

# 차량 배기관용 V-Insert 클램프의 체결 성능 평가

## Characterization of V-Insert Clamp Joint Applied to Automobile Exhaust Pipes

황영은<sup>1</sup>, 윤성호<sup>1,✉</sup>

Young Eun Hwang<sup>1</sup> and Sung Ho Yoon<sup>1,✉</sup>

<sup>1</sup> 금오공과대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Kumoh National Institute of Technology)

✉ Corresponding author: shyoon@kumoh.ac.kr, Tel: 054-478-7299

Manuscript received: 2011.10.13 / Accepted: 2011.12.15

*In this study, the mechanical joint performance of the V-Insert clamp applied to automobile exhaust pipes was evaluated through the experimental investigation of its axial load capacity. The axial load of the V-Insert clamp was also determined by using theoretical equations presented by Shoghi and compared with the experimental results. As results of the theoretical prediction, the axial load of the V-Insert clamp tended to increase along with smaller angle of the V-Insert segment and the lower friction coefficient between the V-Insert segment and exhaust pipes. The experimental results under tightening effects were similar to the theoretical results and the axial load of the V-Insert clamp presented maximum values in the range of all torques at distance of 2mm between each exhaust pipes. The experimental results under loading effects were similar to the theoretical results in the range of lower torques but deviated from the theoretical results in the range of higher torques. These results would be beneficial to improve the joint and sealing performance of the V-Insert clamp.*

Key Words: V-Insert Clamp (V-Insert 클램프), Automobile Exhaust Pipes (차량 배기관), Axial Load Capacity (축방향 하중 지지 성능)

### 1. 서론

V-Insert 클램프는 원형 단면을 가진 서로 다른 소재나 동일 소재를 서로 체결할 경우 쉽게 탈거하거나 부착할 수 있다는 장점으로 인해 항공우주 및 자동차 산업 등에 이용된다. 최근에는 국내 차량의 배기가스저감장치를 구성하는 부품들을 서로 체결하기 위한 용도로 활용하기 위해 연구가 진행되고 있다. 매연여과필터가 포함된 배기가스저감장치를 장착시킨 자동차가 장기간 운용되면 매연여과필터에 입자성 물질이 축적되어 배기배압이 커져 엔진의 출력을 저하시킨다. 또한 이로 인해 연비가 나빠지며 최악의 경우 고가인 매연여과필

터가 파손될 우려도 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 주기적으로 매연여과필터를 교환하거나 청소하여야 한다. 이를 위해 배기가스저감장치 내에 있는 매연여과필터의 탈장착이 용이하도록 V-Insert 클램프를 적용한다. 이러한 V-Insert 클램프는 차량 배기관들을 연결하거나 엔진의 배기 다기관(Exhaust manifold)과 배기관의 체결에도 적용된다.

현재 국내 차량에 적용하기 위한 V-Insert 클램프는 전량 수입하는 실정으로 국내에서는 V-Insert 클램프의 개발을 위한 연구가 미흡한 실정이다. 또한 국내에서는 설계 지침서나 성능 평가를 할 수 있는 시험조건이 없을 뿐만 아니라 이와 관련

된 연구결과가 없는 실정이다. 그러나 해외에서는 V-Insert 클램프에 대한 구체적인 작동 메커니즘을 제시한 바 있고 V-Insert 클램프의 성능에 대한 체계적인 연구가 진행되어 왔다. Monuford<sup>1</sup> 와 Hudson<sup>2</sup>은 V-Insert 클램프의 설계에 대해 실험식을 제안한 바 있지만 이들 실험식을 적용하기 위해서는 다양한 설계변수들을 고려할 수 있는 정밀한 실험이 수반되어야 하는 단점을 가지고 있다. Takeuchi<sup>3</sup> 등은 우주항공산업에 적용되는 클램프의 이론식을 제시하였지만 Shoghi<sup>4,5</sup> 등이 제안한 평(Flat)-단면을 가진 클램프의 이론식과 유사하고 V-단면을 가진 클램프에는 이러한 이론식을 적용하기에 어려움이 있다. 최근에 Shoghi<sup>6-8</sup> 등은 V-단면을 가진 클램프의 체결 성능은 축방향 하중을 계산함으로써 평가될 수 있고 이러한 체결 성능을 추정할 수 있는 이론식을 제안하였다.

