstructure of (a) Cu-20Ni-3Si alloy by additions of (b) 10%Fe, (c) 10%Co, (d) 10%Fe+2%B and (e) 10%Co+5%Mo.

相分離により球状硬質粒子が均一に分散した組織を持っている。Table 3に、X線回折およびEPMA分析により同定したそれぞれの構成相を、開発合金のベースとなった銅系ろう合金と比較して示す。

合金Aの硬質粒子は、FeB型およびFe₂B型の微細ホウ化物と、これを取り囲むニッケルケイ化物によって構成されており、ホウ化物のFe原子は一部Niに置換している。鉄ホウ化物の量は、FeB型よりもFe₂B型の方が圧倒的に多い。また、マトリクスは、デンドライト状のCu-Ni-Si固溶体と網目状のニッケルケイ化物からなり、基本的に銅系ろう合金のそれと類似している。

一方、合金Bの硬質粒子は、シダ葉状のCo₃Mo₂Si型Laves相と、これを取り囲むCo-Ni固溶体とから構成されており、Laves相のCo原子は一部Ni, Cu, およびFeに置換している。マトリクスはやはり、デンドライト状のCu-Ni-Si固溶体が主であるが、このなかにも細粒状のCo-Ni固溶体が単独で分散しており、合金Aのそれに対して耐熱性を向上させている。

Table 2 Chemical analysis of the developed alloys.

(mass %)							
Alloy	Ni	Co	Mo	Fe	Si	Cr	B
A (Intake)	19.6			7.8	2.7		1.3
B (Exhaust)	15.8	7.6	6.7	5.9	2.9	1.6	

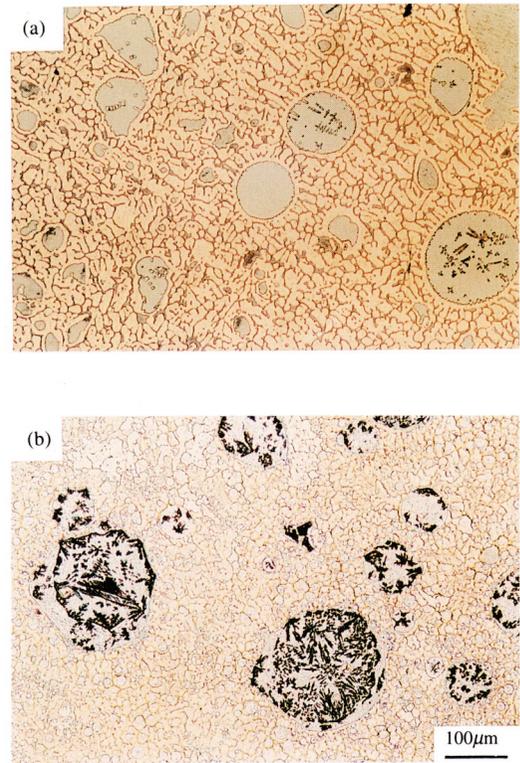


Fig. 8 Microstructures of the developed alloys.
 (a) alloy A (Cu-20Ni-8Fe-3Si-1.3B).
 (b) alloy B (Cu-16Ni-8Co-7Mo-6Fe-2Cr-3Si).

Table 3 Constituent phases of the developed alloys identified by X-ray diffraction and EPMA.

	Alloy A	Alloy B	Cu-based brazing alloy
Hard phase grain	(Fe, Ni) B (Fe, Ni) ₂ B (Ni, Fe) ₃ Si ₂	(Co, Ni, Fe) ₃ Mo ₂ Si Co-Ni-Fe-Si < S, S >	—————
Matrix	Cu-Ni < S, S > (Ni, Fe) ₃ Si ₂	Cu-Ni-Co-Fe < S, S > Co-Ni-Fe-Si < S, S > (Ni, Co, Fe) ₃ Si ₂	Cu-Ni < S, S > Ni ₃ Si ₂ NiB

< S, S > = Solid solution

5.2 摩耗特性

Fig. 9は、シート合金の高温すべり摩耗特性の評価に用いた、著者ら考案のスラスト・カラ式摩耗試験機の概略である。本装置は、高周波誘導加熱した円筒形の相手材端面を、回転させながら試験片に押し付ける方式であり、試験片端部に溶着した熱電対により当たり面温度を制御している。耐摩耗性は、摩耗痕の深さを粗さ計にて測定して評価する。試験条件の詳細をTable 4に示す。

