

629 熱衝撃下の熱応力に及ぼす材料微視組織の影響

Effects of the microstructures in a material on the thermal stresses induced by thermal shock

○正 柴田 博司 (富山商船高専) 正 石原 外美 (富山大)
正 五嶋 孝仁 (富山大)

Hiroshi SHIBATA*, Sotomi ISHIHARA**, Takahito GOSHIMA**

*Toyama National College of Maritime Technology, Toyama 933, Japan

**Faculty of Engineering, Toyama University, Toyama 930, Japan

Effects of the microstructures in a material on the thermal stress during thermal-shock were analyzed using a triangular spring-lattice model which was originally proposed by Sridhar et al. to analyze thermal contraction induced microcracking in single-phase ceramics. In the present study, maximum energies in a spring-lattice model were simulated for modified multi-phase polycrystalline materials with different microstructures. The simulations were carried out for variations of grain size, aspect ratio, and of physical properties of surrounding structures in the multi-phase polycrystalline structure which was observed in cermets. The results show that reductions of thermal stress were predicted by the changes of the geometry of grains and physical properties of surrounding structures.

Key Words: Thermal Shock, Simulation, Thermal stresses, Microstructure

1. 緒言

熱衝撃が硬脆材料に加わるとき、材料の内部に微小き裂が発生し、材料の最終破壊挙動に大きく影響することが予測される。著者らは、繰返し熱衝撃実験を超硬合金とサーメットに対して行い、その微小き裂の発生挙動に関する実験結果が微視組織構造に基づいた解析モデルによるシミュレーション結果と良く一致することを示した。

本報告では、同シミュレーション手法を用いて、結晶粒形状およびサーメットをモデル化した微視組織構造の物理的特性変化に対する解析を行い、熱衝撃緩和条件に関して検討する。

2. 熱衝撃シミュレーション

2.1 2次元多相多結晶微視組織力学モデル 多相多結晶材料の熱衝撃において、熱収縮あるいは熱膨張により各結晶粒に発生する微視的熱ひずみエネルギーは、巨視的き裂の発生に大きく影響することが予測される。シミュレーションに際して、Fig.1 に示すような弾性バネからなる三角格子モデルを用いたSridharらの手法を拡張し、単相多結晶材料から多相多結晶材料を取り扱えるようにした。シミュレーション手順は、熱衝撃の負荷として、格子点を連結しているバネに熱膨張あるいは熱収縮を与える。この際、格子バネに蓄えられる弾性エネルギーは、引張りと曲

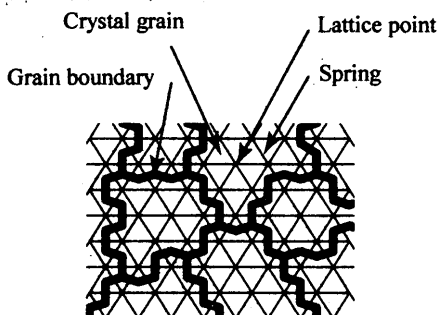


Fig.1 Microstructure mapped onto a triangular lattice of brittle, linear elastic springs.

げエネルギーの和として、システムの弾性エネルギーの総和が最小となるように各格子点を移動させて収束条件を定めることにより決定した。システムの平衡位置を計算後に、最大弾性エネルギーが発生しているバネを求め、そのエネルギーを微視構造に基づく熱応力の評価値とした。

3. シミュレーション結果と考察

3.1 結晶粒形状の影響 微視構造パラメータとして、まず単相多結晶材料のモデルを用いて結晶粒形状の影響を調べた。その結果、結晶粒径が増大するにつれて最大エネルギーは減少することがわかった。微視構造内における最大エネルギーの減少は微視構造に起因する微視割れが発生しにくくなることを意味する。また、結晶粒のアスペクト比を変化させて結晶粒形状の異方性の影響を調べた結果では、異方性が少ないほど最大エネルギーが低下し、熱応力が緩和される結果が得られた。

3.2 多相多結晶モデルにおける微視構造の影響 耐熱衝撃性に優れたサーメットの微視構造をモデルとして、多相多結晶材料の熱応力の緩和条件について検討した。サーメットは、Fig.2 に示すように硬質相 (TiCN) が周辺組織 (Ti, W, Ta, Mo) で囲まれているような有芯構造を有する。周辺組織は硬質相と結合相の間の傾斜材料の役割を果

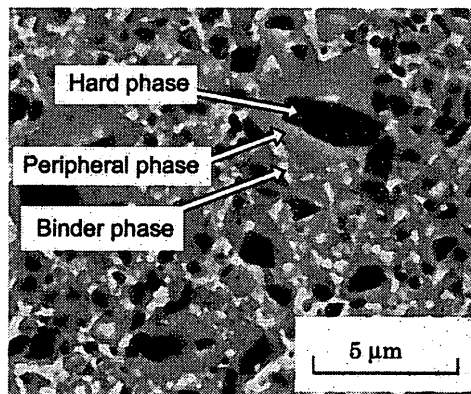


Fig.2 SEM photographs illustrating microstructures of the cermet.

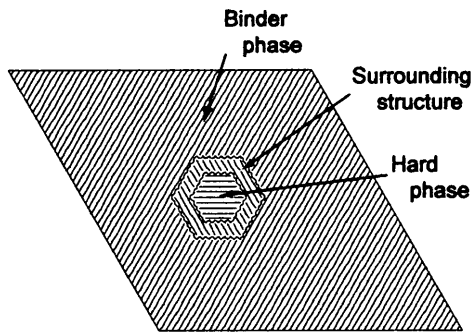


Fig.3 A simulation model of the microstructure in cermet.

