SUS 304 ステンレス鋼拡散接合部の HIP 処理*

大 橋 修**, 海江田 義 也***

Hot Isostatic Pressing Treatment of Diffusion Welds in SUS 304 Stainless Steel*

by Osamu Ohashi** and Yoshinari Kaieda***

To eliminate all voids on diffusion-welded interface, diffusion-welded joints were treated using a hot isostatic pressing equipment without the canning of joints. The material used was SUS304 stainless steel. Results obtained are summarized as follows:

1. All voids on diffusion-welded interface, that are shut from the external environment and have not residual gas, are eliminated by the hot isostatic pressing treatment.
2. In the case of the welding surface prepared by a lathe, all voids on diffusion-welded joint are shut from the external environment when welded area ratio is above 35%.
3. It is difficult to eliminate voids in diffusion-welded joint made under the welding environment of Ar.
4. All voids of diffusion-welded joints are eliminated under hot isostatic pressing conditions of 1100°C, 2h and above 50 MPa.
5. The joints subjected to hot isostatic pressing treatment after diffusion welding have very small change in specimen shape, and the mechanical properties of the joints is not influenced by the roughness of welding surface.

Key Words: Hot isostatic pressing, Diffusion welding, SUS304 stainless steel, Voids

1. 緒 言

拡散接合部には空隙や介在物などの欠陥が残る易く、これらの欠陥は継手の機械的性能に大きく影響する¹⁾。接合部の空隙は微小で、非破壊試験法では検出困難なこともあって、拡散接合部に空隙の生じない接合法の開発が望まれている。

拡散接合部の空隙に類似した欠陥として、焼結した材料内に残る空隙、鋳造品の内部欠陥及び溶接部の割れ等がある。これらの欠陥を含む焼結材²⁾、鋳造材³⁾及び溶接材⁴⁾で、HIP (Hot Isostatic Pressing) 処理が試みられ、処理によって欠陥が消失し、性能の向上が報告されている。

そこで、本研究では拡散接合部の空隙を消失させる目的で、拡散接合部の後処理として HIP 処理を施し、その効果について調べた。さらに HIP 効果が表れる拡散接合条件及び HIP 処理を施した継手の特性について検討した。

なお、従来より試みられてきた HIP を利用した拡散接合は、いずれも接合面に Ar ガスが浸入しないように、接合物の外周を溶接したり、あるいは接合物を容器内に真空封入した後、HIP 処理によって接合を行ったものである⁵⁾。本研究では拡散接合によって予備接合した継手を真空封入などの処理することなくそのままの状態 で HIP 処理を施し、その効果を検討している。

2. 実 験 方 法

供試材として、直径 12 mm の SUS 304 ステンレス鋼

*原稿受付 昭和62年11月2日 昭和62年度春季全国大会で発表

**正 員 金属材料技術研究所 Member, National Research Institutes for Metals

*** 金属材料技術研究所 National Research Institutes for Metals

Material	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Fe
SUS 304	0.07	0.61	1.23	0.030	0.004	8.68	18.14	Bal.

Fig. 1 Chemical composition of material used (mass%) and dimension of specimen for tensile test.

棒を使用した。Fig. 1-(A) にその化学組成を示す。

供試材を 30 mm の長さで切断し、その端面を施盤加工して接合面とした。接合面の粗さを変えるために加工条件を変えた。加工後、アセトン中で超音波洗浄し、接合に供した。なお接合面の粗さ (R_{max}) を触針型表面粗さ計で測定した結果、80, 25, 6, 2 μm であった。

接合に際しては、接合装置内に試験片の接合面を突き合わせて設置し、てこを利用して接合面に垂直方向の圧力を加えた。装置内を 4×10^{-3} Pa 以下の雰囲気圧力に排気した後、1 秒間に $3 \sim 4^\circ C$ の速さで高周波誘導加熱し、接合温度 1100°C で 16 min 保持して接合した。

引張試験は、常に接合部で破断するように、Fig. 1-(B) に示すように、平行部の長さが径と比べて小さい試験片を用いて、引張強さおよび絞りについて調べた。

HIP 処理に際しては、一軸加圧による拡散接合試験片を真空封入などの処理することなく HIP 装置 (日機装

Fig. 2 Change of temperature and pressure in HIP equipment, when specimens were treated at HIP pressure 100 MPa.

