

접합판재의 전단 변형거동에 관한 연구

김지용* · 김종호** · 정완진** · 양동열***

A Study on the Shear Deformation Behavior of Inner Structure-Bonded sheet metal

J. Y. Kim*, J. H. Kim**, W. J. Chung**, D. Y. Yang***

Abstract

In order to improve the quality of the sheared surface in cutting of inner structure bonded sheet metal the cut-off operation is mainly investigated, which is the typical shearing process in sheet metal forming technology. The sandwich sheet metals considered have inner structure which is constructed in the form of crimped expanded metal and woven metal. The inner structure is bonded between solid sheet by resistance welding or adhesive bonding. The shearing process is visualized by the computer vision system installed in front of the cut-off die and the sheared surface is measured and quantitatively compared with the help of the optical microscope after cut-off operation. From test results we found that the influence of sheared position can be observed and explained clearly and this result can be utilized to get the better sheared surface.

Key Words : Clad sheet metal, Inner Structure Bonded Sheet Metal, Sheared surface, Cut-off die, Crimped Expanded metal, Woven metal, Resistance Welding, Adhesive Bonding

1. 서론

샌드위치 강판은 2 개 이상의 판재를 접합시켜 원하는 특성을 얻을 수 있는 강판으로 자동차, 항공기, 선박, 건축자재, 가전제품, 로봇의 암(arm) 등 많은 분야에 사용되고 있고, 그에 따른 성형성에 대한 연구가 활발히 이루어 지고 있다. 샌드위치 강판으로 상용화 되어 있는 것은 소음, 진동 감소를 위해 내부에 수지를 접합시킨 제진강판(Anti-vibration sheet metal)과 열전도성이나 경량화를 목적으로 하는 클래드강판(Clad metal)이 있다.

이러하듯 특정한 기능을 가진 강판이 개발되고 점차 요구되는 기능이 다양해 짐에 따라 샌드위치 강판의 제작에 사용되는 판재의 종류나 수,

접합방법 등도 점차 다양해 지고 있다. 그 중에서 경량화 및 내충격성, 고강성을 가지는 첨단 기능성 재료의 개발 방법으로 내부에 대면적의 미세 패턴을 가지는 접합판재의 기술 개발이 시도되고 있다. 내부에 대면적의 미세 패턴을 가지는 접합판재의 개발은 외국에서도 아직 시험소재에 대한 성능평가 등의 초보적인 단계이기 때문에 기대 효과가 크다. 현재 우리나라는 한국과학기술원에서 접합판재에 대한 연구가 시작되고 있는 단계이다.⁽¹⁾ 이번 연구에서는 아직 개발 단계이지만 내부에 대면적의 미세 패턴을 가지는 접합판재의 전단특성에 관하여 연구하고자 하였다.

김지용⁽²⁾ 등은 샌드위치 강판 중에서 클래드강판과 제진강판의 전단면에 영향을 미치는 금형설

* 서울산업대학교 대학원 정밀기계공학과

** 서울산업대학교 금형설계학과

*** 한국과학기술원 기계공학과

계변수에 대해 연구하였고, 이광복⁽³⁾ 등은 제진강판의 전단시 가공특성과 최적의 작업조건을 제시하였다. 윤준환⁽⁴⁾ 등은 미세홀의 전단시 전단부의 변형 거동에 대해서 연구하였고, Wadley⁽⁵⁾ 등은 주기적인 다공을 가지는 샌드위치 구조물의 설계 및 제작을 하였다. 야마자키⁽⁶⁾ 등은 제진강판의 경사전단 가공의 전단면에 대한 연구를 하였고, Faura⁽⁷⁾ 등은 재료 두께에 대한 최적특성의 예측을 유한요소법을 사용하여 연구하였다. 본 연구에서는 접합판재의 전단 변형거동을 선행 연구⁽²⁾에서 실험하였던 내부재가 중실형인 클래드강판의 변형거동과 비교 분석해 보고, 내부재의 형상이나 위치에 따른 전단면의 특성을 분석하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 실험재료

2.1.1 클래드강판(Clad304)

본 실험에서 내부재가 중실형인 샌드위치 판재는 Fig. 1 과 같이 스테인리스-알루미늄-스테인리스 판재로 구성된 클래드강판을 사용하였다.

