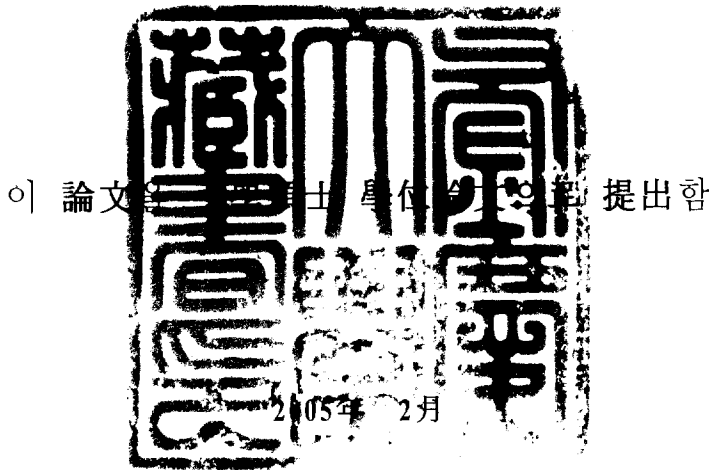


工學碩士 學位論文

超硬合金과 高速度工具鋼의 接合特性에
관한 研究

指導教授 鄭 鎬 信



釜慶大學校大學院

材料工學科

李 淸 雨

李 清 雨의 工學碩士 學位論文을 認准함

2004年 12月

主 審 工學博士 朴 燦



委 員 工學博士 鄭 海 用



委 員 工學博士 鄭 鎬 信



초경합금과 고속도 공구강의 접합특성에 관한 연구

목차

1 서론	1
1-1 실험배경 및 목적	1
1-2 초경합금의 정의	3
1-3 브레이징의 특징	5
1-4 확산접합의 특징	10
1-4-1 확산접합의 접합기구	12
1-4-2 접합계면 반응	16
2 실험방법	17
2-1 실험재료	17
2-2 브레이징 접합조건	19
2-3 확산접합 접합조건	19
2-4 미시조직 관찰과 경도측정	22
2-5 굽힘시험 및 파면 관찰	22
3 실험결과 및 고찰	23
3-1 굽힘 시험 결과	23
3-2 접합부 삼입금속의 경도 측정 결과	33
3-2 접합부의 미시조직 관찰 및 파면 관찰 결과	36
3-4 고속도 공구강의 경도 측정 결과	46
3-5 접합부의 XRD 분석 결과	48
4 결과	50
5 참고문헌	52

**Study on Bonding Characteristics of High Speed Steel to Tungsten
Carbide Hard metal Dissimilar Joint**

Chung-woo Lee

*Department of Material Science and Engineering, Graduate School
Pukyong National University*

Abstract

The joining of hard metal to high speed steel is usually carried out by brazing or diffusion bonding. Even the cost of consumables is low in brazing, brazed joints usually don't have sufficient strength compared to the diffusion bonded joints in the high temperature, and there is high risk of porosities. This study was carried out to compare diffusion bonding with brazing to obtain proper joining method using permalloy and AWS1009 as insert metals. Both AWS1009 and permalloy were used in the brazing whereas permalloy was used only in diffusion bonding.

It was shown that diffusion bonding was proper for joining of hard metal to high speed steel. The bend strength increased with an increase of insert metal thickness, bonding time and degree of bonding surface roughness.

1 서론

1-1 실험배경 및 목적

현재 각종 금형용 펀치 및 절단용의 환도를 비롯하여 소성가공용의 각종 공구는 금속재료 중에서 비교적 마모저항이 우수하다고 알려져 있는 고속도 공구강을 열처리하여 사용되고 있다. 그러나 이러한 각종의 공구는 소재를 펀칭가공, 압출가공 및 절단 가공에 사용할 경우에 마모가 심하게 발생하여 수명이 짧다고 하는 문제점을 가지고 있다. 특히 경도가 그다지 높지 않고 연성적인 재료인 스테인리스강이나 알루미늄 합금 등에 가공에 사용할 경우 소재와 펀치가 소착되어 공구와 가공 대상재 사이의 마찰저항이 커져서 공구가 심하게 마모되어 가공이 거의 불가능한 상태가 될 뿐 아니라 그 수명이 단축된다는 단점을 가지고 있다.

이러한 측면에서 각종 공구의 마모저항을 높이기 위해서 공구의 몸체인 shank의 선단부만을 내마모 특성이 우수한 WC-Co계 초경합금으로 하고 몸체인 shank는 고속도강으로 하여 접합하게 되면 고가의 재료인 초경합금의 사용량을 대폭 줄이면서 공구의 수명을 대폭적으로 향상시킬 수 있는 초경-고속도강 이종재료의 접합이 절실하게 요구되고 있다. 또한 각종의 소성가공용 공구 및 금형의 경우, 용도에 따라서 그 형상이 매우 다양하며, 가공 대상재료도 매우 다양하므로 새로운 수요가 창출될 수 있는 분야가 매우 넓다는 특징을 가지고 있다. 따라서 고속도공구강과 초경합금 이종재료의 접합 기술 개발은 새로운 수요의 창출과 기존 공구의 기능 향상 및 고가의 소재 절약에 따른 경제성의 확보 및 가치 제품 개

발에 따른 대외 경쟁력 향상 등에 기여할 수 있을 뿐 아니라 접합하기 매우 어려운 이종재료 접합 기술의 정립이라고 하는 측면에서 매우 유용한 연구로서 산업계 전반에서 절실하게 개발이 요구되고 있는 분야이다.

따라서 본 연구에서는 초경합금과 고속도공구강 이종재료의 접합과 관련하여 shank부는 고속도공구강으로 하고 마모저항이 요구되는 선단부만을 초경으로 하여 이종재료의 접합 방법에 대한 연구를 실시하였다.

초경재료와 고속도 공구강 이종재료의 접합 방법으로는 브레이징이나 확산 접합을 적용할 수 있고, 이 두 가지 방법 모두 각각의 특징을 가지고 있지만 공구의 적용분야에 따라서 그에 적합한 접합 방법의 선정이 매우 중요하다.

본 연구에서는 고속도 공구강과 초경 이종재료의 접합에 있어서 브레이징법과 확산접합법을 이용하여 보다 최적의 접합 방법을 찾고자 하였고, 고속도 공구강의 경도와 접합강도에 영향을 미치는 인자를 찾아 초경-고속도강의 이종재료 접합법의 확립을 목적으로 연구를 수행하여 현업에 유용한 데이터를 정립하고자 하였다.

1-2 초경합금의 정의

초경합금(hardmetalle, hard metals, cemented carbides)이란 주기율표 IVa, Va, VIa 족에 속하는 9종류의 금속탄화물을 대상으로 하여 이들 탄화물 분말을 Fe, Co, Ni 등의 철족 금속을 이용하여 소결 결합한 합금을 총칭하는 것이다. 이 계통의 합금은 상온에서의 경도는 물론 고온 경도가 우수하며 강도가 높다는 특징을 가지고 있다.

Table 1¹⁾에는 대표적인 탄화물계 초경재료를 나타내었다. 이 중에서 WC-Co합금의 기계적 성질이 가장 우수하기 때문에 이 합금계를 가리켜 초경합금이라고 한다. 이러한 초경은 각종 공구를 비롯하여 여러 분야에 다양하게 적용되고 있다. TiC-NiP 합금도 초경합금의 일종이지만 일반적으로 cermets이라고 하며 제트 엔진 등의 초 내열 재료로서 주목 받아왔지만 최근에는 절삭공구용의 재료로서 새롭게 주목받고 있다.

Table .1 Properties of hard metals

carbide property		TiC	ZrC	HfC	VC	NbC	TaC	Cr ₃ C ₂	Mo ₂ C	WC
		molecular	59.9	103.2	190.6	63.0	104.9	192.9	180.1	203.9
carbon content(%)	20.5	11.64	6.30	19.06	11.45	6.23	13.34	5.89	6.13	
crystal structure	NaCl type	NaCl type	NaCl type	NaCl type	NaCl type	NaCl type	orthorhombic	hexagonal	hexagonal	
lattice parameter(Å)	4.32	4.669~4.689	4.64	4.16	4.461~4.469	4.455~4.456	a =2.82 b =5.53 c=11.47	a=3.002 c=4.742	a=2.900 c=2.831	
melting point(°C)	3,200~3,250	3,200~3,250	3,890	2,800	3,500~2,800	3,800	1,750~1,900	2,500	2,900	
density	theoretical	4.938	6.44~6.51	12.7	5.81	8.20	14.53	-	9.2	15.5~15.7
		4.90~4.93	6.9	12.6	5.36	7.76	14.49	6.68	8.2~8.9	15.6
비저항 (μ Ω-cm)	180~200	70~75	109	150	74	30	-	97.5	53	
열전도율 (cal/cm sec °C)	0.041	0.049	-	-	0.034	-	-	-	-	
미소경도	3,000~3,200	2,600	2,900	2,100	2,400~2,470	1,800	1,300	1,800	1,780	
탄성율(kg/mm ²)	32,100	26,000	29,000	27,300	34,600	29,000	-	22,600	72,000	
산화저항 상한온도(°C)	1,100~1,200	1,100~1,200	1,100~1,200	800~900	1,000~1,100	1,000~1,100	1,100~1,200	500~800	500~800	

1-3 브레이징의 특징

가. 브레이징의 정의

브레이징은 모재를 용융시키지 않고 접합부에 용융한 삽입재를 유입시켜 냉각·응고시켜 접합하는 방법이다. 「삽입재」로는 접합하는 모재보다도 용점이 낮고 모재와의 친화력이 좋은 합금 또는 순금속을 이용한다.

브레이징은 사용하는 삽입재의 용점이 450 °C 또는 그 이상의 경우를 지칭하고, 450 °C 이하인 경우를 「솔더링」이라고 한다. 이와 같은 분류는 브레이징과 솔더링의 발전의 경위가 다른 것에 의한 것으로 관습적인 것이지만, 용점이 450 °C 정도인 삽입재가 없었기 때문이기도 하다. 국제적으로도 일반적인 분류 방법이고, ISO(국제표준화기구)에서도 동일하게 분류하고 있다.²⁾

브레이징의 최대의 특징은 모재가 용융되지 않는다는 점이고, 그 때문에 모재에 미치는 열 영향이 적다. 따라서 접합에 따르는 모재의 열화가 적고, 얇고 소형이며 형상이 복잡한 경우에도 접합이 가능하다. 그리고 다양한 삽입재를 사용할 수 있기 때문에 이종재료와 특수한 재료와의 접합이 가능하다. 그리고 브레이징을 하면 모재와 비슷한 강도를 가지는 접합부를 얻을 수 있으므로 높은 응력이 가해지는 재료의 접합과, 내열 삽입재를 이용해 고온에서 사용하는 재료의 접합도 가능하다.

나. 브레이징의 원리

용융 상태의 삽입재와 고체의 모재가 wetting(접촉, 젖음)해서 접합되기 위해서는 삽입재와 모재의 사이에 어느 정도의 상호작용이 존재하지 않으면 안 된다. 그 중 가장 기본적인 과정은, 용융 삽입

재에 의한 모재의 젖음이다. 젖음에 의해서 접촉한 모재와 용융 삽입재 사이에서는 모재 원소의 삽입재 중으로의 용해, 삽입재 원소의 모재 중으로의 확산, 이러한 결과에 의한 합금층의 형성 등의 과정을 거쳐 접합이 이루어진다.

이 과정을 모식적으로 **Fig. 1**에 나타내었다.³⁾ 고체가 진공 중에서 그 표면이 청정한 경우에는 고체 표면에 있는 원자는 내부의 원자와 같이 주위를 다른 원자에 둘러싸여져 있지 않으므로, 불포화의 결합에너지를 가지고 있다(그림 (a) 중의 화살표시). 이것이 표면에너지이고, 다른 원자를 끌어당겨 젖음 발생의 원동력이 된다. 대기 중에 있는 고체 표면에서는 표면에너지에 의해서 주로 산소 원자가 흡착된다. 금속에서는 대부분의 경우, 표면의 원자층과 산소원자와의 결합에 의해 산화물 층이 형성되어 결합에너지가 포화상태가 되기 때문에 그 표면은 불활성이다(b). 이 때문에 금속의 접합 시에는 먼저 플럭스와 환원성가스를 이용하거나 진공 중에서 가열 하여 이 산화물층을 제거해 활성적인 면을 만들 필요가 있다(c, d). 모재 표면이 활성적으로 되면 그곳에 공급된 용융 삽입재에 의해서 모재의 표면이 젖게 된다(e).

표면이 불활성적인 세라믹스를 접합할 경우에는 모재 표면에 metalizing처리를 실시하거나, 삽입재중에 모재 원소와 반응성이 좋은 활성금속을 첨가하여 젖음이 생기도록 한다.

모재가 삽입재에 의해서 젖으면, 시간의 경과와 더불어 모재 원자가 용융 삽입재 중에 용해되고, 삽입재 원자가 모재 중으로 확산하여 이에 따라 새로운 합금층이 생성된다(f). 그 다음 냉각한 뒤 삽입재를 응고시켜 브레이징 과정이 종료된다.