製, モデル 30 L 5.0-11.0 GU 200) 内に設置した。Fig. 2 に HIP 圧力 100 MPa で処理した際の熱サイクルと圧力変化を示す。昇圧に際して、室温で 25 MPa までコンプレッサーで昇圧し、引き続き加熱によるガスの膨張によってガス圧力を上げる。温度 1100°C で 100 MPa の圧力となるように微調整した。処理温度 1100°C での圧力を HIP 圧力とした。なお、他の HIP 圧力の場合の熱サイクルもほぼ同様である。本実験では、HIP 雰囲気として高純度 Ar を使用した。

3. 実験結果

3.1 一軸加压による拡散接合部の特性

機械的な方法による一軸加压で拡散接合した継手について、その接合条件因子、接合部での空隙量、引張性能との相互関係を調べ、空隙のない接合部を得るための拡散接合条件選定の指針を求める。

Fig. 3 は、各種の接合面の粗さについて、継手の引張強さと接合圧力との関係を示している。接合圧力の増加につれて引張強さは大きくなった。また、接合面の粗さが細くなると、継手の強さが向上した。

次に、引張性能を左右する因子を調べるために、接合部の破面観察からは接合面積割合を求めた。破面の走査型電子顕微鏡写真で、未接合部は黒く、接合部は白く観察され、未接合部及び接合部が判別できる。いま、350 倍の写真上で点算法により接合面積割合を求め、8 箇所の平均をその試験片での測定値とした。

Fig. 4 は、各種の接合面粗さ及び接合圧力の場合について、継手の破面から求めた接合面積割合と引張強さとの関係を示す。接合面の粗さに関係なく、接合面積割合の増加とともに引張強さは向上した。接合面の粗さが細くなると、空隙の大きさが小さくなる。また分布状態も粗さによって異なるが、本実験範囲では引張強さは空隙の大きさや分布状態に左右されず、空隙の面積割合にのみ依存している。

次に、一軸で加压する拡散接合で、空隙のない接合部つまり接合面積割合 100% を得る条件について考える。Fig. 3 と Fig. 4 の比較から明らかなように、接合面積割合は接合圧力とともに増加するため、接合圧力を十分高くすれば接合面積割合 100% を得ることは可能である。しかし接合圧力の増加は接合部の断面積を増加させる。

Fig. 3 Effect of welding pressure on tensile strength of diffusion welded joints for various surface roughnesses.

Fig. 4 Relation between tensile strength of joints and welded area ratio at diffusion-welded interface.

Fig. 5 は各種の接合面の粗さについて、変形度（接合部断面積の増加割合の百分率）と接合圧力との関係を示している。接合部の変形度は接合面の粗さに依存せず、接合圧力とともに増加する。

いま、接合面積割合と変形度との関係を求め、Fig. 6 に示す。接合面の粗さが 80 μm では、変形度が 3% 以上でも接合面積割合は 50% 以下であった。しかし、接合面の粗さが 2 μm では、変形度が 3% 以上になると接合面積割合が 100% に近くなった。また、接合時間が 1 min, 64 min の実験においても、その測定点は Fig. 6 のそれぞれの接合面粗さの曲線上にほぼ重なった。

以上のことから、接合面積割合を 100%, つまり空隙のない接合部を得るためには、接合圧力の増加と接合面の粗さを小さくすることが必要である。工業的に容易に得られる接合面の粗さ 2 μm 程度で空隙のない接合部を

Fig. 5 Relation between welding deformation and welding pressure.

