

11章 問題解答

予習

①Fe, ②Ni, ③Co, ④高融点, ⑤低親和力, ⑥高延性, ⑦同族, ⑧原子量, ⑨Fe, ⑩Ni, ⑪Co

演習問題 A

11-A1

(1) 高温強度維持, (2) 酸素固溶量が少なく, 高温で不安定化合物を形成しない, (3) 常温の延性, (4) 経済性の上から Fe, Ni, Co が選ばれる。いずれも純金属の状態では耐熱材料として使用はできない。添加元素の選定と添加量の最適化により, 耐熱合金の性能を向上させることができる。650°C以下では Fe を主要構成元素とした合金が耐熱合金として, 耐用温度の上昇と共に Ni, Co を主要構成元素とした合金が耐熱合金として用いられる。

11-A2

Co 基耐熱超合金は高温領域において強度低下が緩慢であり, 1050°C以上の超高温領域では Co 基合金は Ni 基合金よりも高強度を示す。さらに耐硫化腐食性も良好であるため, 熱疲労強度や耐熱衝撃性にも優れている。そのためガスタービンの静翼や燃焼器材料として比較的低負荷の条件下で適用されている。

演習問題 B

11-B1

例えば第一段ブレードの場合には, 冷却技術の改善により動翼自体の温度は 1000°C程度である。本条件で材料に要求される主な特性はクリープ強度である。次いで, エンジンの起動・停止や加速・減速によって生じる繰り返し熱応力に耐えるための低サイクル疲労強度が重要である。加えて, 振動に耐える高サイクル疲労強度や耐高温腐食・耐酸化性も重要である一方, 最前段の静翼が曝されるガス温度は最も高温で有り, ノズル自体の温度は 1100°Cにも達する。しかし, 静止部品であるから, 応力はガス圧のみなので数 10MPa である。内部冷却通路には空気が流れるので静翼の内外面間で急激な温度勾配が生じる。さらにエンジンの起動・停止, 加速・減速による繰り返し熱応力が付加される。つまり静翼材料に要求される特性は, まず耐酸化性と熱疲労強度であり, 次いでクリープ強度である。以上のような材料性能が要求されるため, 動翼には Ni 基超合金が, 静翼には Co あるいは Ni 基超合金が使用されている。

11-B2

Co 基合金では、 $(\text{Co}, \text{Ni})_3\text{Ti}$ や $(\text{Co}, \text{Ni})_3(\text{Ti}, \text{Ta})$ 組成で表される金属間化合物の析出相と Co 母相の格子定数差が大きく、熱安定性に欠けるため、本相を強化相とできない。Co 基耐熱合金の強化は、Co 母相の固溶強化と炭化物の析出強化によるものである。必要以上に合金元素を添加して最大固溶限を越えると相安定性が崩れて有害脆化相が生成し、組織・機械・表面安定特性を著しく劣化させる。Co 母相や析出相の固溶強化を十分に図るため、目的性能を達成するための元素を選定し、添加量を決定する。可能な限り合金化学を達成できる理論設計を適用して正確・迅速に組成の最適化を図る。

11-B3

均一な固溶体より成る合金組織が組織均質性であり、高温長時間の暴露後でも析出相が生成せず均質固溶体より成る合金が相安定性の良いものである。組織均質性や相安定性の良否は、機械的特性や表面安定性と密接な相関がある。相安定性が崩れると強度、伸び、耐食性などが低下する。