

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-232544

(P2005-232544A)

(43) 公開日 平成17年9月2日(2005.9.2)

(51) Int. Cl.⁷B 2 2 F 7/04
// C 2 2 C 38/00

F I

B 2 2 F 7/04 G
C 2 2 C 38/00 3 0 4

テーマコード (参考)

4 K 0 1 8

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2004-43785 (P2004-43785)
(22) 出願日 平成16年2月20日 (2004.2.20)(71) 出願人 000233572
日立粉末冶金株式会社
千葉県松戸市稔台520番地
(74) 代理人 100083035
弁理士 前島 肇
(72) 発明者 宮坂 元博
千葉県流山市加1-12-1
(72) 発明者 丸山 和夫
千葉県松戸市中和倉240
(72) 発明者 坪井 徹
千葉県鎌ヶ谷市南初富5-5-3-30
Fターム(参考) 4K018 AA29 JA22

(54) 【発明の名称】 複合焼結機械部品の製造方法

(57) 【要約】

【課題】鋼材に圧粉体を嵌め合わせて焼結して複合焼結機械部品の製造する場合、従来は圧粉体の銅膨張作用を利用して一体に接合していたが、より高い接合強度が求められている。

【解決手段】圧粉体の銅量を10～25質量%と多くし、1095以上の温度で焼結して多量の液相を発生させ、その作用と銅膨張作用の相乗効果によって接合強度を向上させた。銅の一部をCu-P系ろう材で置換すると、更に有効である。

【選択図】なし

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

溶製鋼材から形成された孔部を有する部材（以下「外側部材」という。）の孔部に、鉄系の合金粉末または混合粉を圧縮成形した圧粉体（以下「内側部材」という。）を嵌め合わせた状態で一体に焼結する複合焼結機械部品の製造方法において、内側部材が銅を 10 ~ 25 質量% 含有し、150 MPa 以上の成形圧力で圧縮成形された圧粉体であり、且つ、1095 ~ 1300 の焼結温度で焼結することを特徴とする複合焼結機械部品の製造方法。

【請求項 2】

銅の一部を、内側部材のリン量が 1 質量% を超えない範囲で Cu - P 系ろう材粉末で置換した、請求項 1 に記載の複合焼結機械部品の製造方法。 10

【請求項 3】

溶製鋼材の外側部材と圧粉体の内側部材とを嵌め合わせて焼結するに際し、内側部材の炭素量を外側部材よりも 0.2 質量% 以上多く含有させた、請求項 1 または 2 に記載の複合焼結機械部品の製造方法。

【請求項 4】

溶製鋼材の外側部材と圧粉体の内側部材とを嵌め合わせて焼結するに際して、圧粉体の成形に亜鉛を含有する粉末潤滑剤を用い、焼結を浸炭性雰囲気で行なう、請求項 1 から 3 のいずれかに記載の複合焼結機械部品の製造方法。

【請求項 5】

外側部材の孔部と内側部材の嵌め合い寸法差が、内側部材の嵌合部外径の 0.17% 以下の隙間を有する通り嵌め、または締め代が内側部材の嵌合部外径の 0.23% 以下の締め込み嵌めである、請求項 1 から 4 のいずれかに記載の複合焼結機械部品の製造方法。 20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、溶製鋼材と焼結材からなる複合焼結機械部品の製造方法に関し、特に、溶製鋼材から形成された孔部を有する部材（嵌め合わせ結合において外側の部材で、「外側部材」という。）に、鉄系の合金粉末または混合粉を圧縮成形した圧粉体（嵌め合わせ結合において内側の部材で、「内側部材」という。）を嵌め合わせて焼結して、圧粉体の焼結と同時に鋼材と焼結材とを一体に接合する方法の改良に関するものである。 30

【背景技術】

【0002】

従来、製品の部分毎に異なる特性を必要とする場合があり、そのような場合には、それぞれ所要の特性を有する部材を集めて構成した複合部材が溶接、嵌合などの接合手段によって製造されている。このような複合部材において、焼結材と鋼材（溶製材）とからなる複合部材の需要があり、その製造方法の一例が特許文献 1 に開示されている。

