

解 說

大韓熔接學會誌
第5卷, 第1號, 1987年3月
Journal of the Korean
Welding Society
Vol. 5 No. 1, Mar., 1987

마찰 용접기의 개발과 적용

천두희* · 이병훈** · 김대훈** · 황선호**

1. 서 론

마찰용접은 접합하려는 재료를 접촉시켜 일정 압력과 동시에 회전 운동을 가하여 접촉면간에 마찰열을 발생시켜 재료가 충분한 온도에 도달될때 회전운동을 급정지하고 최종 압력을 가하여 접합시키는 방법이다.

마찰용접기는 1957년 소련에서 최초로 개발된 이래 30여년 사이에 용접가공의 약 20%를 점유하는 압접방법중 절반 이상을 차지할 정도로 그 이용이 급속히 확대되어 왔다. 그 이유는 아크용접에 비해 필요한 에너지 소비량이 1/4정도이며, 짧은 용접시간(5~60초)으로 인한 높은 생산성이 대량생산 방식에 적합하기 때문이다. 그림 1은 일본의 경우를 예를 들어 설명한 것으로 1963년 마찰용접기의 개발

이래 60년대의 자동차 수출과 더불어 마찰용접기의 생산보급 대수가 지속적인 증가가 있었음을 보여주고 있다.¹⁾

한편, 국내에서는 마찰용접기가 도입된지 약 17년이 경과되었으며 국내 경제규모도 부분적으로 국제적 수준에 이르고 있는 분야가 늘어감에 따라 마찰용접이 적용 가능한 산업분야도 확대되어 가고 있는 추세이다. 국내 마찰용접의 적용 가능성을 일본의 적용예¹⁾에서 찾을 수 있다. 즉 <표 1>에서 보듯이 '83년 현재 총 1050대중 운송기계 부분에서 296대로 약 28%를 차지하고 있으며 유공압 부품, 산업기계 부품, 공구류 등에서 530대로 50% 이상을 점유하고 있다.

국내에서는 지금까지 확인된 자료에 의하면 총 보유대수 20대중 자동차부품 생산에 12대, 연구용 3대,

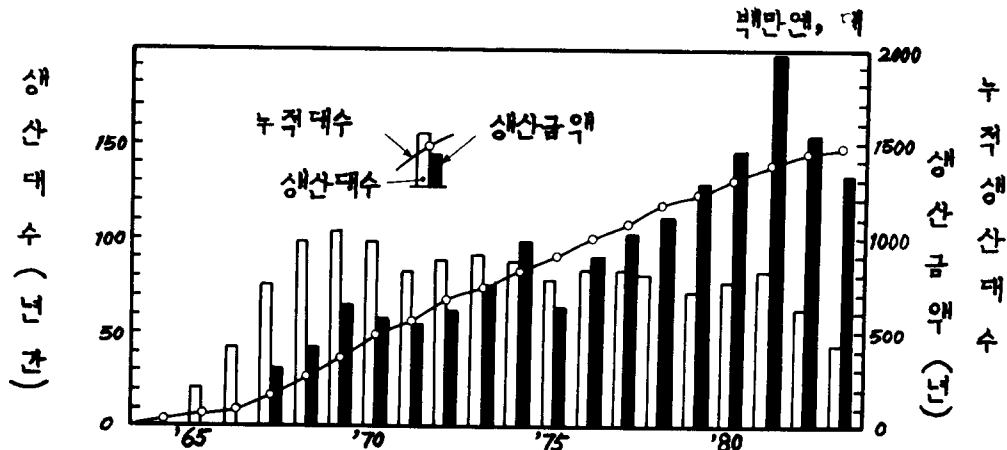


그림 1. 마찰용접기 생산 추세(일본)

* 주식회사 남선기공

** 한국기계연구소, 정희원

<표 1> 마찰압접기 적용 사업장별 분류(일본)

용도구분	품명	대수	소계	용도구분	품명	대회수	소계	
시험연구용		40	40	섬유기계부품	직기 로울러 기타	18 4	22	
자동차 부품	엔진 벨브	34	235	인쇄기계부품	운전기 로울러 일반인쇄기 로울러 기타	8 10 12	30	
	액슬 샤프트	35			농기구 부품	-		35
	체인지 레바	15			사무용기기부품	-		30
	리어 액슬하우징	21		공작기계부품	-		8	
	풀 리	8			유공압 부품	피스톤로드 배관부품 호스 굵구	8 21 15	44
	기타	122			기계 부품	-		107
오토바이부품	엔진크랭크	9	23	작업용 공구	-		165	
	기타	14		철삭공구	-		50	
자전거부품	자전거 허브	30	38	기타	-		184	
	기타	8		건설기계부품	캐터필러롤러 터빈 휠 기타	8 12 19	39	

기타 5대로서 대부분 자동차부품 생산에 투입되고 있으며, 앞으로 부품류 생산에도 적용가능성이 높음을 확인하였다. 그러나 국내 자동차산업은 발전 유망업종이 되고있을 뿐더러 엔화 상승으로 인한 부품의 국산화 대책이 활발히 논의되고 있어서, 국내 산업 발전을 위해서는 마찰용접기의 국산화 및 마찰용접의 기업화 적용에 대한 연구가 시급한 실정이다.

2. 마찰용접의 특징

마찰용접의 원리는 미시적으로 금속내부의 두 원자사이가 평형상태로 되는 것을 말한다. 따라서 두 금속원자를 결합시킬 때는 양쪽 소재의 표면원자가 서로간의 인력으로 잡아당기게 되는 거리 B(그림 2의)의 위치보다도 가깝도록 인위적으로 접촉되어야 한다. 그러나 일반적으로 금속의 경우 Å단위인 B 위치까지 접근시키는데는 막대한 힘이 필요하므로 접근에 필요한 재료의 변형저항을 낮추는 방법으로 고온의 열원을 이용하게 되며 마찰용접에서는 마찰열을 이용하고 있다. 마찰용접 중에 재료의 접촉부에서의 마찰일 E는 다음식으로 표현된다.

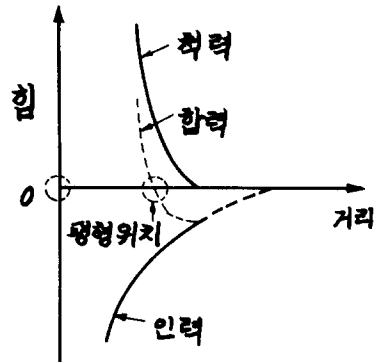


그림 2. 원자사이의 평형거리

$$E = 2\pi^2 I N^2 / 3600 (kg \cdot m)$$

여기서 I는 피구동축계의 관성능률(kg·m·sec²)이고, N은 구동축의 회전수(rpm)이다. 베어링 등에 의한 에너지 손실을 생략하더라도 이 마찰일의 대부분은 접촉면에서 열로 변환되고 그 부분이 충분히 고온에 도달하므로 (약 1250~1300°C) 용접 추력에 의해 완전한 접합이 완료된다.

마찰용접기는 여러가지 방식으로 분류되고 있다.

축 구조형식에 따라 수직형과 수평형으로, 사용 사양에 따라 범용기와 전용기 및 특수형으로 또 특수형은 위상제어식, 2축회전식, 마이크로식, 및 플라스틱용 마찰용접기 등으로 세분하고 있다. 특히 마찰용접 공정의 차이에 따라 브레이크식과 관성식 마찰용접기로 크게 2대별하여 분류하기도 한다.

(1) 브레이크식 마찰용접기 (Continuous drive type)

접합소재중 하나는 회전구동축에 붙어서 일정 속도로 회전시킴과 동시에 축방향 또는 직경방향의 압력이 가해지면 소재간의 마찰에 의해 일정 가열시간 또는 미리 규정된 길이 축소가 일어날때까지 계속된다. 그후 소재 회전을 정지시키고 용접압력을 유지 또는 얼셋까지 증가시키면서 용접이 완료된다.

브레이크식 용접사이클은 그림 3(a)에 나타내었다.

