

電電公社 武蔵野研究所 西畑 三樹男

同 上

○三谷 進

同 上

菱山 光正

1 まえおき

鉄鋼材料の遅れ破壊については多くの報告があり、一般に引張強さが 100 kgf/mm^2 以上の材料で水素を含むような雰囲気中で特に多く生ずることが知られている。本報告は、従来報告の少なかった引張強さ 100 kgf/mm^2 以下の高張力鋼の水素チャージ条件下での遅れ破壊特性を明らかにすることを目的としたものである。試験雰囲気は大気中および水素を電解チャージした食塩水、硫酸溶液、亜ひ酸を添加した硫酸溶液の4条件とし、引張負荷における高張力鋼の遅れ破壊発生までの破断時間と耐力ならびに衝撃値との関係をもとめた。

2 実験試料

試料は、熱間押出加工した耐力の異なる4種の高張力鋼と比較のために遠心鋳造加工の1種の高張力鋼の計5種とした。それらの化学成分を表1に示す。引張試験片、衝撃試験片および遅れ破壊試験片は、図1に示すように長さ l 、外径 22.5 mm のシリンダより切り出した。なお遅れ破壊試験は、切欠の影響を調べるために切欠をつけない平滑試験片についても行った。

3 遅れ破壊試験条件

遅れ破壊試験機は、図2に示すようにレバー比 $1:10$ のテコ型引張負荷方式のものであり、負荷は最大 2 ton まで重錘により可変である。電解液中の試料への水素チャージは、電流密度を一定にするために、絶縁塗料を塗布し面積を同一の 3 cm^2 とするとともに直流安定化電源を用いた。破断に至るまでの時間は、破断とともに OFF するように試験機に取り付けたアワーメータによりもとめた。表2には、遅れ破壊試験条件を示す。雰囲気として大気中および水素の電解チャージのため食塩水、硫酸溶液、亜ひ酸添加の硫酸溶液の4種を用いた。応力比（負荷応力/引張強さ）は 0.9 のみとし、電解チャージ電流は 100 mA の場合を主として行った。

表1 試料の化学成分と耐力、製造方法

試料 記号	化 学 成 分 (wt%)									耐力 $\sigma_{0.2}$ (kgf/mm^2)	製造 方法
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Fe		
S1	0.42	0.33	0.88	0.018	0.006	0.84	0.27	1.80	Re.	74.2	熱間押出
S2	0.41	0.32	0.86	0.020	0.019	0.90	0.17	—	Re.	64.2	〃
S3	0.29	0.33	0.53	0.011	0.006	0.99	0.14	—	Re.	52.1	〃
S4	0.39	0.26	1.50	0.019	0.027	—	—	—	Re.	43.6	〃
S5	0.30	0.47	1.19	0.016	0.011	0.61	0.25	1.85	Re.	71.0	遠心鋳造

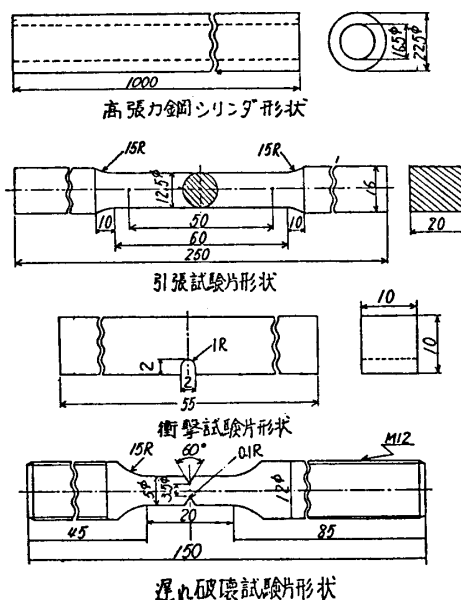


図1 高張力鋼シリンダ形状と切り出された引張試験片、衝撃試験片および遅れ破壊試験片の各形状

表2 遅れ破壊試験条件

雰囲気	負荷 電流	切欠の 有無	電流 (mA)	温度 (°C)
大気中	0.9	有	—	RT
3% NaCl	0.9	〃	5	4
1N H ₂ SO ₄	0.9	〃	100	13
1N H ₂ SO ₄ + 10mg As ₂ O ₃ /l	0.9	〃	100	13
〃	0.9	無	100	13
〃	0.9	有	1	13