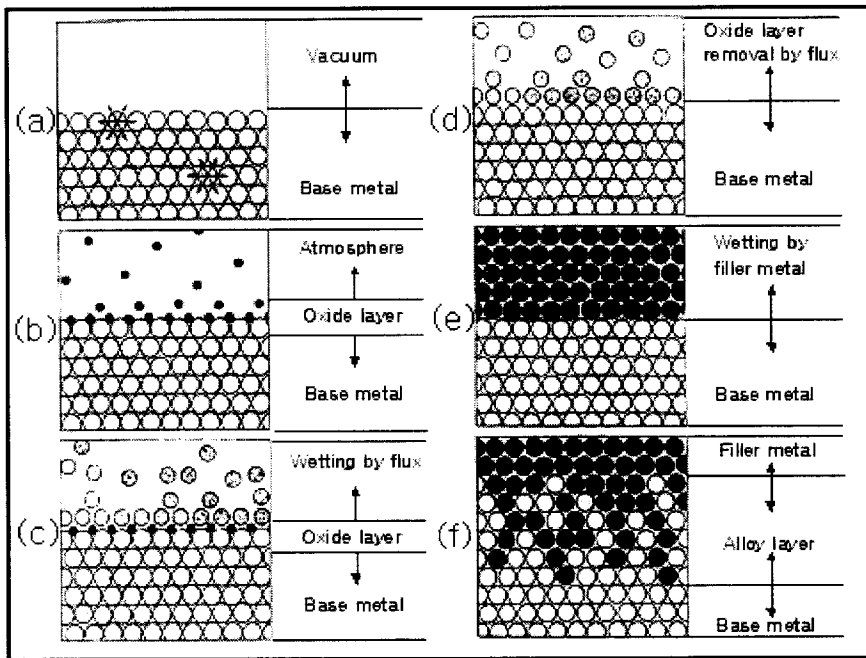


Fig. 1 The principle of brazing

다. 삽입재의 성질

건전한 접합부를 얻기 위해서 삽입재에는 다음과 같은 성질이 요구된다.

- (1) 모재에 대한 젖음이 양호하고, 틈새 충전성이 좋을 것.
- (2) 적절한 용점과 용융온도범위를 가지고, 공정용해를 최소한으로 억제할 수 있을 것.
- (3) 모재와 과도한 반응을 하지 않고 과도하게 증발하는 성분을 포함하지 않을 것.
- (4) 기계적, 전기적, 화학적 성질 등이 사용조건에 맞는 이음부를 만들 수 있을 것.

a. 젖음성

삽입재에 의해서 모재가 양호하게 젖는지 아닌지는 양자의 구성 원소간에 용해도가 있는 조성 혹은 합금화하는 조성이 있느냐에 따라 달라진다. 그러나 합금화가 너무 격렬하면 삽입재의 유동성이 방해 받는다는지 취약한 금속간화합물의 형성, 모재의 침식, 입계침입 등에 의해, 이음부의 강도를 저하시키는 원인이 되기도 한다. 따라서 적절한 반응성이 있는 것을 선택할 필요가 있다.

b. 삽입재의 용융

삽입재는 순금속의 경우도 있지만, 대부분의 경우 2종류 혹은 그 이상의 원소로 이루어지는 합금으로서 일반적으로 용융 온도 범위를 가지고 있다. 즉, 온도를 높이면 고상선 온도에서 용융되기 시작하여 온도의 상승과 함께 용액의 양이 증가하고, 액상선 온도에 도달하면 전량이 액상으로 된다.

삽입재가 접합 틈새 중에 유입되기 위해서는 완전하게 녹아서 액

체가 되어야 한다. 따라서 접합 온도는 적어도 액상선 온도 이상일 필요가 있다. 그러나 용융 온도 범위가 넓은 삽입재에서는, 고상선 이상의 온도가 되면 삽입재의 일부분이 용융되어 접합부에 유입하고, 미용융의 고체부분이 남는 것이 있다. 이 현상을 ‘공정 용해’라 하고 접합에 있어서 바람직하지 않은 현상이다.

용융 온도 범위가 넓은 삽입재를 사용할 경우에는 가능한 한 가열속도를 빠르게 하거나, 모재의 온도를 충분히 높인 다음 삽입재를 공급함으로써 공정 용해를 방지 할 수 있다. .

순금속 및 공정조성의 삽입재나 용융온도 범위가 좁은 삽입재는 거의 일정온도에서 모든 양이 용융하므로 용융거동은 가열속도의 영향을 거의 받지 않는다. 각각 삽입재의 권장 접합온도는 이러한 용융거동을 고려해서 정해져 있다.

1-4 확산접합의 특징

일반적인 용융 용접이 곤란한 재료의 경우 모재를 용융시키지 않고 접합하는 시도가 많이 이루어지고 있다. **Fig. 2**은 고상확산 접합법 (solid state diffusion bonding), 천이 액상 확산 접합법 (transient liquid phase diffusion bonding)⁴⁾ 및 브레이징의 모식도이다. 확산접합은 이 그림에 표시한 바와 같이 모재를 직접 접합하는 방법과 적절한 삽입금속을 사용하여 접합하는 방법이 있다. 브레이징은 모재의 용점보다 낮은 용점을 가지는 합금을 모재 사이에 삽입하여 접합시키는 방법이다. 천이 액상 확산 접합법은 고상 확산 접합법과 브레이징의 장점만을 조합시킨 접합법으로, 접합과정 중에 접합계면에 일시적으로 액상이 얇게 형성되고, 용점 저하 원소가 액상에서 모재 쪽으로 확산함에 따라 등온응고가 진행되면서 접합이 이루어지는 접합법이다. 따라서 브레이징에서 문제점으로 지적되고 있는 금속간 화합물이 생성되지 않아서 기계적 성질 및 내식성이 우수한 접합부를 얻을 수 있다는 장점이 있다.

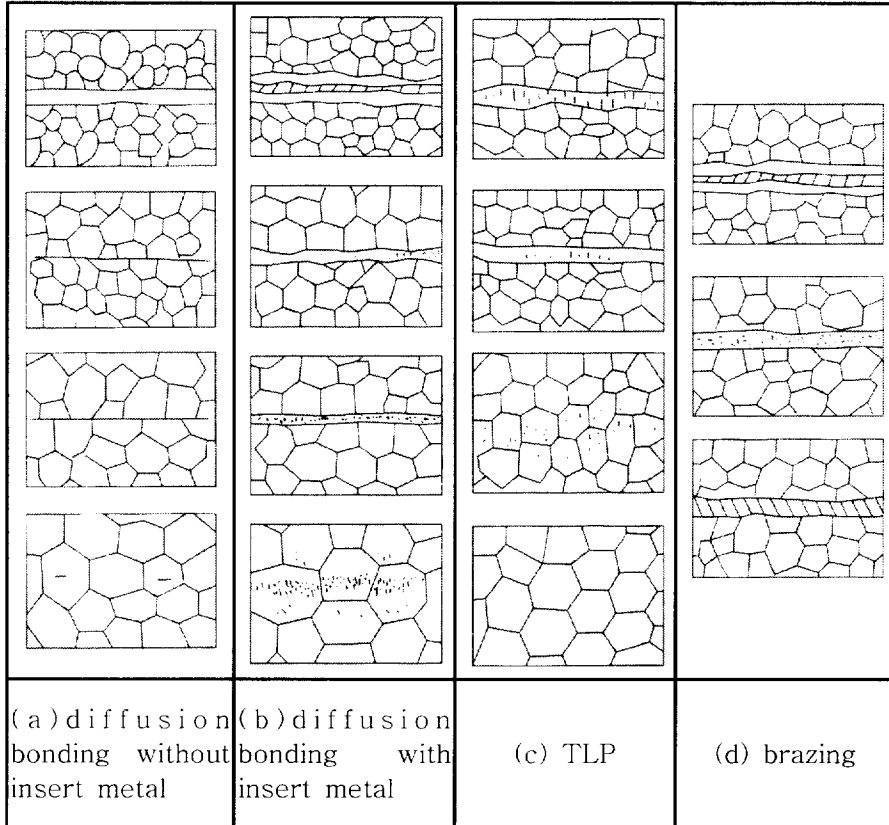


Fig. 2 Schematic of diffusion bonding, transient liquid phase bonding (TLP) and brazing.

1-4-1 확산접합의 접합기구

Fig. 3⁵⁾은 고상 확산 접합과정을 모식적으로 나타낸 것이다. 접합은 불활성 가스 분위기 또는 진공 분위기에서 실시되고, 이 그림에 표시한 바와 같이 다음과 같은 3단계의 과정을 거쳐 이루어지는 것으로 생각되고 있다.

① 고온 크리프 변형과정 : 가열과 가압에 의하여 고온 크리프 변형과 유사한 소성변형이 일어나, 각종의 표면피막과 요철이 파괴되고 국부적으로 순수한 금속표면끼리 접촉되어 밀착 면적이 증가하는 단계.

② 미소공동(Void)의 축소 및 입계 이동과정 : 미소공동이 계면 에너지를 적게 하기 위하여 구상화되면서, 입계 확산 및 표면 확산에 의하여 void 가 점점 축소하고, 선상의 입계가 입계 에너지를 낮추기 위하여 입계가 이동하기 시작하는 단계.

③ 미소공동의 소멸과정 : 입계이동이 활발히 일어나고 체 확산에 의하여 미소공동이 거의 소멸하는 단계로, 이 과정에서는 결정립의 성장이나 재결정 현상이 일어나는 경우가 많다. 그리고 각종 산화 피막이나 표면 피막은 일반적으로 고용 또는 미세화 되고 모재에 분산된다.

Fig. 4는 미소공동의 소멸기구를 모식적으로 나타낸 그림이다. 소멸기구는, ① 미소공동 표면의 소스(source)로부터 곡률반경이 작은 네크(neck)부로 표면 확산 혹은 체적 확산하여 공동이 축소되는 기구(a), ② 접합계면의 소스로부터 네크부로 표면 확산 혹은 체적 확산하여 공동이 축소되는 기구(b), ③ 항복현상 혹은 크리프 현상 때문에 점성 변형에 의하여 미소공동이 축소되는 기구(c) 등을 고려할 수 있다. 그러나 접합계면에 안정한 산화물, 질화물

또는 탄화물이 존재하는 경우에는 입계의 고착효과(pinning effect)에 의하여 접합계면의 이동이 방해되므로 접합강도가 저하한다. 더욱이 이러한 물질들이 피막형태로 존재하면 접합강도는 더욱 감소한다.

상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 삽입금속을 활용하는 경우가 많으며, 삽입금속은 주로 금속 포일이나 도금 막 등이 사용된다. 이러한 삽입금속을 활용함으로써 얻을 수 있는 효과는 다음과 같다⁶⁾.

- ① 접착계면에서의 소성변형을 촉진시켜 밀착 면적을 증가시킨다.
- ② 접합계면을 청정하게 유지시킨다.
- ③ 확산을 촉진시켜 접합온도를 낮출 수 있으며 접합시간을 단축할 수 있다.
- ④ 유해한 금속간 화합물의 생성을 방지한다.
- ⑤ 일시적으로 공정을 형성하여 모재 구성원소의 확산을 촉진시킨다.
- ⑥ Kirkendall⁷⁾ 효과에 기인한 기공의 발생을 방지한다.

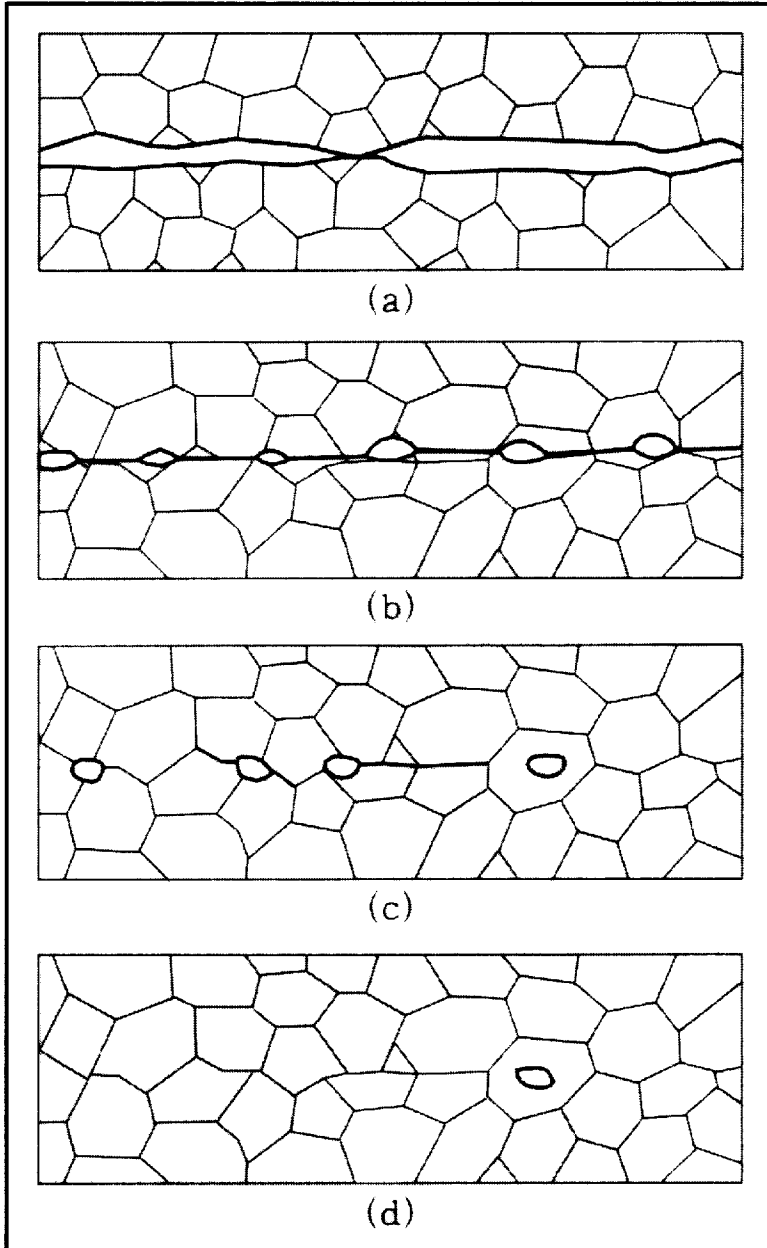


Fig. 3. Schematic of mechanism of diffusion bonding.

