V型切欠きを有する炭素鋼の繰返し衝撃引張試験について*

斎 藤 葆** 相 場 真 也***

On Repeated Tensile Impact Test of Carbon Steel with V Notches

by

Shigeru SAITO and Shinya AIBA

(Akita Technical College, Akita)

One of the authors previously reported the results of the repeated tensile impact test on carbon steel and copper having notches with various fillet radii ρ to find the effect of notches on impact fatigue curves and cleared up the crossing of plastic fatigue curves.

In this paper, the results of experiment are reported on the specimens having notches with constant radius ρ and various ratio of notch d/D where d is the diameter of root of notch and D is the diameter of the parallel part of the specimens.

From the results of experiments, the following conclusions are obtained ;

- (1) The impact value at $N=1$ decreases when the diameter ratio of notch d/D becomes smaller.
- (2) In the diagram of the relation between the repeated impact energy E and the number of repetitions of impact to failure N , the plastic fatigue curves start from the impact value at $N=1$ for each type of the specimen. Unlike the case with various fillet radii in the previous paper, they go down abreast to each discontinuous point, and do not cross each other. This seems to depend upon the fact the deformation preventing effect is almost identical in the low energy range of plastic fatigue, because the sharpness of the root of the notch is kept constant.
- (3) There was observed the changes of elongation ϕ and contraction of area ψ with impact energy.

(Received Aug. 9, 1966)

1 緒 言

円孤型環状切欠きを有する試験片を用いた繰返し衝撃引張試験において、切欠き底の直径 d を一定とし、切欠き曲率半径 ρ を変化させることにより、不連続点を有する衝撃疲労曲線がいかなる影響を受けるかについては前報に報告したとおりであるが、塑性疲労曲線において、衝撃エネルギーの大きい範囲では衝撃応力の集中による切欠き効果によって、 ρ の大きいものほど強いが、衝撃エネルギーが低くなるにつれ、曲線は交差し ρ の小さいものが強くなるという事実を、低衝撃エネルギー範囲では切欠きの存在が変形を拘束し、 ρ が小さいほどその影響を著しく受けるのであらうと考察した。

上述の考察によれば、変形拘束による影響が大差のない、すなわち切欠き底の形状を一定にした実験を行なえば、低衝撃エネルギー範囲の変形拘束による影響が大差なく、したがって、高衝撃エネルギー範囲の切欠き効果が低エネルギー範囲まで持ち越され、曲線の交差も現われないのではないかという予測に基づいて、60°V型の円周切欠きの ρ と d を一定とし、平行部直径 D

を変化させた場合について、 d/D が1～0.6の範囲を実験し、塑性疲労範囲と真の疲労範囲の衝撃疲労曲線の形状を明らかにしたので、その結果を報告する。

2 実験方法および供試材料

衝撃エネルギーが低く、したがって破断繰返し数の多い範囲には藤井式万能繰返し衝撃試験機を使用し、その能力以上の範囲の繰返し衝撃試験と単一衝撃試験にはシャルピー式衝撃試験機の衝撃引張試験装置を用いた。

供試材料はS15CおよびS35Cで、これら炭素鋼の化学成分はTable Iに示すとおりである。試験片はA型が万能繰返し衝撃試験機用で、B型がシャルピー式衝撃試験機用であり、それらの形状と寸法をFig. 1に示す。A-1とB-1はともに平滑試験片、他はすべて切欠き試験片で、それぞれの形状係数をNeuberによる形状係数表より求めてTable IIに示した。試験片は供給状態のまま機械加工によって作製し、エメリ

Table I. Chemical composition (%).

Material	C	Si	Mn	P	S
S 15 C	0.14	0.27	0.57	0.032	0.014
S 35 C	0.36	0.37	0.80	0.010	0.012

* 原稿受理 昭和41年8月9日

** 正 会 員 秋田工業高等専門学校 秋田市飯島

*** 秋田工業高等専門学校 秋田市飯島

Fig. 1. Form and dimension of unnotched and notched specimens.

Table II. Value on notch of specimen.