Fig. 10は、開発合金のすべり摩耗特性を、当たり面温度に対して示したものである。従来のバルブシート材（鉄系焼結合金）、ならびに開発合金のベースとなった、銅系ろう合金を同様に肉盛りして評価した結果を比較して示した。これより、合金Aは比較的低温側での摩耗特性に優れ、銅系ろう合金に対して顕著に耐

摩耗性が向上していることが分かる。

一方、合金Bは低温側だけでなく、より高温側においても優れた耐摩耗性を維持し、銅系ろう合金はもとより従来のバルブシート材と比較しても、全温度範囲においてこれをしのぐ耐摩耗性を有している。

一般に、すべり摩耗における摩耗形態¹⁶⁾として、アブレシブ摩耗および凝着摩耗があるが、バルブシートでは、バルブへの凝着や焼付きに起因する摩耗が重要と考えられる。そこで著者らは、耐凝着性を簡便に評価することを目的とした、繰り返し叩き式凝着試験機を考案した。装置の概略をFig. 11に示す。本装置

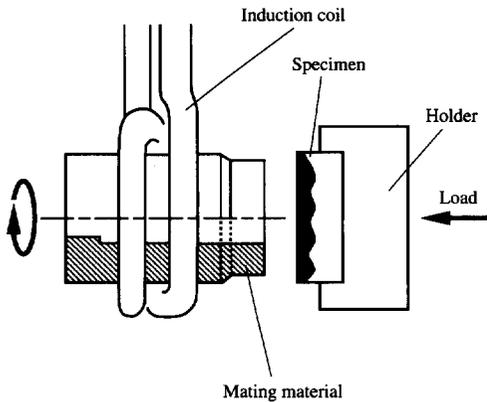


Fig. 9 Schematic representation of the thrust-collar type wear tester.

Table 4 Condition of the thrust-collar type wear test.

Load (MPa)	2.0
Sliding speed (m/s)	0.3
Time (ks)	1.2
Surface temperature (K)	323-523
Mating material	Stelite 32†

†Co-25Cr-11Ni-8W-2Fe-1Mo-1Si-1Mn-0.5C

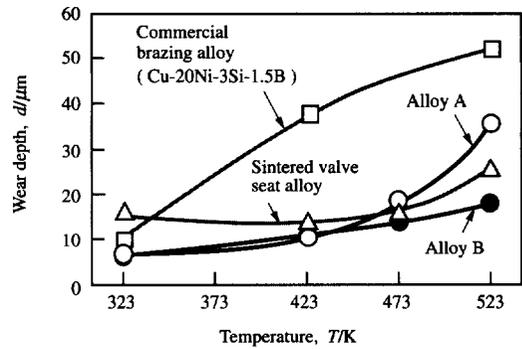


Fig. 10 Results of the thrust-collar type wear test.

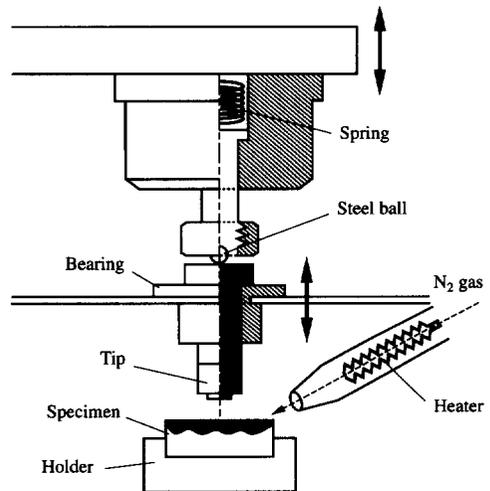


Fig. 11 Schematic representation of the hammering type adhesive wear tester.

は、バルブ/バルブシート間の動作を考慮して、試験片当たり面に高温不活性ガスを吹き付けて加熱しながら、円柱状相手材チップで繰り返し叩く方式としており、相手材が1rpm程度で自転するよう工夫してある。また、試験片端部に溶着した熱電対により、吹き付けガスを加熱するヒータを制御して、当たり面の温度制御を行っている。耐凝着性は、相手材に凝着したシート材の重量により評価する。試験条件の詳細をTable 5に示す。

Fig. 12は、開発合金の耐凝着性について評価した結果である。これより、低温側ではいずれにも凝着がほとんど認められないが、合金Aでは、423K以上で凝着量が顕著に増加することが分かる。これに対して、合金Bは、高温側での耐凝着性がはるかに優れている。この結果から、Fig. 10に示した両合金における摩耗特性の相違は、高温側で凝着摩耗がより支配的になることに起因すると考えられる。

Table 5 Condition of the hammering type adhesive wear test.

