

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：82110

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24561033

研究課題名(和文)不均質領域を持った材料における水素透過挙動の解明

研究課題名(英文)The influence of inhomogeneous region on hydrogen permeation behavior in SUS304 stainless steel

研究代表者

磯部 兼嗣 (ISOBE, kanetsugu)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・核融合研究開発部門 六ヶ所核融合研究所・研究主幹

研究者番号：00354613

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：溶接などで生じる不均質領域が水素透過挙動に与える影響を調べるため、複数箇所にTIG溶接施したSUS304ステンレス鋼試験体を用いて、523Kから673Kの温度域での重水素透過流量を測定した。その結果、不均質領域のある試験体と溶接を施していない試験体の定常透過流量はほとんど一致し、この温度領域では溶接で生じる不均質領域は定常透過流量に影響を与えないことを明らかにした。このことから、核融合炉においてSUS304ステンレス鋼で構成された機器、配管等の水素透過は、溶接による不均質領域には影響されず、これまで報告されているSUS304ステンレス鋼の水素透過を元に評価して良いことが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：In this study, the influence of inhomogeneous region introduced by welding was investigated. Three types of SUS304 stainless tube that have different number of TIG welding parts were prepared to investigate the hydrogen permeation behavior. Hydrogen permeation experiments were carried out in 523, 573, 623 and 673K and Deuterium was used as permeation gas. In each temperature, Deuterium permeation flux in steady state is almost same in each sample and there is no obvious difference in transient behavior to steady state. These results suggested that inhomogeneous region occurred by TIG welding is not influenced on the hydrogen permeation behavior in this temperature range. From the above results, it was found that inhomogeneous region occurred by TIG welding is not influenced on the hydrogen permeation behavior in SUS304 stainless steel. And permeation behavior reported so far can be applied to the evaluation even though object apparatus and plants have many welding parts.

研究分野：トリチウム工学

キーワード：水素 トリチウム 透過挙動 溶接

1. 研究開始当初の背景

材料における水素、特にトリチウムの透過挙動は、トリチウムが核融合炉の燃料として循環する系内だけでなく、配管等の透過により環境あるいは冷却水へ移行することから、安全上非常に重要な課題として精力的な研究が行われてきた。これら多数の研究は、均質な材料マトリックスにおける透過、あるいは拡散挙動の解明を主眼とし、製造過程や表面酸化膜等の影響を極力排除し研究されている。しかし、実際の材料には均質な材料マトリックスでなく、製造過程又は加工により導入された欠陥、溶接時の入熱により均質性を失った領域（不均質領域）が存在する。例えば図1に示すように、溶接の場合には入熱により溶解した材料部分だけでなく、その熱により周囲の金属組織にも不均質な領域が存在する。これらの不均質さが材料の機械的強度に及ぼす影響については多数の研究例があり、原子力施設で実施される溶接後に施す焼鈍処理等は、不均質さに由来する強度劣化を防ぐ例である。しかしながら、水素の透過挙動について、溶接や加工により生じた不均質な領域が、どの程度、またどのように影響するのかを研究した例は極めて限定されている。

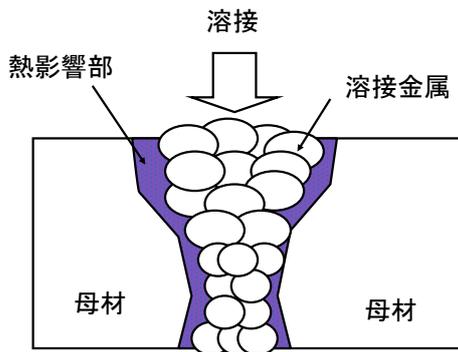


図1 溶接により生じる不均質領域の模式図

2. 研究の目的

機器や施設の製造/建設過程において、不均質領域は常に存在するため、大量の水素同位体が循環する核融合炉施設においては、その影響をあらかじめ把握することが安全上も必須である。特に母材-熱影響部間、熱影響部-溶接金属間は異なる金属組織であるため、欠陥密度が高く水素拡散のトラップとして働くことが考えられるが、その一方で界面を高速拡散経路として水素透過を助長する可能性もあり、これらを明らかにしなければ、現実の水素透過に対し著しく異なった評価を与えかねない懸念があった。そこで本研究では、電子顕微鏡観察などにより、その不均質領域の確認と評価が容易な溶接による不均質領域（熱影響領域）に着目し、商業的にも広く利用される核融合炉においても使用される金属（SUS304 ス

