

住友金属工業(株) 中央技術研究所

日野 谷 重 晴

大 森 靖 也

寺 崎 富 久 長

1. 結 言

鉄の水素脆性き裂の発生、成長は従来、脆性破壊の延長として検討されていたが、最近にいたり、き裂の成長にすべり変形を伴うこと、われが{110}や{112}のすべり帯の中を進展すること²⁾³⁾⁴⁾などによりいわゆるへき開破壊とは異なることが明らかにされている。しかし切欠引張を行なった場合には、き裂が{100}面に沿って成長するという報告がある⁵⁾⁶⁾。平滑引張の場合には試験片の全域にわたってかなりの量の塑性変形が生じ、その中の歪集中部で微小き裂が発生し、これが成長、連結し破壊にいたるであろう。しかしあらかじめ鋭い切欠が存在する場合には、切欠先端の比較的局所的な領域でのすべり変形によってき裂が発生、成長することが予想される。したがってこのように切欠によって応力状態と、それに関係したすべり変形の拘束状態におけるき裂の成長挙動は平滑引張の場合と異なることが考えられる。そこで純鉄単結晶より切欠引張試験片を採取し、き裂成長挙動の引張軸方位依存性を検討した。

2. 実験方法

歪焼鈍法により作製した板面が{100}の純鉄単結晶から板厚0.9mmで図1に示す切欠引張試験片を引張軸方位が<110>、<100>およびそれらの中間になるよう採取した。切欠は放電加工機によって導入し、その先端の半径は0.1mmであった。この試験片に陰極電解にて水素を添加しながら、クロスヘッドスピード0.02mm/minで引張り、き裂の成長、すべり帯の形成および破面の観察を行なった。

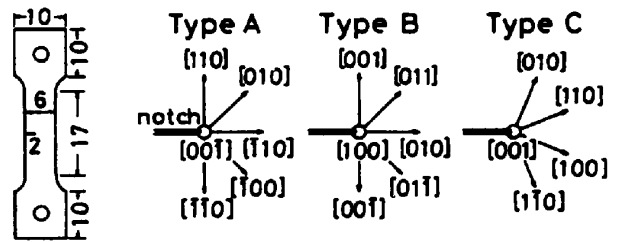


図1. 試験片の形状と結晶方位

3. 実験結果

3-1. 水素脆性き裂の観察

試験片の荷重・変位曲線を図2に示す。タイプA, B, C 試験片ともに水素脆性き裂の発生に伴ない荷重が最大となり、その後、き裂の成長にしたがって荷重が緩かに減少し、へき開破壊の発生にともなうような急激な荷重の減少はみられない。この結果はき裂がすべり変形を伴ないながら成長することを示している。

図2に示した水素チャージ引張によりき裂の発生した3種類の試験片について途中で除荷し、き裂の成長の様子を観察した。写真1は引張軸方位が<110>のタイプA試験片にみられる水

