

—Crack path

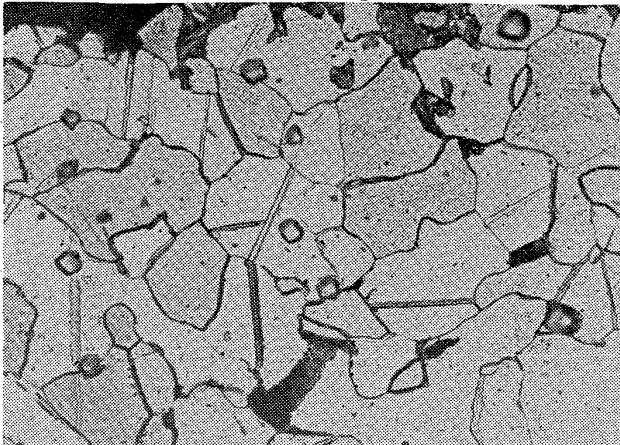


Photo. 2. Twins nucleated during brittle fracture propagation in double tension test at -71.5°C
(stress of Propagating part: 6.63 kg/mm^2 ,
170 mm away from notch root)

生直後の伝播時においても cleavage step の形成・発達が認められ、これによるエネルギーの吸収がかなりあるものと考えられる。Low³⁾ によれば cleavage step ができるのは、脆性クラック先端における応力集中のため既存の転位が運動するために生ずるらせん転位とクラックの反応によるもので、したがって高温ほどまた荷重速度の小さいほど、粒界の cleavage step “river patterns” は発生しやすいとしている。しかし -196°C の超低温でもかなりの発生が認められており、エネルギー吸収に寄与していることは明らかである。また、cleavage step は、上述の原因以外に次のような機構からもできる。すなわち、クラックが劈開面と平行でなかつたら、その不整合に適合するように Step ができる。このようにして段のついた破壊では、単に表面積が増すだけでなく、第二次劈開面あるいは上り面が一次劈開面に直角でない場合段を作るための塑性変形が必要である。また互いに隣接する結晶粒の方位が異なると平行な劈開面が異なるレベルで生じ粒界に step ができる。以上のようなことから (iii) 項によるエネルギー吸収量は低温でもそれほど減少せずほぼ一定値になることが想像される。

また、この一定値 S_0 が鋼種によつて異なり、HT60 よりも Al killed の方が高い値を示しているが、これも粒界の面積の差および粒界自体の性質の差異に基いてると推測される。

IV. 結 言

脆性破壊伝播限界応力の温度依存性を調べるため、Al killed 鋼および HT60 鋼について二重引張り試験を行ない、脆性破壊伝播時の表面塑性エネルギーを求め、同時に得られた破面について電顕観察を行なった。

この結果によると、限界温度附近では表面塑性エネルギー S の対数と絶対温度の逆数の間に直線関係が成立するが、十分低温になると、この直線は折れ曲り、 S はほぼ一定値に近づく傾向がある。その原因については、粒界の伝播抵抗が超低温でもある一定の値を有していることによると推測される。

文 献

- 1) Y. AKITA and K. IKEDA: On Brittle Crack Propagation and Arrest-Theoretical and Experimental Analyses of ESSO Test with Temperature Gradient, Report of Transport. Tech. Res. Inst. No. 56. Dec. 1962.
- 2) 越賀・今沢: 造船協会溶接研究委員金6分科資料 2月 1963
- 3) J. R. Low, Jr.: A Review of the Microstructural Aspects of Cleavage Fracture G. E. Res. Rep. No. 59-RL-2204, March. 1959