Mark	D (mm)	d (mm)	d/D	ρ (mm)	αk
A-1 B-1	6	6	1	0.2	1
A-2 B-2	7	6	0.857	0.2	3.255
A-3 B-3	8.5	6	0.706	0.2	3.765
A-4 B-4	10	6	0.600	0.2	3.924

Table III. Mechanical properties.

(GL=50 mm)

Material	Yield point (kg/mm ²)	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Contraction of area (%)
S 15 C	26.8	43.5	31.3	68.7
S 35 C	32.7	53.7	28.6	54.1

一ペーパー #0000 まで表面の研摩仕上を行ってから、万能投影器によって切欠き形状を確認して実験に供した。

静的な機械的性質は島津製 30 t 万能試験機を用いて求め、Table III に示した。試験片は 10 mm 直径、標点距離 50 mm である。

3 実験結果および考察

3・1 衝撃疲労曲線

S 15 C と S 35 C の平滑および切欠き試験片による繰返し衝撃引張試験の衝撃疲労曲線を Fig. 2 および 3 に示す。衝撃エネルギー E (kg-cm/mm²) を縦軸に、破断繰返し数 N を横軸に、それぞれ対数目盛で表わしてあり、図中の丸印は平滑試験片を、三角、四角の印は切欠き試験片を表わし、塑性疲労範囲と真の疲労範囲での破壊、さらに使用試験機の区別などはすべて凡

Fig. 2. Results of repeated tensile impact tests for unnotched and notched specimens (S15C).

Fig. 3. Results of repeated tensile impact tests for unnotched and notched specimens (S35C).

例に示すとおりである。

Fig. 2 と 3 の縦軸上に示されているのは $N=1$ ，すなわち単一衝撃引張試験による衝撃値であり、その値とともに平滑試験片の衝撃値を 100 にしたときの比、変形量などを Table IV に示した。d/D の値が小さくなるほど切欠き効果は著しく現われ、衝撃値は減少しているが、この傾向は S 35 C において特に明らかである。

平滑、切欠きの両方とも個々の曲線についてみれば単一衝撃値に始まる塑性疲労曲線は衝撃エネルギーが小さくなるにつれて下降し、不連続点に至り、以後は真の疲労曲線が漸しく描かれるのは前報に報告したと同

*1 Fig. 3, 4 の塑性疲労曲線は目のこて引いたものであるが、衝撃エネルギーを E 、不連続点の衝撃エネルギーを E_1 、破断繰返し数を N とし、 a および m をそれぞれ定数とすれば次の式で表わすことができる。

$$\log(E - E_1) = a + m \log N \quad (E > E_1)$$

Table IV. Experimental results of tensile impact.

	Single tensile impact					Repeated tensile impact	
	d/D	Impact value (kg-cm/mm ²)	Ratio of impact value	Elongation (%)	Contraction of area (%)	Impact fatigue strength E (kg-cm/mm ²)	
						$N=10^4$	$N=10^5$
S 15 C	1	81.0	100	37.3	68.8	0.56*	0.15
	0.857	38.9	48.0	15.5	34.6	0.29	0.12
	0.706	17.5	21.6	4.8	25.4	0.16	—
	0.600	15.5	19.1	2.7	23.4	0.11	—
S 35 C	1	88.3	100	24.2	22.4	1.03*	0.24
	0.857	24.3	27.5	5.6	9.7	0.46	0.18
	0.706	8.5	9.6	4.1	7.4	0.28	0.14
	0.600	4.5	5.1	3.4	4.3	0.18	—

* Plastic fatigue fracture. No mark true fatigue fracture

様である。

各曲線の順位は平滑試験片の曲線が最も上に現われ以下形状係数の小さい順に並び、塑性疲労、真の疲労の両範囲にわたって順位の変わることはない。前報のように塑性疲労範囲で曲線が交差し、不連続点に近づくにつれて、順位がまったく逆になるという現象の現われないのは次のように考察される。