Fig. 6 Relation between welded area ratio at diffusion-welded interface and welding deformation.

得るためには、実験した接合条件範囲では接合部において3%以上の変形度を必要とする。なお、接合面の粗さが一定ならば、接合面積割合と変形度には相互関係があることから、変形度を接合部の空隙量のモニター因子として使えることが考えられる。

3.2 拡散接合部の HIP 処理

少ない変形で空隙のない接合部を得ることを目的として、機械的に一軸で加圧して接合した拡散接合部を HIP 処理し、HIP 処理の効果調べた。まず、接合面の粗さ $2\mu\text{m}$ の試験片を各種の圧力で接合し、接合部での空隙量を変えた試験片を0.1, 50, 100及び200 MPa の HIP 圧力で処理した。これらの試験片の引張強さと接合圧力との関係を、拡散接合のままの試験片の結果と併せて Fig. 7 に示す。接合後 HIP 圧力 0.1 MPa で処理しても、引張強さは拡散接合のままの試験片と比べてあまり向上しなかった。それに対して、HIP 圧力 50 MPa 以上

Fig. 7 Effect of HIP pressure on tensile strength of joints made at various welding pressures.

Fig. 8 Optical micrographs of sections of joints: (A) diffusion-welded joint, (B) diffusion-welded joint treated by HIP. Arrows indicate diffusion-welded interface. welding conditions: 1100°C , 16 min, 8.8 MPa
HIP conditions: 1100°C , 2 h, 50 MPa

で処理すると、接合圧力が2~2.5 MPa 以上の試験片で HIP による効果が見られ、引張強さが著しく向上した。このように、HIP 処理によって引張性能が向上する理由を、接合部の断面、破面観察から調べた。HIP 処理により引張性能の向上が見られた 8.8 MPa の接合圧力の

Fig. 9 Effect of HIP pressure on welded area ratio at interface of joints made at various welding pressures.

条件で拡散接合した後、各種の HIP 圧力で処理した試験片について、接合部の断面の組織観察を行った。Fig. 8 には拡散接合のまま HIP 圧力 50 MPa の接合部断面の顕微鏡組織を示している。拡散接合のままの状態では接合部に多くの空隙が残っている。しかし、HIP 処理した接合部には空隙は認められない。このような HIP 処理による接合部の空隙の消失が、継手の引張性能の向上につながっていると考えられる。

そこで、HIP 処理の接合面積割合への影響を定量的に調べるため、Fig. 7 の試験片の破面観察から接合面積割合を求めた。Fig. 9 は各種の接合圧力での継手の接合面積割合に及ぼす HIP 圧力の影響を示している。接合後 HIP 圧力 0.1 MPa で処理しても、接合面積割合は拡散接合のままの試験片とくらべてあまり増加しなかった。しかし、HIP 圧力 50 MPa 以上では接合圧力が 2~2.5 MPa 以上の試験片で、HIP 処理によって接合面積の割合が100%に増加した。Fig. 7 と Fig. 9 の比較から、HIP 処理による引張強さの向上は空隙の消失によることが分かる。

4. 考 察

拡散接合部に残留する空隙の状態、つまり空隙の大きさ、分布状態、空隙内の残留ガスによって、HIP 処理による空隙の消失効果が異なるものと考えられる。

接合面の粗さが小さくなると、小さな空隙が接合部に微細に分布するようになる。そこで、各種の接合面粗さの継手について、空隙の大きさ及び空隙の分布状態がどのような状態になると、HIP 効果が表れ、空隙が消失するかを破面観察により調べた。Fig. 10 は、HIP 処理前の接合試験片の引張破面で、接合面の粗さが 80 μm の場合の結果である。(A)は接合面積割合が26%の引張破面である。空隙の分布状態を詳しく調べてみる。黒く見える箇所が空隙部であるが、空隙が帯状にたまって分布しており、空隙が外部の雰囲気へと通じていた。(B)は、接合面積割合が40%の引張破面で、(A)の引張破面と空隙

Fig. 10 Fracture surfaces of diffusion welded joints: (A) welded area ratio 26%, (B) welded area ratio 40%. welding conditions: 1100°C, 16 min, 80 μm

Table 1 HIP effect and void condition of diffusion welded joints for various surface roughnesses.