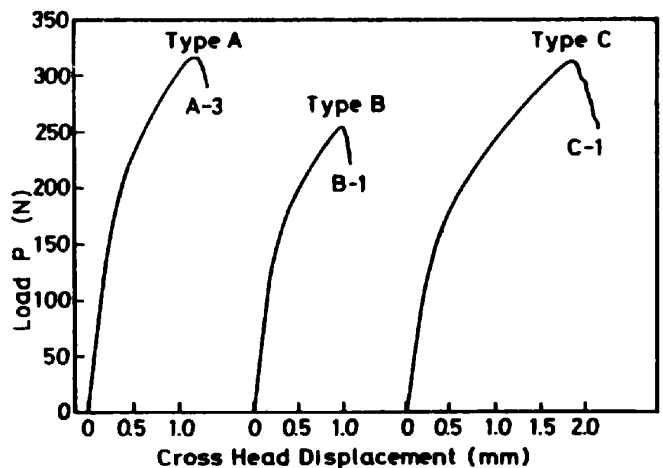


図2. 水素チャージ引張下での荷重-変位曲線

素脆性き裂を示す。き裂はほぼ引張軸に垂直に成長しているが、詳細に観察するとジグザグしており試験片の側面にすべり帯の形成に伴う著しい凹凸が観察された。

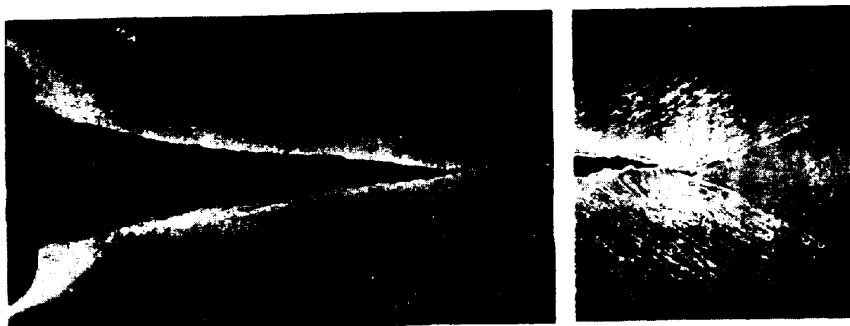


写真1. タイプA試験片(A-8)
にみられる水素脆性き裂

一方、引張軸方位が〔001〕であるタイプB試験片の水素脆性き裂は写真2のように、比較的直線的に成長し、すべり帯の形成に伴う試験片側面の凹凸も顕著でなかった。ただ水素チャージ引張を中断したとき、き裂先端にすべり帯が観察された。

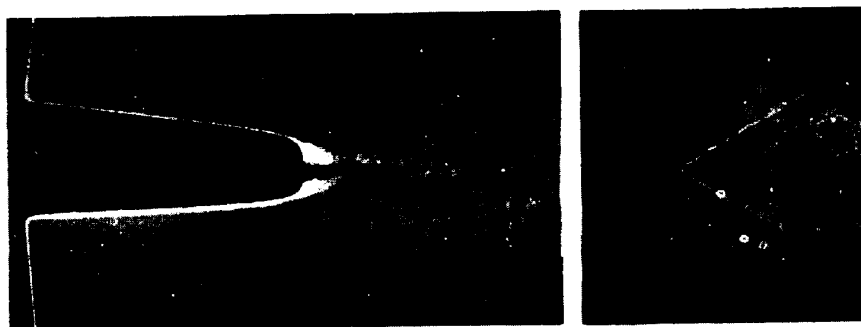


写真2. タイプB試験片(B-1)
にみられる水素脆性き裂

引張軸方位を〔110〕と〔001〕の間としたタイプC試験片の水素脆性き裂を写真3に示す。き裂はタイプAおよびタイプB試験片の場合とは異なり、方向を変えながらステップ状に成長し、側面には顕著なすべり帯の形成に伴う凹凸が観察された。

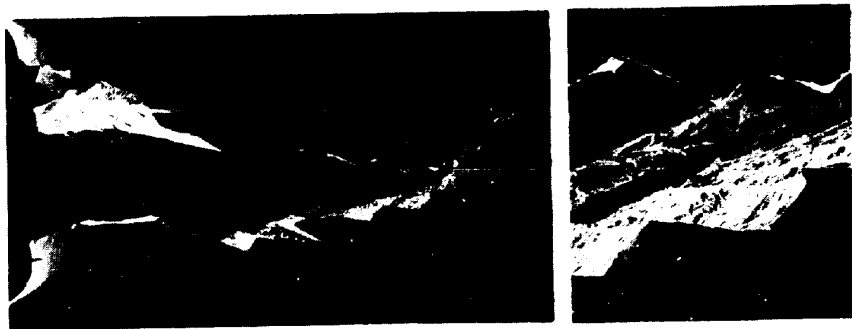


写真3. タイプC試験片(C-1)
にみられる水素脆性き裂

3-2. 水素脆性破面の観察

水素脆性き裂の成長を観察する目的で途中除荷した試験片に再度水素を陰極電解チャージし、破断まで引張り、その破面を観察した。写真4は引張軸方位が〔001〕のタイプB試験片の破面である。破面は比較的平坦で、き裂の成長に伴うネッキングもほとんどみられない。き裂の試験片側面からの観察結果と破面がほぼ側面に垂直になっている事実から破面はほぼ(001)面に沿って成長したと言える。破面の中央部には除荷に対応するき裂の停止位置を示すトレースが観察される。トレースの方向は写真4-(b)に示すようにそれぞれ $(\bar{2}10)$ 、 $(2\bar{1}0)$ に対応する。これらのトレースはすべり面の交線を示すものと考えれば、すべり面の組合せは $(\bar{1}21)$ と $(1\bar{2}1)$ および (121) と $(\bar{1}\bar{2}1)$ となる。