【0003】

その概要は溶製鋼材から形成された孔部を有する部材（外側部材）と、鉄系の合金粉末または混合粉を圧縮成形して得た軸部を有する圧粉体（内側部材）とをそれぞれの孔部と軸部を嵌め合わせた状態で焼結して複合焼結機械部品を得るに際し、焼結過程の 800 以上の高温域における熱膨張量が鋼材の熱膨張量よりも大きくなる組成の圧粉体を用いるものであり、さらに、この圧粉体に、液相発生量が質量比で 5% 以内の銅、鋼材の炭素量よりも 0.2% 以上多い炭素（黒鉛）、成形に必要な粉末潤滑剤を兼ねてステアリン酸亜鉛の形態で亜鉛を配合し、浸炭性雰囲気下で焼結などの手段によって焼結中の圧粉体を鋼材よりも膨張させることによって、接合強度を向上させることが記載されている。

【特許文献 1】特開 2000 - 87115 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし機械部品の用途によっては、上記の従来方法で得られる接合強度では複合部品としての強度が充分ではない場合があり、より高強度に接合し得る方法が求められている。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明は、上記従来技術の改良を図るもので、溶製鋼材から形成された孔部を有する部材（外側部材）の孔部に、鉄系の合金粉末または混合粉を圧縮成形して得た圧粉体（内側部材）を嵌め合わせた状態で一体に焼結する複合焼結機械部品の製造方法において、内側部材が銅を10～25質量%含有し、150MPa以上の成形圧力で圧縮成形された圧粉体であり、且つ、1095～1300の焼結温度で焼結することを特徴とするものである。この明細書における配合量や成分組成は、全て質量比で示す。また、孔部は底のある場合とない場合の双方を含み、その輪郭は後述の実施例では円形の場合を示すが、これに限らず、四角その他所要の輪郭形状にすることができる。

10

【発明の効果】

【0006】

本発明によれば、焼結時の銅膨張作用と、多量に生じる液相によるろう接作用との相乗効果によって、鋼材の外側部材と焼結材の内側部材とからなる複合焼結機械部品において従来よりも一層高い接合強度が得られ、その結果として、部品の信頼性が高められ、複合焼結機械部品の用途範囲を拡大することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

20

【0007】

本発明は、前掲文献に記載の、溶製鋼材からなる外側部材の孔部に圧粉体の内側部材を嵌め合わせて一体に焼結する際に生じる、圧粉体の銅膨張作用により両部材を密着させて両部材間の固相拡散を促進させる作用を利用するものであるが、圧粉体の銅配合量を多くして銅膨張作用を高めること、および銅液相を積極的に活用することにより、両部材の密着度をより高くすることができた。

【0008】

即ち、焼結中の昇温過程で、発生する銅液相は鉄粉末の表面を濡らして覆い、鉄粉末の表面全体から鉄粉末中に拡散する。従って、銅液相による銅原子の拡散は銅粉末と鉄粉末との接触面からのみ生じる固相拡散の場合に比べて、鉄粉末の表面全体から生じるために速く、且つ均一に拡散する。この拡散により銅液相は一時的には多量に発生するが、速やかに鉄粉末に吸収されて液相量は低下する。その結果、鉄格子への銅原子侵入による格子間距離の拡大、即ち膨張が各部で高速且つ均一に生じるため、液相収縮よりも膨張量がまさることとなって外側部材と内側部材の界面が密着する。

30

【0009】

焼結保持温度で鉄は相となっており、相中への銅の固溶限は約8%程度である。この固溶限を超えて存在する銅液相は液相のまま残存するが、外側部材と内側部材の界面、および鉄粉末同士が拡散結合して形成した気孔中に毛細管力で吸収されて存在することとなる。この内、外側部材と内側部材の界面に保持された銅液相から外側部材の孔部内面に銅原子が拡散して、外側部材の孔部内面でも銅膨張現象が生じるが、銅原子の拡散は孔部の表面のみであるために周囲の外側部材に拘束・抑制される結果としてこの膨張は孔部の径を狭める方向に向かい、内側部材を締め込んで締結力を向上させる作用を果たす。これらの作用の複合による界面密着の作用が液相収縮による界面剥離の作用よりも大きい範囲で、接合強度の従来以上の向上がもたらされるものである。

40

【0010】

上述の通り鉄基地への銅の固溶限は相中で約8%程度であり、このため銅の含有量が10%未満では液相発生量が少なく、上記の効果が乏しくなる。一方、銅含有量が25%を超えると、膨張する鉄が少なくなること、および液相発生量が過多となって液相収縮量が多くなり、内側部材の膨張量が却って減少するため、内側部材の銅の含有量を10～25%とした。なお、液相発生により焼結接合後の内側部材の寸法精度は低下することにな

