

구조용 철강재료의 마찰교반접합 기술

한국과학기술정보연구원
전문연구위원 유호천
(yoocho278@reseat.re.kr)

1. 서 론

CO₂ 절감 등의 친환경적인 과제에 대응하기 위해 자동차의 경량화를 위한 다방면의 검토가 진행되고 있다. 이를 해결하기 위한 일환으로 인장강도 590N/mm²를 초과하는 고장력강의 적용이 주목되어 왔다. 이러한 고장력강에서는 용융용접에서 용접성 혹은 용접계면의 기계적 성질이 문제가 되어, 용도에 따라 제약을 받는 경우가 있으므로 이를 해결할 수 있는 새로운 용접기술, 즉 마찰교반접합 기술이 요구되고 있다.

최근에 두께 12mm의 강재의 마찰교반접합이 가능하게 되어, 북미에서는 파이프라인에 있어서 구체적으로 실용화가 검토되고 있다. 일례로 매분 1m를 넘는 스테인리스강의 마찰교반접합이 실용화되고 있으며 또한 스폿 마찰교반접합에 있어서도 3500타점의 접합이 가능한 값싼 틀이 소개되고 있어 수요확대에 더욱 박차를 가하고 있다¹⁾. 마찰교반접합은 아크용접이나 레이저용접과 같은 다른 용접방법에 비해서 접합 시에 적은 입열량으로 인하여 금속간화합물의 형성이 작은 것이 특징이므로 이에 대한 장점을 살려 품질의 우수성과 수요확대를 위한 연구 활성화에 더욱 매진해야 할 시기이다.

본 보고서에서는 마찰교반접합에 대한 기본적인 장단점과 철강재료인 탄소강, 고장력강, 초미세립강, 스테인리스강에 대하여 검토하였으며, 아울러 철강재료와 하이브리드에 의한 마찰교반접합 기술을 더욱 활성화시키기 위하여 레이저 하이브리드 마찰교반접합 기술과 입자분산강화에 의한 마찰교반공정을 소개하였다. 특히 구조용 철강재료를 마찰교반접합하는 경우에 고용점 틀에 대한 재질상의 특성과 현황을 제시하였다. 이러한 기술들이 국내 중소기업체에 구조용 철강재료에 대하여 마찰교반접합을 실제로 행하는데 큰 도움이 될 수 있을 것이라고 사료된다.

2. 마찰교반접합의 장단점

마찰교반접합은 고상접합이기 때문에 다음과 같은 장점이 있다²⁾.

- ① 접합부에 결정립의 조대화가 억제되어 강도저하가 작고 회전틀에 의한 교반효과로 인하여 결정립을 미세화하는 것도 가능하고, 모재보다 강도를 향상시키는 경우도 있다.
- ② 변형이 작기 때문에 아크용접(MIG)의 수분의 일 이하이다.
- ③ 이종재료의 접합에 적당하고, 그루브 가공과 접합시의 전처리가 필요없다.

- ④ 접합 중에 폼, 스파터, 자외선 등의 발생이 없고 기공, 균열 등이 발생하기 어렵다.
- ⑤ 알루미늄합금의 접합에는 실드가스가 필요없다. 철강재료의 경우에는 필수는 아니지만 접합표면의 산화를 방지하기 위해서는 실드가스의 사용이 바람직하다.
- ⑥ 원칙적으로 용가재(filler)가 필요없으며, 접합부에서 합금성분의 증발이 거의 없다.
- ⑦ 숙련기술이 필요없다. 단 실제 시공을 위해서는 마찰교반접합 작업자의 인증을 받을 필요가 있다.
- ⑧ 철강재료에서는 고장력강 등 일부 재료를 제외하고 열영향부 연화가 생기기 어렵다.
- ⑨ 철강재료의 경우, A₁점 이하에서의 접합이 가능하고, 강재의 탄소함유량에 관계없이 접합할 수 있다.

마찰교반접합의 단점은 다음과 같다²⁾. 그러나 최근 이에 대한 문제점을 점차로 해결해 나가고 있다.