최근 들어 국내에서도 V-Insert 클램프의 국산화 개발에 대한 필요성이 대두됨에 따라 V-Insert 클램프에 대한 형상 설계, 체결력 평가, 기밀성능 평가 등에 대한 연구가 시도되고 있다. 본 연구에서는 하중시험기를 통해 차량 배기계에 적용되는 V-Insert 클램프의 축방향 하중지지 성능을 조사하여 V-Insert 클램프의 체결 성능을 평가하였다. 또한 Shoghi 가 제안한 이론식을 통해 V-Insert 클램프의 축방향 하중을 예측하고 실험을 통해 얻은 결과와 비교하였다.

**2. V-Insert 클램프의 제작**

Fig. 1 에는 국내에서 개발한 V-Insert 클램프 제작용 프레스((주)테스크, Korea)를 통해 제작한 V-Insert 클램프와 V-단면이 각각 나타나 있다. 이때 V-Insert 클램프의 공칭 지름은 150mm 이며 V-단면의 각도는 40°이다. V-Insert 클램프의 제작공정은 다음과 같다.

- 1) 폭 31.5mm, 두께 2.0mm 인 Segment 바(소재: SUS 304)를 Forming 롤러장치에 삽입하여 총 5 단계의 가공 과정을 거쳐 V-Insert 형상을 제작한다.
- 2) V-Insert 형상을 가진 Segment 바를 일정 길이로 절단한 후 “R” Bending 금형을 통해 Round 형상으로 가공한다.
- 3) Strap 과 V-Insert Segment 바를 점용접으로 접합한다.
- 4) Strap 에 T-볼트와 Lock-너트를 장착한다.

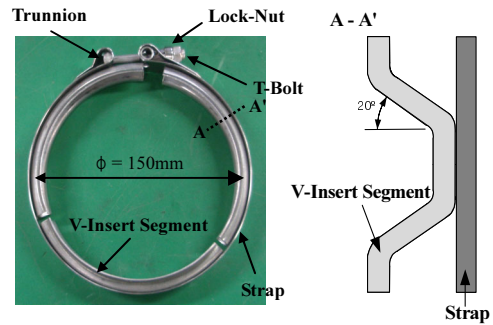


Fig. 1 V-Insert clamp used for this study

**3. V-Insert 클램프의 축방향 하중 계산**

Fig. 2 에는 V-Insert 클램프로 한 쌍의 배기관을 체결할 경우 V-Insert 클램프와 배기관에 발생하는 하중들이 나타나 있다. V-Insert 클램프의 너트에 토크를 가하게 되면 T-볼트에는 인장하중이 발생한다. 이때 V-Insert Segment 와 배기관은 서로 접촉하게 되어 V-Insert Segment 는 반경 방향의 하중이 발생된다. 이러한 반경 방향의 하중은 배기관에 대해 썸기 작용을 일으켜 z-방향의 하중을 발생시킨다. 이러한 z-방향의 하중은 V-Insert 클램프의 축방향 하중이며 배기관 간의 체결 및 기밀성을 유지시키는 요소이다.

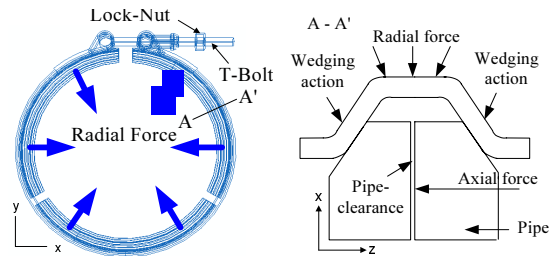


Fig. 2 Schematic diagram of the V-Insert clamp

V-Insert 클램프의 T-볼트를 죄일 때 V-Insert Segment 에 발생하는 굽힘에 의한 클램프에서의 축방향 하중이 식(1)에 나타나 있다. 또한 V-Insert 클램프가 일정한 토크로 체결되어 있는 상태에서 배기관 간의 간격이 서로 벌어지는 경우 클램프에서의 축방향 하중이 식(2)에 나타나 있다. 이때 식(1)과 식(2)에 나타난 V-Insert Segment 와 배기관의 접촉으로 인한 마찰력은 서로 반대방향이다.<sup>8</sup>

$$F_a = \frac{(1 - \mu \tan \phi) F_\beta (\mu \cos \phi + \sin \phi)}{\mu (\mu + \tan \phi)} \left[ 1 - \exp\left(\frac{-\mu \beta}{\mu \cos \phi + \sin \phi}\right) \right] \quad (1)$$

$$F_a = \frac{(1 + \mu \tan \phi) F_\beta (\sin \phi - \mu \cos \phi)}{\mu (\tan \phi - \mu)} \left[ 1 - \exp\left(\frac{-\mu \beta}{\sin \phi - \mu \cos \phi}\right) \right] \quad (2)$$

