

나일론 실린더와 강축의 열박음과 유도가열에 의한 접합의 연구

최신진 *, 강석춘#

Adhesion between the Nylon Cylinder and Steel Shaft by Expansion Fit and Induction Heating

Sin-Jin Choi* and Suk-Choon Kang#

ABSTRACT

The lubricant impregnated MC nylon has good frictional properties, but its mechanical strength is inferior to steel for the mechanical elements. For the tribological application Nylon as gears, sliding bearings, cam and etc, the steel shafts are fitted in pre-heated nylon cylinder by a process of interference expansion fit and bonded by induction heating method. The joint shear strength of the two materials was measured by a universal test machine. From the study, the adhesive shear strength between these two materials was affected by the factors of the interference between nylon and steel, the size of nylon cylinder, knurl of steel shaft and inducing heating conditions. The most effective jointing conditions were analyzed and decided for the practical application in the industry.

Key Words : MC Nylon(monomer casting 나일론), Induction Heating(유도가열), Tribological Application(마찰 응용), Expansion Fit(열박음), Knurling(널링), Shear Strength(전단강도), Oil(오일)

1. 서론

현대 산업은 국제화, 세계화에 따라 성능향상과 비용 저감을 고려한 보다 우수한 기계의 제작이나 제품의 생산에 더 많은 관심을 가지게 되었다. 따라서 각종 기계요소에 대하여 가능한 신소재를 활용한 성능 개선을 위한 연구가 꾸준히 진행되고 있다¹⁻⁴.

특히, 고분자 화합물을 개발 및 응용하려는 연구의 한 분야로써 나일론에 윤활제를 함침하여 내마찰, 내마모성을 상당히 향상시킨바 있으나, 나일

론은 기계적 강도가 금속보다 낮아 높은 응력을 받는 경우에서 기계요소로 사용하기 위하여 금속 특히 강과 접합하여 사용하려는 연구가 추진되고 있다⁵⁻⁸. 본 연구에서는 기어나 미끄럼베어링 등에서 마찰 부분은 엔지니어링 플라스틱으로서 결정성이 크기 때문에 절삭가공이 가능하고 내마모성이 크며 마찰계수가 작으면서도 내열성이 우수한 MC 나일론(단량체를 주조방식으로 합성한 결정성 나일론)으로 제작하고, 높은 응력을 받는 허브나 보스 등의 부분은 강(steel)으로 만들기 위하여 나일론과 강을 접착시켰다. 접착은 먼저 강축의 표면이 평활한

접수일: 2004년 8월 4일; 게재승인일: 2004년 11월 19일

* 수원대학교 기계공학과 대학원

교신저자: 수원대학교 기계공학과

E-mail sckang@suwon.ac.kr Tel. (031) 220-2260

경우와 롤렛가공한 경우, 나일론 실린더의 열팽창에 의한 열박음(억지끼워맞춤), 유도가열에 의한 나일론의 용착접합가공 등의 기계적, 전기적 접합에 관한 연구를 수행하였다.

먼저 MC나일론으로 실린더를 만들고, 다양한 쥘새를 갖는 강축과 열박음을 하였으며, 쥘새 크기에 따른 이론적 접합응력과 실제적 접합 접착강도를 측정하였다. 다음에는 강과 나일론을 열박음 한 후에 고주파 유도가열기를 사용하여 유도가열 접합하였고 마지막으로 널(knurling) 가공한 강축을 사용하여 같은 절차로 접합하고 이들의 접착강도를 각각 측정 및 분석을 하였다.

일련의 접착강도 시험을 통하여 쥘새의 크기, 유도가열 조건 즉 전압, 전류 및 주파수의 범위 및 롤렛(knurl)크기 등에서 최적 접합조건들을 선정함으로써 기존 가공방법보다 기술적, 경제적으로 우수한 기계요소의 제품생산을 목표로 연구하였다.

2. 이론과 시험장치 및 시험

2.1 억지끼움 이론 압입력

나일론 실린더와 강으로 만든 축을 열박음에 의한 억지 끼워 맞춤(interference fits)을 하려면 쥘새를 갖도록 가공한 실린더를 강축의 지름과 거의 같은 크기가 되도록 가열하여 나일론의 내경이 팽창된 상태에서 신속하게 축을 끼워 넣는 팽창 끼워 맞춤을 한다.

Fig. 1에서와 같이 억지 끼워 맞춤에서 간섭치수 쥘새(축의 직경-구멍의 직경 : Δr)가 크면 열박음 후에 실린더의 수축에 의하여 압입응력이 발생한다. 이때 압입응력의 크기는 실린더와 축과의 접합력을 발생시키고 상대운동에 저항력으로 작용한다.