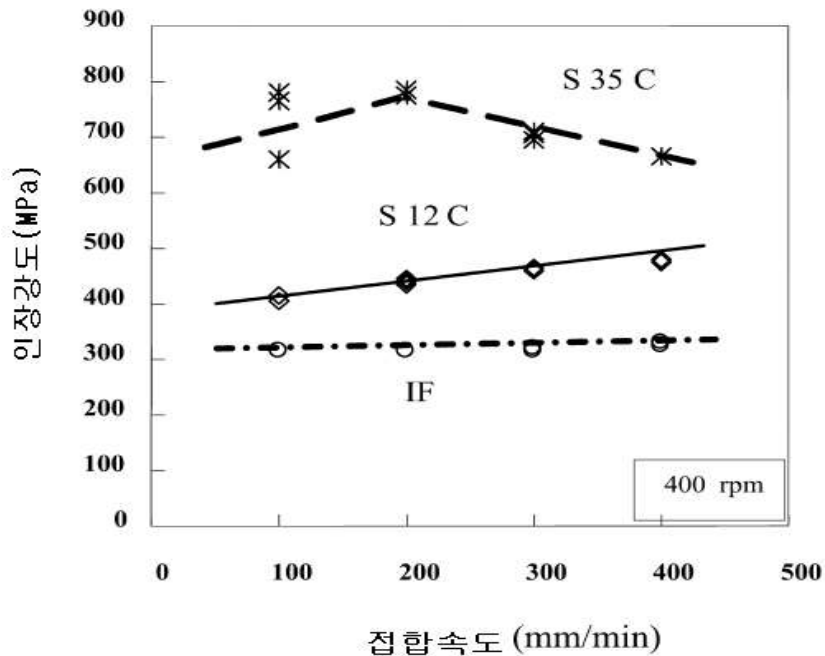
- ① 강성(stiffness)이 있는 구속지그가 필요하다.
- ② 갭(gap)의 허용범위가 좁기 때문에 접합부에 대한 판단착오가 있을 수 있어, 갭에 대한 제어가 필요하다.
- ③ 접합부의 끝부분에 구멍이 남는다.
- ④ 뒷면에 미접합부가 생성하기 쉽다.
- ⑤ 필릿계면 등의 복잡형상의 부재 접합이 곤란하다.
- ⑥ 고용점금속의 재료에 대해서는 톨의 수명 등이 거론되고 있다.

3. 철강재료의 마찰교반접합 기술

3-1. 탄소강

철강재료에서는 A₁변태온도 이하에서 접합이 가능하다. 이 경우 변태를 동반하지 않기 때문에 탄소량에 관계없이 접합이 가능하므로 탄소를 많이 함유한 고강도 고탄소강의 접합을 가능하게 하는 기술로서 마찰교반접합이 주목을 받고 있다²⁾.

IF강(극저탄소강, 20ppm C) 및 탄소량이 각각 0.12%, 0.35%인 S12C와 S35C 탄소강의 교반부의 인장강도의 변화를 <그림 1>에 나타내었다³⁾. 탄소강의 접합에서는 접합속도와 회전속도를 변화시킨 경우, 접합강도는 단순 증가와 단순 감소를 하지 않고 재료에 따라서 복잡한 변화를 나타내었다. 또한 단조롭게 변화하고 있는 S12C의 강도에 관해서도 IF강과 비교해서 강도변화가 크지만, IF강에서는 강도의 속도의존성은 상대적으로 작음을 알 수 있다.



<그림 1> IF강 및 탄소강의 접합속도에 따른 마찰교반접합부의 인장강도³⁾

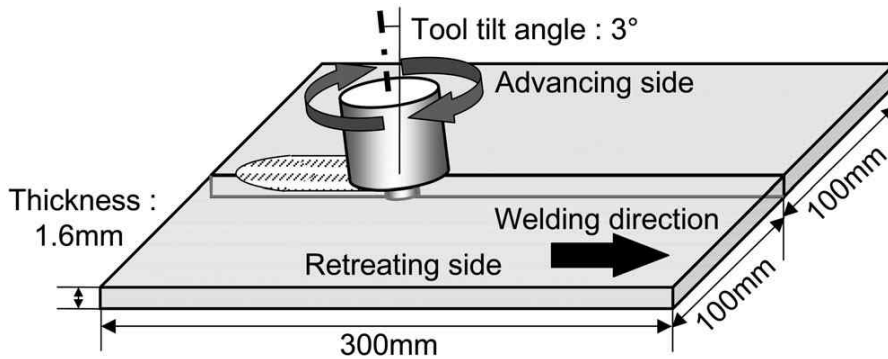
S70C(0.70%C)의 고탄소강은 통상의 용융용접을 행하면 거의 전 면적에 걸쳐 마르텐사이트조직이 생성되기 때문에 계면이 극히 취약하고 접합은 불가능하다. 그러나 마찰교반접합의 접합조건을 변화시켜 적용한 결과, 다음과 같이 접합이 가능하도록 하였다⁴⁾.