一方引張軸方位が〔110〕であるタイプA試験片の破面は写真5のように〔001〕引張軸方位のタイプB試験片の破面とはかなり異なった様相を呈している。また切欠より離れた部分ではネッキングが著

'83-A 150

しく生じている。切欠先端近傍の破面は側面に垂直に近いので、破面のマクロな方位はほぼ(110)と言える。この場合にも除荷に対応するき裂停止位置のトレースがみられる。引張軸方位〔001〕のタイプB試験片の場合と同様にこのトレースが{112}すべり面の交線であるとすればトレースの方向は $(\bar{1}\bar{1}3)$, $(\bar{1}\bar{1}\bar{3})$ となるが、写真5-(b)のようにかなりのずれがある。

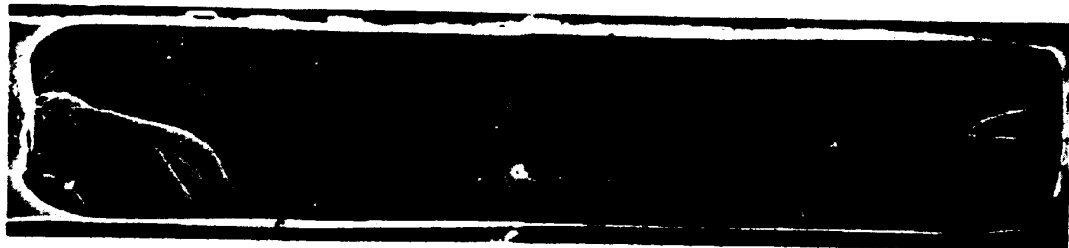


写真4.
タイプB試験片
(B-1)の水素脆性
破面

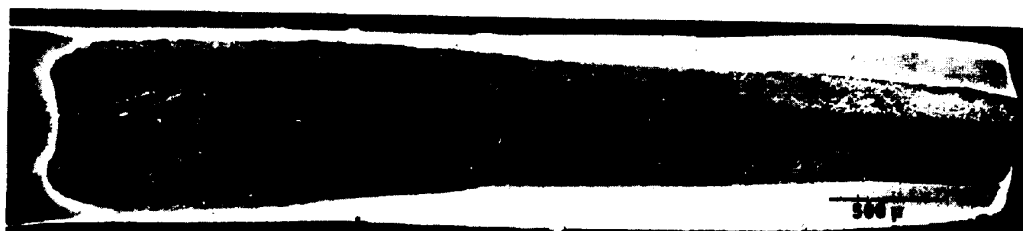


写真5.
タイプA試験片
(A-3)の水素脆性
破面



タイプC試験片の破面は写真6のように凹凸が激しく、き裂の試験片側面での観察結果に対応したステップ状の破面がみられる(写真6-a)。引張軸に対して傾斜の小さいX部では比較的平坦な破面を呈しているが、傾斜の大きいY部では凹凸が著しくなっている。

3-3. 水素脆性き裂の成長と切欠先端の開口量

引張軸方位によってき裂の成長、破面の形態が変化するとともに、切欠の開口量にも相違がみられた。この現象をより定量的に把握する目的で、タイプA、タイプB試験片について、き裂進展長さと切欠の開口量との関係を求めた。あらかじめ走査電子顕微鏡で切欠の形状を観察した試験片に水素チャージ引張と除

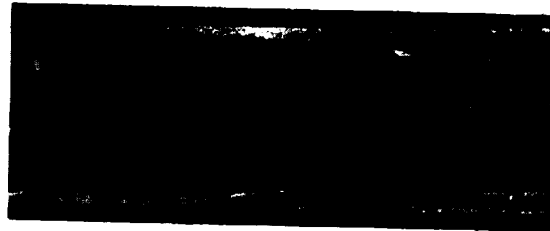


写真6.
タイプC試験片
(C-1)の水素
脆性破面

荷を繰返し、そのつど走査電子顕微鏡で観察し、き裂進展長さ a_H と切欠先端の開口量 Δ を測定した。ここで切欠先端の開口量 Δ は図3に示す方法で算出した。結果を図3に示すように引張軸方位が〔001〕であるタイプB試験片の方が引張軸方位〔110〕のタイプA試験片よりき裂成長に要する切欠先端の開口量が小さいことが解った。

