

研究論文

Ti합금 접합용 Ti-Cu-Ni-Si계 삽입금속의 개발에 관한 연구

김경미* · 우인수* · 강정윤** · 이상래**

A study on the development of Ti-Cu-Ni-Si insert metal for Ti alloys

K. M. Kim*, I. S. Woo*, C. Y. Kang** and S. L. Lee**

Key Words : Insert Metal(삽입금속), Reaction Zone(반응층), Tensile Strength(인장강도)

Abstracts

The purpose of this study is to develop an insert metal which can be brazed at lower temperature than the conventionally used insert metal and provide higher strength joint than base metal.

In the review of binary phase diagram concerning Ti, Cu and Ni resulted in the discovery of Si having eutectic composition with them.

The microstructure and the distribution of elements in reaction zone between CP Ti and insert metal were investigated by Optical Microscopy, SEM/EDX, EPMA, X-RAY.

The newly developed insert metal is Ti-15wt%Cu-18wt%Ni-2wt%Si, which can yield the lower brazing temperature(1183K) compared with the conventional Ti-Cu-Ni system insert metal.

The joints with this insert metal had tensile strength of 380MPa to 385MPa in the bonding temperature range of 1183K to 1243K.

1. 서 론

Ti합금은 내식성이 우수하고, 비강도가 높기 때문에, 앞으로 항공우주를 비롯하여 자동차부품등 일반분야에 이용될 가능성이 높다. 구조용 부품에

널리 사용되기 위해서는 접합기술이 중요하다. 특히, 접합기술 중에서도 브레이징 기술이 많이 사용될 것으로 예상된다.^{1~3)}

Ti합금은 첨가 원소에 따라 α 형, $\alpha+\beta$ 형, β 형으로 분류된다. 상변태가 일어나지 않는 CP Ti 및 α 형 Ti합금은 문제가 없지만, α 형 Ti합금은 용체화처리 온도 이상으로 접합하면 인성이 저하된다. $\alpha+\beta$ 형

* 학생회원, 부산대학교 금속공학과

** 정회원, 부산대학교 금속공학과

합금은 모재의 미세조직을 유지하기 위해서 β Transus이하⁴⁾의 온도에서 접합하여야 하는 문제점이 있다. 결론적으로 Ti합금을 브레이징하는 경우, 사용하는 삽입금속의 용점이 가장 중요하다.

가장 널리 사용되는 Ti계 삽입금속으로는 Ti-Cu-Ni계로써, Cu, Ni은 Ti과 서로 공정조성을 이루어 용점을 낮출 수 있기 때문에 첨가된다. 최근에는 Zr를 첨가한 Ti-Zr-Cu-Ni^{5,6)}계와 Ti-Zr-Cu계가 개발되어 있다. Zr은 Ti과 전용고용체를 이루고 Cu, Ni과 공정조성을 이루어 용점을 낮출 수 있기 때문이다.

본 연구에서는 가격이 비싼 Zr대신에 가격이 저렴한 새로운 원소로 대체하면서도 용점을 낮출 수 있는 원소를 첨가한 Ti-Cu-Ni-X합금의 개발을 시도하였다. Ti, Cu, Ni의 2원계 상태도⁷⁾를 조사한 결과, 용점저하를 가장 많이 이룰 수 있는 원소는 Si이었다. 즉, Ti-8wt%Si, Cu-10wt%Si 및 Ni-10wt%Si에서 공정조성을 이루기 때문에 Ti-Cu-Ni의 기본조성에 Zr대신에 Si을 적당량 첨가하면 Ti-Cu-Ni 3원계 보다 용점⁸⁾을 낮출 수 있을 것으로 예상되었다.

그래서 Ti-Cu-Ni 3원계 합금을 기본조성으로 하여 Si을 첨가한 삽입금속을 제조하고, Ti-Cu-Ni-Si합금의 최적조성을 선정하기 위하여 용점 및 피접성을 측정하고, 모재CP Ti와의 액상확산 접합성을 검토하였다. 이 결과를 토대로, 선정된 삽입금속 Ti-15wt%Cu-20wt%Ni, Ti-15wt%Cu-18wt%Ni-2wt%Si를 사용한 경우에 접합부의 조직변화, 생성상의 분석 및 생성상을 동정하고 액상확산 접합기구를 고찰하였다. 또한, 인장시험을 통하여 접합이음부의 인장성질을 검토하였다.

2. 실험방법

본 실험에 사용된 모재 CP(Commercial Pure) Ti 및 삽입금속의 화학조성은 Table 1에 표시한다. 삽입금속은 Ti-15wt%Cu를 기본조성으로 하여 제 3원소인 Ni의 량을 변화시켜 조성에 맞게 평량하고, 아르곤해로에서 Ar분위기로 모합금을 제조하였다. 제조한 모합금은 다시 석영관(φ10x50mm)을 이용하여 진공 고주파로에서 재용해하였다. 용

Table 1. Chemical composition of base metal and insert metal

Materials	Ti	Cu	Ni	Si	Fe	C	S	O ₂	N ₂
CP Ti	Bal.	-	-	-	0.027	0.0028	-	0.0016	0.0004
TCN20	Bal.	14.95	19.87	-	-	0.007	0.008	-	-
TCNS2	Bal.	15.01	17.82	2.07	-	-	-	-	-
TCNS4	Bal.	15.03	16.03	3.94	-	-	-	-	-

점은 DTA를 통해 측정하였고 여기서 가장 낮은 용점을 갖는 Ti-Cu-Ni 3원계 삽입금속에 용점저하원소인 Si을 첨가하여 Ti-Cu-Ni-Si 4원계 삽입금속을 제조하였다.

