

# 白點狀缺陷に関する研究(IX)

(白點狀缺陷發生を困難ならしめる条件について)

(昭和24年4月本會講演大會に於て講演)

下川 義雄\*

## STUDIES ON THE FLAKE-LIKE DEFECTS IN STEEL (IX)

(Condition to impede the flake formation)

Yoshio Shimokawa

Synopsis:— In former experiments, the condition to form easily the flake-like defects has been studied. But in this experiments the condition to impede the flake formation is studied.

The results are summerized as follows:

- (1) Notch engraved on the side of tensile and bending test piece impede the flake formation.
- (2) On the fracture of pickled Izod and Charpy test pieces, no flake-like or fish-eye-like defects are appeared.
- (3) On the fracture of pickled tensile test pieces, no defects are also appeared, if it be broken by shockness. But if the same test piece be broken more slowly (for example, by the Amsler testing machine), the flake-like defects appear clearly. From this experiment the flake formation of the pickled test piece is affected remarkably by its breaking speed.
- (4) This result suggest us that the action of outer stress is to assist the concentration of supersaturated hydrogen at the supermicroscopic holes in the mosaic boundary or similar sub-structure or others, and both, inner stress of concentrated molecular hydrogen and outer stress are the essential factors for flake formation.

### I. 緒 言

前報迄の結果により白點狀缺陷の發生に関する基礎條件は水素の舉動に関する以外略明らかになつたと考えられる。併し白點狀缺陷發生に過飽和水素の存在が第一條件である以上鋼中水素の舉動に關して検討を加へることは絶対に必要である。併しこれに關する詳細な實驗的検討を行うことは困難な事情にあるので行つていない。

唯一つの手段として従來自點狀缺陷が發生したと同じ鋼を用い同じ熱處理條件及び酸洗條件のもとで試験方法を

第I表 試料の化學成分

試料記號	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %
A	0.40	0.20	0.50	0.021	0.037	0.89	2.58
B	0.31	1.10	0.95	0.026	0.028	0.86	—
H	0.39	0.39	0.55	0.017	0.012	1.34	3.51
I	0.46	1.05	1.32	0.013	0.021	1.15	—
J	0.17	tr.	0.36	0.020	00.53	—	—
K	0.23	0.25	0.44	0.012	0.007	—	—

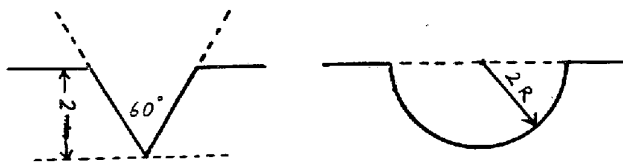
變えて白點狀缺陷が發生し難くなる條件を求め、これより水素の舉動を概念的に推測して見たいと考えている。本報は斯様な考へのもとに白點狀缺陷が發生し難くなる條件について實驗した結果を取纏めたものである。使用した鋼の成分は第I表に示した通りであり、脆化方法としては電解及び酸洗を用いた。

### II 實驗結果

#### (1) 切缺附着的試験片の酸洗脆化

前報に於て述べた如く分離抗力と滑り抵抗との關係によつて白點狀缺陷の發生が困難になる場合のある事が想像される。前報に述べた如く歪硬化の關係を用いる事も出来るが硬化した組織は硬化しない通常の組織と多少異なるとも考えられるので組織を變えずこの關係を變化する方法として試料に適當な切缺を附した切缺試験片を用いて酸洗脆化試験を行つた。試験片に附けた切缺の形狀

\* 新扶桑金屬工業鋼管製造所



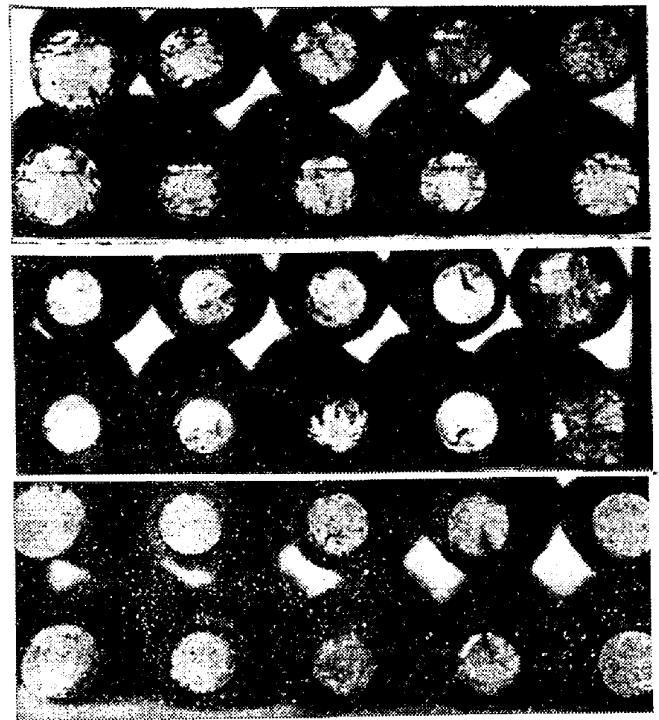
第1圖 切欠の形状

は第1圖に示した通りである。第1圖に示した如く切欠の形状によつてその効果が異なるであらうと考えられたので60度の角を有する角ノッチと2mmRの丸ノッチと二種類の切欠を使用した。試験としては静的擴張試験及び静的屈曲試験を行つた。静的とは衝撃に對して普通の試験を意味する。

第2表 ノッチ附抗張試験片の酸洗結果 (B鋼)