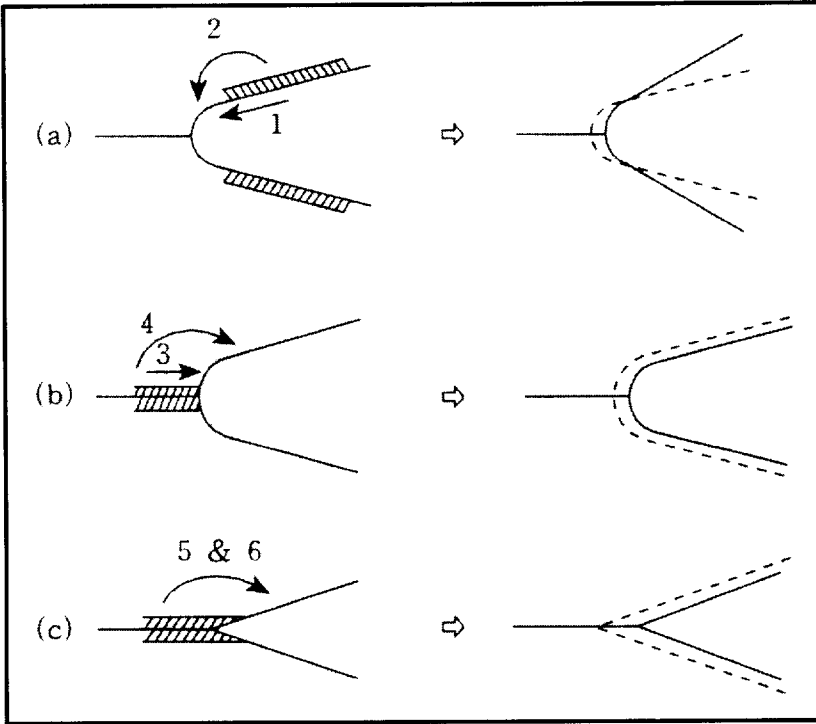


Fig. 4. Schematic of mechanism of void disappearance.

1-4-2 접합 계면 반응

금속-금속 사이의 접합과 세라믹스-금속 이종재료 접합의 근본적인 차이점은 접합계면에서 원자 단위의 결합 양식의 차이라고 할 수 있다. 금속-금속의 접합에서는 금속결합이 형성되지만, 세라믹스-금속 이종재료의 접합에서는 천이층 혹은 어떤 격자 면에서 직접 금속결합과 공유결합 또는 이온결합의 물질이 형성된다. 따라서 접합계면에서의 반응은 접합부의 성능을 좌우하는 중요한 인자가 된다.

세라믹스-금속 이종재료의 접합계면에서의 반응은 접합 방법에 따라 다르지만, 일반적으로 젖음성, 상호확산, 반응확산, 계면구조 변화 등의 현상이 수반된다. 접합계면은 원소분포 상태로부터 기계적으로 결합된 접합 형태, 확산층이 형성된 접합 형태, 반응층이 형성되는 접합 형태의 3종류로 분류할 수 있다. 반응층을 형성하는 접합체에서 반응층은 원자 결합 양식이 다른 재료간의 결합을 증가시키는 역할을 한다. 그러나 접합강도는 계면 반응층의 두께에 반드시 비례하지는 않는다. 그 이유는 반응층 자체가 모재보다 취약한 경우가 많아서 반응층이 성장 할수록 반응층 자체의 특성이 접합부 강도를 지배하기 때문에 접합강도가 오히려 저하하기 때문이다. 따라서 형성되는 반응층의 특성을 충분히 파악하고 반응층의 두께를 최적치로 조절할 필요가 있다.

2 실험방법

2-1. 실험재료

본 연구에서는 접합재료로서 시판되고 있는 WC-Co계 초경합금 G6와 고속도 공구강 SKH51을 사용하였고, 삽입금속으로는 45%Ni를 함유하는 permalloy 포일(10 μ m, 30 μ m, 50 μ m, 10 μ m, 200 μ m)과 니켈기 합금 AWS 1009 (38 μ m)과 BCo-1 (brazing tape)을 사용하였고, 또한 도금에 의한 접합 특성을 조사하기 위하여 초경과 고속도강에 무전해 니켈 도금한 시험편을 사용하였다.

Table 2. 3. 4 에는 실험에 사용한 각 재료의 화학적 조성을 나타내었다.

본 연구에서 사용한 초경합금은 내마모성이 좋은 16 wt% Co를 함유한 WC계 초경재료를 사용하였고, 고속도공구강으로는 인성과 경도 값이 좋은 Mo계의 고속도 공구강을 사용하였다.

브레이징의 경우 삽입재로서 고속도공구강의 열처리온도에서 접합 가능한 고온 브레이징용인 AWS 1009 과 BCo-1을 사용하였고, 무전해 니켈 도금한 시험편은 황산니켈 욕에서 치아인산 나트륨을 환원제로 하여 3시간 동안 도금한 것이다. 그리고 냉각 시에 발생하는 열응력을 흡수하기 위해서 약 45 wt% Ni를 함유한 permalloy를 사용하였다.

황산접합 경우에는 열응력을 완화하기 위하여 permalloy 합금을 삽입재로 사용하였다.

초경합금과 고속도 공구강은 직경 10 mm의 환봉 소재이었으며, 굽힘 시험용으로 길이 30 mm의 환봉을 사용하여 접합하여 전체적

으로 길이 60 mm인 환봉을 연마 가공하여 굽힘 시험에 사용하였다. 또한 미시 조직 관찰용 시험편은 5 mm의 환봉 형태로서, 접합한 후 절단하여 그 횡단면을 현미경으로 관찰하였다.

Table. 2 Chemical composition of high speed steel

Alloy	Composition (wt%)								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Mo	W
SKH51	0.8~ 0.9	<0.4	<0.4	<0.03	<0.03	3.8~ 4.5	1.6~ 2.2	4.5~ 5.5	5.5~ 6.67

Table. 3 Chemical composition of hard metal

Alloy	Composition (wt%)	
	WC	Co
G6	84	16

Table. 4 Chemical composition of insert metal

Alloy	Composition, wt %									
	Fe	Ni	Co	Cr	Si	B	W	P	S	C
AWS1009	-	Bal	-	15.2	-	4.0	-	-	-	-
BCo-1	1.0	16~ 18	Bal	18~ 22	7.5~ 8.5	0.7~ 0.9	3.5~ 4.5	0.02	0.02	0.35~ 0.45
Permalloy	50~ 60	40~50		-	-	-	-	-	-	<0.08

2-2. 브레이징 접합조건

브레이징의 모식도를 Fig. 5에 나타내었다. 그림과 같이 삽입재에 상관없이 브레이징의 모든 접합조건은 5.0×10^{-5} 이하의 진공 분위기에서 접합을 실시하였고, 그림은 AWS 1009와 열응력 흡수재로 삽입된 샌드위치 구조의 브레이징 모식도이다. Fig. 6은 브레이징의 접합조건을 나타낸 그림이다. 승온 속도는 $20 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ 으로 했고, 고속도강의 낮은 열전도율 때문에 $850 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 30분 유지한 후, 고속도강의 인성과 경도 값을 위해서 고속도강의 quenching 온도 ($1230 \sim 1250 \text{ }^\circ\text{C}$)보다 낮은 $1190 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 10 분간 접합 후, $30 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ 의 속도로 상온까지 질소 냉각 시킨 후, $545 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 1 시간동안 2회 Tempering 처리를 하였다.

2-3. 확산접합 조건

본 연구에서 실시한 확산접합 과정과 접합조건을 각각 Fig. 7 과 Fig. 8에 나타내었다. 그림에서와 같이 확산접합에 사용된 삽입재는 45 %니켈의 permalloy($10 \text{ } \mu\text{m}$, $30 \text{ } \mu\text{m}$, $50 \text{ } \mu\text{m}$, $100 \text{ } \mu\text{m}$)이며, 초경재료와 고속도공구강 사이에 삽입재를 넣고 5.0×10^{-5} 이하의 진공 분위기하에서 $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 소정의 시간(40분, 80 분, 120 분) 동안 10 MPa 의 압력으로 가압하여 접합한 후 고속도공구강을 퀘칭 처리 하기 위해 $1190 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 10 분간 유지한 후 상기 브레이징의 방법과 같이 질소로 상온까지 냉각한 후 $545 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 2회 Tempering 처리하였다.

