

WC-Co/Cu/SM45C鋼接合에서 微細組織 및 接合強度에 미치는 冷却速度的 影響

정승부* · 양훈모**

Effects of cooling rate on Microstructure and Bond Strength in WC-Co/Cu/SM45C steel joint

S.B. Jung* and H.M. Yang**

Key Words : Cooling rate(냉각속도), Joint(접합체), Microstructure(미세조직), Insert metal(삽입금속), Dendrite(수지상정), Bond strength(접합강도), SM45Csteel(구조용탄소강)

Abstract

The interfacial microstructure and bond strength were examined for WC-Co/SM45C steel joint using a nickel-plated copper in vacuum at 1323K for 0.6ks~3.6ks. After bonding, microstructure in bonding interface was observed by OM(Optical Microscopy), SEM(Scanning Electron Microscopy) and EPMA(Electron Probe Micro Analyzer). The oil cooling was carried out at 353K, the cooling rate in air and furnace was 22K/s and 4.4K/s, respectively. It was found that dendritic widths increased with the content of cobalt and bonding times at 1323K. As a whole, bond strength values at the same bonding condition decreased in this order: WC-13wt.%Co/SM45Csteel, WC-8wt.%Co/SM45Csteel and WC-4wt.%Co/SM45Csteel. The bond strength of WC-13wt.%Co/SM45C steel joint in oil cooling was 273MPa. This value was greatly higher than those of 125MPa in furnace cooling and 93MPa in air cooling at 1323K for 0.6ks. The bond strength values were found to be closely associated with the content of cobalt in WC-Co and cooling rate.

1. 서 론

세라믹스와 금속과의 접합기술은 세라믹스 재료를 공업적으로 유용하게 이용하기 위하여 개발되어 왔으며 최근에는 이에 관한 관심이 급증하고 있다^{1,2)}.

대부분의 WC계 초경합금은 WC입자를 Co결합재와 함께 소결하여 경도 및 항절력 등 기계적특성을 향상

시켜 현재 널리 이용되고 있다. 그러나 WC화합물 부품은 가혹한 충격이나 진동을 받으면 낮은 인성으로 인하여 취약해지는 단점을 가지고 있어서 사용되는 목적에 따라서 세라믹스/금속 등 이종재료접합체의 단점을 최소화하고 장점을 극대화하려는 시도가 많다. 그러나 현재까지 동종재료의 접합에 관한 연구 data는 많이 축적되어 있으나 이종재료의 접합에 대한 data는 상대적으로 매우 부족한 실정이다^{1~3)}.

※ 1999년도 3월 9일 접수

* 정희원, 성균관대학교 금속재료공학부

** 학생회원, 성균관대학교 금속공학과

• E-mail: sbjung@yurim.skku.ac.kr

초경합금(WC-Co)과 SM45C강은 서로 열팽창계수 차이가 크기 때문에 접합 후 냉각시 혹은 접합중에 접합계면에서 발생하는 잔류응력으로 인한 결합의 발생으로 우수한 접합강도를 얻기란 쉽지 않다^{2,3)}. 따라서 접합강도 및 신뢰도가 높은 접합체를 얻기 위해서는 접합중 혹은 접합후 냉각시 접합체내에 발생하는 잔류응력을 최소화시키는 것이 무엇보다도 중요하므로 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 적절한 삽입금속의 선택, 냉각시의 온도제어에 각별한 주의를 기울여야 한다^{1,2)}.

현재까지 구조용강과 WC-Co의 접합에 대한 연구결과는 보고된바가 없으나 탄소강과 같은 철강재료 혹은 WC-Co의 접합시 삽입금속으로 Cu와 Ni을 단독 혹은 복합적으로 사용할 경우 우수한 접합강도를 얻을 수 있다고 보고하고 있다^{4~13)}. 따라서, 본 연구에서는 WC/SM45C강 접합시 WC중에 포함된 Co와 전율고용합금화 되는 Cu박판에 Ni을 도금한 후 삽입금속으로 사용하였다. Cu와 Ni은 탄성계수 및 항복강도가 낮은 연성금속으로 접합 후 냉각시 이종재료의 접합계면에 발생하는 잔류응력을 흡수하여 세라믹스/금속 접합체의 강도를 증가시킬 수 있을 것으로 기대하였다^{4,14,15)}. 또한, Co, Cu 및 Ni은 전율고용체의 합금원소이므로 접합 후 접합계면에 생성되어 접합강도를 저하시킬 수 있는 금속간화합물의 생성을 최소화 할 것으로 기대하였다.

본 연구에서는 우수한 WC-Co/SM45C 접합체를 얻기 위하여 Cu박판에 Ni을 도금시켜 제조한 삽입금속을 이용하여 Co가 4~13wt.%(이하 %는 전부 wt.%를 의미함)첨가된 WC-Co와 SM45C강을 진공분위기에서 1323K에서 0.6ks~3.6ks동안 접합한 뒤 공냉, 로냉 및 유냉하여 냉각속도 변화에 따른 접합계면의 조직변화 및 전단강도값의 변화에 대하여 검토하였다.

