

쇼트 피닝(Shot Pinning) 기술의 접합에 적용

原田 泰典¹

Applications in Joining of Shot Pinning Technology

Y. Harada

1. 서론

자동차, 전동차 및 항공기 등의 수송기 장비는 안전성이 매우 크게 요구되기 때문에, 사용하는 소재에 대하여 품질이나 기계적 특성 향상이 매우 크게 요구되고 있다. 이들에 쓰여지는 기계 부품은 오랜 수명이 요구되기 때문에 신소재에 관한 연구는 왕성하게 진행되고 있다. 특히, 에너지 절감을 위해서 경량화가 필요하기 때문에 타이타늄, 알루미늄 및 마그네슘과 같은 경량재료의 개발이 활발하게 진행되고 있다. 철강재료의 부재나 부품에 있어서도 보다 소형화와 그것에 따르는 부품 자체의 고강도화를 목적으로 한 연구개발이 이루어 지고 있다. 한편 재료자체의 내구성을 높이기 위해서 표면처리도 왕성하게 행해지고 있다. 내식성이나 내마모성 등의 표면특성을 높이기 위해 이종재료와 복합화가 이루어지고 있다[1]. 이를테면 이종재료를 피막으로서 재료표면에 붙이는 도금, CVD, PVD, 용사 등의 코팅기술이나 재료 표면 자체를 이종재료로 확산시키는 침탄, 질화 등의 표면개질기술이 있다. 또 피로특성을 높이기 위한 쇼트 피닝 기술이 있다. 이 기술은 부품의 피로 강도를 높일 수가 있기 때문에 부품을 소형 경량화 시키는 유효한 기술로서 이용되고 있다. 또 쇼트 피닝 기술에 있어서도 이종재료를 재료 표면에 접합하는 응용기술이 존재한다. 일종의 건식 코팅이며 쇼트 코팅이나[2] 골드 스프레이[3~4] 등의 방법이 있다. 이것의 가공법은 분사하는 입

자 자체의 충돌에 의한 의착 혹은 매립에 의해 재료 표면에 부착하는 현상을 응용한 것이다. 필자의 연구 그룹도 쇼트 피닝 기술을 사용한 새로운 접합 기술을 제안하고 있다[5~8].

본 원고에서는 쇼트 피닝 기술의 원리와 현상에 대하여 간단하게 설명하고 필자가 이제까지 제안한 쇼트 피닝 기술에 의한 이종재료의 접합 방법에 대하여 해설하였다. 금속 재료에 있어서의 표면 특성을 향상 시키기 위하여 재료 표면에서의 이종금속박판이나 경질분말의 접합방법과 그 사례를 소개하였다. 또 쇼트 피닝에 의한 이종부재사이 및 이종금속박판사이의 새로운 접합법에 대해서도 개발한 수법과 그 사례를 소개하였다.

2. 쇼트 피닝 기술에 대하여

표면처리기술의 하나로서 알려지고 있는 쇼트 피닝 기술은 주로 자동차나 항공기에 있어서의 기계부품의 피로특성을 높이기 위해서 널리 이용되고 있다. 가공방법은 비교적 간단하며 쇼트(shot)로 불리는 작은 금속구가 재료표면에 고속도로 충돌하는 것으로 표면 층 만을 크게 소성변형시키는 것이다. 무수한 쇼트가 햄머 공구와 같이 표면에 되풀이해서 충돌하는 것으로 표면은 가공 경화층을 형성하면서 동시에 압축잔류응력이 부과된다. 이 쇼트의 작용에 의해서 피로강도와 내마모성의 향상과 내용력부식(개어짐)성이나 방열성의 향상 등 몇 가지의 효과가 생긴다[9]. 이들의

1. 兵庫縣立大學大學院 工學研究科物質系 工學 (宇)358-0003 姫路市書与 2167, Japan
- 技術解説: 塑性の加工(日本 塑性加工 學會誌) 第49卷 第 567号 pp. 31-37 (2008. 4)
- 번역자: 박정서(자유번역가), 김인수(금오공과대학교 신소재 시스템공학부, 교수)

효과를 피닝(pinning) 효과라고 불리고 있으며 많은 연구기관에 있어서 고효율화를 위한 적절한 피닝 가공조건이 조사되고 있으며 그 외 많은 연구가 행해지고 있다. 이를테면, 쇼트를 보다 고속도로 하여 가공을 하는 하드 쇼트 피닝[10~11], 가공면에 인장응력이 작용하는 상태에서 가공 작용하는 스트레스 피닝[12~14], 가공면을 가열하여 소성변형량을 크게 하여 가공을 하는 핫 피닝[15~16], 표면근방에 충분한 압축잔류 응력을 얻기 위해서 하는 더블 피닝[17~18] 등이 있다.

쇼트를 재료표면에 충돌시키는 방법에는 크게 나누어서 압축공기를 이용한 공기식과 회전익(날개)을 이용한 원심식의 두 방법이 있다. 원심식은 광범위하게 투사되는 것으로 판 용수철이나 코일 용수철 등의 대형제품 또는 대량생산품에 대하여 이용되는 일이 많다. 반대로 공기식은 처리면적이 작기 때문에 소형부품에 대하여 이용되고 있으나 아주 작은 쇼트를 쓴 가공이 가능하기 때문에 표면 거칠기를 낮춘 피닝 가공을 할 수 있다. 입경이 수십 마이크로미터를 투사재를 사용한 쇼트 피닝은 미립자 피닝이라고 불려지고 있으며 피로특성의 향상[19]이나 표면 나노결정화[20] 등의 많은 연구가 진행되고 있다. 또 최근에는 새로운 소재의 투사재의 개발이 이루어 지고 있다. 이를테면 초경합금재나 비정질합금재(아몰포스 합금재)의 투사재로 하여 이들을 사용한 쇼트 피닝의 연구가 많이 행해지고 있다[21~22]. 필자의 연구 그룹도 주로 공구강의 표면 특성을 높이는 목적으로 초경합금이나 아몰포스 합금의 미세한 투사재료를 쓴 쇼트 피닝 (필자의 연구 그룹에서는 미세 쇼트 피닝이라 부르고 있다)을 시도하고 있다 [23~24].