試料記號	ノッチの形状	焼戻 (°C)	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸 (%)	絞 (%)	白點發生状況
BN1	角	500AT	99.1	2		あり (周
// 2	//	//	84.1	1		邊に縦割
// 3	丸	//	98.2	2		あり)
// 4	//	//	114.5	0		//
// 5	角	600AT	121.0	0		//
// 6	//	//	129.0	0		なし
// 7	丸	//	136.8	0		//
// 8	//	//	123.8	1		//
// 9	角	700AT	97.6	2		//
// 10	//	//	98.3	2		//
// 11	//	//	104.5	1		//
// 12	丸	//	99.6	4		//
// 13	//	//	92.1	2		//
// 14	//	//	99.2	2		//
B17	なし	500AT	86.1	0	0	あり (周
B23	//	600AT	95.0	8	15	邊に縦割あ
B72	//	//	93.5	4	9	り)
B33	//	700AT	78.8	20	36	あり (極め
B73	//	//	79.4	22	41	て僅か)

第2表はB鋼による静的擴張試験の結果であつて試料は全部880°Cで油焼入し500, 600, 700°Cで空気焼戻して8時間酸洗し直ちに切斷した。尙比較のため切欠無の擴張試験片にも同一處理を施して試験した。その破面の状況を寫眞1に示した。寫眞より明らかな如く切欠附試験片の場合には600°C, 700°C焼戻の場合には自然白點狀缺陷は發生せず500°C焼戻に到つて始めて白點狀缺陷が發生している。併し切欠無の試験片に於ては600°C, 700°C焼戻のものに於ても明らかに白點狀缺陷が發生している故切欠附試験片に白點狀缺陷の現われないのは切欠の影響であると考えなければならない。尙500°C焼戻の際の試験片に白點狀缺陷が發生した理由についてはこの温度は酸洗途上で白點狀缺陷が發生するかしないかの境界に相當する温度であるので、發生した白點狀缺陷の形態及び抗張力の低い點より見て、切欠部分に切欠のない場合よりも大きな残留應力が存在しこれが原因と



寫眞 1

酸洗した切欠附擴張試験片の被面状況 (B鋼)  
上: 500°CAT, 中: 600°CAT, 下: 700°CAT  
左端は切欠無し擴張試験片

第3表 ノッチ附抗張試験片の酸洗結果 (J,K鋼)

試料記號	ノッチの形状	焼戻 (°C)	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸 (%)	白點發生状況
TN1	角	400AT	88.8	4	なし
// 2	//	//	85.9	4	//
// 3	//	500AT	83.0	2	//
// 4	//	//	82.6	2	//
// 5	//	600AT	83.8	2	//
// 6	//	//	79.5	4	//
KN1	//	400AT	96.6	2	//
// 2	//	//	99.2	4	//
// 3	//	500AT	90.0	4	//
// 4	//	//	86.5	4	//
// 5	//	600AT	85.4	4	//
// 6	//	//	86.5	4	//

第4表 ノッチ附屈曲試験片の酸洗結果

焼入 (°C)	焼戻 (°C)	ノッチの形状	屈曲角 (度)	白點發生状況
8800Q	430AT	なし	20	あり
//	//	角	10	あり
//	//	丸	15	あり
//	500AT	なし	25	なし
//	//	角	15	なし
//	//	丸	15	なし
//	600AT	なし	50	なし
//	//	角	—	なし
//	//	丸	20	なし

//	700AT	なし	85	なし
//	//	角	25	なし
//	//	丸	30	なし

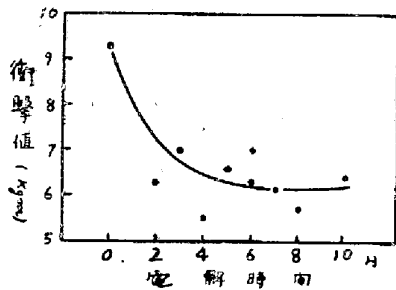
なつて酸洗途上に発生したものであらうと想像される。第3表は同じくB鋼による静的屈曲試験の結果であつて全く第2表と同一の結果が得られる。

同様な實驗を極軟鋼であるJ鋼K鋼に對して行つた結果が第4表であつて之の場合にはノッチは角ノッチのみを用いた。試料は何れも900°Cから油焼入し400°C, 500°C, 600°Cで空氣焼戻した。之の結果は各焼戻のもの共何れも抗張力は切欠無のものに比較して相當高くなり、且破面には白點狀缺陷は発生しない。之等の結果より試験片に切欠を附することは銀白點狀、Fish-eye 狀を問わず白點狀缺陷の発生を困難ならしめる事が明らかにされた。

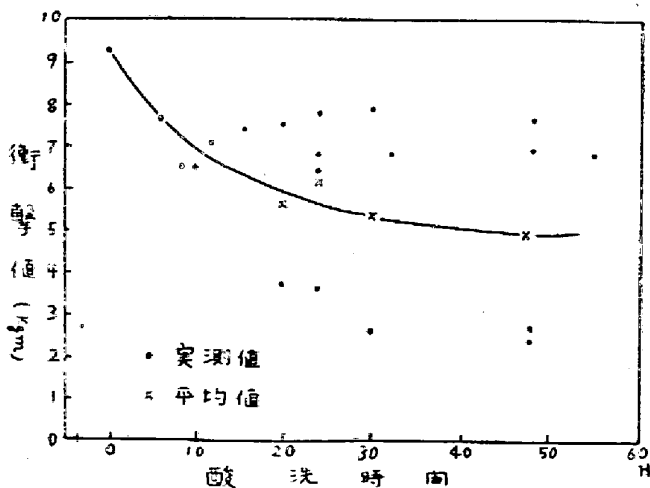
(2) 酸洗脆化した各種の鋼の衝撃屈曲試験結果

静的試験に對して瞬間力によつて試験片を切斷する衝撃試験はその鋼の分離抗力と滑り抵抗との關係に變化を與える。此處に從來行つて來たアイソット或はシャルピー衝撃試験片を酸洗脆化した場合の結果を取纏めて報告する。

