論文および報告

溶接継手のアンダーカットの深さの疲労強度に
およぼす影響*

多田美朝** 立花一郎** 寺尾貞一***

Effect of Undercut Depth on Fatigue Strength of Welds*

By Yoshiaki Tada**, Ichiro Tachibana** and Sadakazu Terao***

Abstract

Occurrence of undercutting in welded joint is inevitable in some welding position such as horizontal, vertical or overhead. Undercutting, must affect the fatigue strength of welded joint as it constitutes a notch. From this standpoint, the relation between the undercut depth and the fatigue strength was experimentally studied on the test pieces, which were taken from butt welded joints and fillet welded plates of mild steel.

Test pieces were prepared according to Fig. 2 in the shape as shown by Fig. 1; types and undercut depths of test pieces are listed in Table 2. The undercut depth was measured using the instrument shown in Fig. 3. Fatigue tests were conducted under pulsating tension. The testing machine was a 20t capacity hydraulic type. The tests were carried out up to 5×10^6 cycles. Understandably, the failure originated at the root of undercut in all test pieces.

The results of fatigue tests are shown in Figs. 5 and 6, and the 2×10^6 fatigue strength value (range of stress), obtained through interpolation and extrapolation, were plotted on a probability paper (Figs. 7 and 8). Then the mean value and the values of 5% probability and 95% probability of failure were plotted against the undercut depth in Figs. 9 and 10. Considerable variances are observed in the S-N curves of Figs. 5 and 6. These variances are represented by the fattened portions of vertical lines in Figs. 9 and 10; they are particularly wide in the case of the butt welded joint with a 0 mm undercut depth, and in that of the fillet welded plate with a 0.5 mm undercut depth. Perhaps it so seems on account of the number of test pieces being limited.

As seen from Fig. 9, the fatigue strength decreases in butt welded joints with an increase in the undercut depth; namely, it is seriously influenced by the undercut depth. By contrast, it is some what less influenced in the case of fillet welded plate, but ceases to decline beyond 0.3 mm. Perhaps there exists already a stress concentration at the toe of fillet and the notch effect in this area must be mitigated. It is due to an imperfect machining that no improvement on fatigue strength was observed in the machined test piece with a 0.46 mm undercut.

1. ま え が き

非仕上突合せ溶接継手およびスミ肉溶接継手の片振引張疲労試験を行うと、特に著しい欠陥のない場合は破断は必ずアンダーカット部に生じ、アンダーカットが継手の疲労強度を低下させる切欠となっていることは明らか

である。しかしアンダーカットの大きさが疲労強度におよぼす影響について定量的に調べた研究はない。また突合せ継手とスミ肉継手ではアンダーカットの影響が同じであるかどうかについても疑問がある。われわれは突合せ継手および鋼板にフレームをスミ肉溶接で取付けたスミ肉継手について種々の深さのアンダーカットを有する試験片を作り、その片振引張疲労試験を行い、アンダーカットの深さと疲労強度の関係を明らかにすることができたと思われるのでその研究結果をここに報告することとした。

* 原稿受付、昭和35年9月27日（昭和35年度溶接学会秋季学術講演会において発表）

** 正員、鉄道技術研究所 Member, Railway Technical Research Institute.

*** 正員、石川島播磨重工業KK Member, Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd. Technical Research Laboratory.

分類した。

これら試験片中Ⅶ種のはビード部をグラインダ仕上げしてある。

しかし Fig. 17 に見るようにアンダーカット部はほとんど研削されていない。

(5) アンダーカットの測定要領

測定器は Fig. 3 に示すようなものであって平らな鋼製定規の上にダイヤルゲージを取付け、ダイヤルゲ

Fig. 3 Apparatus to measure the depth of undercut.

Fig. 4 Strain gauge disposition on test specimens.

Table 4 Result of Fatigue Test of Fillet Welded Joint.

