

무연 시대의 HASL 공정

글: Keith Sweatman, Nihon Superior Co., Ltd., Osaka, Japan

HASL(hot air solder leveling)은 PCB(printed circuit board)를 위해 매우 견고한 솔더링가능 표면처리를 달성하는 것으로 잘 알려져 있으나 2006년 7월에 EU의 RoHS 규정이 시행되기까지 수년 동안은 새로운 무연 전자 제조 기술 시대에는 실 자리가 없어질 것이라고 하는 것이 많은 사람들의 생각이었다.

하지만 2006년 7월에 이르자 유럽에서 거의 200개의 무연 HASL 라인이 가동되었으며 이 숫자는 이후로 계속해서 늘어나고 있다. 5년 넘게 HASL 프로세스가 상용 대량 제품에 사용되면서 최적의 결과를 달성하기 위한 이 공정의 시행에 대해 많은 점들을 이해하게 되었다. 이 글에서는 무연 HASL 라인의 가동에 있어 현재의 우수 관행과 적절하게 적용된 무연 HASL 표면처리라고 했을 때 기대할 수 있는 특성에 대해 살펴보고자 한다.

서론

솔더로 주석-납 합금을 이용하던 때에 핫 에어 솔더 레벨링(HASL) 표면처리를 지지하던 사람들이 주장하던 내용들은 무연 시대에도 마찬가지로 유효하다. 적절히 적용했을 때 HASL 표면처리가 PCB로 현재 가능한 가장 견고한 솔더링 성능을 달성한다는 것은 확실하다. 하지만 '어떤 것도 땀납처럼 솔더링되지 않는다'고 하는 서술에 있어 약간의 확장을 필요로 한다.

솔더 접합부에 대해 기본적으로 요구되는 것은 PCB의 구리 패드와 소자의 단자 사이에 금속학적 연속성이다(그림 1). 소자의 단자는 금속학적 특성이 폭넓게 변동적일 수 있으며 이 점이 문제를 야기할 수 있으나 이는 이 글의 범위를 벗어나므로 여기서는 PCB로 접속되는 솔더 접합부 부위에 대해서만 살펴보도록 하겠다. 현행 기술에서는 이 패드가 전기증착 구리이므로 HASL 표면처리에 대한 위의 짧은 주장을 '어떤 것도 솔더를 이용해서 사전에 웨팅된 구리처럼 솔더링되지 않는다'라고 좀더 완전하

게 서술할 수 있을 것이다.

HASL의 이점에 관한 이 서술이 기술적으로 좀더 정확한 것이다. 이 표면처리가 제공하는 것은 가시적인 솔더가 아니라 구리와 접촉면을 이루는 이 솔더의 표면 하단의 웨팅된 접촉면이기 때문이다. 주석 함유 솔더가 구리를 웨팅할 때 금속간 화합물 Cu6Sn5가 거의 즉각적으로 형성되기 때문에 이 접촉면의 금속간 화합물이 존재하는 것으로 웨팅이 이루어졌다는 것을 확인할 수 있다(그림 1). 그러므로 HASL 표면처리의 이점에 대해서 '솔더 접합부의 절반이 이미 만들어졌다'고 설명할 수 있을 것이다.

솔더가 적합한 플럭스의 도움을 받아서 기판을 웨팅할 때의 용이함을 기술하기 위해 이용되는 용어가 솔더링 성능(solderability)이다. 웨팅이 이미 이루어졌으므로 HASL 표면처리는 주석을 함유하지 않는 다른 어느 PCB 표면처리가 따르지 못하는 솔더링 성능을 제공한다. HASL 표면처리에 대해 위에서 언급되지 않는 추가적인 이점은 적절히 적용했을 때 환경에 대해 추가적인 보호나 특수한 보관 조건을 필요로 하지 않고 매우 긴 기간 동안 솔더링 성능을 유지할 수 있다는 것이다. 수년 동안 특수한 보관을 필요로 하지 않고도 HASL 표면처리 솔더링을 이용한 PCB가 유지되는 많은 사례가 알려지고 있다.

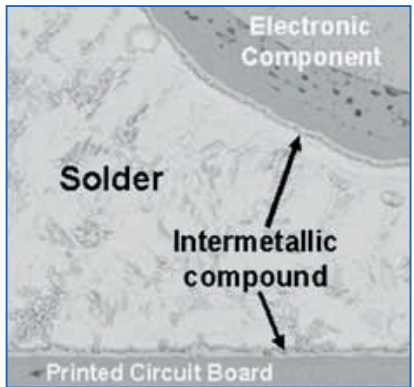


그림 1: 금속학적 연속성을 제공하는 솔더 접합부의 기본적인 특성

PCB 표면처리에 있어 HASL의 지위

EU RoHS 규정2에 의해서 전자 산업이 납을 제거하는 것에 대해 고려하기 전까지 HASL 프로세스에 적용되던 주석-납 공용 솔더(통상적으로 Sn-

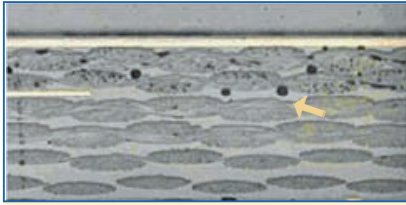


그림 2: 열에 과도하게 노출됨으로써 발생하는 라미네이트 레진의 공극

37Pb)가 북미 및 유럽 지역에서 PCB 표면처리에 가장 널리 이용되는 것이었다(처리되는 패널 면적 기준)³. HASL은 또한 아시아에서 널리 이용되었으나 이들 시장은 전자기기가 주로 차지함으로써 시장 점유율이 낮았다. 전자기기를 위한 산업용을 위해서는 신속한 목록 관리 시스템의 효과적인 적용에 의한 결과로서 제조와 솔더링 사이에 시간이 짧으므로 구리 패드의 솔더링 성능이 OSP 표면처리보다 만족스럽게 보장되었기 때문이다.