669,12,24,2:669,71:62,252
1539,125,5,04:620,178,74522

(140) 原子炉構造用鉄鋼材料の照射脆化の研究

日本原子力研究所, 東海研究所

工博 川崎 正之・○藤村 理人

中崎長三郎・生田目 宏

Neutron Irradiation Embrittlement of Reactor Structural Steels. pp1952~1955

Dr Masayuki KAWASAKI, Tadato FUJIMURA,
Chozaburo NAKAZAKI and Hiroshi NAMATAME

I. 緒 言

動力用原子炉において鉄鋼材料は主として圧力容器および配管構造に使用される。圧力容器に使用される鉄鋼材料は原子炉運転使用中に速中性子照射をうけて照射脆化することが海外の研究で明らかにされ、その照射脆化の程度は、原子炉の安全性、ひいては原子炉の経済性に関連するので、最近きわめて重要な問題点となった。

わが国では大型研究用原子炉の利用がおくれたため、今日までこの問題の解明について海外に比べて著しく立ちおくれを示している。最近、日本原子力研究所のJRR-2は定常運転に入つたので、同炉を利用する国産鉄鋼材料の照射試験も軌道にのり、照射後試験の設備をほぼ整備をすませた。

著者らは、1962年より、照射脆化の研究を遂行するため、研究の計画、試験の準備を進め、1963年に3回にわたり、鉄鋼材料のシャルピー衝撃試験片について国内では最初の速中性子照射量、 $5.8 \times 10^{18} \text{ n/cm}^2$ の照射を行ない、照射後試験を実施したのでここに第1報として報告する。

II. 照射試験

鉄鋼材料の照射試験を実施した原子炉実験孔は、JRR-2の垂直実験孔である。著者らは同炉の垂直実験孔VT-2に照射試験装置を試作し、さらにその経験を生かして、中央実験孔VT-1における照射装置を製作した。Table 1はこれら実験孔の照射条件を示す。すなわち、VT-2では1原子炉サイクルの照射で照射脆化の研究に満足な速中性子照射量は得られないが、VT-1によれば研究に満足な速中性子照射量を得ることができる。著者らの試作した照射試験装置の系統図をFig. 1に示す。同図で明らかのように、JRR-2では、VT-1における過剰反応度を有利に維持するために、重水を充填している。このため、照射試料は重水に浸漬した状態で照射さ

Table 1. Irradiation condition at VT-1 and VT-2 of JRR-2.

Experimental thimble	VT-1	VT-2
Thermal neutron flux, $n/cm^2, sec., M W$	3.7×10^{12}	4.6×10^{12}
Fast neutron flux ($1 Me V <$), $n/cm^2, sec., M W$	2.2×10^{12}	1.6×10^{10}
Fast neutron dose for 1 reactor cycle at 5 M W operation, n/cm^2	5.1×10^{18}	4.7×10^{16}