피접성 측정은 봉상(φ6x0.2mm)의 삽입금속을 모재 CP Ti(φ15x5mm) 위의 중앙부에 놓고 진공분위기 중에서 측정온도까지 가열하였으며, 유지시간은 60sec로 하였다.

조직관찰용 시험편은 φ10x6mm의 크기로, 인장 시험편은 φ10x35mm 크기로 절단하여, 피접합면을 사포로써 1500번까지 연마하고, 삽입금속과 함께 초음파 세척하여 사용하였다.

접합은 5x10⁻⁵torr의 진공분위기 중에서 소정의 온도까지 고주파 가열하였으며, 접합부의 폭을 일정하게 유지하기 위하여 110μm의 W스페이스(spacer)를 삽입금속과 함께 삽입하여 접합을 행하였다.

생성상의 분석은 EDX 및 EPMA을 이용하여 행하였고, 생성상의 동정은 X-ray를 사용하여 분석하였다.

접합이음부의 기계적 성질은 인장성질로 평가하였으며, 인장시험편은 Fig. 1와 같이 제작하여 사용하였다. 이때 크로스헤드 스피드는 0.5mm/min로 하였다.

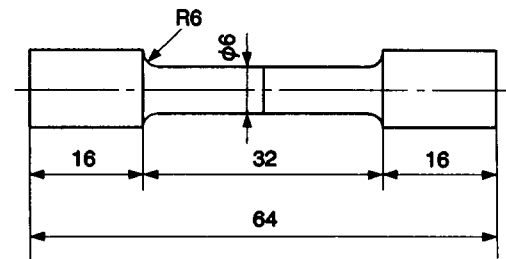


Fig. 1 Dimension of tensile test specimen

3. 실험결과 및 고찰

3.1 삽입금속의 최적조성 선정

3.1.1 삽입금속의 용점 및 퍼짐성

삽입금속의 적정 조성은 다음과 같은 실험을 통하여 선정하였다. 우선, Ti-Cu-Ni 3원계 합금에 대한 용점을 조사하여 가장 낮은 조성을 찾고, 이 조성에 Si을 2, 4, 6 및 8% 첨가한 합금에 대한 용점을 조사하고 용점을 낮출 수 있는 Si함유량을 몇가지 선택한 후, 이 합금에 대하여 퍼짐성과 접합재의 미세조직의 관찰을 통하여 최종조성을 결정하였다.

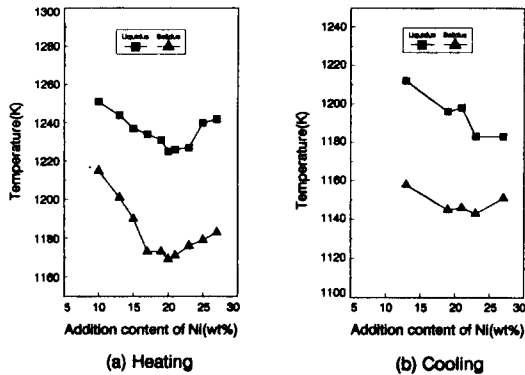


Fig. 2 Melting point changes of Ti-Cu-Ni insert metal

Fig. 2는 Ti-15wt%Cu 2원계합금에 Ni함유량을 10~30wt%범위로 변화시켰을 때의 용점을 측정한 결과이다. 여기서 Cu를 15wt%로 고정한 것은 실험량을 줄이기 위한 일환으로, 시판되고 있는 Ti-Cu-Ni 3원계 합금에서 가장 공통적으로 사용되는 함유량을 기준으로 하였다. (a)는 가열시, (b)는 냉각시 온도를 나타낸다. Ni함유량이 증가함에 따라 용점은 저하하고 약 20wt%근처에서 액상선 및 고상선의 온도가 가장 낮음을 알 수 있다. 이상의 결과로부터, Cu는 15wt%, Ni은 20wt%를 첨가하기로 하였다. 이와같이 첨가된 Ti-15wt%Cu-20wt%Ni합금을 TCN20으로 명명하였다.

다음 단계로, TCN20에 0~8wt%Si을 첨가한 합

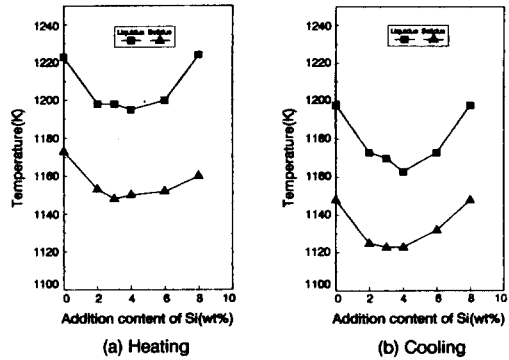


Fig. 3 Melting point changes of Ti-Cu-Ni-Si insert metal

금에 대하여 용점과 Si함유량과의 관계를 조사하여 보았다. Fig. 3은 그 결과를 나타낸다. Si을 2, 3 및 4wt%을 첨가한 경우, Si함유량에 따른 용점의 차이는 아주 적지만, TCN20보다 약 35K 낮은 1163K이다. 그러나 6wt% 이상 첨가하면 용점은 증가한다.

이상의 결과로부터, TCN20에 Si을 2~4wt% 첨가함으로써 예상한 데로 용점을 낮출 수 있음을 알 수 있으며, 따라서 Ti-15wt%Cu-18wt%Ni-2wt%Si (TCNS2) 및 Ti-15wt%Cu-16wt%Ni-4wt%Si (TCNS4) 합금을 삽입금속 후보로 선정하였다.

