

応力負荷には、I型及びII型試験片に対してそれぞれ図2に示す治具を使用した。応力負荷に際しては試験片に抵抗線ひずみゲージを貼付けておき、アムスラー型万能試験機により、所定応力でのひずみを測定し、しかる後に図2に示した負荷治具に試験片をセットし、ボルトにて上記したひずみになるまで締付けた。

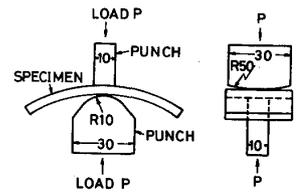


Fig. 3 Method of plastic working I

塑性加工試験片は塑性加工により、残留応力を付与したものである。図3に示すごとく試験片中央部の内外面をポンチにて圧縮したものである。この塑性加工により、ポンチの接触部分には圧縮応力、他の部分には引張応力が発生することになる。塑性加工によって発生した引張ひずみ分布の一例は図4に示す通りであり、抵抗線ひずみゲージにて測定してある。

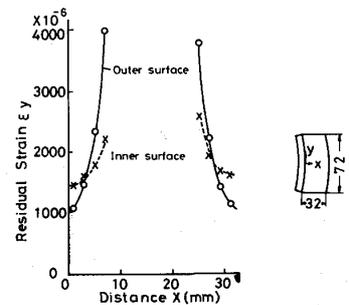


Fig. 4 Distribution of residual strain by a plastic working I (TP NO. SHP 2)

上記した各試験片を300°Cの水素ガス雰囲気中に所定時間保持することにより、Zr-25Nb合金に水素を富化し、室温に降温後水素化物の分布状況を光学顕微鏡にて観察した。

2.3 定温度保持試験

予め、500°Cで強制水素富化した試験片により、水素化物の再析出状況に及ぼす保持条件の影響を検討するため前節と同様の試験片を準備した。これらの試験片を室温及び300°Cに保持し、強制水素富化した水素化物がその後の処理によっていかなる挙動を示すかについて検討を加える。

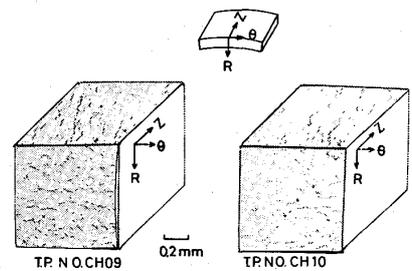


Fig. 5 Zirconium hydride distribution in test specimens of hydrogen enrichment at 300°C (Non loading)

2.4 曲げ破壊試験

上記した各種の履歴を受けた試験片を用いて、曲げ試験を行い、破壊靱性値に及ぼす水素化物の影響について検討する。

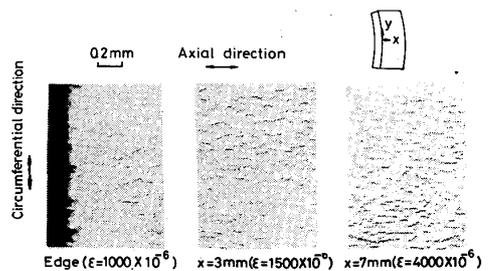
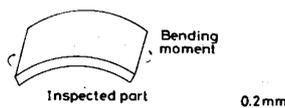


Fig. 6 Effect of plastic working on the zirconium hydride distribution in test specimens of hydrogen enrichment at 300°C (TP NO. SHP 2)

3. 試験結果及び検討

3.1 300°C水素富化試験結果

水素化物の分布状況の一例は図5~7に示す通りであり、黒い斑点が水素化物である。図5及び図7(a)は無負荷の場合であり、水素化物はいくぶん乱れているが、軸方向及び周方向に並んでいる。一方、図6に示した塑性加工試験片及び図7(b)の応力負荷試験片の場合は応力と直交する方向に水素化物が配列している。そして水素化物は応力が大きくなるにつれて、整然と並ぶようになっていく。