2. 실험방법

본 실험에서 사용된 모재는 Co가 4~13% 첨가된 WC초경합금과 시중에서 판매되는 SM45C를 사용하여 직경 10mm 길이 10mm로 가공하였으며 Zn 및 Si이 각각 1.0, 0.7% 첨가된 삽입금속의 Cu(98.3%)박판에 Ni을 도금하여 사용하였다. 이때 삽입금속중의 Zn와 Si은 용점저하 및 삽입금속의 기계적특성을 향상시키기 위해 첨가하였다. 본 실험에 사용된 시편의 조성을 Table 1에 나타내었다. WC-Co와 SM45C강의 접합표면은 #1200 diamond paste로 연마한 뒤 삽입금속과 함께 초음파세척기로 에틸알코올과 함께 세정하여 접합용시편으로 사용하였다. 접합후 접합계면과 수직되는 방향으로 diamond절단기로 절단하고 연마하여 접합계면의 조직을 관찰하였다.

이종재료 WC-Co/SM45C접합체의 접합특성⁴⁾을 개선하기 위하여 본 연구에서는 두께가 100 μ m인 Cu박판위에 Ni도금을 도금두께 37.5 μ m와 12.5 μ m의 양면으로 실시하였고 Cu박판상의 Ni도금층두께가 37.5 μ m쪽은 WC-Co쪽으로, 12.5 μ m쪽은 SM45C쪽으로 위치시켜 접합을 실시하였다. Cu박판상에 우수한 밀착성 및 균질한 Ni도금층을 얻기 위하여 도금액은 황산니켈 450g/l과 염화니켈 60g/l을 사용하였고 PH4~5인 상태에서 붕산을 50g/l첨가시킨 후 323K온도에서 연속적으로 도금액을 교반하였다. 또한 도금액의 증발 및 PH의 변화를 관찰하면서 Ni의 양을 보충하였고 전류는 3A/cm²로 유지시키면서 약 2시간 도금으로 본 연구에 사용될 삽입금속을 제조하였다.

접합은 접합중에 발생할 수 있는 산화물과 같은 반응물의 영향을 최소화하기 위하여 5 \times 10⁻⁴Torr의 진공분위기에서 고주파 유도가열장치로써 11K/s속도로 승온하였고 R-type (Pt-13%Rh)의 열전대를 이용하여 접합계면의 온도를 측정하면서 1323 \pm 3K에서 0.6ks~3.6ks동안 유지하면서 실시하였다.

Table 1. Chemical compositions of base and insert metals.

Matrix	Chemical composition(wt.%)										
	C	P	Si	Mn	Cr	Mo	S	Cu	Fe	WC	Co
WC-4%Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	96	4
WC-8%Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	92	8
WC-13%Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	87	13
SM45C	0.42	0.01	0.15	0.60	0.09	0.01	0.02	0.12	98.58	-	-
	0.44	0.03	0.23	0.68	0.20	0.10	0.04	0.30	97.98	-	-
Insert metal	(wt.%)			Nickel plated copper							
	Cu	Zn	Si								
Copper alloys	98.3	1.0	0.7	1306K							

모재와 삽입금속의 반응현상은 광학현미경(Optical Microscopy)과SEM(Scanning electron microscopy)을 이용하였고 EPMA(Electron Probe Micro Analyzer)로서 접합계면의 접합시간에 따른 삽입금속과 모재의 성분변화를 관찰하였다.

전단강도실험은 자체적으로 제작한 전단시험용 지그(Jig)중에 접합된 WC-Co/SM45C의 시편을 접합계면에 하중이 수평으로 작용되도록 삽입한 뒤 Instron(Model 1341)의 Cross head 속도를 0.4mm/min로 하여 전단강도값을 구하였다. 냉각속도에 따른 접합강도값의 변화를 관찰하기 위하여 접합 후 냉각은 공냉, 로냉 및 유냉으로 하였다. 이때 공냉과 로냉의 냉각속도는 각각 22K/s와 4.4K/s이며 유냉은 접합 후 접합체를 온도 453K의 기름중에서 냉각하였다.

