

# 초경합금과 공구강의 확산접합부의 강도특성에 관한 연구

## The Study on Diffusion Bonding Characteristics for Hard Metal to Tool Steel Dissimilar Joint

이상욱\*, 변경일\*, 정호신\*\*

\*부경대학교 대학원 재료공학과

\*\*부경대학교 재료공학부

### 1. 서론

오늘날 모든 재료에 요구되는 물성이 복합화 되고, 사용환경이 점차 열악해 지면서 이종재료 접합의 필요성이 확대되고 있다. 이로 인해 각종의 이종재료들을 다양한 방법으로 접합이 시도되고 있고, 또한 산업현장에 적용되고 있다. 본 연구에서는 이종재료 접합 중에서도 열팽창계수의 차가 큰 초경합금과 공구강의 접합을 시도하였다. 초경합금과 공구강의 접합은 주로 브레이징에 의해 이루어지고 있지만, 브레이징에 의한 접합은 경제적인 반면, 접합부의 강도나 사용온도 등의 문제가 있기 때문에 이러한 단점을 지닌 브레이징의 대안으로 확산접합을 적용하고자 하였다.

일반적으로 확산접합은 브레이징과 달리 유해가스가 발생하지 않으며, 기공과 같은 결함의 발생 가능성도 적을 뿐 아니라, 고온에서도 충분한 강도를 가진다. 그러나 초경합금과 탄소공구강의 접합에 있어서는 냉각시 양쪽 재료간의 열팽창계수 차이에 의해 발생하는 열응력과 탄소의 확산에 의해 생기는 취약한 금속간 화합물( $\eta$ 상)의 형성이 문제가 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 열팽창계수의 차이에 따른 열응력을 완화하기 위하여 비교적 연성이 풍부하고 열팽창계수가 적은 순수 Ni과, Permalloy 합금, 그리고 Invar 합금을 삽입금속으로 사용하였고, 삽입금속의 두께와 접합조건에 따른 접합부의 경도와 굽힘강도를 평가하였다.

### 2. 실험방법

본 실험에서는 초경합금 K30(WC-10%Co)과, 합금공구강 SKD61을 사용하여 확산접합 하였으며, 굽힘 강도용 시험편과 미시조직 관찰용 시험편을 동시에 접합하여 분석하였다. 삽입금속으로는 순수 Ni과 Ni 합금인 Permalloy, 그리고 Fe를 기지로 한 Invar 합금을 사용하였고, 삽입금속의 두께는 각각 50 $\mu$ m, 100 $\mu$ m, 200 $\mu$ m로 변화시켰다. 시험편의 확산접합 시간은 1000 $^{\circ}$ C에서 30분간 유지하였으며, 압력은 15MPa를 가하였다. 접합 후 각각 2 $^{\circ}$ C/min와 30 $^{\circ}$ C/min으로 냉각 후 QT처리를 하였으며, 일부 시험편은 접합온도에서 즉시 QT처리를 하였다. 냉각 후, QT처리는 1000 $^{\circ}$ C에서 10분간 유지 후 quenching 하였으며, 560 $^{\circ}$ C에서 30분간 tempering 하였다. 접합한 시험편을 3점 굽힘 시험하여 접합부의 강도를 평가하였고, 굽힘 시험편의 파면 관찰은 실측현미경으로 관찰하였고, 열처리 조건에 따른 강도를 비교하였으며, 비커스 경도계로 경도의 변화를 평가하였다. 또한 접합부의 삽입금속의 경도 값으로써 접합부의 열응력 분포경향을 평가하였다. 그리고 삽입금속의 종류와 접합조건에 따른 미시조직과 확산층의 변화 및 금속간 화합물의 존재여부를 광학 현미경 및 SEM, EPMA, XRD를 사용하여 분석하여 상호 비교하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

굽힘 강도시험 결과 삽입금속의 종류에 관계없이 삽입금속 두께가 증가함에 따라 강도 값도 증가하였다. Fig.1은 Ni 삽입금속을 사용했을 때의 삽입금속의 두께 및 접합 후 냉각속도와 열처리조건에 따른 굽힘강도의 변화를 나타낸 그래프이다. 확산접합온도에서 2 $^{\circ}$ C/min, 30 $^{\circ}$ C/min로 냉각 후 QT 처리한 시험편보다 tempering 처리만 한 시험편의 접합강도가 높았고, QT 처리한 시험편에서는 냉각속도에 따라서 강도값의 큰 변화는 나타나지 않았지만, 냉각속도가 느릴수록 접합강도는 증가하는 경향을 보였다. Fig.2는 접합부 단면의 중심에서부터의 삽입금속의 경도값의 변화를 나타낸 그래프이며, 열팽창계수가 다른 이종재료의 접합시 시험편의 외주부로 갈수록 열응력이 높아지는데 Fig. 2에서 이러한 열응력의 경향과 삽입금속의 경도값의 경향이 잘 일치하고 있다. 또한 QT 처리한 시