Maximum load (MPa)	9.8
Hammering frequency (Hz)	16.7
Time (ks)	3.6
Surface temperature (K)	323–523
Mating material	SUH35††

††Fe-21Cr-9Mn-4Ni-0.5C

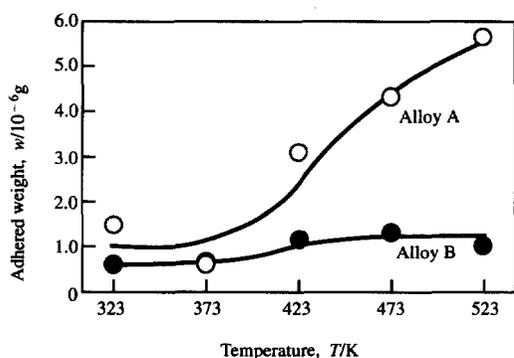


Fig. 12 Results of the hammering type adhesive wear test.

Fig. 13は、凝着試験後の合金Bの試験片当たり面をSEM観察したものであるが、ドーム状の堆積物が多数認められる。EPMA分析の結果、これらはMn, Cr, Feの複合酸化物であることが分かった。検出された元素は相手材 (SUH35) の合金元素に一致することから、以下のように、合金Bの優れた耐凝着性について考察することができる。すなわち、相手材の当たり面温度は、冷却条件の相違から試験片 (シート合金) 当たり面のそれよりも100~200K高く、これは実際のパルブでもほぼ同じ条件である。したがって、酸化に対しては相手材の方が苛酷な条件にさらされており、表面には上のようなMn, Cr, Feの複合酸化物が形成される。一方、合金Bの硬質粒子を構成するLaves相が酸化されると、モリブデン系の酸化物皮膜¹⁷⁾が形成される。モリブデン系酸化物は粘着性を持つため、相手材表面からはく離れた酸化物がこれに付着し、酸化物ドームが形成される。このドームは、相手材との金属接触を阻害するため、凝着の抑制に有効に作用するものと考え

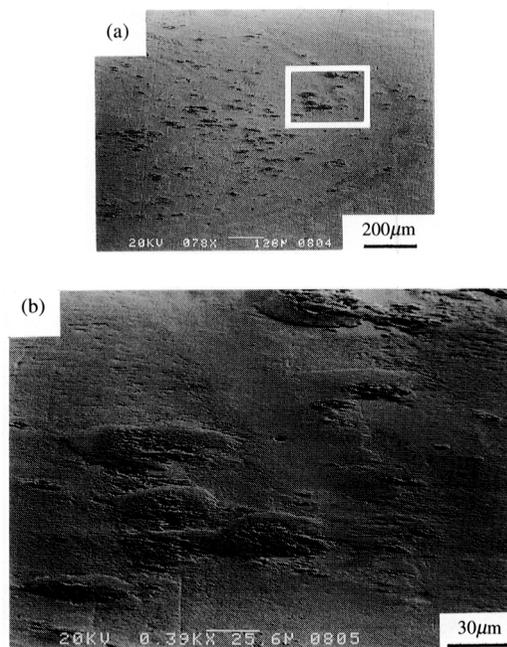


Fig. 13 SEM morphology of the repeated hammered surface of the alloy B.

Deposits on the surface are enlarged in (b).

えられる。

5.3 エンジン耐久性評価

Fig. 14は、開発合金のエンジン耐久試験結果であり、連続高速運転を行ったときのバルブフェースおよびバルブシートの摩耗量を示している。現用の鉄系焼結合金製バルブシートにおける最大許容値を基準として、開発合金製バルブシートはいずれも、優れた耐摩耗性を示している。また、バルブ側の摩耗量も許容値を大きく下回っており、開発合金の相手攻撃性が低く抑えられていることが分かる。

6.まとめ

レーザ肉盛り用バルブシート合金として、銅合金特有の二液相分離反応とレーザクラッド処理時の攪拌・急冷とを利用した新しい組織制御により、粗大な硬質粒子を均一分散させた耐摩耗合金を開発した。