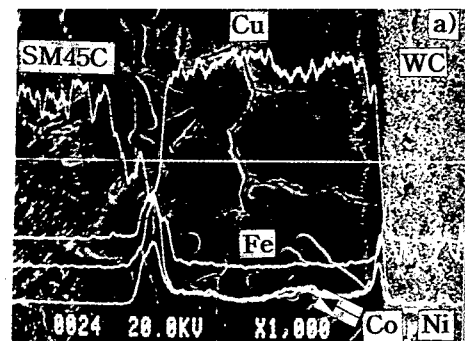
이중재료 WC-Co와 SM45C의 접합강도에 미치는 냉각속도의 영향과 Ni도금한 Cu합금박판이 삽입금속으로 사용될 수 있는 가능성을 검토하기 위하여 Co의 첨가량이 다른 3종류의 WC-Co와 SM45C를 조합하여 3종류(WC-4%Co/SM45C, WC-8%Co/SM45C 및 WC-13%Co/SM45C)의 접합체를 준비하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig.1 (a)~(c)에 접합온도 1323K에서 WC-4%Co/SM45C접합체를 0.6ks~3.6ks 동안 접합시킨 후 유냉한 접합체의 접합계면조직을 SEM과 EPMA로 분석한 결과를 나타내었다. Fig.2에 서로 다른 3종류의 접합체를 유냉한 뒤 접합계면에 발생한 수지상정(Dendritic width)폭의 변화를 접합시간과 함께 나타내었다. Fig.1과 Fig.2에서 알 수 있듯이 수지상정 폭은 유지시간의 증가와 더불어 증가하고 있고, 이때 SM45C강의 조직은 본 실험의 냉각속도로 볼 때 bainite와 martensite가 혼재되어 있을 것으로 사료된다¹⁶⁾. 하지만 SM45C강 조직의 변화에 따른 응력변화는 WC-Co와 SM45C강의 열팽창계수의 차이로 인하여 접합계면에 잔존하는 응력변화에 비하여 적을 것으로 사료되어 SM45C강 쪽의 조직변화에 따른 검토는 하지 않았다.

접합시간이 0.6ks인 Fig.1 (a)에서 알 수 있듯이 최초의 접합계면(WC-Co/nickel plated copper/SM45C)은 본 연구의 접합온도 1323K에서 용융. 응고되어 수지상정으로 나타나고 있다. 또, 이때 EPMA 분석한 결과 Fe, Co 및 Ni은 대부분 SM45C/수지상정 혹은 수지상정/WC의 접합계면에, Cu는 수지상정에 국부적으로 분포하고 있고 WC-Co 혹은 SM45C

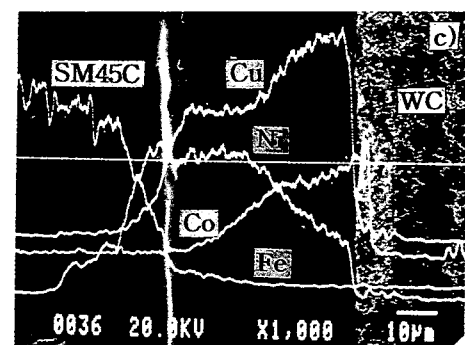
강 모재쪽에서의 확산은 짧게 발생하고 있음을 알 수 있다. 이들 원소를 EPMA를 이용하여 조성을 분석한 결과 WC-Co/SM45C의 접합계면 혹은 수지상정내에서 금속간화합물은 관찰되지 않았고 고용합금화 되어 있었다. 한편 Fig.1 (c)의 EPMA분석에서 알 수 있듯이 접합시간을 3.6ks로 했을 때 S45C의 Fe는 수지상정으로, 수지상정의 Cu와 Ni은 SM45C강 모재쪽으로, WC중의 Co는 수지상정으로 Fig.1 (a)의 접합계면과 비교할 때 각 원소는 더욱 확산되어 있으나 접합계면에서 균일한 조성까지는 도달하지 못하고 있다. 또한, Fig.1 (a)에서 알 수 있듯이 수지상정/SM45C의 접합계면에서 요철모양의 형상이 관찰되고 있으나 유지시간이 더욱 긴 Fig.1 (b)와 (c)의 접합계면에서



a) 0.6ks)



b) 1.8ks



c)3.6ks

Fig.1 EPMA analysis of WC-4wt.%Co/SM45C jointed at 1323K

는 상대적으로 요철모양은 감소하고 접합계면은 직선 형태로 관찰되고 있다. 즉, SM45C/수지상정의 접합계면은 접합시간이 0.6ks에서 3.6ks로 증가함에 따라 접합계면은 요철형상에서 직선으로 변화되고 있으므로 접합계면 면적은 감소하고 있다. 다른 WC-8%Co/SM45C와 WC-13%Co/SM45C접합체의 접합계면에서도 접합시간의 증가와 더불어 SM45C/수지상정의 접합계면에서 발생된 요철형상은 직선형상으로 변화되고 있었다. Kouno et al.⁹⁾ 와 Nakazima et al.¹²⁾ 는 WC-Co/Tool Steel의 접합계면에 발생하는 수지상정의 발생과 성장에 대하여 입계확산(Grain boundary diffusion)과 상호확산(Interdiffusion)에 의해 생성되고 성장한다고 보고하고 있다. 이들의 연구에 사용된 삽입금속 및 접합체의 조성이 다르므로 WC-Co/SM45C접합계면에서 발생하는 수지상정의 성장크기를 직접 비교할 수는 없지만 간접적으로 WC-Co/Fe계합금의 접합계면에 발생하는 현상은 유사하므로 검토할 수 있다.