Surface Roughness	Welded Area Ratio	Void Condition	HIP Effect	Surface Roughness	Welded Area Ratio	Void Condition	HIP Effect
80 μm	11 %	opened	no	6 μm	29 %	opened	no
	26	opened	no		31	opened	no
	33	opened and closed	yes		52	closed	yes
	40	closed	yes		70	closed	yes
2.5 μm	11	opened	no	2 μm	34	opened and closed	yes
	17	opened	no		35	opened and closed	yes
	20	opened	no		60	closed	yes
	24	opened and closed	no		73	closed	yes
	40	closed	yes				

Welding Conditions : 1100°C, 16 min,
HIP Conditions : 1100°C, 2h, 100MPa,

の分布状態が異なり、個々の空隙が接合部によって包囲され、外部と遮断されていた。

Table 1 は拡散接合部での接合面積割合及び空隙の外部雰囲気からの遮断状態と HIP 処理効果の関係を接合面の粗さについて示している。接合面積割合が小さいときには、空隙は外部に通じている。この空隙の状態を open と記している。接合面積割合の増加と共に、外部に通じた空隙と遮断された空隙とが混在したような状態となり、この状態を opened and closed で示している。

さらに、接合面積割合が大きくなると、すべての空隙が遮断された空隙 (closed) となる。また、同じ条件で接合した試験片を HIP 処理して、その破面観察から見た HIP 処理の効果の有無についての結果も表に示したが、接合部の空隙が外部から遮断されると、HIP 処理によって空隙が消失するのが分かる。

さらに、接合試験片数を増やして、HIP 処理による接合面積割合の変化を接合面の粗さについて整理した。その結果を Fig. 11 に示す。拡散接合の際の接合面積割合が30%以下においては、いずれの表面粗さの試験片においても HIP 処理によって接合面積割合は増加しなかった。

しかし、拡散接合の際の接合面積割合が30~50%になると、接合面の粗さに関係なく、HIP 処理により接合面積割合が100%に増加した。つまり、接合面積割合が30~35%になると、空隙が外部と遮断され、HIP 処理によって空隙が消失したことが分かる。

接合面積割合が30~35%以上では、空隙が外部と遮断されることは、破面のオージェ観察や空隙中の残留ガス分析結果報告からも分かる。

接合面積割合が30~50%の拡散接合試験片をオージェ分析装置内で破断させ、その破面をオージェ分析した結果によれば、破面上の空隙部からは、酸素が検出されないことが報告されている⁶⁾。つまり接合中に空隙表面の酸化皮膜が消失した後、空隙面は大气によって汚染されずに保持されており⁶⁾、空隙は外部から遮断されているのが分かる。また、Ar 雰囲気中で接合した試験片を超高真空中で破断させ、空隙内の残留ガスを分析した報告によれば、接合面積割合が約40%の試験片の接合部の空隙内からは Ar が検出される⁷⁾。つまり遮断された空隙内には接合雰囲気の Ar が封じ込められており、空隙は外部と遮断されていることが明らかである。

HIP 処理の効果を調べる実験では、接合面の粗さは施盤の加工速度を変えることによって変化させた。したがって、接合面の凹凸の形状がほぼ相似形であることから、接合面の粗さに関係なく、HIP 処理効果の表れる接合面積割合のしきい値が30~35%とほぼ一定になったと

Fig. 11 Change of welded area ratio at bonded interface by HIP treatment.