2006년 7월에 RoHS 규정이 시행되기까지의 기간에 가장 널리 주장되었던 관점은 업계가 무연 기술로 전환함에 따라서 HASL 표면처리는 사라질 것이라고 하는 것이었다⁴. 이와 같이 전망하게 된 근거는 다음과 같이 HASL 프로세스에 대해 제기되는 문제들 때문이었다:

- 추가적인 열 익스커션 때문에 PCB 손상(그림 2)
- 도금 두께에 있어서 패드마다 변동에 의해 유발되는 공면성 문제 (그림 3)
- 페이스트 인쇄 시에 도금 두께의 변동성 및 소형 패드 상의 도금 'mushroom cap' 프로파일과 관련한 스텐실 gasketing 문제 (그림 4)
- 침단 PCB 흡에 어울리지 않는 것으로 여겨졌던 프로세스와 관련한 열 및 가스

실제로 이러한 잠재적 문제들은 예상한 정도로 현실화되지 않았으며 초기에는 주로 유럽에서부터 2002년 이후로 무연 HASL이 널리 이용되고 있으며 수백만 개의 보드가 성공적으로 솔더링되고 장기적으로 사용되고 있다. 저자의



그림 3: HASL 표면처리의 잠재적인 공면성 문제

회사에서 수집한 자료에 의하면 상용 생산을 위해 현재 전세계적으로 400개 이상의 무연 HASL 라인이 가동되고 있으며 늘어나는 수요를 충족하기 위해 매월이 숫자가 추가되고 있다. 이 숫자는 2006년 마지막 분기 이후에 45퍼센트 증가하였다. 이러한 성장세를 달성하기 위해서는 평균적으로 매월 5개 이상의 새로운 라인이 추가되었을 것이며 이 수치는 이 기간에 업계의 실제 동향과도 일치하는 것이다. 이들 라인의 절반 이상은 유럽에 소재하고 있으며 현재는 약 1/4 정도가 중국에 소재하고 있다. 유럽 및 미국 OEM으로부터 이 표면처리를 채택한 보드 주문 수량이 증가하고 있기 때문이다.

패널을 HASL 프로세스를 2회 이상 통과시키거나 또는 필요보다 높은 솔더 온도를 이용하지 않는 한은 CEM-1, CEM-2, FR-2 등급의 라미네이트라 하더라도 예상되었던 라미네이트 손상이 관찰되지 않았다. 무연 프로세싱의 다른 요구들을 충족하기 위해서 방열성능이 우수한 등급의 라미네이트가 도입됨으로써 손상 가능성은 더욱 줄어들었다.

적절히 적용된 무연 HASL 표면처리



그림 4: 비공면 HASL 도금의 스텐실 gasketing 문제에 의한 페이스트 블리드

의 솔더 도금 두께의 변동폭은 이 기술이 대체하는 주석-납 HASL 표면처리의 약 절반이다. 또한 이 표면처리를 대형 에어리어 어레이 부품을 채택한 보드에 이용할 수 있도록 공면성이 충분히 우수한 것으로 나타났다.

또한 열 및 가스 문제에 있어서 침단 HASL 라인은 침단 PCB 설비의 다른 장비들과 일관된 동작 조건을 제공하도록 설계되었다(그림 5).

HASL의 대안 기술

만약 HASL 프로세스로부터 비롯되는 문제들이 실제로 이 표면처리를 이용하지 않는 이유가 되었다면 이 기술은 무연 규정이 시행되기 훨씬 전에 사라졌을 것이다. PCB 표면처리는 이제 무연이라는 점을 내세워서 선전되고 있으며 OSP, 침적 은, 침적 주석, 무전해 니켈/침적 금(ENIG) 등이 이미 등장해 있었기 때문이다. 이러한 모든 표면처리는 전자 어셈블리에서 납을 제거해야 하기 전까지 일부 애플리케이션에 이용되었으나 HASL 표면처리가 지배적인 시장



그림 5: 침단 자동화 인라인 수평 HASL 라인(사진 출처: Cemco/FSL Ltd)

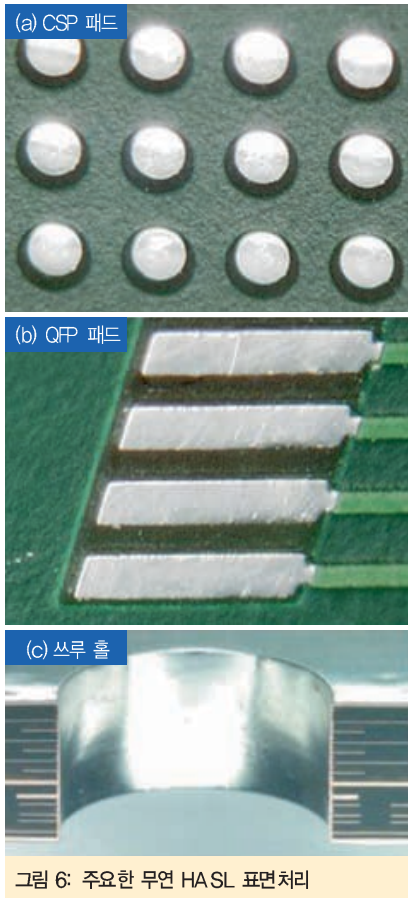


그림 6: 주요한 무연 HASL 표면처리

점유율을 유지하였다.

언급한 모든 대안들이 아무리 우수한 HASL 표면처리로도 따를 수 없는 특정한 정도의 공면성을 제공하나 어떤 대안 기술도 문제를 완전히 일으키지 않는 솔루션을 제공하지 못하므로 이 프로세스가 주도권을 유지하였다. 다수의 애플리케이션을 위해서 HASL은 가장 우수한 절충적 기술을 제공하며 특히 견고한 솔더링 성능이 주요한 요구일 때는 더 그러하다.