외부반경이 r_0 인 실린더와 내부반경이 r_i 인 중공축의 끼워 맞춤에서 축의 반경이 r 이고, 반경방향의 간섭량 즉 쥘새가 Δr 이라 하면 실린더와 축간의 간섭으로 인하여 발생하는 응력(stress) p 는 식 (1)과 같이 계산된다⁹⁻¹⁰.

$$p = \Delta r / [r/E_i \{ (r^2 + r_i^2) / ((r^2 - r_i^2) + \nu_i) \} + r/E_o \{ (r^2 + r_0^2) / ((r^2 - r_0^2) + \nu_o) \}] \quad (1)$$

여기서 ν 는 재료의 포아송 비
 E 는 재료의 탄성계수 임.

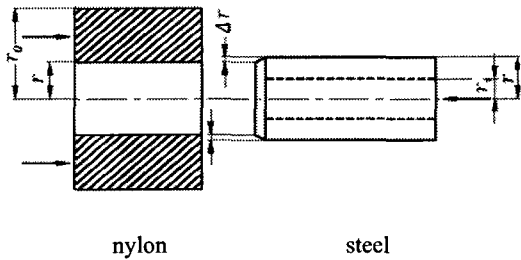


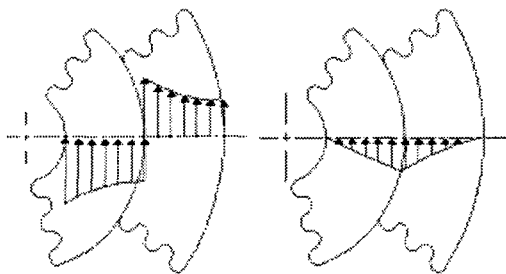
Fig. 1 Nylon cylinder and steel shaft with interference for expansion fit

또한 이 압력으로 인하여 각 부재에 작용하는 응력이 식 (2)~(3)과 같이 계산되고 그 크기는 Fig. 2와 같다. 그러나 발생응력은 그 부재의 항복강도보다 작아야 하고 만약 응력이 항복강도를 초과하면 소성변형이 일어나 두 부재 사이에 접착력이 발생되지 않는다.

압입응력의 크기는 축과 보스(실린더)의 접선방향, 원주방향에 따라 다음과 같은 식으로 나타난다.

$$\text{접선방향응력 } \sigma_t = -P(r^2 + r_i^2) / (r^2 - r_i^2) \quad (2)$$

$$\text{축의 원주방향 응력 } \sigma_r = -P \quad (3)$$



(a) tangential stress σ_t , (b) radial stress σ_r

Fig. 2 Stress distribution of expansion fit between cylinder and shaft

2.2 접착강도의 시험

접착강도시험은 나일론으로 만든 실린더에 연강(S45C) 축을 억지끼움하고 유도 가열 등을 한 후에 Fig. 3과 같이 정렬하고 상부로부터 축을 따라 힘을 가하여 전단력을 측정한다 다음 식(4)에서와 같

이 접합 전단응력 τ 를 접촉면적으로 나누어 구한다.

$$\tau = F/A \quad (4)$$

여기서 A는 나일론 실린더와 강축의 접촉면적이다.

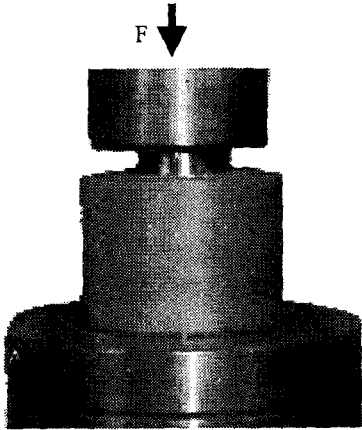


Fig. 3 Shear strength test apparatus

전단력 측정에 사용된 만능시험기는 시험 후 응력-변형률 또는 하중-변형의 도표와 관련 값을 컴퓨터에 의해 데이터 처리되어 Fig. 4와 같이 자동으로 작성 및 계산된다.

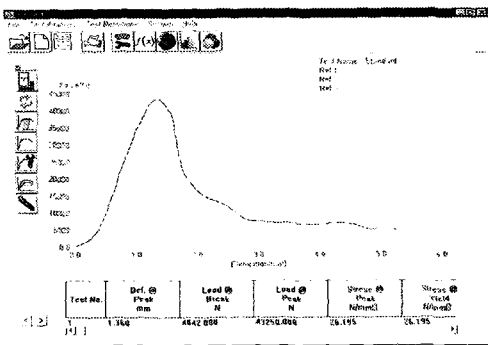


Fig. 4 Load and elongation diagram for shear test

2.3 나일론과 강의 억지 끼워 맞춤

나일론 실린더와 강(steel)축의 억지 끼워 맞춤을 위하여 적당한 립새를 갖도록 가공한 다음에 이

들의 표면에 오일이나 가공과정에서 붙어있는 칩등을 제거하기 위해서 유기용매인 헥산(hexane)을 사용하여 세척작업을 하였다.

