

Fe기 MA956 산화물분산강화합금의 천이액상확산접합에 관한 연구

김지훈 · 박성계 · 김지순 · 권영순
울산대학교 재료공학과

Transient-Liquid-Phase Bonding of Fe-Base MA956 ODS Alloy

Ji-Hoon Kang, Sung-Gye Park, Ji-Soon Kim and Young-Soon Kwon

Department of Materials Science and Engineering, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea
(Received March 2, 1995)

ABSTRACT TLP(Transient-Liquid-Phase) bonding of Fe-base MA956 ODS alloy was performed. As insert metal a commercially available Ni-base alloy(MBF50) and an MA956 alloy with additive elements of 7wt% Si and 1wt% B were used. To confirm the idea that a concurrent use of MA956 powder with insert metals can enhance the homogenization of constituent elements and thereby reduce the thickness of joint interface, MA956 powder was also inserted in a form of sheet. SEM observation and EDS analysis revealed that Cr-rich phase was formed in the bonded interface in initial stage of isothermal solidification during the bonding process, irrespective of kind of insert metals. Measurement of hardness in the region of bonded interface and EDS analysis showed that a complete homogenization of composition could not be obtained especially in case of MBF50. Joints using either BSi insert metals only or BSi insert together with MA956 powder interlayer showed, however, a remarkable improvement in a compositional homogenization, even though a rapid grain growth in the bonded interface could not be hindered.

1. 서 론

미세한 산화물 입자를 초합금 기지에 균일하게 분산시켜 고온강도와 내열성을 강화시킨 ODS(Oxide-Dispersion-Strengthened) 합금은 Gas Turbine-용 Nozzle 및 Blade 등과 같은 고온 내열재료로서의 활용이 기대되고 있다.^{1,2)} MA계열 ODS 합금으로는, 비교적 높은 용점과 우수한 고온강도를 지닌 Ni기의 MA754, MA6000 합금과 내산화성이 우수한 Fe기의 MA956, MA957 등의 합금이 있으며, 새로운 ODS 합금의 개발을 위한 연구가 현재 활발히 진행되고 있다. 특히, Fe기의 MA956합금은 MA공정에 의해서 분산상의 크기와 간격이 수십 nm 범위의 매우 미세한 분포를 이루는 것으로 알려져 있으며 밀도와 열팽창계수가 낮고 용점이 높은(1753 K) 합금으로서 우수한 내산화성과 고온 내식성을 지니고 있다. 또한, 그 성형능(fabricability)이 우수하여 다방면의 적용이 기대되는 매우 우수한 재료로 알

려져 있다.³⁾

MA ODS 합금의 보다 폭넓은 실용화를 위해 지적되고 있는 문제점들 중 하나인 신뢰성과 재현성이 보장될 수 있는 접합기술 개발의 필요성은 특히 최근에 크게 강조되고 있으며, 다양한 방법들이 시도되고 있는 것으로 보고되고 있다. 이들 결과들을 살펴보면, 적용 가능한 용접법으로서 TIG, EBW, Laser용접법 등이 있으며, 이들 용접법의 경우 모재의 상당량을 용융시키므로 용접부 근방의 산화물 입자의 균일 분포가 소멸되어 본래의 강화기구의 이점이 소실되고⁴⁻⁶⁾ 용접균열 등의 접합결함이 심하게 나타나는 것으로 보고되었다.⁷⁾ 모재를 거의 용융시키지 않는 접합법으로는 고상확산접합, 마찰압접, 천이액상확산접합 등의 계면접합법이 제시되고 있으며, 상용화되어 있는 MA계열의 ODS 합금에 적용되어 많은 연구가 행하여지고 있다. 특히, 위의 여러 접합방법중 천이액상확산접합법(Transient-Liquid-Phase Bonding, TLP)은 브레이징과 확산접합법의

장점을 모두 갖춘 접합법으로서 삽입금속의 용융, 등온응고 및 균질화, 결정립 성장 등의 과정을 거쳐 이루어지는데, 모재보다 낮은 용점을 갖는 삽입금속을 사용하기 때문에 모재를 용융시키지 않을 뿐 아니라, 액상의 삽입금속과 모재간 확산에 의해 균질화 및 등온응고 과정이 비교적 짧은 시간내에 이루어지기 때문에 산화물 응집에 의한 모재 열화현상을 억제할 수 있고, 적절한 접합조건이 충족될 경우 모재와 동일한 조성과 조직을 갖는 접합계면층이 비교적 간단한 공정에 의해 얻어질 수 있다는 장점을 지니고 있다. 그러나, 실제로 MA956합금에 천이액상확산 접합을 적용한 Nakao 등의 최근 연구결과⁸⁾에 의하면, 계면으로의 산화물 편석현상, 접합층내의 산화물이 소멸되고 균질화 단계에서 소위 'Bamboo Structure'라고 지칭된 매우 조대한 결정립이 접합층내에 형성됨으로써 기계적 성질에 좋지 않은 영향을 미치는 것으로 보고된 바 있어, 이의 해결을 위한 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 MA956 합금의 천이액상확산접합을 시도하였으며, 이를 위하여 우선적으로, 상용 삽입금속의 활용가능성을 조사하고자 하였으나, 연성과 내식성 등 접합 후 특성이 우수하여 Ni기 초합금은 물론 철강재료 등에도 광범위하게 사용되고 있는 Ni기 삽입금속에 비해 Fe기의 삽입금속은 현재까지 상용화가 이루어지지 않고 있어, 일단 상용의 Ni기 MBF 계열 삽입금속 중에서 접합체 특성의 열화를 야기하는 것으로 알려져 있는 붕화물 생성을 최소화하기 위하여 B 함량이 가장 낮은 MBF50을 선택하여 MA956에의 활용 가능성을 조사하였다. 여기서 Si와 B를 함유하는 MBF 계열을 선택한 것은 모재성분과 유사한 Fe기의 새로운 삽입금속을 자체 제조하기 위해서는 모재보다 낮은 용점을 갖도록 하기 위해 이들 원소가 Ni기 삽입금속에서와 마찬가지로 Fe기 삽입금속에도 첨가되어야 하기 때문이다. 상용 MBF50과 자체 제조한 모재성분에 Si와 B를