(2) 관성식 마찰용접기(Inertia type)

접합소재중 하나는 플라이휠일에 접속하고 하나는 고정축에 붙어 있다. 플라이휠일은 특정한 속도까지 가속되며 이때 기계적 에너지를 축적하게 된다. 소재가 접근되면서 축방향으로 용접 압력이 가해지면 소재간에 마찰이 일어난다. 이때 플라이휠일의 에너지는 계면에서의 마찰을 통해 소모되며 플라이휠일의 속도는 감소되며 용접부에 열이 발생한다. 용접중에 발생하는 열이 소모되는 열보다 적어지는 속도에 도달하며 그후 회전이 정지된다. 관성식 용접기의 용접사이클은 그림 3(b)에 나타내었으며 회전속도가 시간에 따라 계속 감소하는 경향을 볼 수 있다.

이와같은 마찰용접의 특징을³⁾ 설계및 생산기술의 관점에서 보면 다음과 같이 설명할 수 있다.

(1) 에너지 효율이 높다: 마찰용접은 접촉부에 발생하는 마찰열을 이용하기 때문에 얼셋용접 등의 저항용접에 비해 용접에 필요한 에너지가 1/5~1/10정도로 높다.

(2) 용접 작업능률이 높다; 접합면에서 에너지효율이 높기때문에 소요온도까지 단시간에 도달하고 용접이 완료된다. 또한 소재의 부착 및 탈착이 자동적으로 간단히 이루어지므로 고능률의 용접 작업을 할 수 있다.

(3) 용접제어가 간단하다; 용접조건으로 설정되는 회전수, 마찰압력, 마찰시간, 얼셋압력, 얼셋시간 등이 모두 가장 간단한 기본적 기계량으로서 값을 정확히 재현시킬 수 있으며 정밀도도 높게 제어, 감시할 수 있다. 따라서 생산가공시에 용접의 자동화면에서 대단히 유리하다.

(4) 용접 정밀도가 높다; 동일모재에서 회전수와 마찰압력이 일정하게 설정되면 압축변형 속도는 마찰시간과 얼셋압력에 의해 결정되므로 이들 인자의 규제에 의해 치수 정밀도를 높게 확보할 수 있다. 또한 마찰 및 얼셋시에 길이규제를 사용하면 치수 정밀도를 $\pm 0.1mm$ 까지 더욱 높일 수 있다. 한편, 마찰열은 회전축에 대칭으로 발생하고 가압력은 축방향으로 부가되므로 덧살은 원주방향으로 균등하게 배출된다. 따라서 용접부의 각변형도 거의 발생하지 않는다.

(5) 이종재료의 접합이 용이하다; 마찰용접은 약 80여종 정도의 이종재료간의 접합에 특히 잇점이 있

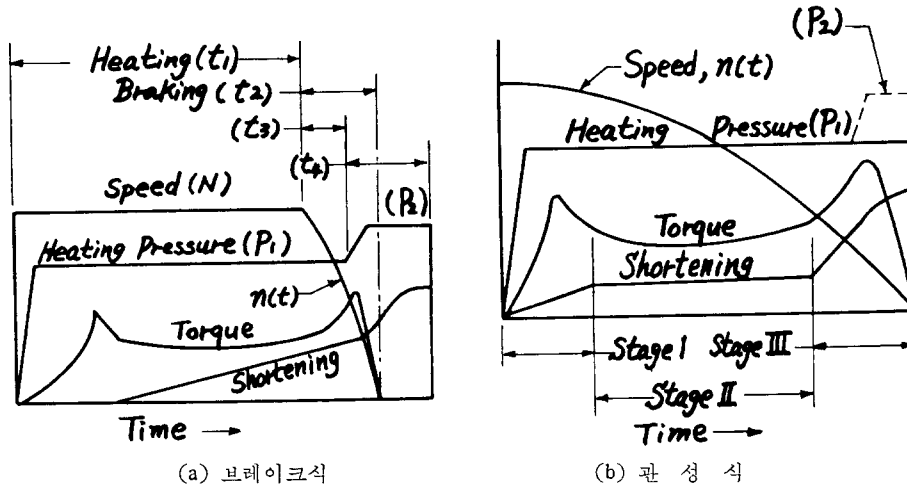


그림 3. 마찰용접의 사이클 특성

다(그림 4). 마찰용접 중에 도달하는 온도의 상한은 모재의 용점 혹은 그 이하이므로 용접에 의해 취약해지기 쉬운 합금 또는 화합물을 형성하는 재료의 조합에서는 마찰용접이 특히 유리하다. 이같은 장점때문에 기능부품의 설계 및 제작에 마찰용접 공정이 많이 채택되고 있다.

(6) 접합부 형상의 자유도가 크다; 마찰용접이 가능한 소재의 형상은 환봉과 환봉, 파이프와 파이프, 파이프와 환봉, 환봉과 관재(혹은 직경이 다른 환봉) 및 파이프와 관재(혹은 직경이 다른 환봉) 등으로 변화시킬수 있다.

(7) 기타; 용접 작업중에 아크나 가스 등이 발생하지 않으므로, 주변의 작업에 방해가 되지 않는다. 따라서 용접기를 다른 공작기계들 사이에 설치할 수 있어서 가공라인에서의 기계배치에 제한을 주지 않는다.

그러나 이와같은 장점에도 불구하고 다음과 같은

단점도 있다.

(8) 모재형상에 제한이 있다; 회전시킬수 없는 모재 혹은 대질량부, 비대칭의 질량부를 갖는 소재는 용접이 곤란하다. 그러나 긴 파이프의 용접을 위한 radial 마찰 용접기나 각종 소재의 용접을 위한 orbit 마찰용접기가 개발⁴⁾되는 등 이런 문제점들을 해결하기 위한 방법이 시도되고 있어서 추후 크게 개선될 것으로 예상된다.

(9) 정위상 용접이 어렵다; 일반 마찰용접기로는 정위상 용접이 곤란하므로 특수 기구를 부착한 용접기가 필요하다.

(10) 용접부의 인성이 낮다; 마찰용접부의 강도는 일반적으로 모재와 동등 혹은 그 이상이지만, 충격치는 낮은 경우가 많다. 이는 열영향부에서의 비틀림, 압축변형에 의해 덧살이 생성되므로 그 배출방향 즉 축에 수직한 방향으로 모재의 섬유조직이 배열되기 때문이다. 충격치가 낮아지는 부분은 압접면을 중심

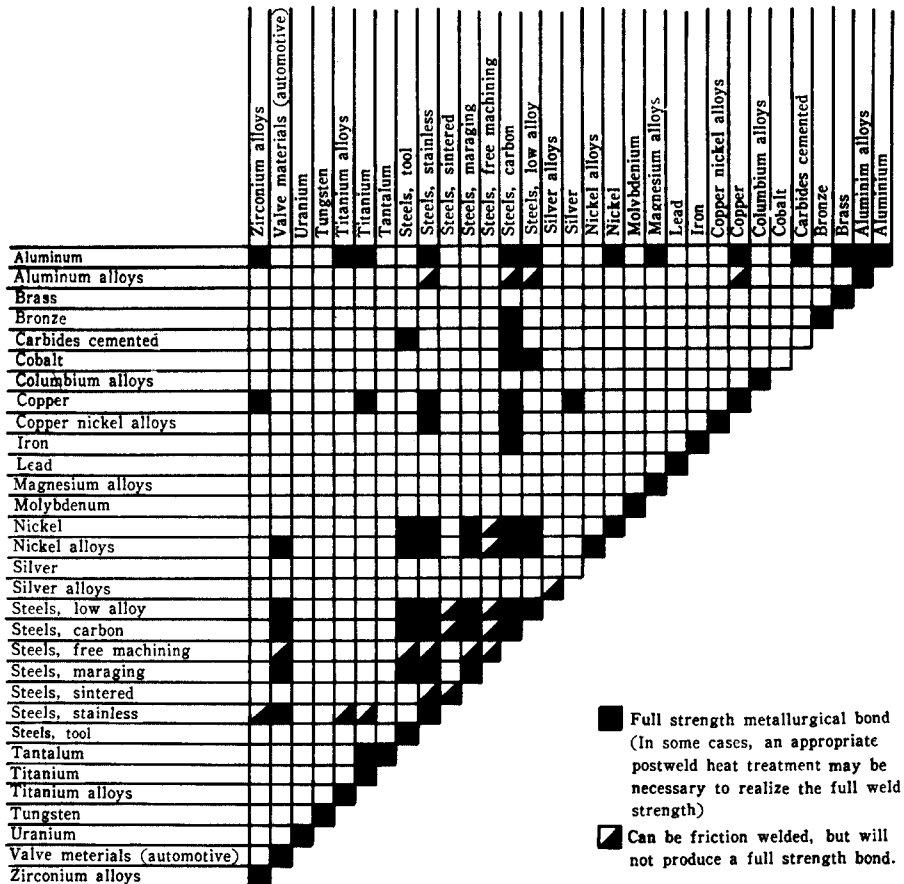


그림 4. 마찰용접이 가능한 동종 및 이종금속

으로 양측 0.5mm범위 정도에 있으므로 부품 설계시에 이점을 고려하여 용접부의 위치 및 치수를 결정하면 크게 문제되지 않는다.