따라서, 본 연구의 SM45C/수지상정으로 구성된 접합계면에서 요철형상으로 관찰되고 있는 수지상정은 SM45C강 모재로부터 생성된 후 입계확산에 의해 성장되고 있으며, WC-Co/수지상정의 접합계면에서는 WC중의 Co와 삽입금속의 Cu와 Ni이 상호확산되면서 수지상정이 성장된 것으로 사료된다.

Fig.2는 1323K에서 0.6ks~3.6ks동안 접합했을 때 접합계면에 나타나는 수지상정의 변화를 나타낸 것으로 WC에 4%의 Co를 첨가했을 때에 비하여 13%의 Co를 첨가했을 때 수지상정 폭은 더욱 증가하고 있으며, 접합시간의 증가와 더불어 수지상정 폭도 증가

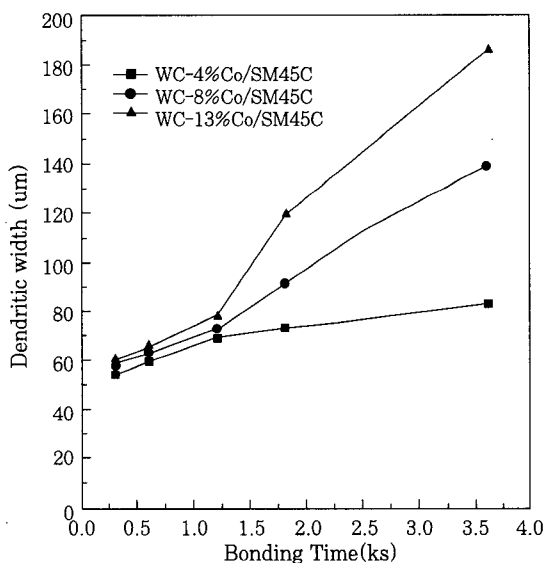


Fig.2 Dendritic width variations of interface jointed at 1323K

하고 있다. 즉, 수지상정은 WC-Co/SM45C접합계면에서 삽입금속이 먼저 용융되고 계속하여 SM45C강 모재의 Fe와 삽입금속의 Cu 및 Ni과 반응하여 응고되면서 1.2ks일때까지는 주로 SM45C/수지상정의 접합계면에서 수지상정이 생성되지만 접합시간을 1.2ks이상으로 증가시키면 모재(WC-Co, SM45C) 성분중 Fe과 Co는 접합계면의 삽입금속의 Cu와 Ni과 함께 고용합금화 및 상호확산하면서 급격히 성장한 것으로 사료된다. DTA(Differential Thermal Analysis)분석결과 본 연구에 사용된 삽입금속의 용융점은 1306K이므로 Fig.1의 WC-Co/SM45C접합체의 계면조직에서 관찰되듯이 삽입금속은 접합초기에 용융되고 곧 수지상정으로 생성되어 성장되므로 최초의 접합계면은 관찰되지 않았다.

1323K에서 WC-13%Co/SM45C를 접합 후 유냉한 뒤 접합계면을 중심으로 경도값을 WC쪽과 SM45C쪽으로 측정된 결과를 Fig.3에 나타내었다. 이때 접합시간의 증가와 더불어 경도값이 변화된 폭이 증가하는 것은 Fig.2의 접합계면에서 수지상정 폭이 증가하는 경향과 일치하고 있다. 접합시간의 증가에 따른 수지상정의 경도감소는 Fig.1의 EPMA분석에서 알 수 있듯이 삽입금속의 Cu와 Ni이 SM45C중의 Fe와 WC중의 Co와 고용합금화와 동시에 균질화되면서 발생된 것으로 사료된다.