유기 박막 OSP 표면처리는 화학적으로 구리로 접촉된다고 하더라도 특히 열, 습도, 공기 오염 조건일 때 제공할 수 있는 보호가 제한적이다. 리플로우 첫 단계에 솔더링 성능이 충분히 우수하고 리플로우 두 번째 스테이지에 충분한 숫자가 살아남는다고 하더라도 최종적인 웨이브 솔더링 스테이지가 필요하다면



그림 7: 이상적인 HASL 표면처리의 단면

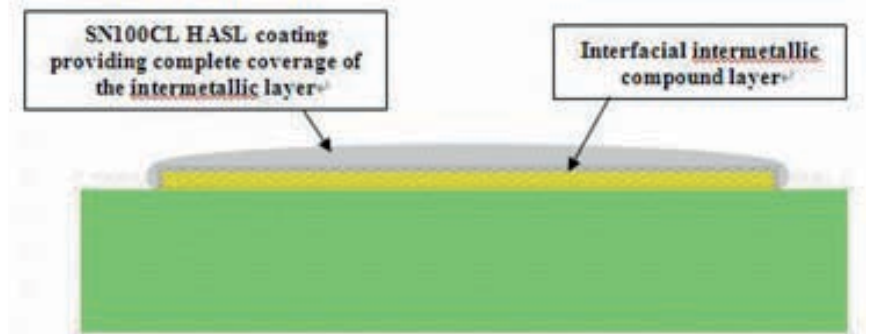


그림 8: 이상적인 HASL 표면처리 단면의 개념도

배럴 충전 기준을 충족하기가 어렵다.

침적은 표면처리는 솔더링 프로세스 시에 용해되므로 이것이 할 수 있는 것은 토대 구리에 대해 산화를 방지하는 것뿐이다. 이 표면처리를 채택하는 보드의 솔더링 성능은 표면처리를 적용하기에 앞서 구리를 준비하는 품질에 좌우되며 그러므로 사전 에칭 프로세스의 제어에 있어서 변동성에 대해 취약하다. 중착이 주로 화학적 치환 프로세스에 의해 이루어지므로 도금의 두께와 그러므로 이것이 제공할 수 있는 보호의 정도가 제한적이다. 이 표면처리는 솔더링 성능에 영향을 미치지 않는다고 하나 은은 오염된 대기에 의해 변색에 취약하다. 보드의 매끄러운 외관이 염려된다면 변색을 방지하기 위해 추가적인 도금을 적용할 수 있으나 경우에 따라서 침적은 표면처리를 채택한 보드는 밀봉 패키징에 보관할 것이 권장된다.

성공적인 홍보의 결과로서 침적은은 미국 시장에서 선호되는 무연 표면처리로서 자리를 잡고 있으며 그러므로 무연 규정을 시행하기 전의 경우보다 더 넓은 범위의 동작 조건에 노출되고 있다. 이러한 점에서 새롭게 나타나고 있는 현상이 재난적인 'creep corrosion' 이라고 하는 것이다. 이 현상은 조립 보드가 황

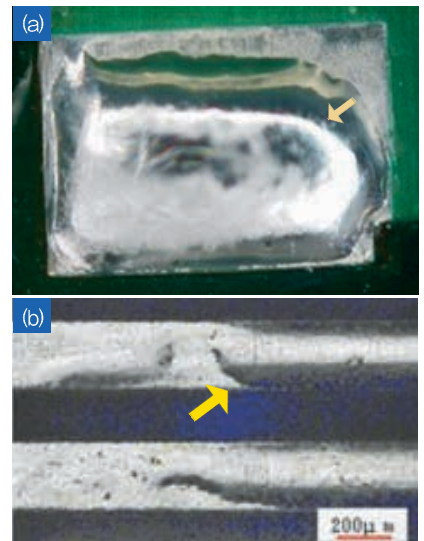


그림 9: 솔더 도금의 dewetting

으로 오염된 습한 대기에 노출되고 은과 SMD(solder mask defined) 패드 상의 솔더 레지스트 가장자리에서 불가피하게 노출된 작은 부위의 구리 사이에 셋업된 전기화학적 셀로 구동될 때 발생한다⁵⁾.

침적 주석 프로세스는 주석-구리 인터페이스 상에 금속간 층을 형성하는 것은 HASL 프로세스와 동일하나 단 용해 솔더와 반응에 의한 것이 아니라 고체 확산에 의한 것이다. 침적은과 달리 이 프로세스는 변색에 취약하지 않으며 특수

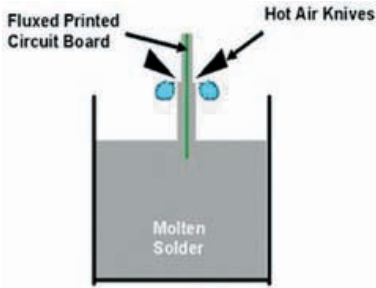


그림 10: 수직 HASL 프로세스의 개념도

한 보판을 필요로 하지 않는다. 하지만 침적 은과 마찬가지로 화학적 치환 작용에 의해서 증착이 이루어지므로 두께가 제한적이다. 금속간 층이 보판 시에 계속해서 성장함으로써 주석을 완전히 소모하고 결과적으로 솔더링 성능을 저하시킬 수 있다. 금속간 층의 성장이 열 익스커션 시에 대폭적으로 가속화됨으로써 양면 리플로우의 두 번째 스테이지나 웨이브 솔더링의 최종적인 스테이지에서 솔더링 성능 문제가 불거질 수 있다.

무전해 니켈/침적 금 표면처리는 완벽하게 평평할 뿐만 아니라 딱딱하고 충분히 내구성이 있으므로 제한된 횟수의 삽입/회수 사이클을 요구하는 에지 커빅터에 이용할 수 있다. 이 표면처리는 또한 와이어 본딩을 수용할 수 있다. 이 표면처리는 대다수의 경우에 우수한 솔더링 성능 및 높은 신뢰성 접합부를 제공하나 블랙 패드라고 하는 현상과 관련해서 작지만 지속적으로 발생하는 재난적인 접합부 결함 사례 때문에 이 표면처리에 대한 확신을 떨어트리고 있다. 또 다른 문제는 인(phosphorus)이 무전해 니켈 증착의 불가피한 구성성분으로서 무연 솔더의 주요한 구성성분인 납, 구리, 은과 반응해서 솔더/기판 인터페이스 상에 복잡한 금속간 화합물을 형성하고 그림으로써 접합부를 충격 하중(impact loading)에 취약하게 만든다는 점이다. 금은 용해 솔더 안에서 급속하게 용해되며 토대 니켈의 웨팅에 의해서 접합부가 형성되므로 이 표면처리의 솔더링 성능