투사 방식에는 두 가지가 있는 데 어느 쪽의 방식도 쇼트를 투사하기 때문에, 투사가공이라 불려지고 있으며 공기식에서는 분사가공으로도 불려지고 있다. 그러므로 쇼트의 일을 투사재나 분사재 또는 매디아라는 명칭으로 불려지고 있다. 투사재에는 많은 종류가 있으며, 주강이나 스테인레스강 등의 금속재와 글라스, 세라믹스 및 플라스틱 등의 비금속계가 있다. 또 사용되는 입도의 범위도 많이 있으나, 일반적으로 투사하는 쇼트 피닝 기계의 구조상 수십 마이크로미터에서 수 밀리미터의 범위에서 쓰이고 있는 것이 현실이다.

현재 공업계에 있어서 쇼트 피닝 기술이 본격적으로 이용되게 되어 반세기 이상을 지나고 있

으나 기본적인 가공 원리에 커다란 변화는 보이지 않는다. 그렇지만 최근의 피닝 기술과 그 주변 기술의 비약적인 진보에 의해 피닝 효과는 향상하고 있다. 또, 쇼트 피닝 기술과는 구별되고 있으나 피닝 효과가 얻어지는 새로운 기술이 개발되어 있다. 이를테면, 소량의 투사재와 초음파를 사용한 초음파 피닝[25]이 있다. 또 통상의 쇼트 피닝에는 재료 표면에 충돌하는 투사재는 금속재 입자이지만 신기술에서는 투사재 자체가 금속재료와는 다른 매체가 쓰여지고 있다. 이를테면 레이저광을 이용한 레이저 피닝[26~27], 물이나 액체를 이용한 워터 제트 피닝[28~29] 이나 캐비테이션 피닝[30~31] 등이 있다. 어느 것의 기술도 높은 피닝 효과와 더불어 여러가지의 표면 특성의 향상을 부여하는 것이 가능하며 기술 개발이 왕성하게 진행되고 있다.

이상 쇼트 피닝 기술에 관하여 간단하게 소개하였다. 다시 말하면 상세한 내용에 관해서는 이제까지 발행된 쇼트 피닝 도서에 기본적으로 정리 되어 있다[32~37]. 최신의 정보에 대하여는 일본에서 적극적인 활용 분야를 넓히고 있는 쇼트 피닝 기술 협회[38]가 국외의 기술 정보를 보유하고 있으며 최신 소식 발신을 담당하고 있다. 또 유럽의 연구기관이 중심이 되어 발족한 쇼트 피닝에 관한 국제회의 ICSP[39]를 정기적으로 개최하고 있으며 수법이 다른 기술자나 연구자 등에 의한 최신정보가 많이 발표되고 있다.

3. 쇼트 라이닝

3.1 이종금속박판

앞 장에서 말한 바와 같이 쇼트 피닝에 의하여 재료표면에서 아주 큰 소성변형이 생긴다. 동시에 투사재의 충돌에 의해 재료 표면은 요철상태로 되기 때문에 표면적은 확대된다. 재료 표면에 있어서의 소성변형은 발생과 면적확대라는 특징에 착안하여 이종금속박판의 접합방법을 개발하였다. 재료표면에 이종금속박판을 놓은 상태로 쇼트 피닝 가공을 하면 두 가지의 재료가 접촉하고 있는 계면에서는 소성변형에 따라 신생면이 발생하고 동시에 높은 압축력이 가해진다. 따라서 이종금속박판은 재료표면과 접합이 가능하게 된다.

그림 1 은 개발한 쇼트 피닝에 의한 이종박판접합가공법 “쇼트 라이닝” 의 원리를 보인 것이다. 단층 또는 다층의 이종금속박판은 소성변형이 가

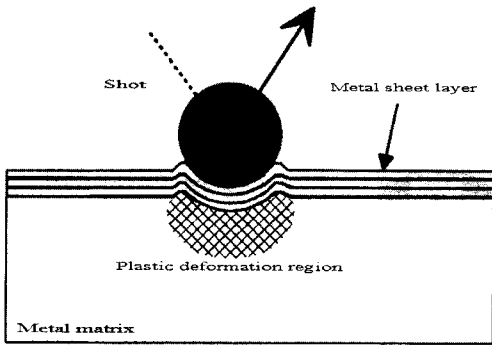


Fig. 1 Joining process of different sheet metal types by shot pinning method

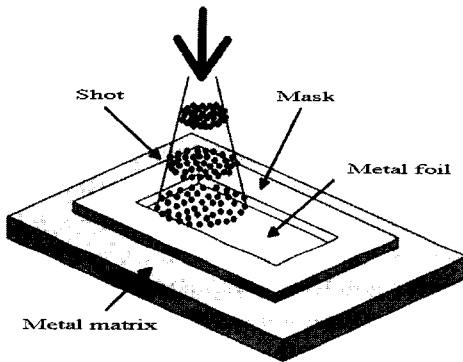


Fig. 2 Schematic drawing of shot lining process

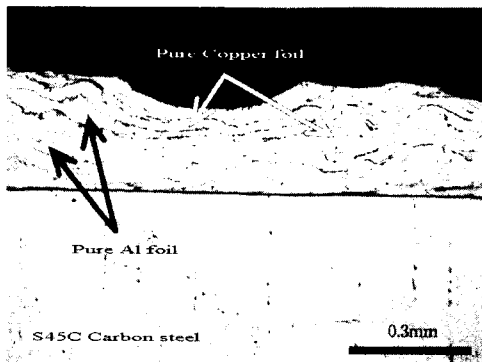


Fig. 3 Cross sectional microstructure of shot lined pure Al overlapped with pure Cu foils

능하다면 라이닝도 가능하다. 그러므로 재료 의존성의 영향이 별로 없기 때문에 작을 이를 재료의 선택 폭이 넓고 이종재료의 접합에 유용한 방법이다. 또 비교적 단시간으로 소정의 후막 라이닝도 가능하다.