考えられる。もちろん、接合面の処理法が変わり、表面形状も変われば、HIP 効果の表れるしきい値も変化するものと考えられる。

次に空隙内にガスが残留した場合、HIP 処理した際の空隙の消失効果に残留ガスがどのように影響するかを考える。

真空中で接合した拡散接合部の空隙内には、ガスはほとんど見られないが、Ar 雰囲気中で接合した拡散接合部の空隙内には Ar が材料と反応せず、そのまま残留することが報告されている⁷⁾。

そこで、本実験では真空中と Ar 雰囲気中で拡散接合し、空隙内にガスがほとんどない接合試験片と空隙内に Ar が残留する接合試験片とを HIP 圧力 100 MPa で処理した。Fig. 12 は引張試験時の絞りりと接合圧力との関係を各種接合雰囲気について示している。Ar 中で接合した試験片では、真空中で接合した試験片に比べて絞りが劣った。なお、Ar 中で接合した試験片について、HIP 圧力を 200 MPa に高めても HIP 圧力による絞りの向上は見られなかった。真空中で接合した試験片の HIP 処

Fig. 12 Effect of welding atmosphere on reduction of area of diffusion-welded joints treated by HIP

Table 2 Reduction of area and inclusion area ratio on fracture surface of base metals and welded joints after tensile test.

	Heat Treatment	Reduction of Area (%)	Inclusion on Fracture (%)
Base Metal	HIP (1100°C, 2h, 200MPa)	71	0.4
	HIP (1100°C, 2h, 200MPa) + Solution Treatment	71	0.3
Welded Joint	As Welded	28	3.0
		33	2.5
	HIP (1100°C, 2h, 200MPa)	55	2.9
		66	1.6
		61	2.7
	HIP (1100°C, 2h, 200MPa) + Solution Treatment	54	1.2
		70	1.6

Welding Conditions: 1100°C, 16 min, 88 MPa, 2 μm
Solution Treatment: 1100°C, 2 h, Water Quenching

理の接合部断面にはほとんど空隙は見られないが、Ar 中での接合部には HIP 後も空隙が残留していた。

以上のことから、空隙内に Ar などの不活性ガスが残留すると、HIP 処理しても空隙が完全に消失しないことが分かる。

次に、Fig. 12 で真空中接合の継手で空隙が消失しているにもかかわらず、絞りの値が母材並に向上しない原因について考える。継手の破面を走査型電子顕微鏡で観察すると、介在物が観察される。7500倍の写真8枚の平均からの破面上の介在物量を算出した。Table 2 は、拡散接合のままの継手、HIP 処理した継手、さらに HIP 処理後溶体化処理した継手及び母材について、絞りと介在物量を示している。母材の破面と比べ、いずれの継手の破面でも介在物量はかなり多い。接合温度、HIP 処理温度、溶体化処理温度、いずれも1100℃であり、1100℃での加熱時間の長い継手程、介在物量は少なくなる傾向にあるが、継手の介在物量は母材に比べて多い。絞りが母材並に向上しない原因の一つとしてこの介在物が考えられる。この介在物は硫化物と各種の酸化物が混合したものであり、拡散の進行に伴う介在物量の減少は介在物同士の凝集や酸化物の分解によるものである⁸⁾。

以上の結果から、接合部の介在物の消失には HIP 処理の効果は特に認められないが、空隙の消失には HIP の効果が大きいことが分かる。

5. キャンレス HIP 拡散接合

真空中で接合面積割合が30～35%になるような接合条件下、すなわち Fig. 6 から分かるように、接合面の粗さにもよるが、0.1～1%の変形を与えて接合した後、HIP 処理すれば接合部の空隙を完全に消失することができ、本法では従来の HIP による拡散接合時の真空封入などの処理が不用である。HIP 処理による変形がマイクロメーターによってほとんど測定できないことから、拡散接合と HIP 処理を組み合わせる方法すなわち、キャンレス HIP 拡散接合法によれば、わずかな変形で空隙のない継手を作ることが出来る。またこの方法の特徴として、表面粗さの影響を受け難いこともある。

Fig. 13 Appearance of pipe joint of stainless steel after tensile test:
(A) diffusion-welded joint, (B) diffusion-welded joint treated by HIP.