세척한 나일론은 전기로를 사용하여 130℃에서 30분간 가열한 다음에 강축을 압입하는 억지 끼워 맞춤 작업을 하였다. 나일론의 온도를 증가시키는 것은 직경의 증가와 함께 나일론을 연하게 하여 끼워 맞춤시에 나일론의 손상을 방지하기 위한 것이다. 만능시험기를 사용하여 나일론실린더에 강을 압입시킨 시편의 사진은 Fig. 5와 같다.

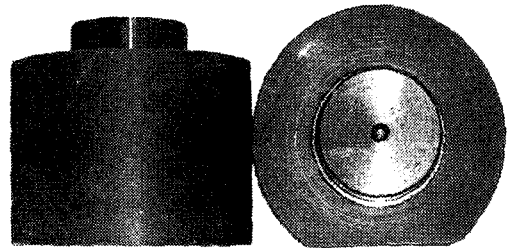


Fig. 5 Picture of the steel shaft in nylon cylinder by expansion fit

2.4 유도가열장치와 시험

열박음한 나일론과 강의 접착강도를 높이기 위해서는 나일론은 가열되지 않고 강의 표면만 짧은 시간내에 가열하는 방법으로 고주파를 이용한다. 고주파 유도가열(induction heating)에서 열의 공급 원과 구성은 유도가열경화에서와 동일하고 가열원리는 다음과 같다. 먼저 작업물에 전류를 유도시킨다. 전류를 운반하는 모든 전도체는 전도체 주위에 자장을 띠고 있다. 만약 강 등의 전도체를 코일 안에 위치시키면 코일에 흐르는 전류의 유동이 외부 코일의 자력선을 통하여 중앙에 놓인 전도체에 전류의 유동을 유도하게 될 것이다.

중앙부의 강으로 된 요소는 끝이 잘린 회로에 해당되므로 유도전류는 어떤 곳으로도 흐를 수 없기 때문에 강축을 가열할 수 있게 된다. 만약 코일에 교류를 사용한다면 전류의 유도방향이 빠르게 바뀐다. 중심부 도체의 유도전류는 초당 60 사이클에서 수백만 사이클의 진동수로 변할 것이다. 이때 전류유동에 대한 저항이 중심부에 있는 물체를 매우 빠르게 가열하게 된다. 가열은 외부에서 내부로 향한다. 만약 중심부의 둥근 철봉이 유도코일 내부에 놓인다면 유도전류는 오스테나이트처리 온도까지

지 강 부품을 빠르게 가열하고 수냉 등으로 담금질로 경화시킬 수도 있다.

유도가열시스템의 제한은 부품이 유도코일에서 유도된 와전류(eddy current)를 받아들일 수 있는 위치에 놓여져야 한다는 것이다. 코일은 보통 연한 구리튜브로 되어 있으며 가열방지를 위해 물을 흐르도록 하고 있다.

유도 가열 매커니즘은 Fig. 6에서와 같이 1차 전류 i_1 과 2차 전류 i_2 와의 사이에는 $i_2 = ki_1$ 의 관계가 있다.

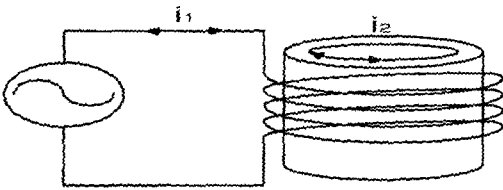


Fig. 6 Schematic diagram of induction heating system

유도자는 고주파 전류를 부품에 유도해 주는 코일로 $\varnothing 5 \sim 10$ 정도의 동 파이프를 나선형으로 감아서 사용한다.

보통 유도가열시 주파수의 선정에 있어서 소형 부품이나 얇은 부재들의 경우는 고주파수를, 대형 부품이나 두꺼운 부재들은 저주파수를 선정한다.