試験片に切欠きをつけると、切欠き効果によって強度は低下するが、一方変形を阻止し、強度を強化する変形拘束効果も生ずると考えられる。塑性疲労範囲での切欠き効果は単一衝撃における同じく形状係数の大きいものほど弱くなり、変形拘束効果は鋭い切欠き、たとえば切欠き底の ρ が小さいほど試験片を強化させ、また衝撃エネルギーが低くなるにつれて顕著に現われてくる。したがって、塑性疲労範囲では円弧型切欠きの ρ を変えた実験では、エネルギーの高い範囲では ρ の小さいものほど、低エネルギー範囲では ρ の大きいものほど強度は低くなり、塑性疲労曲線はその途中で交差すると思われる。本実験の $60^\circ V$ 型切欠きは切欠き底の形状、寸法は一定で、その鋭さはまったく同じであるから d/D の変化による変形拘束効果の増減はきわめて少ないはずである。したがって、塑性疲労範囲の全域にわたって切欠き効果による影響の差が著しく表われており、単一衝撃における強度の順位は低エネルギー範囲まで持ち越され、曲線の交差も生じないのであると考察される。

不連続点以下の真の疲労曲線も塑性疲労曲線の順位のまま下降し、交差することはない。

衝撃エネルギーを縦軸に対数目盛でとり、 d/D を横軸に普通目盛でとり、単一衝撃エネルギー、 10^4 および 10^5 における衝撃疲労強度および不連続点のエネルギーを Fig. 4 および 5 に示す。不連続点のエネルギーは d/D が 1 より減少するにつれて上昇し、S 15C、S 35C と

Fig. 4. Relation between impact energy E and d/D (S15C).

Fig. 5. Relation between impact energy E and d/D (S35C).

もに d/D が 0.857 で最高値を示し次いで下降している。

また、単一衝撃値の大きいものは衝撃疲労強度も大きい。

3.2 破面について

平滑試験片の場合は、塑性疲労曲線では明らかな塑性変形を伴った cup and cone 型で破断し、真の疲労曲線では疲労破面で破断しているが、切欠き試験片でも ρ が小さいために、変形が拘束され、塑性疲労曲線においても破面そのものはへき開型とみられるぜい性破面が現われる。真の疲労曲線ではいわゆる疲労破面とぜい性破面が共存しており、Fig. 6 に両曲線上の試験片の破面を示した。

3.3 塑性変形

縦軸に対数目盛で衝撃エネルギー E を、横軸に普通目盛で破断時の伸び ϕ をとり、S15C を Fig. 7 に、

(a) $E=0.960 \text{ kg-cm/mm}^2$ $N=218$ over discontinuous point
(b) $E=0.117 \text{ kg-cm/mm}^2$ $N=99\,092$ under discontinuous point
Fig. 6. Fracture of notched specimens ($D=7 \text{ mm}$ S15C).

Fig. 7. Relation between impact energy E and percent elongation ϕ at failure (S15C) (See the symbol of Fig. 2).

Fig. 8. Relation between impact energy E and percent elongation ϕ at failure (S35C) (See the symbol of Fig. 3).

S35C を Fig. 8 に示した。 ϕ は平滑試験片、切欠き試験片ともに標点距離35mmとして測定したものであるが、切欠き試験片においては、伸びのほとんどは切欠き部分に生じているものと思われる。図の凡例は Fig. 2 および 3 に従った。

平滑試験片の塑性疲労範囲では S15C、S35C ともに衝撃エネルギー 3 kg-cm/mm^2 の付近で ϕ は最大値となり、以後は降下して不連続点に至っているが、切欠き試験片の場合は S15C では単一衝撃の ϕ とほぼ等大あるいはわずかに大きい値を示し、不連続点近くで降下しており、S35C では ϕ は最初から減少の傾向を示し不連続点に至っている。このように傾向がそれぞれ相違するのは、一般伸びの大小ないし有無、破壊様式の違いなどに加えて材質の相違によるものと思われる。

Fig. 9. Relation between impact energy E and contraction of area ψ at failure (S15C) (See the symbol of Fig. 2).

Fig. 10. Relation between impact energy E and contraction of area ψ at failure (S35C) (See the symbol of Fig. 3).

