

中間リングを用いたセラミックスと金属の
しまりばめにおける高温強度の研究

正 新田 勇 (新潟大)
正 下田 茂 (新潟大)
正 加藤 康司 (東北大)

学 ※木越 健二 (新潟大院)
正 石橋 達弥 (新潟大)

1. 緒言

セラミックスは、耐熱性、耐食性、耐摩耗性に優れ、高硬度、熱膨張係数が小さいという利点を有している。その反面、脆性、難加工性という欠点がありセラミックスを機械構造部材として使用するのに大きな障害となっている。従って高い靱性を持つ金属との複合化が必要である。(1)この複合化の方法の一つとして、簡便で低コストなしまりばめが有望と考えられる。(2)(3)しかし、セラミックスシャフトに金属リングをしまりばめた機械構造部材が高温下にさらされた場合、その熱膨張率の違いにより結合強度が低下する。

そこで高温下でも結合強度が低下しないしまりばめとして、シャフトとリングの間に分割した中間リングを挿入する方法を考案した。そして中間リングの寸法と分割数が高温強度に与える影響を実験的に検討した。

2. 理論

図1のように、セラミックスシャフトと金属リングの間に熱膨張係数の高い中間リングを挿入する。この中間リングは、数カ所で切断されている。以後はこの切れ目をスリットと呼ぶことにする。この様な組合せのしまりばめの温度上昇に伴い変化するしめしろの増減分 δ' を次式で表すことができる。(図2参照)

$$\delta' / 2 = \alpha_{in} \cdot l \cdot \Delta T - (\alpha_{out} \cdot R_2 \cdot \Delta T - \alpha_s \cdot R_1 \cdot \Delta T) \quad (1)$$

ここで、 δ' : しめしろ増減分 α : 熱膨張係数
 ΔT : 温度変化 l : $R_2 - R_1$
 添字 in: 中間リング out: 外リング
 s: セラミックス

しめしろと接触圧力の関係は、中間リング部品をある種のパネと見なすことにより次式で近似した。

$$\delta_s = 2R_1 P \frac{1 - \nu_s}{E_s} + 2R_2 P \frac{\frac{R_2^2 + R_1^2}{R_2 - R_1} + \nu_{out}}{E_{out}} + K \frac{P + P'}{2} \quad (2)$$

ここで、 δ_s : しめしろ E: ヤング率 ν : ポアソン比
 K: 定数 P, P' : 接触圧力

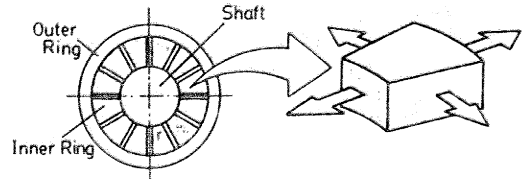


図1 中間リングの熱膨張モデル

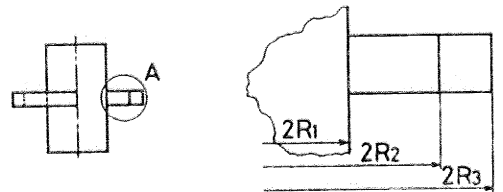


図2 しまりばめ部詳細図

3. 実験

各温度でセラミックスシャフトに軸方向荷重を加え、中間リングとの間に滑りが生じたときの荷重を測定した。その荷重を見掛けの接触面積で割ることによりせん断強度とした。実験温度の範囲は室温から600°Cまでとした。せん断強度は約50°Cおきに測定した。試験片寸法は式(2)から予想して、せん断強度が温度上昇により一定・増加・減少となるように決めた。表1に試験片の材料特性を示す。

表1 材料特性

	Young's modulus (MPa)	Poisson's ratio	Coeff. of thermal Expansion
Al ₂ O ₃	3.14×10 ⁵	0.235	7.6×10 ⁻⁶
S45C	203×10 ⁵	0.30	11.0×10 ⁻⁶
SUS403	200×10 ⁵	0.30	11.7×10 ⁻⁶
SUS304	1.93×10 ⁵	0.30	18.8×10 ⁻⁶

4. 実験結果及び考察

4-1 中間リングのスリット数について 中間リングのスリット数は、多くなるにつれて式(2)で近似した

状態に近づく。しかし、スリット数の少ない方がしまりばめは簡便である。スリット数1のときは応力集中のためセラミックシャフトにき裂が生じた。スリット数2のときはシャフトの挿入が困難であった。スリット数3,6のとき、図3に示すようにほぼ同じ結果が得られたので、これ以降はスリット数3で実験を行った。

