

D-19 シグマ相とカイ相脆化

1. 概要

ステンレス鋼や耐熱鋼が高温に曝されると、シグマ相 (σ) とともにカイ相 (χ) が析出される。 σ 相と χ 相はいずれもきわめてぜい弱な金属間化合物であり、これらの相の析出により材料の靱性が低下する。

2. 損傷を受ける材料

ステンレス鋼、 耐熱合金

3. 損傷機構、事例

ステンレス鋼や耐熱合金が高温に曝されると、各温度域で各化合物が析出する。600℃以上の高温に曝されるとシグマ相 (σ) とともにカイ相 (χ) が析出される。 σ 相と χ 相はきわめてぜい弱な金属間化合物であり、これらの相の析出により靱性が低下する。これらの相の析出温度域、析出速度は合金の種類・組成によって異なる。

なお、シグマ相脆化に関しては「D-13」ですでに説明してある。「D-19」では、シグマ相とカイ相の析出による脆化現象であるが、シグマ相脆化に関しては、「D-13」と同じで、詳細は「D-13」を参照されたい。

一例として二相ステンレス (2205) における各種化合物の析出温度・時間曲線と、3種の二相ステンレス (2205、2304、2507) のシグマ相とカイ相の析出する温度・時間曲線を図1に比較する。

ここで、各鋼種の主な組成は以下の通りである。

2205 : Cr:22~23、Ni: 4.5~6.5、Mo:3.0~3.5

2304 : Cr:21.5~24.5、Ni: 3.0~5.5、Mo:0.05~0.6

2507 : Cr:24~26、Ni:6.0~8.0、Mo:3.0~5.0

シグマ相とカイ相の析出温度域は炭化物や窒化物より高温側にあり、また、析出温度域、析出速度は鋼種によって異なり、クロム、ニッケル、モリブデン濃度が濃い材料で、シグマ相とカイ相がより析出しやすい。

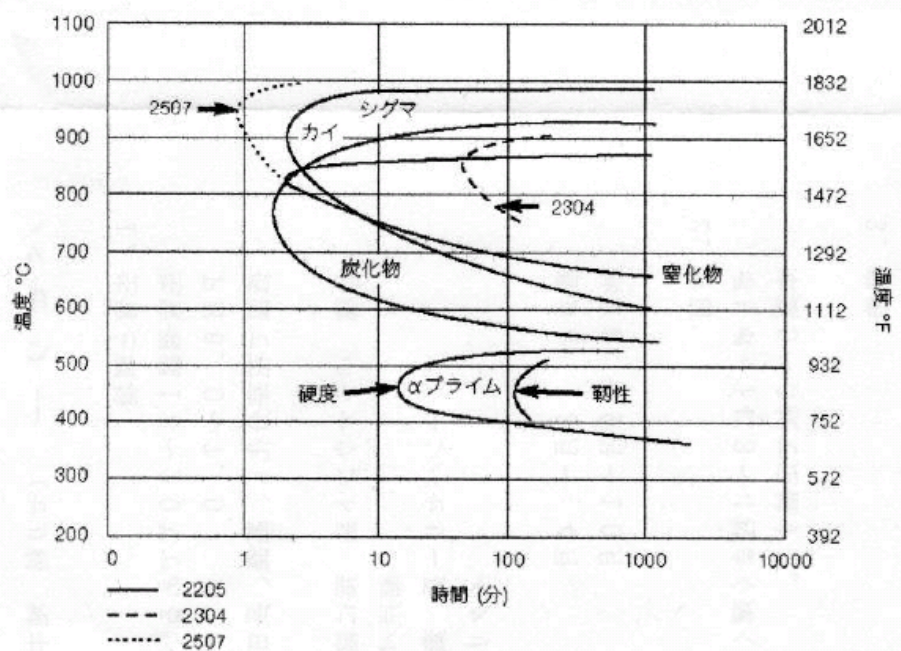


図 1. シグマ相、カイ相の析出温度・時間曲線の一例¹⁾
(2205 鋼、2304 鋼、2507 鋼)

χ 相の析出は、Mo を含有するオーステナイト系ステンレス鋼 (316 鋼、317 鋼)、チタンあるいはニオブを含有するオーステナイト系ステンレス鋼 329 鋼、347 鋼でも見出されている。446 鋼 (27%Cr-1.6Mo-Fe) 等でも見出されている。Mo、W、Ti などの添加により析出されやすくなる。

図 2 に Cr-Mo-Fe 三元系の状態図を示すが、 χ 相の化学組成は $\text{Fe}_{36}\text{Cr}_{12}\text{Mo}_{10}$ と推定されている。 σ 相とは種々の性質が類似しており、普通の化学腐食剤ではこの両者の区別はむずかしい。

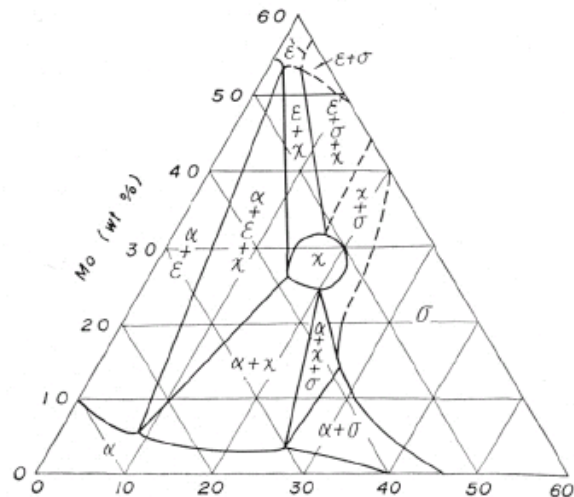


図 2. 816°Cにおける Cr-Mo-Fe 三元系の状態図²⁾

図 3、図 4 に、19Cr-4Mo-14Ni 鋼、27Cr-1.6Mo 鋼の χ 相析出例を示す。



図 3 . 19Cr-4Mo-14Ni 鋼 :
1093℃溶体化、538℃×100h
;粒界、粒内に χ 相が析出²⁾

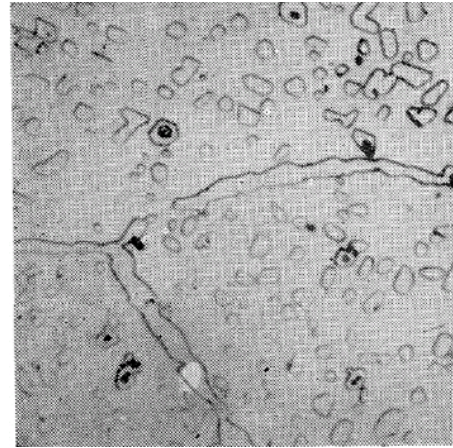


図 3 . 27Cr-1.6Mo 鋼に析出した χ 相²⁾

4. 対策

クロム濃度、Mo 濃度が高く、シグマ相とカイ相が析出しやすいステンレス鋼や耐熱合金を使用する場合は、過度な高温長時間の熱処理や使用を避ける必要がある。

5. 参考文献

- 1) 二相ステンレス鋼加工マニュアル
- 2) 今井勇之進: オーステナイト系耐熱合金に表れる析出相およびその役割 (1)