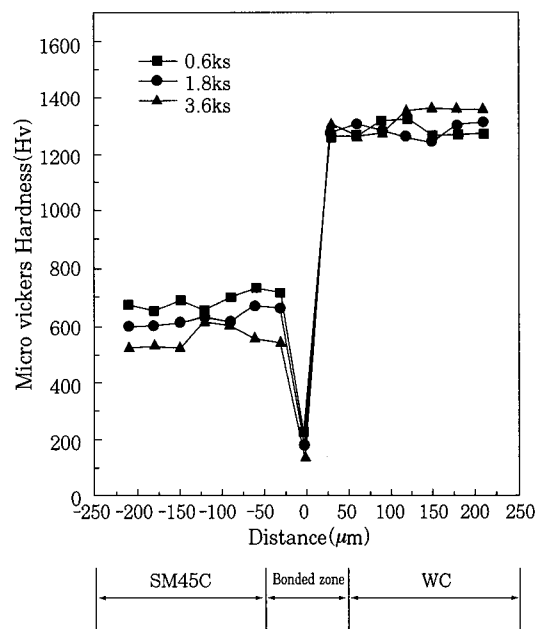


Fig.3 Hardness variations on bonded zone in WC-13wt.%Co/SM45C jointed at 1323K

한편 WC-Co와 SM45C강은 서로 열팽창계수의 차이가 매우 크므로 냉각속도에 따라서 접합강도가 변화

할 수 있으므로 WC-Co와 SM45C를 접합한 뒤 공냉, 로냉 및 유냉으로 냉각속도변화에 따른 전단강도의 변화를 Fig.4에 나타내었다. 물론 이때에도 SM45C강에 잔존하는 bainite와 martensite량에 따른 열팽창계수의 차이가 있을 것으로 사료되지만 냉각속도에 따라서 변할 수 있는 S45C내의 조직변화에 따른 전단강도의 변화는 WC-Co와 SM45C강의 열팽창계수의 차이로서 발생하는 응력이 전단강도에 미치는 영향에 비하여 적을 것으로 사료되어 본 연구에서는 이에 대한 검토는 하지 않았다.

Fig.4 (a)는 WC-Co와 SM45C를 접합한 후 공냉했을 때 접합시간에 따른 전단강도변화를 나타낸 것으로 WC중 Co가 4%에서 13%로 증가할 수록 전단강도는 증가하고 있다. 즉, 빠른 냉각속도로 인하여 WC-Co와 SM45C의 접합면에 발생하는 열팽창계수의 차이로 인하여 높은 응력이 접합면에 집중되므로 낮은 전단강도값을 나타낸 것으로 사료된다. 3종류의 서로 다른 접합체중 WC에 Co를 13%첨가한 접합체의 전단강도값이 94MPa로 가장 높게 나타나고 있다. 이것은 WC중의 Co가 WC-Co와 SM45C의 열팽창계수 차이로서 발생하는 응력의 완충역할을 한 것으로 사료된다.

Fig.4 (b)는 1323K에서 접합한 뒤 로냉 했을 때 유지시간이 짧은 0.6ks에서 WC-13%Co/SM45C는 125MPa의 전단강도값을 나타내었으나 접합시간이 같은 WC-8%Co/SM45C와 WC-4%Co/SM45C의 전단강도값은 각각116MPa과 101MPa의 낮은 값으로 나타났다. WC중 Co의 첨가량에 관계없이 3종류 접합체의 접단강도값은 유지시간이 증가하면 할수록 접합강도는 급격하게 감소하고 있으나 전체적으로 공냉에 비하여 높은 전단강도값을 나타내고 있다.

Fig.4 (c)는 접합 후 유냉 했을 때 WC-13%Co/SM45C, WC-8%Co/SM45C 및 WC-4%Co/SM45C접합체의 전단강도의 변화를 접합시간과 함께 나타낸 것이다. 0.6ks동안 접합했을 때 WC-13%Co/SM45C가 273MPa로 가장 높은 전단강도값을 나타내었으나 WC-4%Co/SM45C는 136MPa, WC-8%Co/SM45C는 120MPa의 낮은 접합강도값을 나타내었다. 공냉, 로냉과 마찬가지로 접합시간이 증가하면 할수록 접합강도는 급격히 감소하는 경향으로 나타났다.

냉각속도의 감소는 접합면에 집중되는 열충격응력의 감소로 나타나므로 Fig.4 (a)~(c)에서 나타내었듯이 냉각속도가 느리면 느릴수록 전단강도는 증가하고 있고, WC중 Co의 첨가량이 증가할수록 냉각속도에 관계없이 Co가 13%포함된 WC-13%Co/SM45C

의 접합체가 가장 높은 전단강도값을 나타내고 있다. 즉, Co가 4%, 8% 및 13%로 많이 첨가된 WC와 SM45C접합체의 전단강도값이 증가하는 것은 WC중의 Co가 열충격 완화작용을 하고 동시에 삽입금속의