- ① 400rpm, 400mm/min의 조건에서는 거의 100%에 가까운 마르텐사이트가 생성되지만, 400rpm, 25mm/min이 조건에서는 펄라이트와 약 16vol.%의 마르텐사이트조직이 되어, 마르텐사이트량을 감소시키는 것이 가능하다.
- ② 400rpm, 25mm/min의 조건에서는 1432Mpa의 인장강도이고 연신율이 11%의 기계적 성질이 얻어졌다. 회전속도를 200rpm으로 감소시킴으로써 냉각속도가 감소되어 전면 펄라이트의 조직도 얻는 것이 가능하고, 이 경우에 연신율이 크게 향상된다.
- ③ 회전속도를 감소시킴으로써 최고도달온도가 감소한다. 200rpm, 400mm/min의 접합 조건에서 최고도달온도는 A₁점(723°C) 이하가 되어, 변태를 동반하지 않는 접합이 가능하다. 이때 얻어진 조직은 매우 미세한 구상 시멘타이트와 페라이트의 혼합조직이며, 강도, 연신율도 같이 겸비한 이상적인 조직이다.
- ④ 400rpm과 600rpm에서 접합하면 최고도달온도가 A₁점을 넘어 매우 단단하고 취약한 조직이 얻어지는 반면에, 200rpm에서는 경도도 모재에 비해서 약간 향상되는 정도의 값으로 억제되고 강도와 연신율도 동시에 확보된다.
- ⑤ 상기와 같은 마찰교반접합법은 탄소량과 관계없이 접합을 행하는 것이 가능하고, 향후의 접합법 및 구조물 설계에 대하여 큰 변화가 올 가능성이 많다. 지금까지 불가능한 온도영역인 700~900°C의 저온에서 접합을 행함으로써 변태를 동반하는

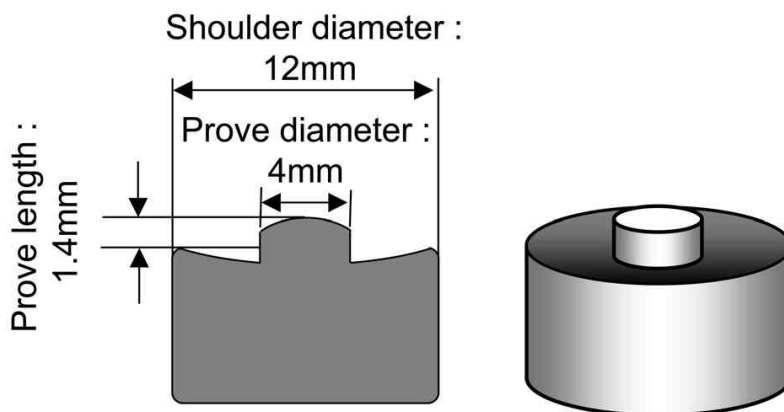
철강재료에 대하여 사용자의 요구에 따라 자유도가 높은 강도설계가 가능하게 되었다.

3-2. 고장력강

Matsushita 등⁵⁾은 고장력 박강판의 마찰교반접합의 적용범위를 설정하기 위해서 인장강도 590~1180N/mm² 범위에서 <그림 2>와 <그림 3>와 같은 형태로 마찰교반한 결과, ① 접합속도가 증가하고 톨 회전속도가 저하하면 회전피치가 상승하게 되는데, 이러한 경우 입열이 저하하고 마찰교반부가 축소되어 접합부 뒷면에 미접합의 결함이 발생하므로 적절한 접합속도와 톨 회전속도의 설정이 중요하다. ② HT1180은 HT780과 비교해서 톨의 회전속도와 접합속도의 관계를 나타내는 적정조건범위가 좁아지는 경향이 있으며, 인장강도 1180N/mm²까지의 강판의 마찰교반접합 시에 양호한 계면이 얻어지는 조건범위가 존재하였다.



<그림 2> 고장력 박강판의 마찰교반접합 모습⁵⁾



<그림 3> 고장력 박강판의 접합 톨의 형태⁵⁾

Matsusida 등⁶⁾은 판두께 1.6mm의 780~1180N/mm²급 고장력강을 사용하여 맞대기 접합을 행한 결과, 적정 접합조건범위를 정립하였는데, 780N/mm²을 초과하는 고장력강에 있

어서 마찰교반접합에 관한 관심이 집중되고 있다. 590N/mm²급 이하의 판재에는 통상의 탄소강과 마찬가지로 접합프로세스에도 큰 문제는 발생하지 않지만 780N/mm²이 넘는 페라이트-마르텐사이트계의 강재에서 마르텐사이트의 양이 많아지면 열영향부 연화의 영향이 생기기 쉽다. 초경합금(WC)으로 된 툴을 사용하고 툴회전속도를 200rpm으로 하여, 입열을 저하시킴으로써 결합이 없고 열영향부 연화가 작은 계면을 얻었다. 980N/mm²급 강재까지는 계면효율이 95% 이상이며 1180N/mm²급에서도 계면효율은 84% 이었다.

Huang 등⁷⁾은 소모식 툴을 사용하여 접합부에 툴의 일부를 남기고 접합시킨 Friction Bit Joining법을 실시하였는데, 980N/mm²급의 강재에 대해서 양호한 계면을 얻었다. 툴은 D2 공구강을 사용하였으며 접합계면에 이것을 잔존시켰다.