여기에서  $\phi$  는 V-Insert Segment 의 절반에 해당 하는 각,  $\mu$  는 V-Insert Segment 와 배기관 간의 마찰 계수이다.  $F_\beta$  는 T-볼트에 토크를 가하는 경우 T-볼트 내 발생하는 축방향 하중이다.<sup>9</sup>

#### 4. V-Insert 클램프 축방향 하중지지 성능 시험

Fig. 3 에는 V-Insert 클램프의 축방향 하중지지 성능을 평가하기 위한 시험장치가 나타나 있다. 이때 (a)는 하중시험기(Zwick/Z100, Germany), V-Insert 클램프로 체결되는 배기관 한 쌍, 하중을 측정하기 위한 로드셀 등으로 구성된 시험장치로서 상부 배기관은 하중시험기의 로드셀과 서로 체결 되도록 제작되어 있다. 하부 배기관도 하중시험기의 크로스헤드와 서로 체결되도록 제작되었으며 하부 배기관과 체결되어 있는 크로스헤드를 통해 상하부 배기관의 간격을 제어할 수 있도록 하였다. (b)는 상부와 하부 배기관이 서로 맞물려 V-Insert 클램프의 V-Insert Segment 에 접촉되는 부분의 형상으로 Position 은 상부 배기관과 하부배기관 간의 간격을 나타낸다. 상부와 하부 배기관 간의 간격을 일정하게 적용하기 위해서는 상부 배기관과 하부 배기관을 서로 접촉시키고 500N 의 압축하중을 가하였으며 이때의 간격을 0mm 로 설정하였다. 또한 (c)는 상부와 하부 배기관을 V-Insert 클램프로 체결하여 V-Insert 클램프의 T-볼트에 토크를 적용한 경우로서 이를 통해 로드셀에서 축방향 하중을 측정하였다. 이때 토크를 가하기 위해 토크렌치(Tonichi, Japan)를 사용하였다.

본 연구에서는 일련의 시험과정을 통해 상부와 하부 배기관 간의 간격 크기와 V-Insert 클램프의 T-볼트에 가해지는 토크가 V-Insert 클램프의 축방향 하중지지 성능에 미치는 영향을 조사하였다.

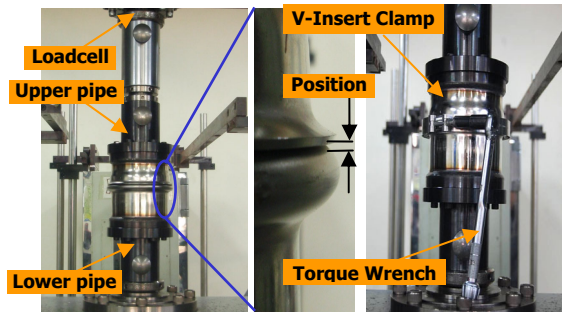
#### 4.1 좌입효과를 고려한 하중지지 성능시험

좌입효과를 고려한 하중지지 성능시험을 위해 배기관 간의 간격을 고정시킨 후 클램프에 토크를 가하였으며 식(1)에 의해 V-Insert 클램프의 축방향 하중을 측정하였다. 이때 배기관 간의 간격은

1.5mm, 2.0mm, 2.5mm 를 고려하였고 토크는 1.0N·m 에서 6.0N·m 까지 1.0N·m 씩 증가시키며 시험하였다.

#### 4.2 하중효과를 고려한 하중지지 성능시험

하중효과를 고려한 하중지지 성능 시험을 위해 V-Insert 클램프에 일정한 토크를 가한 후 배기관 간의 간격을 증가시켰으며 식(2)에 의해 V-Insert 클램프의 축방향 하중을 측정하였다. 이때 토크는 1.0N·m 에서 6.0N·m 까지 1.0N·m 씩 증가시켰으며 각 토크에서 배기관 간의 간격을 1.0mm 에서 2.0mm 까지 0.2mm 씩 증가시켰다. 배기관 간의 간격을 증가시키기 위해 하부 배기관을 크로스헤드의 변위제어를 통해 1.0mm/min 속도로 이동시켰다.