유도가열시 부품직경과 담금질 경화시에 경화층에 따른 주파수에 가장 큰 영향을 받지만 시편의 거리는 작은 범위내에서 큰 영향이 없다. 식 (5)는 열처리시 경화층의 깊이와 관련 변수의 관계식이다.

$$d = 5.03(\rho/\mu \cdot f)^{1/2} \quad (5)$$

d : 침투깊이 (cm)

ρ : 교류 저항률 ($\mu\Omega \cdot m$, 강의 경우 1.6×10^{-7})

μ : 비투자율 (강자성강 : 20~200, 비자성강 또는 동 : 1)

f : 주파수(Hz)

유도가열접합은 Fig. 7과 같은 외면 가열용 유도자(높이 80mm, 직경 $\varnothing 100$ mm, 두께 8mm, 감긴 횟수 7)가 부착되어 있는 고주파 유도가열기를 사용하

였다.

시험에 사용한 유도가열기는 최대 출력이 30 kW이며, 출력 전압과 전류가 각각 290V와 100A이고, 출력저항은 1~50 Ω 이며, 출력 주파수는 15~39 kHz를 사용하고 가열시간은 임의로 설정하였다.

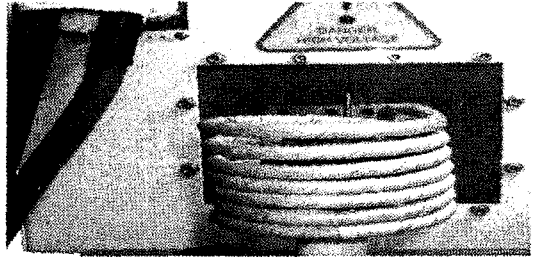


Fig. 7 Picture of the Induction heating system

2.5 강축의 널 가공(Knurling)

널 가공(또는 roulette 작업)은 가공물의 표면에 일정한 피치(pitch)의 요철(凹凸)이 있는 널 공구를 공작물의 원통면에 압입하여 다이아몬드 형상 또는 직선 형태의 요철이 생기게 하는 가공이다. 널 가공은 절삭가공이 아니고 공구의 압입에 의한 가공으로서 나사전조와 유사한 소성가공의 일종이다.

매끄러운 축에 널가공을 하면 널 산의 생성으로 지름이 가공 전의 축보다 0.2~0.4mm 정도 크게 된다¹¹⁾.

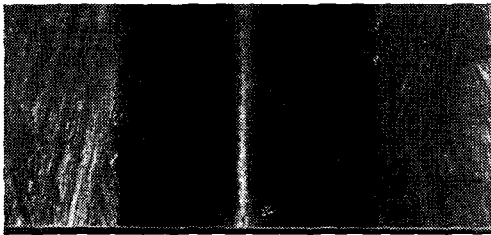
널 산의 크기는 tpi(tips per inch)의 단위로 나타내며 본 시험에서는 주로 20 tpi를 기준으로 하였고, 비교를 위하여 18 tpi의 경우도 시험하였다.

3. 결과와 고찰

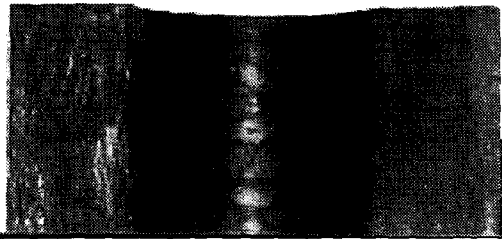
3.1 쥘새의 크기에 따른 접착강도 비교

먼저 나일론 실린더의 외경은 $\varnothing 55$ mm, 내경은 $\varnothing 30$ mm, 높이는 47mm로 동일하게 하고, 축으로 사용되는 강의 외경은 각각 $\varnothing 30$ mm, 30.4mm, 30.8mm, 31.2mm로 제작하여 이들의 접합 강도를 이론적으로 계산하고 열박음을 한 다음에 접합 전 단강도를 측정하였다. 또 다른 방법으로는 열박음을 한 후에 유도가열시 접합에서 전기적 조건을 15 kHz, 16 kW와 작동시간을 6초 동안 유도가열을 해 준 다음에 시험하였다. Fig. 8은 평활한 강축을 나일론 실린더에 억지끼움 하고 유도가열을 한 경우

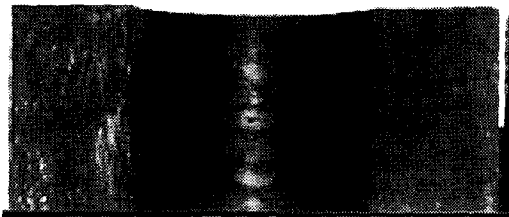
나일론 실린더를 절개한 단면에 관한 사진이다. 나일론 실린더와 강 사이에 쫄새가 없는 경우 접촉 흔적이 없이 매끈한 나일론표면을 Fig. 8(a)에서 보여 주고, 쫄새가 있는 경우인 Fig. 8(b)부터는 나일론 실린더 내면에 강과 약한 반발발력에 의한 접촉한 흔적이 나타난다. 그리고 쫄새가 가장 큰 31.2mm 직경의 경우에는 실린더 끝부분에 억지 끼움시에 나일론이 밖으로 밀려나간 흔적이 있음을 Fig. 8(d)에서 보여 준다.