3-3. 초미세립강

최근 다양한 방법을 사용하여 결정립을 1 μ m 이하로 미세화하는 것이 가능하게 되어 통상의 재료의 수배의 강도를 가진 재료가 제조될 수 있으나 실제 적용에 문제점이 없어야 한다. 실용화를 고려하면 접합기술은 필수지만, 이와 같은 재료를 종래의 용융용접법으로 접합하면 용접부에 결정립이 조대화하기 때문에 강도가 크게 저하한다는 문제점이 있다. 이에 반해 마찰교반접합은 고상접합법이며, 툴에 의한 교반이 행해지기 때문에 결정의 조대화를 억제할 수 있으므로 적용에 전망이 상당히 밝다.

Fujii 등⁸⁾은 자동차용 강판 등에 사용되는 결정립이 1 μ m 이하인 초미세립 IF강(극저탄소강) 및 탄소강(SM 490)에 대하여 반복 겹치기 접합법 혹은 마르텐사이트법을 이용하여 마찰교반접합성을 검토하였다.

- ① 통상의 IF강의 경우에는 마찰교반접합에 의해 교반부의 결정립경이 2 μ m 정도로 미세화되기 때문에 경도가 모재에 비해서 상승하지만 초미세립재인 경우에는 교반부의 입경은 1.5 μ m 정도로 작지만, 모재(0.65 μ m)와 비교하면 상대적으로 결정립이 크게 되어, 경도가 크게 저하한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 접합 전에 열처리하여 결정립을 2 μ m 정도까지 입성장시켜, 재료 내의 변형에너지를 저하시키면 마찰교반접합 후의 결정립의 크기는 최소가 되어, 강도의 저하를 억제할 수 있다.
- ② 마르텐사이트법은 탄소강의 초미세립화를 이용한 방법이다. 일단 담금질을 행하고 조직을 마르텐사이트화한 후에 압연에 의해 미세화시켜 최종적으로 열처리를 행함으로써 페라이트화하여 입경 약 300nm의 초미세립 탄소강을 제조한다. 얻어진 초미세립재를 여러 가지 접합조건에서 마찰교반접합을 행함으로써 마르텐사이트화하고, 압연에 의한 미세화를 행한 직후에 열처리를 행한다. 열처리 시에는 교반부의 강도(경도)의 변화는 거의 없고 모재부 만이 미세한 페라이트조직으로 변화하여 모재와 접합부의 계면에 최고 강도가 얻어진다.

Hirano 등⁹⁾은 1.6~1.7 μ m의 입경의 미세립강(SM490 상당: 0.14%C)에 대하여 열처리를 실시하지 않고 마찰교반접합을 행하는 것만으로 계면 효율을 88%나 얻을 수 있었다. 탄소강의 경우에는 상변태를 동반하기 때문에 베이나이트와 마르텐사이트 등의 급냉 상이

생성되어, 페라이트 입경이 크게 되어도 교반부의 강도가 모재보다 향상되었다고 볼 수 있다.

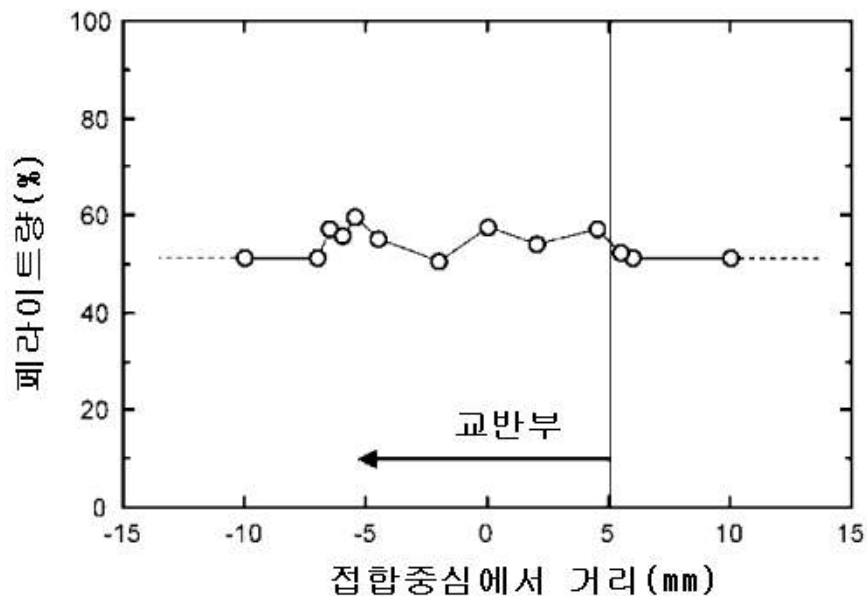
3-4. 스테인리스강

스테인리스강의 마찰교반접합에 최대 과제는 틀의 마모와 내식성의 저하라고 볼 수 있는데, 이러한 과제가 실용화에 큰 걸림돌이 되고 있다.

