

軟鋼の水素脆化

—主として機械的性質におよぼす水素の影響—

大阪大学工学部 菊田 米 男*

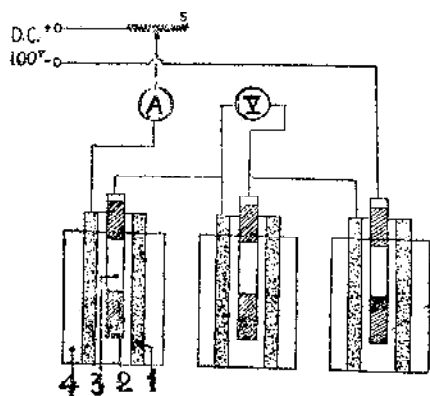
1. 緒言

鋼の水素脆化については古く Zappfe, Sims 等により、また最近では Hobson, Seabrook, Kajinczy, Vaughan, Triano 等により研究されている。

筆者は溶接時に溶接部の諸性質におよぼす水素の影響について研究しているが、まづ水素のみにより軟鋼の性質がいかに変化するかについて機械的、冶金的研究を行なった。今回は筆者が得た結果のうちの機械的性質を主体として軟鋼の水素脆化現象について説明する。

2. 材料への水素添加および水素量の測定

水素脆化試験における材料への水素の添加法としては陰極電解法、高温高圧法、高温法等があるが、一般に用いられているのは陰極電解法である。その装置の1例は



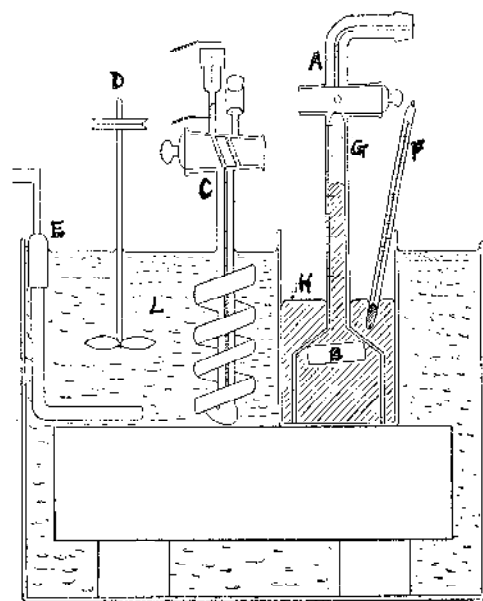
第1図 電解装置図

- 1. 炭素電極(陽極)
- 2. 試片絶縁部
- 3. 試片電解部
- 4. 電解液
- 5. 可変抵抗

第1図のごとくである。電解液としては5%硫酸液が用いられ、多くの場合、この硫酸1ℓに対し20ccの硫化水素に2grの黄燐をとかした液を加え使用している。陽極には白金または炭素管が用いられている。主な電解条件は電解電流 0.08~0.09 A/cm²、電解電圧約 4 volt、液温50°C以下である。

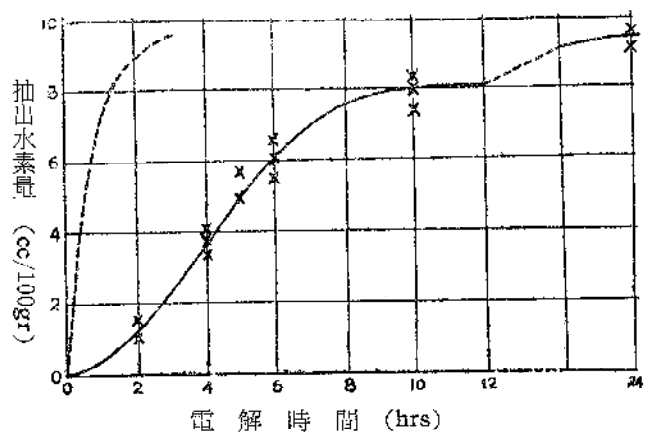
かくして電解した試片に添加された水素の量の分析で

あるが、筆者等は第2図に示す水銀法により45°C 72時間抽出し、その後真空加熱法により試片に残留する水素の抽出を行なった。その結果は第1表および第3図(5%硫酸のみ)、第4図(触媒液使用)のごとくであった。硫酸液のみの場合、約10時間の電解では飽和に達する