첨가한 삽입재를 사용하여 얻어진 접합체는 접합체면을 SEM으로 관찰하고 EDS를 이용하여 성분분석을 행하였으며, 접합부 근방의 경도분포를 조사하여 균질화 정도의 간접적인 평가자료로 활용하였다. 이상의 조사에서는 또한, 분말형태의 모재를 기존의 삽입금속과 함께 피접합면 사이에 삽입하여 접합할 경우, 분말간의 기공이 용융된 삽입금속으로 채워짐으로써 접합부의 폭이 줄어들 수 있을 뿐 아니라, 균질화 과정 역시 분말화에 따른 표면적 증가로 확산이 촉진되어 보다 짧은 시간안에 이루어짐으로써 위에서 언급한 조대 결정립('Bamboo structure')의 형성을 최소화할 수 있을 것으로 기대되어 삽입금속과 모재분말을 함께 사용하여 접합하는 방법의 유용성도 조사하였다.

2. 실험방법

2.1. 모 재

모재는 미국 Inco사에서 제조한 봉상의 원료를 사용하였으며, 제조사가 제공한 자료에 의하면, 표 1에 나타낸 바와 같은 조성이 되도록 원료분말을 고에너지 불밀에 장입하여 Ar 가스분위기에서 약 27.8시간(100 ksec) 동안 기계적으로 합금한 후, 연강재 용기에 장입, 탈가스 처리하여 1273 K에서 1 시간 동안 압출 및 소결한 후, 1123~1273 K에서 열간단조 및 1273 K에서 10분간 Annealing하여 크기 $12 \times 12 \times 600 \text{ mm}^3$ 의 봉재로 제작되었다. 구입한 봉재는 접합을 위하여 $10 \times 10 \times 5 \text{ mm}^3$ 으로 가공하여 사용하였다.

2.2. 삽입금속

삽입금속은 시판되고 있는 Ni기 삽입금속 MBF 계열중에서 B의 함량이 낮은 MBF50과 함께 모재 성분과 유사한 조성을 갖는 삽입금속을 자체 제조하여 사용하였다. 자체 제조한 삽입금속은 별도로

Table 1. Chemical composition of materials used (wt%)

Material		Cr	Al	Ti	Mn	Ni	C	Si	B	Y ₂ O ₃	Fe
Base metal	MA956	18.84	4.57	0.37	0.10	0.09	0.014	0.11	—	0.495	Bal.
Insert metal	MBF50	15	—	—	—	Bal.	—	7	1.5	—	—
	BSi	20	4.5	0.5	—	—	—	7.0	1.0	0.5	Bal.

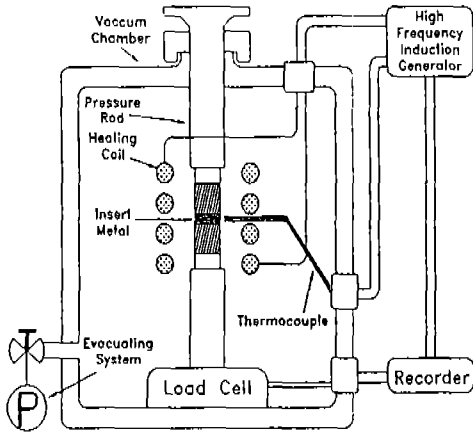


Fig. 1. Schematics of joining apparatus.

구입한 Flake 형태의 MA956에 용점을 낮추기 위해 Si와 B를 첨가하여 Ar분위기하에서 TIG arc melting한 후 50 μm 두께가 되도록 가공하여 사용하였다. 이때 첨가된 Si의 조성은 1~7 wt%로 변화시켰으며, 이에 B를 추가로 1 wt% 첨가한 조성에 대해 Ar 분위기에서 승온속도 10 K/min의 조건으로 열분석 실험을 행하여 액상형성온도를 조사하였다. 이상의 실험을 통하여 선택된 삽입금속은, 고온접합에 따른 모재의 열화를 최소화하기 위해 가장 낮은 용점을 보인 7 wt% Si + 1 wt% B 조성(이하 BSi로 표기)을 최종적으로 선택하였다. 각 삽입금속의 조성을 표 1에 모재 조성과 함께 나타내었다. 이상의 삽입금속과 아울러 균질화 과정의 단축과 조대 결정립 성장억제 효과를 위해 동시에 사용한 모재분말은, MA956 분말을 12 cc의 에탄올에 4 g의 Polyvinyl-butyril을 섞은 Binder를 사용하여 50 μm 두께의 Sheet 형태로 제조, 사용하였다.