Park 등¹⁰⁾은 PCBN 틀을 사용하여 304 스테인리스강에 마찰교반접합한 결과, 접합온도가 낮기 때문에 열영향부의 입계부식은 용융용접에 비해서 억제되었지만, 교반부의 전진측(advancing side)에서 용융용접을 초과하는 부식이 생겨, 내식성이 저하하였다. 전진측에는 특이한 밴드조직이 형성되었으며 밴드조직 중의 입계와 입내에 미세한 석출물이 발견되었다. 이 석출물은 내부에 다수의 적층결함을 함유한 시그마상으로 판명되었다.

Sato 등¹¹⁾은 PCBN틀이 아닌 W-Re틀을 사용하여 내식성을 크게 향상시켰다. 예민화 정도는 열영향부와 교반부 전진측에는 용융용접부의 열영향부에 비해서 약 1/3 정도로 억제되었다. 특히 전진측의 값은 PCBN틀을 사용했을 때보다 1/10 이하였다.

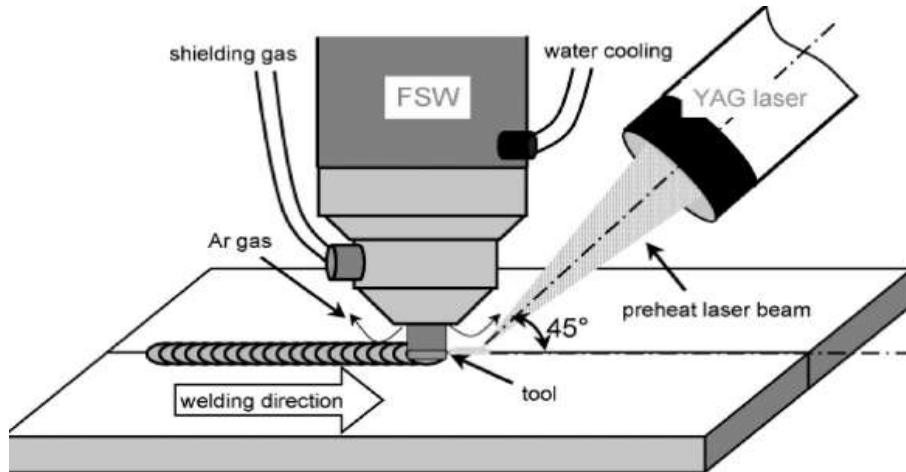
오스테나이트계 스테인리스강과 비교해서 수는 적지만 페라이트계와 2상계 스테인리스강도 모두 양호한 계면을 나타내었다. 페라이트와 오스테나이트의 2상 스테인리스강의 용융용접에서는, 용접금속에서의 페라이트량의 증대가 문제가 되지만, 일례로 <그림 4>에서 보는 바와 같이 SAF2507 2상 스테인리스강 계면의 페라이트량 분포를 살펴본 결과, 마찰교반접합에서는 계면 전체에서 모재와 거의 같은 정도의 균일한 페라이트량이 분포되어 있음을 확인하였다¹²⁾.



<그림 4> SAF2507 2상 스테인리스강 마찰교반접합부의 페라이트량 분포¹²⁾

4. 철강재료의 복합(hybrid) 마찰교반접합 기술

4-1. 레이저 하이브리드 마찰교반접합 기술



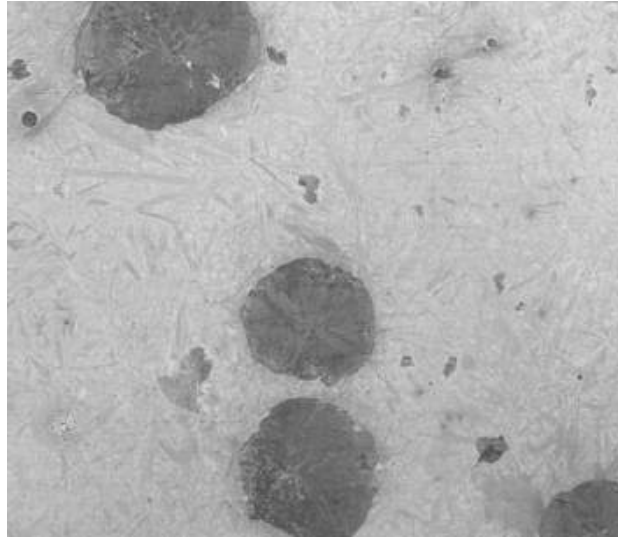
<그림 5> 레이저 하이브리드 마찰교반접합의 개념도¹³⁾

외부열원을 조합함으로써 온도분포를 변화시키는 시도가 있었다. <그림 5>에 나타난 바와 같이, Fujii 등¹³⁾은 FSW와 YAG 레이저를 조합시켜 레이저 하이브리드 마찰교반접합 기술을 확립하였다. 접합속도는 2배에 이르고 톨의 수명도 크게 연장되었다. 또한 철강재료의 접합에 있어서는 전체적으로 접합온도를 저하시킬 수 있기 때문에 변태가 일어나지 않는 접합이 가능하고 이음부 특성이 대폭적으로 향상되었다. 또한 액체 CO₂를 사용한 냉각효과에 대해서도 검토되었는데, 냉각속도가 대폭적인 증가를 달성하였으며, 톨의 수명도 10배 이상으로 연장되었다.