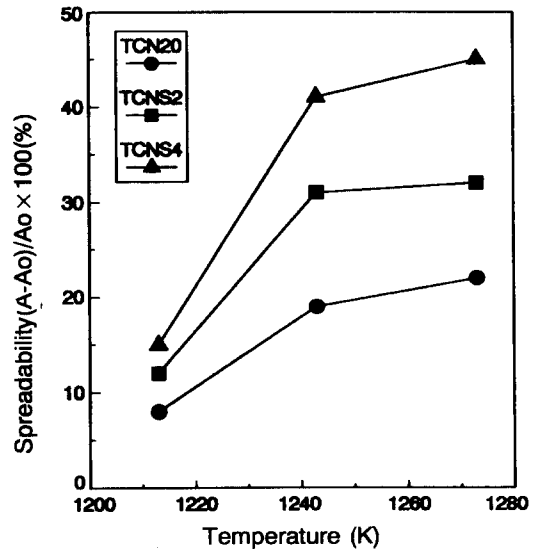


Fig. 4 Spreadability of insert metal on CP Ti with temperature

다음은 CP Ti에 대하여 삽입금속 TCN20, TCNS2, 및 TCNS4의 퍼짐성을 측정하였다. Fig. 4는 퍼짐성에 미치는 삽입금속의 조성과 온도의 영향을 나타낸다. 모든 삽입금속은 온도가 증가함에 따라 퍼짐성은 증가하고, Si이 첨가되면 퍼짐성이 개선되는 것을 알 수 있다.

이상의 결과로부터 TCN20에 Si을 2~4wt% 첨가하면, 젖음성도 개선되는 것을 알 수 있고, 삽입금속의 구비조건인 용점과 퍼짐성만을 고려하면 가장 적절한 삽입금속은 TCNS4인 것으로 판단되었다.

3.1.2 접합부 조직에 미치는 삽입금속 및 접합 조건의 영향

액상화산접합⁹⁾은 브레이징과는 달리 유지시간을 길게하여 용점저하원소를 모재로 확산시켜 액상을 등은용고 시키는 것이 특징이다. 이러한 관점에서 등은용고완료 시간을 조사하고, 등은용고과정 중에 접합시간에 따르는 접합부 근방의 조직 변화를 검토하였다. 접합온도는 삽입금속의 용점보다 약 30K 높은 온도를 최하온도로 정하고, TCN20 삽입금속은 1213, 1243 및 1273K로 TCNS

는 1183, 1213, 1243K로 접합온도를 선정하였다.

Photo. 1 및 Photo. 2는 각각 TCN20과 TCNS2 삽입금속을 사용하여 1243K, 1273K 및 1183K, 1213K에서 접합하였을 때, 유지시간에 따른 접합부 조직의 변화를 나타낸 것이다.

접합시간 0초로 유지한 접합재의 경우, 접합부 내의 조직은 초정조직(피상의 흑색)과 백색조직으로 이루어져 있고, 모재와 계면에는 흑색조직이 존재한다. 백색조직을 SEM으로 확대하여 관찰한 결과(photo. 5 참조), 공정조직인 것으로 확인되었다. 따라서 접합부 내에 초정과 공정조직으로 구성된 조직은 접합온도에서 액상이었음을 암시한다.

액상이라고 추정되는 초정과 공정의 혼합조직은 접합시간이 증가함에 따라서 감소하여, TCN20의 경우에는 접합온도 1243, 1273K에서 900초만에 완전히 소멸하고, TCNS2의 경우에는 1200초만에 완전히 소멸하는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과로부터 접합온도가 높을수록 액상의 소멸속도는 빨라진다는 것을 알 수 있다.

한편, 접합부 계면에 인접한 모재부에는 침상조직이 생기고, 접합시간이 증가함에 따라 침상조직이 존재하는 영역의 폭이 증가하는 경향이 보인다. 액상소멸 기구 및 침상조직의 생성원인에 대해서는 후술한다.

Photo. 1과 Photo. 2의 비교로부터 알 수 있는 바와 같이, 삽입금속의 성분이 달라도 조직이 변화하는 경향은 거의 같다. 그러나 Si이 함유된 TCNS2는 1183K에서 1200초유지에 의하여 등은용고가 완료되었지만, TCN20의 경우는 1183K에서 1200초 유지하더라도 공정조직이 많이 남았다. 이 결과로부터 Si의 첨가는 접합온도를 낮출 수 있다는 것을 알 수 있다.

접합부 조직에 미치는 Si함유량의 영향을 검토하기 위하여 등은용고완료 후의 조직을 비교하여 보았다. Photo. 3은 Si을 함유하지 않은 TCN20(a)과 각각 TCN20에 2 및 4wt%Si ((b) 및 (c))을 첨가한 삽입금속을 사용하여 1243Kx1200sec조건으로 접합한 경우의 접합부 조직을 나타낸다. (a)와 (b)의 경우는 생성상이 보이지 않지만, (c)의 경우는 접합부 중앙에 피상 생성상이 존재하므로 이 생성상에 대하여 EDX로 분석하여 보았다. Photo. 4의 (b) 및 (c)는 각각 접합부 내의 기지(A)와 생성상