シリンダヘッドにレーザ肉盛りしたバルブシートは、大幅な冷却性能の向上や、吸・排気効率の向上とともに、耐久性においても現用の鉄系焼結合金製バルブシートよりも優れていることが確認され、WRC (World Rally Championship) を始めとするモータースポーツ車はもとより、一部の量産車においても採用され始めている。

なお本研究を進めるにあたり、合金粉末試作において材料2部伊東一彦氏、ならびに摩耗特性評価において機械3部堀田滋氏、分析部水田均氏に多大なるご協力を頂いた。

参 考 文 献

- 1) 武智弘：鉄と鋼, 78(1992), 339
- 2) 本間正幸：自動車技術, 43(1989), 55
- 3) 石川秀雄：材料とプロセス, 4(1991), 1760
- 4) Pelters, S., Kaiser, F. W. and Maus, W. : SAE Tech. Pap. Ser., No. 890488, (1989), 15p.
- 5) 上垣外修己：セラミックス, 25(1990), 183
- 6) Drawling, W. E., Jr., Allison, J. E. and Sherman, A. M. : Proc. of 7th World Conf. on Titanium, in print, (1992), TMS
- 7) Kawasaki, M., Takase, K., Kato, S., Nakagawa, M. and Mori, K. : SAE Tech. Pap. Ser., No. 920571, (1991), 15p.
- 8) 河崎稔, 森和彦, 小山原嗣：自動車技術会学術講演会前刷集912, (1991), 2.101
- 9) Kato, S., Nakagawa, M., Mori, K., Nemoto, M., Takagi, S. and Sugimoto, H. : Proc. of 25th ISATA Silver Jubilee Int. Symp. on Automotive Technol. and Automation, (1992), 283
- 10) 廣瀬明夫, 河野渉, 野村大吉, 小林紘二郎：鉄と鋼, 78 (1992), 1585
- 11) Sudarshan, T. S. : Surface Modification Technologies, (1989), 422, Marcel Dekker Inc., New York
- 12) Hasebe, M. and Nishizawa, T. : CALPHAD, 4(1980), 83
- 13) Nakagawa, Y. : Acta Metall., 6(1958), 704
- 14) Schmidt, R. D. and Ferriss, D. P. : Wear, 32(1975), 279
- 15) Peterson, M. B., Johnson, R. L. and Florek, J. J. : ASLE Trans., 2(1960), 225
- 16) 葉山房夫：金属・合金の摩耗現象の基礎, (1987), 1, 丸善
- 17) Halstead, A. and Rawlings, R. D. : J. Mater. Sci., 20(1985), 1693

著 者 紹 介

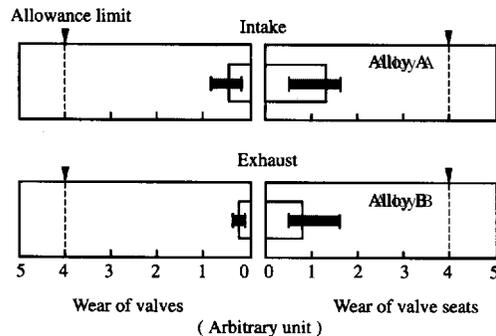


Fig. 14 Results of an endurance test on a practical engine for the developed laser clad valve seats.



田中浩司 Kouji Tanaka
 生年：1963年。
 所属：材料設計研究室。
 分野：金属材料の研究開発。
 学会等：日本金属学会会員。



齋藤 卓 Takashi Saito
 生年：1950年。
 所属：材料設計研究室。
 分野：構成金属材料の合金設計・開発。
 学会等：日本金属学会，日本鉄鋼協会，
 American Powder Metallurgy Inst. 会員。
 工学博士。



志村好男 Yoshio Shimura
生年：1949年。
所属：トライボロジ研究室。
分野：材料のトライボロジー（解析）。
学会等：日本トライボロジー学会会員。



森 和彦 Kazuhiko Mori
生年：1956年。
所属：トヨタ自動車 第1材料技術部 金属材料室
分野：表面改質技術（溶射，盛金，薄膜コーティング）を応用した材料及び自動車部品開発。
学会等：自動車技術会会員。



河崎 稔 Minoru Kawasaki
生年：1952年。
所属：トヨタ自動車 生技開発部 第1開発室。
分野：レーザー表面改質及び本技術による自動車部品への適用技術開発。
・学会等：自動車技術会会員。