50

るが、銅の量が多いため内側部材の金属組織は軟質な銅相が多数遊離したものとなり、サイジングにより容易に矯正することができる。

【0011】

内側部材（圧粉体）を圧縮成形する際の成形圧力が150MPaを下回ると、圧粉体の圧粉密度が低過ぎて取り扱いが難しくなり、特に、外側部材に圧入して嵌め合わせる際にクラックが入りやすくなる。また焼結に際して、低密度のものほど焼結収縮量が大きくなるため、外側部材との界面剥離の作用が大きくなって前述の複合効果による膨張作用が減じられ、十分な接合が得られなくなる。

【0012】

銅の融点は1083 であるが、鉄 - 銅の共晶液相は1094 においてCu : 9 質量 % 以上、残部 : Fe の広い範囲で発生するので、含有する銅成分の大部分を液相として利用するためには、焼結温度を1095 以上とする必要がある。一方、焼結温度が1300 を超えると炉の損耗が促進されるようになるとともに、焼結による元素の拡散が過度になり、銅原子の拡散により内側部材は一旦膨張するものの焼結が進行すると鉄格子間に完全に銅原子が侵入した後は粉末間のネックの成長による焼結収縮が始まり、界面剥離の方向に収縮して接合が不完全になる場合があるため、焼結温度の上限を1300 とする。なお焼結時間は、この焼結温度範囲においては10 ~ 60 分程度が適当である。これ以下では内側部材と外側部材の界面における元素の拡散が不十分となり、十分な接合強度が得られない。一方、これより長い場合は焼結による元素の拡散が進み過ぎ、焼結温度が高すぎる場合と同様の現象を生じて接合が不完全になる場合がある。

10

20

【0013】

圧粉体に配合する銅の一部をCu - P系ろう材粉末で置換すると、液相による接合の効果が高くなるので好ましい。Cu - P系ろう材としては、銅に4 ~ 8 % のリンおよび0 . 5 ~ 18 % の銀を含み、必要に応じてNi、Cr、Fe、Mn等を含むCu - P - Ag系ろう材や、銅に3 ~ 7 % のリン、4 ~ 20 % の錫、少量のホウ素等を含むCu - P - Sn系ろう材がある。

【0014】

ただし、内側部材（圧粉体）のリン量が1 % を超えると、焼結後の内側部材の鉄基地に固溶するリンが多くなって基地が硬化し、サイジングによる矯正が困難になる。従ってこれらのCu - P系ろう材粉末の添加量は、圧粉体中のリン量として1 % 以内になる量に留めるべきである。なおNiは焼結時に収縮を促進する元素であるが、この範囲のCu - P系ろう材粉末の添加量であれば、ろう材中にNiを含有するものであっても、圧粉体のNiによる収縮作用よりも銅による膨張作用の方が大きいので、ろう材中にNiが存在しても差し支えない。

30

【0015】

上記の銅による作用に加えて、特許文献1に記載の炭素および亜鉛の効果を用いることもできる。即ち、外側部材（鋼材）の炭素量よりも内側部材（圧粉体）の炭素量を0.2 % 以上多くすることや、圧粉体を成形する際に亜鉛を含有する粉末潤滑剤を用いることを併用するとさらに効果的である。

【0016】

内側部材（圧粉体）の炭素量を多くすることの作用効果については、圧粉体が加熱膨張する過程で鉄の焼結が始まると、焼結に伴う収縮分だけ熱膨張量は相殺される。ところが炭素は鉄の焼結の進行を遅らせるので、黒鉛が多いほど収縮が遅くなり、その分膨張量が増大する。また炭素は鉄格子中に侵入する形で拡散するため、鉄中に炭素が拡散するだけで鉄の格子定数が拡大し、全体として膨張量が大きくなる。更に温度が上昇すると変態を起こして一旦収縮するが、この変態点は炭素が多いほど低温側に移行する。そして熱膨張係数は 相よりも 相の方が大きいので、圧粉体の炭素量が多いほど 変態が早くなり膨張が増大する。この様な理由から、経験的には炭素量を鋼材より相対的に0.2 % 以上多くすれば、圧粉体の高温域での熱膨張量が鋼材よりも大きくなる。