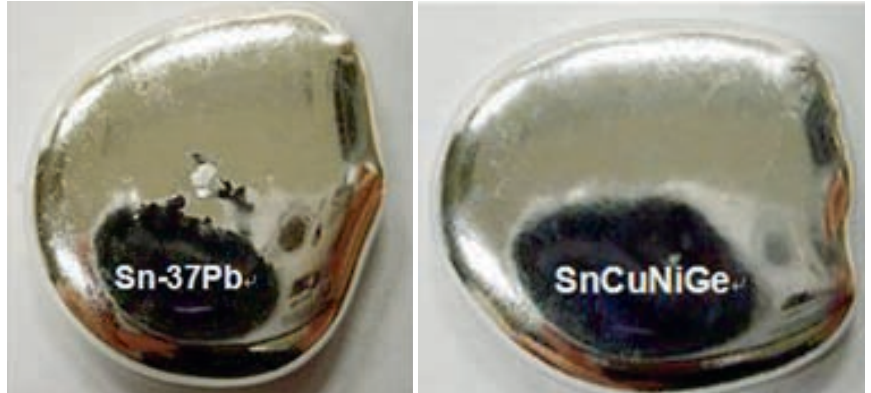


그림 11: Sn-37Pb와 SnCuNiGe 합금의 외관 비교

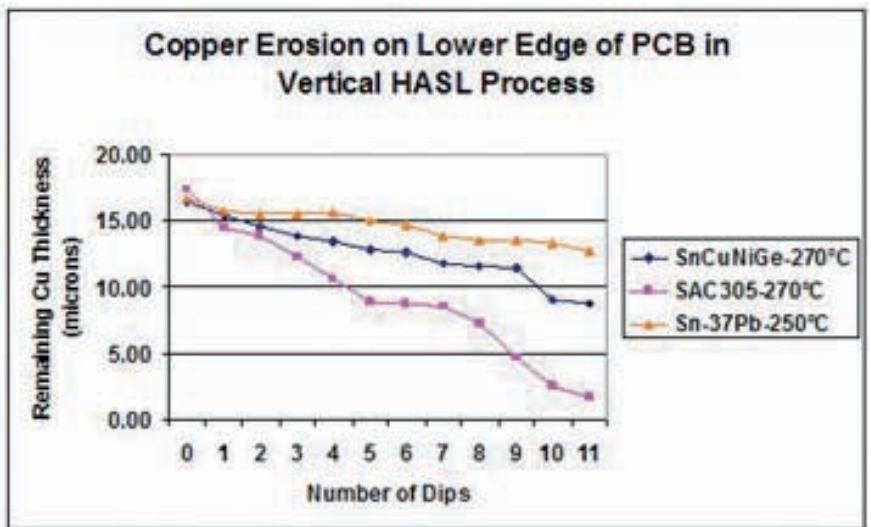


그림 12: HASL 합금의 구리 용해 비율 비교

은 궁극적으로 이 니켈 표면의 품질에 따라서 결정된다. 화학적 치환 작용의 결과로서 금 도금은 매우 얇다. 그러므로 토대 니켈로 제공할 수 있는 보호가 제한적이며 프로세스 제어에 따라 좌우된다. 만약 침적 금 표면처리가 이를 산화로부터 보호하지 못한다면 방금 예칭된 니켈로서 매우 우수하다 하더라도 솔더링 성능이 급속히 떨어질 수 있다.

HASL 표면처리의 특성

앞에서 설명했듯이 HASL 표면처리는 이미 솔더 접합부의 1/2을 이루고 있다고 할 수 있으므로 품질에 대한 시각적 기준이 기본적으로 솔더 접합부에 대한 것과 동일하다. 표면은 매끄럽고 광택이

있어야 하며 non-wetting이나 dewetting의 흔적이 없어야 한다(그림 6). 단면을 검사했을 때 이상적인 표면 처리는 그림 7의 것과 같아야 하며, 그림 8의 개념도는 특징적인 요소들을 보여준다. 단면을 보면 표면 장력이 표면 처리 두께를 결정하는 데 있어 주요한 역할을 하며 특징적인 defined area에서 특징적인 mushroom cap이 형성되며 귀통이로 갈수록 도금이 얇아진다는 것을 알 수 있다.

표면처리에 있어 잘못될 수 있는 가장 주된 요인은 도금이 너무 얇은 부위가 생기는 것이다(그림 9). 이 문제는 도금이 구리 기판을 적절히 웨팅하지 않았거나 전체 부위에 걸쳐서 안정적인 막을

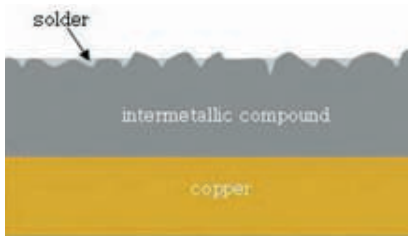


그림 13: 금속간 층이 표면으로까지 성장하면 솔더링성능이 떨어진다.

유지하기에 패드 상에 충분한 솔더가 남아있지 않았다는 표시이다. 어떠한 원인 이든 솔더 도금이 금속간 층을 완전히 커버할 수 있을 만큼 충분하지 않은 부위에서는 후속적인 솔더링 공정 시에 non-wetting이나 dewetting의 가능성이 높아진다.

만족스러운 웨팅을 달성하지 못하는 데에는 여러 가지 이유가 있을 수 있다.

- HASL 공정 시에 패널을 노출시킨 솔더 온도 및 접촉 시간으로 플렉스를 이용해서 완벽한 웨팅을 달성할 수 있을 정도로(이후에 dewetting이 일어나지 않도록) 구리 표면이 준비되지 않았다.
- 표면 장력의 영향을 받으면서 패드 표면을 완전히 커버할 수 있을 정도로 패드 상에 충분한 솔더가 남아있지 않게 핫 에어 나이프가 조절되어 있다.