그림 2 는 쇼트 라이닝 가공방법을 나타내었다. 기본재인 금속표면에 금속박판 또는 금속박을 올린 후, 쇼트 피닝 가공을 한다. 마스크 판은 박판을 고정하면서 같이 재료표면의 소정 영역만을 가공하기 위해 쓴다. 또 마스크 판의 형상을 바꾸는 것에 의해 한정된 영역에 만 이종박판의 부분 접합이 가능하다. 다만 본가공법에서는 이종금속박판의 접합성을 높이기 위해 기본재 온도를 높이는 것이나 기본재와 박판의 사이에 활성화 금속박, 이를 테면 순 알루미늄 박을 삽입할 수 있다.

본 방법을 사용하여 이제까지에 각종 금속박판의 라이닝 가공을 하고 있다. 탄소강이나 순동의 표면에 순 알루미늄 박판을 또 난접합재로 여기는 마그네슘 합금의 표면에 순 타이타늄, 순 니켈, 스테인리스강 등의 금속박판을 라이닝 예를 보여 주고 있다. 그림 3 에는 탄소강의 표면에 순 알루미늄 박과 순 동박을 반복하여 적층한 적층막을 라이닝 가공한 후의 표면근방 단면을 보였다. 일회의 조작으로 순 알루미늄 박 2 매와 순 동박 2 매의 합계 4 매를 라이닝하여 이 조작을 3 회 하였다. 또 순 알루미늄 박이 내부 재료의 역할도 겸하고 있다. 양쪽의 박의 두께는 어느 쪽도 같은 0.020mm 이다. 투사재는 평균직경 1.0mm 의 주강제(700HV)를 썼다. 1 회의 조작에 있어서 가공조건은 대기 중 투사압력 0.6MPa, 가공온도 300℃, 커버리지 100%이다. 여기서, 커버리지란 쇼트 피닝의 가공 정도를 보이는 것이며 정의에는 몇 가지 있으나 본시험에서는 재료표면의 전면이 입자의 충돌에 의해 생긴 소성변형 영역에서 덮어 씌워진 시험이라고 정의했다. 라이닝한 적층박판의 단면에서 적층한 박간 및 박과 기본재와의 접합부에 있어서 틈이나 금속박의 파단은 보이지 않고 있음을 알 수 있다.

쇼트 라이닝에 의해 이종금속박판 또는 금속박은 재료 표면에 접합 가능하다는 것을 알았으나, 어느 정도의 접합강도로 접합된 것을 알 수 없다. 그래서 기본재에 대한 금속박판의 접합성을 살피기 위해 비교적 두께가 있는 박판을 라이닝 가공한 후 기본재에서 잡아 당김으로 박리하여 접합부에 있어서의 접합 상태를 관찰하였다. 그림 4 에는 탄소강 S45C 의 표면에 라이닝 가공한 두께 0.060mm 의 순 알루미늄 박판을 기본재에서 잡아 당겨 박리한 면을 보인 것이다. 투사재는 평균직경 1.0mm 의 주강제(700HV)를 공기식 쇼트 피닝

기계를 썼다. 라이닝 가공조건은 대기 중 투사압력 0.8MPa, 가공온도 300℃, 커버리지 100%이다. 기본재인 탄소강 박리면 및 박판 박리면에 있어서 연성파단 한 모양이 관찰된다. 이 결과에서 박판은 기본재와 견고하게 접합하고 있는 것을 알 수 있다. 같은 모양으로 순 알루미늄 박판 이외의 금속박판에 있어서도 최적한 라이닝 가공조건하에서 양호한 접합이 얻어졌다.

3. 2 이종경질 분말

이종금속박판의 쇼트 라이닝으로 각종 금속재료에 있어서의 내식성이나 내마모성 등의 표면특성을 향상시키는 것이 가능한 것을 알았다. 만약 세라믹이나 초경합금과 같은 경질재료가 기본재에 라이닝이 가능하게 되면 말할 것도 없이 표면특성의 향상이 기대된다. 특히 경량 재료인 알루미늄 재료나 마그네슘 재료의 내마모성 향상에는 유효하다. 그러면서 이것들의 경질재료는 취성과 또 난가공성이기 때문에 라이닝 가공은 아주 곤란하다. 그래서 경질재료의 분말을 쓰는 것으로 라이닝 가공을 했지만 기본재 표면에 경질 분말을 실은 상태에서는 투사 가공시에 있어서 분말의 안정성이나 표면에서의 균일성은 얻기 어렵다. 그 때문에 미리 경질 분말을 균일하게 하여 금속박판 또는 2 개의 순 알루미늄 박판으로 경질 분말을 사이에 두고 샌드위치 박판을 제작하는 연구를 했다. 금속박판은 라이닝 가공이 가능하기 때문에 라이닝 가공성은 용이하다. 지금까지 얻어진 경질 분말의 라이닝 실시 예를 보여 주고자 한다. 그림 5 에 탄소강 S50C 의 표면에 평균직경 0.1mm 의 초경합금분말을 품은 샌드위치 박판을 라이닝 가공 한 후의 표면근방 단면을 보여 주고 있다. 샌드위치 박판의 라이닝 가공을 2 회 하였다. 샌드위치 박판에 썼던 금속은 두께 0.015mm 의 순 알루미늄박이다. 투사재는 평균직경 1.0mm 의 주강재(500HV)이며 원심식 쇼트 피닝 기계를 썼다. 1 회의 실험에 있어서의 라이닝 가공조건은 대기 중 투사속도 80m/s, 가공온도 300℃, 커버리지 100%이다. 투사재의 충돌에 의해 경질분말이 기본재면에 균일하게 접합되어 있는 것을 알 수 있었다. 또 접합한 경질분말은 기본재와 틈도 없이 밀착해 있으며 접합성은 양호하다고 여겨진다. 경질분말을 라이닝 가공한 기본재에 대해서도 접합성의 평가를 하였다. 라이닝 가공한 표면을 의측으로 하여 3 점 시험을 한 결과 경질 분말로 접