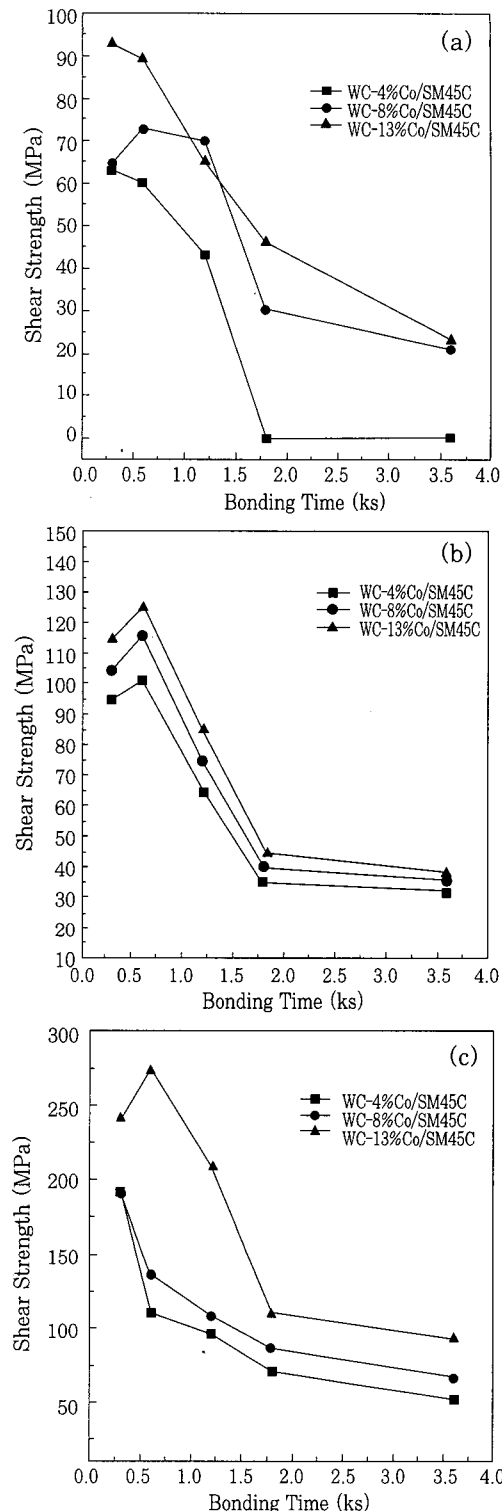


Fig.4 The shear strengths of WC/SM45C jointed at 1323K for various bonding times

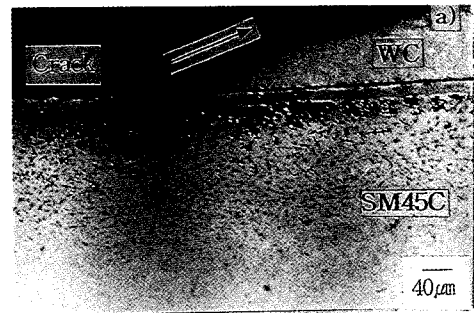
Cu, Ni과 WC중의 Co가 고용합금화 되면서 성장한 수지상정이 접합계면에 집중되는 응력을 완화시키기 때문인 것으로 사료된다. 아울러 Fig.1에서 나타내었듯이 SM45C/수지상정의 접합계면에서 접합시간이 0.6ks일 때 관찰되는 요철형상은 접합계면의 면적을 크게 가지게 되므로 전단강도값이 높게 나타나고 접합시간이 3.6ks일 때 SM45C/수지상정의 접합계면은 요철형상에서 직선으로 변화되면서 전단강도값이 감소한 것으로 사료된다.

즉, Fig.2와 Fig.4에 나타내었듯이 냉각속도가 느릴수록, 그리고 접합계면에 약 60 μ m전후의 수지상정폭이 접합계면에 존재할 때 접합강도가 가장 높게 나타났다. 한편, 접합체의 성분과 조성이 다르기 때문에 전단강도값을 직접 비교할 수는 없지만 WC-Co/Tool steel과 같이 열팽창계수의 차이를 나타내는 이종재료를 접합할 때 냉각속도 및 접합계면의 형상 및 수지상정 폭에 따라 접합계면에 잔류하는 응력의 크기가 결정되므로 일정한 수지상정 폭이 유지되도록 해야 우수한 접합강도를 얻을 수 있다는 Kouno⁹⁾ 와 Nakazima¹²⁾ 의 연구결과와 같이 본 연구에서도 같은 경향으로 나타났다.

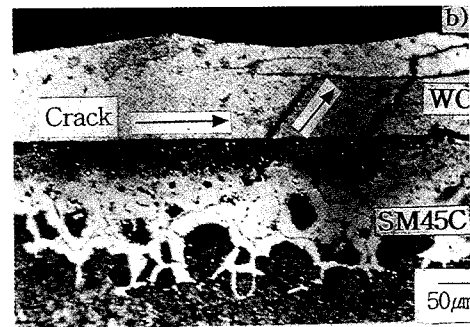
현재로서는 이들의 최적접합조건에 대한 완전한 결론에 도달하지는 못했지만 향후 냉각속도에 따른 응력의 변화 및 적절한 삼입금속에 대한 data를 축적한다면 더욱 우수한 접합강도를 얻을 수 있을 것이라 기대해본다.

Fig.5 (a)~(c)에 전단시험 후 접합계면에서 발생하는 대표적인 파괴양상을 접합시간을 변화시켜 접합한 WC-8%Co/SM45C접합체를 예로서 나타내었다. Fig.5 (a)는 0.6ks일 때 접합계면을 중심으로 WC쪽에서 파괴가 주로 발생하고 있고, Fig.5 (b)는 1.8ks일 때 WC-Co와 수지상정에서 동시에 파괴가 발생하고 있으며, Fig.5 (c)는 3.6ks일 때에는 수지상정에서 주로 파괴가 발생하였다. 상기와 같이 Fig.5 (a)~(c)와 같은 3종류의 파괴양상은 Co가 4~13%첨가된 WC와 SM45C의 접합체 모두에서 관찰되었으며 접합시간이 증가할수록 접합계면의 파괴양상은 Fig.5 (a)에서 (b)로 변화되어 최종적으로는 (c)와 같은 파괴양상으로 진행된 파면으로 나타났다.