本法の特徴を明らかにするため、パイプの接合を行って見た。外径 21 mm、内径 16 mm のステンレス鋼のパイプの端面を施盤加工した。その接合面の粗さは $2\mu\text{m}$ である。1100℃、8.8 MPa で拡散接合後、HIP 処理を行った。Fig. 13 には、拡散接合試験片と、キャンレス HIP 拡散接合試験片との引張試験後の外観写真を示している。拡散接合のみでは簡単に接合部で破断するが、キャンレス HIP 拡散接合した試験片では母材破断に至っている。母材破断に至るのは、先の丸棒の試験片と比べて、平行部の長さが大きいことに関係していると考えられる。なお、接合の際のパイプの外径の増加量は 0.12 mm で、非常に少ない。また、従来の HIP による拡散接合では、中空部品の接合は困難であるが、拡散接合と HIP 処理を組み合わせるキャンレス HIP 拡散接合では容易に中空部品の接合も行えることが明らかとなった。なお、HIP 処理による拡散接合部の空隙の消失の機構については稿を改めて報告する。

6. 結 論

機械的に一軸で加圧して接合した拡散接合部を真空封入などの処理をすることなく、そのままの状態 で HIP 処理し、HIP 処理の効果及び HIP 効果が表れる接合部条件を SUS 304 ステンレス鋼を用いて検討し、小さい変形で空隙のない接合部を得るための施工条件の指針を明らかにした。得られた結果を次のように要約できる。

1. 拡散接合部に残留する空隙は HIP 処理によって消失させることができる。
 2. HIP 処理によって拡散接合部の空隙が消失するための、空隙の必要条件は、外部から遮断された空隙で、空隙内にガスが残留しないことである。
 3. ステンレス鋼拡散接合部の空隙は、1100℃では 50 MPa 以上の HIP 圧力で消失する。
 4. せん盤加工した接合面の場合には、拡散接合部の接合面積割合が30～35%になると、接合面の粗さに関係なく、接合部の空隙は外部と遮断される。
 5. Ar 雰囲気中で拡散接合した継手の接合部の空隙は、空隙内に Ar ガスが残留し、空隙は消失しがたい。
 6. HIP 処理による試験片の形状変化はほとんど認められない。
 7. 拡散接合において、真空中で30～35%接合面積割合が得られる条件下、すなわち粗さによるものが0.1～1%の変形を与えて接合した後 HIP 処理すれば空隙のない接合部が得られる。
 8. 機械的に一軸で加圧して接合する拡散接合では、接合面の粗さが継手の引張性能に大きな影響を及ぼすが、接合後に HIP 処理することにより、接合面の粗さの影響を全く受けずに品質の安定した継手がえられる。
 9. HIP 処理は、接合部の空隙の消失には効果があるが、介在物の消失には効果がない。
- 終わりに、本研究を遂行するにあたり、実験に御協力いただいた当時日本工業大学学生本田一徳君に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 大橋, 雀部: “拡散接合部の機械的性能に及ぼす接合雰囲気の影響”, 溶論, 6 (1988), 98-103.