STS304 (Skin Sheet)	0.39	2
AL1050	1.22	
STS304 (Skin Sheet)	0.39	

Fig. 1 Clad304 sheet metal

2.1.2 접합판재

1) 접합판재⁽¹⁾

접합(Inner Structured Bonded, ISB)판재는 상하의 표피재 사이에 특정한 미세 패턴을 가지는 내부 구조재를 접합하여 만든 판재이다. 본 실험에서 사용한 접합판재는 Table 1 과 같이 구분하였다.

Table 1 Type of ISB sheet metal

Type of bonding	Skin Sheet	Type of inner metal	Thick ness	
Resistance welding	STS304 (0.3mm)	Crimped	3.0	
		Expanded		
		Metal (CEM)		
		Woven metal (WM)	2.3	
Adhesive Bonding	Mild steel (0.5mm)	Crimped	120°	3.3
		Expanded Metal (CEM)	150°	2.7
		Woven metal (WM)		3.5

2) 접합방법

판재의 접합에 사용된 방법은 전기저항을 이용한 저항용접법과 접착제 본딩 방법이 사용되었다.

3) 내부재의 형상

내부재의 종류는 Crimped Expanded metal(CEM) 소재와 Woven metal(WM) 소재로 분류 할 수 있다. CEM 소재는 Fig.2 와 같이 평판 소재의 절입선 가공(Slitting) 가공 후 확장시킨 소재를 클럼핑하여 피라미드 구조로 변환한 것으로 피라미드 첨단부의 각도에 따라 90°, 120°, 150° 로 구분하였다. ⁽³⁾ WM 소재는 와이어를 섬유직조방식으로 제작한 내부재로 Fig.3 과 같은 형상의 내부구조재이다.

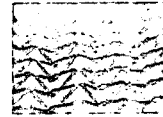


Fig. 2 Crimped Expanded metal (CEM)



Fig. 3 Woven metal (WM)

2.2 실험장비

2.2.1 컷오프다이

실험에서는 만능재료시험기에 금형을 장치하여 사용하였으며, 그에 따라서 Fig. 4 와 같은 컷오프다이(Cut-off die)를 설계, 제작하였다.⁽²⁾

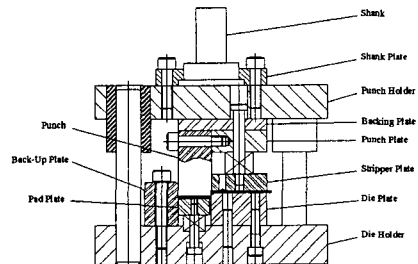


Fig. 4 Cross-section view of cut-off die

펀치와 펀치 플레이트 사이에 틈새게이지(Filler gage)를 사용하여 틈새를 실험조건에 따라 조절할 수 있게 하였고, 블랭크홀딩력과 패드력은 스프링을 사용하여 조절하기 위해서 가동식 스트리퍼 방식을 선택하였다. 또한 측압력 발생에 따른 펀치의 변형을 억제하기 위하여 백업플레이트를 설치하였다. 금형에서 소재가 전단되는 과정을

관찰하기 위해서 1 초당 30 프레임 촬영이 가능한 CCD 카메라를 이용하여 전단과정을 관찰하였다.

2.4 실험조건 및 실험방법

본 연구의 실험 조건 및 방법은 Table 2 와 Fig. 5 와 같다. 실험조건은 선행실험⁽²⁾의 결과를 바탕으로 하여 틈새는 재료두께 관계없이 일정한 0.04mm 에서 실험하였고, 블랭크홀딩력과 패드력도 재료에 관계없이 일정하게 유지하여 실험하였다. 접합판재의 경우 내부재의 형상에 따라 전단면에 미치는 영향을 파악하기 위하여 절단면의 위치를 변경하여 실험하였다. 절단위치는 내부재의 정점 위치(1)와 비정점 위치(2)로 구분하였다.