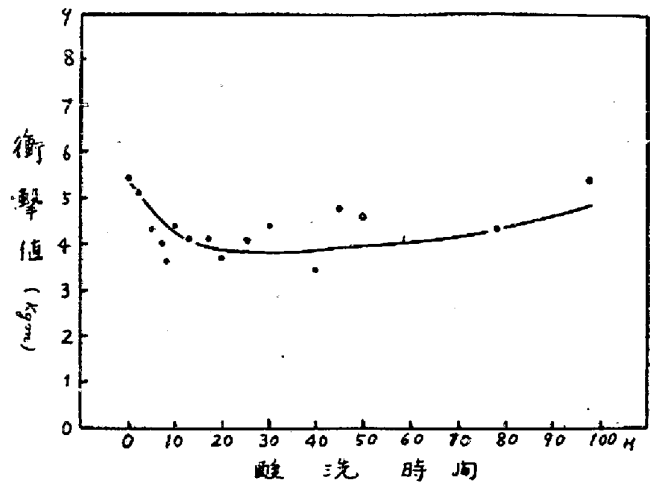
脆化方法としては電解と酸洗を用い試料として構造用



第2圖 電解時間と衝擊値との關係 (A鋼)

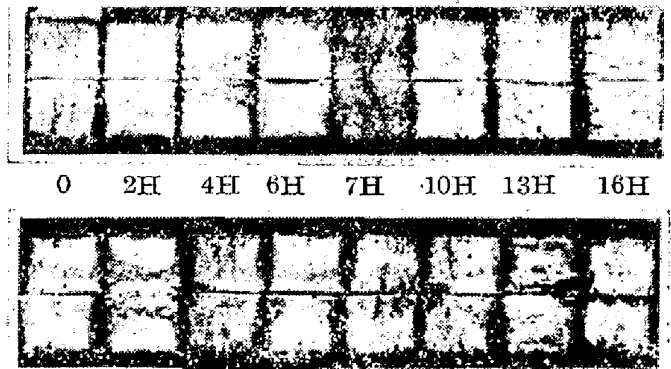


第3圖 酸洗時間と衝擊値との關係 (A鋼)



第4圖 酸洗時間と衝擊値との關係 (B鋼)

特殊鋼としてはA鋼及びB鋼、極軟鋼としてはJ鋼、K鋼を使用した。880°Cから油焼入し600°Cで空氣焼戻したA鋼の電解時間に對するアイソット衝撃値の變化を第2圖に、酸洗時間に對する變化を第3圖に示した。又同じ熱處理を施したB鋼の酸洗時間に對するアイソット衝撃値の變化は第4圖の通りである。之等の結果より衝撃値はばらつきが大きいが傾向としては或時間後最小値に達し以後幾分増加の傾向を示す。併し破面には一例

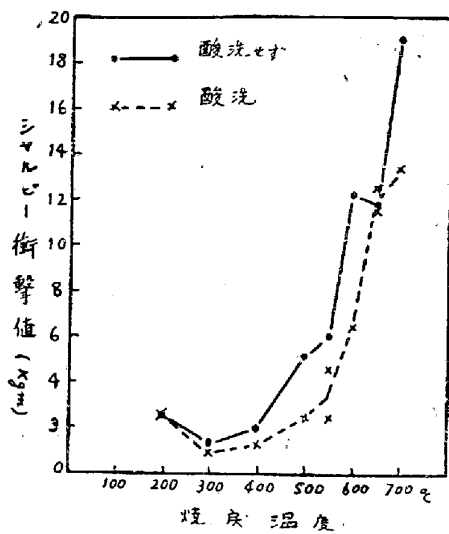


寫眞 2

酸洗した構造用特殊鋼衝撃試験片の破面狀況(B鋼)

數字は酸洗時間を示す

としてB鋼の結果を寫眞2にを示した如く白點狀缺陷の発生は見られない。次にB鋼につき油焼入した試料を種々の温度で焼戻したシャルピー衝撃試験片を酸洗した場合としない場合との脆化狀況を比較した結果が第5圖であつて寫眞3に示した破面より明らかな如く400°C附近迄は白點或いは放射狀割を破面に発生するが之れは抗張試験の場合と同じく酸洗途上に発生したものである。之の場合も静的抗張試験で白點狀缺陷の現われ易い500°C~700°Cに於て全く白點狀缺陷の発生は見られぬ事は上述の結果と一致する。

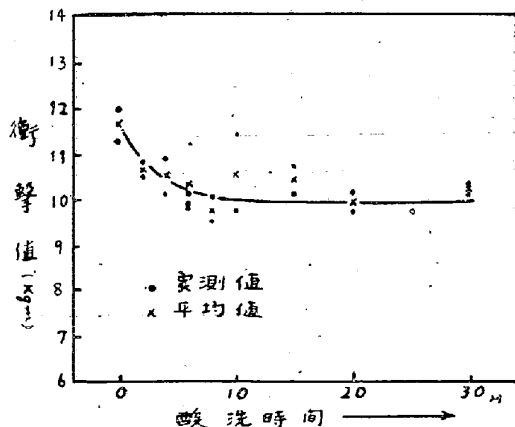


第5圖 衝撃試験片の脆化と焼戻温度との関係 (B鋼)