テンレス鋼）と溶接手法（TIG 溶接）を用いて、不均質領域が水素透過挙動に与える影響を評価することを目的とした。

3. 研究の方法

試料には片端に封を施した SUS304 ステンレス鋼管を使用した。図2に作製した試験体を示す。母材として外径 10mm、長さ 300mm、肉厚 1mm の SUS304 ステンレス鋼管を用い、溶接にて片端を封止、もう一端は装置接続のためアダプターを溶接している。この試験体の円周方向に、熱影響部の重なりが無いよう TIG 溶接を施し、その溶接箇所を図2のように追加することで、水素透過挙動への影響評価を試みた。試料としては、2箇所、11箇所及び 20箇所施工した試験体を作製した。なお、試験体製作上、管の両端2箇所の溶接が必須であるため、2箇所の試験体が最小溶接箇所数の試験体となる。

これら試験体を図3に示す実験装置で重水素透過量を測定した。この装置では、試験体内部に重水素を封入し、それを真空チャンバー内で加熱することで、チャンバー内に透過してきた重水素を四重極質量分析計で測定できる。この装置を用いて、523K、573K、623K 及び 673K に加熱した試験体内部に、0.2MPa の重水素圧となるよう常時ガス供給を施した。その後、各温度で試

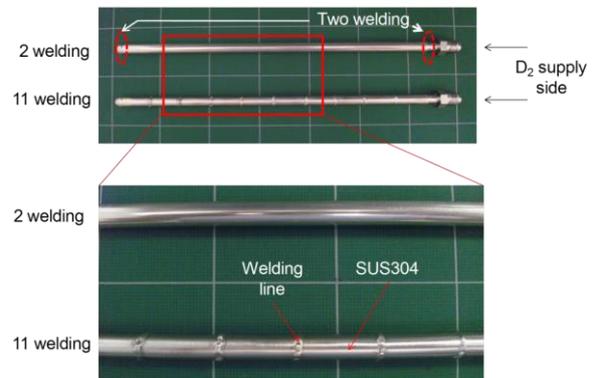


図2 試験体の外観写真

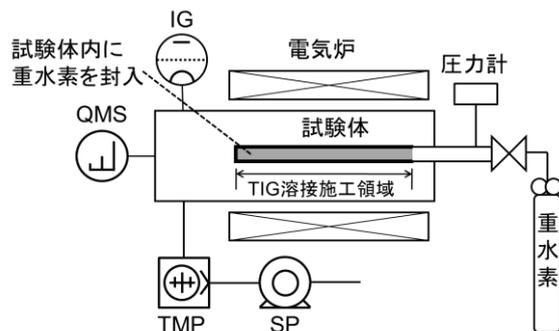


図3 重水素透過試験装置の模式図

験体内部からチャンバー側に透過してきた重水素を測定し、試験体の透過挙動を測定した。透過流量は、標準リーク源を用いて、四重極質量分析計の測定値から換算し算出した。また、試験体を切断し、断面観察も実施することで、不均質領域の状況を観察した。

#### 4. 研究成果

図4に試験体断面観察結果を示す。図4の母材及び溶接金属の下側が、管の内側に相当し、管の外側（写真上部）から溶接を施している。断面は、試験体を精密切断機で切断後、湿式研磨し、金属組織が観察できるようエッチングを施した。図4から、溶接個所の溶接が管内側まで達する十分な入熱のあった溶接であること、すなわち通常行われている溶接と同じであることを確認した。さらに熱影響部に重なりがなく、且つ母材と溶接金属部の金属組織が異なっていることから、本研究で着目している不均質領域が導入された試験体であることが確認できた。