(a) diameter of steel shaft : $\varnothing 30$ mm



(b) diameter of steel shaft : $\varnothing 30.4$ mm



(c) diameter of steel shaft : $\varnothing 30.8$ mm



(d) diameter of steel shaft : $\varnothing 31.2$ mm

Fig. 8 Comparison of nylon cylinder sections after expansion and induction heating fit of different interferences

축과 실린더 사이의 압입력에 관한 이론식 (1)에 의해 쫄새의 크기를 다르게 하여 접촉강도를 계산하여 비교하면 Fig. 9에서 실선과 같고, 쫄새의 증가에 따라 압입 강도가 선형적으로 증가하였다. 그러나 실제로 압축시험에 의해서 측정된 접촉강도의 경우도 역시 쫄새의 크기 증가에 따라 선형적으로 증가하지만 절대적인 크기는 이론적 접촉강도 보다 매우 작음을 보여준다. 그 원인으로는 계산식은 강축의 단면에 수직으로 작용하는 압축응력을 나타내지만 실험에서 측정된 접합응력은 전단력을 접촉단면적으로 나눈 전단응력을 나타내기 때문이다. 유도가열 박음에서 접촉강도는 쫄새 크기가 0.8 mm까지는 선형적으로 증가하였고 그 이상에서는 별 차이가 없음을 알 수 있었다. 이것은 쫄새가 너무 크므로써 가열과정에서 일부의 나일론이 녹아 밖으로 빠져나오기 때문으로 판단된다.

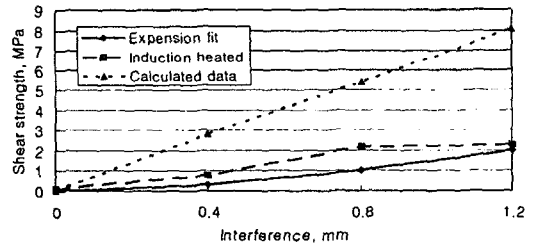


Fig. 9 Effect of interference between nylon and steel shaft for shear strength

3.2 나일론 실린더의 두께의 크기와 유도가열 시간의 영향

나일론 실린더의 외경을 55mm로 고정하고 내경의 경우에는 30mm, 35mm, 40mm, 45 mm로 가공하고 S45C연강 축을 쫄새를 8 mm로 하여 지름을 $\varnothing 30.8$ mm, $\varnothing 35.8$ mm, $\varnothing 40.8$ mm, $\varnothing 45.8$ mm 및 $\varnothing 50.8$ mm로 5 mm씩 증가하였다. 또 강축은 롤렛가공을 하지 않은 평활면 상태로 하고 열박음한 경우와 유도가열을 한 다음에 나일론 내경 변화에 따른 접촉강도를 측정하였다.

Fig. 10에서와 같이 연강 축의 지름이 가장 작은 $\varnothing 30.8$ mm의 경우에 접촉강도가 가장 크고 나일론의 두께가 작아짐에 그에 비례하여 접촉강도가 선형적으로 감소함을 알 수 있다. 또 Fig. 11은 전단시험하기 전의 샘플사진으로써 쫄새의 크기가 같다 하더라도 나일론 실린더 두께가 큰 경우에는 유도가열시 나일론의 용융부분이 강과의 경계면 주위

로 들출되었지만 작은 경우에는 주변이 깨끗하여 조임 작용이 적음을 보여준다. 따라서 두 부재의 접착시 접착강도는 나일론 실린더의 두께가 클수록 조임 압력이 커져서 유도가열시 접착력을 충분히 키울 수 있으며 접합 접착강도를 증가시켜 줌을 알 수 있다.

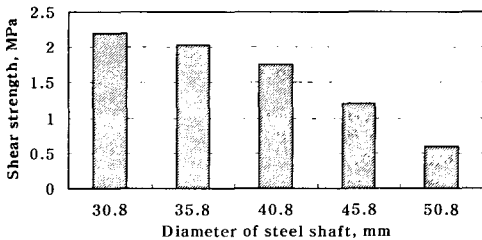


Fig. 10 Comparison of adhesive shear strength of various diameter with same interference of plain steel shaft after press fit and induction heating



(a)30.8mm (b)35.8mm (c)40.8mm (d)45.8mm (e)50.8 mm

Fig. 11 Specimens of expansion and induction heated fit between nylon cylinder and various diameter of steel shaft