2.3. 접 합

접합은 그림 1과 같은 진공 고주파 유도가열로를 사용하여, 0.04 Pa의 진공분위기에서 600 K/min의 속도로 가열하여 접합온도에서 일정시간 동안 유지한 후 냉각하여 접합하였다. 접합온도는 TLP 접합에 있어 적정온도로 알려져 있는 액상형성온도보다 80~100 K 높은 1503~1563 K으로 하고 접합시간은 접합온도 도달 후 바로 냉각하거나, 1, 4, 16, 36, 64, 100분 등으로 변화시켜 접합을 행하였다. 분말

Sheet를 사용하였을 때는 분말 Sheet를 삽입금속의 아래쪽에 위치하도록 하여 접합을 행하였다.

2.4. 접합계면 관찰 및 경도분포 조사

접합계면의 광학현미경 관찰은 접합면에 수직으로 접합시험편을 절단한 후, 접합이음부를 연마지를 사용하여 600~1200번까지 연마하고, 0.05 μm Alumina 현탁액으로 최종 연마한 후 에칭하여 관찰하였다. 에칭은 MBF50을 삽입금속으로 사용하였을 때는 에탄올과 염산을 (9:1)로 배합한 전해액에 스테인레스를 음극으로 DC 6V의 조건으로 5~10 sec 동안 부식시킨 후, (염산: 질산: 글리세롤)을 (2:1:3)의 비로 섞은 혼합액에 10분간 재부식하여 조직을 관찰하였다. 모재의 조성과 유사하도록 자체 제조한 삽입금속을 사용한 경우에는 전해연마의 과정없이 후자의 혼합액내에서 동일한 조건으로 에칭시킨 후 조직을 관찰하였다. 주사전자현미경에 의한 관찰도 광학현미경 관찰과 같은 조건의 시편으로 행하였으며, 접합층내의 생성상 및 합금원소의 거동을 조사하기 위해 EDS에 의한 점분석과 선분석을 행하였다. 모재와 접합층간의 물성변화를 확인하고자 접합이음부 및 모재의 경도분포를 조사하였으며, 이때 하중은 0.49 N, 유지시간은 15 sec로 하여 접합층 중앙을 중심으로 양 모재 방향으로 1500 μm 범위까지 3지점을 측정하여 평균값을 취하였다.

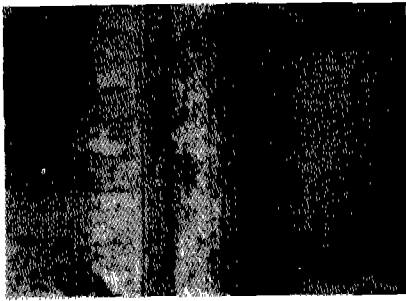
3. 결과 및 고찰

3.1. 상용 Ni기 삽입금속(MBF50)과 MA956 분말 Sheet에 의한 접합

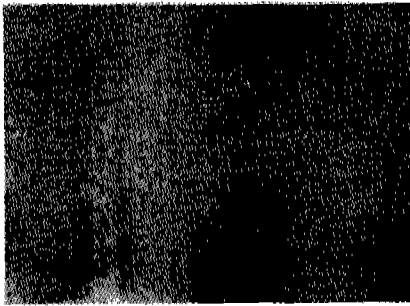
앞서 서론에서 언급한 바와 같이, Ni기 삽입금속은 연성과 내식성 등에서 우수한 특성을 갖고 있어 Ni기 초합금은 물론 Fe기 합금의 브레이징접합에도 널리 사용되고 있는 반면, Fe기 삽입금속은 그 특성이 이에 미치지 못하여 상용화가 현재까지 이루어지지 않고 있는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 구입이 가능한 상용 Ni기 삽입금속중에서 용점강하 원소인 B의 함량이 가장 낮은 MBF50(Ni-18.5Cr-7.5Si-1B)을 선택하여 모재인 MA956과 같은 조성의 분말 sheet와 함께 모재 사이에 삽입한 후, 온도 1503 K, 접합압력 6.9 MPa에서 유지시간을 1~100분으로 변화시켜 접합을 행하였다. 여기서 B함량이 낮은



(a)



(b)

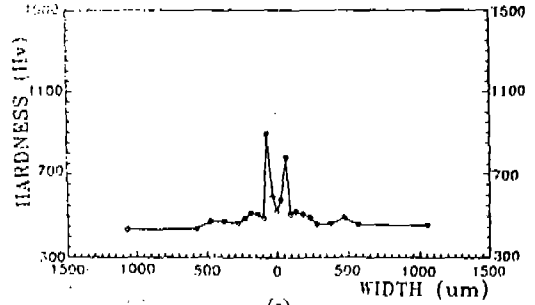


(c)

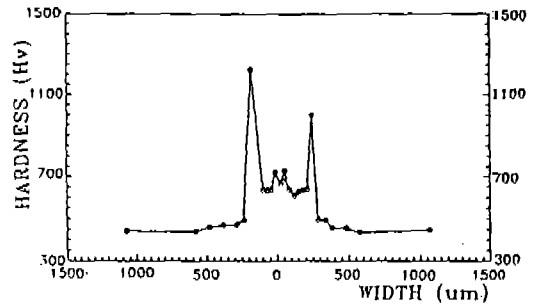
Fig. 2. Optical micrographs of bonded interface of the joints produced at 1503 K for (a) 1 min, (b) 4 min and (c) 100 min with concurrent use of MBF50 and MA 956 powder sheet.