40

【0017】

50

この炭素による内側部材の膨張は、焼結雰囲気中に浸炭性ガスを用いても発生させることができる。圧粉体は基本的に多孔質なので、内部まで焼結雰囲気に接することになり、雰囲気ガスからの浸炭が圧粉体内部まで容易に進むのに対して、鋼材は雰囲気ガスと接するのが表面のみに限られるので殆ど浸炭されないからである。

【0018】

また、圧粉体中の亜鉛と焼結雰囲気との関係については、亜鉛が含まれる鉄系の圧粉体を浸炭性の雰囲気中で焼結すると、鉄と雰囲気中の炭素との反応に対して亜鉛が微量で触媒作用を示し、亜鉛を含まない場合に比べて焼結中の熱膨張量が大きくなる。亜鉛の添加は単味でも可能ではあるが、成形に必要な粉末潤滑剤としての作用を兼ねてステアリン酸亜鉛の形態で添加すれば手間も掛からず、且つ亜鉛を均一に分散させる上でも好ましい。焼結雰囲気には天然ガスやメタン系炭化水素などを変成して作られる精製エキソサーミックガス、例えば浸炭性のブタン変成ガスなどが適している。

10

【0019】

なお、外側部材（溶製鋼材）と内側部材（圧粉体）を嵌め合わせる際の嵌め合い寸法差（外側部材の孔部の内径寸法と内側部材の嵌合部外径寸法の差）は圧粉体の嵌合部の方を太め（締め込み）に設定して鋼材に圧入することが好ましく、締め代は大きいほど両者の密着度が高くなる。ただし焼結前で強度が低い圧粉体の破損を避けるため、締め代の大きさは内側部材の嵌合部外径の0.23%以下とする。また、本発明にあっては内側部材の銅膨張量が大きいので、嵌め合わせに際して両部材の間に隙間があっても（即ち通り嵌めであっても）その隙間が内側部材の嵌合部外径の0.17%以下であれば、焼結中に膨張により隙間を埋め合わせて外側部材に密着するため、十分な接合強度を得ることができる。

20

【実施例1】

【0020】

先ず外側部材として内径30mm、外径36mm、長さ10mmの円筒状部材を炭素鋼S45C（一部の試料はS38C）で作製した。次に内側部材として、鉄粉に銅粉5%および黒鉛粉0.8%を配合し、粉末潤滑剤としてステアリン酸亜鉛を0.8%添加した混合粉を圧縮成形して、圧粉密度が 7.0 g/cm^3 、内径10mm、外径30mm、長さ20mmの円筒状圧粉体を作製した。次いでこの圧粉体を締め代 $35\text{ }\mu\text{m}$ で外側部材の孔に圧入して嵌め合わせ、窒素ガス雰囲気中で温度1120で30分間焼結して試料01を作製した。以下同様にして表1に示す内側部材（圧粉体）の配合組成ならびに成形・焼結条件に従い、試料02～22を作製した。各試料とも、両部材の嵌め合わせは外側部材を200に加熱して膨張させ、これに内側部材をハンドプレスで圧入した。

30

【0021】

各試料中、試料01、05および06は銅の含有量が本発明範囲外の比較試料であり、また試料20は焼結雰囲気をブタン変成ガスに変えた点が、試料21は粉末潤滑剤をステアリン酸リチウムに変更した点が、試料22は外側部材（溶製鋼材）をS38Cに変更した点が他の試料と異なっている。これらの試料を材料試験機に掛け、外側部材を架台上に支えて内側部材に負荷を与え破壊する試験方法により、両部材の接合強度を求めた。その結果を表1の右端欄に示す。