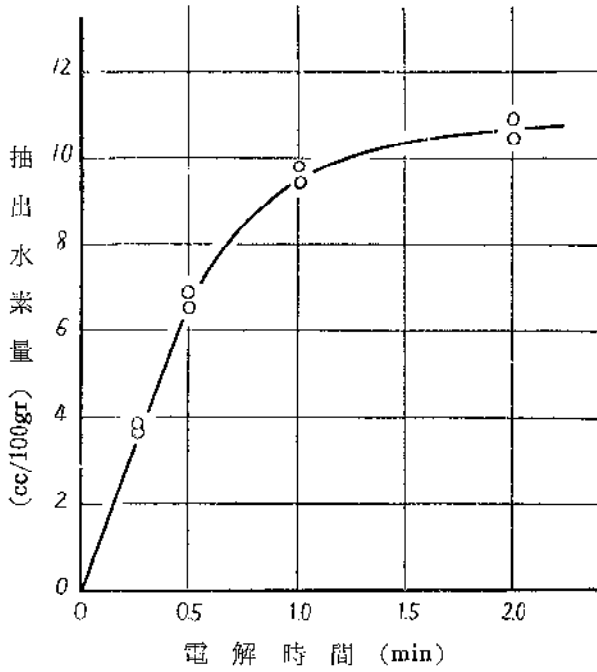
第2図 拡散性水素抽出器

- A: 抽集管
- B: 試片
- C: 温度調節器
- D: 攪拌棒
- E: ヒーター
- F: 温度計
- G: 抽出水素
- H: 水銀
- I: 水

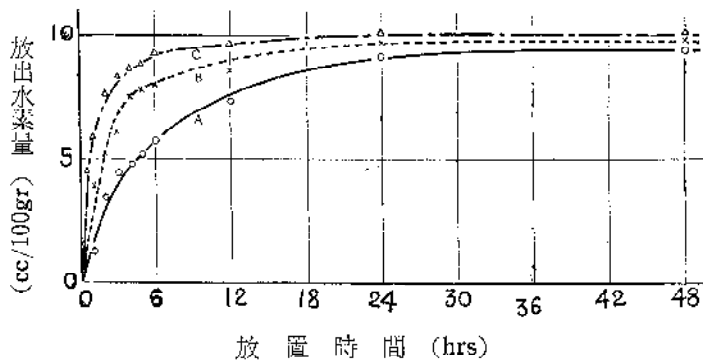


第3図 電解時間と溶解水素量 (5%硫酸のみに電解)

* 溶接工学科 工学博士

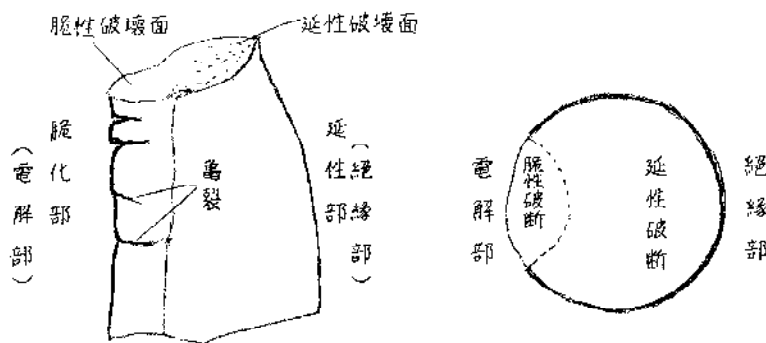


第4図 電解時間と溶解水素量(触媒硫酸使用)



第5図 電解後の放置時間と水素の排散

—○— 放置温度 15°C ···×··· 放置温度 50°C
 ---△--- 放置温度 80°C



第6図 一部電解試片の破断状況

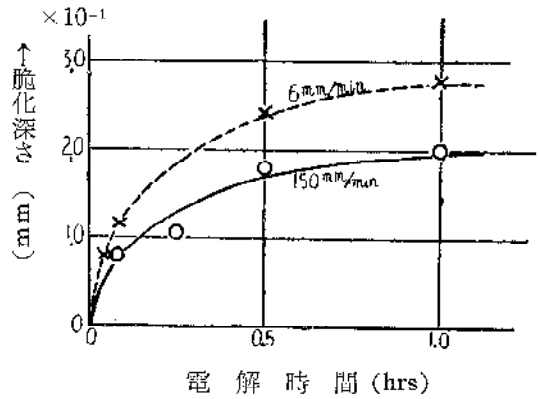
が、触媒液を用いた場合は同量の水素量で約1時間で飽和に達することがみとめられた。第4図に得られた結果は他の研究者により得られた結果とよく一致していた。次に水銀抽出を行なった場合、第1表より明らかな如く添加された水素の大部分が抽出され、残留水素は非常に