MBF50을 선택한 것은, Fe기 합금에 철이액상화산 접합법을 적용할 때, B함량의 증가에 따라 모재의 용융층이 넓어지고 접합층이나 접합계면에 가까운 모재의 입계에 Cr붕화물이 형성되어 내식성 및 기계적 성질을 저하시키는 것으로 보고되고 있기 때문이다.⁸⁾

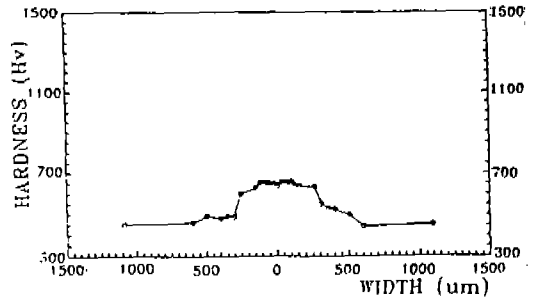
그림 2는 제조된 접합체의 접합이음부를 광학현미경으로 관찰한 결과로서, 유지시간에 따른 미세구조 변화를 나타내고 있다. 이미 유지시간 1분에서 용융된 삽입재는 분말 sheet쪽으로 침투되어 있으며,



(a)



(b)



(c)

Fig. 3. Distribution of Vickers hardness in bonded interface of the joint in Fig. 2: (a) 4 min, (b) 36 min and (c) 100 min.

이상적인 접합이 이루어질 경우, 유지시간이 증가됨에 따라 균질화 과정이 진행되어 접합부의 조성과 미세조직이 모재와 같거나 비슷해져야 할 것이나, 100분의 유지시간에서도 접합부의 균질화는 이루어지지 않은 것으로 보인다. 그림 3에 나타난 접합이음부에 대한 경도분포 조사결과에서도 모재부와 접합부의 경도가 서로 크게 다른 것으로 나타나 균질화가 이루어지지 않았음을 알 수 있다.

이상의 결과를 보다 정확히 확인하기 위하여 그림 2의 조직사진에 표시된 부분들에 대해 SEM 관찰

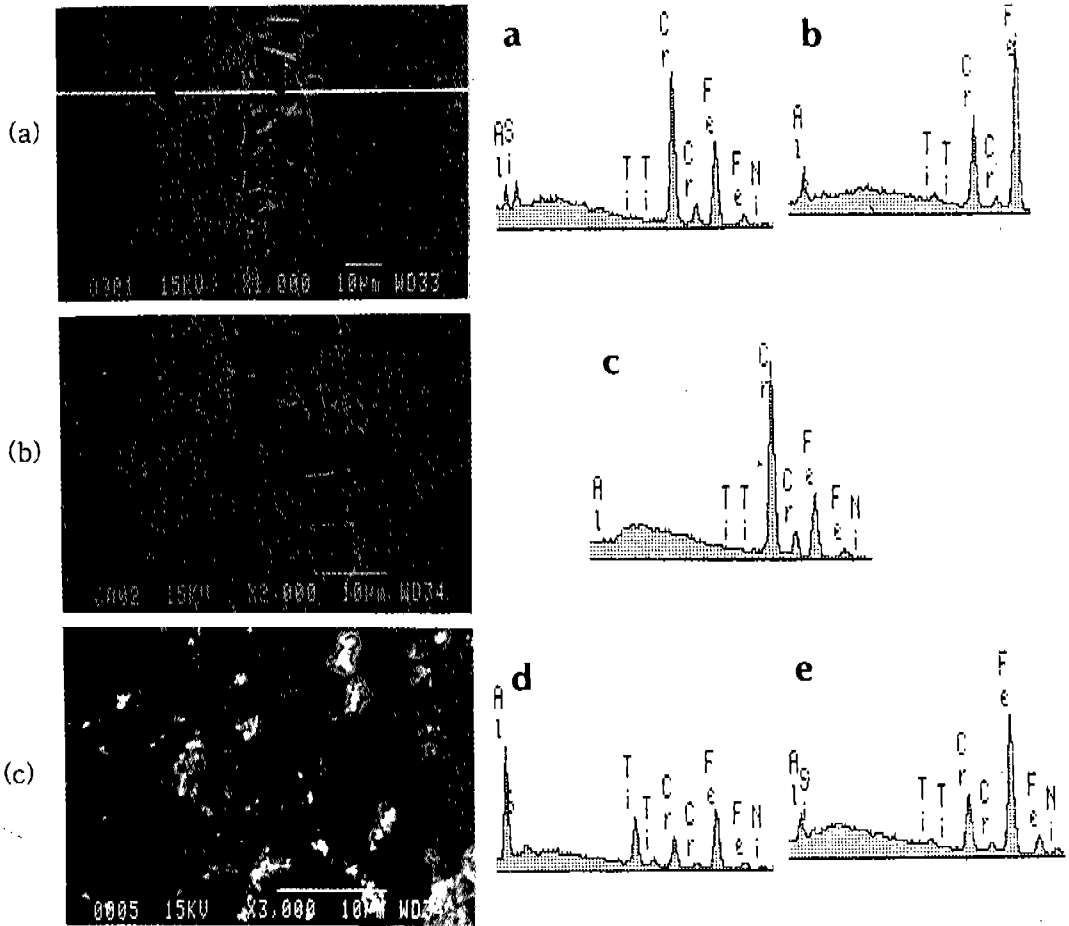


Fig. 4. SEM photographs of the marked regions in Fig. 2 with results of EDS analysis.

