

# 초경합금과 고속도공구강의 확산접합에 관한 연구

## The Study on Diffusion Bonding of Hard Metal to High Speed Steel

변경일, 정호신\*

부경대학교 대학원 재료공학과

\*부경대학교 재료공학부

### 1. 서론

초경합금과 고속도공구강의 접합은 주로 브레이징에 의해 이루어지고 있다. 그러나 브레이징에 의한 접합은 비용이 저렴한 반면, 접합부의 강도나 사용온도 등에 있어서 문제가 있고, 이러한 단점을 지닌 브레이징의 대안으로 확산접합이 구 소련에서부터 활발하게 연구되었다. 일반적으로 확산접합은 브레이징에서와 같이 유독가스 발생의 위험성이 없고, 접합부에서의 기공과 같은 결함의 발생 가능성도 적을 뿐 아니라, 고온에서도 충분한 강도값을 가진다. 그러나 초경합금과 탄소공구강의 접합에 있어서는 냉각시 양쪽 재료간의 열팽창계수 차이에 의해 발생하는 잔류응력과 탄소의 확산에 의해 생기는 취약한 금속간 화합물( $\eta$ 상)의 형성이 문제가 된다. 따라서 본 연구에서는 이러한 열팽창계수의 차이에 따른 잔류응력을 완화하기 위하여 비교적 연성이 풍부하고 열팽창계수가 적은 순수 Ni과 Ni 합금인 Permalloy, 그리고 Invar 합금을 삽입금속으로 사용하였고, 삽입금속의 두께와 접합 조건에 따른 접합부의 경도와 굽힘강도를 평가하였다.

### 2. 실험방법

본 실험에서는 초경합금 K30(WC-10%Co)과 고속도공구강 SKH55를 사용하였고, 굽힘강도용 시험편과 미시조직 관찰용 시험편을 각각 따로 제작하여 접합하였다. 삽입금속으로는 순수 Ni과 Ni 합금인 Permalloy, 그리고 Fe를 기지로 한 Invar 합금을 사용하였고, 삽입금속의 두께를 각각 50 $\mu$ m, 100 $\mu$ m, 200 $\mu$ m로 변화시켰다. 접합온도는 1000 $^{\circ}$ C와 1200 $^{\circ}$ C로 하였고, 접합온도가 1000 $^{\circ}$ C일 때는 압력을 15MPa, 1200 $^{\circ}$ C일때는 0.5MPa로 압력을 가하였다. 접합후 냉각속도는 2 $^{\circ}$ C/min과 30 $^{\circ}$ C/min으로 하였고, 냉각후 tempering 처리한 접합부와 QT 처리한 접합부를 상호 비교하였다. 접합한 시험편을 3점 굽힘시험하여 접합부의 강도를 평가하였고, 접합부의 삽입금속의 경도값으로 접합부의 잔류응력을 평가하였다. 그리고 삽입금속의 종류와 접합조건에 따른 미시조직과 확산층의 변화를 SEM 사진과 EDX로 분석하여 비교하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

Fig.1은 Ni 삽입금속을 사용했을 때의 삽입금속의 두께 및 접합후 냉각속도와 열처리에 따른 굽힘강도의 변화를 나타낸 그래프이다. 전체적으로 삽입금속의 두께가 증가함에 따라 강도는 증가하였다. 그리고 QT 처리한 시험편보다 tempering 처리한 시험편의 접합강도가 높았고, QT 처리한 시험편에서는 냉각속도에 따라 강도값은 크게 변하지 않았지만, tempering 처리한 시험편에서는 냉각속도가 느릴수록 접합강도는 증가하였다.