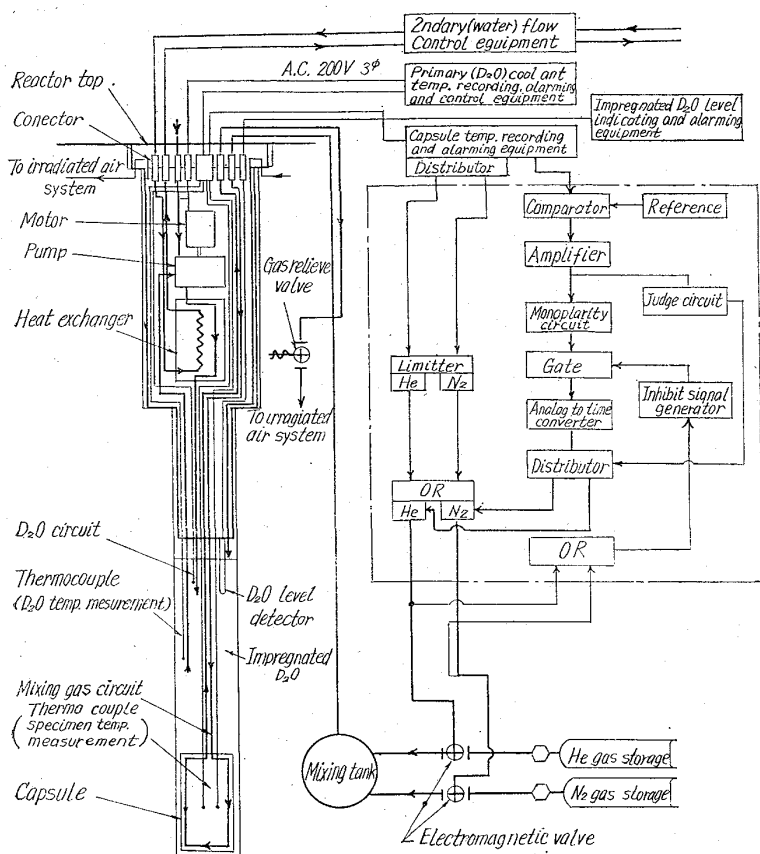


Fig. 1. Block diagram of test rig in JRR-2, VT-1.

れる。充填重水の温度は炉心重水の温度と等しく約 55°C であるが、鉄鋼材料を同実験孔で照射するとき、 γ 加熱によって試料の温度上昇はきわめて大きい。この γ 加熱による発熱量はすべて充填重水によって除去されるため、重水の温度が上昇するが、この重水の温度上昇は炉の安全性を保持するため、75°C 以下に保持しなければならない。著者らの試作した照射試験装置はこれらの条件を満足せしめるように設計され、重水の強制冷却回路を有する照射プラグと重水レベル計および重水温度記録計よりなっている。

Photo. 1 は著者らの試作した純アルミニウム製照射試料ホルダで 1 ランの照射で標準シャルピー衝撃試験片 48 本の照射が可能である。

照射試料は重水中で照射が行なわれるため、鉄鋼材料においては腐食が著しく進行する。これを防ぐため、照射試料はすべて銅-ニッケルメッキを施した。

中性子照射量はコバルト細線により、3 個所で熱中性子照射量を測定し、それぞれの照射試料の位置について、予め測定した速中性子束と熱中性子束の比より速中性子照射量を計算により算出した。

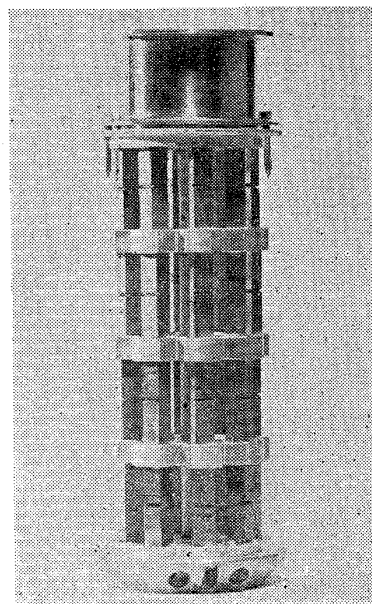


Photo. 1. Irradiation holder and specimens.

III. 照射後試験

照射後試験のため Photo. 2 に示すとき、遠隔操作シャルピー衝撃試験機と遠隔操作冷却槽を試作した。本シャルピー衝撃試験機は、自動遠隔操作により、ハンマーの落下、試験片の衝撃破断後、初めのハンマーの位置までもどす動作が一挙動で行なわれるよう設計した。また、測定値は吸収エネルギーが直接読みとれることができると同時に記録せしめることとした。また冷却槽は寒剤としてアルコールを使用し、液体窒素で自動冷却により最低 -100°C に保持することができる。また試験片のハンドリングはマニプレータにより迅速かつ容易にハンドリングを行なうことができるように設計してある。こ

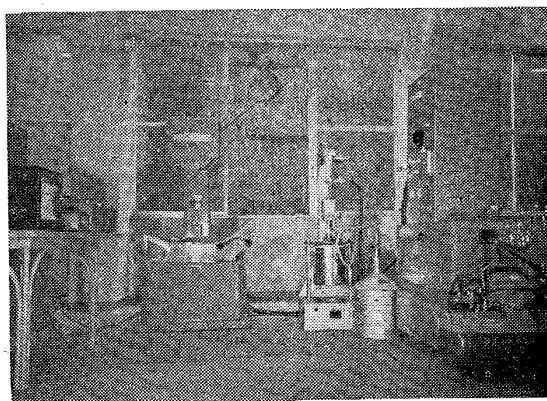


Photo. 1. Remote control charpy tester.