3. 마찰용접 현상

마찰용접중에 발생하는 3가지 주요한 현상은 토크, 온도상승 및 압축변형이며 이는 회전수, 마찰추력, 옆셋추력, 마찰시간 등의 용접인자에 의해 직접적인 영향을 받는다. 이들 3가지 현상이 마찰용접 과정 전반 및 용접기 성능에 미치는 영향을 <표 2>과 같이 정리하였으며, 용접기의 설계에 있어서는 이들 현상과 용접압력의 영향이 항상 고려되고 있다.

<표 2> 3가지 현상에 의한 영향

현상	영향을 받는 항목
마찰 토크	마찰열 발생, 소재압축 변형, 주전 동기 용량, 주축클러치 용량, 브레이크 용량, 척 및 클램프 파악용량, 압접기 강성
마찰면 온도상승	소재측 방향 및 반경방향 온도분포, 소재변형의 난이 재질변화, 국부 용품 확산, 접합난이, 척 및 클램프 가열(열의 흡수체)
압축 변형	소재길이 변화, 덧살발생, 이물배제, 섬유조직 방향 변화 소재측 방향 온도분포(이동열원), 압접기 가압기구의 응답성

2-1. 가압 사이클

용접부의 성질은 회전속도, 가압력 및 소재의 옆셋속도에 의해 좌우된다. 이들 변수중에서 소재의 이송속도를 유압 또는 공압에 의해 조절하는 경우에는 양소재의 접촉면의 이송속도(실린더에 공급되는 유량 혹은 공기량으로 결정), 가압력 및 소재의 변형능력에 의해 결정된다. 따라서 공정중의 가압력의 변화상황, 즉 가압력 사이클의 형상이 용접부의 성질에 영향을 주게된다. 그림 5에 여러 종류의 가압 사이클을 보여주고 있다.

그림 중의 P_1 은 마찰압력, P_2 는 옆셋압력, t_1 은 마찰시간, t_2 는 옆셋시간, t_3 는 상대운동이 명령을 받아서 정지하기까지의 시간이다. 여기서 b, c, e, f는

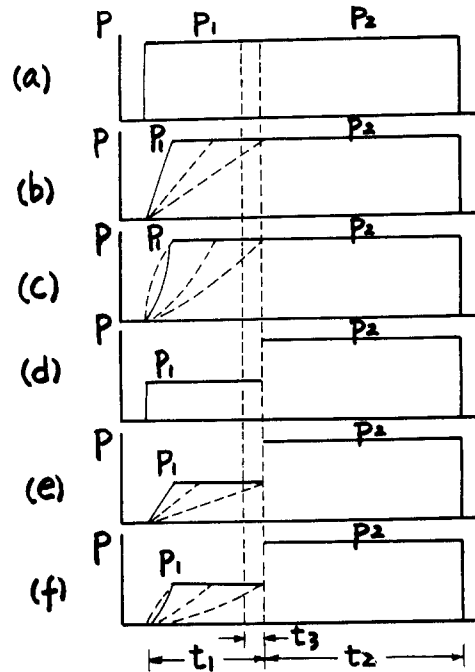


그림 5. 가압력 사이클의 종류

slope제어를 하는 경우로서 마찰공정의 초기에 발생하는 최대 토크를 감소시키는데 유리하다. 특히 d, e, f는 단계적 사이클을 나타낸 것으로서 P_1 보다 큰 P_2 를 옆셋 공정에서 작용시키는 경우이다. P_1 을 크게하면 회전축에 큰 추력을 작용시키는 것이며 베어링 수명의 관점에서 불래도 불리해진다. 따라서 P_1 은 허용한도 내에서 가능한 작게하고 P_2 를 크게하는 단계적 가압사이클을 채용하는 것이 유리하다고 생각 된다. 그림 d~f의 단계적 사이클에서는 상대운동이 완전히 정지함과 동시에 옆셋공정이 시작되는 것을 보여주고 있지만, 실제로는 완전 정지전에 옆셋공정이 시작되는 것이 접합부의 성질을 양호하게 해준다. 이를 볼때 가압력 사이클은 피용접재의 재질에따라 적절한 형이 있으며 이를 프로그램대로 정확히 나타내 주기 위하여 가압력 제어 방법이 중요한 과제가 된다. 사이클 제어방법은 시간과 압력을 설정하던가, 옆셋양과 압력을 설정하여 제어한다. 앞으로는 마찰용접 공정중에 온도 또는 일의 양을 검출하여 그에따라 자동제어하는 방법 등의 출현도 예상된다.

3-2. 토크

마찰공정에서의 토크를 알고 필요한 동력을 구하

는 것은 마찰용접기를 설계하기 위해서는 가장 중요한 것이며, 또한 마찰공정에서의 마찰계수는 마찰면의 접합기구 해석을 위한 기초자료가 된다. 그림 6은 브레이크식 마찰용접기로 탄소강을 마찰용접한 경우의 토크, 압력 및 마찰줄임의 시간에 따른 변화를 나타낸 것이다. 토크는 소재의 접촉, 마찰시작과 함께 단시간에 극대치 T_i (초기토크)에 도달한후 급격히 저하하여 정상치 T_{st} (정상토크)에 접근한다. 그후 회전이 정지될 때까지 다 증대하여 극대치 T_f (최종토크)에 도달한후 영으로 된다. 이러한 토크의 변화는 브레이크식 용접기를 사용하는한 재료의 종류나 형상에 관계치 않고 그다지 변화가 없다. 그러나 이것을 소재재질, 소재면의 형상, 칫수, 회전수, 마찰압력 등으로부터 이론적으로 도출해내는 것은 현재까지 거의 불가능에 가까우며 실제 측정에 의하

상토크에 대한 초기의 소재면 상태는 영향을 미치지 않는다. 회전정지 직전에 발생하는 최종토크는 브레이크의 작동상태에 따라 영향을 받는다. 마찰용접 조건을 일정하게 하고 브레이크 작동상태와 칫의 회전 관성모멘트를 변화시켜 브레이크 시간을 변화시킨 경우의 최종토크 값은 브레이크 시간이 길어질수록 커지며, 경우에 따라서는 최종토크가 초기토크보다 커지게 되는 경우도 있다. 따라서 초기토크 값에 따라 칫과 클램프의 용량을 설계하면 회전정지 직전에 칫 또는 클램프 내에서 소재가 미끄러지든가, 칫 또는 클램프가 손상되는 위험도 있을수 있다.

마찰용접되는 환봉소재(반경R) 마찰면의 토크(T)는 일반적으로 다음식으로 표시된다.

$$T = 2/3\mu RF$$

여기서

$$F = \pi R^2 P$$

이다.

즉, 토크는 소재직경과 마찰추력 및 재료사이의 마찰계수에 비례한다. 이때 소재간의 마찰은 마찰면에 작용하는 수직하중에 비례하며 마찰면적의 대소에는 관계치 않는다는 쿨롱의 마찰법칙이 적용된다. 또한 재료의 조합에서는 응착되기 쉬운 재료사이에서 큰 마찰계수를 나타내며 구리를 제외한 대부분의 금속에서 0.5이하의 값을 갖는다. 따라서 소재의 형상 및 크기에 따라 클램프와 주전동기의 용량을 설정할 필요가 있다.