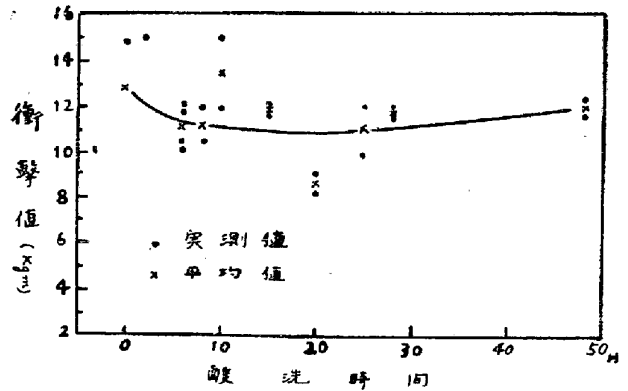
200 300 400 450 500 550 600 650 700  
880 と 2H0Q-8H 酸洗衝撃の面  
寫眞 3  
種々の温度で焼戻したシャルピー衝撃試験片の脆化破面 (B鋼)

同様な實驗を極軟鋼であるJ鋼K鋼に對して行つた結果が第6~9圖であつて第6圖はJ鋼のアイゾット衝撃値と酸洗時間との關係を、第7圖はK鋼の同じ關係であり、第8圖はJ鋼の焼戻温度とアイゾット衝撃値との關係を6時間酸洗したものとしなものと比較した結果であり、第9圖は同じ關係をK鋼について求めたものである。之等の場合も一例としてK鋼の酸洗時間を變化せしめた場合の破面を示した寫眞4に見られる如く白點狀缺

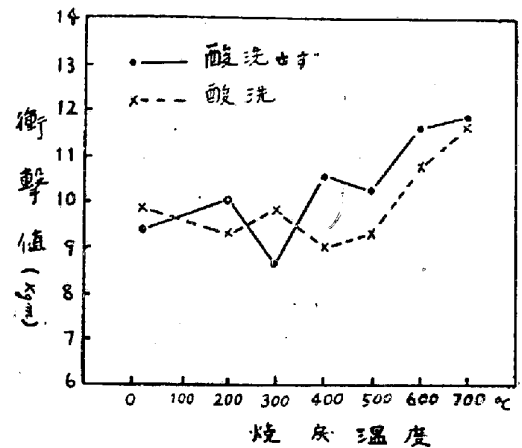


第6圖 酸洗時間と衝撃値との關係 (J鋼)

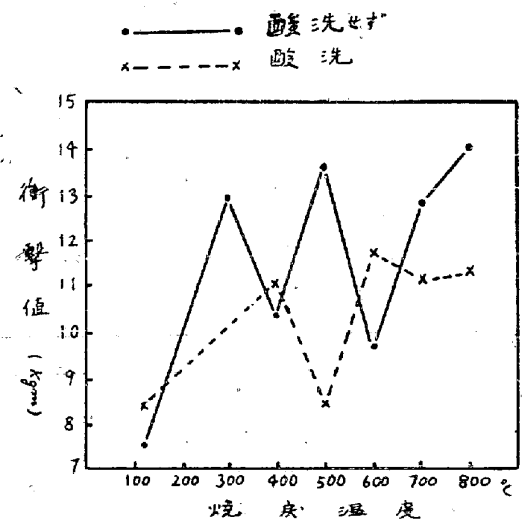
陥は全く發生しない。之れより衝撃屈曲試験片に於ては假令試料が脆化されても白點狀缺陷は發生しないという事が明らかとなつた。



第7圖 酸洗時間と衝撃値との關係 (K鋼)

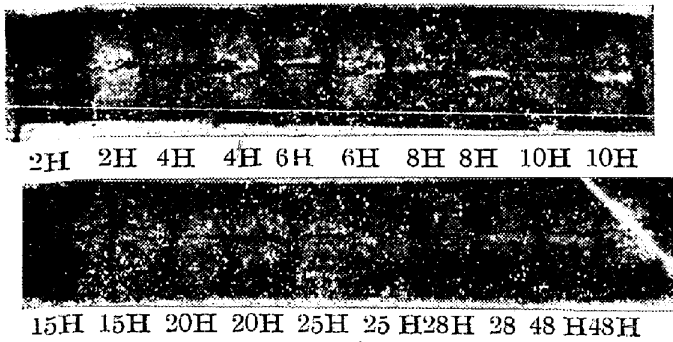


第8圖 焼戻温度と衝撃試験片の酸洗脆化との關係 (J鋼)



第9圖 焼戻温度と衝撃試験片の酸洗脆化との關係 (K鋼)

之等の試験片は何れも切缺附であり切缺試験片には白點狀缺陷を發生し難い事は既述の通りである故之等の結

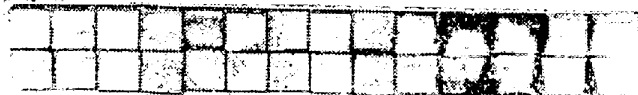


寫眞 4

酸洗した極軟鋼衝撃試験片の破面状況 (K鋼)  
数字は酸洗時間を示す

果は切欠の影響か衝撃の影響かが明瞭でない。それで同じ Ni-Cr 鋼である H鋼によつて切欠無のシャルピー衝撃試験片を作製し酸洗脆化試験を行つた。シャルピー衝撃試験機では焼戻温度が高くなると破断出来ないため空気がハンマーで衝撃破壊を行つたのでその衝撃値は不明で