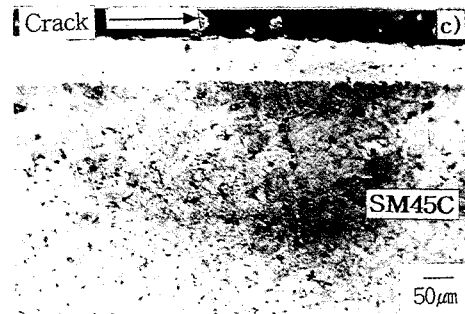
이와 같은 파괴양상의 변화는 Fig.1의 조직사진 및 Fig.4의 전단강도값에서 설명했듯이 접합시간이 짧고, WC중 Co량이 많을수록 SM45C/수지상정의 접합계면에서 요철형상의 계면이 많이 관찰되므로 접합강도는 상대적으로 크게 나타나고 Fig.5 (a), (b)의 형상과 같이 WC-Co/수지상정의 접합계면에서 파단



a) 0.6ks)



b) 1.8ks



c) 3.6ks

Fig.5 The types of failure after shear strength test in WC-8%Co/SM45C jointed

이 주로 발생한 것으로 사료된다. 또한 접합시간이 길어질수록 SM45C/수지상정의 접합계면은 요철형상에서 직선형상으로 변화되므로 Fig.5 (c)와 같이 주로 수지상정에서 파단이 발생할 가능성이 크게되고 따라서 전단강도값 또한 감소한 것으로 사료된다. 즉, Fig.1, Fig.4, Fig.5에 알 수 있듯이 접합시간과 함께 변화되는 파괴양상과 접합강도의 상관관계는 이종재료(세라믹스/금속)의 접합계면에 집중되는 응력의 정도 및 접합시 발생하는 접합계면의 형상에 따라 접합강도가 변한다는 타 연구자의 연구결과와 일치하고 있다^{3,9,12)}. 아울러 Fig. 5의 WC-8%Co/SM45C를 0.6ks에서 3.6ks동안 접합한 접합체의 파단면을

Fig.6 (a)~(c)에 SEM사진으로 나타내었다. 대체적으로 취성파괴에 가까운 파면으로 관찰되고 있고, 냉각속도에 관계없이 다른 2종류의 접합체에서도 Fig.6과 유사한 파면으로 관찰되었다.

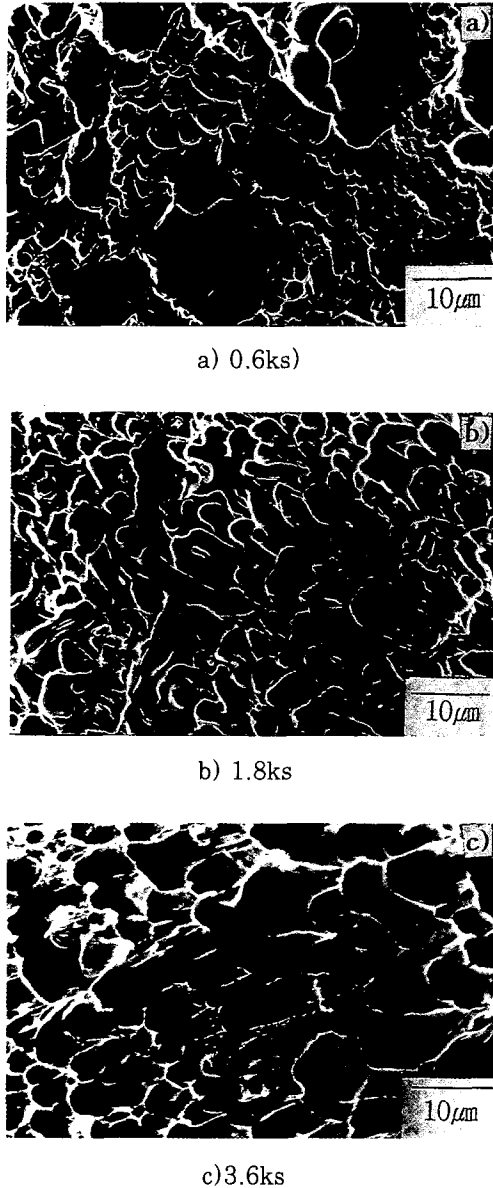


Fig.6 SEM micrographs in fracture interface WC-8%Co/SM45C jointed

4. 결 론

Co를 4%, 8% 및 13% 첨가한 3종류의 WC와 SM45C강을 Cu박판에 니켈(Ni)도금한 삽입금속을 이용하여 1323K에서 0.6ks~3.6ks동안 접합한 후 접합부의 조직변화와 공냉, 로냉 및 유냉과 같이 냉각속도를 변화시켰을 때 냉각속도가 미치는 전단강도값