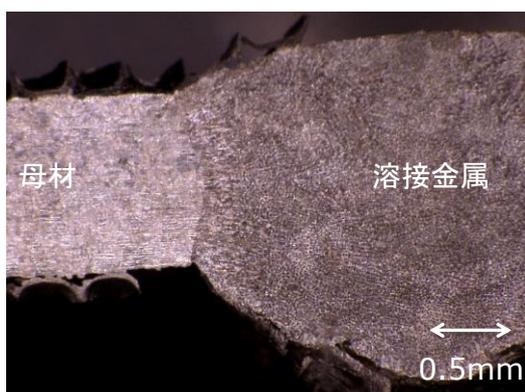


図4 溶接個所の断面観察結果

図5に、673Kにおいて重水素透過流量が定常となるまでの挙動を示す。試験開始前には、試験体内部、外部も高真空排気を実施し、排気を続けながら試験温度まで加熱保持した。その後、試験体内部に重水素ガスを供給し、この供給開始を試験開始とした。従って、図5の試験開始時に試験体により異なった透過流量から開始しているが、これは開始前の四重極質量分析計のバックグランドレベルが異なるためである。図5に示すように、いずれの試験体においても、重水素供給後6分程度経過すると、透過してきた重水素が四重極質量分析計に検出され、1時間程度で定常透過となることが分かった。また、どの試験体も、検出開始から定常となるまでの挙動やその流量もほとんど一致した。他の温度においても同様の挙動であり、溶接により導入された不均質領域が定常透過となるまでの挙動に影響を与えていないことが明らかとなった。このことは、溶接により導入された不均質領域がトラップ効果により水素の透過を妨げたり、高速拡散経路として働いていない

ことを示唆している。

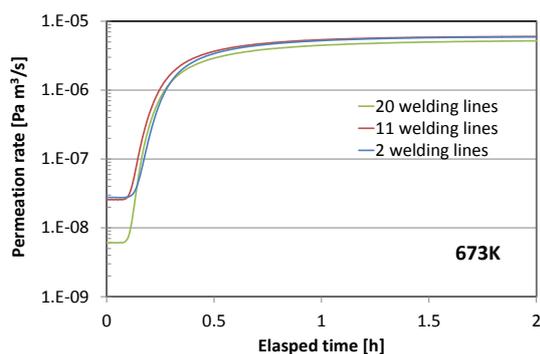


図5 定常透過流量となるまでの挙動

図6に各温度における試験体の定常透過流量の比較を示す。623K及び673Kで、各試験体とも定常透過流量はほぼ一致し、溶接による影響は見られなかった。また、523K及び573Kでは、試験体により定常透過流量にわずかな差がみられるものの、溶接個所数による系統的な差は観察されなかった。これらのことから、523Kから673Kの温度領域では溶接で生じる不均質領域は定常透過流量にほぼ影響を与えないことが明らかになった。このことは、長期的な水素透過を検討する際、溶接個所の数などを考慮する必要がないことを示唆している。

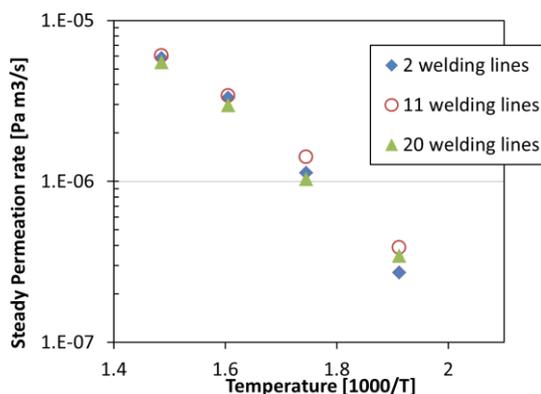


図6 各温度における重水素定常透過流量の比較

以上のことから、TIG溶接によりSUS304ステンレス鋼に導入された不均質領域は、水素の透過挙動にほとんど影響を与えていないことが明らかとなった。この成果から、核融合炉あるいは水素を貯蔵するようなプラントにおいて、SUS304ステンレス鋼で構成された機器、配管等の水素透過は、TIG溶接による不均質領域には影響されず、これまで報告されているSUS304ステンレス鋼の水素透過を元に評価して良いことが示された。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 2 件)

- ① 磯部兼嗣、林巧、「SUS304 ステンレス鋼の重水素透過におけるTIG溶接の影響」、日本原子力学会 2014 年秋の大会、2014 年 9 月 8 日、京都大学吉田キャンパス(京都府京都市)
  
- ② K. Isobe and T. Hayashi, “Effect of TIG Welding on Hydrogen Permeation in SUS304 Stainless Steel”, 10<sup>th</sup> International Conference on Tritium Science and Technology, 23 - 25 October 2013, Nice (France)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

磯部 兼嗣 (ISOBE, Kanetsugu)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・核融合研究開発部門六ヶ所核融合研究所・研究主幹

研究者番号 : 00354613