Table 3 Experimental condition for Clearance in cut-off operation

Material	Clearance (mm)	Blankholding Force (kgf)	Pad force (kgf)
Clad304	0.04	50	45
ISB			

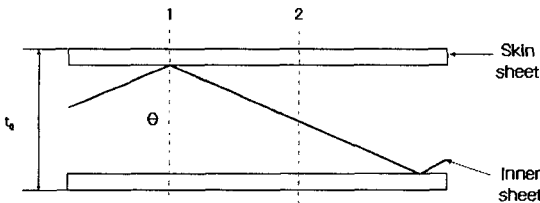


Fig. 5 Shearing Position of ISB sheet metal

3. 실험결과 및 고찰

3.1 전단과정 비교

3.1.1 클래드강판

비전(Vision) 장비를 이용하여 소재가 전단되는 과정을 실시간으로 관찰하였다. Fig. 6 은 클래드강판의 전단과정을 촬영한 화면이다. 클래드 강판의 전단과정은 외부재인 스테인리스강판(STS304)에 비해 내부재인 알루미늄(Al1050)은 연질 재료이기 때문에 초기 압축력에 의해 눌림면 발생 이후 알루미늄이 압축된다. 알루미늄이 압축된 양만큼 하판에 굽힘현상이 발생하여 눌림면이 증가되고, 총 두께비도 감소된다. 알루미늄의 압축이 완료된 후 스테인리스강판에 크랙이 발생하고 전단된다.

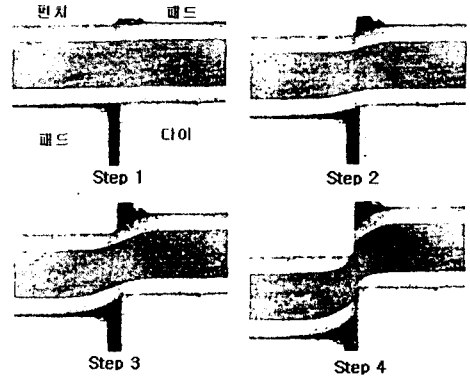


Fig. 6 Cut-off process of Clad304 sheet metal

3.1.2 접합판재

Fig. 7 은 내부재는 CEM 120° , 접합방법은 저항용접, 절단위치는 2 일 때 접합판재의 전단과정을 비전장비를 이용하여 촬영한 화면이다. 접합판재의 전단과정은 클래드강판과 비슷한 전단거동을 보인다. 클래드강판과 마찬가지로 내부재의 강도가 외부재보다 약하기 때문에 초기 압축에 의해 내부재가 압축된 후 외부재가 전단된다. 다만, 클래드강판과 다른 점은 내부재의 구조가 압축되면 내부재의 형상에 의해 생성된 공간들로 인해 구조재가 붕괴되고, 그에 따라 구조재를 받쳐줄 만한 것이 없기 때문에 전단과정이 계속되면서, 내부재는 처음의 형상을 유지하지 못한 채 상·하판에 의해 완전히 압축된 후 전단되고, 내부재가 없는 공간에서는 상판과 하판은 서로 붙은 상태에서 전단이 이루어 진다.

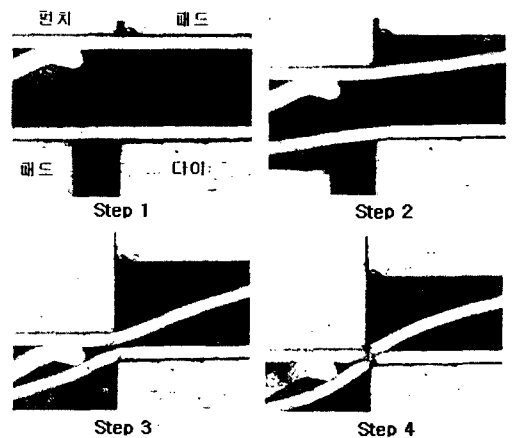


Fig. 7 Cut-off process of ISB sheet metal

3.2 절단면 특성 비교

3.2.1 클래드강판

클래드강판의 절단면을 단일소재와 비교하기 위해 똑같은 작업조건에서 알루미늄 소재에 대해서도 전단실험을 했으며 이에 대한 절단면 형상의 비교가 Fig.8 에, 그리고 두께비 비교가 Fig.9 에 나타나 있다. 실험조건은 틸새 0.04mm(2%)이다. 단일강판과 클래드강판의 전단특성을 비교하면 클래드강판은 단일강판보다 눌림면의 비율이 크고, 전단전후의 내부재와 표피재의 두께 변화가 큰 것을 볼 수 있다. 같은 두께의 강판이라도 클래드강판은 전단전후 두께비가 일반강판보다 20% 정도 더 감소한 것을 볼 수 있다. 이는 표층재보다 내부재가 연질재료이기 때문에 전단시 압축력에 의해 내부재가 압축되고 난 후 전단되기 때문인 것으로 판단된다.