Fig.2는 접합부 단면의 중심에서부터의 삽입금속의 경도값의 변화를 나타낸 그래프이다. 열팽창계수가 다른 이종재료의 접합시 시험편의 외주부로 갈수록 잔류응력이 높아지는데 Fig. 2에서도 이러한 잔류응력의 경향과 삽입금속의 경도값의 경향이 잘 일치하고 있다. QT 처리한 시험편에서 삽입금속의 경도값이 tempering 처리한 시험편보다 높았다. 따라서 QT 처리한 시험편에 더 큰 잔류응력이 존재하는 것을 추정할 수 있다. 단 QT 처리한 시험편에서는 중심에서부터 거리가 2.5 $\mu$ m 지점 이상부터 삽입금속에서 균열이 발생하여 경도값이 낮아진 것으로 추정된다. Fig.3은 QT 처리후 발생한 균열의 사진이다. 한편 삽입금속의 두께가 두꺼워 질수록 QT 처리후 발생한 균열의 폭과 길이는 작아졌다. Fig.4는 접합후 냉각속도와 열처리에 따른 삽입금속의 평균경도값을 나타낸 그래프이다. QT 처리한 시험편의 경우 냉각속도에 따라 경도값의 차이는 거의 없었으나 tempering한 시험편의 경우에는 냉각속도가 빨라질수록 경도는 증가하였다. 삽입금속의 경도값으로 평가한 잔류응력의 정

도는 Fig.1에 나타난 굽힘강도의 경향과도 잘 일치하였다. 따라서 삽입금속이 접합후 발생하는 열응력을 보다 효율적으로 완화하기 위해서는 냉각속도를 충분히 느리게 해야 하고, 어느 정도 두께를 가진 삽입금속을 사용해야 한다는 결론을 얻을 수 있었다. 그러나 연구결과에 의하면 삽입금속의 두께가 200 $\mu$ m 보다 더 두꺼워 졌을 때는 접합강도가 다시 감소하였다는 보고<sup>1)</sup>도 있다. 한편 Permalloy와 Invar를 삽입금속으로 사용하였을 때의 접합한 결과 Permalloy의 경우에는 Ni을 삽입금속으로 사용하였을 때보다 높은 강도값을 가졌으나 Invar를 사용하였을 때는 오히려 강도가 낮아졌다. Fig.5와 Fig.6은 1000 $^{\circ}$ C에서 15MPa의 압력으로 30분 동안 접합한 시험편과 1200 $^{\circ}$ C에서 0.5MPa의 압력으로 3시간 접합한 시험편의 고속도공구강과 Ni 삽입금속의 SEM 사진과 EDX로 선분석한 결과이다. 보다 높은 온도에서 낮은 압력으로 장시간 접합한 시험편이 보다 넓은 확산층을 가지고 있었지만, 굽힘시험결과 낮은 온도에서 높은 압력으로 단시간 접합한 시험편 보다 훨씬 낮은 강도값을 나타내었고, 현미경 관찰결과 QT 처리한 시험편과 마찬가지로 시험편 외주부에 균열이 존재하였다. 따라서 1000 $^{\circ}$ C에서 상온으로 냉각시 발생하는 열팽창계수의 차이에 따른 열응력은 적절한 삽입금속과 삽입금속의 두께의 선정으로 충분히 완화시킬 수 있으나 1200 $^{\circ}$ C에서부터 냉각시 발생하는 열응력은 삽입금속으로는 완화시키기 어렵다는 결론을 얻을 수 있었다.

#### 4. 결론

1. Ni 삽입금속을 사용하여 확산접합 한 결과 삽입금속의 두께가 증가할수록 잔류응력은 감소하면서 접합강도는 증가하였고, 접합후 냉각속도가 빨라질수록 굽힘강도는 감소하였다.
2. 접합후 QT 처리한 시험편은 열처리시 외주부에서 발생한 균열에 의해 굽힘강도가 감소하였다.
3. 삽입금속의 종류에 따른 굽힘강도는 Permalloy > Ni > Invar 순서로 증가하였다.
4. 1200 $^{\circ}$ C에서 0.5MPa의 압력으로 3시간 접합한 시험편의 경우 냉각시 발생한 균열에 의해 1000 $^{\circ}$ C에서 15MPa의 압력으로 30분 동안 접합한 시험편 보다도 훨씬 낮은 강도값을 가졌다.