(a) Test setup on UTM (b) Pipe edge (c) Equipment with clamp  
Fig. 3 Overview of test set-up for axial load capacity

### 5. 결과 및 고찰

#### 5.1 V-Insert 클램프 축방향 하중의 이론 결과

Fig. 4 에는 식(1)을 통해 이론적으로 구한 토크 증가에 따른 V-Insert 클램프의 축방향 하중의 결과가 나타나 있다. 이때 V-Insert 의 각은 20°, 25°, 30°를 고려하였고 V-Insert Segment 와 배기관의 접촉마찰계수는 0.1, 0.2, 0.3 을 고려하였다. 여기에서 보면 V-Insert Segment 와 배기관의 접촉마찰계수의 값이 작아질수록 V-Insert 클램프의 축방향 하중은 점차적으로 증가한다. 또한 각 마찰계수에서 V-Insert 의 각 변화를 보면 V-Insert 의 각이 작을수록 V-Insert 클램프의 축방향 하중은 점차적으로 증가한다. 마찰계수와 V-Insert 의 각 변화에 따른 클램프의 축방향 하중 변화를 살펴 보면 마찰계수가 작은 경우가 마찰계수가 큰 경우보다 클램프의 축방향 하중 변화가 더 커진다. 따라서 V-Insert 클램프의 축방향 하중은 V-Insert 의 각보다는 마찰계수

에 더 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

**5.2 V-Insert 클램프 축방향 하중의 시험 결과**

Fig. 5 에는 V-Insert 클램프의 죄임효과를 고려한 경우 상부 배기관과 하부 배기관 간의 주어진 간격에 대한 토크에 따른 V-Insert 클램프 축방향 하중의 이론결과와 시험결과가 나타나 있다. 이때 이론결과는 식(1)을 통해 계산되었으며 V-Insert 의 각은 20°와 30°, V-Insert Segment 와 배기관의 마찰계수는 0.1 을 고려하였다. 시험결과를 보면 모든 배기관 간의 간격 범위에서 토크가 증가할수록 클램프의 축방향 하중은 점차적으로 증가한다. 특히 토크의 범위가 4.0N·m 이내에서는 V-Insert 의 각이 20°인 이론적인 선도와 유사한 양상을 나타내다가 토크의 범위가 4.0N·m 이상에서는 V-Insert 의 각이 30°인 이론적인 선도에 점차적으로 접근함을 알 수 있다. 이는 V-Insert 클램프에 가해지는 토크가 4.0N·m 이상이 되면 V-Insert Segment 의 쉼기작용으로 인해 V-Insert 의 각이 점차 커지기 때문이다. 배기관 간의 간격에 따른 결과를 보면 배기관 간의 간격이 2.0mm 인 경우에 대해 클램프의 축방향 하중은 토크가 증가할수록 가장 크게 나타난다. 배기관 간의 간격이 좁을수록 배기관 끝단은 클램프의 V-Insert 내부로 이동하고 배기관과 V-Insert Segment 의 접촉 부분이 V-Insert 의 평탄 부분으로 다가갈수록 V-Insert Segment 에 발생하는 굽힘모멘트가 더 크게 작용하기 때문에 V-Insert 클램프의 축방향 하중은 높게 나타난다. 그러나 시험결과에서는 배기관 간의 간격이 2.0mm 보다 작은 경우

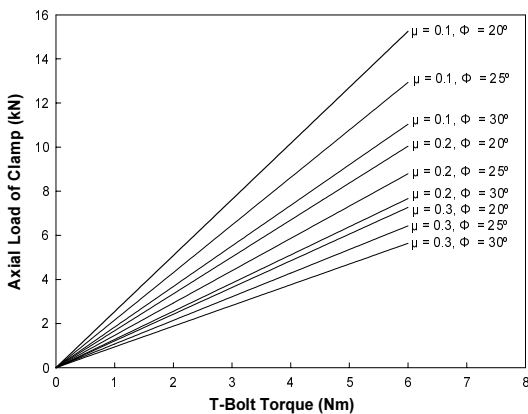


Fig. 4 Theoretical results of axial load capacity for V-Insert clamp with respect to V-Insert angle and friction coefficient