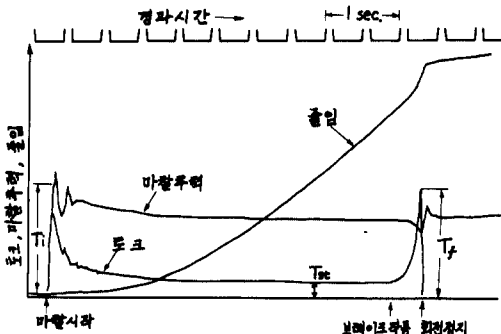


그림 6. 마찰과정에서 추력, 토크, 줄임의 변화

지 않고는 구하기가 곤란하다. 마찰개시 직후에 발생하는 초기토크의 값은 회전수, 마찰압력, 소재면의 형상, 칫수, 소재면의 요철, 산화막 등에 의해 영향을 받는다. 그러나 일반적으로 초기토크는 소재의 직경 및 마찰압력의 증가에 따라, 또 회전수의 저하에 따라 증가한다. 또 고속회전이 될수록 소재 직경, 마찰압력의 영향은 작아지며, 소재면의 절삭된 상태가 얼마된 상태보다 초기토크는 낮아지며, 산화막이 부착된 상태에서는 토크가 감소하는 경향이 있다. 이는 소재의 고유마찰계수와 밀접한 관련이 있기 때문이다. 따라서 초기토크를 적게하기 위해서는 마찰압력을 서서히 증가시키는 slope제어와 소재단면에 대한 테이퍼가공 등에 의해 마찰면 감소를 택하는 방법 등이 있다. 정상토크는 모터에 필요한 최소한의 용량을 결정하는데 필요하며 동시에 마찰면에서의 발열량 계산에도 사용한다. 정상토크도 초기토크와 마찬가지로 소재직경과 마찰압력이 증가할수록, 회전수가 저하될수록 증가한다. 그러나 정

3-3. 온도 상승

마찰면에서의 발열량은 접촉면에서 소모되는 마찰열의 함으로 표시한다. 즉, 마찰면에서의 발열강도(q)는

$$q = 1.027 \times 10^{-3} \cdot \eta \cdot T \cdot N \text{ (kI/sec)}$$

로 나타내며 전과정에서의 발열량 Q는 전과정의 적분에 의해서 구할 수 있다. 여기서 η 는 열변환효율, T는 마찰토크, N는 회전수를 나타낸다. 이때 소재의 압축변형에 의해 발생하는 열은 마찰발열량에 비해 무시될 정도로 작다. 이 발열강도는 브레이크식에서는 감속과정을 제외하고는 토크변화와 동일하다. 그러나 초기토크가 형성되면 전동기의 부하가 변화되고 회전수가 약간 저하되기 때문에 이 부분에서의 극대치도 낮아진다. 정상토크 영역에서는 발열강도는 마찰압력에 따라 증가하고, 마찰압력이 일정할 때는 발열강도가 최대로 되는 회전수가 존재하게 된다. 이같은 마찰발열에 의해 상승되는 온도를 소재면에서 열전대로 측정한다는 것은 마찰면이 소성변

형과 함께 시간에 따라 변하기 때문에 불가능하고, 마찰면 부근에서 측정된 온도를 외삽하여 구하는 것이 편리하다. 탄소강의 마찰용접에서 마찰면의 평균 도달온도는 최고 1390°C로 추정되며 회전수와 마찰 압력이 낮아질수록 최고온도도 저하된다. 즉, 마찰면은 소재의 용접에 도달되지 않는 고상상태가 유지됨을 나타내고 있다.

3-4. 압축변형

소재가 완전한 접합을 이루려면 소재면을 소성변형시켜 밀착시킴과 동시에 소재 처너면의 노출결합을 촉진시켜야 한다. 따라서 소재의 압축변형이 이러한 관점에서 매우 중요하다. 압축변형은 마찰줄임과 옆셋줄임의 2과정의 합으로 생각할 수 있다. 마찰줄임은 소재면 중심부의 재료를 마찰면 밖으로 배출시켜 면을 청정히 하기 위해 필요하다. 마찰줄임은 지속회전일수록, 마찰압력이 높을수록, 소재직경이 작아질수록 동일한 변형량을 얻는데 필요한 시간이 짧아지며, 변형속도도 빨라진다.

감속과정에 있어서는 회전수의 감소에 따라 마찰토크가 증가하고 마찰줄임도 증가한다. 특히 회전정지 직전에 발생하는 최종토크의 급격한 증가시에 압축변형도 급격히 증가하며 가압력을 P1상태로 유지시켜도 옆셋압력 P2를 부가한 것과 동일한 현상을 일으킨다. 한편, 용접중에 마찰면 접촉부는 분리, 결합이 반복되므로 이상태로 회전정지를 시킨다면 불완전한 결합이 형성된다. 따라서 이부분의 완전한 결합을 위해서는 마찰압력보다 높은 옆셋압력이 가해져야 하며 이때 발생하는 소재의 압축변형을 옆셋줄임이라 한다.

4. 마찰용접기의 제어(설계)

먼저, 마찰용접기의 발전과정을 개략적으로 기술한다. 1960년대초부터 본격적으로 마찰용접기가 제작되었다. 초기의 마찰용접기는 주로 수평형, 브레이크식 2단 방식이며 수직형 브레이크식 마찰용접기도 일부 제작되었다. 용접기의 용접능력에 대해서는 기계의 강성이 충분하고 클램프능력이 완전한 것을 전제로하며, 브레이크식에서는 주축모터 용량과 최대 압접추력에 주안을 두고 있다. 수평형 브레이크식 마찰용접기는 60년대초 최대용접 능력 60mmφ를 시작으로 80년대에는 최대능력 200mmφ까지 가능하도록 제작되고 있다. 또한 70년대초에는 주축이 이송되는 형식의 마찰용접기가 개발됨으로써 2개소를 동

시에 용접할수 있는 이중용접기의 제작이 가능하게 되었다. 이시기에는 마찰용접기의 용도가 전용화됨에 따라 덧살 제거장치, 품질보증 장치, 소재 자동 부착 및 탈착 장치 등의 부속장치도 설계되고 있다. 그밖에 70년대 이후 정위상용접기, 중간재 회전식 용접기, 2축회전식 용접기 등이 실용화 되었으며, 5mm이하의 소재 용접을 위한 micro용접기와 열가소성 플라스틱의 접합을 위한 플라스틱 용접기 등의 특수용접기가 제작되어져 사용하고 있다.

국내에서는 1986년에 수평형 마찰용접기가 처음으로 개발, 제작되었으며,⁵⁾ 용접가능한 소재의 치수는 환봉기준 최대 35mmφ의 고정축 이송형으로 시간제어와 길이제어가 가능하도록 되었다.

사진 1에 주식회사 남선기공에서 제작한 NSF30H형의 마찰용접기를 보여주고 있다.

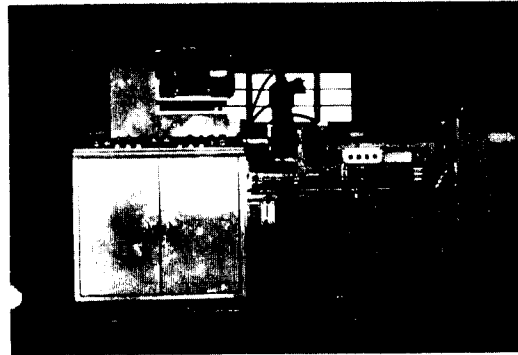


사진 1. 국내 최초의 개발 마찰용접기

현재 세계적으로 보급되어 있는 마찰용접기는 용접공정상으로 볼 때 50% 이상이 브레이크식이므로 본고에서도 브레이크식 용접기의 제어방식에 준하여 설명한다.