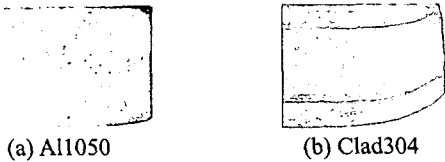


Fig. 8 Side view of sheared surface

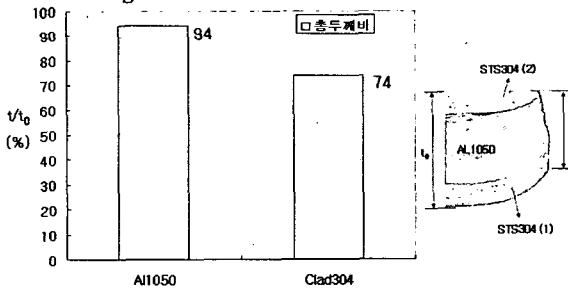


Fig. 9 Comparison of thickness ratio of sheet metal in cut-off operation

3.2.2 저항용접을 이용한 접합판재

저항용접을 이용한 접합판재는 내부재의 각도에 따라 소재의 두께가 변하고, 내부재에 의해 형성된 빈 공간의 크기도 다르다. Fig. 10 은 내부재의 영향이 가장 작을 것으로 판단되는 각도인 CEM 150° 일 때 절단위치에 따른 절단면을 나타내고 있고, Fig. 11 은 CEM의 각도에 따른 전단전후의 두께비를 나타내고 있다. 전체적으로 비정점 부분인 전단위치 2 에서 전단전후 두께비는 60% 전후이고, 정점부분인 전단위치 1 에서는 30% 전후의 두께비를 나타내고 있지만, CEM의 각도에 따른 변화는 크지 않은 것으로 나타났다. CEM 소

재의 경우 내부재의 각도 보다는 절단위치가 절단면의 형상에 영향을 많이 주는 것으로 나타났다. 클래드강판과 비교해보면 클래드강판은 전단전후 두께비는 70% 전후로 나타난 것에 비해 두께비 감소가 더 큰 것은 전단력에 의해 소재가 압력을 받으면 내부재는 내부재에 의해 생성된 빈 공간으로 쉽게 압축되기 때문인 것으로 판단된다.

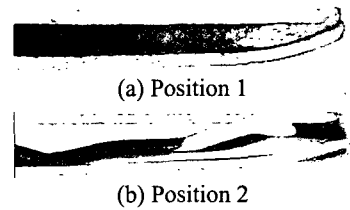


Fig. 10 Sheared surface of resistance-welded ISB sheet metal (CEM 150°)

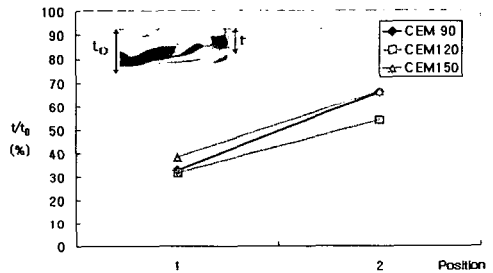


Fig. 11 Comparison of thickness ratio of resistance-welded ISB sheet metal

Fig. 12 는 내부재가 WM 일 때 전단 위치에 따른 절단면은 Fig.13 은 전단전후의 두께비를 나타내고 있다. WM의 전단에서는 CEM과는 반대로 내부재의 빈 공간이 가장 적은 절단위치인 1에서 전단전후의 두께비가 80% 전후이고, 전단면도 깨끗한 것을 알 수 있다. 절단위치 2에서의 두께비는 60% 전후인 것으로 나타났다. CEM 소재에 비해 절단위치에 따른 두께비의 변화가 크지 않은 이유는 WM이 절단면에서 이루는 단면충진율이 CEM에 비해 더 크기 때문인 것으로 판단된다.

