

# 高純度Fe-Cr-Ni合金の溶接熱影響部における材料硬化に及ぼす添加元素の影響

## 背景

沸騰水型原子炉では、溶接で硬化した溶接熱影響部（以下、HAZ）における応力腐食割れ（以下、SCC）によって、機器の損傷が顕在化しており、HAZのSCC特性について様々な観点で研究が行われている。SCC特性を評価する上でHAZの硬さは重要な材料因子の一つと考えられているが、HAZで材料が硬化するメカニズムについては不明な点が多い。当所では、これまでにHAZの硬化に対して、溶接による塑性ひずみの他に、オーステナイト系ステンレス鋼の高温変形挙動の一つである動的ひずみ時効<sup>[注1]</sup>が寄与する可能性を示した。化学組成の異なる様々な溶接継手でHAZの硬化量に差違が報告されつつあるが、HAZの硬化に及ぼす元素の種類や添加量の影響は不明であり、これらの影響を明らかにするためには、介在物、析出物や成分の偏析などの金属組織の変化を極力抑えることができる高純度Fe-Cr-Ni合金を用いて、対象とする元素を単独添加することで、各種元素の影響を評価する必要がある。

## 目的

高純度Fe-Cr-Ni合金におけるHAZの硬化に及ぼす各種元素の影響を明らかにする。

## 主な成果

高純度Fe-18Cr-(14,16)Ni合金およびC,N,P,S,SiおよびMoを単独添加した高純度合金の隅肉溶接継手を作製し、HAZの硬さ分布を比較検討し、以下を明らかにした。

### 1. HAZの硬化に及ぼすC,N,P,S,SiおよびMoの影響

HAZにおいて、最大硬さを比較・検討した結果（図1）SおよびSiを添加した場合、塑性ひずみに起因する材料硬化のみが認められ、動的ひずみ時効を生じるC,N,P,Moを添加した場合、塑性ひずみに起因する材料硬化の他に元素添加量に依存する材料硬化が認められた（図2、図3）。

### 2. 複合添加材への適用

元素濃度とHAZの硬化量の関係から、316Lステンレス鋼<sup>[注2]</sup>において動的ひずみ時効に起因するHAZの硬化量を算出した結果は56Hvとなった。一方、電子線後方散乱回折パターン解析手法を用いて、316Lステンレス鋼のHAZにおける塑性ひずみ量を評価した結果から、塑性ひずみによる材料硬化の他にビッカース硬さで約50Hvの材料硬化が認められた<sup>[注2]</sup>。このように、単独添加による材料硬化を積算した値は市販材で認められている塑性ひずみ以外の材料硬化量とほぼ同程度となることが明らかになった。

以上の結果から、HAZの硬化に及ぼす添加元素の影響が明らかになった。

[注 1] 溶質原子と運動転位の相互作用により、材料を引っ張った際の応力-ひずみ線図が鋸刃状の形状（セレーション）を示し、材料の加工硬化率を上昇させると共に、延性低下を引き起こす現象。  
 [注 2] 電中研研究報告（Q06011）；対象元素濃度 C；0.013%，N；0.10%，P；0.026%，Mo；2.22%（mass%）

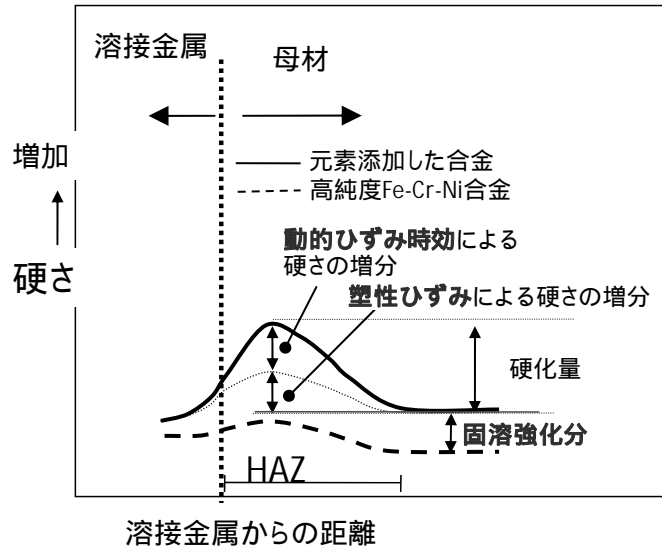


図 1 動的ひずみ時効による HAZ の硬化を示す模式図

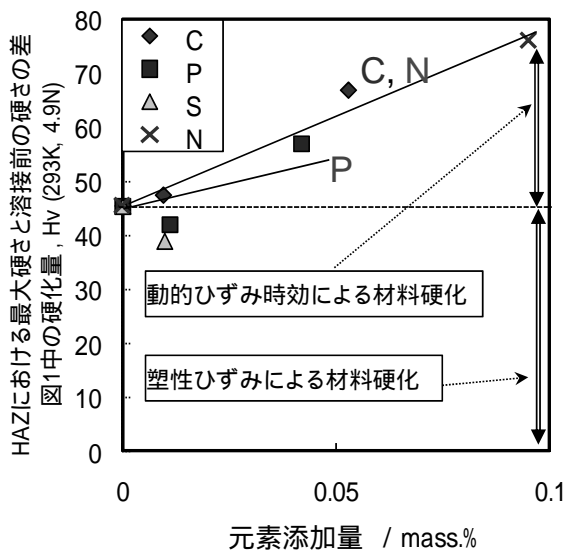


図 2 HAZ における材料硬化と添加元素濃度の関係（C,P,S,N）

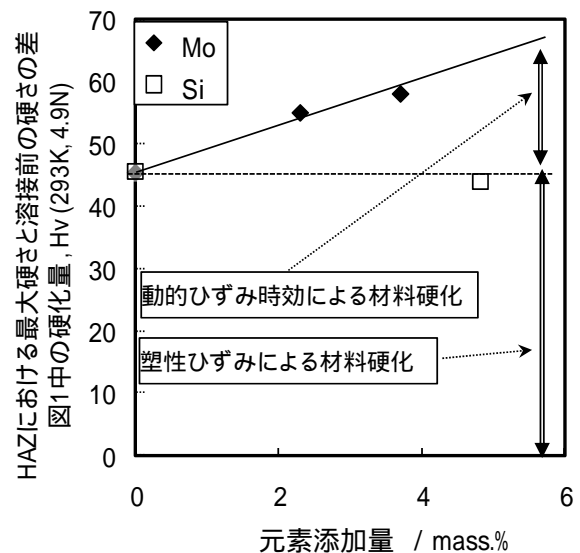


図 3 HAZ における材料硬化と添加元素濃度の関係（Mo,Si）

図 2 および 3 から、各元素添加量に依存する硬化量を最小二乗近似して求め、各元素の硬化量を単純積算した次式を用いて、複合添加材に対する適用性を調べた。

$$\Delta H_v = 369 \times (C+N) + 273 \times P + 2.73 \times Mo$$

C, N, P, Mo; C, N, P, Mo の添加量 (mass %)

研究報告 Q08021	キーワード：オーステナイト系ステンレス鋼，高純度合金，溶接熱影響部，添加元素，動的ひずみ時効
担当者	加古 謙司（材料科学研究所 原子力材料領域）
連絡先	（財）電力中央研究所 材料科学研究所 Tel. 046-856-2121(代) E-mail : msrl-rr-ml@criepi.denken.or.jp