40

【0022】

【表 1】

試料 番号	外側 部材	内側部材					成形圧力 MP a	焼結		接合強度 MP a
		配合比 %						温度 °C	雰囲気	
		鉄粉	銅粉	黒鉛 粉	スズ酸 亜鉛粉	スズ酸 リチウム粉				
01	S45C	残部	5.0	0.8	0.8		200	1120	窒素ガス	126
02	S45C	残部	10.0	0.8	0.8		200	1120	窒素ガス	149
03	S45C	残部	20.0	0.8	0.8		200	1120	窒素ガス	161
04	S45C	残部	25.0	0.8	0.8		200	1120	窒素ガス	150
05	S45C	残部	30.0	0.8	0.8		200	1120	窒素ガス	131
06	S45C	残部	40.0	0.8	0.8		200	1120	窒素ガス	82
07	S45C	残部	20.0		0.8		200	1120	窒素ガス	140
08	S45C	残部	20.0	0.45	0.8		200	1120	窒素ガス	145
09	S45C	残部	20.0	0.65	0.8		200	1120	窒素ガス	155
10	S45C	残部	20.0	1.0	0.8		200	1120	窒素ガス	164
11	S45C	残部	20.0	0.8	0.8		100	1120	窒素ガス	91
12	S45C	残部	20.0	0.8	0.8		150	1120	窒素ガス	148
13	S45C	残部	20.0	0.8	0.8		300	1120	窒素ガス	169
14	S45C	残部	20.0	0.8	0.8		400	1120	窒素ガス	178
15	S45C	残部	20.0	0.8	0.8		200	1000	窒素ガス	83
16	S45C	残部	20.0	0.8	0.8		200	1095	窒素ガス	156
17	S45C	残部	20.0	0.8	0.8		200	1200	窒素ガス	162
18	S45C	残部	20.0	0.8	0.8		200	1300	窒素ガス	156
19	S45C	残部	20.0	0.8	0.8		200	1350	窒素ガス	143
20	S45C	残部	20.0	0.8	0.8		200	1120	ブク変成ガス	168
21	S45C	残部	20.0	0.8		0.8	200	1120	窒素ガス	155
22	S38C	残部	20.0	0.8	0.8		200	1120	窒素ガス	163

10

20

30

【0023】

試料01～試料06は、内側部材（圧粉体）の銅粉添加量が接合強度に及ぼす影響を調べるもので、表1のデータから、銅粉の配合量を漸増すると、配合量が10～25%の範囲で接合強度が従来よりも大きく向上することが分かる。ただし25%を超えると、接合強度は却って低下する。

【0024】

試料03における内・外両部材の接合面の観察結果を図1に示す。図1は試料端部の接合状態を示す顕微鏡写真で、上部に低倍率、下部に高倍率の写真を並べて示す。各葉ともそれぞれ上側が外側部材、下側が内側部材に対応し、ほぼ中央部に接合部の状態を示す。また各葉右端には外側部材の面取り部分が写っている。両部材の接合面の気孔分布の写真においては、内側部材の鉄基地部分と外側部材の鉄基地部分（白色）が一体化しており、界面気孔中に溶けた銅（灰色）が充填されている様子がよく分かる。内側部材の黒く写っている部分は銅が充填されていない気孔で、外側部材の黒く写っている部分は鑄造欠陥である。また金属組織を見ると、低倍率のもので外側部材の接合界面の灰色が若干濃く見えるが、これが銅拡散相であると考えられる。なお金属組織写真では銅は白色を呈し、鉄基地部分が灰色を呈している。この様に、金属組織観察においても十分な接合が得られているこ

40

50

とが分かる。

【0025】

試料03および試料07～試料10は黒鉛粉の添加量の影響を調べるもので、銅の含有量が充分であれば黒鉛は無添加でも一定の接合強度は得られるが、黒鉛を添加することにより接合強度が更に向上すること、および、その添加量が外側部材である鋼材の炭素量（この場合0.45%）よりも0.2%以上多い場合に、接合強度がより顕著に向上することが分かる。

【0026】

試料03と試料20は焼結雰囲気の種類の影響を、また試料03と試料21は亜鉛の影響を調べるもので、亜鉛を含有させた圧粉体（内側部材）を浸炭性ガス雰囲気中で焼結した場合に最も高い接合強度が得られることと、亜鉛が含まれない場合は接合強度が幾分低下することが分かる。なお、試料03に比べて試料22は接合強度が幾分向上しているが、これは圧粉体と鋼材との炭素量差が拡大したためと考えられる。

10

【0027】

試料03および試料11～試料14は圧粉体を成形する際の成形圧力の影響を調べるもので、成形圧力が150MPa以上の場合は十分な接合強度が得られ、その値は、圧力の増加即ち圧粉密度の増加に応じて向上する傾向を示している。一方、150MPa未満の場合は圧粉密度が低いため焼結時の収縮量が大きくなり、銅膨張効果が相殺される結果、接合強度が低下している。