연강과 나일론의 지름을 각각 $\varnothing 30.8\text{mm}$ 와 $\varnothing 55\text{mm}$ 로 만들어 열박음을 한 시편에 유도 가열조건에서 출력 주파수는 15 kHz로 일정하게 한 다음에 출력전력을 15, 16, 17 kW하고 또 가열 작동시간을 4, 5, 6초로 하였을 경우 각각의 시편에 대한 접착강도를 측정하였다. 접합 후에 접착강도의 크기는 Fig 12와 같고 출력전력이 16kW인 경우에 가열시간이 6초에서 가장 큰 접착강도 10MPa를 보여 준다. 이 경우보다 가열시간이 짧아질 경우에는 강 온도 충분히 높지 않아 나일론을 용해시킬 수 없고, 반대로 커질 경우에는 즉 7초에서는 5.8 MPa로 이 경우에는 강 표면의 온도가 너무 크고 시간이 길어져

서 용해된 나일론이 압입력에 의해 밖으로 빠져 나옴으로써 충분한 접착력이 생기지 않는 것으로 판단된다. 따라서 모든 유도가열 접합시험에서 전기적 조건은 주파수는 15 kHz, 출력전력이 16 kW와 작동시간을 6초로 설정하였다.

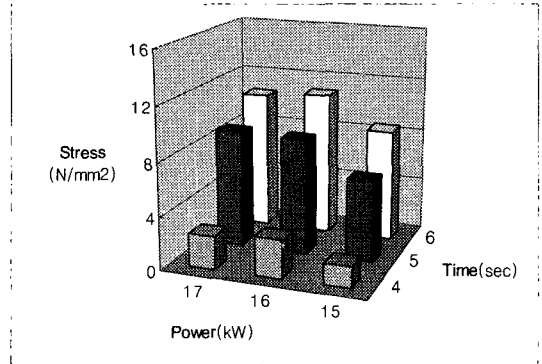


Fig. 12 Effect of electric power and heating time at induction heating for adhesive shear strength

3.3 강 축 표면의 널(Knurl)산 크기의 영향

나일론/강의 접합에서 나일론 실린더의 내경과 외경을 각각 $\varnothing 55\text{mm}$, $\varnothing 30\text{mm}$ 의 중공 실린더와 쥘새의 크기를 다르게 한 강 축 표면을 매끈한 강(평강)과 롤렛가공에 의해 강축의 표면을 18 tpi(tip per inch)와 20 tpi로 널링한 강과 열박음을 한 다음에 이들을 유도가열 접합을 하였다. Fig. 13은 18 tpi와 20 tpi로 가공한 강과 매끈한 강의 축을 쥘새의 크기를 달리하여 접합 후 유도가열하고 그들의 접착강도를 비교한 것이다.

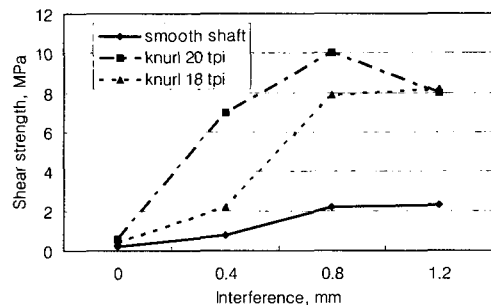


Fig. 13 Comparison of adhesive shear strength of various interference with same diameter of steel shaft

그림으로부터 널 가공한 강 의 경우가 가공하지 않은 평강의 경우보다 휨새가 커질수록 접착강도가 크게 나타났고 또 널 가공한 강축에서는 20 tpi의 경우가 18 tpi의 경우보다 일반적으로 더 크지만 휨새가 1.2mm에서는 18 tpi의 경우와 큰 차이가 없고 오히려 약간 작음을 알 수 있다. 이것은 휨새가 큰 축을 널 가공하여 원래의 직경보다 0.4 mm 정도 지름이 커져서 열박음 작업과정에서 나일론의 일부가 밀려나오기 때문에 접착강도가 저하되는 것으로 판단된다. 특히 20 tpi로 가공한 경우에는 최대 접착강도가 0.8 mm에서 가장 크게 나타나므로 다른 변수로 시험할 경우에 모든 휨새를 0.8 mm, 널 가공한 경우에는 20 tpi로 고정하였다. 널가공한 강축과 나일론을 억지끼워마춤한 다음 유도가열접합한 후 나일론 단면의 사진은 Fig. 14와 같고 이 경우에는 나일론과 강이 반델발스력의 의한 비교적 강한 흡착접합(adsorption bonding)을 하는 것으로써 앞의 평활한 축과 접합한 단면의 사진인 Fig. 8과는 다르게 나타난다.