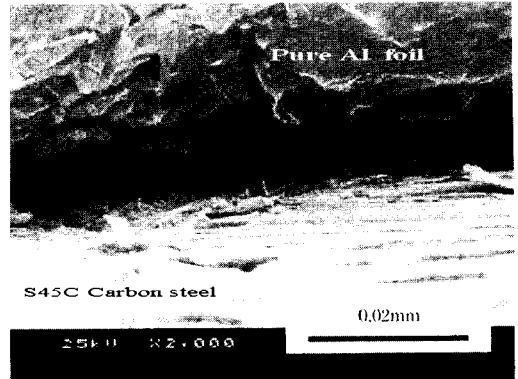


Fig. 4 Peeled off surface of shot lined S45C carbon steel overlapped with pure Al foils

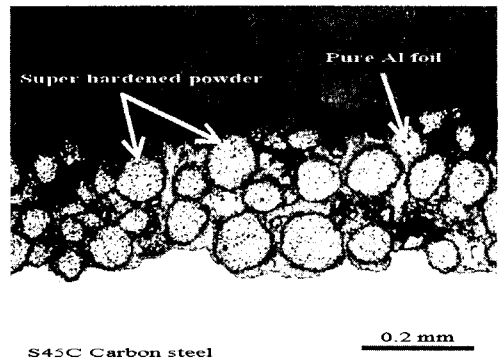


Fig. 5 Cross sectional microstructure of shot lined sandwich panel contained with super hardened powder and pure Al foils

합한 기본재 표면은 굽힘과 잡아 당김에 의해 파괴가 일어났으나 경질분말은 기본재에서 이탈하는 일이 없고 기본재와의 접합성은 아주 양호했다.

4. 이종부재간의 조형접합

이 장에서는 쇼트 피닝 기술을 사용한 이종부재끼리의 접합 방법에 대하여 소개하였다. 현재 동종 또는 이종재료끼리의 접합기술에는 많은 방법이 행해지고 있다. 가스나 아크에 의한 용접 마찰이나 초음파에 의한 고상접합, 양초점, 기계적 접합, 점착 등이 있다[40]. 그러나 급속한 신소재의 개발에 따라서 아주 곤란한 조합(Combination) 접합의 요구가 많아 지고 있어 실용화의 장애요인으로 되는 경우가 증가하고 있다. 이를테면 전자부품에 있어서 기능성 재료끼리 열영향이 없는

접합이나 고융점 재료끼리의 접합 등이다. 이 같은 배경으로 쇼트 피닝 기술에 의한 이종부재끼리의 새로운 접합방법의 개발이 요구되고 있다. 쇼트 피닝에서는 입자의 충돌에 의해 재료 표면에 커다란 소성변형이 생기는 것을 이미 언급했지만, 이 특징을 이용한 피닝 효과의 하나가 봉공이다. 이 처리는 다공질의 피막표면의 개선이나 용접부에서 발생한 구멍의 소멸 등에 이용되고 있다. 만약 재료 표면에 구멍이나 도랑이 있어 이들에 삽입될 이종재료가 틈 없이 놓인 상태에서 쇼트 피닝 가공을 하면 재료 표면에서 생기는 소성변형에 의해 이종재료의 접합이 가능하게 된다. 즉 구멍이나 도랑의 공간은 감소하기 때문에 이종재료는 접합되는 것이 된다. 그래서 표면의 소성유동을 적극적으로 이용하면 이종부재끼리의 접합이 가능하다고 판단된다.

그림 6 에 쇼트 피닝에 의한 이종부재끼리의 조형 접합가공법 ‘쇼트 코킹’의 원리를 보인 것이다. 투사재로 무수한 쇼트의 되풀이 충돌에 의해 재료표면 근방의 소성변형은 진행되어 특히 구멍 가장자리에서의 표면층이 크게 변형되어 이종재료와 틈을 없앨 수 있게 밀착하여 접합이 행해진다. 본 방법은 가공 표면의 소성유동을 이용한 접합가공법이다.