4. 考察と結言

純鉄単結晶の平滑引張における水素脆性破面の引張軸方位による変化については既に報告したが²⁾、今回の切欠引張と比較して特に〔001〕引張軸において、破面の形成に相違がみられた。ともにき裂の成長にはすべり変形を伴っているが、切欠引張の場合には引張軸に垂直な(001)面に沿って平坦なき裂の成長が観察された。平滑引張のようにかなりの塑性変形が生じたのち、すべり変形帯の中に微小き裂が発生し成長する場合には、き裂進展のマクロナ方位が切欠引張と異なることも予想される。事実〔001〕引張軸方位のタイプB試験片に水素脆性き裂を発生させたのち、水素フリーの状態での引張り、き裂先端に塑性変形を与えた状態で再度水素チャージ引張を行なうと、写真7のように引張軸に垂直な主き裂の成長以外にすべり帯中に微小き裂の形成が観察された。一方、引張軸方位が〔110〕の場合に、試験片にネッキングが生じたのは、この引張軸方位が平滑引張においてネッキングが生じ易い応力軸となっていることを対応している⁷⁾。

以上述べたように鉄単結晶における水素脆性き裂の発生、成長および破面の形成は引張軸方位ばかりでなく、内在する欠陥(切欠)にも影響を受ける。しかし重要な点はき裂がすべり変形を伴って成長することであり、特に引張軸方位とそれに関係したすべりの反応による微小き裂の形成機構の解析が必要である。

(参考文献)

- 1) A.S. Tetelman and W.D. Robertson : Acta Met. 11 (1963) p.415
- 2) 寺崎富久長, 中里福和 : 遅れ破壊部会報告 (1975) p.165
- 3) F. Nakasato and I. M. Bernstein : Met. Trans. 9 (1978) p.1317
- 4) 南雲道彦, 宮本勝良 : 日本金属学会誌, 45 (1981) p.1309
- 5) 北島一徳 : 遅れ破壊部会報告 (1975) p.35
- 6) H. Vehoff, W. Rothe and P. Neumann : ICF 5, Cannes France (1981) p.265
- 7) F. Terasaki : Acta Met. 15 (1967) p.1057

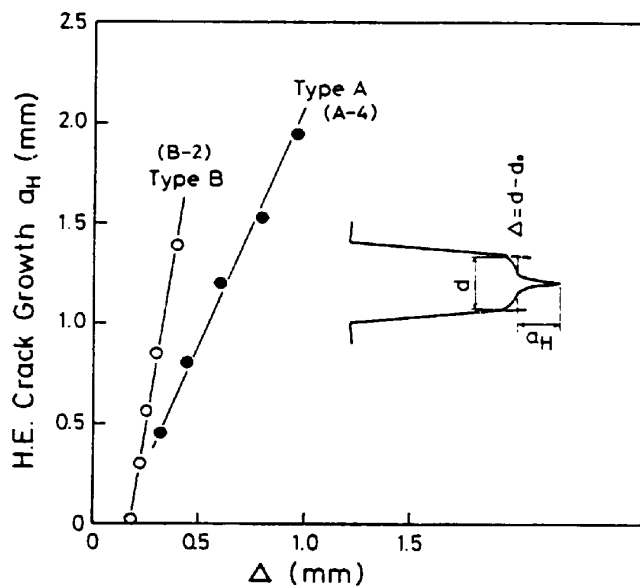


図3. タイプA, B試験片の切欠先端の開口量とき裂成長長さの関係

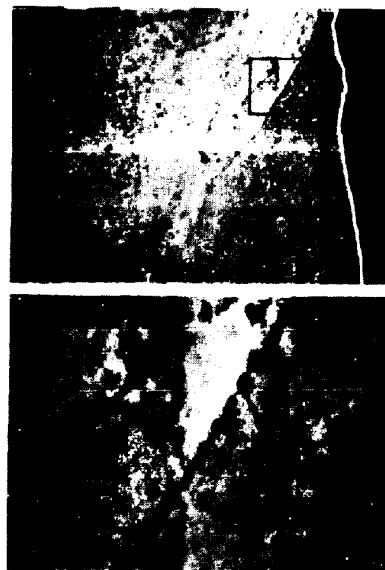


写真7. すべり変形帯にみられる微小き裂