및 EDS 분석을 시행한 결과, 그림 4(a)에 나타난 바와 같이 1분의 유지시간에서 접합계면층에 10~20 μm 정도 크기의 침상조직이 관찰되었으며, EDS에 의한 점분석 결과 Cr이 주로 검출되어 기존의 발표된 보고에서와 같은 Cr 봉화물이 형성된 것으로 판단된다. Cr-rich 상의 존재는 4분의 유지시간에서도 관찰되었으며(그림 4(b)), 그림 4(c)에서 보는 바와 같이 100분으로 유지시간을 증가시키더라도 삽입금속을 구성하고 있는 Ni가 접합부 기지내(e 부분)에서 검출되어 삽입금속 성분의 균질화가 완료되지 않았음을 알 수 있다. 또한, 접합계면부 및 접합층내에서 d로 표시된 부분들과 같은 Al, Ti 등으로 이루어진 입상상들이 다수 관찰되어 균질화를 위한 장시간의 열처리 과정으로 인하여 모재내의 분산산화물이 접

합계면부에 응집되었을 것으로 사료된다.

이상의 결과는 MA956 합금의 천이액상확산접합에 상용의 Ni기 삽입금속을 사용할 경우, 모재와 유사한 접합부 미세조직을 얻기 위해서는 균질화 과정에 장시간이 요구되며, 이는 모재내 분산산화물들을 접합계면에 응집케 함으로써 모재의 열화를 야기시킬 수 있다는 점에서 적합치 않음을 시사하고 있으며, 이와 같은 단점을 보완할 수 있는 새로운 삽입금속의 개발이 필요함을 보여주고 있다.

3.2. 모재조성의 새로운 삽입금속(BSi) 제조

일반적으로 이상적인 삽입금속의 구비조건으로는 ① 모재와의 젖음성이 양호하여야 할 것, ② 접합은 도에서 비교적 짧은 시간내에 등온응고가 완료될 것,

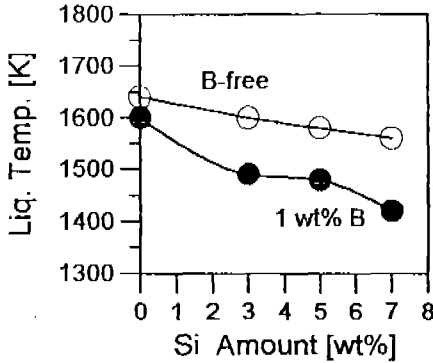


Fig. 5. Change in liquidus temperature of MA956 with amount of additive elements of Si and B.

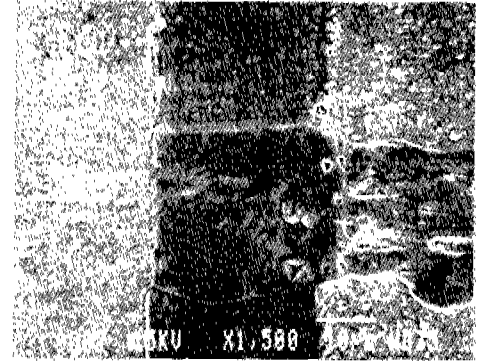
③ 접합이음부의 신뢰성에 악영향을 미치는 금속간 화합물이 형성되지 않아야 할 것 등을 들 수 있다. 본 연구에서는 이와 같은 조건을 갖춘 새로운 삽입 금속을 제조하기 위하여, 앞에서 조사한 상용의 MBF 50에서와 같이 용점강화를 위해 Si와 B를 모재인 MA956합금에 첨가하였다. 그림 5는 열분석실험에 의해 측정된 Si 첨가량에 따른 삽입금속의 액상형성 온도 변화를 조사한 결과로서, B의 첨가 여부와 관계없이, Si량의 증가에 따라서 용점이 강하됨을 알 수 있으며, 1wt% B이 추가로 첨가될 경우에는 더욱 뚜렷한 용점강화 효과를 얻을 수 있음을 보여주고 있다. 즉, 7wt%의 Si가 첨가된 경우 B가 첨가되지 않았을 때의 용점이 1550 K인 것에 비해, 1wt%의 B가 첨가된 경우에는 1420 K로써 MBF50의 용점 정도까지 낮아질 수 있음을 확인하였다. 본 실험에서는 조사된 삽입금속 조성 중 가장 낮은 용점을 보인 7wt% Si과 1wt% B를 동시에 첨가한 삽입 금속을 사용하였다.