마찰용접은 작업자의 특수한 기술과 숙련이 필요치 않다. 즉, P1, P2, t1, t2 및 N의 5가지 요소로 구성된 적정 용접조건을 입력시킴으로서 균일한 고품질의 용접 제품을 얻을 수 있다. 그러나, 외부로부터의 원인에 의해 용접기의 작동에 이상을 초래한 경우에는 불량품 발생의 위험이 있기 때문에 용접조건 의 한도내에서 압력과 회전수를 엄격한 공차로서 제어해야 한다. 따라서 용접기의 제어장치는 운전제어와 용접부 품질보증에 대한 제어기능을 가져야 한다. 또한 변형속도는 도달온도에서 재료의 고온강도에 의해 결정된다. 옆셋 변형량은 회전정지시 각 소재의 고온강도와 부여된 옆셋추력에 의해서 결정되며 일정량 이상의 변형량이 필요하다. 이런 이유에서

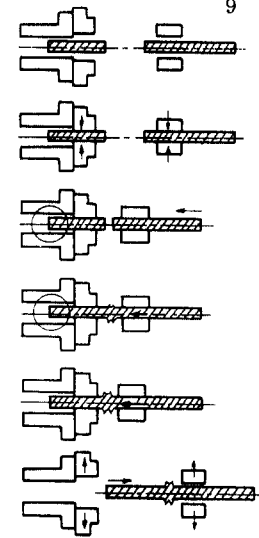
실용화 되고 있는 제어방식에는 시간규제와 변형량을 제어하는 길이 규제의 2가지 방법이 있다. 즉, 시간규제는 마찰발열 공정의 초기에 소재접촉시 부터 열셋가압까지의 시간을 제어하는 방식이며 길이 규제는 소재접촉 시부터 열셋가압까지의 열셋길이가 미리 설정된 일정 치수로 되도록 제어하는 방식이다. 따라서 시간규제에서는 접합면의 상태가 좋지않고 용접후의 길이공차도 그다지 엄격하지 못한 반면에, 길이규제에 의하면 소재의 접합면이 좋고 소재길이도 정밀할 뿐더러 용접부 강도의 신뢰성이 좋아지는 잇점이 있다. 따라서 마찰용접기의 자동운전 작동을 고려하여 용접사이클(압력, 회전수, 시간)의 체크를 위한 감지장치의 부착에 의해 용접품의 신뢰도를 높일 수 있다.

마찰용접기의 용접공정은 그림 7과 같으며, 이 공정의 씨퀀스를 순서대로 정리하면 다음과 같다.

척 체결스위치 ON→클램프 체결스위치 ON→슬라이드 테이블 전진→테이블 급속이송→테이블 저속이송→마찰발열→열셋가압→테이블 급속후퇴→마이트 하강→절삭이송→마찰용접 완료.

위의 공정에서 검토된 검출장치와 제어회로 장치

1. 소재상입
2. 소재파악
3. 회전개시, 급속전진
4. 소재 접촉가압 개시
5. 회전급정지, 가압개시
6. 고정속 후퇴, 용접완료



회전속 정지속

그림 7. 마찰 용접기의 용접 공정

가 그림 8과 같으며 그림에 표시된 번호순으로 각 구성장치가 수동 또는 자동적으로 작동되면서 용접이 진행된다.

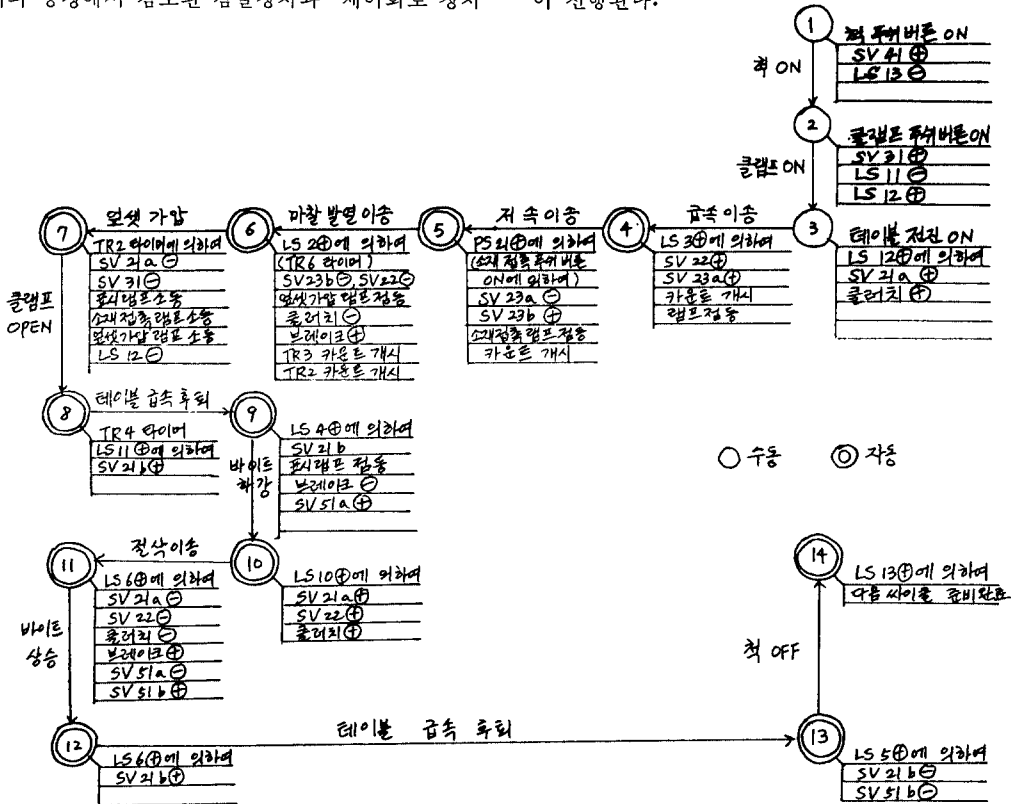
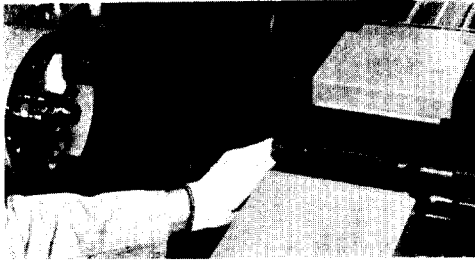
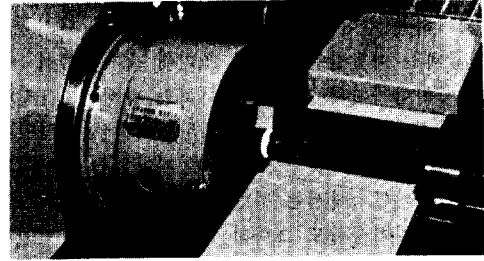


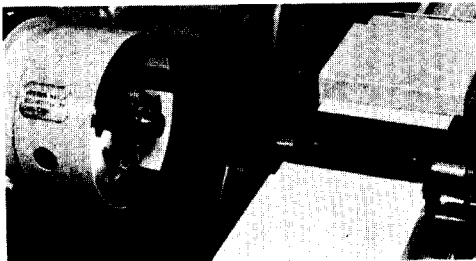
그림 8. 마찰용접기의 제어회로 장치 순서도



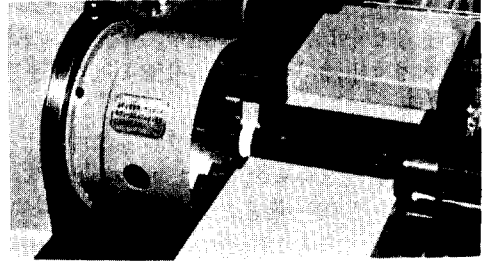
(1) 소재 삽입



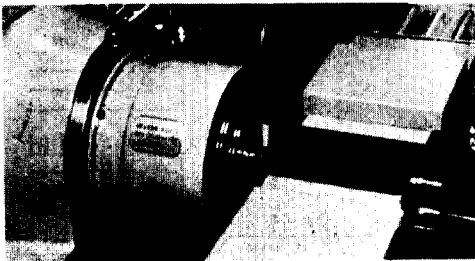
(4) 소재접촉 가열개시



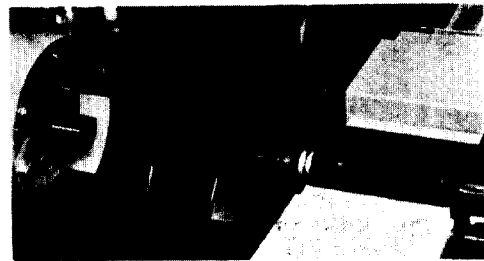
(2) 소재 파악



(5) 회전급 정지, 가압개시



(3) 회전개시, 급속진전



(6) 고정축 후퇴, 용접완료

사진 2. 마찰용접 작업 과정

마찰용접기의 주요구성 부품인 건동기, 척, 클램프, 브레이크 및 용접기 강성 등을 설계할 때는 피용접재가 회전마찰에 의해 용접되는 동안 발생하는 토크의 양과 밀접한 관계가 있다.