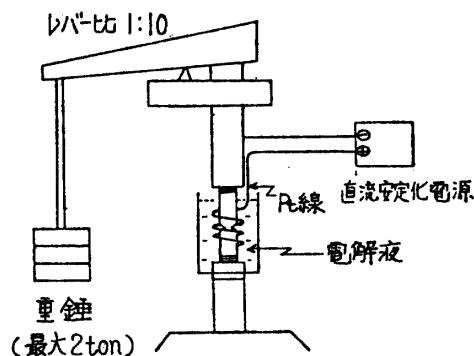
*水素チャージ面積 3cm²

図2 遅れ破壊試験原理図

4 試料の機械的性質

図3には試料の機械的性質を示す。本試料の引張試験における応力-歪曲線は、試料S1およびS5において明確な上降伏点、下降伏点を示したが、試料S2～S4においては上下降伏点は観察されなかった。また各試料の引張強さ、ロックウェルB硬さおよび切欠付試験片の引張強さは耐力とともに上昇しているが、衝撃値は耐力52 kgf/mm²の試料S3が最大となっている。また切欠付試験片と平滑試験片の引張強さの比 (σ_N/σ_B) は、試料S1から順に1.52, 1.25, 1.55, 1.44 および 1.49 であり試料S2がやや低い。

5 大気中および食塩水中の遅れ破壊試験結果

大気中において切欠試験片を用い負荷応力 $0.9 \times \sigma_N$ 、室温（15°C前後）のもとで試料S1は3000時間、試料S2～S5は700時間経ても破断していない。なお試料表面はいずれも金属光沢のままで変色していない。

また切欠付の試料S1の試験片を負荷応力 $0.9 \times \sigma_N$ 、液温4°C、3%食塩水中で水素を電解チャージ（チャージ電流5mA）したが4500時間経過しても破断していない。

6 亜硫酸添加の硫酸溶液中での遅れ破壊試験結果

遅れ破壊を促進する目的で、溶液として1規定H₂SO₄ + 10mg As₂O₃/lを用い、電流値100mAおよび1mAで水素を電解チャージした。また切欠の効果についても検討した。その結果破断に至るまでの時間は、電流値、切欠の有無により大きな差異があることを認めた。

図4は切欠および平滑試験片の破断時間に及ぼす耐力の影響を電流100mAの場合について示す。切欠の影響は、耐力40～50 kgf/mm²の場合明瞭で、平滑試験片の方が約2.5倍破断時間が長い。耐力の破断時間への影響は、切欠および平滑とも同様で50～60 kgf/mm²

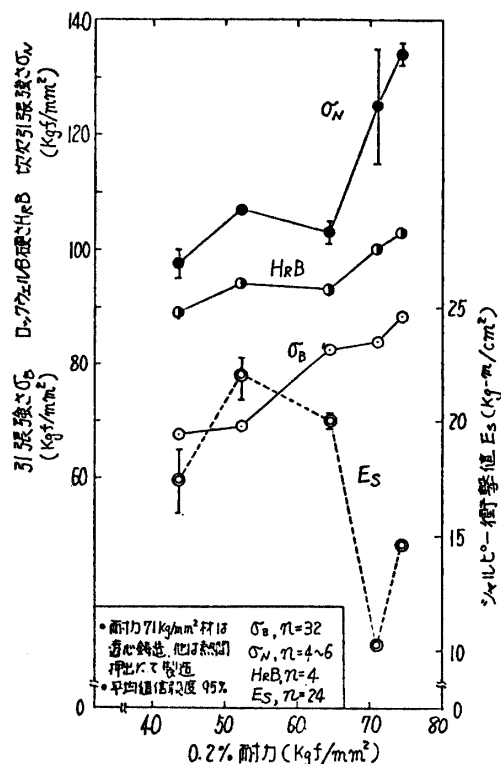


図3 試料の引張強さ、ロックウェルB硬さ、切欠引張強さおよび衝撃値に及ぼす耐力の影響

の試料が最も長い。

さらに破断時間と衝撃値との関係を図5に示す。切欠および平滑ともに衝撃値が大きくなるにつれて破断時間が長くなる。なお表面状態はいずれも金属光沢のまま変化はなかった。