#### 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

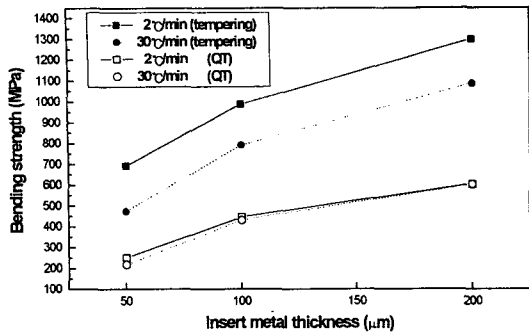


Fig.1 Bending strength of specimens

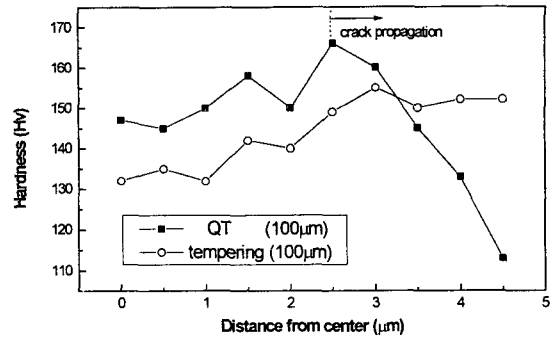


Fig.2 Hardness of insert metal

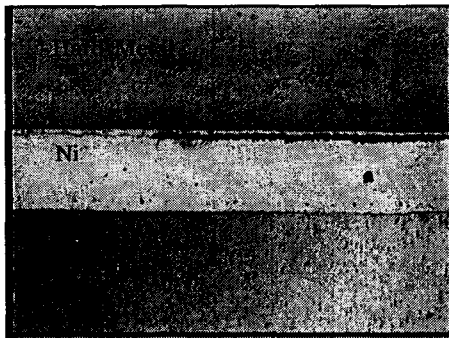


Fig.3 Photograph of crack in insert metal

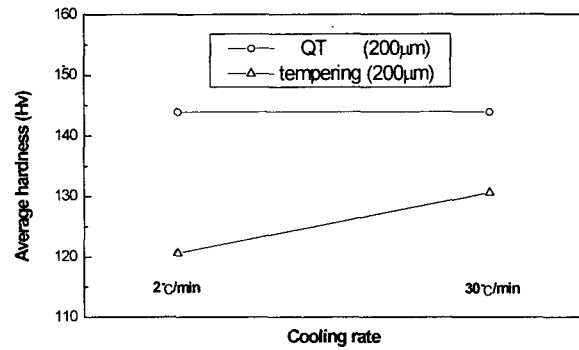


Fig.4 Average hardness of insert metal

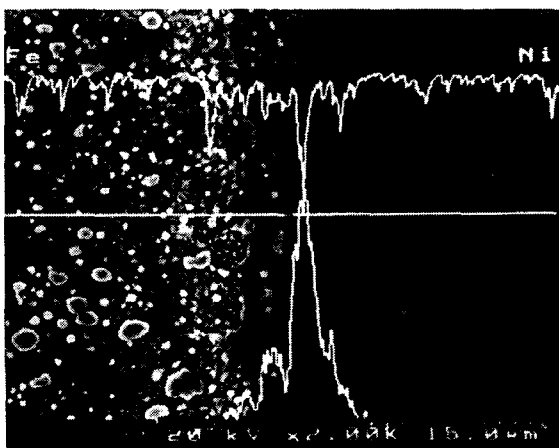


Fig.5 SEM photo and line profile analysis of interface between hard metal and Ni (1000°C, 15MPa, 30min)

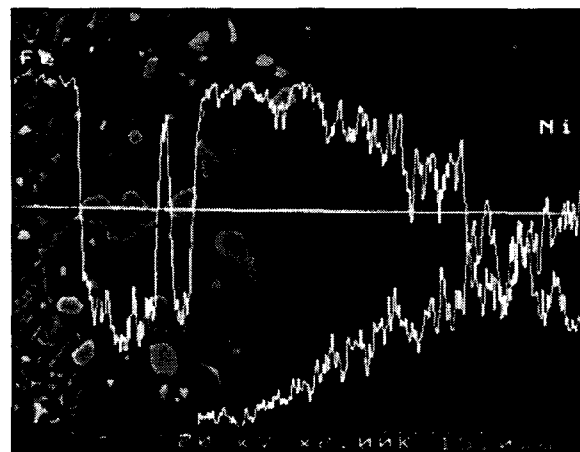


Fig.6 SEM photo and line profile analysis of interface between hard metal and Ni (1200°C, 0.5MPa, 3hr)