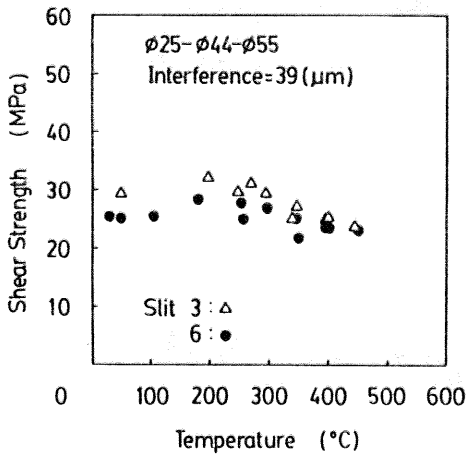


図3 中間リングのスリット数とせん断強度の比較

4-2 試験片寸法とせん断強度の関係 図4は中間リングにSUS304、外リングにSUS403を用いた場合の温度変化に伴うせん断強度の変化を、試験片サイズ別に表したグラフである。温度変化によるせん断強度がそれぞれ、増加・一定・減少の傾向がみられる。これは式(2)で予想した結果に一致する。

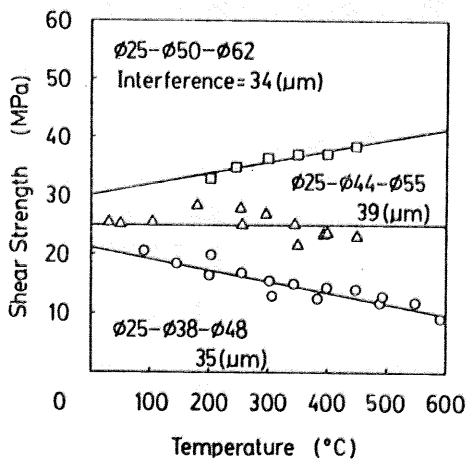


図4 試験片寸法とせん断強度の関係

4-3 試験片材質とせん断強度の関係 図5はSUS403とS45Cの2種類の外リングについて、せん断強度を比較したものである。S45Cを用いた試験片は、SUS403に比べせん断強度の著しい低下がみられる。これは、S45Cの熱膨張係数が高温で著しく上昇することと、ヤング率が高温で低下するためである。従って、S45Cのような高温耐熱性のない材料を外リングに使用すると、中間リングの寸法が大きくなり使用できる範囲が限定される。また、室温の物性値を用いて結合強度を予測することは危険である。

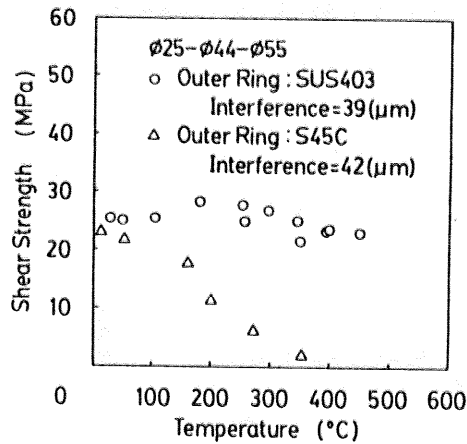


図5 試験片の材質とせん断強度の関係

5. 結 言

高温下でも結合強度が低下しないしまりばめとして、分割した中間リングを用いる方法を考案し、実験的に検討を行い以下の結論が得られた。

(1) 中間リングのスリット数が1のときは、応力集中のためセラミックシャフトにき裂が生じた。スリット数が2のときは、シャフトの挿入が困難であった。スリット数が3,6のときは、しまりばめせん断強度はほぼ同じであった。従って、このようなしまりばめではその簡便さからスリット数3が、望ましいといえる。

(2) スリットを入れた中間リングを用いることにより、高温下でのしまりばめ結合強度の低下は防ぐことができ、高温強度は試験片の寸法により予測することができる。

参考文献

- (1) 遠水 溶接学会誌, 55-8(1986)
- (2) 新田 他3名 機械学会論文集 52-481(1986)
- (3) 新田 他3名 機械学会論文集 53-487(1987)