酸洗各々 6H



100AT:200AT:300AT:400AT:500AT:600AT:700AT

寫眞 5

酸洗した切欠無衝撃試験片の破面状況 (H鋼)  
酸洗時間 6 時間 880°C 油注入右端より各  
2 本宛 700, 500, 500, 400, 300, 200, 100 を焼  
戻焼戻なし

あるが破面には寫眞 5 に示した如く白點狀缺陷は全く現  
われない。これより衝撃による切欠は切欠の有無に拘ら  
ず白點狀缺陷は発生し難い事が明らかとなつた。

(3) 酸洗脆化した衝撃抗張試験結果

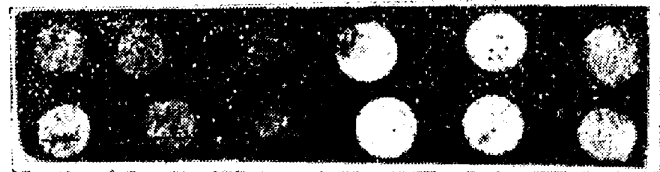
前節の結果より衝撃によれば白點狀缺陷が発生し難い  
事が明らかとなつた。併し之等の實驗は衝撃屈曲試験で  
あり、屈曲試験は今迄數多く行つて來た抗張試験に比較  
して試験數も少く又應力の方向も一定でない。従つて衝

撃の影響を検討するにも抗張試験の方が應力の方向が一  
定であり且從來の結果と比較し易いので酸洗脆化した抗  
張試験片をタップマシンを利用して衝撃破断を行つた。  
尚比較のため同時に酸洗した同一熱處理の抗張試験片を  
アムスラー抗張試験機で靜的に破断した。試験した鋼は  
銀白點狀缺陷の発生し易い A 鋼 B 鋼と略同一成分の H 鋼  
I 鋼及びリムド鋼である。衝撃試験に用いた試験片は直  
徑 10mm 標點距離 50mm で之れをタップマシンに重錘  
と共に取付け適當なる高さから落下し途中で試験片の上  
端部を止めて重錘のみ更に落下させ慣性により試験片を  
切断した。落下距離及び重錘の重量から計算した位置エ  
ネルギーと切断後重錘の持つエネルギーとの差から切断  
エネルギーを計算した。之の時の切断速度は約 1/500  
秒/cm と計算される。

試験の結果は第 5~7 表に又破断面の一部を寫眞 6 に  
示した。表中には同一熱處理同一酸洗の靜的試験の結果

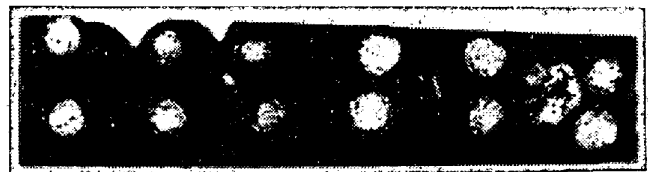
動的試験

靜的試験



焼戻 600°C 650°C 700°C 600°C 650°C 700°C

I 鋼



焼戻 500°C 600°C 700°C 500°C 600°C 700°C

J 鋼

寫眞 6

動的及び靜的に切断された酸洗した擴張試験片  
の破面状況比較の一例

(上:構造用特殊鋼, 下:極軟鋼 J 鋼)

第 5 表 酸洗した抗張試験片の動的並びに靜的試験結果 (H鋼)

試料 記號	熱處理 °C	衝撃抗張試験結果				靜的抗張試験結果			
		破断エネルギー (kgm/mm <sup>2</sup> )	伸 (%)	絞 (%)	破 面	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸 (%)	絞 (%)	破 面
H鋼	880 300AT	0.75	2	0	白點なし	—	—	—	—
	400AT	0.88	2	0	〃	—	—	—	—
	500AT	0.40	2	0	〃	—	—	—	—
	〃	0.51	8	10	〃	—	—	—	—
	〃	0.53	6	3	〃	—	—	—	—

500AT	0.31	6	7	〃	—	—	—	—
600AT	0.63	11	19	微小な白點らしきもの	—	—	—	—
〃	0.79	10	15	1ヶ	—	—	—	—
〃	0.32	6	11	白點なし	—	—	—	—
〃	〃	〃	〃	微小な白點らしきもの	—	—	—	—
〃	〃	〃	〃	周辺に2ヶ	—	—	—	—
650AT	0.76	15	40	同1ヶ	92.5	1	2	白點2ヶ
〃	1.05	16	47	白點なし	—	—	—	—
700AT	1.15	13	30	〃	90.8	0	0	白點1ヶ
〃	〃	〃	〃	〃	—	—	—	—
〃	0.82	12	42	微小な白點らしきもの	89.7	2	2	白點2ヶ
〃	〃	〃	〃	周辺に數ヶ	—	—	—	—
〃	0.66	13	30	白點なし	93.7	1	1	白點1ヶ
〃	0.66	13	35	〃	—	—	—	—
〃	0.86	8	42	〃	—	—	—	—

第6表 酸洗した抗張試験片の動的並びに静的試験結果 (I鋼)