이제까지 진행된 이종재료끼리의 쇼트 코킹 실시 예를 보기로 하자. 그림 7 에 알루미늄 합금에 원주상 이종재료인 합금강을 접합한 시험편의 외관을 보인 것이다. 투사재는 평균직경 1.0mm 의 주강재로 원심식 쇼트 피닝 기계를 썼다. 쇼트 피닝 가공조건은 대기 중 투사속도 80m/s 실온, 커버리지 100%이다. 원주상 이종재료는 재료표면과 틈 없이 접합하고 있는 것을 볼 수 있다. 그러나 어느 정도의 접합강도가 있는가는 알 수 없다. 그래서 이종재료를 기재표면에서 인장함으로서 접합성을 평가했다. 그 결과 회전가공조건하에서 표면층에 있어서의 소성변형량이 증가하면 이종재료와의 밀착하는 면적이 증가하기 때문에 접합력도 높아지는 것을 알았다. 그렇지만 조합하는 이종재료의 재질에 의해 접합강도는 크게 영향을 받아 접합성이 낮은 경우도 있었다. 그 경우에 이종재료의 접합부 형상을 연구하는 것으로 접합성의 개선이 가능하다는 것을 알았다. 이상에서 본 방법으로는 기본재가 소성변형이 가능한 재료라면 접합하는 이종재료의 재질에 제한이 거의 없다는 것을 알았다.

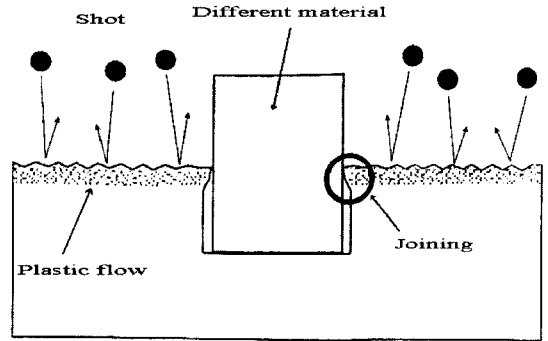


Fig. 6 Joining process of different types of materials by shot pinning process(shot cocking)

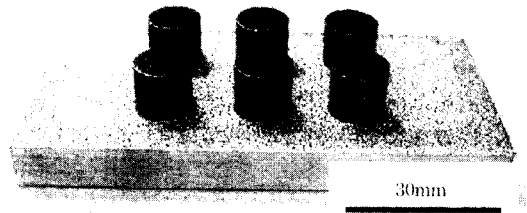


Fig. 7 Joining process of circular column and different types of materials by shot cocking process

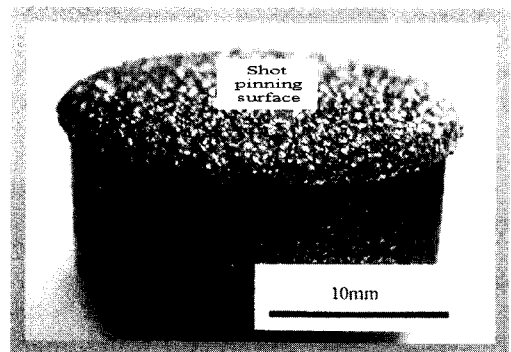


Fig. 8 Over shot pinned materials surface of circular column

5. 극박판 간의 냉간 접합

이 장에서는 쇼트 피닝 기술을 사용한 이종극박판간의 접합방법에 대하여 소개하였다. 이종박판간 접합 방법은 용접, 마찰압접, 확산접합 및 기계접합 등 많은 기술이 있다. 최근에는 자동차의 제조에 있어서 박판끼리 접합하는 기술의 개발이 한창 진행 중이다. 이것은 운반장비에 있어서의 에너지 절감이 중요한 과제로 되어있기 때

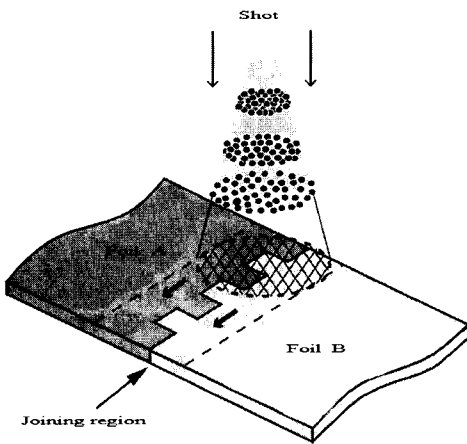


Fig. 9 Shot pinning process of two different types of materials

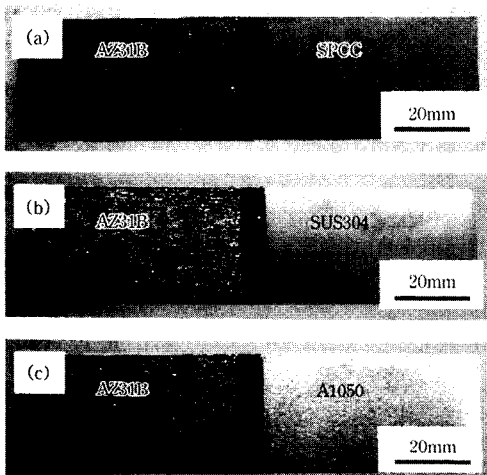


Fig.10 Outer surface microstructure of cold shot pinned Mg alloy foil with different types of materials

문에 경량화 신소재의 사용에 따라 이종재료간의 접합이 강하게 요구되고 있기 때문이다. 이제까지 이종재료의 조합에는 주로 기계적 체결법이 개발되어 왔다[43~48]. 최근에는 새로운 이종박판간의 접합기술로써 마찰 스폿 접합(Friction Spot Joining; FSJ)이 주목되고 있다[49]. 한편 이종박판간의 접합기술로서는 레이저 용접[50~51]이나 마찰교반접합(Friction Stir Welding ; FSW) [52~53] 등이 있어 이들은 접합강도가 아주 높고 뛰어난 접합기술로써 널리 쓰여지고 있다. 그러나 조합하는데 재질에 제한이 있거나 접합부에서 열영향에 의해서 재질

의 변화가 생기는 경우도 있다. 또 박판의 판 두께가 얇아지면 기존의 접합기술로는 냉간에서의 맞대기 접합이 용이하지는 않다. 그 때문에 접합부에서의 열영향이 적은 이종 극박판의 냉간 맞대기 접합기술의 개발이 기대되고 있다.