예를 들어 주축의 척 또는 클램프의 용량은 피용접재 간에 발생하는 토크의 양보다 큰 힘으로 잡고 있어야 척 및 클램프와 소재사이의 공회전을 방지할 수 있다. 따라서 마찰용접기의 부품을 설계할 때는 재료사이에서 발생하는 토크($2/3 \mu RF$)가 용접사이 클도표에서 나타나는 값 T_i , T_{ii} 및 T_f 로 변환되어 나타나는데 이보다 크게 설계되어지지 않으면 안된다. 결론적으로 그림 8의 마찰용접의 제어장치에 들어가는 척, 클램프, 브레이크의 용량설계에는 건과정의 토크 변화를 고려해야 하며, 모터와 클러치는

최종토크를 제외한 토크변화만을 고려하여 설계하여도 무리가 없다.

사진 2는 그림 7의 용접공정을 보여주는 것으로서 소재의 발열 및 압접 상태를 잘 나타내 주고 있다.

5. 마찰용접의 적용

마찰용접 및 마찰용접기는 자동차부품 공업에 도입과 함께 큰 발전이 이루어졌으며, 그 후 각종 산업기계와 부품공업에까지 확장 적용하게 되었다. 여기서는 주요 부품의 실용화 상황을 소개함으로써 마찰용접의 적용 예를 설명하고자 한다.

5-1. 자동차 관련부품⁶⁾

자동차 공업계에서 최초로 마찰용접이 양산대상으

로 된 것은 중요 보안부품의 하나인 스티어링 샤프트 이었다. 그 이후 20여년에 걸쳐 자동차부품에 대한 마찰용접의 적용은 한때 마찰용접기 사용대수 전체의 반수를 차지하는 위치까지 확대되었지만, 현재는 마찰용접의 적용업종이 광범해짐에 따라 전체의 약 1/3 정도를 차지하고 있다. 자동차부품 제조에 마찰용접을 도입하는 목적은 원가절감과 품질이 우수한 용접부를 얻는데 있으며 종래의 타용접법(예를 들면, flash용접, 아크용접 등)을 마찰용접법으로 전환하고 있는 것이 그 현저한 예이다.

그림 9에 주요 자동차부품의 실용화 상황에 대한 개요를 나타내었다.

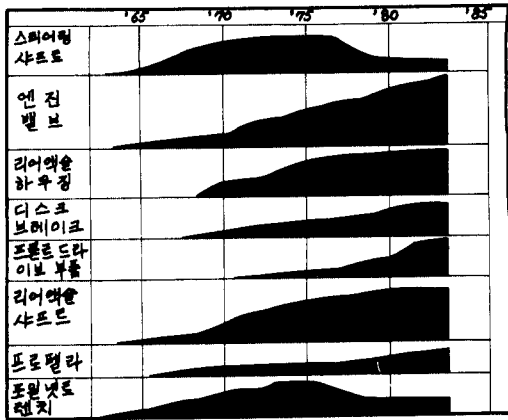
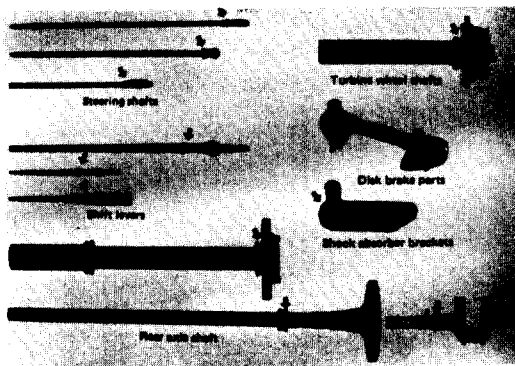


그림 9. 주요 자동차 부품의 실용화 상황

(1) 스티어링 샤프트

스티어링 샤프트는 warm부와 shaft부로 구성되어 있으며 각각의 가공을 완료한 후에 최종공정으로서 용접을 하고 있다.



종래는 flash 용접을 하였지만 용접부 품질 및 칫수 정밀도를 개선할 필요성과 특히 중요 보안부품으로서 강도보장을 요구하고 있기 때문에 마찰용접을 도입하였으며, 따라서 warm부의 SCM420강과 shaft부의 STK 34강의 접합이 가능하게 되었다. 또한 불량률도 종래 용접법에 비하여 약 1/10 이하로 되었다.

(2) 엔진 밸브

엔진밸브는 flash 용접에 의한 강도, 칫수 정밀도, 제조원가, 설비 자동화에 대한 개선의 필요성때문에 마찰용접이 도입되었고, 용접기 내에서 덧살까지 제거되는 잇점이 있어서 마찰용접의 적용에 매우 유리하다. 밸브 재료의 자루측은 SUH 3가 많고 산측은 SUH 31, 21-4N, CRK 22 등으로서 소중 다량생산이 그 특징이다. 제작공정으로서 산을 단조하여 찍어낸 후 마찰용접에 의한 최양산제품으로 알려져 있다.

(3) 리어 액셀 하우징

튜브형태의 리어 액셀 하우징은 튜브부(STKMP 45)와 하우징 본체부(SAPH 45) 또는 엔드부와 용접할 필요가 있다. 종래는 CO₂ 아크용접을 하였으나 용접부 강도, 칫수 등의 품질과 제조단가에 대한 개선

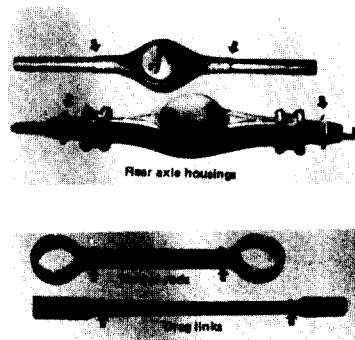
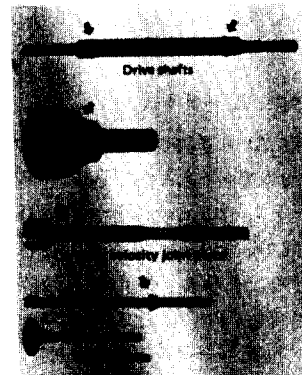


사진 3. 마찰용접된 자동차 부품

의 필요성 때문에 마찰용접이 도입되어서 강도향상과 원가를 절감할 수 있게 되었다.

(4) 프론트 드라이브 부품

최근 건물 구동형 차가 증가하고 관련부품의 마찰용접도 증가하고 있다. 즉, 드라이브 샤프트에서는 중앙의 파이프재료(STKM 14B)의 양단에 stub라 불리는 샤프트(S43C)를 마찰용접하는 것으로서 2개소의 용접이 필요하므로 양두형 마찰용접기를 사용하면 제조공정이 간단하다.

이상 검토한 자동차공업의 용접부품을 사진 3에 나타내었다.

