

# FCD60/SCM440의 고상확산접합부의 인장성질과 미세조직과의 상관관계

## Correlation of Tensile Property with Microstructure of Solid State Diffusion Bonded Joint of FCD60/SCM440

옥태희, 송우현, 강정윤, 이상래  
부산대학교 공과대학 금속공학과

### 1. 서 론

전년도 연구에서는 FCD60/SCM440의 고상확산접합시 접합온도 및 유지시간의 변화에 따른 미세조직을 관찰하고 기계적 성질을 평가하여 최적의 접합조건을 확립하였다. 접합온도가 높아짐에 따라서 인장강도와 연신율이 동시에 증가하는 것이 특징이었으며, 이러한 인장성질은 접합온도에 따른 계면의 미세조직 변화와 관련이 있을 것으로 판단되었다. 따라서, 본 연구에서는 전년도 연구에서 언급되었던 접합조건을 기준으로 하여 접합계면을 중심으로 접합부의 미세조직 변화를 관찰하고, 인장성질과의 상관관계를 검토하였다. 또한, 모재의 기지조직 변화가 인장성질에 미치는 영향을 알아보았다.

### 2. 실험 방법

본 실험에 사용된 시험편은  $\phi$  10mm로 가공하고, 조직 관찰용은 길이 10mm, 인장시험편용으로는 35mm로 절단하여 사용하였다. 접합면은 주로 Emery paper #1000까지 연마하여 사용하였다.

접합은  $5 \times 10^{-5}$  torr의 진공분위기 중에서 7MPa의 하중을 일정하게 가하면서 3K/sec 승온속도로 원하는 접합온도까지 고주파 가열을 행하고, 30min., 60min. 동안 유지시킨 후 로냉 시켰다. 이때의 로냉은 일반적인 로냉과 달리 급냉에 가깝다. 접합온도는 1023~1273K범위에서 50K 간격으로 행하였다. 접합시 온도계측은 접합계면 바로 직하에 열전대를 시험편에 피커션 용접으로 부착하여 직접 계측하였다. 모재기지조직을 변화시키기 위하여 SCM440모재의 균질화 열처리를 실시한 후 접합을 행하여 SCM440 접합부 근방에서 백색상의 형성을 억제하는 방법과 냉각시 1023K에서 10min. 유지하여 접합부 근방의 FCD60의 기지조직을 Pearlite+Ferrite로 제어하는 방법을 시도하였다.

접합부의 미세조직은 접합면과 수직으로 절단하고, 연마하여 광학현미경(O.M) 및 주사식전자현미경(SEM)으로 관찰하였다. 부식은 0.3g. picric acid + 0.2ml Nitric acid + 100ml Methanol의 부식액을 사용하였고, 약 30초 동안 부식시켰다. 접합부 근방의 성분원소의 변화를 관찰하기 위하여 EPMA로 성분 분석을 하였고, 접합부의 기계적성질을 평가하기 위하여 경도를 측정하고 인장시험을 실시하였다. 접합효율의 저하원인을 분석하기 위하여 SEM으로 파면을 관찰하고, 파면의 특징과 파단위치를 관찰하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 접합 현상 및 인장성질에 미치는 접합조건 영향

Fig 1.은 접합압력을 7MPa로 일정하게 하고, 1023K, 1123K에서 30min., 60min 동안 유지하여 접합한 경우, 접합온도 및 유지시간에 따른 접합부 근방의 미세조직의 변화를 광학현미경 조직과 SEM조직으로 나타낸 것이다. SEM조직을 비교해 보면, 접합온도가 높아질수록 계면의 이동현상이 발생하고, Pearlite의 층상간격이 조밀해지며, 접합계면에서 같은 pearlite colony를 형성하기 때문에 계면을 구별하기가 힘든 부분이 많이 관찰된다. 이러한 현상은 접합온도에서 부분적으로 오스테나이트의 입계가 이동되고, 냉각시 공석변태로 pearlite가 생성되었기 때문인 것으로 생각된다. 유지시간에 따른 접합계면에서 미세조직의 변화는 없는 것으로 보인다. Fig 2.는 접합압력이 7MPa, 11MPa 일 경우의 접합계면의 미세조직을 비교한 것이다. 파단면은 압력이 낮은 7MPa의 것에 비해 압력이 높은 11MPa의 것이 양호한 접합이 이루어진 것으로 생각되며, 단면의 현상을 관찰하면 압력이 낮은 것은 직선계면을 나타내는 반면, 압력이 높은 것은 입계 이동으로 굴곡되어 있고, 큰 보이드가 형성되어 있는 것이 특징이다. 이것은 흑연의 분말화에 의한 것으로 추측된다.