쇼트 피닝 가공된 재료표면에서는 소성유동이 생기지만 과도의 가공을 하면 표면층은 퍼지며 늘어난다. 이 특징을 이용하여 앞에서 말한 바와 같이 이종부재간의 접합방법을 개발하였다. 여기서 가공표면에 있어서의 퍼지며 늘어나는 모양을 나타낸 것이다. 그림 8 에 평균직경 1.0mm 의 주강 투사재(700HV)를 써서 과도로 쇼트 피닝 가공을 한 원주상 순 동 시험편의 표면을 보인 것이다. 투사재의 되풀이 하는 충돌에 의해 표면은 요철 상태가 되고 또 표면층의 퍼지고 늘어남으로 인하여 표면적이 확대되고 있는 것을 알 수 있다. 특히 표면 가장 자리에서는 표면층의 재료가 옆으로 나오고 있는 모양이 보인다.

쇼트 피닝 가공에 의한 표면층의 전신은 금속 박판에 있어서도 생긴다. 이 전신을 이용하여 박판끼리의 맞대기 접합방법을 개발하였다[54]. 그림 9 에 쇼트 피닝에 의한 이종 극박판끼리의 냉간 맞대기 접합 가공법을 보여 주고 있다. 접합하는 박판 A 와 박판 B 는 단의 차이가 없이 맞대어 지고 있으며 접합부로 되는 양박판의 끝(가장자리)은 요철 형상으로 되어 있다. 접합부의 양박판 사이에 있어서 크리어런스는 투사재의 직경 이하이다. 맞댄부에 쇼트 피닝 가공을 하면 접합부인 철부 표면은 소성유동이 생기기 때문에 요철부에서는 일종의 코킹 상태로 된다. 본 방법에서는 요철 부분의 표면층에서 생기는 소성유동 즉 전신에 의해 양박판이 접합되는 것이다.

이종극박판끼리의 냉간 맞대는 접합의 실시 예를 보여준다. 그림 10 에 마그네슘 합금에 대하여 극저탄소강 SPCC(a), 스텐리스강 STS304(b) 및 순알루미늄 박판 A1050 (c) 을 맞대어 접합시킨 시험 조각의 외관을 보여 주고 있다. 투사재는 평균 직경 0.1mm 의 주강재(700HV)로 공기식 쇼트 피닝 기계를 썼다. 쇼트 피닝 가공조건은 투사압력 0.4MPa, 투사시간 60s 이다. 또 사용한 박판의 두께는 모두 0.8mm 로 접합부인 요철형상의 크기는 길이 3mm, 폭 3mm 이다. 이것의 시험 편에 있어서도 접합부에 밀착하여 접합이 가능했다. 이와 같이 마그네슘재료와 금속재료끼리 짝을 지어 접합도 하였다.

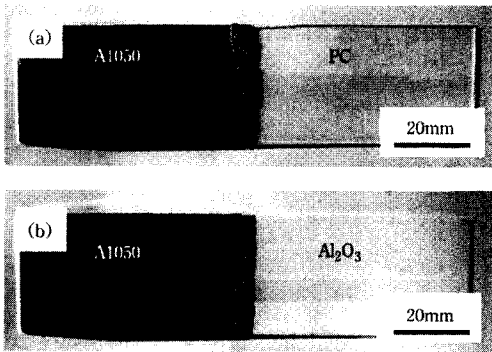


Fig.11 Outer surface microstructure of cold shot pinned Al alloy foil with non-ferrous materials foil

맞대어 접합한 이종박판의 접합성을 조사하기 위해 인장으로 접합 강도를 평가를 하였다. 그 결과 접합 강도는 투사재의 재질 및 입도, 투사압력이나 투사 시간 등의 강도 조건, 조합 박판의 두께와 재질 등의 인자에 의해 크게 영향을 받는다는 것을 알았다[55]. 현재 계속하여 접합성 평가 연구를 하고 있다.

본 방법은 박판요부의 표면에 소성변형에 의해서 접합이 이루어지고 있다. 그 때문에 한편의 박판 접합부 표면이 소성변형해도 접합은 가능하다. 즉 금속박판과 접합하는 상대인 이종박판은 고분자 글라스, 목재 및 세라믹스 등의 비금속재료에도 가능하다고 생각된다. 금속박판과 비금속박판에서 냉간 맞대는 접합의 실시 예를 보여준다. 그림 11에 순 알루미늄 A1050에 대하여 폴리 카보네이트 PC(a) 및 Al₂O₃(b)를 맞대기 접합한 시험편의 외관을 각각 보여주고 있다. 투사재는 평균직경 0.1mm의 주강재(700HV)로 공기식 쇼트 피닝 기계를 사용했다. 쇼트 피닝 가공조건은 투사 압력 0.4MPa, 투사시간 30s이다. 또, 사용한 박판의 두께는 모두 1.0mm이며 접합부인 요철형상은 길이 3mm, 폭 3mm이다. 비금속재료에 대해서도 접합의 가능성이 있다는 것을 알았다.

다시 말하면 본 방법에서 접합부가 요철형상이면 박판뿐만 아니라 박육관재에 대해서도 접합이 가능하다고 생각된다. 금속 박육관재와 비금속 박육관재에 있어서의 냉간 맞대기 접합의 실시 예를 보여주고 있다. 그림 12에 순 알루미늄 A1050에 대하여 스테인리스 강 STS304(a) 및 염화비닐(b)을 맞대기 접합을 한 시험편의 외관을 각각 보여 주고 있다.