試料 記號	熱處理 (°C)	衝撃抗張試験結果				静的抗張試験結果			
		破斷エネルギー (kgm/mm <sup>2</sup> )	伸 (%)	絞 (%)	破 面	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸 (%)	絞 (%)	破 面
I 鋼	8800	0.13	0	0	白點なし	—	—	—	—
	200AT	〃	〃	〃	〃	—	—	—	—
	〃	〃	〃	〃	〃	—	—	—	—
	300AT	0.14	0	0	〃	—	—	—	—
	〃	〃	〃	〃	〃	—	—	—	—
	400AT	—	0	0	〃	—	—	—	—
	〃	〃	〃	〃	〃	—	—	—	—
	500AT	1.18	7	16	〃	76.9	0	0	白點1ヶ
	〃	〃	〃	〃	〃	—	—	—	—
	〃	0.58	6	15	〃	—	—	—	—
	〃	0.40	—	17	〃	—	—	—	—
	〃	〃	〃	〃	〃	—	—	—	—
	600AT	0.84	10	24	〃	83.7	0	0	明瞭ならざ れど1,2ヶ
	〃	〃	〃	〃	〃	—	—	—	—
〃	0.69	8	16	白點の核らしきもの	66.5	0	2	白點1ヶ	
〃	〃	〃	〃	1ヶ	—	—	—	—	
〃	0.81	18	29	白點なし	84.7	0	0	〃	
〃	〃	〃	〃	〃	—	—	—	—	
〃	1.00	12	19	微小な白點らしきもの	—	—	—	—	
〃	〃	〃	〃	1ヶ	—	—	—	—	
〃	1.00	11	17	微小な白點らしきもの	—	—	—	—	
〃	〃	〃	〃	1ヶあるも明瞭ならず	—	—	—	—	
〃	1.30	12	28	同	—	—	—	—	
〃	〃	〃	〃	〃	—	—	—	—	
650AT	0.94	14	35	微小な白點らしきもの	96.5	0	2	白點2ヶ	
〃	〃	〃	〃	1ヶ	—	—	—	—	
〃	1.32	19	44	白點なし	96.5	2	0	白點數ヶ	
〃	〃	〃	〃	〃	—	—	—	—	
〃	1.27	13	28	微小な白點らしきもの	80.0	0	0	白點2ヶ	
〃	〃	〃	〃	あるも明瞭ならず	—	—	—	—	
700AT	1.34	18	51	白點なし	98.0	8	15	白點數ヶ	
〃	〃	〃	〃	〃	—	—	—	—	
〃	1.20	16	47	〃	96.7	10	16	〃	
〃	〃	〃	〃	〃	—	—	—	—	
〃	1.13	18	50	〃	94.5	12	26	白點なし	
〃	〃	〃	〃	〃	—	—	—	—	
〃	1.33	20	54	微小な白點らしきもの	—	—	—	—	
〃	〃	〃	〃	1ヶ	—	—	—	—	
〃	1.20	19	49	白點なし	—	—	—	—	
〃	〃	〃	〃	〃	—	—	—	—	
〃	1.00	18	51	〃	—	—	—	—	

第7表 酸洗した抗張試験片の動的並びに静的試験結果 (J鋼)

試料 記號	熱處理 (°C)	衝撃抗張試験結果				静的抗張試験結果			
		破斷エネルギー (kgm/mm <sup>2</sup> )	伸 (%)	絞 (%)	破 面	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸 (%)	絞 (%)	破 面
J 鋼	9000	—	21	62	白點なし	48.3	23	50	微小白點 1ヶ
	焼戻なし	—	30	65	〃	—	—	—	—
	〃	〃	〃	〃	〃	—	—	—	—
	〃	0.95	27	62	〃	—	—	—	—
	〃	0.92	28	61	〃	—	—	—	—
〃	1.14	32	62	〃	—	—	—	—	

200AT	—	26	60	50.2	16	44	微小白點數ヶ
〃	0.91	29	63	〃	〃	〃	〃
〃	0.81	30	63	〃	〃	〃	〃
300AT	—	28	62	46.5	23	38	微小白點多數
〃	0.90	29	63	〃	〃	〃	〃
〃	0.90	30	63	〃	〃	〃	〃
400AT	—	38	67	46.6	16	52	微小白點數ヶ
〃	0.73	28	64	〃	〃	〃	〃
〃	1.27	36	61	〃	〃	〃	〃
500AT	—	32	63	〃	〃	〃	微小白點數ヶ
〃	0.94	29	64	〃	〃	〃	〃
〃	0.89	30	62	〃	〃	〃	〃
600AT	—	35	66	44.5	30	59	微小白點數ヶ
〃	0.89	31	65	〃	〃	〃	〃
〃	1.14	36	64	〃	〃	〃	〃
700AT	0.89	34	69	43.9	28	47	微小白點數ヶ
〃	0.82	30	65	〃	〃	〃	〃
〃	0.76	29	67	〃	〃	〃	〃

を併記し寫眞には同時に切斷した兩者の破面を比較して示した。之の結果より明らかな如く靜的試験に於ては明らかに銀白點狀の缺陷を發生せしめているH鋼I鋼に於ても衝撃試験に於ては極めて微少な白點の核と見られる程度の輝いた點が時に破斷面の周邊に發生しているのが認められるのみで白點狀缺陷と認められる程度の大きさを持つものは全く見當らず同時に伸絞も又靜的試験に比較して遙かに大きい。この白點の核と考えられるものは第5報に於て一寸觸れた如く酸洗途上に於て發生すると考えられるもので普通の靜的試験の場合にはこの點を契機として局部破壊が發生し銀白點狀缺陷となると考えられるものである。又J鋼に於ては靜的試験のものは何れも微少なFish-eye狀缺陷が發生しているのに対して衝撃試験に於ては白點狀缺陷は全く認められず伸絞も酸洗しないもの程度に大きい。之等の結果より衝撃屈曲の場合と同様衝撃抗張試験に於ても靜的試験の場合と全く同一方向に全く同じ引張り應力を與えても白點狀缺陷を發生するに到らない事が示された。結局靜的試験と衝撃試験との間には切斷速度の遲速という差があるだけで水素の過飽和度、外部應力の方向大きさ等には著しい差は認められないに拘らず白點狀缺陷の發生という點から見れば前者には發生し後者には發生しないという著しい差を生ずる。之れは衝撃試験の性質即ち分離抗力と滑り抵抗の相對的關係の變化を考慮しなければならぬ事は勿論であるが鋼中に於る水素の舉動という面からも極めて興味ある事である。

