

211 炭素鋼および合金鋼の電子ビーム溶接における硬化度の予測と溶接割れの検討

大阪大学溶接工学研究所

//

日本電子工業(株)

荒田 吉明

松田 福久

柴田 信治

○中田 一博

白川 正昭

1. 緒言

電子ビーム溶接は、溶接入熱が少なく、深い溶け込み形状を有するため、溶接後の冷却速度が極めて速くなる。したがって、炭素鋼や合金鋼など焼入れ硬化性のある材料では、溶接金属および母材が著しく硬化し、その為に溶接部の割れ感受性が増大し、機械的性質にも悪影響をおよぼすことになる。

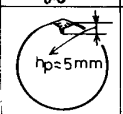
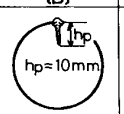
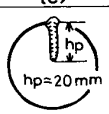
そこで、本報告では、焼入れ硬化性を有する17種の鋼材の電子ビーム溶接部の硬さと、溶接条件および予熱温度との関係を調べた。さらに、硬さのデータをもとにして、各溶接条件における溶接金属の硬さ推定式を求めると共に、冷却特性を加味した硬さ推定式を新しく実験的に確立した。また、溶接部の硬さと溶接欠陥の関係を一部明らかにし、欠陥の発生原因の考察を行なった。

2. 実験方法

本報告に使用した材料は、機械構造用炭素鋼5種、Ni-Cr合金鋼4種、Cr-Mo合金鋼2種、Ni-Cr-Mo合金鋼4種ならびに13Cr系鋼2種である。そして、その形状は直径50~55mmの丸棒を使用した。

溶接は、30kV、15kWの電子ビーム溶接機を使用し、丸棒の側面を長手方向にビード溶接を行なった。溶接条件は、表1に示すように〔A〕、〔B〕および〔C〕の3条件を用い、これらの各溶接条件に対して、予熱なし(室温)、150℃および300℃の3予熱条件を採用した。試料を研磨、エッチング後、溶接線に垂直なビード断面上で、ビッカース硬度計により、硬さの測定を行なった。さらに、溶接欠陥の発生状況について、マクロ的な観察とミクロ組織の観察を行なった。

表1. 溶接条件

Welding condition		
(A)	(B)	(C)
		
30 kV 90 mA 500 mm/min	30 kV 190~200 mA 500 mm/min	30 kV 370~380 mA 500 mm/min

3. 実験結果

3-1. 溶接金属の硬さと予熱効果

予熱効果は材料によりかなり異なっており、素材の化学成分が大きく関係している。図1は炭素鋼の結果であり、予熱なしでは著しい硬化を示すが、逆に予熱効果も大きい。一方、炭素鋼以外の鋼種では、同様に著しい硬化を示すが、予熱効果は炭素鋼に比べてかなり小さい。

3-2. 従来炭素当量式による溶接金属の硬さの整理

従来から、一般にアーーク溶接部のHAZの最高硬さに対して用いられている炭素当量式($C_{eq} = C + \frac{1}{6}Mn + \frac{1}{4}Si + \frac{1}{5}Ni + \frac{1}{6}Cr + \frac{1}{4}Mo$)と硬さ測定値との関係を調べた。その結果、両者は直線関係にないことが明らかとなっ

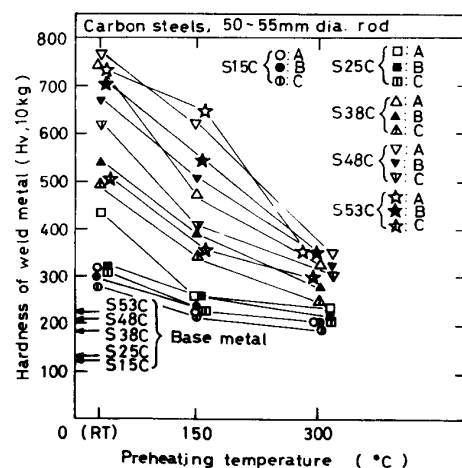


図1. 炭素鋼における溶接金属の硬さと予熱温度の関係

た。すなわち、従来のアーリ溶接の C_{eq} もそのまま電子ビーム溶接に適用するのは困難といえる。この為、新たに電子ビーム溶接に適用しうる C_{eq} を求めた。