만약 솔더 도금이 금속간 층 위로 유리된 무반응성 솔더 층을 제거하도록 충분하지 않다면 솔더링성능이 급속히 떨어진다. 접촉면 금속간 화합물이 존재함으로써 웨팅이 이루어진 것으로 확인할 수 있으나 금속간 화합물이 대기에 노출되었을 때는 솔더링성능이 떨어진다.

이러한 문제가 발견되었을 때는 위에서 언급한 진단이 시사하는 조치들을 취하는 것으로 대부분의 경우에는 해결책을 간단히 찾을 수 있다.

무연 HASL 공정

HASL 공정의 이점은 간단하다는 것

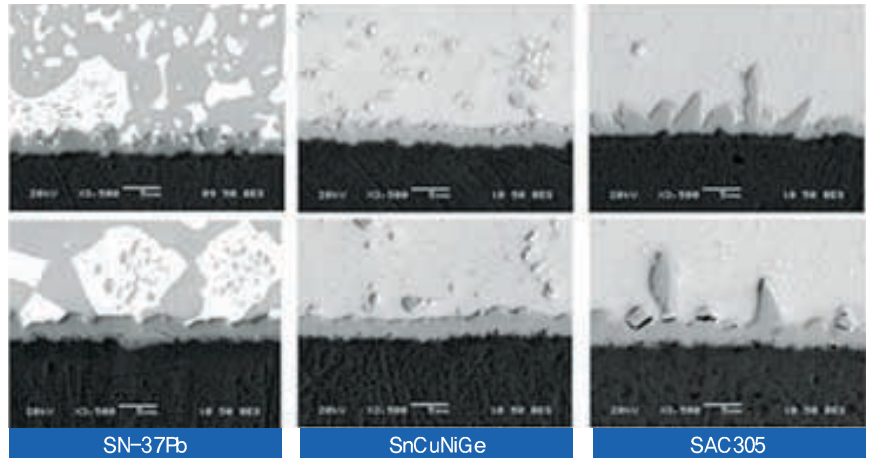


그림 14: 니켈 안정화 금속간 화합물은 더 천천히 성장한다.

이다. 세척 및 플렉스 처리된 PCB를 충분한 시간 동안 용해 솔더와 접촉시켜서 웨팅을 달성하고 그런 다음 에어 나이프를 이용해서 솔더의 용해점 이상의 온도로 평면적 에어 분사로 여분의 솔더를 제거한다. 솔더 도금이 경화되면 보드를 워셔를 통과시켜서 플렉스 잔류물을 제거하고 건조시킨다. 에어 쿨링은 매우 매끄럽고 광택적인 표면처리를 달성하며 선호되는 SnCuNiGe에 대해서는 물 또는 오일 담금질로 금속간 두께를 최소화하는 것과 관련해서 별 성과를 거두지 못한다.

시각적 검사로 프로세스가 성공적인지 즉각적으로 알 수 있으나 XRF 기법이나 단면 검사를 이용해서 도금 두께와 웨팅 품질을 검사할 수 있다.

수직 프로세스는(그림 10) 보드 패널을 프레임에 수동으로 탑재하고 이를 솔더 배스에 수직으로 집어넣고, 통상적으로 2~3초의 적합한 침적 시간 동안 흘당하고, 그런 다음 흡과 비어는 제거하면서 솔더 표면처리가 필요한 모든 부위

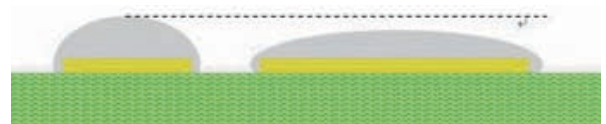


그림 15: 표면 장력 때문에 소형 패드일수록 도금이 두꺼워진다.

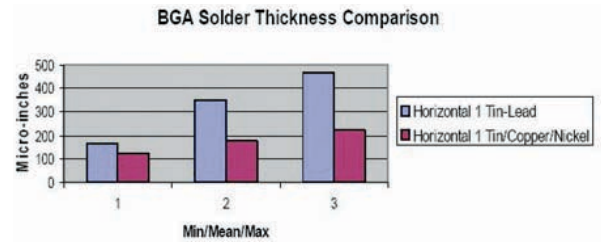


그림 16: HASL 도금 두께 비교 (Fellman7)

에는 적합한 두께의 솔더가 남아있도록 조절된 에어 나이프를 작동시키고 그사이로 패널을 통과시키면서 들어올린다. 솔더가 냉각되고 경화되면 지그(jig)에서 보드를 제거하고 워셔/드라이어 컨베이어 상에 탑재한다. 이 과정에서 작업자가 표면처리 상태를 신속하게 검사할 수 있다.

다수의 HASL 라인이 수직 디자인이며 높은 품질 기준으로 표면처리를 적용할 수 있다. 대다수 라인은 패널을 수동으로 적재 및 회수해야 하나 완벽하게 자동화된 수직 라인이 나와 있으며 이러한 라인은 플렉스 공정 및 예열과 후속적 워싱 및 건조를 포괄해서 랙투랙 작업이 가능하다.