### III 結果の考察

前報告の結果によれば試料に白點狀缺陷が發生し易いか否か又その白點狀缺陷の形狀かどうかは何れもその試料の外部應力に對する機械的な性質に基くこと従つて同一鋼種の鋼でもその熱處理如何によつて白點狀缺陷の形狀等は影響を受ける事が明らかとなつた。併し鋼種熱處理等が全く同じでも試験片に特殊な形狀を與えるか試験方法を變えるかによつて外部應力に對する機械的な性質殊にその分離抗力と滑り抵抗との關係に變化を與える事が出来る。その一例が本報で實驗した切缺附抗張試験の結果である。普通抗張試験に於ては降伏點迄は試験片の形狀には變化なく従つて主應力は引張り方向のみで第二第三主應力の發生は見られず、第二第三主應力の發生は試験片が十分伸びて絞りを發生した時に限られる。然るに切缺附抗張試験に於ては切缺近傍に於ては始めから第二、第三主應力が發生し従つて分離破壊が起り易くなる。例えば最大剪斷應力説に従えばその最大剪斷應力は前者に比較して滑り抵抗より容易に小さくなり従つて分離破壊は容易となる。斯様な状態では局部分離破壊のみを起すことは寧ろ困難で従つて白點狀缺陷は起り難くなる事が容易に想像される。従つてアイゾットシャルビー等の切缺附衝撃試験片に於ても同様の理由から白點狀缺陷が發生し難いであらうと考えられる。

然るに切缺無しの衝撃抗張或いは衝撃屈曲試験は之れと稍事情を異にしている。例えば D. S. Clark 及び G. Dätwyler<sup>1)</sup> の實驗結果に示されている如く、衝撃によつて切斷された場合には降伏點が上昇し、従つて分離抗力と滑り抵抗との相對的關係は變化するがその關係は切斷速度に影響され一般に切缺の場合の如く直ちに分離破

壊を起すという程度で無い事は本報の實驗で伸長の著しく大きい事からも明らかである。A. V. de Forest<sup>2)</sup>等が指摘している如く衝撃抗張力は相當複雑な因子が影響していると思われ、それ等の因子に嚴密な検討を加えないで衝撃試験と靜的試験の結果を試験片の形狀大き及び應力の作動方向大き等が同じであるという理由で結果が同じであると考え事は危険であるが、水素脆化と衝撃との關係は普通の切欠附衝撃試験による實驗のみで而も水素脆化は衝撃に對しては鋭敏でないという程度しか判っていない現在、若し酸洗脆化がなければ動的靜的共著しい差を與えない程度の本實驗に於て動的試験の場合に限り白點狀缺陷が發生し難く、又一般の水素脆化の程度も極めて低いという事實は鋼中に於ける水素の存在状態及びその舉動に對し重要な考察の根據を與えるものと考えてよいと思われる。

前報の結果によれば或一定値以上の張力の許で水素の侵入が行われれば白點狀缺陷が發生し本報の結果によれば同じ過飽和水素の存在する状態に於て切斷速度が増せば外部應力が全く同じ状態でも白點狀缺陷が發生し難くなる事を知つた。又第5報<sup>3)</sup>の結果によれば外部應力の存在は僅かであつても水素の局部集積は起り白點狀缺陷の核となり得る事が考えられる。若し從來の理論の如く、鋼中の一局部に水素が集積しそれだけの水素で白點狀缺陷が發生し得るものとすれば後者の場合何故外部應力の大き方向共靜的試験の場合と大差ないに拘らず切斷速度の増加によつて白點狀缺陷が發生し難くなるかを明らかにする事は困難である。従つてこの結果は應力を受ける前に豫め存在する水素の集積のみでは白點狀缺陷を發生するには不十分である事を示すものと思われ、靜的に外部應力を受けた際にのみ水素の局部集積が促進されるものと考えなければならぬ。

Zaffe<sup>4)</sup>は Fractography によつて、水素を電解によつて富化した鋼の破面上に發生した Neumann 帯中から非常に迅速に油膜下にガスが發生して氣泡を作る事を觀察し、氣泡の發生が Neumann 帯上に限られる事及び非常に迅速である事から一旦原子狀に溶解した水素は漸次結晶缺陷或いは格子缺陷等の微小な穴の中に蓄積され、それが變形によつて滑り面劈開面或いは Neumann 帯が生じてその境界が開かれ之等の穴を開放するためであらうと述べているが、筆者の實驗結果よりも、酸洗中始め一様に鋼中に擴散侵入した水素は何時迄も均一に格子内に分布されて居らず漸次格子間隙より格子缺陷或いは Mosaic 構造間隙其の他微視的な缺陷に基く鋼中の小空隙或いは一次結晶組織間隙、氣泡偏析其の他巨視的な