少量であつた。また触媒液を用いた場合は全水素量の98%程度が水銀法により抽出された。

第5図は温度をかえて抽出した場合の時間に対する抽出速度で温度が高くなるにつれて抽出速度が増すのは当然である。

3. 一部電解試片にあらわれる水素脆化

棒状試片の円周角のみを電解し、その部分のみから水



第7図 電解時間と脆化深さとの関係

素を添加し機械試験により、水素脆化のあらわれ方についてしらべた。その結果は第6図のごとくで電解面には多くの亀裂が生じ、ネッキングせず断面も脆性破面していたが、非電解部は母試片のそれ同様、充分の延性を示した。また電解時間の相差により、この脆性破断する部分の深さが異なるのでこれを測定した所、第7図のごとくであつた。

4. 機械試験結果

平型試片(非触媒液)、棒状試片(触媒液)を用いて所定の電解後機械試験を行なった。その結果まづ引張り試験においては第2表および第3表のごとくで、電解時間が変わつても材料の降伏点(上降伏点)、引張りつよさにはほとんど影響はあらわれない。しかし伸率、断面収縮率は大きい影響をうけ、電解時間が増加するにつれて急激に減少した。また上降伏点は変化ないが下降伏点は次第に上昇し、オドリ場の歪も少なくなり、電解1時間をすぎると明かには

みとめられないようになった(第8図)、第4表は上、下降伏点の応力差を示したものである。(伸率、断面収縮率の変化は第9、14図参照)

次に曲げ試験(45°Vノッチ)においては、電解時間が増すにつれて吸収エネルギーが減少し、(第10図)横

第1表 非触媒硫酸を使用して電解した場合の水素量

電解時間 hrs	水素量 (A) cc/100 gr-Fe	水素量 (B) cc/100 gr-Fe	全量 cc/100 gr-Fe	(A)/全量 %
2	1.3	0.16	1.46	89
3	2.5	0.20	2.70	93
4	3.7	0.27	3.97	93
5	5.0	0.32	5.32	94
6	6.2	0.45	6.65	93
10	8.0	0.60	8.60	93
24	9.4	0.98	10.38	91

A ; 低温抽出

B ; 低温抽出後真空加熱法により抽出

第2表 機械的性質 (1) (平型試片)

電解時間 hr	降伏点 kg/mm ²	引張り強さ kg/mm ²	伸50mm %	率* %
0	31.4	45.3	35.2	100
2	31.7	46.4	32.8	93.2
3	32.7	47.5	28.0	79.5
4	30.6	44.2	25.0	71.0
5	31.9	46.5	20.4	57.9
6	31.0	45.1	18.8	53.4
10	31.7	46.5	15.0	42.6
24	32.1	43.0	11.5	32.7

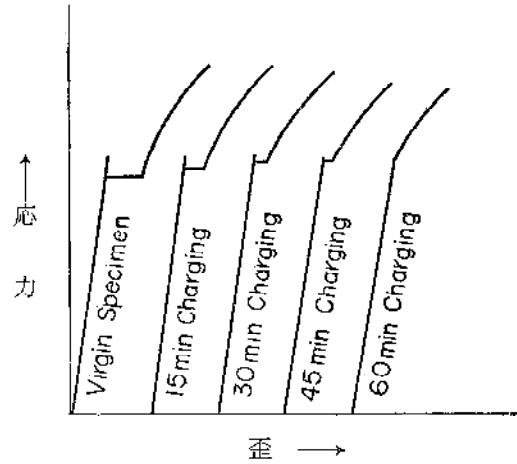
* 母試片の伸率に対する割合

第3表 機械的性質(2) (棒状試片) (触媒液)