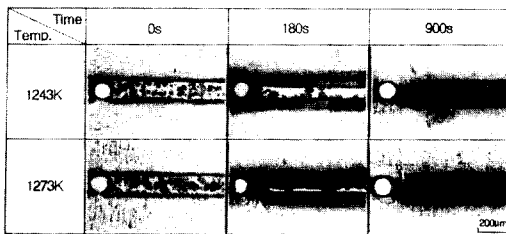


Photo. 1 Microstructures of bonded interlayer in TCN20

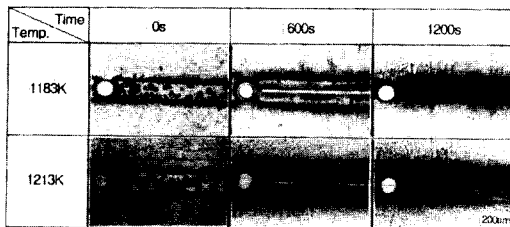


Photo. 2 Microstructures of bonded interlayer in TCNS2

(B)을 점분석한 결과이다. 분석 결과를 비교하여 보면, 생성상은 Si와 Ti의 피크가 나타난다. 이것으로부터 피상의 생성상은 Ti와 Si의 화합물인 Ti-Silicide로 추측된다. 이러한 생성상은 접합재의 기계적 성질에 악영향을 미칠 것으로 예상된다.

이상의 결과로 부터 삼입금속의 기본 조성 TCN20에 Si를 첨가한 경우, 용점저하와 퍼짐성만을 고려하면 TCNS4가 가장 적당하지만, 기계적 성질에 악영향을 미칠 것으로 예상되는 Ti-Silicide가 존재하기 때문에 적당하지 않은 것으로 판명되었다. 그러나, 2wt%의 Si이 첨가된 TCNS 2는 TCN20보다 용점이 낮고, 퍼짐성도 양호하면서, 접합부 내에 취성의 생성상이 존재하지 않기 때문에 가장 적합한 삼입금속이라고 판단된다.

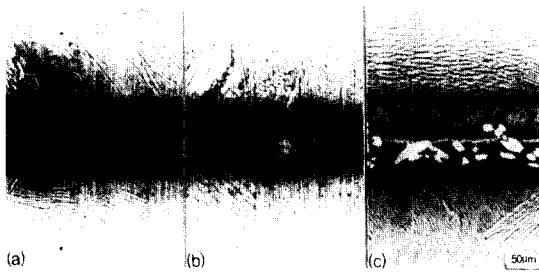


Photo. 3 SEM STRUCTURE OF THE JOINT (B. C. :1243K×1200Sec)
(a) TCN20 (b) TCNS2 (c) TCNS4

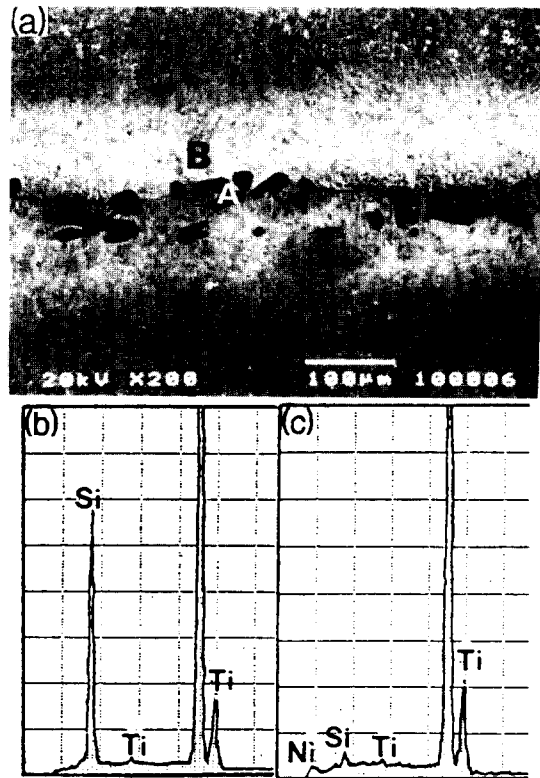


Photo. 4 SEM structure and EDX analysis pattern of the joint

SEM	Part I	Part II	Part III	Part IV
Phases	A: Pro-eutectoid Ti ₂ (Ni, Cu) B: α-Ti+(Ti ₂ Cu, Ti ₂ Ni) or Ti ₂ (Ni, Cu)	Pro-eutectic C: Cu rich Ti ₂ Cu, Ti ₂ Ni D: Ni rich Ti ₂ Cu, Ti ₂ Ni E: α-Ti+(Ti ₂ Cu, Ti ₂ Ni)	same as Part I	F: α-Ti G: α-Ti+(Ti ₂ Cu, Ti ₂ Ni)

Photo. 5 A summary on causes of phase formation according to EDX and X-ray analysis