Fig 3.은 고진공( $5 \times 10^{-5}$  torr), 저진공( $5 \times 10^{-3}$  torr), 그리고 Ar분위기에서 접합하였을 때 접합계면에서

나타나는 미세조직의 변화를 비교한 것이다. 고진공과 저진공의 분위기에서 접합한 것은 미세조직의 차이가 없으나, Ar 분위기로 접합한 것은 SCM강 쪽에 백색상이 많이 형성되어 있고, 접합계면에 보이드가 많이 관찰된다. Table 1은 접합조건에 따른 인장성질을 비교한 것이다. 유지시간에 따른 인장강도의 차이는 거의 없고, 단지 연신율이 약간 증가함을 알 수 있다. 접합압력의 영향은, 압력이 높은 것이 오히려 인장강도 및 연신율이 저하하는 것을 볼 수 있다. 그 이유는 Fig 2에서 나타나듯이 압력이 높은 11MPa의 경우, 금속과 금속이 접촉된 부분에서는 접합압력이 높을수록 완전한 결합이 이루어지지만, 흑연과 SCM440강이 접촉된 부분에서는 계면에 존재하는 흑연이 압력의 증가로 인하여 분말화되는 경향이 크므로 이부분이 보이드의 역할을 하기 때문인 것으로 생각된다. 접합분위기는 접합강도에 영향을 미치지 않지만, 연신율에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 즉, 진공도가 좋을수록 연신율은 크고, Ar 분위기와 저진공에서는 연신율이 매우 낮다.

### 3.2 접합 현상 및 인장성질에 미치는 기지조직의 영향

Fig. 4는  $5 \times 10^{-5}$  torr의 접합분위기에서 접합압력을 7MPa로 일정하게 하고, 30min. 동안 유지하여 접합한 시험편의 균질화처리 전,후의 접합부 근방의 미세조직을 나타낸 것이다. 균질화 열처리한 모재를 사용하여 접합한 결과, 접합부 근방의 백색상은 생성되지 않는다. Fig 5.는 주철의 기지조직을 ferrite와 pearlite의 혼합조직으로 만들기 위한 접합부 및 모재 중심부의 광학현미경조직과 접합계면부의 SEM조직을 나타낸 것이다. 모재 중심부에서는 의도한 대로 ferrite조직이 흑연 주위에 충분히 석출하고 있으나, 접합부 근방에서는 ferrite의 석출량이 아주 적음을 알 수 있고, 특히, 접합계면에는 ferrite기지에 과상 혹은 막대상의 시멘타이트들이 형성되어 있는 것이 특징이다. Fig.6은 각 온도에서의 SCM440강을 균질화 열처리한 것과 하지 않은 것과의 인장성질을 비교한 것이다. 인장강도는 비슷하지만, 연신율은 약간 낮은 것을 알 수 있다. 이 결과로부터 접합부의 연신율 저하는 백색상과 관계가 없음을 알 수 있었다. Fig 7.은 기존의 열사이클과 주철조직을 제어하는 열사이클로 접합한 시험편의 인장성질을 비교한 것이다. 인장시험시 파단은 모두 모재에서 일어났으나, 강도는 아주 낮고, 연신율은 거의 비슷한 값을 가지는 것을 알 수 있다. FCD60모재에서 파단하는 이유는 모재 쪽에서 ferrite가 너무 많이 석출되어 강도가 급격히 저하하였기 때문인 것으로 생각된다.

