

工 学 院 大 学 ○ 宮 坂 勝 利

大学院 藤 川 穰

大学院 木 村 準

In situ SEM Observation of Three-point Bending Test
in Solid Phase Joint

by Katsutoshi Miyasaka, Yutaka Fujikawa and Hitoshi kimura

1. 緒言： 先に，超塑性二相ステンレス鋼 NAS64（日本冶金工業製）を通常の二相ステンレス鋼（JIS 329J1，以下SUS329と略記）でサンドウィッチした固相変形接合材をシャルピ衝撃試験した結果，吸収エネルギーと接合界面の欠陥率との間にはよい相関のあること，および，この破面観察から低い吸収エネルギーを示したもののほど比較的平坦なへき開破面が多く見られることを報告した。このように破壊機構の観察には破面観察がよく用いられるが，亀裂の動的な進展をとらえることは困難である。本報告ではこの接合界面に存在する未接合部（ボイド）を含む接合部界面の変形・破壊過程をSEM内変形装置を用いて直接観察し，この変形破壊機構を有限要素法弾塑性解析による応力状態と比較検討した。

2. 実験方法： 試験片の接合は直径19mmの被接合材（SUS329）の間に板厚 1mmのNAS64をインサートし，接合温度1373K，接合圧力 5MPa，接合時間3.6ksec，Arシールドガス中で行った。この固相接合材からFig.1に示す三点曲げ試験片を切り出しSEM観察用試験片とした。三点曲げ荷重速度は $3.3\mu\text{m}/\text{sec}$ とし，途中，適宜変形を停止し，二次電子像を写真撮影したほか，ビデオテープに記録し解析した。

3. 有限要素法弾塑性解析モデル： 解析に用いた試験片は固相接合材から切り出したものを想定し，接合後のインサート材の厚さは0.8mmとし，このインサート材の一方の接合界面にノッチ先端がくるようなシャルピ衝撃試験用VノッチJIS4号試験片相当のサイズとした。奥行きは単位長さ1mmの平面ひずみモデルとした。要素分割は切欠底近傍において0.09mmと細かくした。ボイドは線状欠陥とし，この大きさは0.16mmと実在のボイドより相当大きい。ボイドは1個の場合とボイドがクラスタ状に3個および5個連なった場合につき，それぞれボイドが切欠底近傍および試片高さの中心近傍にある場合，さらに両者の中間にある場合について解析した。

被接合材とインサート材の特性は弾一直線硬化特性で近似した。降伏はミーゼスの降伏条件により，曲げ荷重は686Nを試験片中央に加え，98N毎に解析結果の出力を求めた。用いた構造解析プログラムはMARC K5 version である。

4. SEM内その場観察結果と有限要素解析結果の関係： SEM内その場観察用の試験片の切欠底に接合界面を一致させるのは相当困難で，接合界面が $70\mu\text{m}$ 程度切欠底中心から離れているものについての観察結果をFig.2に示す。この場合，切欠底中心近傍の δ 相に先ずすべりを生じ，荷重の増加に伴い次第に接合界面にも広がる（a）。亀裂はこの接合界面の内部より始まるものが多い。この結果，V溝削りした時に $5\sim 10\mu\text{m}$ カッターによりむしり取られた部分に亀裂の進展が現れた

後、これが観察表面の界面と連結する。この時、切欠底直下のボイドは切欠中心からずれている分、切欠の開口に伴い回転し主亀裂と連結する。またボイドの回転に伴い接合界面も湾曲し、接合界面に沿って被接合材とインサート材との間に相互すべりが生じせん断的に亀裂が進むが、湾曲部を過ぎると接合界面に直角な引張りにより、概ね亀裂は接合界面に存在するボイドをたどって進展する(b)。これは亀裂先端の前方 $20\mu\text{m}$ 程度以内に存在する数 μm の大きさのボイドは亀裂の接近により口が予め広がり易いためである(c)。但し、すべり線が著しく集中した場合には、一旦はこの集中した方向に亀裂は伝播するが、すぐ元の接合界面に戻るため少しジグザグになる。これは亀裂進展の観察が表面のみのため、内部のボイドの存在の仕方の影響を受けているものと考えられる。

Fig. 5(a), (b)には欠陥数と降伏領域の関係の一例として無欠陥材と、切欠底直下に欠陥が5個クラスター状に存在する場合のものについて示す。いずれも降伏条件は被接合材の材料特性に基づいて計算した場合の例である。同図より無欠陥の場合には逆紡錘型の降伏領域を示すのに対して、欠陥材ではx方向への広がりが狭く、欠陥の数に応じた結節状に降伏している。これは各欠陥部に応力が集中することにより変形を生じ、応力緩和が生じるためと考えられる。したがって、亀裂はこれら欠陥を連結するように界面近傍を進展するものと考えられる。

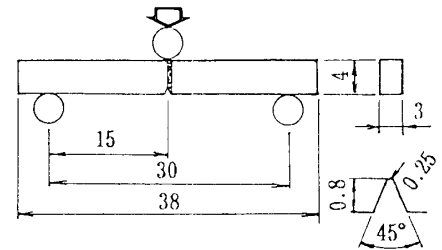


Fig.1 Specimen for in situ observation by SEM

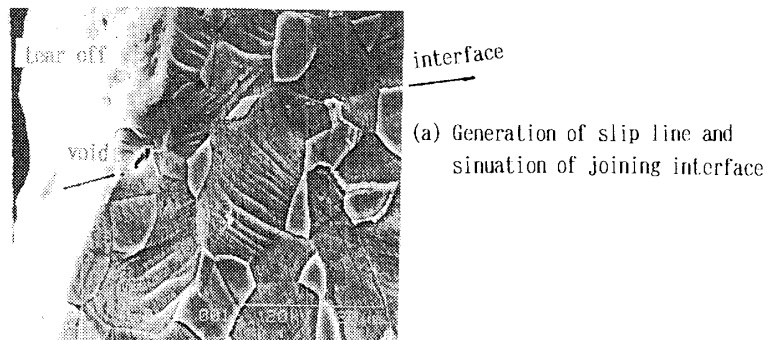
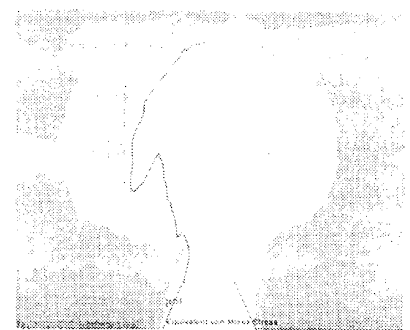
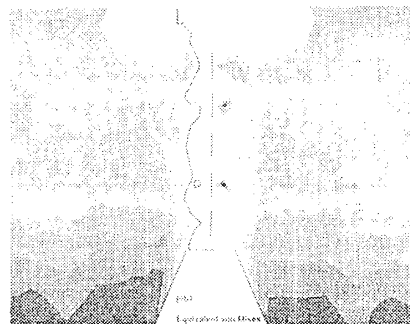


Fig.2 Sequential aspects of crack propagation



(a) Zero defect



(b) Five defects

Fig.3 Yielded region($\sigma_y=411.9\text{MPa}$)