V-Insert 클램프의 축방향 하중이 낮게 나타나는데 이는 작은 토크 범위에서도 배기관의 끝단이 V-Insert 내부 평탄 부분에 접촉되기 때문이다. 이러한 접촉은 V-Insert Segment 의 쉼기작용을 방해하는 요소로 토크가 증가하더라도 V-Insert 클램프의 축방향 하중이 감소되기 때문에 다른 간격들에 비해 축방향 하중이 낮게 나타난다. 마찬가지로 배기관 간의 간격이 2.0mm 보다 큰 경우 클램프의 축방향 하중이 높은 토크의 범위에서 간격 2.0mm 보다 낮게 나타나는데 이는 V-Insert 클램프를 죄이는 경우 배기관과 V-Insert Segment 의 접촉이 2.0mm 간격에서보다 V-Insert 의 내부로부터 더 멀어진 거리에서 시작하고 V-Insert 의 각이 토크가 증가함에 따라 커지기 때문에 축방향 하중이 비교적 낮게 나타난다.

Fig. 6 에는 V-Insert 클램프의 하중효과를 고려한 시험결과로서 V-Insert 클램프에 일정한 토크를 적용한 후 배기관 간의 간격을 2.0mm 까지 증가시킨 경우 시간에 따른 V-Insert 클램프의 축방향 하중이 나타나 있다. 여기에서 보면 모든 토크의 범위에서 크로스헤드에 의해 배기관 간의 간격이 점차 증가되면 V-Insert 클램프에 발생하는 축방향 하중은 죄임효과에 비해 크게 증가한다. 특히 간격의 초기 범위에서는 토크가 클수록 V-Insert 클램프에 발생하는 축방향 하중의 증분이 크게 나타난다.

Fig. 7 에는 V-Insert 클램프의 죄임효과와 하중효과에 따른 시험결과와 이론결과가 각각 나타나 있다. 이때 죄임효과는 식(1)에 의해 계산되었고

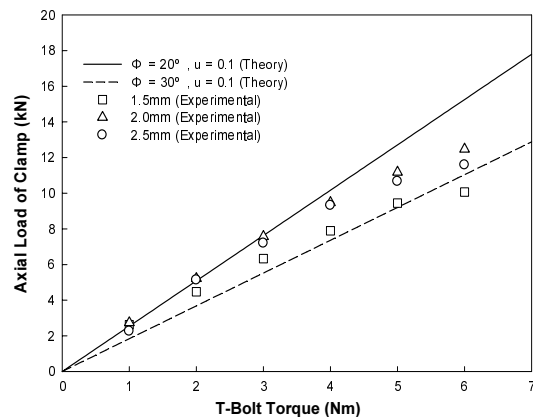


Fig. 5 Experimental and theoretical results of axial load capacity for V-Insert clamp with respect to clamping effect

하중효과는 식(2)에 의해 구하였다. 이때 이론결과를 보면 일정한 토크에서 하중효과에 따른 클램프의 축방향 하중이 좌입효과에 비해 매우 크게 나타남을 알 수 있다. Fig. 6 에 나타난 결과와 비교하면 낮은 토크의 범위에서는 이론적으로 예측한 결과와 유사한 양상을 나타내지만 높은 토크의 범위에서는 비교적 큰 편차를 나타낸다. 높은 토크가 적용된 후에 배기관의 간격을 늘리게 되면 클램프의 V-Insert Segment 내에 과도한 인장하중이 발생하여 T-볼트의 너트가 풀려지는 현상이 관찰되며 이로 인해 높은 토크의 범위에서 클램프의 축방향 하중이 더 이상 증가하지 않음을 알 수 있다.

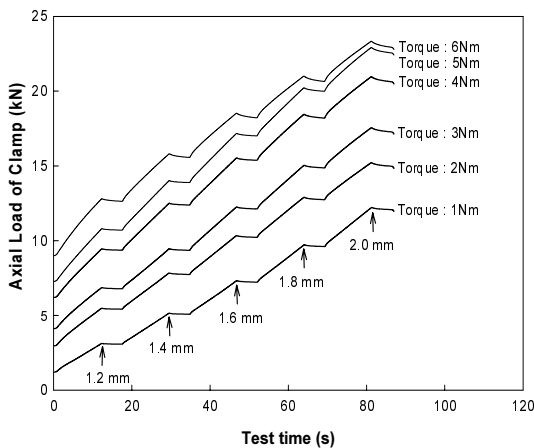


Fig. 6 Experimental results of axial load capacity for V-Insert clamp by varying with applied torque