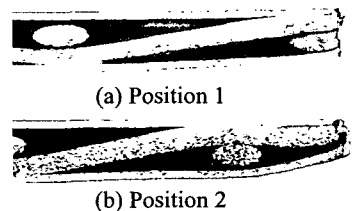


Fig. 12 Sheared surface of resistance-welded ISB sheet metal (WM)

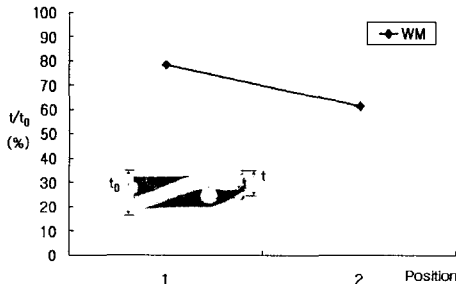


Fig. 13 Comparison of thickness ratio of resistance-welded ISB sheet metal

저항용접을 이용한 접합판재의 경우 내부재가 CEM 소재일 경우 절단위치가 2일 때, WM 소재의 경우 절단위치가 1일 때, 절단면의 두께비가 감소가 가장 적은 것으로 나타났다. 이는 내부재의 형상에 따라 최적의 절단위치가 존재하는 것으로 판단된다.

3.2.3 접착제를 사용한 접합판재

접착제를 이용한 접합판재는 저항용접을 이용한 접합판재와는 다르게 구조에 의해 형성된 내부의 빈공간을 접착제가 충전하고 있기 때문에 클래드강판과 유사한 구조를 가지고 있다. Fig.14는 저항용접을 이용한 접합판재와 비교하기 위해 같은 각도인 CEM 150° 일 때 절단위치에 따른 절단면을 Fig.15는 CEM의 각도에 따른 전단전후의 두께비를 나타내고 있다. 접착제를 사용한 접합판재는 전단전후의 두께비가 약 70~80% 전후로 클래드강판과 거의 동일한 두께비를 보인다. 그러나 저항용접을 이용한 접합판재와 비교하면 절단위치에 따른 두께비는 반대 현상을 보이고 있다. 같은 CEM 소재를 가진 접합판재일지라도 접합방법에 따라 절단위치에 따른 두께비가 다른 현상을 보이는데, 이는 접착제의 강도가 내부재의 강도에 영향을 미치기 때문이라고 판단된다. 또한 전단시 내부재의 접착에 사용된 접착제가 절단면에 흘러나와 절단면이 깨끗하지 못한 점을 알 수 있었다.

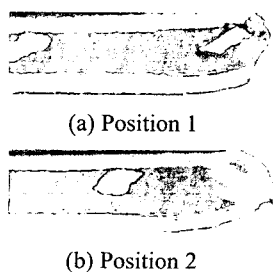


Fig. 14 Sheared surface of Adhesive-bonded ISB

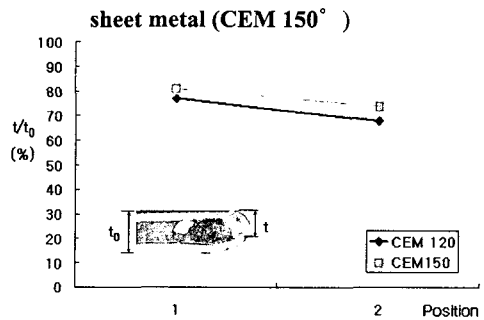


Fig. 15 Comparison of thickness ratio of Adhesive-bonded ISB sheet metal

Fig. 16은 내부재가 WM 일 때 절단위치에 따른 절단면을 Fig. 17은 전단전후의 두께비를 나타내고 있다. 전단전후 두께비는 80% 전후이고, 절단위치에 따른 두께비 변화는 없는 것으로 나타났다. 이는 CEM 소재와 마찬가지로 내부재가 이루고 있는 빈 공간을 접착제가 충전하였기 때문인 것으로 판단된다. 클래드강판이나 저항용접을 사용한 접합판재에 비해 눌림면이 작은 이유는 클래드강판의 표층재(STS304)보다 접착제를 이용한 접합판재의 표층재(Mild steel)가 더 연한 재료이기 때문인 것으로 판단된다. 절단면은 CEM 소재와 마찬가지로 접착제가 흘러나와 깨끗하지 못한 것을 알 수 있었다.