3.3. BSi 삽입금속에 의한 접합

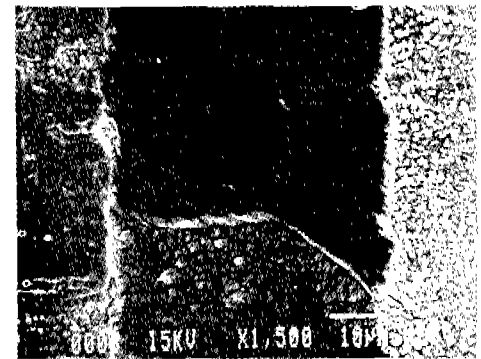
삽입금속으로는 BSi를 사용하고, 접합온도 1553 K, 접합압력 6.9 MPa의 접합조건에서 접합시간을 1분에서 16분으로 변화시켜 접합을 행하였다. 그림 6은 이들 접합체의 이음부에 대한 SEM 관찰 및 EDS 분석 결과로써, 유지시간 1분에서 볼 수 있는 접합층과 모재사이 계면에 존재하는 a로 표시된 막대상은 MBF50의 경우에서 관찰된 것과 같은 Cr-rich 상이며, MBF50을 삽입금속으로 삽입하였을 경우와는 달리 유지시간을 4분으로 증가시킨 경우에는 더 이상



(a)



(b)



(c)

Mark	Detected elements	Remark
a	Cr>Fe>Si≈Al	Cr-rich phase
b	Fe>Cr>Al≫Si	Parent MA956
c	Fe>Cr>Si	Bonded Interface
d	Fe>Cr>Al≫Si	Bonded Interface
e	Fe>Cr>Al	Bonded Interface

(d)

Fig. 6. SEM photographs of bonded interface of the joints produced at 1553 K for (a) 1 min, (b) 4 min and (c) 16 min with use of BSi insert-metal only and (d) the results of EDS analysis for the marked regions.

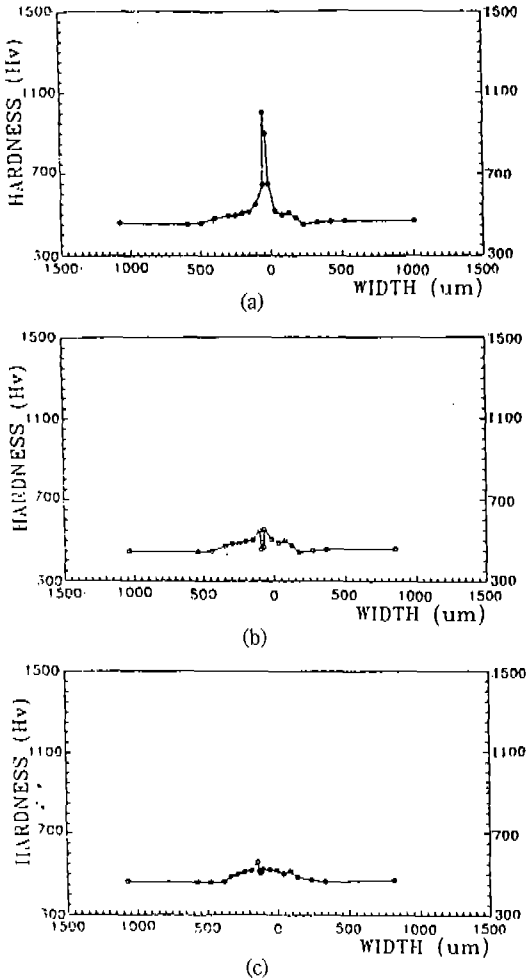


Fig. 7. Distribution of Vickers hardness in bonded interface of the joint in Fig. 6: (a) 1 min, (b) 4 min and (c) 16 min.

관찰되지 않았다. 그러나, 앞서 서론에서 언급한 바와 같은 접합이음부의 기계적 성질에 악영향을 끼치는 것으로 알려진 조대결정립('Bamboo structure')은 이미 접합초기에서부터 관찰되고 있으며, 관찰결과를 제시하지는 않았으나 일부 접합계면을 따라 매우 미세한 산화물들이 국부적으로 존재하고 있음을 확인하였다.

합금원소의 균질화거동은 일반적으로 용점강화 원소인 Si와 B가 모재측으로의 확산에 의해 균질화가 이루어지므로, BSi 삼입금속을 사용한 경우에는 MBF50의 경우에 비해 삼입금속의 조성이 모재의 조성 과 유사하여 Si와 B의 확산이 후자의 경우보다



(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 8. Optical micrographs of bonded interface of the joints produced at 1553 K for (a) no holding, (b) 1 min, (c) 4 min and (d) 16 min with concurrent use of BSi and MA956 powder sheet.