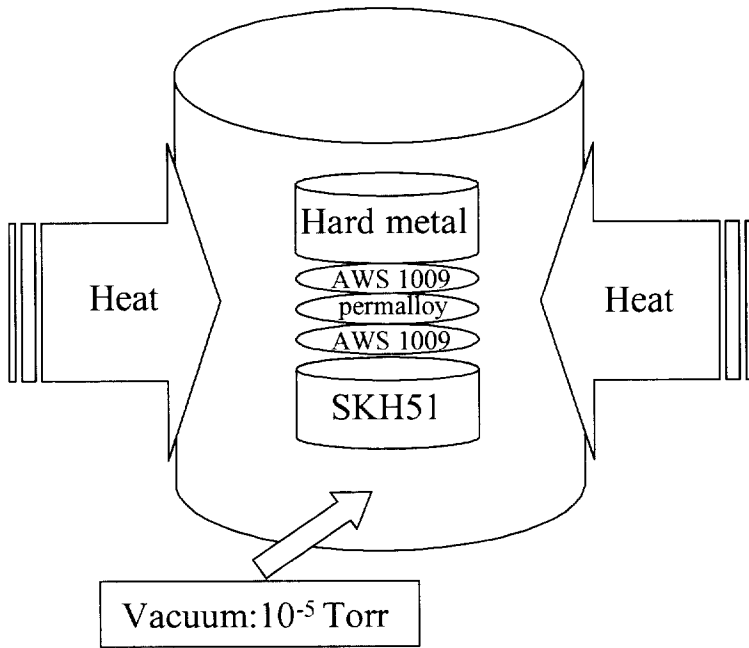


Fig. 5 Schematic illustration of brazing

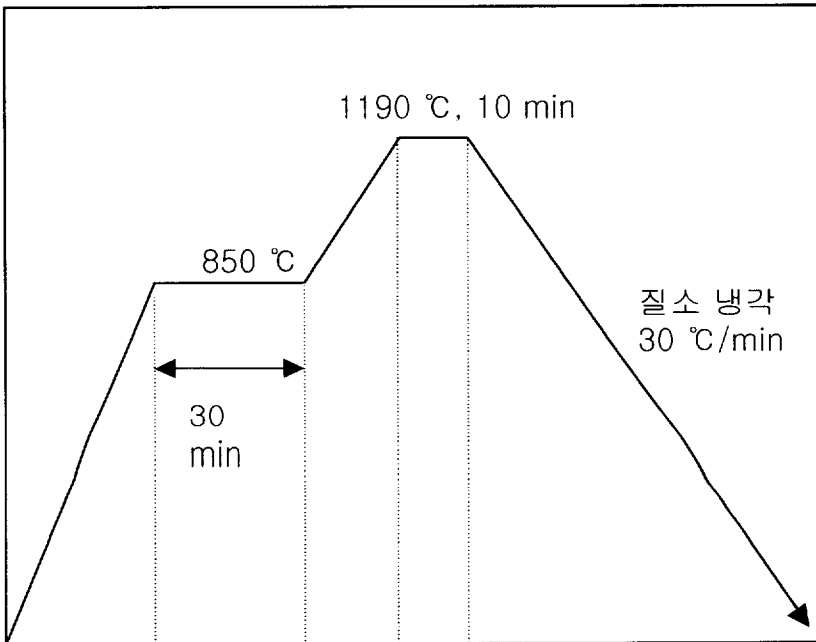


Fig. 6 Conditions of brazing

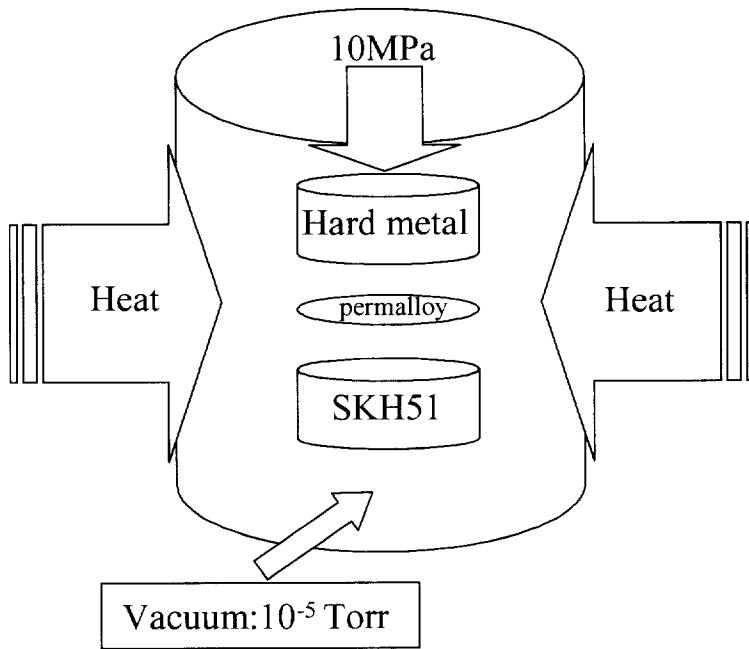


Fig. 7 Schematic illustration of diffusion bonding

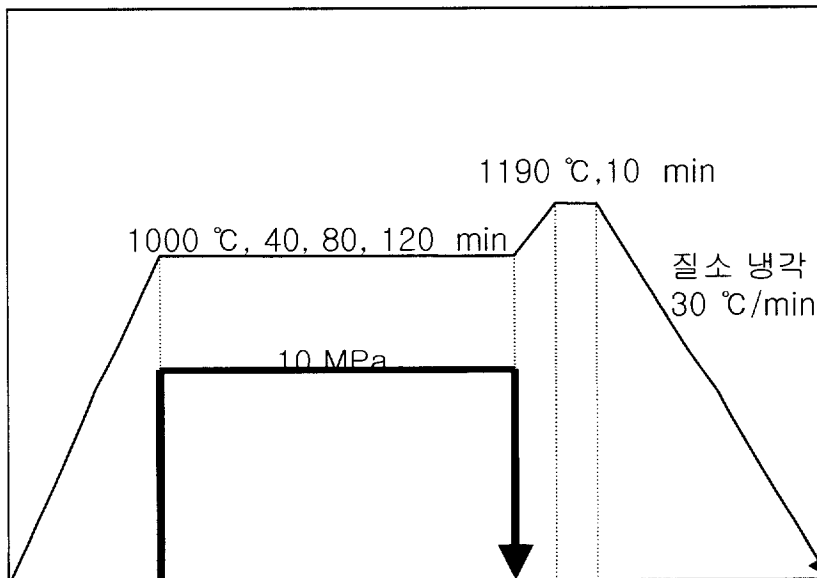


Fig. 8 Conditions of diffusion bonding

2-4 미시조직 관찰과 경도 측정

여러 가지 접합조건으로 접합한 시험편을 다이아몬드 고속 절단기를 사용하여 절단한 후 다이아몬드 연마판과 다이아몬드 스프레이로 경면 연마하였고, 접합부 단면을 광학현미경과 전자 현미경(SEM)을 사용하여 관찰하였으며, 확산 거동을 조사하기 위하여 EPMA로 선 분석하여 확산층을 조사하였다.

접합부에 존재하는 잔류 응력을 조사하기 위한 간접적인 방법으로서 접합 후 마이크로 비커스 경도기를 이용하여 접합부 단면에서 삽입금속을 따라서 비커스 경도를 측정(압입 하중은 100 g , 압입 시간 15 초) 하여 접합조건에 따른 잔류응력의 차이를 조사하였다.

2-5. 굽힘 시험 및 파면 관찰

접합부의 접합강도를 평가하기 위하여 접합한 후 굽힘 시험용 시험편을 직경 9 mm로 가공하고, 만능인장시험기를 사용하여 3점 굽힘 시험을 실시하였고, 크로스 헤드속도는 0.5 mm/min으로 하였으며, 파단면을 전자현미경(SEM)과 실체현미경을 사용하여 관찰하였다.

3 실험결과 및 고찰

3-1. 굽힘 시험 결과

가. 브레이징

초경과 고속도강을 접합하기 전에 동종의 고속도공구강의 접합 강도를 알아보기 위해서 무전해 니켈 도금한 시험편, AWS 1009 그리고 BCo-1을 삽입재로 하여 1190 °C에서 10분간 접합한 후 열처리한 시험편의 접합강도를 Fig. 9에 나타내었다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 AWS 1009 으로 고속도강을 접합한 시험편의 굽힘 강도가 1579 MPa로 가장 높은 값을 나타내었으며, 무전해 니켈 도금한 시험편이나 BCo-1을 삽입재로 사용한 시험편의 굽힘 강도의 약 4배 정도의 높은 접합강도를 나타낸다는 것을 알 수 있다. 예비실험에 의해 무전해 니켈 도금⁸⁾한 시험편의 경우에는 고속도공구강의 한쪽에만 도금한 경우가 양쪽 모두 도금한 경우에 비해 다소 높은 접합강도를 나타내었기 때문에 무전해 니켈도금은 한쪽의 접합면에만 도금을 실시하였다.

무전해 니켈 도금한 시험편이나 BCo-1을 삽입재로 하여 접합한 경우에 강도가 낮은 이유는 무전해 니켈 도금층에 함유되는 과도한 양의 인 함량 때문이라고 생각된다.

그리고 BCo-1으로 브레이징 한 경우에는 Co 자체의 취성적인 특성 때문에 강도가 낮아진 것으로 생각된다. 이 실험결과에 의해서 고속도공구강과의 접합에 사용되는 삽입재로서 AWS 1009가 높은 굽힘 강도 값을 나타내었기 때문에 본 실험의 목적인 초경재료-고속도공구강 이종재료의 접합에는 AWS 1009 브레이징 소재가 유용하다고 생각된다.

이와 같은 측면에서 AWS 1009를 이용하고 열응력 완화 효과를 얻기 위하여 **permalloy**를 사용하여, **permalloy**의 두께를 달리하여 샌드위치 구조로 고속도강끼리 접합한 경우의 굽힘 강도 값을 **Fig. 10**에 나타내었다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 AWS 1009 삽입재만으로 접합한 경우의 굽힘 강도가 1500 MPa 이상으로 가장 높은 굽힘 강도 값을 나타낸다는 것을 알 수 있다.

열응력을 완화하기 위하여 삽입된 **permalloy**의 두께가 증가할수록 강도 값이 감소하는 것은 **permalloy**의 강도가 접합강도를 좌우하기 때문이라고 생각된다. 그러나 **permalloy**의 두께가 50 μm 일 경우에도 1176 MPa의 아주 높은 굽힘 강도를 나타내고 있다. 이 실험결과에 의해서 초경합금과의 접합에 있어서도 두께가 얇은 삽입재의 사용이 유용하다고 생각된다.

이와 같은 측면에서 열응력 완화 효과를 얻기 위한 삽입재인 **permalloy**와 AWS 1009 브레이징 소재를 샌드위치 구조로 하여 초경과 고속도강의 접합을 실시하였다.

샌드위치 구조로 하여 브레이징 한 경우의 **permalloy**의 두께에 따른 굽힘 강도 값을 **Fig. 11**에 나타내었다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 AWS 1009 브레이징 소재만을 사용하여 브레이징 한 경우와 열응력 완화효과를 얻기 위해 삽입한 삽입재의 두께가 50 μm 이하인 샌드위치 구조 (AWS 1009 -**permalloy**(10 μm , 30 μm , 50 μm)-AWS 1009)의 굽힘 강도 값이 400 MPa 이하로서 아주 낮은 강도 값을 나타내고 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 삽입재의 두께가 100 μm 이상일 경우에는, **permalloy**가 200 μm 일 때 524 MPa로 가장 높은 굽힘강도를 나타내었다. 이 시험결과로부터 열응력 흡수재로 삽입된 **permalloy**의 두께가 증가할수록 냉각 시 두 재료의 열팽창계수 차이에 의해서 발생하는 열응력을 흡수 할 수 있는

능력이 커지기 때문에 강도가 증가한 것으로 생각된다. 그러나 두께 200 μm 의 삽입재를 사용한 경우에도 각종의 공구용으로 사용하기에는 접합강도가 낮기 때문에 고속도강의 열처리조건을 고려할 때 1190 $^{\circ}\text{C}$ 에서의 브레이징 접합 방법은 유용하지 않다고 생각된다.

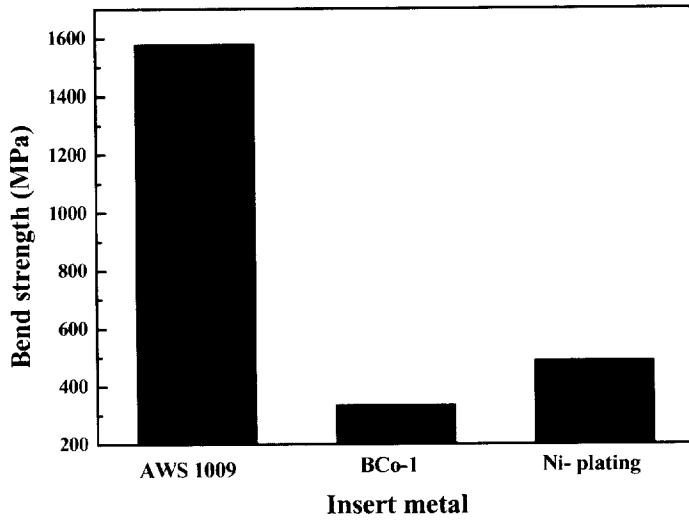


Fig. 9 Bend strength of high speed tool steel with different insert metal

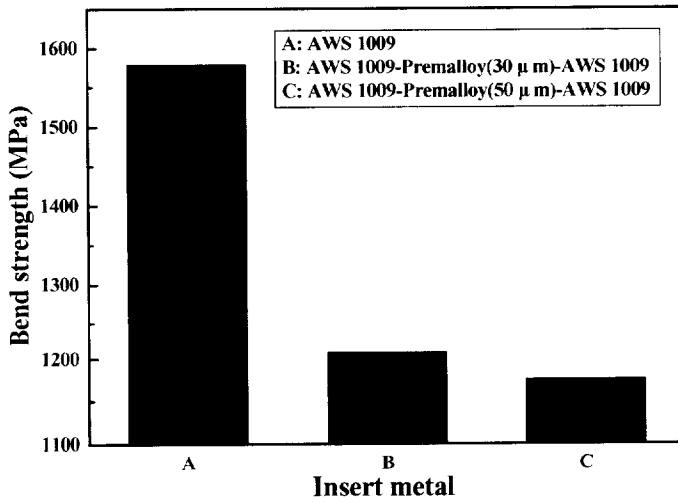


Fig. 10 Bend strength by used insert metal

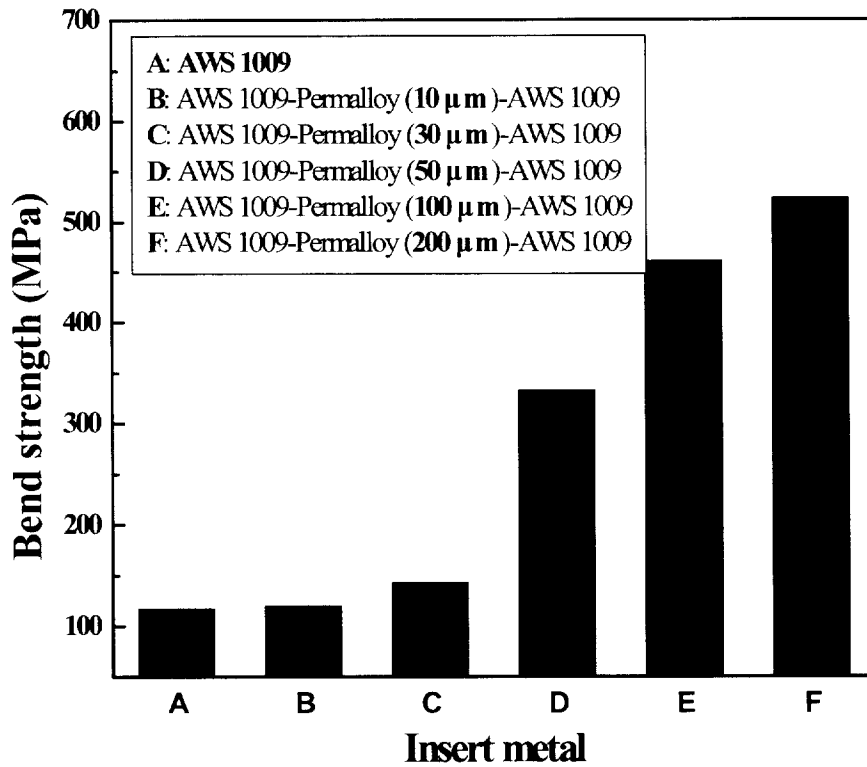


Fig. 11 Bending strength of high speed tool steel to hard metal dissimilar joint (sandwich structure)

나. 확산접합

확산 접합할 경우에는 접합면의 거칠기가 중요하기 때문에 표면 거칠기가 접합강도에 미치는 영향을 조사하기 위해서 초경의 거칠기를 다이아몬드 연삭기 입도 번호 #80, #270, #600 으로 변화시키고, 고속도강의 거칠기는 연마 슷들로 연마 후 #1200의 사포로 연마한 후 아세톤용액 중에서 초음파 세척하고, 산화를 방지하기 위해서 아르곤 가스 분위기에서 보관한 후 접합을 실시하였다.