수평 프로세스 역시 원리는 비슷하나

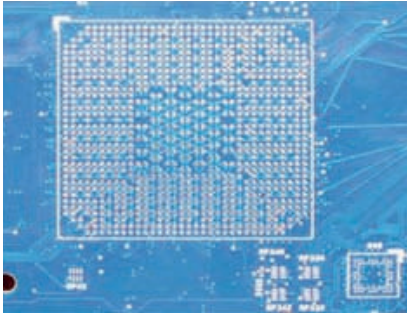


그림 17(b)는 BGA 패드(그림 17(a)) 상의 SnCuNiGe HASL 표면처리의 통상적인 두께 범위를 보여준다

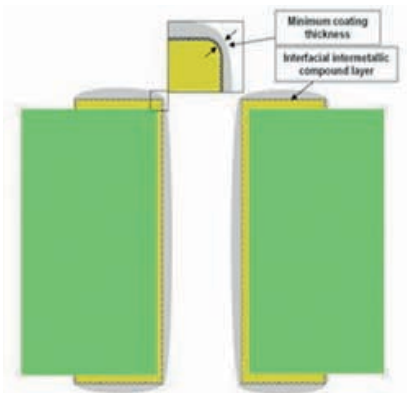


그림 18: 스루홀 솔더의 최소 도금 두께

단 보드를 솔더 베스에 담그는 것이 아니라 노즐을 통해서 또는 롤러 사이를 통과 시켜서 패널 상단과 하단에 솔더를 입히고 보드 상단과 하단에 위치한 핫 에어 나이프 사이를 통과시킨다. 인라인 프로세스이므로 수평 HASL은 프리 에칭부터 세척 및 건조에 이르는 다른 인라인 프로세스와 편리하게 통합해서 그림 5에서 보는 것과 같은 연속적인 라인을 구축할 수 있다. 인라인 예열 스테이지에서 솔더 노출에 필요한 시간을 수분의 일초로 단축할 수 있으므로 그에 따라서 시간당 쓰루풋을 향상시킬 수 있다.

수평 프로세스는 표면처리의 두께가 더 균일하다는 점이 이점이다. 수직 프로세스에서는 중력의 영향 때문에 솔더가 패드의 하단 부위로 이동하는 성향이 있는데 수평 프로세스는 중력이 표면 상의 솔더 분포에 영향을 미치지 않는다.

패드 크기	피치	평균 코팅 두께	최고 입기	최저 입기	입기 수
0.027 dia	0.05	4.93	7.19	2.45	78
0.018 dia	0.04	9.07	16.85	4.32	60
0.025 dia	0.05	7.45	10.51	5.49	75
0.020 dia	N/A	8.72	15.34	6.15	87
0.025x0.020	0.05	4.95	6.57	3.12	40
0.020 dia	0.05	4.8	9.83	2.53	104
0.030 dia	0.05	5.39	8.08	2.98	76
0.030 dia	0.05	5.04	6.91	2.61	140
평균		6.29	10.16	3.71	

표 3: 언더필 유형에 따른 구성 표

무연 HASL 합금

솔더를 수반하는 다른 프로세스와 마찬가지로 주석-납 공용화합물이 이에 대해서 다른 솔더를 판단할 수 있는 벤치마크이다. Sn-37Pb 합금은 매끄럽고 광택이 있으며 적당히 평평한 HASL 표면처리를 제공할 수 있으며 이를 가능하게 하는 주요한 요인은 주석-납의 공용 특성이라는 것은 당연하다. 엄격하게 정의된 용해점으로 단일 스테이지로 경화하는 방식 때문에 공용화합물은 용해점에 근접해서 매우 유동성이 높으며 비공용 동작을 나타내는 합금의 표면처리 외관을 떨어트리는 축소 현상을 나타내지 않는다.

그러므로 무연 HASL 프로세스에 가장 널리 이용되는 솔더가 Sn-37Pb의 공용 동작에 거의 근접하는 유일한 무연 합금이라는 것이 우연한 것이 아니다. 이 합금은 주석-구리 공용을 기반으로 하나 특정한 정도로 니켈을 추가함으로써 공용 동작을 촉진시킨다(그림 11). 이 합금은 또한 게르마늄을 추가해서 액체 및 고체 상태로 산화를 제어할 수 있다.

이 SnCuNiGe 합금은 또한 HASL 프로세스에 특히 적합한 두 가지 또 다른 특성이 있는데 낮은 비율의 구리 용해와 안정적인 접촉면 금속간화합물이다.

이 프로세스는 PCB의 구리 패드를 용해 솔더로 노출시키므로 용해에 의해서 구리가 과도하게 소실되지 않도록 해야 한다. 또한 니켈을 추가해서 주석-구리 공용화합물의 공용 동작을 촉진함으로

써 구리 표면 상에 형성되는 금속간 층을 안정화하므로 추가적인 용해를 방지하는 장벽으로 작용할 수 있다. 그림 12는 SnCuNiGe 합금과 주석-납 벤치마크와 기본적인 무연 솔더로서 널리 채택되고 있는 SAC305 즉 Sn-3.0Ag-0.5Cu 합금의 용해 비율을 비교한 시험 결과를 보여준다.

적절하게 적용된 HASL 표면처리라 하더라도 주석을 모두 소비하는 정도로 금속간 층이 성장하면 솔더링 성능이 급격적으로 떨어진다(그림 13). 금속간 층의 성장이 느리다면(그림 14) 광범위한 열 변동 후에도 솔더링 성능이 유지된다.

장비 요구 및 프로세스 파라미터

무연 HASL 프로세스는 모든 무연 프로세스와 관련된 제약 내에서 작동해야 한다. 이 합금의 용해점은 주석-납 솔더보다 높으나 일부 물질이 노출될 수 있는 온도/시간 프로파일에 있어 한계 때문에 프로세스 온도는 Sn-37Pb에 이용되는 것에 되도록 근접하도록 해야 한다.

용해점이 227°C로서 Sn-37Pb보다 44°C 높으므로 이 때문에 널리 이용되는 합금을 이용해서 무연 HASL의 프로세스 윈도우는 35~40°C로 대략적으로 절반으로 줄어든다. 이와 같이 프로세스 윈도우가 감소함으로써 가장 큰 영향은 주석-납 HASL 프로세스에 필요한 것보다 지정된 지점에 훨씬 더 근접하게 온도를 유지해야 한다는 점이다. 장비 업체