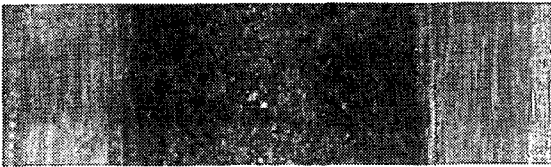


Fig. 14 Nylon cylinder sections after expansion and induction heating fitted with knurled steel shaft

3.4 강축 체적 크기와 형상의 영향

나일론과 연강의 접합에 있어서 강축 체적의 영향을 살펴보기 위하여 나일론 실린더의 외경을 55 mm로, 틈새를 0.8 mm로 동일하게 하고 나일론과 접합하는 강 의 표면적을 다르게 하기 위하여 강 의 축 직경을 30.8 mm인 중실축과 외경은 45.8 mm 이고 내경을 34 mm로 한 중공축으로 가공하여 접착시험을 하였다. 즉 강 의 체적을 동일하게 하고 표면적을 1.5배의 차이를 갖도록 하여 접합한 경우에 Fig. 15에서와 같이 강 의 표면적이 작은 중실축, 즉 강 의 직경이 작은 경우가 직경이 큰 즉 표면적이 큰 중공축에 비해 약 2배 정도의 큰 접착강도를 갖는다. 따라서 유도가열 접합시에는 짧은 시간동

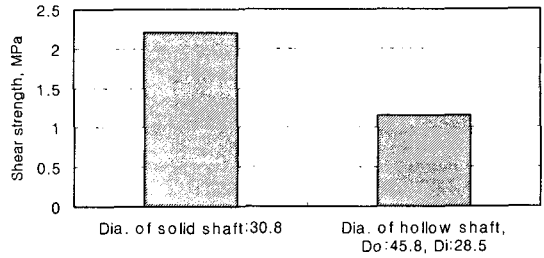


Fig. 15 Comparison of adhesive shear strength of various contact area with same volume of steel shaft

안에 강 의 표면에만 일정한 높은 열량으로 가열하게 되므로 접합 성능은 강 의 체적과는 무관하고 가열되는 표면적에 영향을 받으며 표면적이 작을수록 열의 집중이 더 커져서 주어진 유도가열 조건에서 표면적이 더 큰 경우보다 접착강도가 커지는 것으로 판단된다.

Fig. 16와 Fig. 17은 접합에서 모든 조건과 강 의 외경이 동일하지만 강 의 체적이 다른 경우 즉 외경은 45.8mm으로 한 중실축과 외경은 동일하지만 34 mm축의 내경을 갖는 중공축의 사진과 접착강도를 시험한 결과를 나타낸 것이다. 강축의 표면적이 같다 하더라도 강 의 체적이 작은 중공축 보다는 체적이 큰 중실축의 경우에서 접착강도가 조금 크게 나타남을 보여주고 있다. 이것은 식 (1)과 (2)의 이론식에서 내경이 있는 중공축의 경우는 중실축의 경우보다 접선응력이 작게 생성되므로 유도가열과정에서 밀착저항력을 작게 해주어서 접착력이 작아지고 따라서 유도가열과정에서 접착강도가 작아지는 것으로 판단된다.

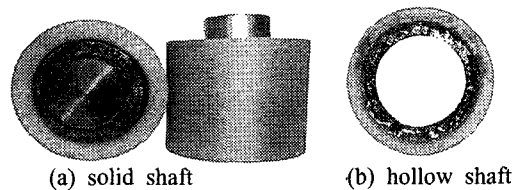


Fig. 16 Specimens of the solid and hollow steel shafts after press and induced heating

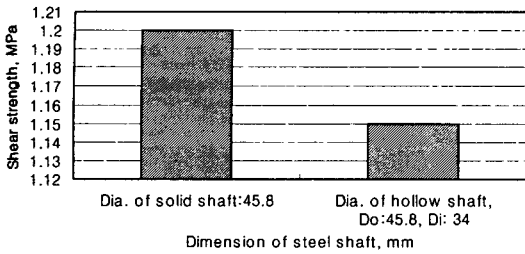


Fig. 17 Comparison of adhesive shear strength of solid and hollow steel shafts with same contact diameter after induced heating

나일론 실린더의 두께를 같게 하고 강축의 크기를 다르게 하였을 경우의 접착강도를 비교하기 위하여 나일론의 바깥지름을 55 mm와 40 mm로 하고 강축의 직경을 45.8 mm와 30.8 mm로 만들어 억지 끼움하고 유도가열 후 접착강도를 측정하였다. 나일론 두께가 같은 경우의 강도의 비교는 Fig. 18과 같이 강 직경이 큰 경우보다 작은 경우에 비하여 접착강도가 1.4배정도 더 크고 이 결과로부터 유도 가열시 유도자로부터의 거리보다는 강 직접면적 즉 열의 영향면의 크기에 더 큰 영향을 받고 있음을 알 수 있었다.