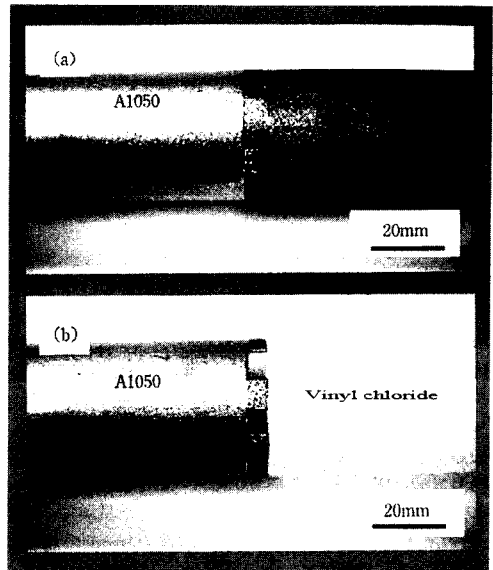


Fig.12 Outer surface microstructure of cold shot pinned pure Al pipe with different materials pipe

투사재는 평균직경 0.1mm의 주강재로 공기식 쇼트 피닝 기계를 썼다. 쇼트 피닝 가공조건은 투사 압력 0.6MPa, 투사시간 60s이다. 또 사용한 관재는 모두 직경 30mm, 관 두께 1.0mm이다. 박육관재에 있어서도 결함의 가능성이 있다는 것을 알았다. 이상에서 본 방법으로 이상 없이 냉간에서 빠른 접합이 가능하다는 것을 알았다. 특히 이종박판이 소성변형이 가능한 재료이면 조합하는 재질이 거의 제한되지 않은 것을 알았다. 이것 때문에 박판의 한쪽이 소성변형이 가능한 재료이면 비금속 재료와의 접합도 가능하였다. 현재 필자 등의 연구 그룹에서는 접합성에 미치는 투사재나 가공조건 등의 영향에 대하여 자세하게 연구하고 있다.

6. 결론

현재 쇼트 피닝 기술은 표면처리법으로서 널리 이용되고 있다. 특히 기계부품의 수명을 길게 할 목적으로 하면 생산분야에서 결코 없어서는 안될 기술이다. 또 잘 알려지지 않았으나 관재의 성형 가공법으로서 이용되고 있다. 이 방법을 펀 포밍으로 불리고 있으며 항공기에 있어서 날개 외관에 적용되고 있고[56], 극박판 성형의 적용도 생각하고 있다[57]. 또 최근에는 표면에만 재료가 강가

공되기 때문에 일종의 초강가공처리법(severe plastic deformation, SPD)으로 분류된다. 특히 금속조직학적인 변화와 그것에 따르는 재료의 기계적 특성이나 표면속성의 변환 등이 주목되고 있다[58-61]. 또 본 원고에 있어서 표면근방을 국부적으로 소성변형 시키는 특징을 이용하여 쇼트 피닝 기술 본래의 목적과는 다른 이종재료의 접합에 적용한 기술을 소개하였다. 이와 같이 쇼트 피닝 기술은 생산분야에서 적용범위가 넓히고 앞으로 보다 많은 분야에서 이용할 수 있는 기술로서 이용이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

마지막으로 본 원고에서 소개한 쇼트 피닝에 의한 접합기술을 개발하는데 있어서 전 근무학교인인 도요바시 기술과학대학 많은 분들의 협력과 지원을 받았습니다. 당시 연구에 서로 손잡았던 많은 대학원생의 협조를 감사하게 생각합니다. 또 본 학에 있어서도 열심히 협력을 받았던 대학원생들에게도 진심으로 감사함을 전합니다. 또 쇼트 피닝 기계 이용 등의 편의를 보아 주신 新東工業(株), 新東프라스틱사의 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

본 논문은 한국소성가공학회와 일본소성가공학회의 번역 게재 협정에 의하여 저자의 허락을 생략하고 번역하여 게재합니다.