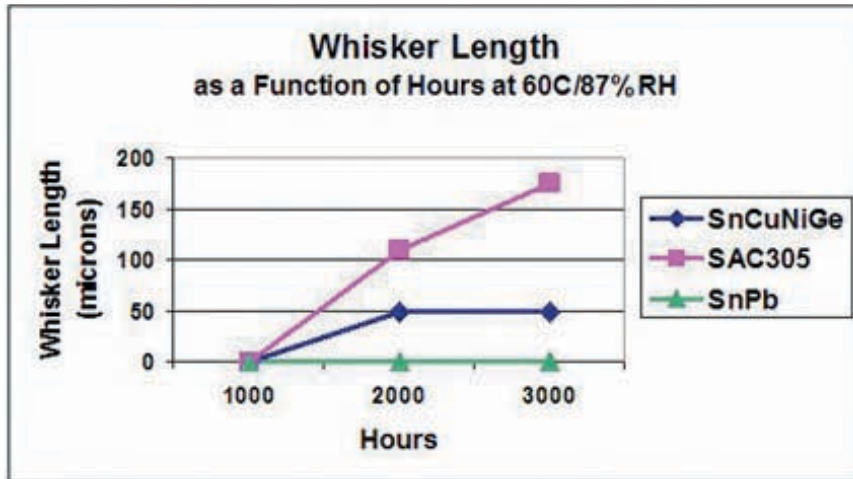


그림 19: 구리 상에서 용융 도금 및 응력 시의 주석-납 및 무연 솔더 도금의 휘스커 성장

들은 이러한 문제에 대처하기 위해서 히터 용량 및 솔더 팟의 단열을 향상시키고 온도 제어를 업그레이드하고 있다.

주석-납 솔더가 구리를 웨팅하기 위해서 도달해야 하는 온도가 무연 솔더와 유사하므로 프로세스 온도를 결정하는 가장 주된 요인은 현실적으로 가능한 가장 짧은 시간에 보드 표면을 용해점으로 도달하도록 하기 위해 필요한 히팅 속도이다. 히팅 속도는 보드와 솔더 간의 온도차에 비례하므로 그 용해점으로 신속하게 도달하기 위해서 솔더 온도로 웨팅을 달성하기 위해 필요한 것보다 더 높게 설정할 수 있다. 히팅 속도는 또한 접촉면 상의 열 전달의 유효성에 의해 결정되므로 무연 솔더에 이용하기 위해 설계된 수직 HASL 장비의 또 다른 특징은 패널 상에서 솔더가 더 신속하게 배포되도록 한다는 것이다. 수평 프로세스는 보드 상의 솔더의 유량이 이미 높으며 인라인 공정이므로 예열 스테이지를 용이하게 포함시킬 수 있으며 그러므로 더 낮은 솔더 온도 설정이 가능하다.

단면 및 간단한 양면 보드는 260°C의 솔더 배스 온도로 HASL 처리를 할 수 있으나 이보다 증후한 다층 보드의 표면을 적정한 시간 내에 웨팅 온도에 도달하도록 하기 위해서는 솔더 배스 온도를

최고 280°C로 설정해야 할 수 있다. 하지만 이 온도로 수초 동안 노출시켜서 라미네이트가 실제로 달성하는 온도는 이보다 훨씬 낮으므로 라미네이트의 상태가 손상되지 않는다.

패널이 용해 솔더 밖으로 나올 때 패널 표면으로 적용되는 에어의 온도는 솔더의 용해점보다 높아야 하며 특정한 장비가 이를 달성하기 위해 필요한 설정은 지정된 온도를 어디에서 측정하느냐에 따라서 달라진다. 통상적으로 솔더 배스와 유사한 온도 설정이 이용된다.

장비마다 특성이 다르므로 에어 압력, 각도, 근접성, 오프셋 등의 에어 나이프 설정에 대해서 구체적으로 언급할 수는 없으나 그림 8에서 보는 것과 같이 완전한 커버리지를 달성하기 위해 각각의 패드 상에 충분한 솔더가 남아있도록 해야 한다는 점에서 주석-납 솔더에 이용되는 것과는 다르다. 주석-납 표면처리의 불균일성 때문에 되도록 평평한 표면처리를 달성하기 위해 대부분의 솔더를 날려서 제거하는 관행이 등장하였다. 무연 솔더는 금속간 층을 완전히 커버하기에 불충분한 유리된(무반응성) 솔더를 남길 수 있으며 결과적으로 특히 솔더 페이스 트 리플로우 노출 후에 솔더링 성능에 부정적으로 영향을 미칠 수 있다.

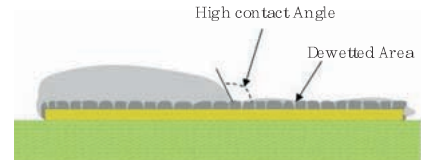


그림 20: 금속간 층의 솔더 두께가 불충분할 때 패드의 dewetting

솔더 배스의 조성 관리

주석-납 HASL 프로세스와 마찬가지로 패드의 구리는 솔더 내에서 용해되는 성향이 있다. 솔더 배스의 구리 농도가 급격하게 1퍼센트 이상으로 상승할 수 있다. 구리 함량이 증가함에 따라서 솔더의 액상선 온도가 상승하며 그러면 용해액으로부터 Cu6Sn5 금속간화합물의 니들 형태의 결정이 침전되는 현상이 나타난다. 이러한 결정은 무연 솔더보다 밀도가 높고 솔더 팟 하단으로 가라앉으므로 이를 바닥에서 긁어낼 수 있다. 하지만 또한 차가운 지점에서 이러한 결정이 형성될 수 있으며 이는 주로 솔더의 표면이다. 배스에서 이와 같이 누적된 것을 들어냄으로써 여분의 구리를 제거할 수 있다. 솔더의 구리 함량이 증가하는 것에 따라서 구리의 용해 비율이 감소하므로 일부 업체들은 구리 농도를 1.2퍼센트까지 상승시키고 솔더 온도를 높여서 용액 내의 구리를 유지한다. 또한 팟을 부분적으로 털어내고 낮은 구리 함량의 보충 합금으로 다시 채움으로써 솔더 배스의 구리 농도를 낮출 수 있다.

도금 두께

HASL 표면처리의 솔더 도금 두께는 보드가 핫 에어 나이프와 표면 장력을 거친 후에 패드 상에 남아 있는 솔더의 양에 의해서 결정된다. 그림 15에서 보듯이 표면 장력이 작용하는 방식 때문에 패드가 소형일수록 도금이 두꺼워진다.