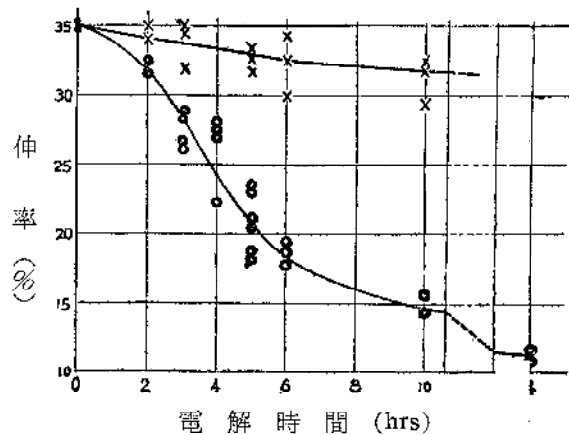
電解時間 hrs	試験速度 6 mm/min			T.S. 150 mm/min
	降伏点 kg/mm ²	引張り強さ kg/mm ²	伸率 % in 30mm	伸率 % in 30mm
母試片	25.1	43.3	40.3	38.2
	26.3	43.8	41.4	37.7
1/6	25.3	43.8	30.2	—
	23.3	43.4	31.6	—
1/4	25.9	45.3	27.8	—
	23.5	42.7	27.0	—
1/2	24.9	44.3	27.1	32.7
	23.1	42.8	26.8	34.2
1	24.3	42.8	28.7	33.5
	24.3	43.1	27.1	33.2
2	—	44.5	25.8	31.3
	—	43.5	25.0	31.6
3	—	42.8	24.7	29.6
	—	44.2	24.2	31.9
6	—	43.7	23.2	—
	—	44.0	22.5	—

第4表 上降伏点と下降伏点との応力差 (触媒液)

母試片	15分電解	30分電解	60分電解
1.5~1.8	0.7~1.0	0.2~0.3	—

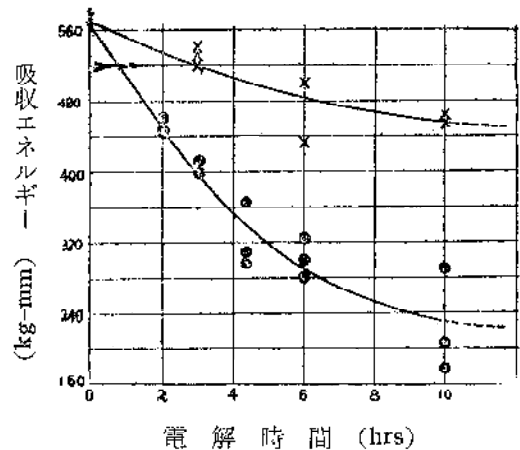


第8図 降伏現象の変化



第9図 伸び率の変化 (時間非触媒液使用)

—○— 電解直後の変化
—×— 4日間放置後の変化



第10図 静的曲げ試験における吸収エネルギーの変化 (非触媒液使用)

—●— 電解直後 —×— 4日放置後

収縮比も大きい影響をうけた(第15, 16図参照)

5. 放置試片の延性の回復

電解により添加した水素は常温抽出中にその大部分が試片から逃散することは前に述べた如くである。(4)にあらわれた脆化現象に起因するなら、試片から水素を逃散させた後ではその延性が回復する筈である。この影響を明らかにするため、試片を4日間室温で放置した後機械試験を行なった。その結果は引張り、曲げ試験のいずれにおいても前記9, 10図および第5表に示すごとく、母材のそれに近い値まで延性が回復することがみとめられた(第13図参照)。

この結果より電解水素添加試片にあらわれる種々の脆化現象は水素にもとづくものであることがより明瞭になったものと思われた。

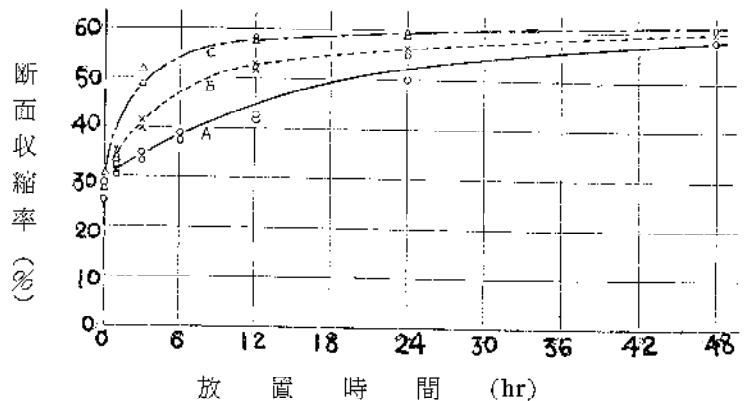
なお、前記第5図と対称させるため、電解後の放置時間を変えて試験した場合の延性の回復は第11, 12図に示すごとくで、第5図の傾向とよく一致しており、水素逃散にともなう延性の回復の状態がよく理解できる。

第5表 4日放置後の機械試験結果
(平型試片)