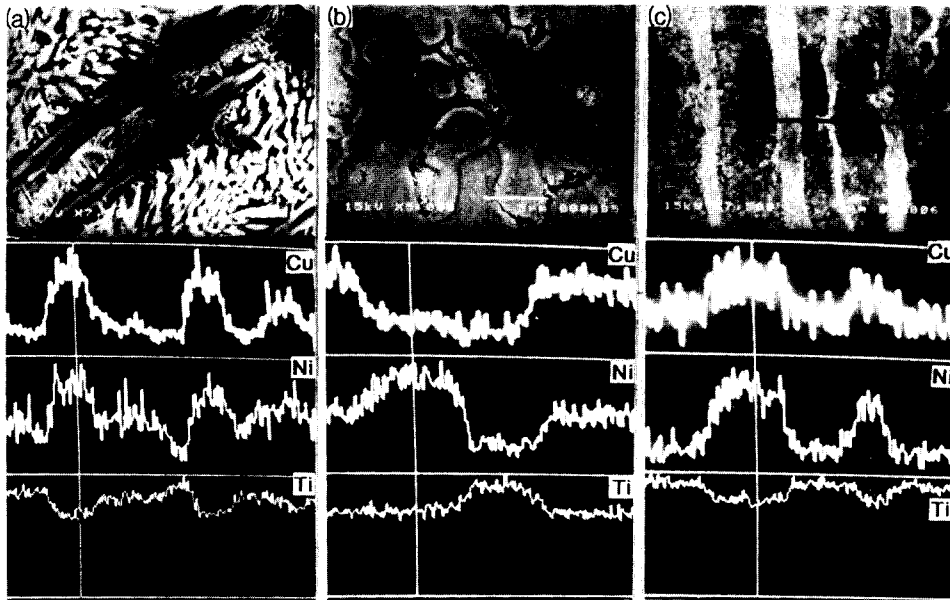


Photo. 6 SEM structure and EDX analysis of the joint

3. 2 액상소멸과정중의 접합부의 조직변화 및 고찰

3. 2. 1 접합부 조직의 분류와 생성과정

Photo. 1 및 Photo. 2에서 알 수 있는 바와 같이 접합초기의 접합부의 조직은 액상삽입금속의 냉각에 의한 초정 및 공정조직의 혼합조직과, 모재근방의 침상조직 등으로 이루어져 있으나 접합시간이 길어짐에 따라서 초정조직은 사라지고 공정조직의 량이 감소하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 접합부 조직 변화를 자세히 검토하고자 각 조직에 대한 성분분석과 상동정을 행하여 보았다.

Photo. 5는 TCN20의 삽입금속을 사용하여 1273Kx60sec의 조건으로 접합한 시편의 SEM조직을 나타낸 것이다. 접합부 근방에 존재하는 조직은 크게 4종류의 조직으로 나눌 수 있다. 즉, 접합부 내에 존재하는 백색조직(I: 광학현미경상(Photo. 1(a))으로는 초정조직), 접합부 내의 흑색조직(II: 광학현미경상으로는 백색조직), 모재의 경계에 존재하는 백색조직(III), 모재/접합부 계면에 존재하는 침상조직(IV)으로 나눌 수 있다. 즉, I

의 조직은 막대상의 조직(A)과 층상조직(B)으로 이루어져 있으며, II의 조직은 기지조직(C), 괴상조직(D), 층상조직(E)으로 이루어져 있으며, III의 조직은 I의 조직과 같고, IV의 조직은 기지조직(F)와 미세적으로는 층상조직으로 되어 있는 침상조직으로 이루어져 있다.

이들 각 조직을 점분석한 결과, Ti를 주피크로 하고, Ni 및 Cu피크가 나타났다. 그래서 각 상의 조성을 명확히 하기 위하여 이들 원소에 대하여 선분석을 행하였다. 그 결과를 Photo. 6에 나타낸다.

이것으로부터 I의 막대상 조직은 층상조직보다도 Cu, Ni 농도가 높고, II의 조직에서는 기지는 Cu피크가, 괴상은 Ni피크가, 층상은 Ti피크가 높고, IV의 조직에서는 층상조직으로 이루어진 침상조직이 Cu 및 Ni이 기지조직보다 많이 함유한 것을 알 수 있다.

각 조직이 어떤 상들인가를 조사하기 위하여 접합계면과 평행한 방향으로 접합부 위치에서 절단하고, 각각 I 및 II조직, III조직, IV조직이 전면에서 나타나도록 연마한 후, XRD로 분석하였다. 그 결과 모든 조직에서 α Ti, Ti_2Ni 및 Ti_2Cu 이 동정되었다.

이상의 분석결과로 부터, 기지조직은 α Ti이지

만, Cu 및 Ni고용량이 부위에 따라서는 다를 것으로 추측되고, 막대상은 $Ti_2(Ni, Cu)$ 이고, 층상조직 및 침상조직은 $\alpha Ti + (Ti_2Ni, Ti_2Cu \text{ 혹은 } Ti_2(Ni, Cu))$ 의 혼합조직인 것으로 추측된다.

3.2.2 액상소멸현상에 대한 고찰

Ni합금의 액상확산접합에 있어서 액상소멸은 이론적 해석과 실험 검증으로부터 모재쪽으로 용점저하원소의 확산에 의해서 가속되는 것으로 보고되고 있다¹⁰⁾. 본 실험의 액상소멸과정에 대하여도 같은 방법으로 해석하여 보았다.

이 이론에 의하면, 액상폭과 유지시간과의 사이에는 다음 (1)식이 성립하는 것으로 알려져 있다¹⁰⁾.

$$2x = 2h - (4C_s / \pi^{1/2} \cdot V_s) (C_l/V_1 - C_s/V_s)^{-1} (Dt)^{1/2} \quad (1)$$

단, $2x$: 임의의 시각 t 에 있어서 액상폭, $2h$: 액상의 초기폭, C_s : 접합온도에서 고액계면의 고상 중의 용점저하원소의 mol분율, V_s : 접합온도에서 고상의 mol체적, C_l : 접합온도에서 액상 중의 용점저하원소의 mol분율, V_1 : 접합온도에서 액상의 mol체적, D : 고상(모재) 중 용점저하원소의 확산계수이다.