5-2. 산업기계 부품

자동차를 제외한 산업기계 부품에서는 자동차에 비해서 수량은 적지만 종류는 다양하며, 재료의 조합범위도 넓고 치수도 꽤 큰 것까지 마찰용접 대상이 되고 있다. 또한 요구되는 품질과 기능적 중요성도 매우 다양하다. 이 분야에서 새로운 가공방법으로서의 마찰용접의 도입 목적은 주로 원가절감에 있으며, 종래에 가공법으로 하면 품질에 문제가 많기 때문에 도입의욕도 적극적인 것으로 보인다. 이하에 대표적인 부품에 대해서 설명한다. 7)

(1) 알미늄 가이드 로울러

guide roller에는 Al 제품과 철제품이 있는데 용도에 따라서 그 제작방법이 다르다. 특히 Al 제품은 고급품이며 인체기 등의 용도로서 가벼워야 하므로 Al 파이프를 사용하지만, 베어링에서 지지하는 부분은 철을 이용하고 있다. 종래의 용접 방법이나 접착제를 사용해도 품질에는 문제가 없으나 단가가 높기 때문에 마찰용접법을 도입했는데 Al 파이프와 탄소강 환봉을 마찰용접하고 시험한 결과, Al 모재 강도와

동등한 강도가 얻어질 수 있었다. 현재 인체기는 고속화되고, 다색화 등의 필요에 의해 1대의 인체기에 100개 이상의 roller를 사용하고 있으며 roller의 정밀도도 높게 요구되므로 전원주에 균등히 용접되는 마찰용접법의 적용이 매우 바람직하다.

(2) 건설기계용 피스톤 로드

종래는 단조에 의해 일체의 소재로 가공하거나 두부(S35C)를 단조한 후 기계가공을 하고 축부(S45C) 끝도 가공하여 CO₂ 아크용접으로 접합시켰다. 제조 방법은 생산수량 및 설비기재 등의 형편에 따라 제조사마다의 최적 가공법으로 작업하고 있다.

마찰용접에서는 두부를 단조하고, 축부는 도금 전까지의 기계가공을 완료한 후 접합한다. 따라서 종래 방법과 비교하여 기계 가공량이 대폭 생략되고, 아크용접에서와 같은 예열처리를 생략하여도 품질이 안정되는 잇점이 있다. 또한 축부에 마찰용접 하기 전에 경질 Cr을 도금하고 도금부를 손상시키지 않는 클램프법을 개발하여 마찰용접기로 절삭가공까지 완료할 수 있다. 사진 4는 마찰용접한 각종 산업기계 부품의 형상을 나타낸 것이다.

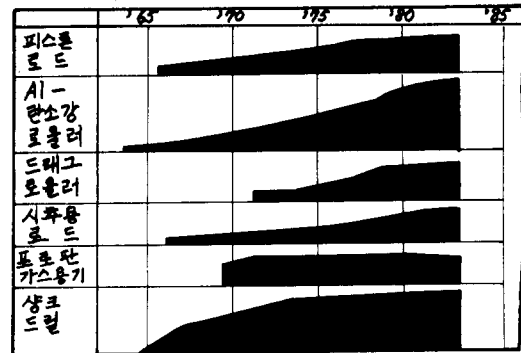


그림 10.

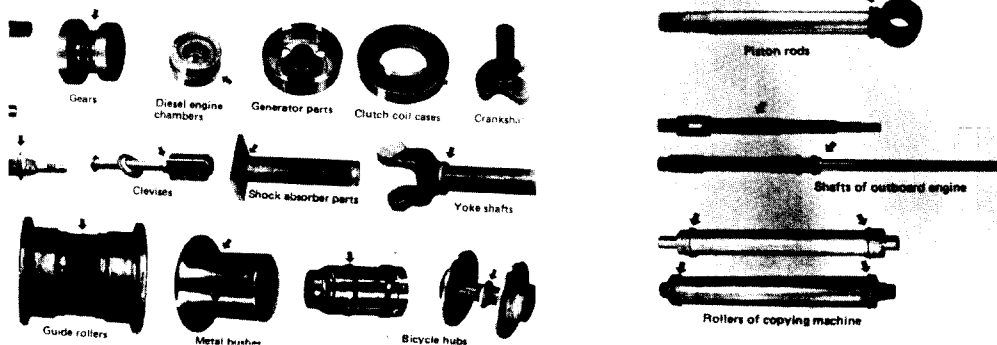


사진 4. 마찰용접 되는 산업기계 부품

위에 소개한 부품은 대표적인 예에 불과하며, 산업기계 부품은 자동차 부품과 비교하여 종류가 많고 수량이 적기 때문에 냉간단조 등으로 전환되는 경우도 적지 않다. 현재 산업기계 부품에 마찰용접이 도입, 사용되는 경향을 그림 10에 나타내었다.

5-3. 단일부품 및 위탁가공⁸⁾

현재 마찰용접법은 자동차부품, 산업기계부품, 원자력 부품 등의 모든 산업분야에 적용되고 있지만, 개발당시의 마찰용접기는 단순하였으나 최근에는 NC 화되고 품질관리 및 용접조건 관리 등이 자동적으로 수행되는 용접기도 많이 나타났다. 기계와 함께 용접기술도 발전하여서 단일부품의 원가가 대폭 절감되거나 자원 절약에도 큰 효과를 발휘하고 있다.

위탁가공은 마찰용접법의 개발로부터 시작된 것으로서 양산화의 전단계로 생각되어 진다.

일반적으로 마찰용접법은 자동차 부품 등 생산개수가 많은 부품에 대해서는 용접기를 직접 설치하여 생산라인의 일부 공정으로 채용하고 있지만, 수량이 적고 설치 및 기계상작을 할 수 없는 경우에는 위탁가공에 의해 생산하고 있다. 위탁가공에는 통상 다종소량생산이 요구되기 때문에 설비기계는 소형에서부터 대형용접기까지 준비하는 것이 필요하다. 또한 위탁가공에서는 부품의 종류가 많기 때문에 전용기의 활용은 불가능하고 치구 등의 제작에 의해 개별적으로도 대응할 필요가 있다.

그림 11은 위탁가공으로 생산되는 주요한 부품의 생산추세를 보여주고 있다.

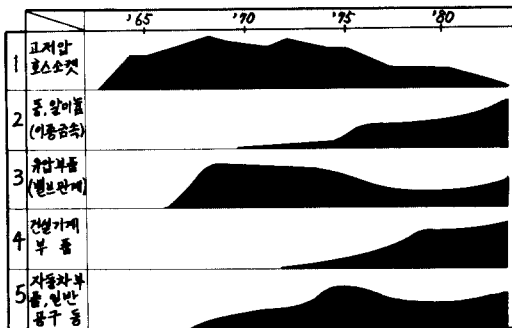


그림 11. 위탁가공에 의한 주요 부품 생산 상황

이를 보면 가장 오래 전부터 시작된 호스의 소켓 등은 최근에는 새로운 제법으로 전환되고 있으며, 이중급속 즉 동과 알미늄, 스팀레스강과 알미늄의 용접이 급속히 늘고 있다. 그 밖에 유압관련 부품에서는 대형부품은 늘어나고 소형부품은 감소하는 반

면, 건설기계 부품 및 자동차부품의 종류도 서서히 증가하고 있다.

(1) 고압호스 소켓

산업기계, 건설기계 등에 광범하게 쓰이는 유압용 고무호스의 소켓은 종래는 절삭가공으로 제작하였기 때문에 재료소모가 많고 절삭시간도 길었으나, 마찰용접법으로 전환된 후 원가가 대폭 절감되고 자원절약에도 성공한 예에 속한다. 그러나 그 후 용접용 소재값의 상승과 냉간단조 가공법의 발전에 따라 가격이 낮은 냉간단조 소켓으로 일부 전환되고 있으며, 앞으로는 소형로드 등이 위탁생산 될 것으로 예상된다.

(2) 완성품 마찰용접

최근의 위탁가공에서는 절삭가공→퀀칭→연삭→도금 등 모든 공정을 완료한 후 마찰용접이 최종 공정으로 되는 완성품 용접이 증가하고 있다. yoke 조립의 경우를 예를 들면 yoke부는 S20C강으로 절삭가공을 완료하고 Shaft부는 S40C강으로 고주파 소입후 연삭한 다음 마찰용접하면 용접부위가 눌러 들어가기 때문에 덧살 제거가 필요없게 된다.

