

D-18 軟化（過時効） (V1)

D-20 炭化物球状化

D-18-1 損傷の説明

球状化は 440℃から 760℃の範囲に暴露後、鋼のミクロ組織が変化する損傷である。炭素鋼の炭化物相は不安定で、通常、板状の形状から球状に、または 1Cr - 0.5Mo のような低合金鋼では微細に分散した小さく炭化物から大きな塊状炭化物に凝集する。球状化は強度および/または耐クリープ性を低下させる。

D-18-2 影響を受ける材料

炭素鋼のすべてのグレードならびに 1Cr - 0.5Mo、1.25Cr - 0.5Mo、2.25Cr - 1Mo、3Cr - 1Mo、5Cr - 0.5Mo および 9Cr - 1Mo を含む低合金鋼。

D-18-3 重要な因子

- a) 金属の化学成分、ミクロ組織、暴露時間および温度が重要な因子である。
- b) 球状化の速度は温度と初期ミクロ組織に依存する。球状化は 552℃では数時間で生じるが、454℃では数年かかる。
- c) 焼なまし鋼は焼準鋼よりも耐球状化が優れている。粗粒鋼は微細化鋼よりも耐性がある。微細なシリコンキルド鋼はアルミニウムキルド鋼よりも抵抗がある。

D-18-4 影響を受ける設備または装置

- a) 球状化は 454℃以上の温度に暴露された後、配管や装置において生じる。強度損失は約 30%程度であるが、非常に高い負荷応力で応力集中部分または他の損傷メカニズムとの組み合わせを除いて、破壊は起こりえない。
- b) 強度の低下は通常、延性の増加を伴い、応力集中部に変形が生じる。
- c) 球状化は FCC、キャタリストリフォーマおよびコーカ装置における高温壁配管および装置に影響を与える。ボイラーまたはプロセス装置の加熱管はクリープ強度の低下に影響を与えるが、一般に球状化のために更新したり、補修することは希である。

D-18-5 損傷の様相または形態

- a) 球状化は見ることができず、または外見で分かるようなものではなく、金属組織学によってのみ観察できる。パーライト相は部分的から全体的に球状化する時間依存的な変態である。（図 1 および図 2）
- b) 5～9CrMo 合金の場合は、球状化は初めに微細分散した形態から大きな塊状へ

の炭化物の変態プロセスを示す。

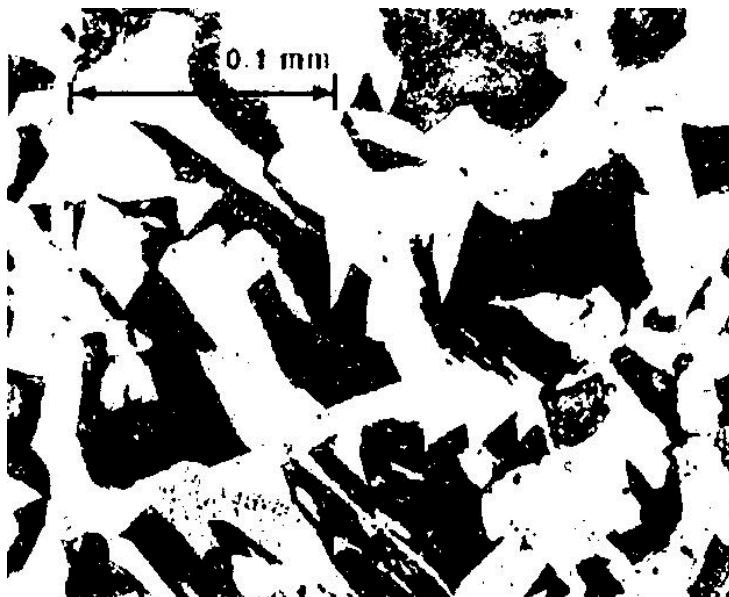


図1 炭素鋼の代表的なフェライト・パーライト組織を示す金属組織試験片の高倍率ミクロ写真

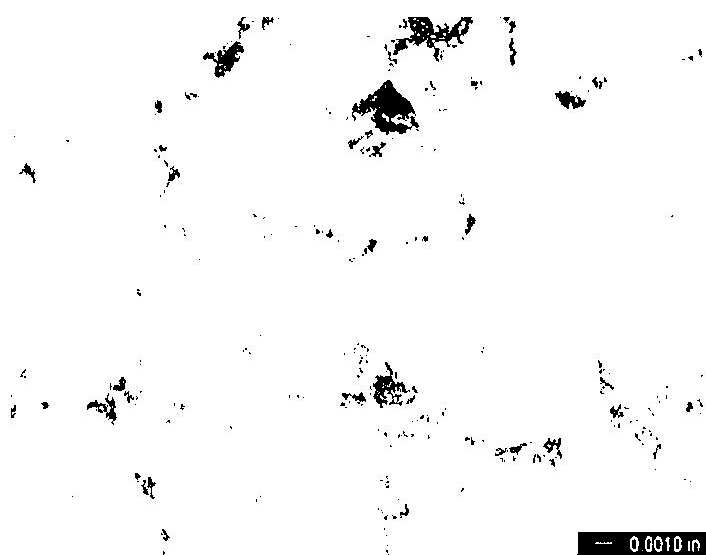


図2 球状化炭化物を示す金属組織試験片の高倍率ミクロ写真

D-18-6 防止／軽減化

球状化は高温での長時間暴露を最小化すること以外に防止できない。

D-18-7 検査とモニタリング

球状化の検査は現場での金属組織観察、または金属組織観察のためにサンプルを切り出す以外にない。引張強さおよび/または硬さの低下は球状化ミクロ組織を示す徴候と思われる。

D-18-8 関連するメカニズム

- a) 黒鉛化に密接に関連している。(D-09 参照)
- b) 球状化と黒鉛化は重なる温度範囲において生じる競合的なメカニズムである。552℃以上では黒鉛化は球状化の後に生じる。552℃以下では黒鉛化は鋼が完全に球状化する前に生じる。

D-18-9 参考文献

1. ASM Metal Handbook, “Properties and Selection: Iron, Steel and High Performance Alloys,” Volume 1、ASM International Material Park,
2. D.N. French, ”Microstructural Degradation, ”The National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors, [http:// www national board com](http://www.nationalboard.com). June 2001.
3. R.D. Port, “Non-Weld Related Graphitization Failures, “CORROSION / 89, Paper #248, Houston, TX, NACE 1989.