(1)식을 액상의 감소폭인 $2(h-x)$ 로 정리하면, (2)식으로 된다.

$$2(h-x) = (4C_s / \pi^{1/2} \cdot V_s) (C_l/V_1 - C_s/V_s)^{-1} \cdot (Dt)^{1/2} \quad (2)$$

여기서 액상폭 $2(h-x)$ 와 $t^{1/2}$ 의 관계를 표시하는 그래프의 기울기를 m 이라고 하면, m 은 (3)식으로 표시된다.

$$\ln m = \ln \{ (4C_s / \pi^{1/2} \cdot V_s) (C_l/V_1 - C_s/V_s)^{-1} \} + 1/2 \ln D_0 - Q/2RT \quad (3)$$

여기서 C_s 및 C_l 은 온도의 함수이지만, 본 실험의 경우는 3원계이므로 정확한 값을 얻기가 어렵고, 온도 차이에 따라 첫째 항의 값에 큰 영향을 주지 않기 때문에, 첫째 항을 정수라고 가정하였다. 따라서 첫째 항과 둘째 항이 정수이므로 $\ln m$ 과 $1/T$ 은 직선관계가 있고, 이 수식으로부터 액상소멸과정의 활성화에너지 값을 구할 수 있다.

액상소멸현상을 검토하기 위하여 삼입금속으로 TCN20을 사용하여 접합온도 및 접합시간에 따르

는 액상량의 변화를 검토하여 보았다. 접합온도에서 액상량을 정확히 정량하기 어려우므로, 냉각 후의 조직 중에 초정과 공정조직으로 이루어진 혼합조직 (Photo. 1 참조)을 액상이라고 가정하여 정량화하였다.

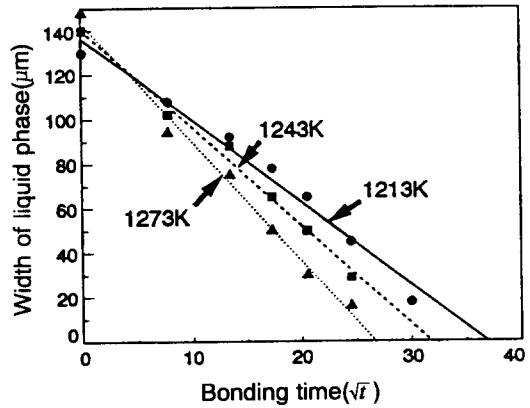


Fig. 5 Relation between width of liquid phase and bonding time at various temperature

Fig. 5는 접합시간의 변화에 따르는 초정과 공정조직으로 이루어진 혼합조직의 평균폭의 변화를 나타낸 것이다. 접합시간의 평방근과 액상이라고 여겨지는 혼합조직(초정 및 공정조직)의 폭은 (2)식에서 기대한 대로 직선관계가 있음을 알 수 있다. 이것으로부터 본 실험에서도 액상소멸과정은 확산속과정인 것으로 판단된다.

Fig. 6은 Fig. 5의 종축을 액상의 감소폭 $2(h-x)$ 으로 환산하여 만든 그래프로부터, 각 온도에서 직

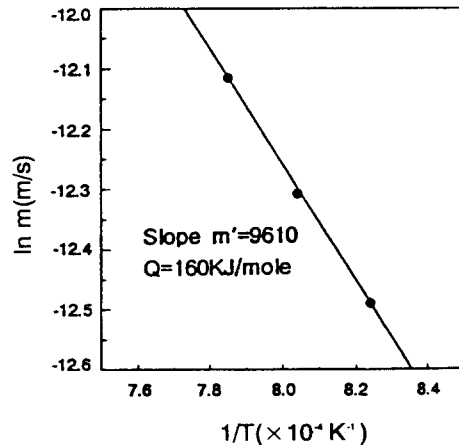


Fig. 6 Relation between $\ln m$ and $1/T$

선 기울기를 구하여, 이 기울기의 자연대수인 $\ln m$ 과 접합온도의 역수인 $1/T$ 의 관계를 나타낸 것이다. $\ln m$ 과 $1/T$ 과의 사이에는 직선관계가 성립하고, 그 직선식은 다음식으로 표시된다.

$$\ln m = -4.94 - 9610/T \dots\dots\dots (4)$$

(3)식과 (4)식으로부터 활성화에너지를 구하면, 약 160kJ이 된다. Ti 중에 Ni 및 Cu의 확산에 필요한 각각의 활성화에너지(불순물 확산)^{11,12)}의 값 132kJ 및 241kJ과 실험으로부터 구한 활성화에너지의 값을 비교하면, 실험치로부터 구한 활성화에너지의 값은 Ni의 활성화에너지 값보다 약 30-40kJ 정도 높지만, Cu의 활성화에너지 값보다는 낮은 중간값이다. 이것으로부터 액상소멸현상은 응점저하원소인 Cu, Ni 등이 모재측으로 확산하여 접합이 완료되는 확산과정에 의해 가속될 것으로 추측된다.

3.2.3 침상조직의 생성 원인에 대한 고찰

Fig. 7은 접합시간에 따른 모재의 침상조직이 존재하는 영역의 폭을 접합부와 모재의 계면으로부터의 확산 거리로 측정 한 결과이다. 접합초기에는 빠른 속도로 증가하지만, 일정 시간이 지나면 서서히 증가하는 경향이 보이고, 접합온도가 높을수

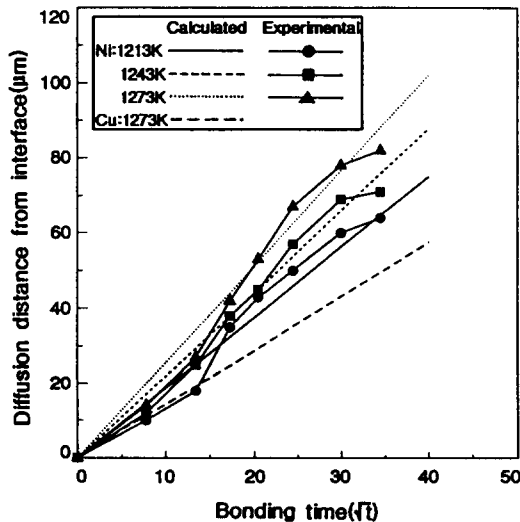


Fig. 7 Comparison among experimental values and calculated ones on the diffusion distance from interface

록, 존재하는 영역의 폭은 넓은 것을 알 수 있다.