의 변화를 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) WC-Co/SM45C접합시 삽입금속으로 사용한 Ni도금된 Cu박판은 접합온도 1323K에서 수지상정으로 관찰되었고 수지상정 폭은 접합시간과 WC중 Co량이 증가함에 따라 함께 증가하였다.
- 2) 접합시간이 짧은 초기에는 수지상정/SM45C접합계면의 SM45C강에서 수지상정이 생성되고 계속하여 삽입금속의 Cu, Ni과 함께 WC중 Co가 고용합금화되면서 입계확산과 상호확산에 제어되어 성장되고 있다.
- 3) 접합시간이 0.6ks일 때 수지상정/SM45C접합계면에서는 요철형상의 계면이 관찰되고 있으나 접합시간을 더욱 증가시킨 3.6ks에서는 접합계면은 직선형상으로 변화되고 있었다. 이때 접합계면에서 발생한 요철형상은 수지상정/SM45C접합계면에서 접합면적이 증가되므로 전단강도시험시 파단은 접합시간이 0.6ks일 때 주로 수지상정/WC-Co접합계면에서 발생하고, 접합시간이 3.6ks일 때에는 접합계면이 직선형상으로 변화되고 파단은 수지상정에서 주로 발생하였다.
- 4) 접합온도 1323K에서 WC중 Co량이 4~13% 첨가된 서로 다른 3종류의 접합체 전단강도는 공냉, 로냉 및 유냉으로 냉각했을 경우, 전체적으로 유냉 했을 때의 전단강도값이 높았다. 접합시간이 0.6ks이고 유냉한 WC-13%Co/SM45C접합체에서 가장 높은 273MPa의 전단강도값을 얻을 수 있다. 이때 WC-Co/SM45C접합계면의 파단면은 냉각속도 혹은 WC중 Co의 첨가량에 관계없이 취성파괴에 가까운 형상으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 김 영식 외 7인 : 산화물계 세라믹과 금속과의 용접기술 개발, 상공부보고서, 해양대학교, (1992), pp.19-425
2. S.P.Peteves, M.Paulast, G.Ceccone and V.Stamos : The reactive route to ceramics joining fabrication interfacial chemistry and joint properties, Acta Meta. Vol.46, (1988), pp.2407-2414
3. K.Suganuma, Y.Miyamoto and M.Koizumi : Ann. Rev. Mater. Sci.18, (1988), pp.47-73
4. 姜 晶允, 金 雨烈 : Brazing 기술의 기초와 실제 (I), J. KWS., Vol. 10, No.2, (1994), pp.11-18
5. 고 명완 외 7인 : 확산접합에 의한 Clad제품 제조

- 기술개발, 상공부보고서, 생산기술연구원, (1992), pp.1-113
6. 정 하운, 김 종철, 박경채 : WC9%Co와 SUJ2강의 접합특성에 미치는 열처리의 영향, J. KWS, Vol.15, (1997), pp.430-437
 7. 박 종혁 : 동/스테인레스강 브레이징 접합부의 계면조직과 접합강도에 관한 연구, 서울대학교 석사논문(1991)
 8. G.Geiger : Advanced in Mechanical Testing of Advanced Ceramics, Bulletin, Vol. 5, No.11, 1990, pp.1794-1800
 9. A.Kouno, S.Hiokis, K.Taguchi and H.Nakae : 超硬合金と工具鋼の擴散接合, 容接學會論文集, Vol.301, (1985), pp.104-109
 10. H.Ohmura, K.Kawashiri and T.Yoshida : 超硬合金と炭素鋼の銅ろう付, 容接學會論文集, Vol.6, 4, (1988), pp.47-52
 11. T.Ishida : 鐵-銅のろう付現象, 容接學會誌, Vol.39, 4, (1970), pp.49-58
 12. Y.Nakajima, H.Esaki, M.Tobioka and M.Tokizane : 超硬合金と炭素鋼の擴散接合, 日本金屬學會誌, Vol.51, 3, (1987), pp.228-233
 13. H.Mizuhara, E.Huebei, T.Oyama : High-reliability Joing of Ceramic to Metal, Ceramic Bulletin, Vol.68, No.9, (1989), pp.1591-1599
 14. A.H.Eisawy, M.F.Fahmy : Brazing of Si3N4Ceramic to Copper, J. Materials Processing Tech., 77, (1998), pp.266-272
 15. W.F.Savage, E.F.Nippes, and R.P.Stanton : Intergranular Attack of Steel by Molten Copper, Welding Research Supplement, January, (1978), pp.9-16
 16. 양 훈영, 김 수영 : 금속재료학, 문운당출판, (1984), pp.168-231