4-2. 입자분산강화에 의한 마찰교반공정(FSP, Friction Stir Processing)

입자분산강화에 의한 마찰교반공정(FSP, Friction Stir Processing)은 원리적으로는 마찰교반접합과 같지만 판재 등의 접합이 아닌 재료의 조직의 개선을 목적으로 행하는 공정이다. 마찰교반공정도 마찰교반접합과 마찬가지로 종전에는 Al합금을 중심으로 취급하였지만 철강재료와 주철에 대해서 FSP를 실시하면 그 효과는 Al합금의 경우와 동등하다⁴⁾. 철강재료와 주철은 일반적으로 1000℃ 부근으로 가열한 상태에서 고속 대변형을 받으면, 동적재결정에 의해 얻어진 오스테나이트립이 미세하게 되지만, 마찰교반공정은 국소가열 공정으로 큰 냉각속도가 얻어지기 때문에 통상의 담금질 프로세스와 비교해서 매우 미세한 마르텐사이트가 형성되어 매우 높은 경도가 얻어진다⁴⁾.

Fujii 등¹⁴⁾은 마찰교반공정으로 편상흑연주철(FC300), 구상흑연주철에 대해서 <그림 6>와 같은 매우 미세한 마르텐사이트조직을 형성시켜 700~900Hv 정도의 경도를 얻을 수 있으므로, 공장기계 등의 주물 구조물에 적용을 실제로 검토하고 있다. 종래의 열처리



<그림 6> 마찰교반공정(입자분산강화)에 의한 구상흑연주철의 미세조직¹⁴⁾

경화법에서는 피경화부분에 변형이 발생하기 때문에 후처리로서 표면가공이 필요하지만 마찰교반공정을 이용하면, 종래 이상의 표면경도가 얻어질 뿐만 아니라 열변형에 동반되는 변형보정의 가공을 할 필요가 없는 등 많은 이점이 있다.

5. 철강재료용 툴의 제조기술



5-1. 철강재료의 마찰교반점접합을 위한 고융점 툴의 개발현황

철강재료의 마찰교반점접합에서는 접합부의 온도가 900℃ 이상이 되는데, 이 경우 공구강으로 된 툴은 사용할 수 없다. 동합금보다 융점이 높은 재료(철강, 티타늄합금)를 고융점재료라고 일컫는데, 이에 맞는 고융점 툴을 사용하여야 한다. Hirano Satoshi¹⁵⁾에 의해 마찰교반점접합을 위한 고융점 툴의 현황을 <표 1>에 나타내었다. 탄소강에 관해서는 1개의 툴로서 접합길이 50m 정도까지 접합가능하다는 것이 확인되었으며 두께 25mm의 티타늄합금의 두께를 1패스로 접합가능하다는 실증도 있다. 최근 고융점재료의 마찰교반점접합용 툴의 재료개발에 어느 정도로 성공을 올리고 있지만, 향후 고성능 고융점재료의 마찰교반점접합기술이 더욱 활발히 연구개발되어 실용화될 것으로 예상된다.

<표 1> 마찰교반접합을 위한 고용점 툴의 현황¹⁵⁾

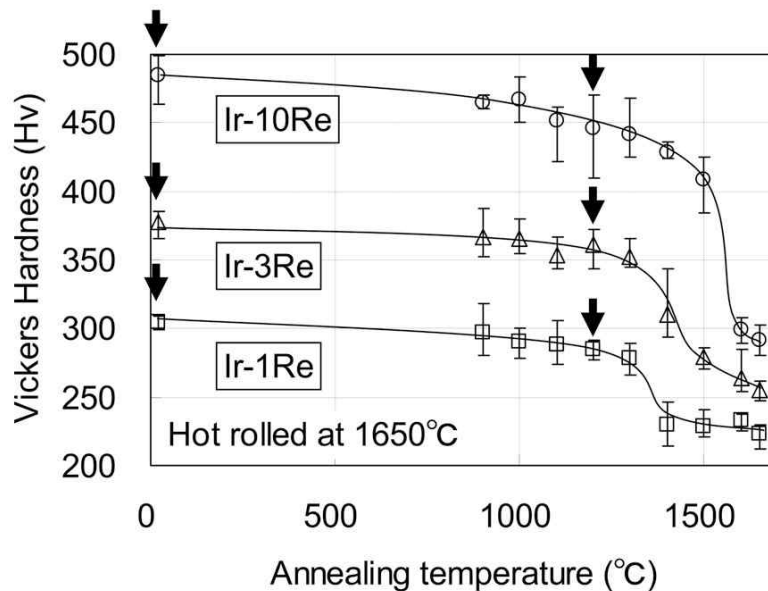
No.	재질	접합시험 개요	
		솔더 직경	접합재, 두께, 접합길이
1	Sialon계	3.6 φ	· 탄소강(SPCC), 0.5t, 접합길이: -(스폿)
2	WC계(초경)	12 φ	· 고장력강(590~1180MPa), 1.6t, 접합길이: 300mm
3	PCBN(다결정 입방정 질화보론)	약 20 φ	· 탄소강(SS330상당), 6t, 접합길이: 45m · STS304L, 6t, 접합길이: 8~30m
4	W-Re합금	40 φ	· 고장력강(80psi), 19t, 접합길이: 불명
5	W-La합금	40 φ	· Ti-6Al-4V, 25t, 접합길이: 600mm
6	Ir합금	불명	· STS304, 1.5t, 접합길이: 2160mm
7	Ni합금/초합금	12 φ	· STS430, 1.5t, 접합길이: 440mm
8	Co기 합금	15 φ	· 탄소강, 2.0t, 접합길이: 45.7mm · 고탄소강, cp-Ti, Ti-6Al-4V, 2.0t, 접합길이: 600mm