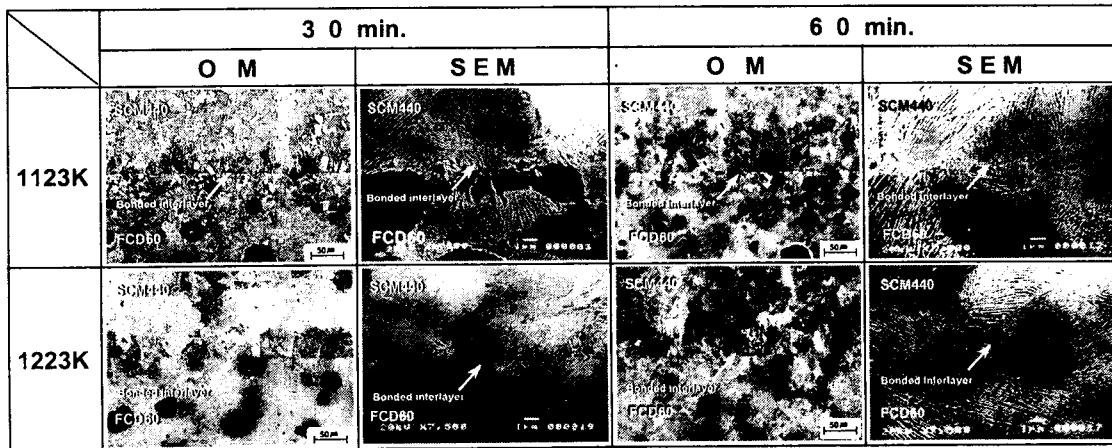


Fig. 1. Microstructures of bonded interlayer with holding time and bonding temperature ( $5 \times 10^{-5}$  torr.)

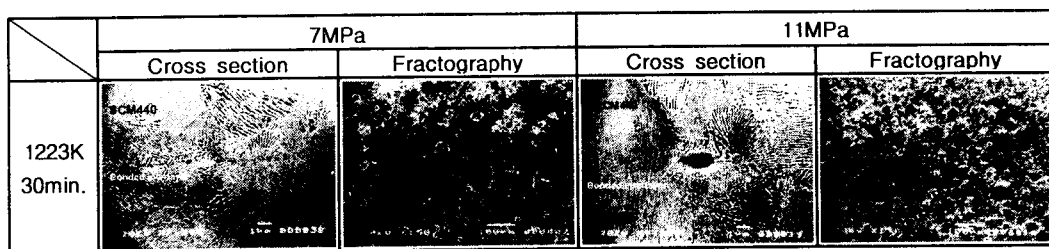


Fig. 2. Microstructures and fractography of bonded interlayer with bonding pressure ( $5 \times 10^{-5}$  torr.)

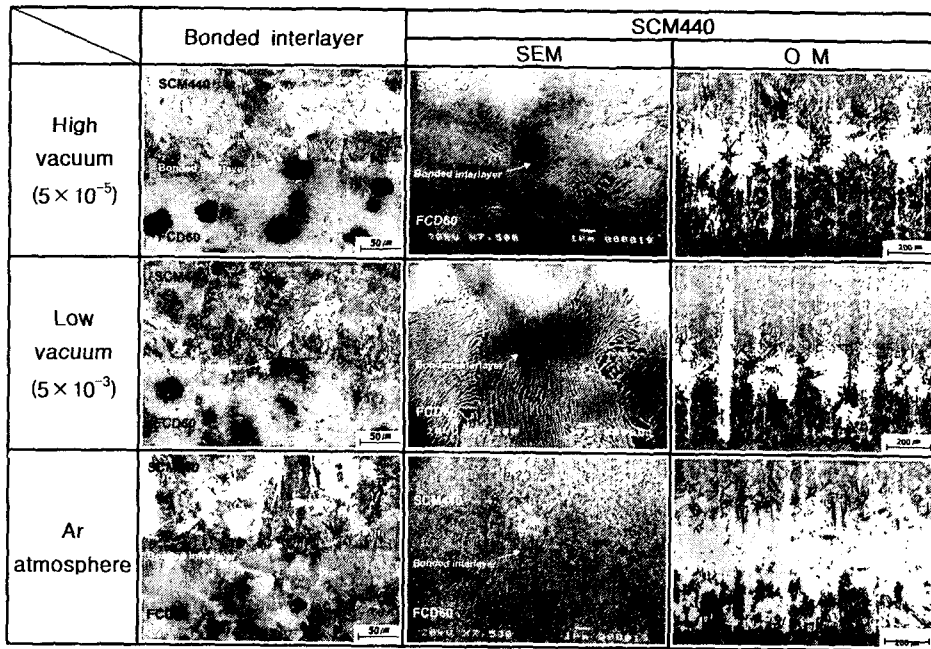


Fig. 3. Microstructures of bonded interlayer with bonding atmosphere (7MPa, 1223K×30min.)