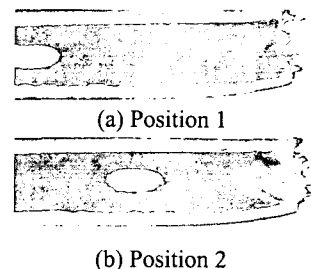


Fig. 16 Sheared surface of Adhesive-bonded ISB sheet metal (WM)

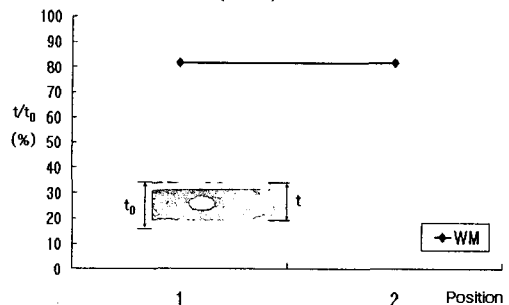


Fig. 17 Comparison of thickness ratio of Adhesive-bonded ISB sheet metal

접착제를 이용한 접합판재의 경우 내부재가 CEM 소재일 경우 절단위치가 1 일 때, WM 소재의 경우 절단위치가 절단면에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 그러나 저항용접을 이용한 접합판재와 비교해보면 내부재의 형상이나 절단면의 위치가 절단면에 미치는 영향도 크지만, 접합방법에 따라 그 효과가 달라지는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 논문은 내부에 미세패턴을 가지는 접합판재의 전단시 전단부의 변형 거동을 컷오프다이와 비전장비를 이용하여 실험, 연구를 하였다.

(1) 클래드강판의 전단특성을 단일강판과 비교하면 단일강판의 절단면에 비해 눌림면의 비율이 크고 소재간의 압축에 의해 전단후 소재간 두께 변화가 크다.

(2) 저항용접을 이용한 접합판재와 접착제를 이용한 접합판재를 비교하면 같은 내부재를 가진 접합판재라도 접합방법에 따라 전단전후의 두께 비나 절단면의 형상에 큰 차이를 보인다.

(3) 내부재의 형상에 따른 차이는 같은 접합방법을 사용하였어도 내부재의 형상에 따른 차이가 확연히 들어난다. CEM 소재와 WM 소재는 같은 접합방법을 사용하였어도 절단면의 위치에 따라 반대 현상을 보이고 있다. 그러나 같은 CEM 소재에서 각도에 따른 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

(4) 접합판재를 클래드강판과 비교하면 전단이 이루어지는 거동은 거의 비슷하였다. 특히 접착제를 이용한 접합판재는 클래드강판과 거의 유사한 전단거동 및 절단면 특성을 보이고 있음을 확인할 수 있었다. 하지만 저항용접을 이용한 접합판재의 경우 내부재의 형상이나 절단면에 따라 클래드강판과는 다른 특성을 보이는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- 1) 양동열, 나석주, 유중돈, 김종호, 정완진 외 36 명, 2004, "마이크로 첨단복제 생산시스템 개발" 한국과학기술원, 중간 보고서
- 2) 김지용, 김종호, 정완진, 2004, "샌드위치 전단 가공에 있어서 전단면에 미치는 금형 설계 변수의 영향", 한국소성가공학회 춘계학술대

회 논문집, pp.57~61.

- 3) 이광복, 이용길, 김종호 2003, "제진 강판의 블랭킹 가공 특성에 관한 연구", 한국소성가공학회지 제 12 권. 제 8 호, pp. 724~728,
- 4) 유준환, 임성한, 주병윤, 오수익, 2003, "금속 소재의 미세 홀 펀칭시 전단 파괴 거동 연구" 한국소성가공학회지, 제 12 권 제 4 호, pp. 314~319.
- 5) Wadley, H.N.G., Fleck, N.A., Evans, A.G., 2003, "Fabrication and structural performance of periodic cellular metal sandwich structures", Composites science and technology, v.63 no.16, pp.2331-2343
- 6) 山岐 進, 尾岐龍夫 1992 "制振鋼板の斜めせん断加工 ", 塑性と加工, 第 33 卷. 第 378 號, pp. 844~849,
- 7) F. Faura, A. Garcia, M. Estrems 1998, "Finite element analysis of optimum clearance in the blanking process", Journal of Materials Processing Technology 80-81, pp. 121~125,