참고문헌

- [1] 日本塑性加工學會: 最新塑性加工要覽, 第2版, (1999), 388-401, コロナ社.
- [2] 片岡泰弘 : 表面技術, 52-2 (2001), 191-194.
- [3] Van Steenkiste, T. H. Smith, J. R. & Teets, R. E.: Surface and coatings Tech., 154 (2002), 237-252.
- [4] Lima, R. S., Kurthikeyan, J., Kay, C. M., Lindemann, J. & Berdt, C. C. : Thin Solid Films, 416 (2002), 129-135.
- [5] 原田泰典, 森謙一郎, 牧清二郎 : 塑性 加工, 40-264 (1999), 895-899.
- [6] 原田泰典, 森謙一郎, 牧清二郎 : 塑性 加工, 40-266 (1999), 1106-1110.
- [7] 原田泰典, 森謙一郎, 原政明, 牧清二郎 : 塑性 加工, 42-480 (2001), 48-52.
- [8] 原田泰典, 小杉仁, 森謙一郎, 牧清二郎 : 塑性 加工, 44-507 (2003), 457-461.
- [9] 当舍勝次, 末次卓央 : 砥粒加工學會誌, 46-8 (2002), 143-418.
- [10] 政木清孝, 越智保雄, 石井明 : 材料, 46-10 (1997), 1130-1135.
- [11] 渡辺吉弘, 長谷川典彦, 並木邦夫, 秦野敦臣 : ばね論文集, 37 (1992), 53-57.
- [12] 中野修, 安田茂, 水野邦明 : 自動車技術會論文集, 24-3 (1993), 61-66.
- [13] 岡田秀樹, 丹下彰, 安藤柱 : ショットピーニング技術, 15-2 (2003), 97-101.
- [14] 原田泰典, 森謙一郎, 藤岡武洋, 牧清二郎 : 塑性 加工, 44-505 (2003), 97-101.
- [15] Menig, R., Schulze, V., & Voehringer, O. : Mater. Sci. Eng. A. 335 (2002), 198-206.
- [16] 原田泰典, 森謙一郎, 牧清二郎, 福岡義晃 : 塑性 加工, 41-470 (2000), 260-264.
- [17] 飯田喜介, 齊藤泰彦 : ショットピーニング技術, 6-1 (1994), 2-3.
- [18] Ando, K., Matsui, K. & Ishigami, H. : Key Eng. Mater., 183/187 (2000) 921-926.
- [19] 江上登, 加賀谷忠治, 井上宣之, 竹下弘秋, 水谷肇 : 機論 A, 66-650 (2000), 1936-1942.
- [20] 高木眞一, 熊谷正夫 : 精密工誌, 72-9 (2006), 1097-1082.
- [21] 伊藤俊朗 : 熱處理, 39-3 (1999), 128-134.
- [22] 奥村潔, 黒崎順功, 西村一敏, 木村久道, 井上明久 : まてりあ, 43-2 (2004), 142-144.
- [23] 原田泰典, 上杉秀人, 森謙一郎, 梅村貢, 土田紀之 : 塑性 加工, 47-542 (2006), 216-220.
- [24] 原田泰典, 小淵田卓, 土田紀之, 深浦健三: 砥粒加工學會誌, 51-3 (2007), 161-166.
- [25] 岩村吉就 : 溶接技術, 53-3 (2005), 128-133.
- [26] Montross, C., Florea, V., Brantdt, M. & Swain, M. V. : Surf. Eng., 16-2 (2000), 116-121.
- [27] 佐野雄二 : ショットピーニング技術, 14-1 (2002), 1-10.
- [28] 榎本邦夫, 平野克彦, 望月正人, 黒沢孝一, 齊藤英世, 林英策 : 材料, 45-7 (1996), 734-739.
- [29] 鈴木貞次 : 熱處理, 38-5 (1998), 273-276.
- [30] 祖山均 : 油空圧技術, 42-8 (2003), 35-39.
- [31] 松井勝幸, 石上英征, 福田晋作, 安藤柱 : ショットピーニング技術, 14-1 (2002), 1-10.
- [32] 福田連 : プラストクリーニングとショットピ

- ーニング, (1953), 日刊工業新聞社.
- [33] 広瀬正吉 : ショットピーニング, (1955), 誠文堂新光社.
- [34] 浅川勇吉 : ショットピーニング, グリッドブラッシング, (1958), 日刊工業新聞社.
- [35] ショットピーニングの方法と効果, (1997), 日刊工業新聞社.
- [36] ショットピーニング技術協會 : 金屬疲勞とショットピーニング, (2004), 現代工學社.
- [37] 日本規格協會 : ハンドブック JIS-B2711, (2005).
- [38] ショットピーニング 技術協會, WEB : <http://www.spotpeening.gr.jp/>
- [39] The ICSP Conferences, WEB : <http://www.spotpeening.org/ICSP/confirms.htm>
- [40] 日本塑性加工學會: 溶接, 塑性加工技術, 19, (1990), 7-12, コロナ社.
- [41] 原田泰典, 宇治橋諭, 森謙一郎, 牧清二郎 : 塑性加工, 45-525 (2004), 842-846.
- [42] 原田泰典, 宇治橋諭, 梅村貢, 小林祐次, 土田紀之, 深浦健三 : 塑性加工, 45-525 (2004), 842-846.
- [43] Muraski, S. J. : Machine Design, 62-7 (1990), 48-54.
- [44] Swanstorm, K. A. : Assembly, 39-10 (1996), 24-26.
- [45] Weber, A. : Assembly, 45-10 (2002), 48-74.
- [46] 加藤亨, 安部洋平, 森謙一郎 : 輕金屬溶接, 45-12 (2007), 553-560.
- [47] 松村吉修, 小川伸一, 三崎利次: 自動車技術, 61-4, (2007), 78-82.
- [48] 笹部誠二 : 溶接技術, No. 6 (2005), 60-66.
- [49] 高賀信次 : 輕金屬溶接, 42-11 (2004), 523-529.
- [50] Natsumi, F., Ikemoto, K. Sugiura, H., Yanakisawa, T. & Azuma, K. : Int. J. Mater. Prod. Technol., &-2 (1992), 193-204.
- [51] Vollertsen, F. & Grupp. M. : Steel Res. Int., 76-2/3 (2005), 240-244.
- [52] Sato, Y., Park, S. H C., Michiuchi, M. & Kokawa, H. : Scr. Mater., 0-9 (2004), 1233-1236.
- [53] 小松豊, 藤井英俊 : 長野県工業技術総合センター 研究報告, 2 (2007), 21-24.
- [54] 原田泰典, 深浦健三 : 57 回塑加連講論, (2006), 377-378.
- [55] 原田泰典, 福永誠, 深浦健三, 山本厚之, 宇治橋諭, 小林祐次 : 58 回塑加連講論, (2007), 441-442.
- [56] 近藤一義 : 塑性加工, 42-489 (2001), 1008-1013.
- [57] 青木勇 : 塑性加工, 33-379 (1992), 983-986.
- [58] 原田泰典, 森謙一郎, 牧清二郎, 中村雅勇 : 機械學會誌 C, 65 (1999), 319-324.
- [59] Umemoto, M. : Mater. Trans., 44-10 (2003), 1900-1911.
- [60] 間野日出男, 近藤覺, 井村徹, 松室昭仁 : 金屬學會誌, 69-2 (2005), 213-216.
- [61] 曹寄峰, 土谷浩一, 原田泰田, Dacian Tomus, 森井浩一, 戸高義一, 梅本實 : 金屬學會誌, 70-6 (2006), 473-477.