Code and No. of test piece	Plate thickness mm.	Stress max.~min. kg/mm ²	No. of cycles 10 ⁴	Failure × No failure ○	Remarks
I 5	10.07	20.0~2.0	84.8	×	
" 16	10.04	18.0~2.0	143.3	×	
" 23	10.04	16.0~2.0	250.6	×	
" 39	10.03	16.0~2.0	368.8	×	
" 68	10.11	16.0~2.0	311.0	×	
" 69	10.12	17.0~2.0	295.4	×	
" 71	10.11	18.0~2.0	106.0	×	
" 75	10.10	19.0~2.0	92.8	×	
" 79	10.08	20.0~2.0	67.6	×	
II 3	10.11	18.0~2.0	100.0	×	
" 4	9.79	14.0~2.0	268.0	×	
" 13	10.11	16.0~2.0	131.4	×	
" 20	10.09	13.0~2.0	210.3	○	
III 1	10.01	18.0~2.0	39.0	×	
" 7	10.08	16.0~2.0	97.6	×	
" 9	10.11	14.0~2.0	298.2	×	
VI 2	10.04	22.0~2.0	58.0	×	
" 6	10.10	20.0~2.0	61.0	×	
" 14	10.09	18.0~2.0	53.8	×	
" 15	10.03	16.0~2.0	201.5	○	No failure and then stress increased
" "	"	18.0~2.0	58.6	×	
" 21	10.05	16.0~2.0	75.5	×	
" 25	10.11	14.0~2.0	264.8	×	
" 26	10.02	12.0~2.0	517.2	○	
VII 17	10.15	20.0~2.0	64.5	×	
" 24	10.07	18.0~2.0	130.9	×	
" 33	10.10	14.0~2.0	301.5	×	
" 40	10.03	16.0~2.0	83.4	×	
" 45	10.05	18.0~2.0	56.9	×	
" 52	10.12	16.0~2.0	128.3	×	

Table 3 Result of Fatigue Test of Butt Welded Joint.

Code and No. of test piece	Plate thickness mm.	Stress Max.~Min. kg/mm ²	No. of cycles 10 ⁴	Failure × No failure ○
A 1	12.47	20.0~2.0	89.6	×
2	12.46	19.0~2.0	557.8	○
3	12.45	22.0~2.0	552.2	○
4	12.44	24.0~2.0	132.6	×
B 1	12.42	20.0~2.0	98.2	×
2	12.40	19.0~2.0	137.5	×
3	12.39	17.0~2.0	153.5	×
4	12.42	15.0~2.0	536.0	○
C 1	12.43	20.0~2.0	59.9	×
2	12.45	18.0~2.0	123.0	×
3	12.46	16.0~2.0	135.3	×
4	12.39	17.0~2.0	95.8	×
D 1	12.50	20.0~2.0	14.0	×
2	12.49	18.0~2.0	35.5	×
3	12.48	14.0~2.0	57.0	×
4	12.44	10.0~2.0	504.8	○
5	12.46	12.0~2.0	540.3	○

ージの接触部には鋭いピンを取付けたものである。まず同一試験材の上の平らな部分で0の値を読んでおき、次に同一試験材上を移動してアンダーカットの位置にピンを下しダイヤルゲージの値を読む。以上両者の測定値の差を求めこれをアンダーカットの深さとした。

b. 疲労試験

疲労試験は片振引張でおこなった。試験機は森試験機製作所製ローゼンハウゼン型35/20t, 試験速度500r.p.m, 下限応力 2 kg/mm² で 5×10⁸ 回に達しても破断しない場合はさらに長い回数まで延したこともある。

試験片には試験機に取付けた状態において Fig. 4 に示すように溶接部の上になる母材に抵抗線ひずみ計4枚を貼り、応力の大きならびに不均一を検し、できるだけ均一になるようにチャックの握みを調節した。歪測定器には三栄測器製ブラウン管式疲労試験機検定器を用いた。

Fig. 5 S-N diagram of butt joint.