Table 2. Change of transition temperature by irradiation.

(a) ASTM, A 302 B steel

Run No.	Fast dose, n/cm^2	Transition	Change of transition temperature, $^{\circ}C$
1	14×10^{15}	Tr 30 Trs	0 -3
2	1.9×10^{16}	Tr 30 Trs	0 0
3	1.5×10^{18}	Tr 30 Trs	27 12

(b) Al-killed steel

Run No.	Dose, n/cm^2	Transition	Change of transition temperature, $^{\circ}C$
1	1.4×10^{15}	Tr 30 Trs	-14 -5
2	1.9×10^{16}	Tr 30 Trs	-17 -10
3	1.5×10^{18}	Tr 30 Trs	26 26

Run : No.2 (10th R.C), 83.5hrs, at 5MW.
Experimental location : JRR-2. VT-1.
Irradiated temperature : $60^{\circ}C$ in D_2O .
Dose (n/cm^2):

	ϕt (Measured)	ϕf (Calculated)
○	9.0×10^{18}	1.5×10^{18}
●		7.0×10^{17}

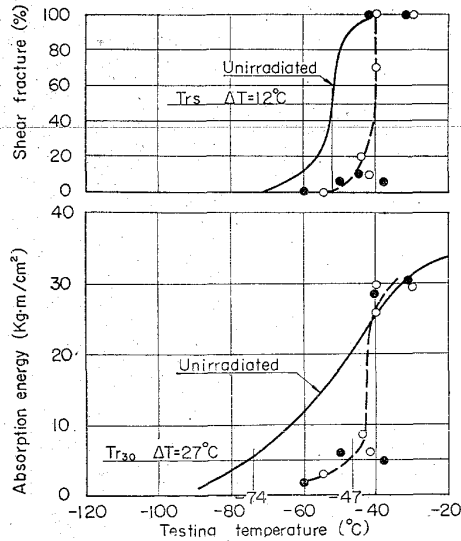


Fig. 2. Results of V Charpy test in post irradiation on A 302 B steel plate.

これらの装置はすべて、モックアップテストを実施し、標準シャルピー衝撃試験機における測定値とほとんど同一値がホット・ラボラトリーの照射後試験で得られることを確認した。

IV. 照射後試験の結果

国産の ASTM, A 302 B 鋼およびアルミキルド鋼について照射後試験(Vノッチ・シャルピー衝撃試験)の結

Run : No.2 (10th R.C), 73.5hrs, at 5MW.
Experimental location : JRR-2. VT-1.
Irradiated temperature : $60^{\circ}C$ in D_2O .
Dose (n/cm^2):

	ϕt (Measured)	ϕf (Calculated)
○	9.0×10^{18}	1.5×10^{18}
●		7.0×10^{17}

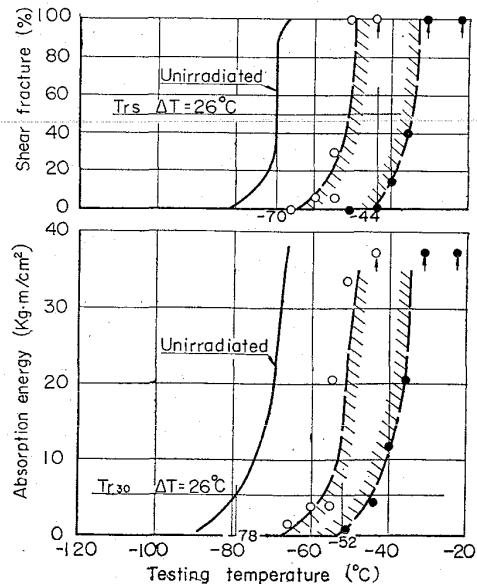


Fig. 3. Results of V Charpy test in post irradiation on Al-killed steel plate.