- 2) 土居, 原: "アルミナ焼結体のHIPによる高密度化について", 粉体粉末冶金協会, 秋期大会講演概要, (1976), 148.
- 3) W. R. Freeman: "HIPing Raises Casting Performance Levels", Metal Progress, Aug. 33-38
- 4) 山本, 安田, 山田, 杵名: Ni基超合金の接合法に関する研究(第2報)-HIP処理によるHAZ液化割れの消滅法-, 溶講概, No. 27, 232-233
- 5) 神戸製鋼: 熱間静水圧加圧法の実用技術, No. 31032
- 6) 大橋, 田沼, 吉原: "拡散接合部のオージェ解析-拡散接合部での表面皮膜に関する研究(第1報)-", 溶論, 3(1985), 152-158
- 7) 大橋: "拡散接合部の空隙内の残留ガスに及ぼす接合雰囲気の影響", 溶論, 4(1986), 514-520
- 8) 大橋, 田沼, 木村: "拡散溶接部の密着部での酸化皮膜の挙動-拡散溶接部での表面皮膜に関する研究(第3報)-", 溶論, 4(1986), 53-59

超合金と炭素鋼の銅ろう付*

大村 博彦**, 川尻 鉦二***, 吉田 亨****

Cemented Tungsten Carbide/Carbon Steel Joint Brazed with Copper*

by Hirohiko Ohmura**, Kouji Kawashiri*** and Tohru Yoshida****

The solid-liquid interface phenomena in cemented tungsten carbide (WC-6%Co)/carbon steel (0.11%, 0.47% and 0.85% C) joints brazed with copper filler metal and the shear strength of the joints have been studied.

In copper brazing of cemented carbide to carbon steel, the carbon steel dissolves into molten copper filler metal and, simultaneously, the dissolved iron deposits from the cemented carbide as the columnar phase at a constant brazing temperature-that is, a "dissolution and deposit of base metal" takes place.

The columnar phase consists of Fe-6~11%Co-11~10%Cu-0~1%W-0.5%C alloy for the combination of 0.11%C steel; Fe-6~15%Co-9~8%Cu-0~2%W-0.5%C alloy for 0.47%C steel; Fe-7~17%Co-10~8%Cu-0~2%W-0.9%C alloy for 0.85%C steel. The growth of the columnar phase is faster as the carbon content of the steel is smaller.

In cemented carbide/0.11%C steel joint, the shear strength of the joint increases from 346 MPa to 441 MPa when both base metals are linked with the columnar phase.

Key Words: Brazing, Cemented tungsten carbide, Carbon steel, Copper filler metal, Dissolution and deposit, Shear strength, Columnar phase

1. 緒 論

超合金は、高硬度のため耐摩耗性に優れ、主に鋼ろうや銀ろう等を用いて鋼に接合され刃物や工具等に広く使用されている。これまで、超合金と鋼のろう付に関する研究・解説は多くなされているが^{1)~6)}、両母材間の熱膨張差に起因する残留歪の低減、超合金のぬれ不良対策、および、超合金への溶融金属の拡散侵入等が主なものであり、接合部の界面組織を詳しく研究した報告はほとんどない。

したがって、本研究では、WC炭化物とCoの複合材料である超合金と各種炭素鋼を組合わせてろう付を行ない、それらのろう付組織を究明するとともに、組織が継手のせん断強度に及ぼす影響について検討した。

2. 実験方法

ろう材には無酸素銅(99.99% Cu)および銀ろうBAg-4 (Ag-30%Cu-28%Zn-2%Ni), BAg-8 (Ag-28%

Cu), また、接合間隙を一定に保つためのスペーサーには直径 50 μm の W 細線を用いた。試料の組み立てを Fig. 1 に示す。ただし、銀ろうを用いた場合は、チップと W スペーサーの間に厚さ 0.05 mm のろう材を挿入した。母材には、チップとして市販の超合金 K 20 (WC-6% Co, 3 $\times$ 3 $\times$ 8 mm), ベースとして 0.11% C, 0.47% C, 0.85% C, 1.39% C 各炭素鋼を用いた。ろう

Fig. 1 Assembly of braze specimen.

*原稿受付 昭和62年12月14日 昭和62年度秋季全国大会で発表

**正 員 名古屋工業研究所 Member, Nagoya Municipal Industrial Research Institute

***正 員 名城大学 Member, Meijo University