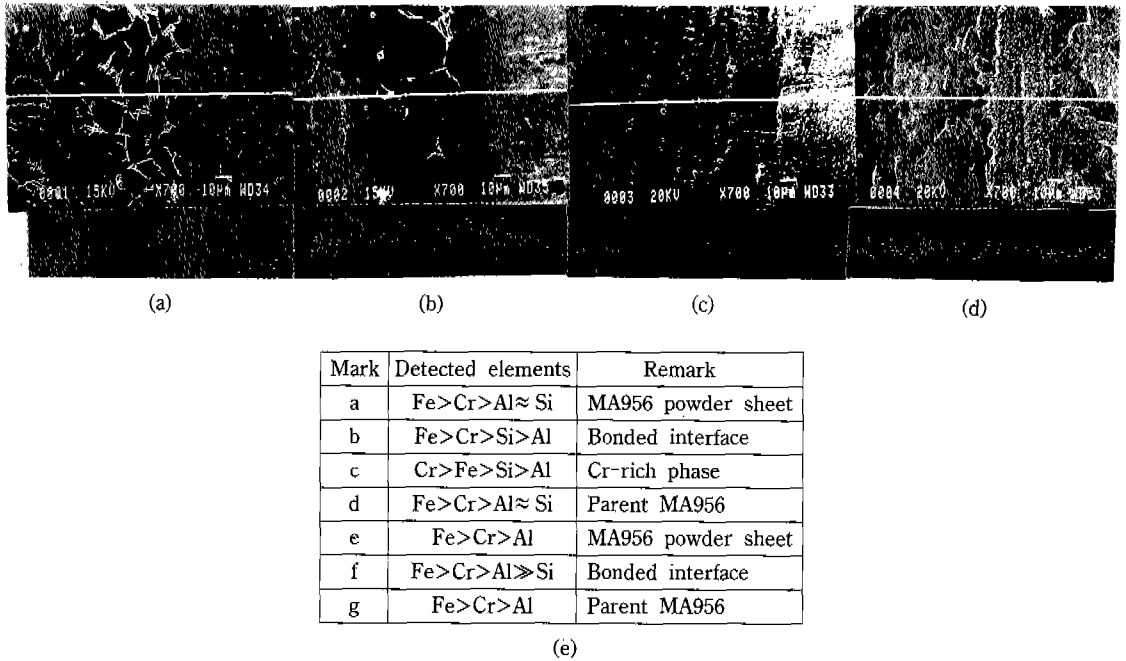


Fig. 9. SEM photographs of bonded interfaces of the joint in Fig. 8 with EDS line-profiles for Si element: (a) no holding, (b) 1 min, (c) 4 min, (d) 16 min and (e) results of EDS point analysis for the marked regions.

용이할 것으로 판단되며, 그림 6에 나타난 접합부 및 모재에 대한 EDS 분석결과에서도, 유지시간을 4분에서 16분으로 증가시킬 경우, 삽입금속을 구성하고 있는 Si의 피크가 거의 나타나지 않음을 확인하였다. 이와 같은 확산거동의 차이는 Cr-rich 상의 형성 및 소멸에도 영향을 미칠 것으로 예상되며 4분 이상의 유지시간에서 Cr-rich 상이 소멸된 것도 이런 영향의 결과일 것으로 추론된다. 실제로 그림 7에 나타난 접합이음부의 경도분포 조사결과에서 보는 바와 같이, 접합부와 모재의 경도가 이미 4분의 유지시간에서부터 뚜렷한 차이를 나타내지 않음으로써 이와 같은 추론을 간접적으로 뒷받침하고 있다 할 수 있으나, 보다 정밀한 확인이 필요할 것으로 사료된다.

이상의 결과에서 본 바와 같이 BSi 삽입금속을 사용한 경우, 합금원소의 균질화가 짧은 시간내에 이루어지고 금속간화합물이 형성되지 않는 등 MBF 50을 사용한 경우에 비해 비교적 양호한 접합이 이루어졌다고는 하나, 접합층내에 형성된 조대결정립과 일부 접합계면부를 따라 존재하는 미세산화물의 편석은 접합체의 기계적 성질에 좋지 않은 영향을

미칠 것으로 사료된다. 따라서 이러한 현상을 억제하기 위하여 균질화과정을 보다 단축시키기 위한 방법으로써 앞서 MBF50에 의한 접합에서와 같은 모재성분의 분말 sheet를 삽입금속과 함께 사용하는 접합방법을 시도하였다.

3.4. BSi 삽입금속과 MA956 분말 Sheet에 의한 접합

BSi 삽입금속과 MA956 분말 sheet를 사용하여 접합온도 1553 K, 접합압력 6.9 MPa, 0~64분의 유지시간으로 접합을 행하였다. 그림 8은 이들 접합체의 접합이음부를 광학현미경으로 관찰한 결과로서, 접합온도 도달 후 바로 온도를 낮춘 경우, 앞서 MBF50을 사용한 경우에는 액상을 형성한 삽입금속이 분말 sheet쪽으로 매우 신속히 침투되었던 것에 반하여, 액상 삽입금속의 침투가 분말 sheet 접촉면에 인접한 부위에만 국한되어 있음을 알 수 있다. 즉, 각각 그림 8의 사진들에 대한 SEM 관찰 및 EDS 분석결과를 나타내고 있는 그림 9(a)~(d)에 나타난 바와 같이, 삽입금속과 접촉하고 있던 분말 sheet 부에는 매우 미세한 Cr-rich 상이 분말입자들 사이에