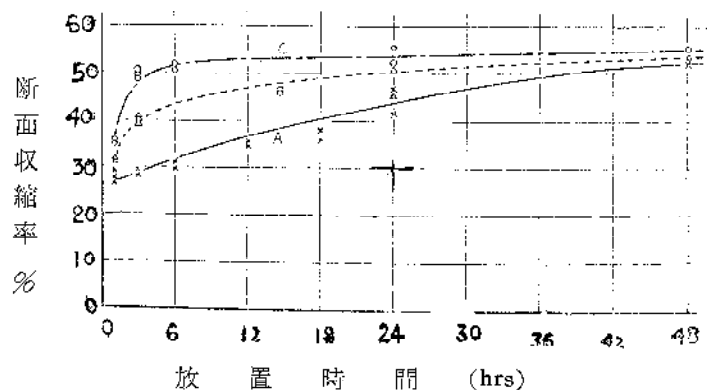
電解時間 hr	降伏点 kg/mm ²	引張り 強さ kg/mm ²	伸率 in 50mm hrs %	率 %
0	31.4	45.3	35.2	100
2	32.5	47.5	34.8	98.8
3	33.4	47.4	34.0	96.5
5	31.3	46.6	32.8	93.0
6	30.9	46.2	32.2	91.5
10	31.5	47.4	31.8	90.4

6. 電解後歪をあたえて放置した場合

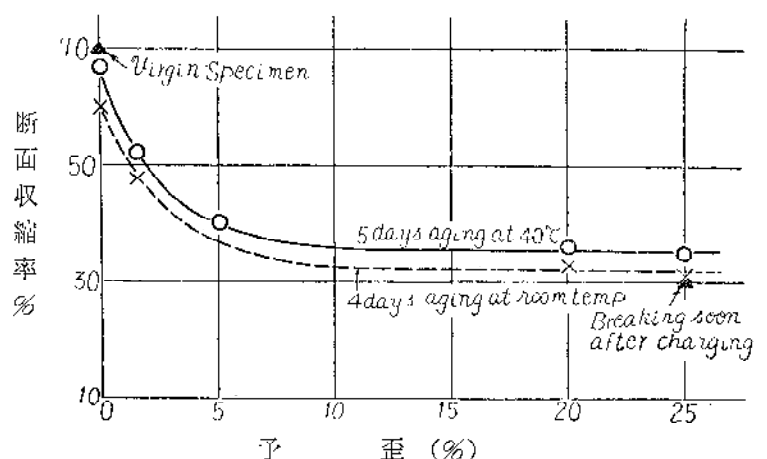
(5)は電解のまま放置した場合であるが、電解直後にあたる程度の歪をあたえ、その後放置した場合、延性の回復がどのようになるかについてのべる。結果は第13図のごとくである。すなわち歪を与えなかつた試片では母試片の92~94%まで延性が回復するが、歪を与えた場合さして回復せず、



第11図 放置時間にもなう延性の回復(2) (触媒液使用常温放置)
—○— 2時間電解 --×-- 1時間電解
...△... 30分電解

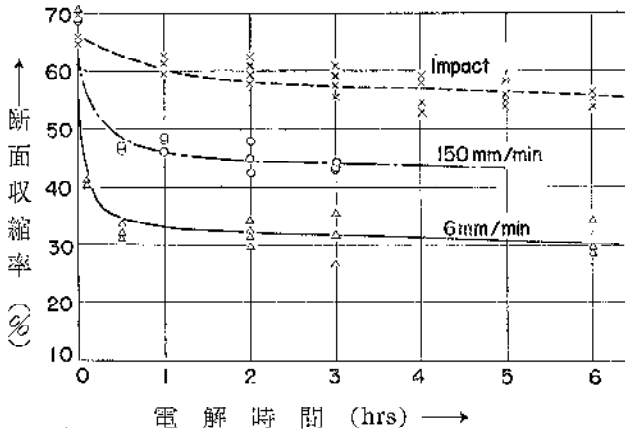


第12図 放置時間にもなう延性の回復(2) 断面収縮率(2)
(触媒液使用1時間電触)
—○— 80°C放置 --×-- 50°C放置
...△... 15°C放置

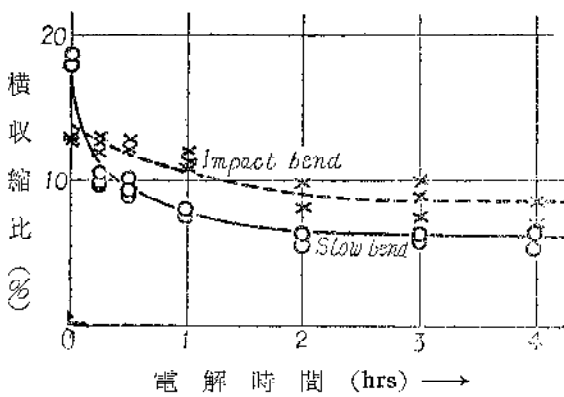


第13図 電解直後に歪を与えた放置した試片の延性の回復
(触媒液使用 1時間電解)