たす。本シミュレーションにおいては、Fig.3 に示すようにサーメットの微視構造をモデル化して、周辺組織の形状および物性値を変化させ、周辺組織が熱応力の緩和に及ぼす影響について解析を行った。

Fig.4 は周辺組織の厚さを変化させた場合のバネの局部的最大エネルギーを示している。周辺組織厚さは、中心部の硬質相の粒径を用いて無次元化している。図より、周辺組織の厚さが増大するに伴い、最大エネルギーは低下することが解る。すなわち、サーメットの硬質相を取り巻く周辺組織が、熱衝撃による発生エネルギーを緩和し、微視割れの発生を抑制することが推測される。

Fig.5 は周辺組織のヤング率と最大エネルギーとの関係を示している。周辺組織のヤング率は図中の式で示したように、硬質相のヤング率と結合相のヤング率の比率として示してある。図によれば、周辺組織のヤング率が相対的に低いヤング率を有する結合相の値に近づくほど最大エネルギーが小さくなる。すなわち、周辺組織のヤング率の低下は、熱衝撃による微視割れ強度を高めることが推測される。

最後に、周辺組織の線膨張係数が最大エネルギーに及ぼす影響を Fig. 6 に示す。線膨張係数は硬質相と結合相の中間的比率として図中に示した式で定義してある。図によれば、最大エネルギーを極小にする周辺組織の線膨張係数の値が存在し、硬質相と結合相の中間から少し硬質相よりある場合が熱応力を緩和することがわかる。また、このとき線膨張係数が硬質相のものに近くなると、最大エネルギーが発生するバネの位置は結合相に近くなり、逆に、線膨

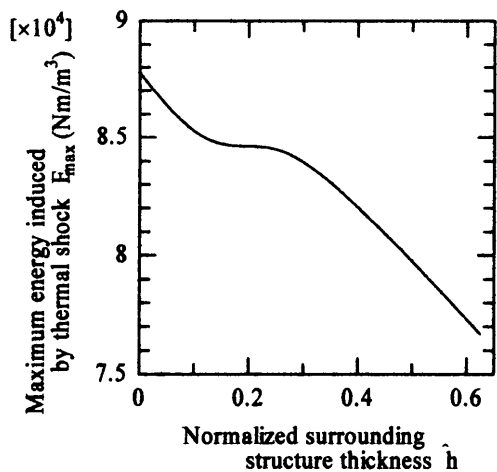


Fig.4 Effects of thickness of surrounding structure on the maximum energy induced by thermal shock.

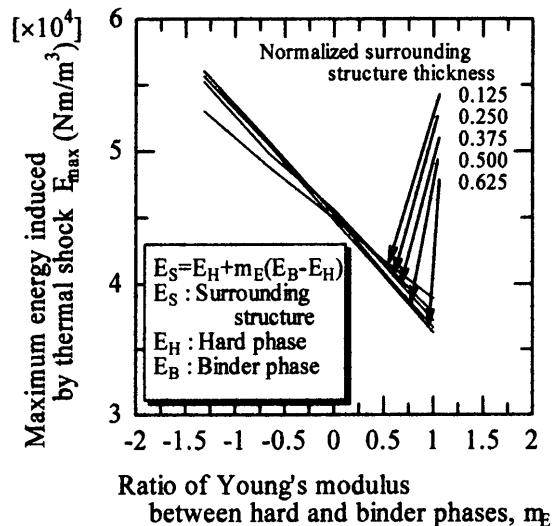


Fig.5 Effects of Young's modulus of surrounding structure on the maximum energy induced by thermal shock.

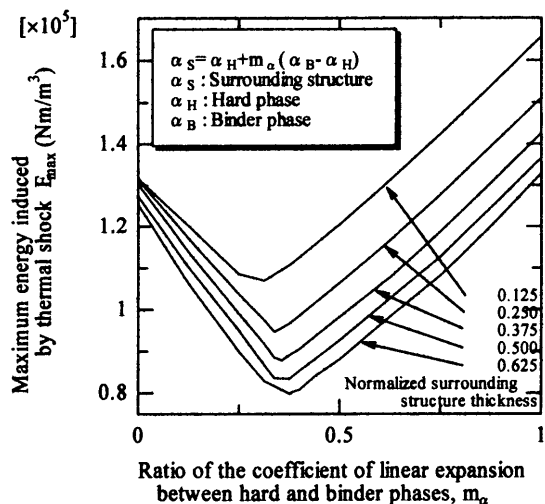


Fig.6 Effects of ration of linear expansion of surrounding structure on the maximum energy induced by thermal shock.

張係数が結合相のものに近くなると、最大エネルギーが発生するバネの位置は硬質相に近くなった。最大エネルギーの発生位置は材料の微視構造に起因する微視割れの発生位置に対応すると考えられるため、線膨張係数の変化が微視割れの発生起点に変化をもたらすことが予測される。

4. 結言

(1) スプリングー格子を用いた熱衝撃シミュレーションにより、結晶微視構造の形状が局部的最大エネルギーに及ぼす影響を評価した。その結果、結晶粒径が増大し、アスペクト比が減少するほど最大エネルギーは減少し、熱応力を緩和する。

(2) サーメットをモデル化した多相多結晶構造に対して熱衝撃シミュレーションを行った結果、周辺組織の厚さの増大あるいはヤング率の低下が熱応力の緩和に大きな影響を及ぼす。また、周辺組織の線膨張係数が硬質相の値に近い場合に最大エネルギーの極小値が存在する。

参考文献略