(a) $\sigma=0$ (TP NO. CH010) (b) $\sigma=60 \text{ kg/mm}^2$ (TP NO. SH06)

Fig. 7 Effect of stressing on the zirconium hydride distribution in the test specimens of hydrogen enrichment at 300°C

3.2 定温度保持試験結果

図8は予め強制水素富化を行った試験片により水素化物の再析出状況に及ぼす応力荷重の影響を比較した結果の一例である。図から明らかのように、無応力荷重の場合は300°Cで保持しても水素化物の分布は初期状態とほぼ同一であるが、応力荷重の場合には応力と直交する方向に水素化物が向きを変えている。即ち一度析出した水素化物も昇温すると固溶し、降温時には引張応力が存在すると、応力と直交方向に固溶した水素が水素化物として再析出していることになる。

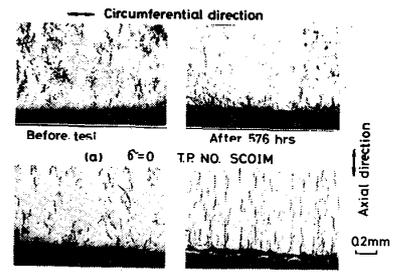


Fig.8 Effect of stressing on the hydride distribution in test specimen at 300°C in water (Type I specimen, 100ppm H₂)

3.3 曲げ試験結果

上記したとき水素化物が曲げ強度にどのように影響するかについて検討を加えることとし、試験結果を図9に示す。図において、I型試験片の場合、無応力荷重状態で強制水素富化した場合の破壊靭性値(一点鎖線)と応力荷重状態で室温で保持した場合の値(X)とはほぼ等しい。一方、応力荷重状態で300°Cで保持した場合の値(△)及び応力を負荷した状態で強制水素富化した場合の値(□)はほぼ同一となっているが、一点鎖線で示した値よりも小さくなっている。

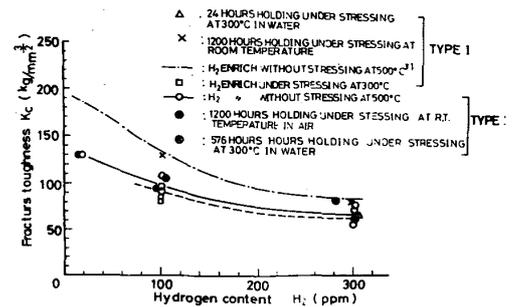


Fig.9 Effect of specimen configuration, and condition on fracture toughness at room temperature

したがって、応力と直交する方向の水素化物は破壊靭性値を低下させる要因となっていることになる。

一方II型試験片の場合の破壊靭性値は応力荷重の有無及び保持温度条件にはあまり影響されず、ばらつき範囲内となっており破壊靭性値は試験片形状の影響を受けているように考えられる。これは試験片の採取方向が異なるため、破壊試験においてき裂進展方向が異なることも一因と考えられる。

要がある。

4. 結論

(1) 応力荷重状態で300°Cにて強制水素富化した場合の水素化物は引張応力と直交方向に析出する。(2) 無応力荷重状態で強制水素富化した場合の水素化物は、その後応力を負荷して300°Cまで昇温後徐冷すると応力と直交方向に再析出する。(3) 応力と直交した水素化物は破壊靭性値(曲げ破壊強度)を低下させる要因となっている。

終りに本研究に対し、御支援、御協力をいただいた動力炉・核燃料開発事業団明比副本部長、本多課長、堂本主任研究員、浅田研究員並びに関係者各位に厚く御礼申し上げますと共に(株)日立製作所、日立工場、日立研究所、機械研究所の関係者各位に御礼申し上げます次第である。

5. 参考文献 1) 三島, 大久保: 新金属工業(68/1)
 2) L.G. Bell, R.G. Duncan: AECL-5110(75/6)
 3) S. Kusumoto, et al 2nd Int. Conf. on SMIRT(73/9)
 4) Y. Fukuda, et al: 4th Int. Conf. on SMIRT(77/8)