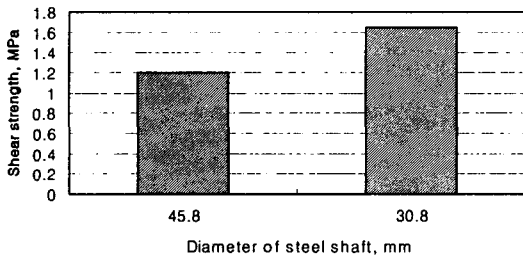


Fig. 18 Comparison of adhesive shear strength for different diameter steel shafts with same nylon thickness

4. 결론

MC 나일론과 강을 접합한 마찰기계요소를 만들기 위하여 나일론 실린더와 쥘새를 갖는 강축과 열박음한 후 유도가열에 의한 접합에 관한 연구를 수행하였다. 이때 나일론 실린더의 크기와 강축을 다양한 형상으로 만들고 접합조건을 다르게 한 다음에 나일론과 강을 기계적, 전기적으로 접합한 후 이들의 접합 강도에 관한 측정을 통하여 다음과 같

은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 평활한 강축과 나일론의 열 박음 억지끼움에서 쥘새가 클수록 어느 정도까지는 접착강도가 증가하지만 그 이상에서는 박음과정과 가열과정에서 나일론의 밀려남 현상 때문에 오히려 감소하는 경향이 있다.
- 2) 열박음에서 쥘새가 같은 경우 삽입 강축의 직경 크기가 작으면 작을수록 즉 나일론 실린더의 두께가 클수록 나일론의 압입력이 커지고 유도가열 접합시에 접착강도를 증가시키는 것으로 나타났다.
- 3) 외경 55 mm, 내경 30 mm의 나일론에 열박음한 강축에서 널산이 18 tpi일 경우보다 20 tpi인 경우 접착전단강도가 더 크고, 쥘새가 0.8 mm에서 가장 크며 그것보다 작든지 크면 작아짐을 알 수 있었다.
- 4) 강 직적이 같은 경우에는 강의 외경이 작은 경우에 접착강도가 크고 같은 체적의 중공축 보다 5배 정도 큼으로서 강의 체적보다는 접착표면적이 작을수록 유도가열의 효과가 더 크게 나타났다.
- 5) 유도가열 접합에서 최대 전단강도를 얻기 위해 적당한 주파수와 시간을 실험적으로 얻을 수 있었으며 본 시험에서는 16 kHz, 16 kW와 6초로 밝혀졌다.

참고문헌

1. Kohan, M. I., Nylon Plastics Handbook, Hanser Publisher, pp. 2-18. New York, 1995.
2. Kim, J. C., "Solid Lubricant and Application of PTFE Series," Machinery and Lubrication, Vol. 7, No. 8, pp. 71-74, 1998.
3. Champetire, G. and Sekiguchi, H., "Mechanism and Kinetics of Adiabatic Anionic Polymerization of Caprolactam in the Presence of Various Activators," J. of Poly. Sci., Vol. 48, pp. 309-313, 1960.
4. Kang, S. C. and Chung, D. W., "The Friction Properties of Oil-impregnated Cast Nylon," KSME A, Vol. 22, No. 11, pp. 2011-2020, 1998.
5. Chang, Y. S., "Adhesion Properties of Nylon and Steel," KSPE, Vol. 20, No.3, pp. 125-132, 2003.
6. Chang, Y. S. and Park, J. Y., "Analysis of the

- Process of Induction Heating for Adhesion between Nylon and Metals," J. of Heat Treatment, Vol. 15, No.5, pp. 228-233, 2002.
7. Pocius, A. V., Adhesion and Adhesives Technology, Hanser/Gardner Pub., pp. 71. 1997.
 8. Kinloch, A. J., Adhesion and Adhesives, Chapman and Hall Ltd, pp. 451-453, 1987.
 9. PSTEK, PSIH 30MF User's Manual, 2002.1. Lardner, T.J. / Archer, R. R. "Mechanics of Solids," Sigma press, pp. 10-13, 1996.
 10. Hong, J. P., "Theory & Practical of Mechanical Element Design," Books-Hill, pp. 107-117, 2001.
 11. Sho, S. N. "Manufacturing of Machinery(new)," Dongmyoung Sa, pp. 408-409, 1996.