이 조직의 생성 원인은 Cu, Ni의 확산에 의한 것으로 추정되지만, 아주 짧은 시간에 넓게 분포하고, 방향성을 가진다는 것이 특징이다. 그래서 접합시간 동안에 접합부의 고-액계면이 이동하지 않는다는 가정하에, Cu, Ni의 확산거리를 다음식을 이용하여 계산하였다.

$$x_{Ni} = \sqrt{D_{Ni}t}, \quad x_{Cu} = \sqrt{D_{Cu}t}$$

$$D_{Ni} = D_0 \exp\left(-\frac{Q_{Ni}}{RT}\right), \quad D_{Cu} = D_0 \exp\left(-\frac{Q_{Cu}}{RT}\right)$$

x : 확산 거리 D : 확산 계수

Q : 활성화에너지 t : 접합시간

그림에서 데이터가 표시되어 있지 않은 선들은 1차원 확산 모델을 가정하여, 각 접합온도에서 계산한 Cu, Ni의 확산거리의 계산치이다.

이것으로부터 침상이 존재하는 영역의 폭과 확산거리와는 밀접한 상관관계가 있다는 것을 알 수 있다. 특히 Ni의 확산과 관계가 깊다. Photo. 6의 분석 결과인 침상조직은 Cu보다 Ni의 함유량이 많은 것과 잘 일치한다.

특히, Ti 중의 Cu 및 Ni의 확산속도는 결정방위에 따라 차이가 나는 것으로 보고¹³⁾되고 있다. 결국 확산속도가 빠른 결정면에 따라 Cu 및 Ni 농도가 높아, 침상 형태로 나타나는 것으로 추측된다. 또한 냉각 도중에 Cu, Ni농도가 높은 β 고용체는 $\alpha Ti + (Ti_2Ni, Ti_2Cu$ 혹은 $Ti_2(Ni, Cu))$ 로 변태하기 때문에 침상조직으로 나타나는 것으로 생각된다.

3.3 CP Ti 접합부의 인장성질

접합이음부의 기계적 성질을 평가하기 위한 일환으로 인장시험을 행하였다. Fig. 8 및 Fig. 9는 각각 TCN20 및 TCNS2 삽입금속을 사용하여, 인장성질에 미치는 삽입금속의 두께 및 접합온도의 영향을 조사한 것이다. 접합시간은 1200s로 고정하고, 접합온도를 1183, 1213 및 1243K로 변화시키고, 삽입금속의 두께는 50 μm , 110 μm , 200 μm 으로 변화시켰다. Ti 합금 브레이징시 삽입금속의 두께에 따라 강도가 변하는 것으로 알려져 있으므로 두께를 변화시켜 보았다.

여기서 파선으로 표시된 것은 모재의 인장강도 및 연신율을 표시한다. Fig. 8 및 Fig. 9로부터, 사

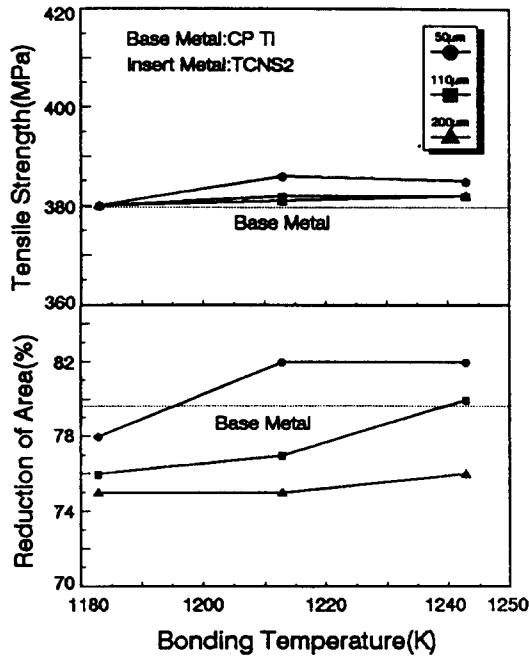


Fig. 8 Tensile properties of CP Ti joints brazed with thickness of insert metal (TCN20)

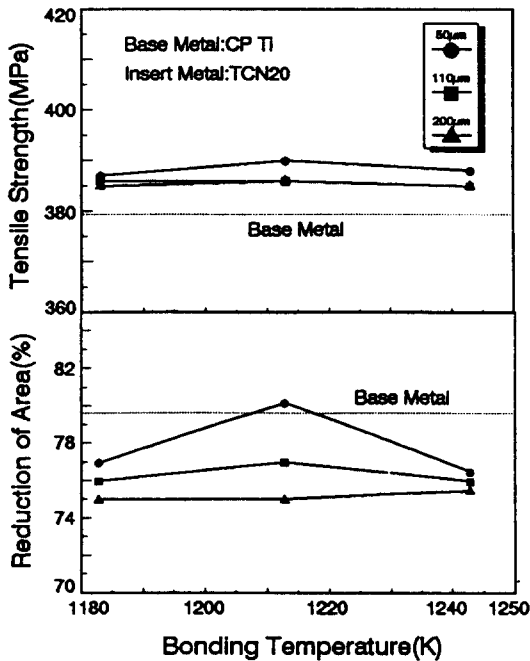


Fig. 9 Tensile properties of CP Ti joint brazed with thickness of insert metal (TCNS2)

용한 삽입금속의 종류 및 두께에 관계없이 주어진 모든 접합조건에서, 접합부의 강도는 모재의 강도보다 우수함을 알 수 있다. 단, 단면수축율은 삽입금속의 두께가 증가할수록 저하하는 경향이 있지만, TCNS2를 삽입금속으로 사용하여 1213K(두께:50µm) 및 1243K(두께:50µm, 110µm)로 접합한 경우와 TCN20을 삽입금속으로 사용하여 1213K(두께:50µm)로 접합한 경우만이 모재보다 높았다.