【0028】

試料03および試料15～試料19は、焼結する際の焼結温度の影響を調べるもので、焼結温度が1000と低い試料15の場合は銅液相の発生量が乏しいために接合強度が劣るが、銅液相が発生する1095の場合は、十分な銅液相が発生して高い接合強度が得られる。ただし、焼結温度が1300を超えると焼結が進み過ぎて収縮傾向を生じる結果、銅膨張の効果が相殺されて接合強度の低下を招く。従って、焼結温度は1095～1300の範囲が適当である。

20

【実施例2】

【0029】

実施例1の試料03を基準として、この試料の製造条件中、銅粉の項目のみ銅粉の一部を表2に示すCu-P系ろう材で置き換え、他の項目は実施例1の試料03の場合と同様にして試料23～試料26を作製した。各試料の原料配合および成分組成は表2の通りであり、夫々の接合強度を実施例1と同様にして試験した結果を表の右端欄に示す。この表には比較の便のため試料03を再掲する。

30

【0030】

【表2】

試料 番号	内側部材										接合強度 MPa
	配合比 質量%					成分組成 質量%					
	鉄粉	銅粉	Cu-6P-0.6Ni粉	黒鉛粉	スアリン酸 亜鉛粉	Fe	Cu	P	Ni	C	
03	残部	20.0		0.8	0.8	残部	20.0			0.8	161
23	残部	15.0	5.0	0.8	0.8	残部	19.7	0.30	0.03	0.8	163
24	残部	10.0	10.0	0.8	0.8	残部	19.3	0.60	0.06	0.8	165
25	残部	5.0	15.0	0.8	0.8	残部	19.0	0.90	0.09	0.8	168
26	残部	3.5	16.5	0.8	0.8	残部	18.9	0.99	0.10	0.8	170

40

【0031】

表2のデータから、銅ろう材による置換量が増加するに従って、焼結時に銅単味の場合

50

に比べて比較的低温の段階から多量の液相が発生し、そのろう接作用によって接合強度が一層向上することが分かる。なお銅ろう材に含まれるNiは焼結時に内側部材を収縮させ、従って外側部材との密着を妨げる成分であるが、この実施例の範囲ではその量が僅かなため、接合強度に対する格別の悪影響は認められない。

【実施例3】

【0032】

表1の試料03を基準として、内・外両部材を嵌め合わせる際の締め代あるいは隙間のみを表3に従って変化させ、それ以外は試料03と同様にして試料27～試料35を作製した。表中、締め代の欄の符号“-”は、それが隙間であることを意味している。各試料について実施例1と同様にして接合強度を測定した結果を表3に示す。なお、内・外両部材の嵌め合わせに際し、試料27～試料30の場合は200℃に加熱した外側部材に内側部材を、試料31と試料32は常温のまま、それぞれハンドプレスで圧入して嵌合させた。また試料33～試料35の場合は手作業で、外側部材に内側部材を挿入して嵌合させている。

10

【0033】

【表3】

試料番号	締め代 μm	内側部材外径 に対する割合 %	接合強度 MPa	
27	100	0.333	クラック発生	締めり嵌め
28	70	0.233	165	締めり嵌め
29	50	0.167	162	締めり嵌め
03	35	0.117	161	締めり嵌め
30	15	0.05	160	締めり嵌め
31	0	0	160	通り嵌め
32	-15	-0.05	158	通り嵌め
33	-35	-0.117	157	通り嵌め
34	-50	-0.167	150	通り嵌め
35	-100	-0.333	63	通り嵌め

20

30

【0034】

表3のデータから、両部材の嵌め合い方式が締め代70μm以下（内側部材の嵌合部外径の0.233%以下）の締めり嵌めの場合、および隙間50μm以下（内側部材の嵌合部外径の0.167%以下）の通り嵌めの範囲で十分な接合強度を得られることが分かる。一方、締め代が0.3%を超える試料27は、圧入時に圧粉体にクラックを生じたため実験を中止している。また、試料35の場合は隙間が大きすぎるために、両部材が十分に接合していない。この様に、締め代が内側部材の嵌合部外径の0.23%以下の締めり嵌め、または隙間が嵌合部外径の0.17%以下の通り嵌めであれば十分な接合強度が得られることが確認された。

40

【図面の簡単な説明】

【0035】

【図1】本発明に係る試料03の接合部の金属組織を示す写真である。

【 図 1 】