시험편에서 삽입금속의 경도값이 tempering 처리만 한 시험편보다 높았다. 따라서 QT 처리한 시험편에 더 큰 열응력이 존재한다는 것을 알 수 있다. Fig.3은 삽입금속의 두께방향으로의 경도를 측정된 그래프로서 SKD61과 초경합금사이의 열응력의 분포를 나타내고 있다고 할 수 있다. 여기서 초경합금 쪽의 삽입금속의 경도가 높게 나타난다는 것은 확산접합과 열처리시에 초경합금쪽에 더 많은 열응력이 집중되기 때문이라고 사료된다. Fig.4는 SKD61의 열처리에 따른 경도의 변화를 나타내고 있다. 2°C/min로 냉각된 시험편보다는 30°C/min로 냉각된 시험편이 어느 정도의 martensite의 변태로 인해 경도가 더 높게 나타났으며, 2°C/min, 30°C/min로 냉각후 tempering만 한 시험편 보다는 QT처리한 시험편이 더 많은 양의 martensite 변태로 인해 경도가 더 높았고, 2°C/min, 30°C/min로 냉각 후 QT처리한 시험편보다 접합온도에서 즉시 QT처리한 시험편이 더 높은 경도를 나타내었는데, 이 결과는 quenching 온도까지의 재 가열로 인한 결정립의 조대화 때문에 접합온도에서 즉시 QT처리한 경우보다 경도값이 낮게 나타난 것으로 사료된다. 이와 같이 삽입금속의 경도값으로 평가된 열응력의 분포경향으로 보아 삽입금속이 접합 후, 발생하는 열응력을 보다 효율적으로 완화하기 위해서는 냉각속도를 충분히 느리게 해주어야 하지만, SKD61과 같은 공구강의 접합일 경우에는 높은 경도를 유지해야 한다는 측면에서 martensite 변태에 의한 체적팽창으로서 열응력을 완화시키는 방법이 가장 적합한 방법이며, 어느 정도 열응력을 완화시킬 수 있는 두께를 가진 삽입금속을 사용해야 한다는 결론을 얻을 수 있었다. 그러나, 삽입금속의 두께가 200 $\mu$ m 보다 더 두꺼워 졌을 때는 접합강도가 삽입금속의 강도에 지배되기 때문에 다시 감소한다는 보고<sup>1)</sup>가 있다. 한편 Permalloy와 Invar를 삽입금속으로 사용하였을 때의 접합 결과로는 Permalloy의 경우에 Ni를 삽입금속으로 사용하였을 때보다 높은 강도값을 가졌으나 Invar를 사용하였을 때는 오히려 강도가 낮아졌다. 이 역시 현미경 관찰결과 QT 처리한 Ni삽입금속 시험편과 마찬가지로 시험편 외주부에 균열이 존재하였다. Fig.5는 2°C/min로 냉각 후 QT처리한 시험편의 접합부의 균열을 나타내고 있으며, Fig.6은 접합온도에서 즉시 QT처리한 시험편의 양호한 접합부를 나타내고 있다. 그리고, EPMA line profile 결과 확산시간이 길어질수록 확산층의 증가로 인해 강도값이 높게 나타나는 것을 알 수 있었으며, XRD분석결과 이들 3가지의 삽입금속을 사용하여 확산접합 할 경우에는 취약한 금속간 화합물( $\eta$ 상)이 생성되지 않았다는 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

1. 삽입재 두께 50~200 $\mu$ m범위 내에서는 삽입금속의 두께가 증가함에 따라 접합강도가 증가했으며, 또한 확산시간이 길어질수록 접합강도가 상승하였다.
2. 확산접합온도에서 2°C/min, 30°C/min으로 냉각 후 QT 처리한 시험편은 열처리시 초경이나 삽입금속의 외주부에서 발생한 균열에 의해 굽힘강도가 감소하였다.
3. 접합강도는 Invar < Ni < Permalloy 의 순으로 증가하였다.
4. 접합온도에서 즉시 QT처리한 경우에는 Martensite 변태에 의한 열 응력 완화의 효과로 인해 균열이 발생하지 않았으며 높은 강도 및 경도 값을 얻을 수 있었다.