초경재료와 고속도공구강의 접합강도에 영향을 미치는 인자를 조사하기 위하여 두께 50 μm 의 permalloy를 삽입재로 확산 접합한 경우의 초경소재의 표면상태 즉 표면 거칠기에 따른 굽힘 강도의 변화를 Fig. 12에 나타내었다.

접합조건은 1000 $^{\circ}\text{C}$ 에서 40 분 동안 10 MPa의 압력으로 접합하였다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 초경소재의 거칠기가 미세할수록 굽힘 강도가 높았으며, 초경소재의 접합면을 다이아몬드 연삭기로 #600으로 가공한 경우의 굽힘 강도가 1000 MPa을 나타내었으며, 그 값은 #80의 다이아몬드 연삭기로 연마한 경우에 비해 2배 정도 높은 굽힘 강도 값을 가진다는 것을 알 수 있었다.

따라서 연마면이 미세할수록 강도 값이 높아진다는 것을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 접합면이 고를수록 접촉 면적이 증대하기 때문이라고 생각 되어진다.

따라서 본 실험에서는 초경소재의 거칠기를 연삭기의 입도 번호 #600 으로 통일하여 접합을 실시하였다.

Fig. 13은 열응력을 완화하고 건전한 접합부를 얻기 위하여 사용한 삽입금속인 permalloy의 두께에 따른 굽힘 강도 값을 나타내고 있다. 접합 강도는 이 그림으로부터 알 수 있듯이 삽입재의 두께가 두꺼워질수록 굽힘 강도가 증가한다.

일반적으로 동종의 재료를 확산 접합할 때 삽입재의 두께가 얇으면 접합 강도 값은 삽입재 자체의 강도보다 높아지는 경향을 나타내며, 삽입재의 두께가 증가할수록 그 강도 값이 증가하다가 어떤 임계 두께 이상이 되면 삽입재 자체의 강도가 접합강도를 좌우한다고 보고 되고 있다⁹⁾. 본 실험에서는 초경소재와 고속도공구강의 열팽창계수의 차이에 기인하여 접합면에 수직 방향으로 냉각시 인장응력이 남게 된다. 이와 같은 인장응력을 해소하기 위해서는 삽입재의 두께 선정이 중요하다. 이 그림에서와 같이 삽입재의 두께가 100 μm 일 때의 굽힘 강도가 1200 MPa로 가장 높은 강도 값이 얻어졌고, 삽입재의 두께가 10 μm 인 경우보다 약 300 MPa 이상 더 높다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 삽입재의 두께가 증가할수록 초경과 고속도 공구강의 접합 후 냉각시 발생하는 열응력을 충분히 흡수하고 있기 때문이라고 생각되며, 삽입재 자체는 매우 연성적인 재료로서 소성변형하기 쉽기 때문에 삽입재의 두께가 두꺼워질수록 모재와의 접촉 면적이 증가하였기 때문이라고 생각된다. 이종재료의 접합에 있어서 특히 초경합금과 일반금속과의 접합에 있어서 냉각시 접합면에 수직 방향으로 초경부에는 인장잔류응력이 남게 된다¹⁰⁾. 이러한 인장 잔류응력이 강도를 낮추는 중요한 원인이 되며 그러한 열응력을 충분히 해방시키지 못 할 경우에는 초경부에서 균열이 발생하기도 한다.

확산 접합과 관련되는 중요한 접합인자 중의 하나인 접합시간에 따른 굽힘 강도 값의 변화를 고찰하고자 하였다. 원자의 확산은 가열시간과 관련을 가지기 때문에 접합 시간에 따른 굽힘 강도 값의 차이를 비교하기 위해서 100 μm 의 permalloy를 사용하여 1000 $^{\circ}\text{C}$ 에서 40 분, 80 분, 120 분으로 접합 시간을 변화시켜서 접합한 경우의 굽힘 강도 값을 Fig. 14에 나타내었다. 이 그림에서 알 수

있듯이 접합 시간이 길어질수록 굽힘 강도는 증가함을 알 수 있으며, 접합 시간이 120분일 때 굽힘 강도 값이 1400 MPa로 가장 높은 강도 값이 얻어졌다. 그러나 접합시간이 길어질수록 고속도강의 결정립 조대에 의해서 경도 값의 상승은 기대되지만 결정립 조대화 및 금속간화합물의 생성 등에 의해서 발생하는 인성의 저하에 의한 접합부의 강도가 저하되는 문제가 생길 수 있기 때문에 굽힘 강도의 값은 80 분간 접합했을 경우에도 충분하고 접합 비용 측면에서도 장시간 접합하는 것보다 실용적이라고 생각된다. 예를 들면 압출용 공구의 경우에는 일반 공구의 경우보다 높은 강도와 경도가 요구되기 때문에 장시간 접합하여 접합강도를 높이는 것이 더욱 더 실용적일 것으로 사료된다.

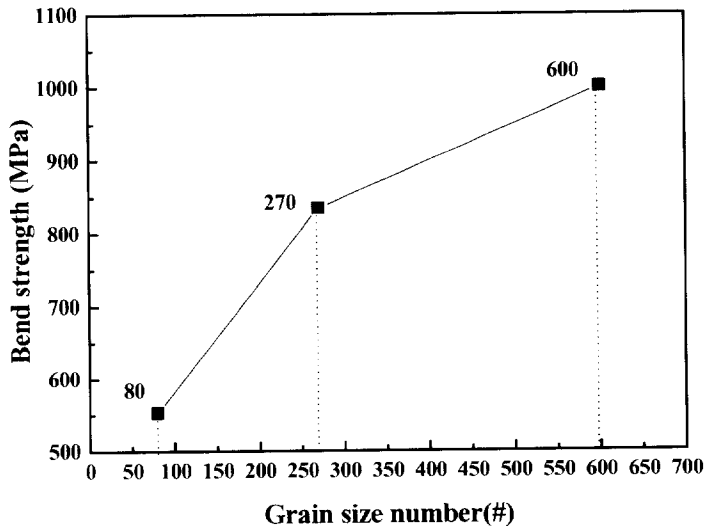


Fig. 12 The effect of surface condition for bend strength (with diamond grain size number)

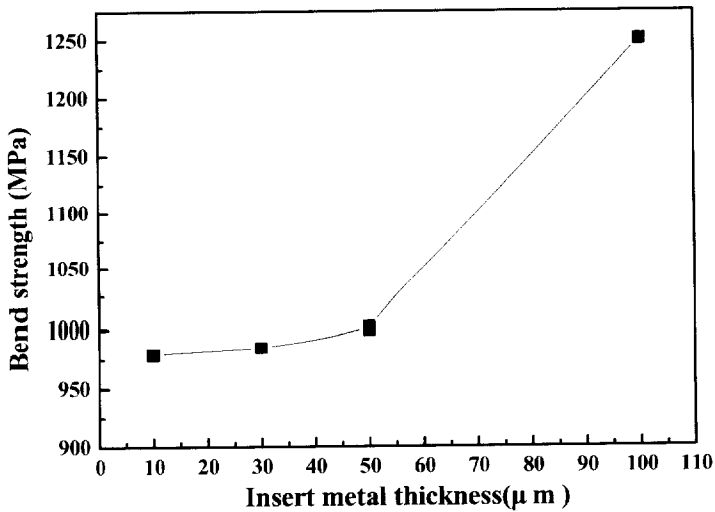


Fig. 13 The effect of insert metal thickness for bending strength of dissimilar joint of HSS to WC

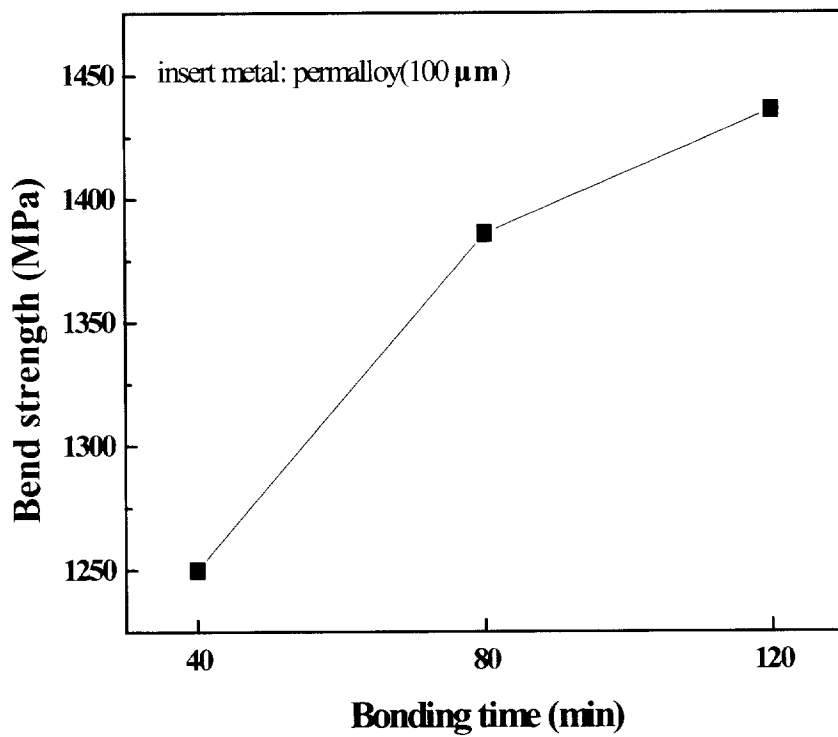


Fig. 14 The effect of bonding time for bending strength of dissimilar joint of HSS to WC

3-2. 접합부 삽입금속의 경도측정 결과

가. 브레이징 삽입금속의 경도 측정

Fig. 15는 1190 °C에서 10분간 브레이징 한 접합단면에서의 삽입금속의 비커스 경도 값을 측정하여 평균한 값을 나타낸 것이다. 냉각 시에 발생하는 잔류 응력의 크기를 간접적으로 조사하기 위해서 삽입재의 중앙부에서 외주부 쪽으로 500 μ m의 간격으로 삽입재의 경도를 측정해서 평균값을 취한 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 열응력 흡수를 목적으로 삽입된 permalloy의 두께가 증가할수록 permalloy 자체의 경도가 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이와 같은 현상은 연결의 permalloy가 냉각 시에 발생하는 열응력을 두께가 두꺼울수록 보다 많이 흡수하였기 때문이라고 생각된다.

나. 확산접합부의 삽입금속의 경도 측정

Fig. 16은 1000 °C에서 40분간 접합한 시험편 단면의 삽입재의 두께에 따른 비커스 경도 값의 평균값을 나타낸 것이다. 삽입재의 두께가 증가함에 따라서 삽입재의 평균 경도 값은 감소하는 경향을 나타내었다. 이 경우에도 브레이징 한 경우와 같이 삽입재의 두께가 증가할수록 두 재료의 열팽창 계수의 차이에 의해 발생하는 열응력을 보다 많이 완화시키고 있기 때문이라고 생각된다.

Fig. 17은 접합부의 중심부에서 외주부 쪽으로 삽입재인 premalloy의 경도 값을 측정한 것이다. 일반적으로 금속과 세라믹스의 이종재료의 접합과 같이 열팽창계수 차이가 큰 이종재료의 접합에서는 접합부 중심에서부터 외주부로 갈수록 잔류 응력값이 증가하고, 이러한 경향은 본 실험에서 확인된 현상과 일치하고 있다 .

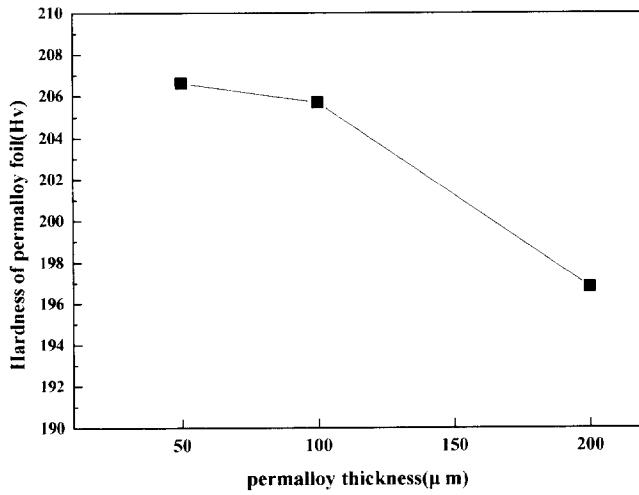


Fig. 15 The average Vickers hardness of sandwich brazed joint by AWS1009 & permalloy insert metals

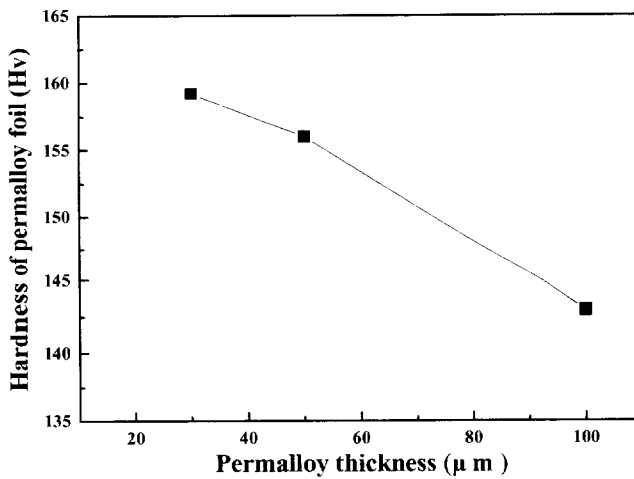


Fig. 16 The average Vickers hardness of diffusion bonded joint by permalloy insert metals