아마도 유사한 조건일 때 HASL 프로세스로 형성된 것이 주석-납 솔더로 형성된 것보다 더 얇고 균일한 것은 무연 솔더의 표면 장력이 높기 때문일 것이다.

(그림 16)

안타깝게도 균일한 도금 두께가 가능하도록 하는 표면 장력이 또한 도금 쓰루 홀의 솔더 부위에서 도금이 얇아지도록 하는 성향을 나타낸다(그림 18). 하지만 보드 상에 충분한 양의 솔더가 남아 있다면 최소한 1.5 μ m의 도금 두께를 유지할 수 있으며 이는 다중의 무연 리플로우 사이클 후라도 하더라도 우수한 쓰루 홀 솔더링 성능을 달성하기에 충분한 것이다.

휘스커 취약성

솔더 도금은 용해된 상태로 적용되므로 전기증착 도금 시에 휘스커 성장의 주된 요인으로 알려진 잔류 압축 응력을 일으키지 않는다. 저자의 회사에서 의뢰해서 “주석 및 주석 합금 표면처리의 휘스커 성장 측정”에 관한 JESD22A121 표준에 따라 테스트했을 때 그와 같은 용융 도금 표면 상에서 압축 응력을 의도적으로 유발시킨 부위에서만 그리고 이 표준에서 정의하고 있는 가장 심한 조건(상승된 온도(60 $^{\circ}$ C)와 높은 습도(87%RH)으로 2000시간이 지난 후에야 휘스커가 발생하는 것으로 나타났다. 무은(silver-free) SnCuNiGe 합금의 경우에는 일단 유발된 압축 응력을 완화시키자 휘스커 성장이 멈추었으며, SAC305 표면처리의 경우에는 휘스커 성장이 계속되었는데 이는 아마도 고온 다습한 환경에서 지속적인 부식에 의해서 발생된 응력 때문일 것이다(그림 19).

무연 HASL 솔더링의 문제 해결

무연 HASL 표면처리는 근본적으로 솔더링 성능이 높으므로 만약 어셈블리 시에 솔더링 문제가 발생했다면 진단을 위한 첫 번째 단계는 솔더 페이스트의 작용 저하 등과 같은 다른 가능한 원인을 제거하는 것이다. 무연 HASL 표면처리가 유일하게 가능한 원인으로 판명된다면 문제는 솔더링하려는 모든 부위

에서 완벽한 솔더 커버리지가 달성되지 않은 것이다(그림 20). 이러한 얇은 도금은 그림 9에서 보는 것과 같은 deswetting의 원인이 될 수 있다.

무연 HASL의 비용

주석 함량 그리고 일부 경우에는 은 함량이 높으므로 무연 솔더는 킬로그램 기준으로 주석-납 솔더보다 비싸다. 하지만 모든 비용을 고려한다면 다른 측면에서 절감에 의해서 무연 HASL은 주석-납 HASL보다 비용이 많이 높은 것은 아니다. 그러한 절감을 가능하게 하는 것이 무연 솔더의 낮은 밀도로서 HASL 표면처리의 중요한 요소는 이의 무게보다는 솔더의 체적이라는 점을 고려했을 때 약 12퍼센트의 절약을 가능하게 한다. 또한 평균적으로 도금 두께가 더 얇으므로 처리되는 면적 단위당 필요한 솔더의 양을 현저히 감소시킨다.

요약

- 무연 HASL은 PCB(printed circuit board)를 위해서 특수한 보관을 필요로 하지 않고 긴 기간에 걸쳐서 또한 다중의 무연 리플로우 프로파일 후에 솔더링 성능을 보장하는 부식 방지 표면처리를 제공한다.
- 무연 HASL 표면처리는 도금 두께의 균일성 측면에서 주석-납 HASL 표면처리보다 우수하다.
- 무연 HASL 표면처리의 잠재성을 최대한 달성하기 위해 중요한 품질 요구는 적절하게 웨팅된 구리 표면에 형성되는 금속간 층을 완벽하게 커버하는 도금 두께를 달성하는 것이다.
- 주석-납 솔더의 공용 동작에 되도록 근접하는 무연 솔더를 이용해서 HASL 프로세스로 가장 우수한 결과를 달성할 수 있다.
- 구리 용해를 최소화하도록 조성된 무연 합금은 솔더 배스 조성의 제어를 용이하게 하며 구리 두께가 감소

함으로써 보드 신뢰성이 저하되는 정도를 감소시킨다.

- 금속간 층의 성장을 최소화하기 위해 조성된 무연 합금은 최대의 솔더링 가능 보관 수명을 가능하게 하며 다중 스테이지 솔더링 시에 가장 우수한 최종적 솔더링 성능을 달성한다.
- 수직 HASL 프로세스가 여전히 널리 이용되고 있으나 수평 HASL 프로세스는 매우 균일한 표면처리를 달성하며 이 공정에 대한 수요 증가를 충족하기 위해 요구되는 높은 쓰루풋을 제공한다.

참고문헌

- [1] Bob Willis, “Hot air solder levelling- is it a HASL?”, Global SMT & Packaging, September, 2008, pp4-6
- [2] “Directive on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment” 2002/95/EC
- [3] IPC- private communication
- [4] B Toleno, “PCB surface finish options for lead-free manufacturing” EMS Now February 23, 2005
- [5] R Schueller, “Creep corrosion on lead-free printed circuit boards in high sulphur environments”, Proceedings of SMTA International, 2007
- [6] K. Nogita, T. Ventura, C. M. Gourlay, T. Nishimura and A. K. Dahle, “Solidification characteristics of eutectic Sn-0.7mass%Cu solder with trace Ni”, Proc. of Japan Institute of Metals Annual Meeting, Chiba, Japan, 27th-29th March, (2007) p.301.
- [7] J Fellman, “Lead Free Solder From The HASL Process Lead Free Solder From The HASL Process-The Newest Surface Finish Alternative The Newest Surface Finish Alternative” IPC/JEDEC 8th International Conference, Lead Free Electronic Components and Assemblies, San Jose, CA April 20, 2005