

1.4 クラッドと異材溶接

1.4.1 割れ

(1) チタンとステンレス鋼の異材溶接割れ

キーワード 異材溶接, ステンレス鋼, 割れ, ぜい化, 金属間化合物, 硬化, トランジションジョイント

事 例

内面側に海水が流れる化学プラント用機器において経済性の観点から腐食性の厳しい高温側部位にのみ純チタン板2種 TP340, 温度が十分に低下した部位にはオーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 を使用することとし, 図1に示す異材の接合部分を対象に溶接施工法確認試験を実施した。試験は図2に示すように板厚3mmの母材にI形開先加工し表1に示す溶接条件にて溶加材なしで異材溶接継手を作製した結果, 異材溶接継手の溶接金属において溶接完了直後に割れが生じた。

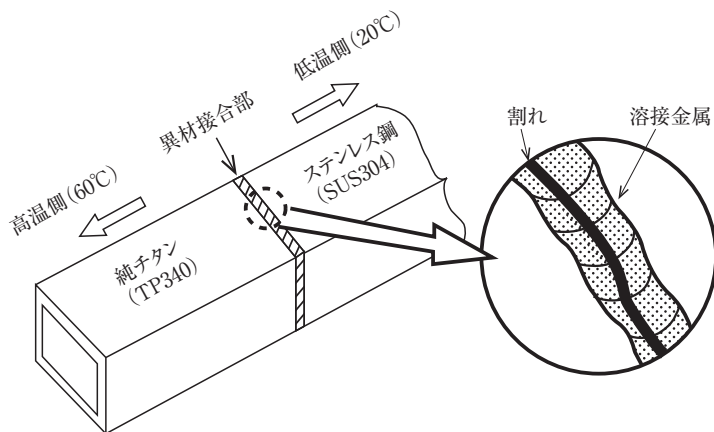


図1 プラント機器部材における純チタンとステンレス鋼の異材接合部分

図3に示すように溶接ビードの表面のステンレス鋼側の溶融境界と溶接金属内に大きな割れが生じその破面は平坦であり、ぜい性的な破断を示唆しており、またビード表面にも多数の割れが認められた。

表1 ティグ溶接条件

溶加棒	電流 (A)	電圧 (V)	溶接速度 (cm/min)	Arガス流量 (ℓ/min)		
				トーチ シールド	アフター シールド	バック シールド
なし	100	15	30	15	20	20