(3) 내부가공한 밸브류 마찰용접

플랜지형 고압용 스톱밸브 등은 내부가공 완료후 용접하는 대표적 부품이다. 그 특징은 마찰용접법에서는 종래의 단조 또는 주조재에 비해서 금형이 불필요하고 구성부품의 가공이 용이하므로 단시간에 완성할 수 있는 잇점이 있다. 그밖에 건설기계 등에 사용되는 실린더도 이 범주에 속하고 있다. 즉 파이프와 단조품의 블록을 마찰용접으로 일체화시킨다. 또 소형 유량 밸브 스톱(SCM 21 동종)도 마찰용접에 의해 품질이 안정한 제품이 얻어지고, 마찰용접 후 생기는 덧살을 이용하여 중앙에 차단벽을 만드는 교묘한 잇점이 있다.

(4) 정밀기어의 마찰용접

특히 기어부분에 근접하여 큰 플랜지부가 있는 기어의 연삭가공이 불가능하고 정밀도가 얻어지지 않기 때문에 플랜지부분과 기어부분으로 이분할하고 마찰용접으로 일체화한 후 사상 가공하는 것으로 제품을 완성할 수 있다.

(5) 동과 알미늄 마찰용접

동과 알미늄의 마찰용접법은 전기관련 부품으로 많이 쓰이고 있다. 고전압용의 접속소켓은 동 또는 알미늄 전선이 접속단자로서 사용되고 있으며 송전

관계로 주로 이용되고 있기 때문에 사고발생이 허용되지 않는 중요 부품이다. 마찰용접법은 동과 알루미늄의 접합에 최적 방법으로 적용범위도 확대해 가는 경향이 있으며, 특히 용접시간이 단시간이기 때문에 재질관리, 용접기 관리 및 압접조건 관리가 보다 중요하다.

(6) 기어 blank의 마찰용접

최근 자동차의 경량화 추세때문에 종래부터 단조에 의해 제작된 기어 blank도 경량화의 필요성에 의해서 단조품을 이분할하고 단조공정의 불필요한 부분을 최소한으로 하여 용접하면 재료비 절감과 금형수명 연장을 통해 전체적으로 제조원가를 크게 절감시킬 수 있다.

(7) 공구류의 마찰용접

일반공구는 다종 용접제품의 대표적인 부품으로

스패너, 소켓렌치 등이 마찰용접으로 대량생산, 시판되고 있다. 또한 절삭공구에도 드릴, 리마 등 마찰용접의 활용에 의한 생산품목이 많다. 절삭공구의 병부에 탄소강(S55C) 또는 저합금강을 사용하는 것은 재료비를 절약하려는 이유보다는 병부에 풍부한 연성을 부여할 필요성 때문이다. 종래의 flash 용접 방법과 비교해서 가공정밀도도 높고 덧살의 제거가 공히 용이하기 때문에 품질 및 생산성이 향상되고 가격이 비싼 고속도강(SKH9)의 재료소모가 적어지므로 원가절감 효과도 매우 크다. 절삭공구의 위탁가공은 비교적 전문메이커에서 수행하고 있으며 앞으로는 직경이 큰 공구류 등으로 그 적용이 확대될리라고 본다.

사진 5에 위탁가공 방식에 의해 생산되는 부품의 마찰용접부를 보여주고 있다.

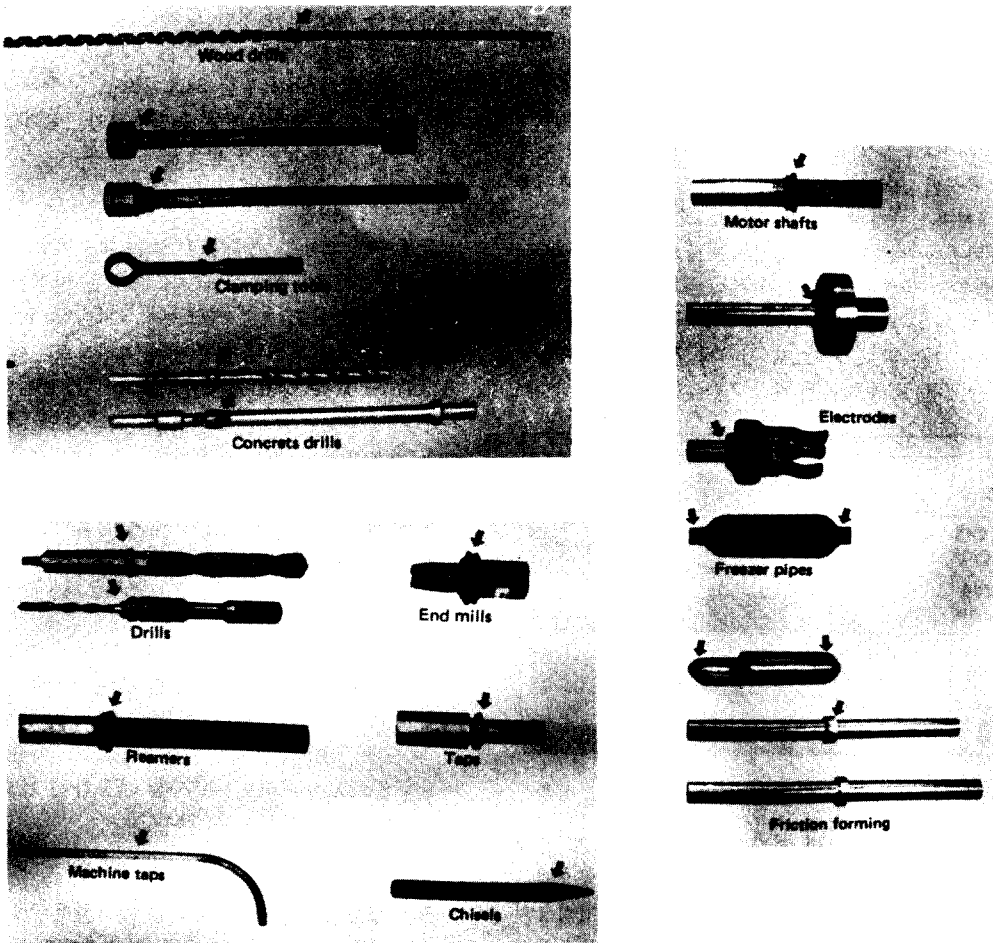


사진 5. 위탁가공되는 마찰용접 부품

6. 결 론

이상 마찰용접법의 특징과 현상, 용접기의 제어 및 생산가공 기술로서의 응용 등에 대하여 개요적으로 기술하였다. 특히 마찰용접은 그 특징에 의하여 이종재료의 용접에 큰 활용이 기대되고 있으며, 이경소재의 용접에도 생산가공상 큰 의의를 갖고 있다. 현재 국내에서는 마찰용접기의 보급 및 마찰용접 기술의 생산가공 분야에의 적용실적이 미미한 상태에 있다. 그러나, 앞으로 자동차산업의 발전가능성 및 산업기계 부품의 고성능 지향 추세로 인하여, 이들을 선두로한 마찰용접 기술의 이용이 대폭 증가하리라고 예상되며 기업에서도 적극적인 활용에 대한 검토가 이루어져야 할 것이다. 마찰용접 방법은 앞으로 금속가공 분야에서 더욱 보급되고 주조, 소성가

공 또는 분말야금 등의 가공법과의 협조적인 활용을 통해서 부품의 설계 및 생산합리화에 크게 기여할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- 1) 摩擦壓接協會 發行. 摩擦壓接 20年誌, 1984.
- 2) 摩擦壓接研究會編. 摩擦壓接, 1979, p. 89.
- 3) 蓮井 淳. 日本 溶接學會誌 54卷 4號, 1985.
- 4) J.C. Searler, Weld Met. Feb. 1971, 8.
- 5) 황선효·김대훈 외12인, 수평형 자동 마찰용접기 국산화 개발보고서, 1986.
- 6) 深谷茂生. 摩擦壓接協會 20年誌, 1984.7.
- 7) 岡村勃. 摩擦壓接協會 20年誌, 1984.7.
- 8) 奥山和己, 摩擦壓接協會 20年誌, 1984.7.