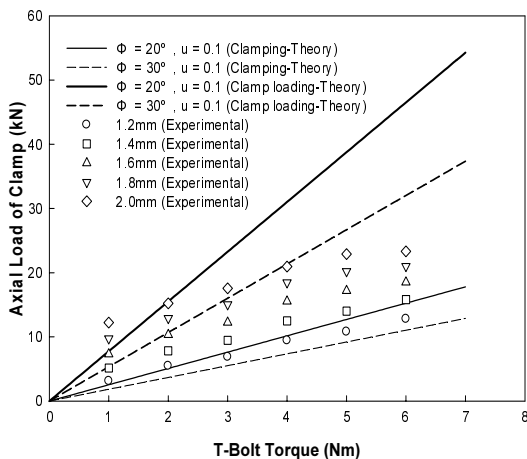


Fig. 7 Comparison of axial load capacity for V-Insert clamp with respect to clamping and loading effect

## 6. 결론

본 연구에서는 자동차 배기관에 적용되는 V-Insert 클램프의 축방향 하중을 이론적으로 예측하고 시험결과와의 비교를 통해 다음의 결론을 얻었다.

(1) V-Insert 클램프 축방향 하중의 이론결과에 따르면 배기관과 V-Insert Segment 의 접촉마찰계수와 V-Insert 의 각이 작을수록 V-Insert 클램프의 축방향 하중은 점차적으로 증가하지만 V-Insert 클램프의 축방향 하중은 V-Insert 의 각보다는 마찰계수에 더 큰 영향을 받음을 알 수 있다.

(2) 시험을 통해 측정된 좌입효과에 따른 V-Insert 클램프의 축방향 하중은 이론결과 범위 내에 분포하며 배기관 간의 간격이 2.0mm 인 경우 모든 토크의 범위에서 축방향 하중은 가장 높은 값을 나타내었다. 마찬가지로 시험을 통해 측정된 하중효과에 따른 V-Insert 클램프의 축방향 하중은 낮은 토크의 범위에서는 이론결과와 유사한 양상을 나타내지만 높은 토크의 범위에서는 이론결과와 비교적 큰 편차를 나타내었다.

(3) 좌입효과 시험으로 얻어진 배기관 간격 범위는 V-Insert 클램프의 기밀성능을 높이기 위한 개스킷 두께 결정에 적용이 가능하며 하중효과 시험에 의해 얻어진 결과는 V-Insert 클램프의 체결성능을 향상시키기 위한 설계 자료로 활용이 가능하다.

## 후 기

본 연구는 경상북도, 중소기업청에서 지원하는 17 차 (2009 년도) 금오공과대학교 산학공동기술개발과제로 수행된 논문으로 이에 감사의 말씀을 드립니다.

## 참고문헌

1. Mountford, R., "Design of Clamp Joints," Engineering Designer, pp. 37-40, 1980.
2. Hudson, C., "Vee-Clamps Solve Flange Coupling Problems," Diesel Engineering, pp. 203-204, 1977.
3. Takeuchi, S. and Onoda, J., "Estimation of Separation Shock of the Marman Clamp System by Using a Simple Band-Mass Model," The Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 45,

- No. 147, pp. 53-60, 2002.
4. Shoghi, K., Rao, H. V. and Barrans, S. M., "Stress in a Flat Section Band Clamp," Proceedings of the Institute of Mechanical Engineering Part C, Journal of Mechanical Engineering Science, Vol. 217, No. 7, pp. 821-830, 2003.
  5. Shoghi, K., Barrans, S. M. and Rao, H. V., "Plastic Deformation in Flat Section Band Clamps," Proceedings of the Institute of Mechanical Engineering Part C, Journal of Mechanical Engineering Science, Vol. 219, No. 1, pp. 93-102, 2005.
  6. Shoghi, K., "Stress and Strain Analysis of V-section Band Clamps," Ph.D. Thesis, Department of Mechanical Engineering, University of Huddersfield, 2004.
  7. Shoghi, K., Barrans, S. M. and Rao, H. V., "Stress in V-section Band Clamps," Proceedings of the Institute of Mechanical Engineering Part C, Journal of Mechanical Engineering Science, Vol. 218, No. 3, pp. 251-261, 2004.
  8. Shoghi, K., Barrans, S. M. and Ramasamy, P., "Axial Load Capacity of V-section Band Clamp Joints," 8th International Conference on Turbochargers and Turbocharging (London), pp. 273-285, 2006.
  9. Shigley, J. E., "Mechanical Engineering Design," McGraw-Hill, pp. 400-403, 2008.