真の疲労範囲では順次減少して、 d/D の小さいものでは 1%以下になっている。

破断時の絞り ψ を横軸にとり、衝撃エネルギー E との関係曲線を Fig. 9 および 10 に示す。S 15C, S 35C とともに平滑試験片では不連続がよく現われている。切欠き試験片では平滑の場合ほど明らかではないが、曲線の変曲点の不連続点に相当している。

塑性疲労曲線と真の疲労曲線の切欠き試験片を Fig. 11 に S 15C, Fig. 12 に S 35C を示す。塑性変形が切欠き部に集中しており、不連続点の上下によって差異のあることを見いださう。

4 結 言

さきに行なった円弧型円周切欠き試験片による衝撃疲労試験において、切欠き底の曲率半径 ρ を変えると、塑性疲労曲線の初期には ρ の大きいものが強いが、衝撃エネルギーを減じていけば、しだいに曲線は接近交差

(a)~(d) $D=7$ mm (e), (f) $D=8.5$ mm (g), (h) $D=10$ mm
 (a) $E=5.78$ kg-cm/mm² $N=6$
 (b) $E=0.96$ kg-cm/mm² $N=218$
 (c) $E=0.29$ kg-cm/mm² $N=11\,702$
 (d) $E=0.12$ kg-cm/mm² $N=99\,092$ } Plastic fatigue
 (e) $E=0.005$ kg-cm/mm² $N=267$ True fatigue
 (f) $E=0.803$ kg-cm/mm² $N=642$ True fatigue
 (g) $E=0.645$ kg-cm/mm² $N=318$ Plastic fatigue
 (h) $E=0.650$ kg-cm/mm² $N=638$ True fatigue

Fig. 11. Deformation in side of notched specimens (S15C).

(i)~(l) $D=7$ mm (l)~(n) $D=8.5$ mm (o), (p) $D=10$ mm
 (i) $E=24.31$ kg-cm/mm² $N=1$
 (j) $E=6.06$ kg-cm/mm² $N=6$
 (k) $E=0.11$ kg-cm/mm² $N=252\,104$
 (l) $E=3.16$ kg-cm/mm² $N=10$ } Plastic fatigue
 (m) $E=1.50$ kg-cm/mm² $N=45$ } Plastic fatigue
 (n) $E=0.29$ kg-cm/mm² $N=8\,860$ True fatigue
 (o) $E=1.00$ kg-cm/mm² $N=114$ Plastic fatigue
 (p) $E=0.71$ kg-cm/mm² $N=298$ True fatigue

Fig. 12. Deformation in side of notched specimens (S35C).

し、曲線後期では ρ の小さいものが強くなるのは、衝撃エネルギーが低くなるにつれて ρ の小さいものほど変形拘束効果が著しく現われたと考察して、 d/D のみを変え、 ρ および d を一定にした60°V型円周切欠き試験片によって、 d/D の変化により切欠き効果に差は生ずるが、切欠き底の鋭さは変わらず、したがって、変形拘束効果はほぼ一定に保たれるという条件下の実験を行ない、次のような結果を得た。

(1) 衝撃エネルギー E と破断繰返し数 N との線図において、 $N=1$ における衝撃値から始まる塑性疲労曲線は形状係数の小さいものが上方に現われ、衝撃エネルギーを低くするにつれて降下するが、切欠き底の ρ が一定であるために変形拘束効果に差が現われず、交

差することなく不連続点に達する。

(2) 不連続点以下の真の疲労曲線も塑性疲労曲線の順位のまま現われる。

(3) E と ϕ または ψ との関係曲線にも不連続は現われるが切欠き試験片の場合は平滑試験片のように判然とせず、変曲点として現われる傾向がある。

終わりにのぞみ、供試材料を恵与くださった三菱製鋼株式会社に感謝し、本実験を行なうにあたって終始協力していただいた秋田大学鉱山学部柴山幹雄君、当時学生久米滋樹、永田進の両君に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 藤村義樹、斎藤葆、門脇義次、材料, **13**, 861 (1964).