5-2. 철강재료용 툴 재질의 특징

마찰교반접합은 용융용접과 달리, 접합부의 온도가 피접합재의 용점에까지 도달하지 않기 때문에 접합부의 강도저하가 작고, 경우에 따라서는 모재보다도 고강도로 되는 우수한 접합방법이다. 그러나 현재까지 실용화되어 있는 구조물은 비교적 용점이 낮은 Al, Mg, Cu 및 이들과의 합금이다. 철강재료 등의 용점이 높은 재질은 적극적으로 연구개발이 추진되고 있지만 실제로 실용화를 활성화하기에는 걸림돌이 되고 있다. 그 원인 중의 하나로서 고온재료를 접합하는 경우에 사용되는 접합 툴은 고온에 의한 강도, 경도, 인성, 내마모성, 비반응성을 갖추지 않으면 안되기 때문이다. 이것을 만족시키는 재질로서 종래부터 W합금, Mo합금, 각종 세라믹 재료, 초경합금 등이 검토되고 있다. 이 중에서도 다결정 입방정 질화보론(PCBN) 등의 세라믹재료가 주로 사용, 연구되고 있다. 그러나 PCBN은 다이아몬드 다음가는 경도를 가지고 있기 때문에 가공이 어려울 뿐만 아니라 고온고압을 필요로 하는 제조공정으로 인하여 대형 잉곳을 제조하기가 어렵고 실용화의 관점에서 어려운 점이 있다¹⁶⁾.

Miyazawa 등¹⁴⁾은 PCBN 툴의 단점을 보완하고자 Ir-Re계 합금에 의해 마찰교반접합용 툴을 제작하여 SUS304 스테인리스강의 접합한 결과, Ir-Re계 합금은 1200℃에서의 압축강도는 Re농도가 상승함에 따라 증가하였으며, SUS304스테인리스강의 상온 인장강도와 같은 수준이었으며, <그림 7>에서 보는 바와 같이 Ir-10at%Re 툴은 1200℃에서 가장 높

은 경도값을 나타내었으며, 사용후 틀외관의 뚜렷한 형상변화는 없었다.



<그림 7> 어닐링 온도에 따른 Ir-Re합금의 비커스경도¹⁶⁾

5-3. 틀의 재질 및 형상

공구강 등의 철강재료를 틀로서 사용할 수 있는 알루미늄합금의 마찰교반접합과 달리, 철강재료의 마찰교반접합 시에 틀 재료는 고온에 견딜 수 있는 높은 강도와 인성, 내마모성, 비반응성 등의 특성이 요구된다. 초기에는 틀재료로서 W합금, Mo합금 등이 사용되었지만, 나중에는 고용점 금속재료 이외에도 다결정입방정 질화보론(PCBN) 틀을 비롯하여 고강도, 장수명인 Ir합금 틀 등으로 개발되어 왔으며 실용화에 큰 진전을 이루었다. 또한 초경합금은 1000°C 이상의 접합에는 적당하지 않지만, 650~850°C 정도까지 온도를 저하시킴으로써 다른 틀과 비교해서 강도와 인성이 뛰어나, 실용화에 전혀 문제가 없으며 장시간 사용할 수 있다. 또한 스폿 마찰교반접합 시에는 Si₃N₄ 틀이 실용화에 유망한 것으로 제시되고 있다¹⁾.