#### 참고문헌

1. 河野 顯臣, 日置 進 : 超硬合金と工具鋼の擴散接合, 溶接學會, 第3卷(1985) 第1号, pp.104~109
2. 中島義行, 江崎宏樹 : 超硬合金と炭素工具鋼の擴散接合, 日本金屬學會, 第51卷(1987) 第3号, pp.228~233
3. M. G. Nicholas : Joining Process (Introduction to brazing and diffusion bonding), 1998
4. A. M. Cottenden, E. A. Almond : Hardmetal interlayered butt-joints made by diffusion bonding and pressure bonding, Metals Technology, June 1981, pp.221~233
5. 岩本信也 : セラミックス接合工學, 1990
6. Katsuaki SUGANUMA : Recent advances in joining technology of ceramics to metals, ISIJ International, Vol. 30 (1990), No. 12, pp.1046~1058

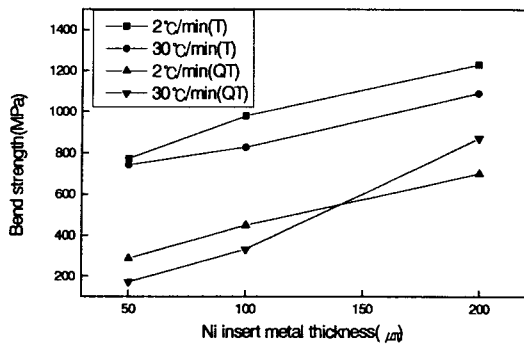


Fig.1 Bend strength of specimens

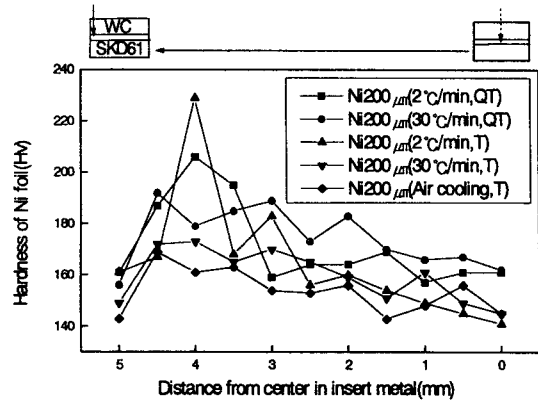


Fig.2 Hardness of insert metals

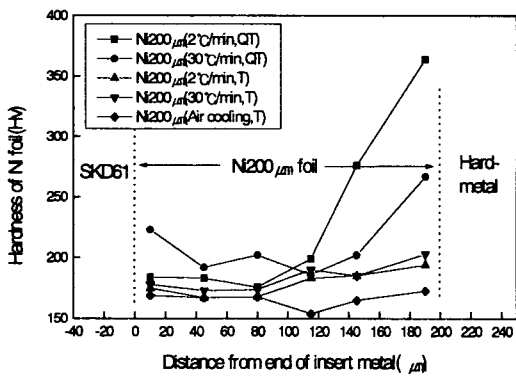


Fig.3 Vickers hardness of insert metals

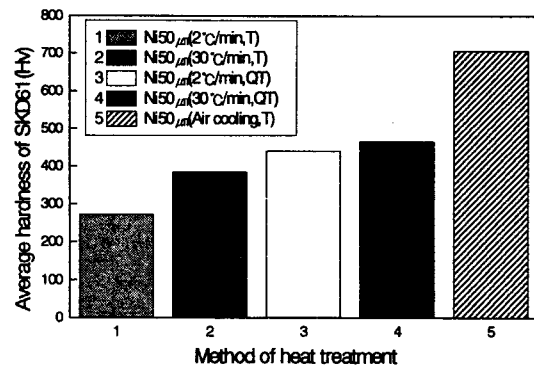


Fig.4 Average hardness of SKD61

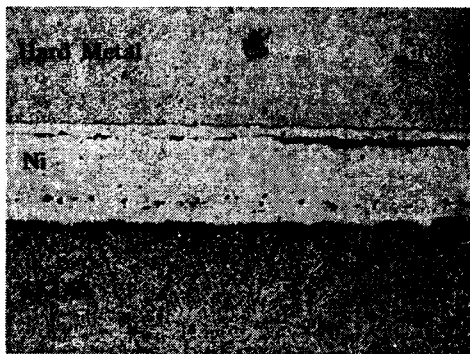


Fig.5 Photograph of crack in the section of bonded specimen(x200)

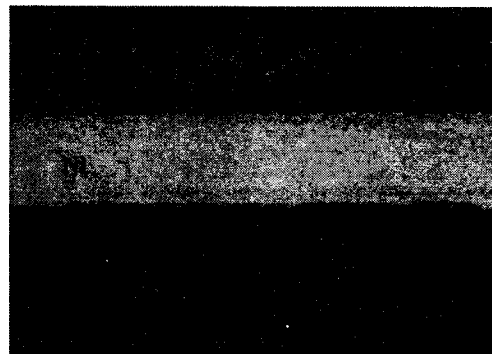


Fig.6 Photograph of the section of bonded specimen(x200)