Photo. 7 및 Photo. 8은 인장시험후의 전형적인 파단 시험편의 형상과 파단면의 SEM조직을 나타낸 것이다. 파단면은 전형적인 연성파단면을 나타내고 있다.



Photo. 7 Photograph of specimen after tensile test

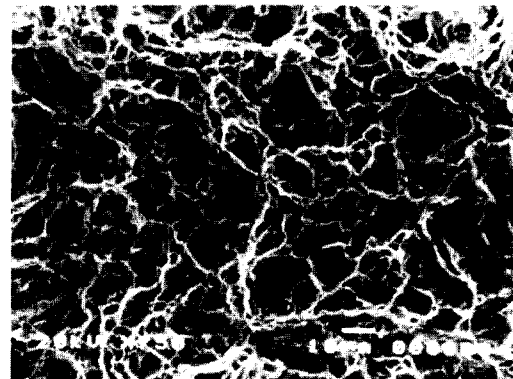


Photo. 8 SEM structure of fracture surface

이상의 결과로 부터, TCN20과 TCNS2를 사용한 접합이음부는 단면수축율은 다소 낮지만, 모재보다 우수한 강도를 얻을 수 있음을 알 수 있는데, 특히 TCNS2의 삽입금속을 사용한 경우에는 적정 접합조건을 선택하면, 모재보다 높은 단면수축율과 인장강도를 얻을 수 있으며 TCN20 삽입금속으로 접합이 불가능한 낮은 온도(1183K)에서도 모재에 필적하는 인장성질을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

Ti합금 접합용 Ti-Cu-Ni-Si계 삽입금속을 개발하기 위한 목적으로, Ti-Cu-Ni계 합금에 Si를 첨가하여 삽입금속을 제조하고, 용점, 퍼짐성 및 접합부 조직을 검토하여 최적조성을 선정하였다. 또한 접합부의 액상소멸과정, 접합부 조직 변화에 대한 이론적인 고찰과 접합이음부의 인장성질에 대하여 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 삽입금속 TCN20에 Si를 2~4wt% 첨가한 결과, 약 35K의 용점저하 효과가 있었고, 퍼짐성도 개선되었다.

(2) 삽입금속 TCN20, TCNS2를 사용하여 접합한 경우, 1213Kx1200sec, 1243Kx900sec, 1273Kx900sec에서 액상이 소멸하였다. 특히, TCNS2의 경우는 접합조건 1183Kx1200sec에서 액상이 완전히 소멸한 등온응고 조직이 얻어졌다.

(3) Ti-Cu-Ni 및 Ti-Cu-Ni-Si계 삽입금속을 사용한 CP Ti의 액상확산 접합의 액상소멸과정은 이론적 해석과 실험적 검토로부터, 용점저하원소인 Ni 및 Cu 등이 모재쪽으로 확산하는 확산과정에 의해 율속되는 것으로 판명되었다. 또한, 이 과정의 활성화에너지 값을 구한 결과, 약 160KJ이었으며 이 값은 Ni의 불순물 확산에 대한 활성화에너지 값 132KJ 보다 크고, Cu활성화에너지 값 241KJ보다 작은 값이었다.

(4) 삽입금속 TCN20, TCNS2를 사용하여 접합한 경우 시험편은 모두 모재에서 파단하였고 인장강도는 모재와 거의 같거나 높은 값을 얻었다.

(5) 개발된 삽입금속 TCNS2를 사용하여 접합하면 모재에서 파단하는 인장특성을 얻을 수 있고,

기존의 Ti계 삽입금속보다 낮은 온도에서 접합이 가능하였다.

후기 : 본 연구는 1994년 문교부 지원 학술진흥재단의 자유공모과제 학술연구조성비에 의하여 수행된 것으로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 恩澤 忠男 : 溶接技術, No. 4, (1989), P. 56
2. 式村 厚, 宮本 淳之 : 溶接學會誌, 第57卷, 第1號, (1988), P. 42
3. 玉谷 英樹 : 溶接技術, No. 5, (1989), P. 77
4. 恩澤 忠男 : 溶接技術, No. 4, (1989), P. 60
5. 草道 : チタン工業の現況 日本金屬學會會報, 第17卷, 第3號, (1978), P. 220
6. 恩澤 鈴村, 高明玩 : 日本溶接學會 論文集, 第5卷, 第2號, (1987), P. 205
7. Massalski, B : Binary Alloy Phase Diagrams, Vol. 1, Vol. 2, ASM (1986)
8. 雀部 謙 : 溶接技術, No. 5, (1990), P. 68
9. D. S. Duvall ; W. J., 53-4(1974), P. 299S
10. 姜, 中尾 : 日本溶接學會 論文集, 第7卷, 第2號, (1989), P. 36, 47
11. 日本金屬學會編 : 金屬Data Book, (1984), P. 28
12. 李成烈 平野 賢一 : Ti合金の擴散に關する研究(學位論文), (1989), P. 159
13. G. B. Gibbs, D. Graham and D. H. Tomlin : Phil. Mag. 8, (1963), P. 1269