原因より來る鋼中の小空隙等に擴散侵入して鋼中の各所に斯る分子水素の集積が起り得るものと考えられるがこの際小空隙の形狀或いは大きにより活性吸着した原子水素或いは結合の弱い分子水素の存在が考えられ、同時に分子水素の集積した近傍に於ては格子間隙或いは中間構造間隙等に原子狀或いは分子狀の水素、又は Zaffe<sup>5)</sup>が可逆的吸蔵と命名した結合力の弱い原子水素對等が他の部分より多量に存在するものと考え事が出来る。今斯様な状態の鋼に張力が作用すれば鐵原子間の結合エネルギーに變化を生じ、轉位論によれば轉位の移動によりこの附近に空隙の擴大或いは滑りが起りその結果水素集積部近傍の原子水素の移動、完全分子化及びその分子水素の移動が促進されると考える事が出来る。この際若し外部應力の作用が瞬間的であればその間に於る水素の移動集積は少く、白點狀缺陷に迄發展し得ないのに對し、靜的であれば水素の移動集積が十分行われ白點狀缺陷に迄發展し得るものと考えられる。要するに鋼中の或一點が白點狀缺陷となるためにはその點に於る分子水素の集積のみでは不十分でその近傍の水素の集中によつて捕促されるか、特にその附近の水素がその一點に集中して集積される様その附近に轉位の集中が起つていなければならないかと考える事によつてのみ上の應力作働時間の差による白點狀缺陷の發生の有無は解決される様に思われる。

併し轉位の移動或いは集中の起るためには通常或る一定の大きさの應力が作用している必要がある。今鋼中に小空隙が存在しその點を中心に外部應力の作用により轉位の移動によつて集中的に滑りが發生すれば、斯様な状態の許で擴散移動する過飽和水素はこの部分に於て分子水素化が最も多く行われ従つて分子水素の集積も著しく行われるであらう。特にこの際切欠効果が重きなればその點は容易に白點狀の割れを發生し得るわけである。斯様に考えれば白點狀缺陷が發生するかしないかは鋼の材質組織等には全く無關係で、その鋼に存在する水素の過飽和度と鋼中に存在する小空隙を中心に滑りが起り得るだけの外部應力が存在するかどうかと第6報に於て考察したその鋼の外部應力に對する機械的性質だけが問題となるのであつて、その應力が熱應力であらうと變態應力であらうと又其の他の應力であらうと差支なく更に組織がマルテンサイトであらうとソルバイトであらうと別に關係のない事である。之等は結局その鋼にどれだけ水素に過飽和度を與えるか、又どれだけの應力を與えるか更に機械的性質がどうなるかに關係して來るものである。

これは今迄の實驗結果より明瞭である。

勿論上述の事柄は實驗的に確實な證據があるわけでは



ない。轉位論自身が未だ問題となる點を残し特に破壊の問題に對してさうである時に<sup>67)</sup> 斯る鋼中の小空隙に轉位の移動集中が起ると考える事は誤であるかも知れない。併し従來の考え方の如く鋼に存在する一點に集中した水素によつて發生する内部應力によつて白點が發生するという考え方は實驗的に見て不十分であると考えられ、又外部應力の作用は單に水素によつて發生する内部應力の補助的作用をすると考える以外に外部應力には一局部に水素の集積を高めその分子水素によつて發生する内部應力を大ならしめるといふ白點發生の見地から見て極めて重要な作用があると考えられる。斯様に考える事によつて前報の應力下に於る酸洗の際外部應力に白點發生の爲の臨界値のある事が首肯されるわけである。併し以上の如き飛躍的な決論を出すには尙實驗資料が不十分であり更に斯様な見地に立つて行ふ他方面からの實驗を必要とし、又理論的にも多結晶體の塑性變形理論、破壊理論の發展によつて補正され又は訂正される可能性はあると思われる。

#### IV 結 語

本報は白點狀缺陷が發生し難くなる條件を求めそれより鋼中に於る水素の舉動存在状態及び外部應力の作用等

を総合的に考察した結果である。併し本報迄の結果を綜合しても水素の舉動白點狀缺陷の發生機構に關し尙不十分な點のある事が感ぜられる。併し之等の多くは結局鋼自身に關する本質的な諸性質の不明な點に基く點が多いので一應本報に可能な結果を取纏めた次第である。最後に不十分な點に關しては今後研究の進展と共に再検討して行きたいと考えている。(昭和 24, 7 月寄稿)

#### 文 献

- 1) D. S. Clark, G. Dätwyer: Amer. Soc. for Test. Material 38 (1938) part II 71
- 2) A. V. deForest: A. I. M. E. Metal. Techn. 8 (1941)
- 3) 下川義雄: 鐵と鋼 35 (1949) 128
- 4) C. A. Zaffe, F. K. Landgraf, C. O. Worden: Iron Age (1948) April 1, 8
- 5) C. A. Zaffe, C. E. Sims: Metals & Alloys 11 (1940) 145
- 6) F. Seitz, T. A. Read: Journ. Applied phys. 12 (1941) 470
- 7) R. Füstth: Proc. Roy. Soc. Series A 177 (1941) 217

(37 頁より續く)

よる方法は操作上格段の利點を有し、その實用性は十分に確認されたのである。Al 熔射法により耐高温酸化性を得る場合に注意すべき點としては、(1) 熔射前の清淨及びサンドブラスト(スチールグリットによれば更に可)を十分に行ふこと、(2) 熔射は成るべくガス式ピストル

を使用すること、(3) 熔射後速かに擴散處理を行うこと等である。

なお本研究の試料作製に多大の便宜を供與された櫻金屬工業株式會社の佐野孝治氏に深謝の意を表する次第である。(昭和 24, 7 月寄稿)