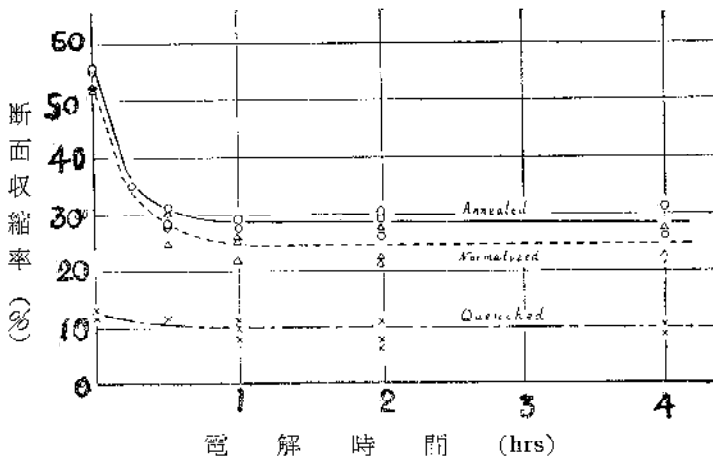
予歪が増加するにつれて急激に回復はわるくなり、最大荷重点まで荷重を加えたもの(歪量18~20%)ではその回復はほとんどみられない。



第14図 引張り試験速度と水素脆化 (触媒液使用)



第16図 曲げ試験における横収縮比

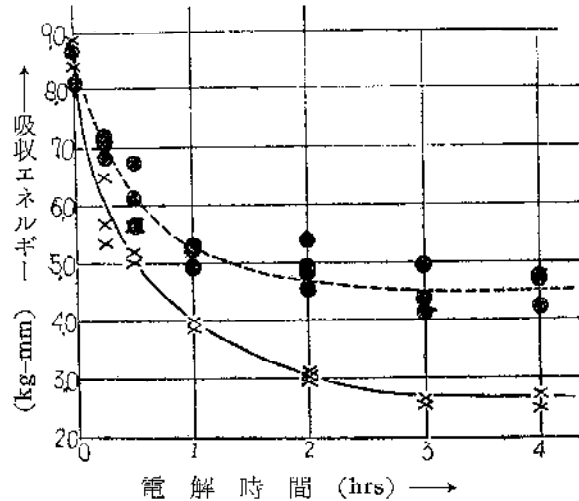


第17図 熱処理した軟鋼の水素脆化

7. 試験速度を変化させた場合

同じ材料でも試験速度を変えるとその脆化現象にかなりの差を生ずることはよく知られたところであり、一般には試験速度が速い程、脆化現象は顕著に表われる。

この点について試験速度を8段階にわけて引張り試験2段階にわけて曲げ試験を行なった。その結果は第14、15、16図に示すごとくである。



第15図 曲げ試験における吸収エネルギーの変化 (45°Vノッチ付)

—×— 静的曲げ —●— 衝撃曲げ

これより明らかなごとく、水素脆化は試験速度のおそい程顕著にあらわれ、衝撃試験における脆化はごくわずかにすぎないことが明らかにされた。(曲げ試験においては横収縮比にその傾向がはつきり示されている。)

8. 熱処理の影響

試片に焼鈍、焼準、焼入れの3種の熱処理を行ない水素脆化せしめた。その結果は第17図のごとくである。

焼鈍、焼準処理したものはともに同様の顕著な脆化生じている。

焼入れ処理したものでは試片の焼入れ効果が大きく、水素による影響はあまりみられない。

なお、焼準材について電解直後、硬度を測定したが、母試片のそれと大差なく、硬度もまた抗張力同様、ほとんど水素にえいきようされないことが示された。

9. 結言

以上機械的性質におよぼす水素の影響についてのべたが、筆者は冷金的にも興味ある事項について成果をおさめている。従来これらの水素脆化は不連続部集中説により説明されていたが、最近、この説のみでは説明のできぬ点も多く発見され、種々の説が発表されているが、いずれも未だ全条件を解明し得る程のものはあらわれていない。筆者もこれについて研究中であり、ある程度の結論を得ており、近い将来発表できる段階に達している。