電流1mAの場合の結果を表3に示す。破断時間は

耐力とともに増大する傾向があるが、試料表面は著しく腐食された状態になり100mAの場合とは本質的に異なった試験条件であると考えられる。

7 硫酸溶液中での遅れ破壊試験結果

亜ひ酸の効果を検討するために亜ひ酸を添加しない1規定硫酸溶液について実験を行なった結果を表4に示す。その結果亜ひ酸の効果はS2およびS3で明瞭であり100時間経過後も破断しなかった。S1およびS4では効果は認められなかった。

8 考 察

衝撃値が大きくなるにつれて破断時間が長くなる傾向は、図5および表4において認められる。このことは試料の脆性と遅れ破壊とが密接に結びつくことを示すと考えられる。また電流1mAにおける現象は、分極曲線をもとめることにより理解され、電流1mAにおいてはFeの溶解反応が生じ始めるためと考えられる。

9 お すす

耐力の異なる高張力鋼について遅れ破壊試験を行なった結果、①大気中、食塩水中(水素チャージ)では数時間経過しても破断しない②破断時間と衝撃値との相関が認められる③亜ひ酸添加の硫酸溶液中で遅れ破壊は促進されるが1mAと100mAでは破壊に至る現象は異なる④亜ひ酸添加の硫酸溶液中では切欠より平滑試験片が破断時間が長い。

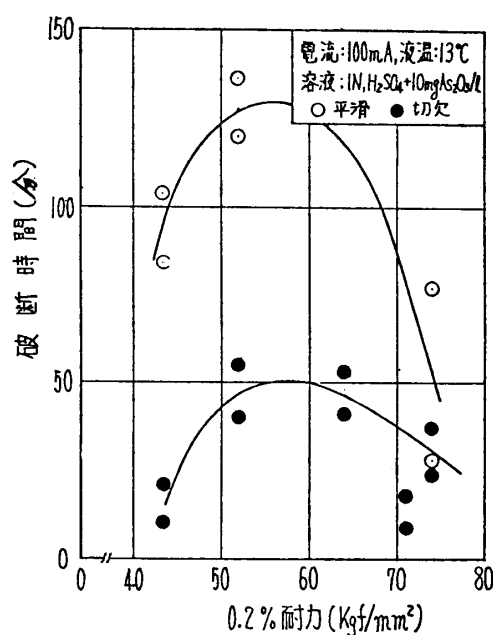


図4 破断時間に及ぼす耐力の影響

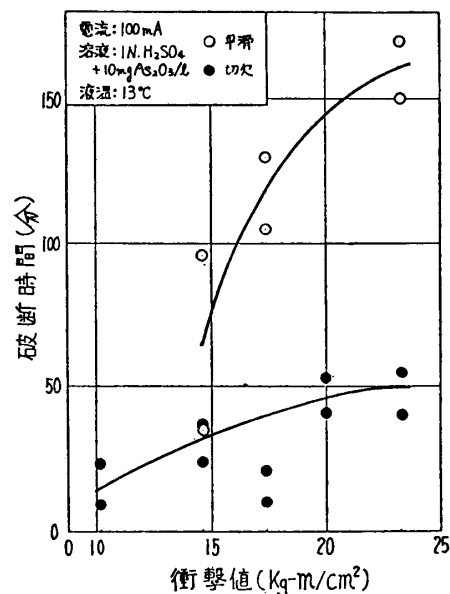


図5 破断時間に及ぼす衝撃値の影響

表3 電流1mAにおける遅れ破壊試験結果

試料記号	耐力 (Kg/mm²)	破断時間 (hr)	表面状態
S1	74.2	52.5	黒く腐食される
		322.5	〃
S2	64.2	437.2	〃
S3	52.1	36.5	やや黒く変色
		101.3	金属光沢のまま
S4	43.6	0.57	〃
		0.075	〃

(1N.H₂SO₄+10mgAs₂O₃/L, 液温13°C)

表4 1N.H₂SO₄溶液中における遅れ破壊試験結果

試料記号	耐力 (Kg/mm²)	破断時間 (hr)	表面状態
S1	74.2	8.5	金属光沢のまま
S2	64.2	100時間破断せず	〃
S3	52.1	〃	〃
S4	43.6	0.05	〃

(100mA, 液温13°C)