틀의 형상은 철강재료에 특화된 형상의 최적화가 필요하다. 철강재료 등의 고용점금속에 사용되는 틀에 관해서는 고온에서의 강도와 내마모성을 유지하는 세라믹, 초경합금과 고용점금속 등의 틀재료가 필수적이지만, 이러한 재료는 일반적으로 가공이 어렵고 복잡한 형상을 제작하여도 이것이 균열의 기점이 되기 쉽기 때문에 될 수 있는 한 단순한 형상으로 틀을 제작할 필요가 있다. 따라서 주로 교반효율을 추구하는 Al합금의 접합에 사용되는 공구와는 달리, 교반효율 뿐만 아니라 이외에도 단순한 형상으로 틀을 제작한다는 설계지침이 필요하다. 예를 들면 나사가 없는 단순한 원주상 프로브 틀이 되어도 회전속도를 작게 하면, 소성유동하기 어려운 재료에 대해서도 복잡한 형상의 틀과 마찬가지로 접합이 가능하다²⁾.

6. 결 론

2015년에 영국 TWI이 마찰교반접합에 대한 기본특허 유효기간이 만료되는 시점 이후로 모든 금속에 대한 마찰교반접합 기술의 발전이 더욱 활성화되고 있는데, 특히 철강재료에 대한 실용화가 급속히 진전되고 있다. 국내 기업체에서 수요확대를 위한 실용화를 가능하게 하기 위해서는 라인코스트를 싸게 하고, 공정의 성 공간화, 양호한 작업환경 등의 사회적인 분위기를 조성해야 할 것이다. 또한 다른 연한 재료(예, 알루미늄합금, 마그네슘합금)보다 마찰교반접합하기가 대체로 어려운 철강재료에 대한 기술정보 제공이 가장 필요한 시점에 있다고 사료된다.

본 보고서에서는 구조용 철강재료인 탄소강, 고장력강, 초미세립강, 스테인리스강에 대한 마찰교반접합 특성을 기술하였으며, 아울러 철강재료의 최신 복합(하이브리드) 마찰교반접합 기술 중에서 레이저 하이브리드 마찰교반접합 기술과 입자분산강화에 의한 마찰교반 공정을 소개하였으며, 고융점 톨 전반에 대한 재질 상의 특성과 현황을 제시하였다.

특히 철강재료의 마찰교반접합에서는 접합부의 온도가 900℃ 이상이 되므로 이에 맞는 고융점 톨이 적용되어야 하므로 장수명을 보장할 수 있고 대체로 값이 싼 고성능의 고융점 톨을 연구개발하여 실용화 하여야 할 것이다.

향후 본 보고서의 내용이 국내 중소기업체에 구조용 철강재료에 대하여 마찰교반접합을 실제로 실시하는데 큰 도움이 될 수 있을 것이라고 사료된다.

<참고문헌>

1. Fujii Hidetoshi, "Friction Stir Welding of Steels", 溶接學會誌 77(8) (2008) 731-744
2. Kaoru Ohishi and Hidetoshi Fujii "Technical Topics and Automobile Applications of Friction Stir Welding" Materia Japan 53(12) (2014) 603-607
3. H. Fujii, L. Cui, N. Tsuji, M. Maeda, K. Nakata and K. Nogi: Mater. Sci, Eng. A, 429 (2006) 50-57
4. L. Cui, H. Fujii, N. Tsuji and K. Nogi: Scripta Mater., 56 (2007) 637-640
5. Matsushita Muneo et al. "Development of Friction Stir Welding (FSW) of High Strength Steel Sheet" 溶接學會論文集 27(4) (2009) 360-370
6. Matsushida et al. 溶接學會講演概要集 83 (2008) 120-121, 122-123
7. T. Huang et al. 溶接學會講演概要集 82 (2008) 74-75
8. H. Fujii R. Ueji, Y. Takada, H. Kitahara, N. Tsuji, K. Nakata and K. Nogi: Mater. Trans. 47 (2006) 239-242
9. S. Hirano et al., Mater. Sci. Forum, 539-543 (2007) 3727-3732
10. S.H.C. Park, Y.S. Sato, H. Kokawa, K. Okamoto, S. Hirano and M. Inagaki: Scripta Mater. 51 (2004) pp.101

11. Y.S. Sato, M. Muraguchi, H. Kokawa: Friction Stir Welding and Processing IV, Edited by R.S. Mishra, M.W. Mahoney, T. Lienert and K.V. Jata, TMS, (2007) 261-268
12. Y.S. Sato, T.W. Nelson, C.J. Sterling, R.J. Steel and C.O. Pettersson: Sci. Eng. A, 397 (2005) pp.376
13. H. Fujii et al., Material Science Forum 580 (2008) 393-396
14. H. Fujii, Y. Yamaguchi, S. Kiguchi, K. Nogi, Mater. Trans. 49 (2008) 2837-2843
15. Hirano Satoshi, "Recent Trends in Friction Stir Welding Tools for High Temperature Materials" 溶接學會誌 60(4) (2011) 281-283
16. Miyazawa Tomoaki et al. "Development of Ir based tool for friction stir welding of high temperature materials" 溶接學會論文集 28(2) (2010) 203-207



이 분석물은 과학기술정보통신부 과학기술진흥기금, 복권기금의 지원을 받아 작성하였습니다.