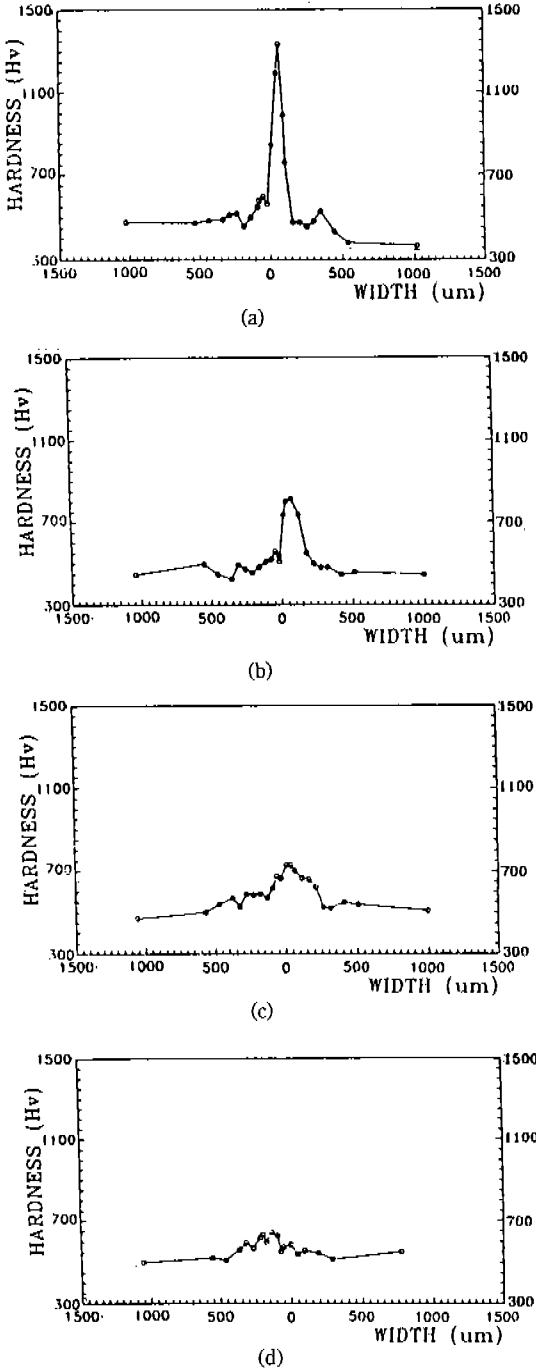


Fig. 10. Distribution of Vickers hardness in the bonded interface of the joint in Fig. 8: (a) no holding, (b) 1 min, (c) 4 min and (d) 16 min.

boundary 형태로 형성되어 있으나(c 부분), 접촉계면으로부터 보다 떨어져 있는 부분(a 부분)에서는

이러한 상들이 매우 드물게 형성되어 있음을 알 수 있다. 유지시간 4분에서는 Cr-rich 상은 더 이상 관찰되지 않으며, 모재와 접한 계면에서 이미 조대 결정립이 형성되어 있으나, EDS 분석결과에서 보는 바와 같이 분말층(e 부분)과 접합계면부(f 부분), 모재부(g 부분)의 조성이 균일해졌음을 알 수 있다. 이와 같은 균질화 거동은, 모재와는 달리 BSi 삽입 금속에만 첨가된 Si 원소의 분포를 유지시간 변화에 따른 EDS 선분석 결과인 그림 9에서도 확인할 수 있는데, 4분 이상의 유지시간에서 이미 Si의 분포가 균일해지고 있고 있음을 알 수 있다. 그림 10에 나타난 접합이음부의 경도분포 조사 결과에서도 모재와 접합이음부의 경도 차이가 유지시간 4분에서 크게 감소하여 균질화가 이루어지고 있음을 확인할 수 있으나, 앞서 BSi 삽입금속만을 사용한 경우와는 달리 모재부와 접합부의 경도차이가 보다 크게 나타나고 있는 것은, 실험방법에서 언급한 바와 같이, 모재부는 제작과정중에 annealing처리를 거친 반면, 분말 sheet는 기계적합금화에 의해 얻어진 분말을 annealing 처리없이 바로 사용하였기 때문으로 생각된다.

4. 결 론

Fe기 산화물 분산강화합금 MA956을 상용 Ni기 삽입금속 MBF50과 모재와 유사한 조성을 갖는 새로운 삽입금속을 제조하여, MA956 분말 Sheet를 함께 삽입하여 천이액상확산접합시킨 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) MBF50을 사용하여 1503 K에서 유지시간을 변화시켜 접합한 경우, 접합계면부에 Cr 화합물이 형성되었으며, 100분의 유지시간에서도 등온응고 후 삽입금속 구성원소의 균질화가 이루어지지 않았으며, 접합층과 접합계면부에서 장시간 열처리에 따른 산화물 응집을 확인하여 MBF50이 MA956의 삽입 재료는 적합치 않음을 알 수 있었다.

2) 모재인 MA956 조성에 7 wt% Si와 1 wt% B를 첨가한 새로운 삽입금속을 제조하여 MA956 분말 Sheet를 사용하지 않고 1553 K에서 접합한 경우, 접합초기에 형성된 Cr 화합물은 유지시간 증가에 따라 소멸되었으며, 등온응고 및 조성 균질화도 4 분과 16분 사이의 유지시간에서 빠른 속도로 완료

되었으나, 접합계면부에 조대한 결정립이 형성되었다.

3) 2)의 삽입금속과 MA956 분말 Sheet를 함께 사용하여 1553 K에서 접합한 경우, 분말 sheet를 사용하지 않은 경우와 마찬가지로 삽입금속과 접촉 하였던 계면측에 조대한 결정립이 형성되어 기대하였던 조대 결정립 형성을 효과적으로 억제하지 못하였음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 93년도 교육부 신소재분야 연구지원 (Ministry of Education Research Fund for Advan-

ced Materials)에 의해 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. J. K. Tien : *Superalloys: Supercomposites and Superceramics*, J. K. Tien and T. Caulfield (Ed.), Academic Press Inc. (1989) 287
2. ODS 合金 特輯, 金屬, 62(5) (1992) 2
3. *P/M of Superalloys*, G. H. Gessinger (Ed.), Butterworth, Chapter 7
4. T. J. Kelly : *Trends in Welding Research*, S. A. David (Ed.), ASM (1981) 471