3-3. 電子ビーム溶接に適用しうる一般的な炭素当量と硬さの推定式

まず、溶接条件ごとに適用しうる C_{eq} 、および硬さ推定式を求めた。しかし、これらは、適用範囲が極めて限られている。そこで、溶接条件のいかんにかかわらず適用しうる C_{eq} 、および硬さ推定の一般式を求めた。

一般に、溶接金属の硬さは、主に鋼の化学成分と800℃から500℃までの冷却時間(T)によって決まる。鋼の化学成分と硬さの関係は、すなわち、炭素当量と硬さの関係であり、近似的には直線関係にある。また、 T と硬さの関係は、両対数グラフ上では、ほぼ直線関係にあり、 $H_v \propto (1/T^K)$ なる近似式が成立する。ここに、 K は両対数グラフ上での直線の傾きの絶対値である。したがって、 T 、 K 、硬さ H_v は次式で表わされると仮定する。

$$\begin{cases} H_v = A \left\{ (1/T^K) \cdot C_{eq} \right\} + B & \text{但し、} A, B \text{ は定数} \\ C_{eq} = C + X_1 Mn + X_2 Si + X_3 Ni + X_4 Cr + X_5 Mo \end{cases}$$

上記の式に、測定した各種鋼種に対する135条件のデータを代入し、電子計算機により A 、 B 、 K および C_{eq} を求めた。得られた推定式は次式のようにになった。

$$\begin{cases} H_v = \left\{ (840/T^{0.22}) \cdot C_{eq} + 58 \right\} \pm 66 \\ C_{eq} = C + \frac{1}{2.4} Mn + \frac{1}{2.4} Si + \frac{1}{14} Ni + \frac{1}{16} Cr + \frac{1}{60} Mo \end{cases} \quad (1)$$

(1)式による硬さ推定値と実測値との関係を図2に示す。データの約70%は推定式の範囲内に入っている。また、図3は、すでに発表されたデータとの比較であるが、図2と同様にほぼ良好一致がみられる。すなわち、(1)式により、溶接条件および材質が与えられれば、溶接前に溶接金属の硬さともかなりの精度で予測することができるようになった。

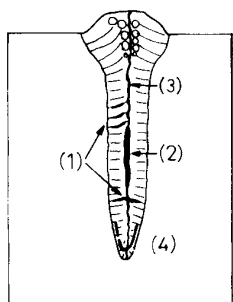


図4. 電子ビーム溶接部に発生した各種割れのスケッチ図

3-4. 溶接割れの発生とその検討

図4に本研究で観察された割れをスケッチ的に示す。(1)と(2)は顕微鏡的観察によれば、明らかな凝固割れであった。(3)は硬さが600以上で発生しており、冷間割れの一種と考えられる。(4)は融合不良の一種であり、Cold Shutと呼ばれる。

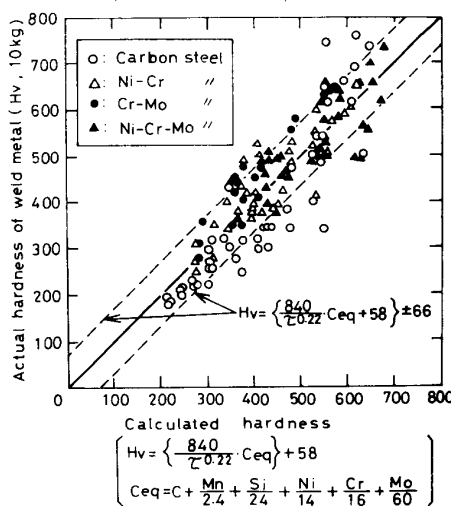


図2. (1)式による推定値と実測値との比較。

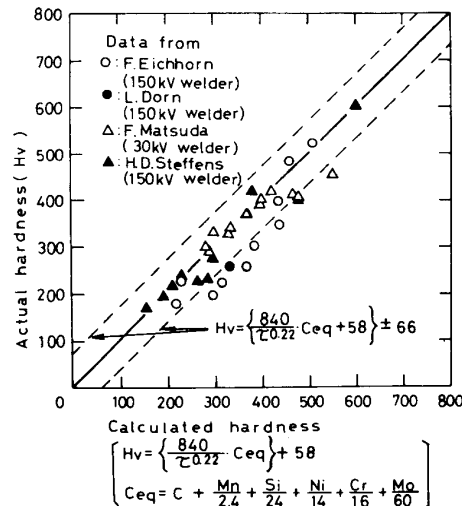


図3. (1)式による推定値とすでに発表された実測値との比較。

以上の研究について報告する。