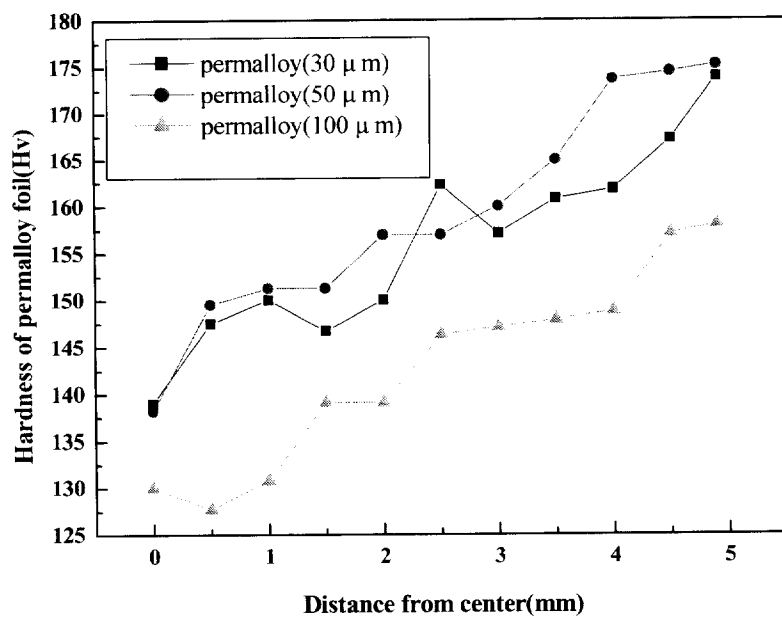


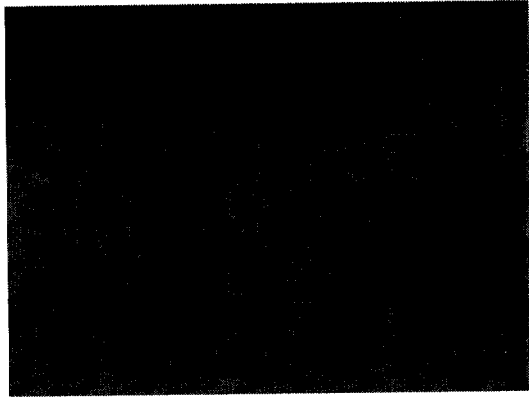
Fig. 17 The change of Vickers hardness for diffusion bonded joint by various thickness permalloy foil

3-3 접합부의 미시조직 관찰 및 파면 관찰 결과

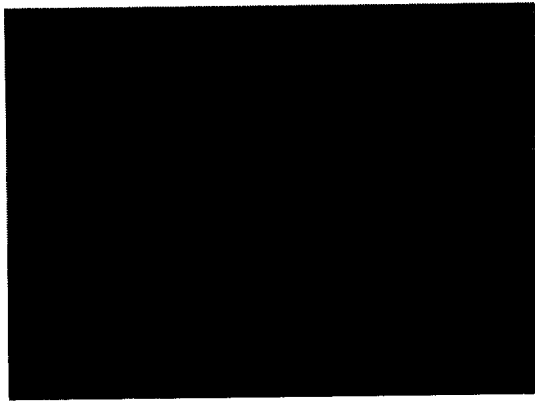
가. 브레이징한 시험편의 미시조직 관찰

Fig. 18은 고속도강과 초경합금을 BCo-1과 무전해 니켈 도금한 시험편 단면의 광학 현미경 조직 사진이다. 이 경우의 접합강도는 이미 서술한 **Fig. 9**에서와 같이 고속도강끼리의 접합 시 낮은 강도 값을 나타내었지만, BCo-1과 무전해 니켈 도금한 경우 고속도강과 초경합금을 평면 접합이 아닌 V자 홈이나 나사 홈 등을 낸 경우에는 접합면적의 증대에 의해 적용 가능성이 있다고 판단되어 BCo-1의 경우에는 Tape 형태의 Paste 소재를 사용하였고, 무전해 니켈도금의 경우에도 시험편의 형상에 관계없이 쉽게 도금 할 수 있기 때문에 두 재료를 삽입재로 사용하였다. 그러나 **Fig. 18(a)**에서 알 수 있듯이 BCo-1을 사용하여 초경과 고속도공구강을 접합한 경우에는 다수의 미 접합부가 존재한다. 이와 같은 이유는 paste 소재의 경우 고체 박막에 비해 paste의 밀도가 낮다는 점과 BCo-1 자체의 용점이 1200℃ 이상이기 때문에 접합온도가 낮을 경우에는 유동성이 불충분하여 건전한 접합부가 얻어지기 어렵고 또한 젖음 특성은 온도가 높아질수록 젖음 각도가 낮아지는 점 등을 고려할 때 충분히 젖게 하기 위해서는 접합온도를 더욱 더 높여야 하는 등의 문제 때문에 미 접합부가 존재한다고 생각된다.

무전해 니켈 도금한 시험편의 경우에도 **Fig. 18(b)**에서 알 수 있듯이 접합부에 많은 수의 균열이 존재한다. 이와 같이 균열이 많이 생성되는 것은 **Fig. 19**의 무전해 니켈 도금한 도금층을 EPMA 점 분석한 결과로부터 인의 함량이 14 wt% 이상이라는 것으로부터 인의 함유량이 많아 접합부가 취성적으로 되었기 때문에 다수의 균열이 발생한 것으로 사료된다.



(a) Microstructure of high speed tool steel to hard metal dissimilar joint brazed by BCo-1



(b) Microstructure of high speed tool steel to hard metal dissimilar joint brazed after Ni-plating

Fig. 17 Microstructure of bonds with high speed tool steel to hard metal by BCo-1, Ni-plating as insert metal

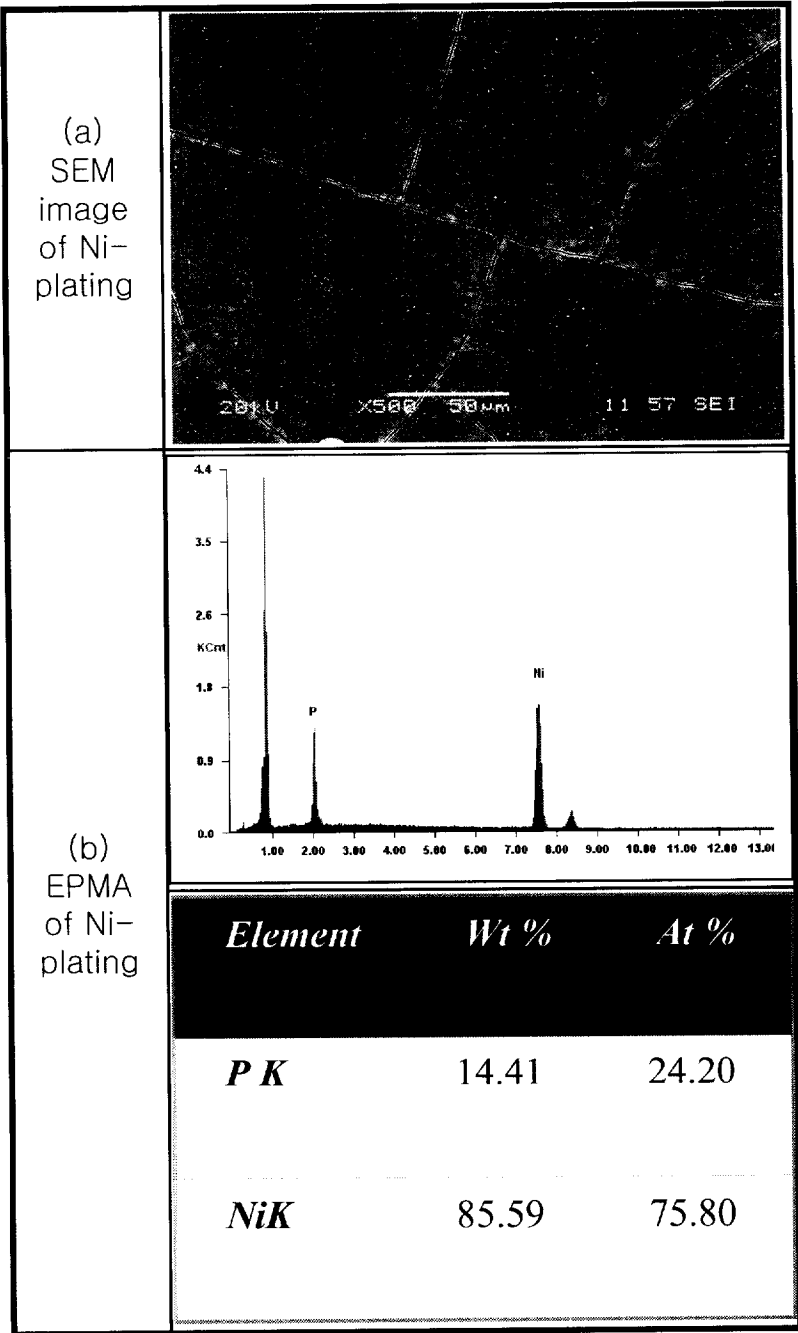


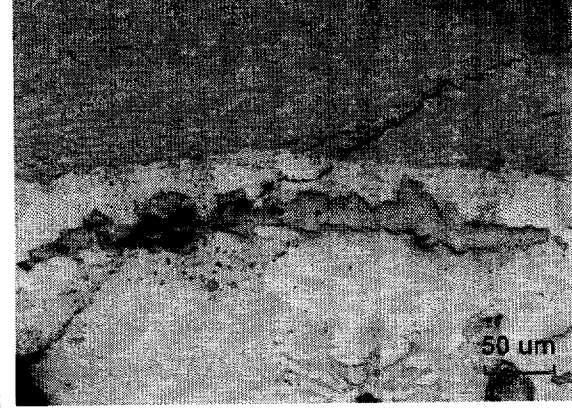


Fig. 19 EPMA point analyses of Ni-plating

Fig. 20 은 초경합금과 고속도 공구강을 니켈기 합금 AWS 1009 와 permalloy를 삽입재로 해서 1190 °C에서 10분간 브레이징 한 경우의 접합 단면의 광학 현미경 조직 사진이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 AWS 1009 단독 또는 permalloy(10 μm, 30 μm, 50 μm)와 샌드위치 형태로 접합한 경우에 모두 접합부 외주부로부터 초경소재 측으로 균열이 발생하였다. 그러나 permalloy(100 μm, 200 μm) 와 샌드위치 구조로 접합한 경우에는 균열이 발생하지 않았다. 이와 같은 결과는 이미 **Fig. 12** 에서 서술한 바와 같이 얇은 두께의 permalloy(10 μm, 30 μm, 50 μm)포일을 사용한 경우에는 이러한 균열에 의해 초경부에서 취성 파괴되었기 때문에 강도가 낮아지는 것을 알 수 있었다. 포일의 두께가 100 μm, 200 μm인 경우에는 균열은 발생하지 않았지만 굽힘강도가 600 MPa 이하의 매우 낮은 강도 값을 가지는 것은 삽입재 자체의 강도가 접합강도를 지배하기 때문이라고 생각된다.

<p>AWS 1009 (x 200)</p>	
<p>AWS 1009 – permalloy (10 μm)– AWS 1009 (x 200)</p>	
<p>AWS 1009 – permalloy (30 μm)– AWS 1009 (x 200)</p>	