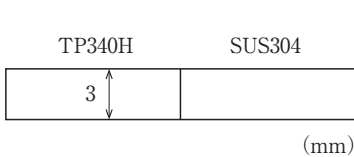


図2 開先形状

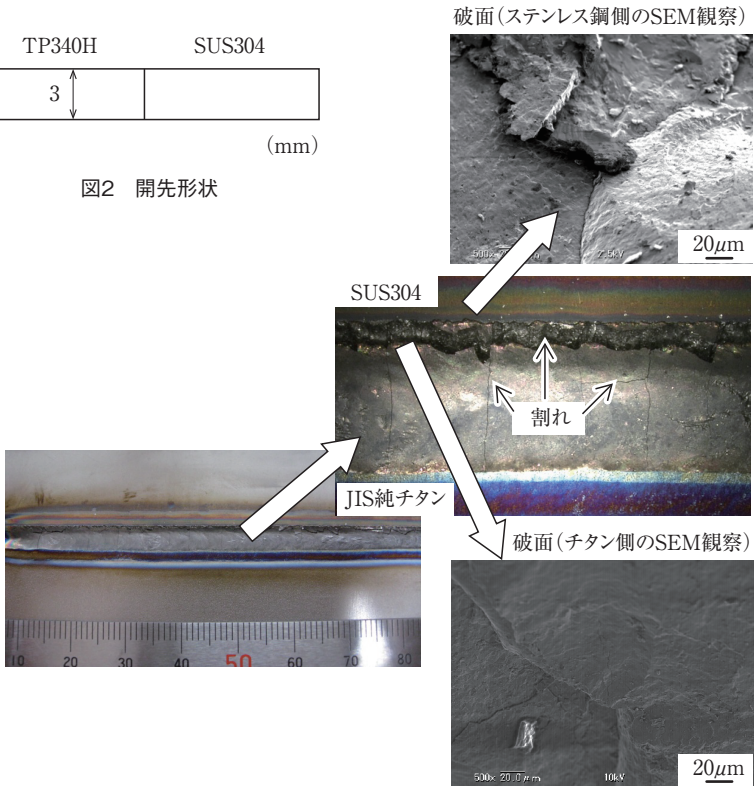


図3 溶接金属に生じた割れの例

原因

チタンとステンレス鋼が混合溶融された溶接金属(図3)は、図4に示すようにビッカース硬さ(HV)で550～830と極めて硬くなっており、この組織ができることが溶接割れの主要原因である。

TiとFeが溶融混合された際に形成されるぜい弱な金属間化合物に、溶接の冷却過程での収縮応力が作用して割れが生じたものと考えられる。Ti-Fe系状態図からは、極めてぜい弱なことが知られている金属間化合物TiFe、TiFe₂が広い温度範囲で存在することが確認された。チタンとステンレス鋼とが溶融混合した溶接金属にはこれらの金属間化合物が容易に生じうる[基礎編3.7.1項参照]。ステンレス鋼の主要構成元素であるNi、CrとTiすなわちTi-Ni系、Ti-Cr系についても同様のことがいえる。

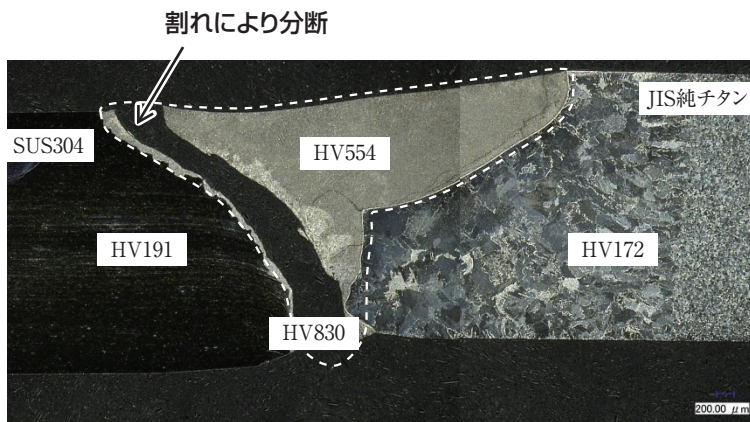


図4 溶接金属のミクロ組織とビッカース硬さ

対策

割れ防止には金属間化合物を形成させないこと、すなわちチタンとステンレス鋼を溶融混合させないことが重要である。例えば、熱間圧延を用いた接合[基礎編3.7.2項参照]や爆発圧接[基礎編3.7.3項参照]などの固相接合によりチタン／ステンレス鋼があらかじめ接合されたいわゆるトランジションジョイントを介して、チタンどうし、ステンレス鋼どうしをティグ溶接する方法が有効である(図5)。

固相接合においても金属間化合物が概ね $1\ \mu\text{m}$ 以下の厚さを超えないよう加熱温度、加熱時間を管理することが重要となる。Ti と Fe, Ni との固相接合においては金属間化合物は等温加熱では加熱時間の平方根に比例して成長する。その比例定数から求まる速度定数 k が実験的に求められており、それらを用いて許容される温度、時間の目安を得ることができる〔具体的な値などは基礎編 3.7.1 項図 3.31 参照〕。

固相接合以外の方法として、実用上、必要とされる強度によってはろう付け法の適用が有効な場合もある。

なお、使用される腐食環境によってはいわゆるガルバニック腐食を生ずるリスクがあるため、対策として絶縁継手を用いる場合もある。

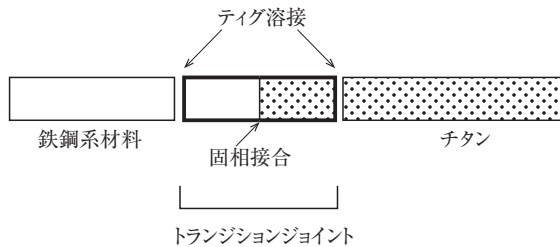


図5 トランジションジョイントを用いた異材接合方法