果、遷移温度 (30ft-lb 遷移温度 (Tr 30) と 50% 剪断破面遷移温度 (Trs) の上昇を Table 2 に示す。

Table 2 に示すように、アルミキルド鋼では速中性子照射量の低い、 $10^{15} \sim 10^{16} n/cm^2$ 程度で遷移曲線が低温側へ移動する現象が観察された。これについては今後

詳細に検討を加える必要がある。この現象は A302B 鋼ではほとんど観察されていない。

Fig. 2 および Fig. 3 に速中性子量 $10^{18} \cdot n/cm^2$ における A 302 B 鋼およびアルミキルド鋼の照射後試験の結果を示す。30 ft-lb 遷移温度の上昇はいずれの鋼材も 26°C 前後である。この値は海外の照射試験の結果と対応してほぼ一致した結果である。ただし剪断破面遷移温度の上昇は 2 鋼種で必ずしも一致しなかつた。またこの程度の照射量では吸収エネルギー低下は観察することはできなかつた。

669/12/25: 620.178.746.22

(141) 各種鋳鋼材の低温衝撃試験

小松製作所

埴田 修・○篠田 勇・山西 外之

Low Temperature Impact Tests of Various Cast Steels.

Osamu HANITA, Isamu SHINODA and Sotoyuki YAMANISHI

I. 緒 言

最近化学工業の発達に伴ない、低温操作を必要とする装置には低温用材料の使用が強く要望されるようになってきた。

一般に鋼材は温度の低下に伴ない硬度、抗張力は上昇し、伸び、絞りはわずかに低下するが、特に衝撃値は低温脆化の度合は非常に敏感に現われるものである。

そこで今回われわれは特に鋳鋼材につき、①ノッチの影響、②熱処理の効果、③材料個々の値を把握する目的で低温における衝撃試験を行なつた。

Table 1. Chemical composition of specimens.

Steel type	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Ni%	Mo%	V%
J I S Si Mn 1B	0.29	0.52	1.01	0.010	0.009				
ASTM LC-B	0.21	0.42	0.73	0.019	0.012			0.46	
" LC-1	0.16	0.32	0.63	0.024	0.014				
" LC-2	0.18	0.38	0.75	0.018	0.028		2.70		
" LC-3	0.08	0.44	0.70	0.007	0.013		3.58		
J I S SCS 1	0.09	0.61	0.75	0.012	0.031	12.75			
" SCS 13	0.07	0.70	0.65	0.018	0.014	18.86	9.23		
" SCMnH	1.09	0.58	13.00	0.048	0.012	2.68			0.46
ASTM 9% Ni	0.09	0.30	0.48	0.007	0.016		8.77		

Table 2. Heat treatment of specimens.

Steel type	Heat treatment °C		
	Annealing	Quenching (Normalize)	Tempering
Si Mn 1B	900°C F.C	870°C W.Q	630°C A.C
LC-B	"	"	650°C A.C
"	"	870°C N	"
LC-1	"	900°C O.Q	"
"	"	900°C N	"
LC-2	"	870°C O.Q	"
"	"	870°C N	"
LC-3	"	850°C O.Q	"
"	"	850°C N	"
SCS 1	"	980°C N	730°C A.C
SCS 13	"	1100°C W.Q	
SCMnH	"	1050°C W.Q	
9% Ni	"	900°C N→790°C N	565°C A.C

Table 3. Relation of test temperature and specimens.

Steel type	Test Temp. °C	Steel type	Test temp. °C
SC Si Mn 1B	+20~-80°C	SCS 1 (13%Cr)	+20~-80°C
ASTM LC-B	+20~-50°C	SCS 13(18-8)	+20~-180°C
" LC-1	+20~-60°C	SCH Mn	+20~-80°C
" LC-2	+20~-80°C	ASTM 9%Ni	+20~-180°C
" LC-3	-40~-100°C		