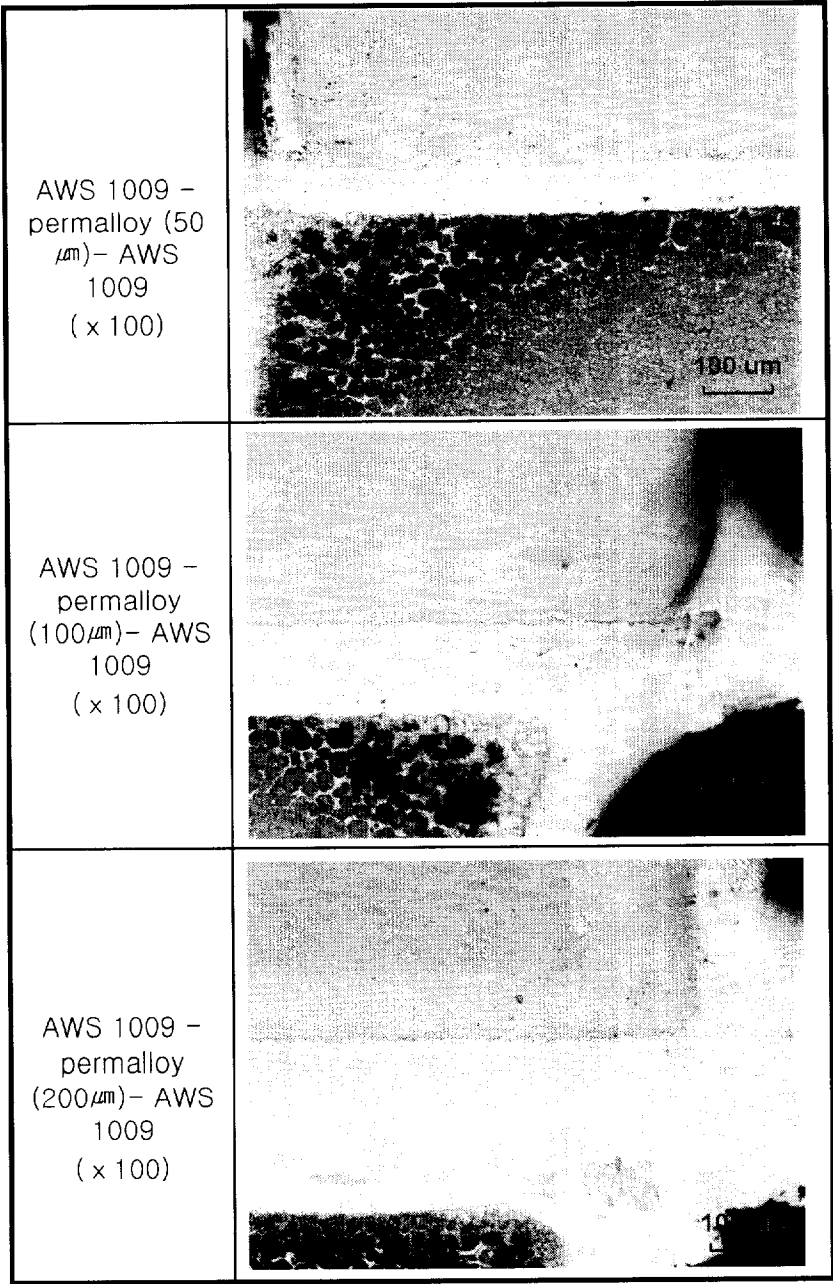


Fig. 20 Optical microstructure of brazed joint

나. 확산접합부의 미시조직 관찰 및 파면관찰

Fig. 21은 1000 °C에서 40분 동안 두께 50 μm 의 **permalloy**를 삼입재로 하고, 초경의 거칠기를 다이아몬드 연삭기 입도 번호 #80, 270, 600 으로 연마했을 경우의 파면 형태와 그 파단면의 SEM 사진이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 초경의 표면 거칠기가 거칠수록 미 접합부가 많이 존재한다는 것을 알 수 있다. 특히 # 80으로 연마한 경우에 미 접합부가 눈에 띄게 많이 존재하는 반면에 #600으로 연마한 경우에는 미 접합부가 적다는 것을 알 수 있다. 이와 같이 접합 면적에 차이가 나는 것은 **Fig. 12**의 굽힘 시험 결과와 관련하여 고찰해 보면 알 수 있듯이 굽힘 강도가 약 2배 정도의 차이가 존재한다는 것으로부터 또 다시 명확하게 알 수 있는 것이다. 이와 같은 측면에서 확산 접합 시에는 표면의 거칠기를 미세하게 하여 접촉면적을 증가시키는 것이 접합강도의 향상에 유용하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 22는 1000 °C에서 접합한 경우의 삼입재 두께에 따른 파단면의 사진, SEM image 및 접합 단면의 광학현미경 조직을 나타낸 것이다. 이와 같은 접합조건으로 접합하면 광학 현미경 조직 사진에서 알 수 있듯이 삼입재의 두께와 상관없이 확산 접합부에는 균열이 존재하지 않고, 양호한 접합부가 얻어졌다. 그러나 파단면의 SEM image로부터 삼입재의 두께가 100 μm 인 경우에만 일부분이 초경 측에서 파괴된 것을 알 수 있다. 삼입재의 두께가 100 μm 이하인 경우에는 모두 접합면에서 파괴되었다. 삼입재의 두께가 100 μm 인 경우에는 파단면 일부에서 연성 파괴되었으며, 일부 벽개 파괴한 부분도 관찰된다. 연성 파괴된 부분은 삼입재인 **permalloy**로 생각되며, 일부에서는 취성 파괴된 부분은 초경측이라고 생각된다.

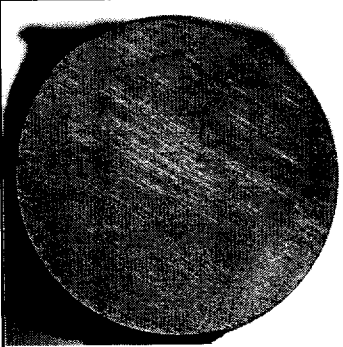
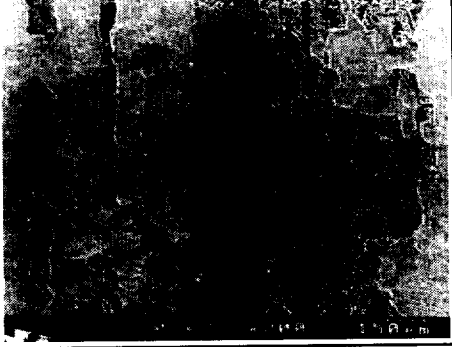
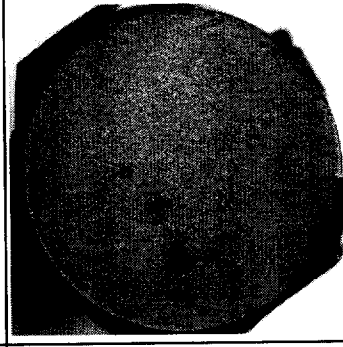
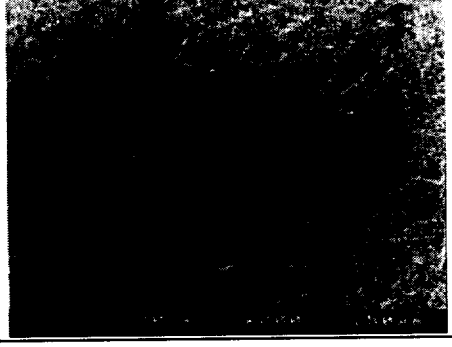
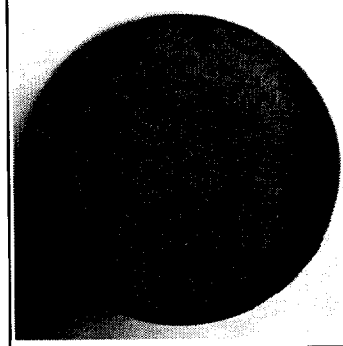

	Fracture surface	Fracture SEM image
# 80 (50 μm)-WC		
# 270(50 μm)-WC		
# 600 (50 μm)-SKH51		

Fig. 21 Macrofractographs and SEM image of fractured surface bonded under the different surface condition.

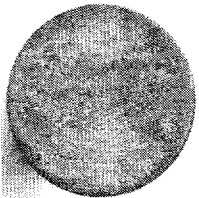

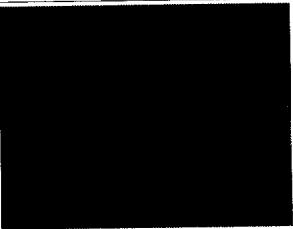
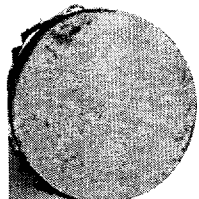
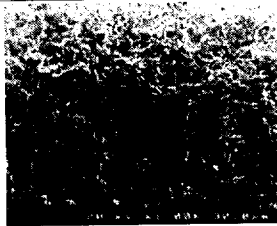
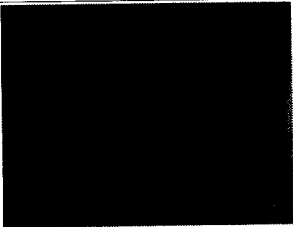
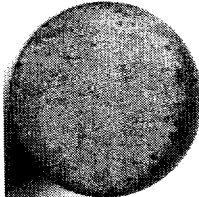
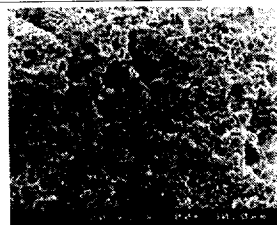
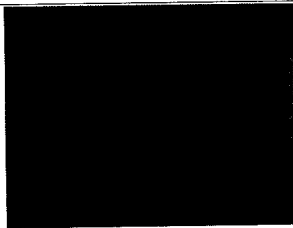
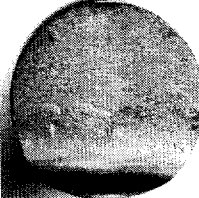
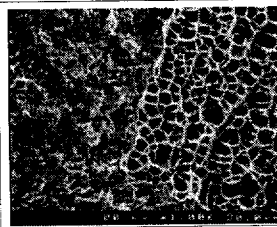
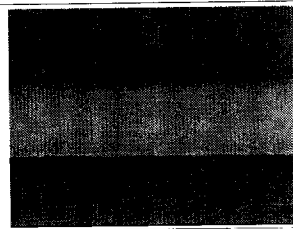
Insert metal thickness	Fracture surface	SEM image	Optical micrograph
10 μm			
30 μm			
50 μm			
100 μm			

Fig. 22 Macrofractographs and SEM image of fracture surface bonded by the different thickness of insert metal

Fig. 23 은 각각 접합시간을 각각 40분, 120분으로 하여 확산 접합한 시험편의 접합부를 EPMA로 선 분석한 결과이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 접합시간이 120분인 경우가 40분 동안 접합한 경우보다 미세하지만 확산 층의 폭이 더 넓은 것을 알 수 있다. 특히 삽입재의 성분원소인 니켈의 경우에는 초경합금 측과 고속도 공구강 측으로 모두 확산 된 것을 명확하게 알 수 있으며, 확산층의 폭이 20 μm 이상임을 알 수 있다. 이와 같이 접합 시간이 증가함에 따라서 확산 층의 폭이 증가하게 되고 그에 따라 확산 면적도 증가하여 굽힘 시험결과에서 이미 서술한 바와 같이 굽힘 강도가 더 높아진 것으로 사료된다.

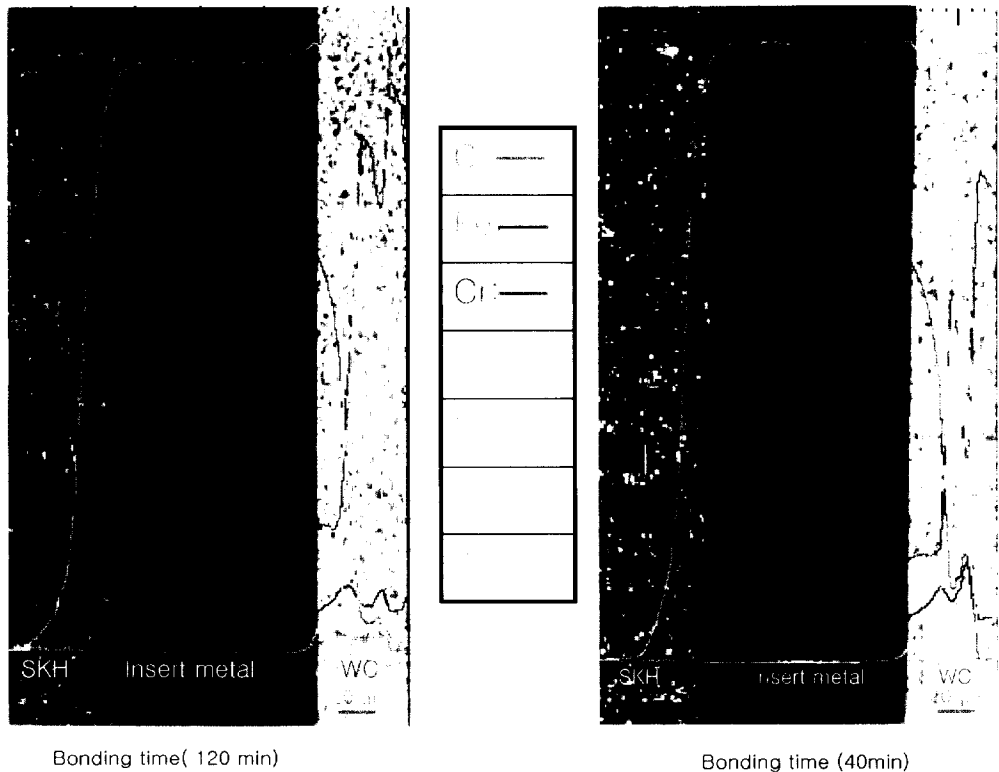


Fig. 23 The results of EPMA line analysis across the bonded interface

3-4. 고속도 공구강의 경도 값

Fig. 24 는 확산 접합한 시험편의 확산 시간에 따른 경도 값의 변화를 보여주고 있다. 1000 °C에서 40분 동안 접합한 시험편의 고속도강의 경도 값이 비커스 경도로 평균 690 Hv 로 가장 높은 경도 값을 나타내고 있다. 이것은 고속도공구강의 확산시간에 따른 조직사진에서 알 수 있듯이 접합시간의 증대에 따른 결정립의 조대화에 의한 것으로 생각된다. 40분 접합시의 이와 같은 경도 값은 고속도 공구강의 열처리 온도에서 염욕 열처리나 공랭하는 열처리에 비해서 다소 낮은 경도 값을 나타내지만 각종 공구로 사용할 때에 경도가 낮기 때문에 부수적으로 생길 수 있는 Shank부의 bending을 유발시키지 않는 충분한 경도 값이다.