Table 1. Tensile properties with bonding conditions

	30min	60min	$5 \times 10^{-3}$ torr	Ar atmosphere	High pressure
Tensile strength (MPa)	850	798	893	904	801
	905	896	901	861	848
Elongation (%)	6.1	9.8	4.1	3.9	4.2
	7.8	8.2	3.9	3.3	3.5

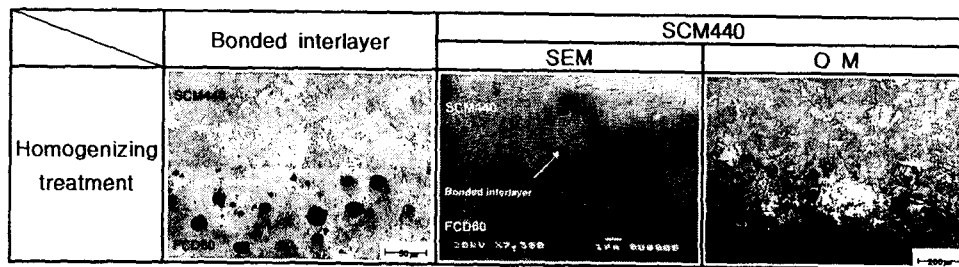


Fig. 4. Microstructures of bonded interlayer in joints of FCD60 and SCM440 homogenizing heat treated (1223K×30min, 7MPa,  $5 \times 10^{-5}$  torr.)

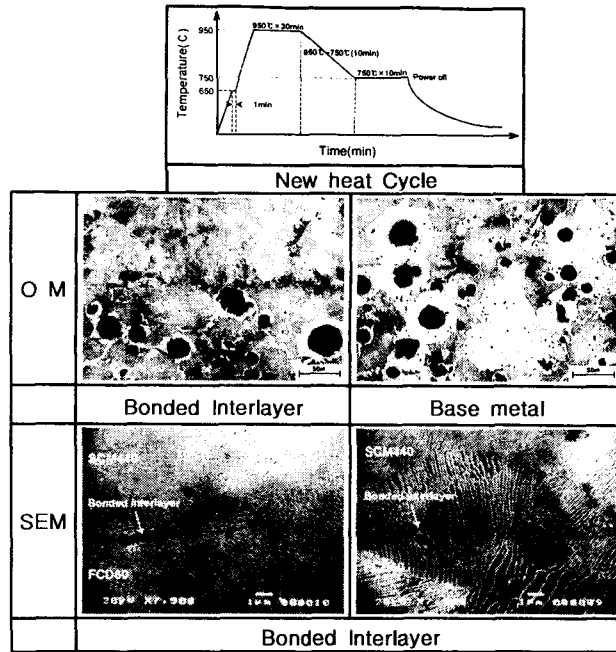


Fig. 5. Microstructures of bonded interlayer and base metal in joint bonded by new heat cycle

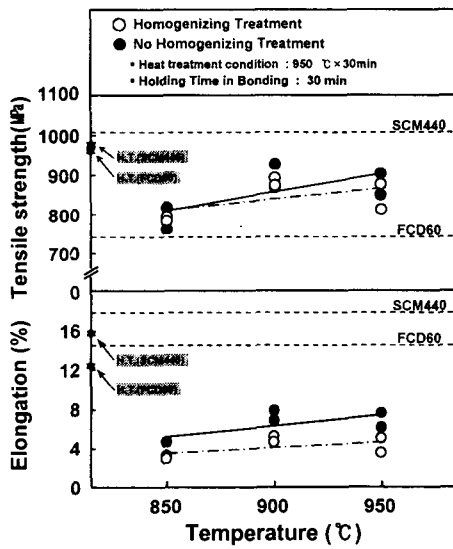


Fig. 6. Effect of homogenizing treatment on tensile property

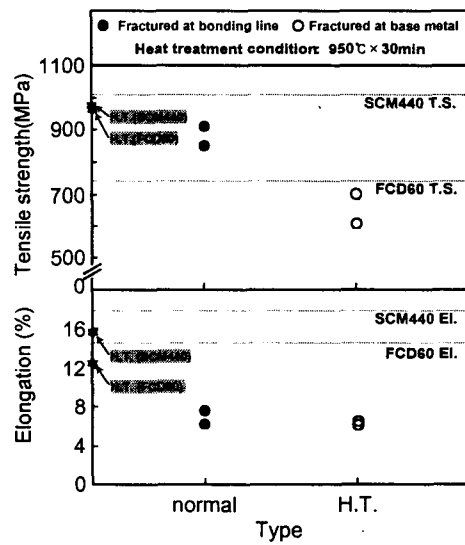


Fig. 7. Tensile properties of specimen bonded by normal heat cycle and a new heat cycle