접합시간을 80분 및 120분으로 하여 접합한 경우에도 고속도강의 경도는 비커스 경도 값으로 650 Hv 이고, 이와 같은 경도 값은 공구의 몸체로 사용하기에는 다소 낮은 경도 값이다. 확산시간이 길어짐에 따라 접합강도가 높아지는 효과는 있지만, 그와 동시에 고속도 공구강의 경도 값도 중요하기 때문에 사용목적에 알맞은 접합조건을 선정하는 것이 매우 중요한 인자라고 할 수 있다. 그리고 **Fig. 24** 에는 나타나지 않았지만 1190 °C에서 브레이징이 끝남과 동시에 퀘칭 열처리를 실시한 시험편의 경우에는 몸체인 고속도공구강의 경도는 비커스 경도 값으로 약 660 Hv를 나타내었다.

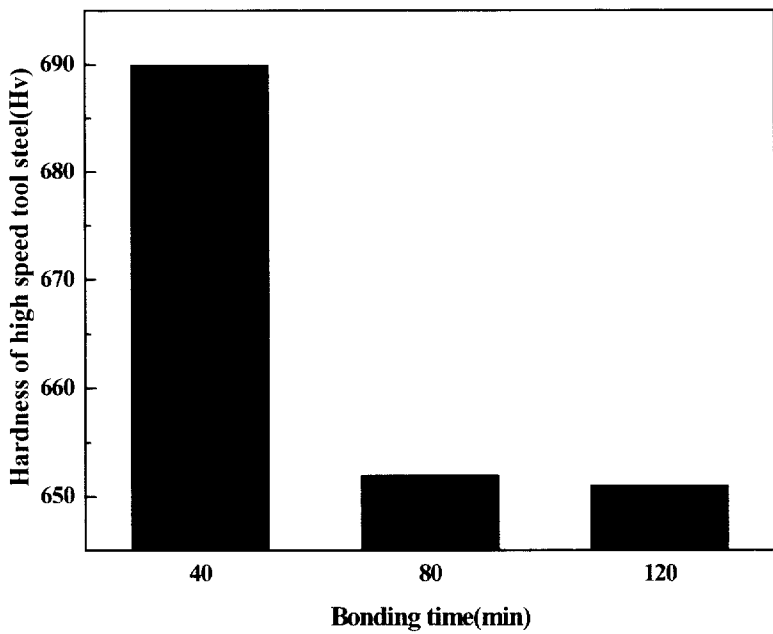
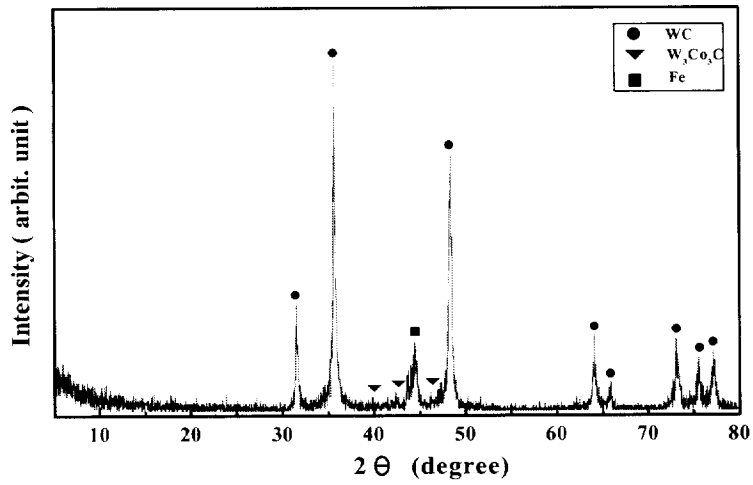


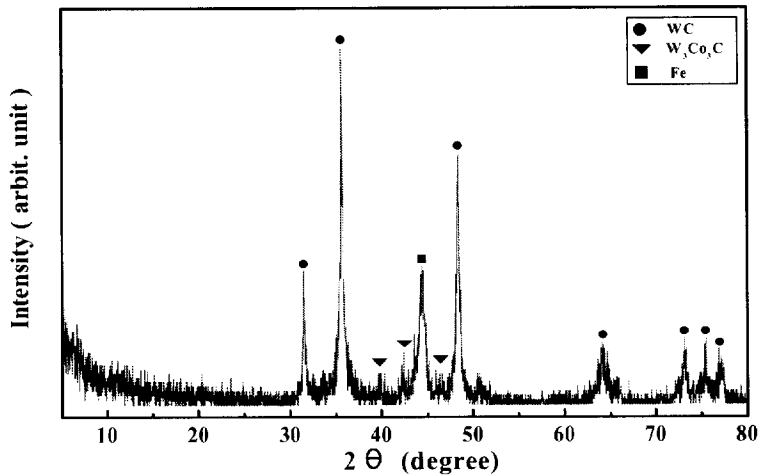
Fig. 24 The average Vickers hardness of high speed tool steel

3-5 접합부의 XRD 분석 결과

초경합금과 고속도 공구강을 접합할 때 탄소의 확산으로 인해 η 상($\text{Fe}_3\text{Co}_3\text{C}$, $\text{W}_3\text{Co}_3\text{C}$, $\text{W}_2\text{Co}_4\text{C}$ 와 같은 $\text{M}_3\text{W}_3\text{C}$)과 같은 취약한 금속간 화합물이 생성¹¹⁾될 수 있다. 본 연구에서는 1190℃에서 10분간 permalloy와 AWS 1009와 샌드위치구조로 10분간 브레이징 접합한 시험편과 1000℃에서 120분간 접합한 후 1190℃에서 10분간 가열한 경우의 접합부를 XRD로 상 분석한 결과를 **Fig. 25 (a), (b)**에 나타내었다. 분석 결과 브레이징 한 경우 및 확산 접합한 경우 모두 η 상($\text{W}_3\text{Co}_3\text{C}$)의 금속간 화합물의 피크가 확인되었다. 양 시험편 모두 2θ 값이 42.318°에서 $\text{W}_3\text{Co}_3\text{C}$ 상의 주 피크가 확인되었으므로 이러한 금속간 화합물의 생성을 방지하기 위해서는 적절한 접합시간과 금속간 화합물이 생성될 수 있는 온도에서의 가열시간을 가능한 한 짧게 하는 등 접합인자를 적절하게 조절하는 것이 중요하다고 생각된다. 본 실험에서는 열처리 시 진공로에서 질소냉각 처리한 결과 분당 30℃의 냉각 속도를 얻을 수 있었다. 이보다 더 빨리 냉각하기 위해서는 공랭 또는 유냉 등의 열처리 방법이 적용될 수 있으며, 접합한 후 진공로에서 바로 유냉이나 공랭의 열처리를 실시하면 고속도공구강의 경도 확보 및 변태량을 증가시킬 수 있을 것으로 사료된다.



(a) XRD analysis for diffusion bonded joint of SKH51-Permalloy-Hardmetal



(b) XRD analysis for Brazed joint of SKH51-(AWS1009-Permalloy-AWS 1009)-Hard metal

Fig. 25 Results of XRD analysis of the bobbed interface.

4 결론

1. 고속도공구강을 브레이징할 경우에 삽입재로서 니켈기 브레이징 합금인 AWS 1009, 코발트기 합금 BCo-1 및 무전해 니켈 도금층을 삽입재로 사용하여 접합한 경우, AWS 1009 삽입재로 접합한 경우의 굽힘 강도가 가장 양호하였으며, AWS 1009와 permalloy 샌드위치 구조의 브레이징 접합의 경우에는 열응력 해소의 목적으로 삽입된 permalloy의 두께가 증가할수록 굽힘 강도는 낮아지는 경향이었다.

2. 초경과 고속도강의 접합을 AWS 1009와 permalloy의 샌드위치 구조로 하여 접합한 경우에는 permalloy의 두께가 증가할수록 굽힘 강도 값이 증가하는 경향을 나타내었으며, permalloy의 두께가 100 μm 이하일 경우에는 냉각 시의 두 이종재료의 열팽창계수의 차이에 기인하는 열응력 때문에 접합부의 외주부에서 초경 측으로 균열이 발생하여 접합강도가 낮았다. 그러나 삽입재의 두께가 100 μm 이상이 되면 균열이 발생하지 않지만, 접합강도가 매우 낮았다.

3. 초경과 고속도공구강의 확산 접합 시에 초경의 표면 거칠기가 미세할수록 접합강도가 증가하는 경향이었으며, 또한 파단면의 관찰 결과 거칠기가 미세할수록 미 접합부가 적게 존재함을 알 수 있었다.

4. 초경과 고속도공구강의 확산 접합에 있어서 삽입재의 두께가 증가함에 따라 접합 강도가 증가하는 경향이었으며, 특히 두께 100 μm 의 삽입재를 사용한 경우에는 접합강도가 1200 MPa 정도

의 매우 양호하고 건전한 접합부를 얻을 수 있었다.

5. 고속도공구강과 초경재료를 확산 접합한 경우에 확산시간이 길어짐에 따라서 굽힘 강도가 증가하는 경향을 나타내었다. 특히 접합시간이 120분인 경우에는 1400 MPa 정도의 아주 높은 굽힘 강도 값을 얻을 수 있었다.

6. 고속도강의 경도 값 확보를 위해서 확산 접합이나 브레이징의 접합의 경우 모두 1190 °C에서 약 10분간 열처리하면 충분한 경도 값을 얻을 수 있었다.

7. 접합부의 XRD 상 분석 결과 취약한 금속간 화합물 η 상 (W_3Co_3C)이 확인되었다.

참고문헌

1. 鈴木 壽 : 日本金屬學會報,5(1966).9
2. ISO 857, Definition of Welding Process.
3. G. M. Fasching, Weichloten Lote und FluBmittel, *Feinwerktech.* 73-12(1969), pp.519
4. D.S.Hoppins : *W.J.*,53-4(1974), 299s
5. W.H.Kig etc : *W.J.*, 47(1968), 444s
6. 益本, 玉置, 寺井, 永井 : 擴散接合の 最近の 進歩, 日本金屬學會報, 9~10(1970), pp553-665
7. A.D.Smigelskas and E.O.Kirkendall, *Trans.Met.Soc.AIME.*171:130(1947)
8. H.Ashassi-Sorkhabi, S.H. Rafizadeh : 'Effect of coating time and heat treatment on structure and corrosion characteristics of electroless Ni-P alloy deposits, *Surface and Coatings Technology* 176(2004) pp318-326
9. 容接學會編 : 新版容接硬質, 丸善, 昭和 47年 4月
10. 河野 顯臣, 日置 進 : 超硬合金と工具鋼の擴散接合, 容接學會, 第3卷(1985)第1号, pp106
11. E.A.Almond, A.M.Cottenden and M.G.Gee : *Met.Sci.*,17(1983),p153
松山芳治, 三谷裕康, 鈴木 壽 : 總說粉末冶金學, 日刊工業新聞社,(1798),237

감사의 글

대학 4년동안 대학원이라고는 꿈에도 생각하지 않았는데 벌써 대학원 2년을 마치고 졸업할 날이 얼마 남지 않았습니다. 실험이라고는 똑바로 해보지 못한 제가 이렇게 논문을 쓰고 졸업을 하게 되는 데 많은 가르침을 주신 저의 지도 교수님 정호신 교수님께 감사하다는 말을 전하고 싶습니다. 그리고 바쁘신 와중에서도 논문을 꼼꼼하게 체크 해주신 정해용 교수님, 박찬 교수님 그리고 방국수 교수님 진심으로 감사드리며, 많은 시간과 배려를 해주신 RIST의 김기철 부장님 항상 감사한 마음을 가지고 있고 인생 살아가는데 많은 것을 가르쳐 주셔서 감사합니다. 그리고 실험하는데 많은 조언을 해 주신 태웅, 홍규, 상철 선배 참 고마웠습니다. 담에 술 한잔 제가 사겠습니다. 또 매번 바쁜 일속에서도 짜증내지 않고 도와준 대건, 지덕 참 고마웠다.

학교에서 同居同樂 하다시피 한 나에게는 언제나 힘이 되고 도움을 준 나의 동기들(중하 형, 정환, 동하 형, 한성, 경진, 영준 그리고 아직 한 학기 남은 김인, 은희), 이제 얼마 후면 졸업인데 다들 바라는 일 모두 이루어지길 바라며 대학원 2년 동안 너희들이 있었기에 즐거웠고 고맙다. 그리고 너무나 오랫동안 학교를 지켜온 학과 사무실 병찬 선배, 그동안 많이 도와 주셔서 감사합니다.

다들 괜찮은 직장 구하길 바라며 그동안 고생 많았고 수고들 했다.

그런 의미에서 핫 텡!

그리고 우리 용접 실험실 후배들(명석, 희운, 경민, 용수, 그리고 다들 목소리 커고 시끄럽지만 귀여운 2학년 막내인 현준, 수진, 아영), 잘해주지 못해서 미안하고, 특히 묵묵히 열심히 한 경민, 참 고맙게 생각한다. 그리고 많이 도와주지 못했지만 항상 여러모로 많은 도움을 주신 실험실 졸업 동기인 중하 형 그동안 고생 많았고 고맙습니다.

마지막으로 항상 뒤에서 지켜봐 주시고 걱정해주시고 자신감을 심어주신 나의 가족들(부모님, 형, 누나)에게 감사합니다 라는 말씀과 함께 제 논문을 드립니다.

그리고 지면으로 남기진 못한 수많은 고마운 분들 모두에게 행복과 건강을 기원합니다.