Fig. 6 S-N diagram of fillet joint.

Fig. 7 Probability of fatigue failure of butt joint.

Fig. 8 Probability of fatigue failure of fillet joint

3. 試験結果

疲労試験の結果は Table 3 および Table 4 に示す通りで、これを図示すれば Fig. 5 および Fig. 6 に示すようになる。この各試験結果より 2×10^6 強度(全振巾)を推定して、これを確率紙上にプロットし(Fig. 7, 8 参照) 平均値および破断確率 5% および 95% を疲労強度の下

限および上限として求めると Table 5 および Table 6 の通りとなり、これをアンダーカットの深さに対し図示すれば Fig. 9, 10 となる。これらの試験片のアンダーカットの状況を Fig. 11~17 に、破断面の代表的なものを Fig. 18~24

Fig. 9 Relation between the fatigue strength and depth of undercut of butt joint.

Table 5 Pulsating Fatigue Strength of Butt Welded Joint with Undercut at $N=2 \times 10^6$

Code of specimens		A	B	C	D
Depth of undercut mm.		0.0	0.3	0.6	0.9
Fatigue strength (Range of stress) kg/mm ²	Lower range (Probability of failure 5%)	11.0	13.2	11.3	6.4
	Mean	18.5	15.5	13.9	9.0
	Upper range (Probability of failure 95%)	30.5	18.5	17.1	12.3

Table 6 Pulsating Fatigue Strength of Fillet welded Joint with Undercut at $N=2 \times 10^6$

Code of specimens		I	II	III	VI	VII (Weld metal partially ground)
Depth of undercut mm.		$0.01 \leq \sim \leq 0.11$	$0.13 \leq \sim \leq 0.25$	$0.27 \leq \sim \leq 0.33$	$0.43 \leq \sim \leq 0.58$	$0.41 \leq \sim \leq 0.50$
Fatigue strength (Range of stress) kg/mm ²	Lower range (Probability of failure 5%)	14.2	11.5	9.8	9.6	10.8
	Mean	15.2	13.2	12.0	13.6	13.3
	Upper range (Probability of failure 95%)	16.2	15.0	14.6	19.2	16.3

Fig. 10 Relation between the fatigue strength and depth of undercut of fillet joint.

に示す。

疲労試験片の破面の状況は当然のことながら、いずれもアンダーカットの底部が疲労亀裂の開始面となりそれ

Fig. 11 Photograph showing the undercut of A2 specimen **Fig. 12** Photograph showing the undercut of B10 specimen **Fig. 13** Photograph showing the undercut of C8 specimen **Fig. 14** Photograph showing the undercut of D4 specimen

が相当広がって断面積が小となり遂に塑性変形を生じて破断をしている。

Fig. 5 および Fig. 6 の S-N 曲線を見ると相当のばらつきがある。ことに Fig. 9 の突合せ継手のアンダーカットの深さ 0 mm. の場合および Fig. 10 のスミ肉継手の 0.5 mm のものはそのばらつきが著しく大きい。この原因は試験片が少ないので本質的なものかどうか不明である。

試験片の応力測定の結果は Fig. 25 および Fig. 26 に示す通りである。これらの図の横軸には試験片番号がとっており、同一試験片に対し 3 本の棒線が示してあるが左端は静的荷重を掛けたときの応力の値、中央は初期の動的荷重を掛けた場合の応力の読み、右端は疲労試験の終り頃の動的荷重の読みである。これらはいずれも応力の全振巾で示してある。また各棒線の頭の部分に頭の部分を入れて 3 本の線が引いてあるが、頭の部分は 4 枚のひずみ計中の最高値、その下は平均値、一番下は最低値を示す。これらから見ると静的

よりも動的、また疲労試験の前期よりは後期で応力（正確にはひずみ）が増加していることが多いがその量は大でない。また応力の不均一性もおおむね $\pm 1 \text{ kg/mm}^2$ 以内に収まっている。この結果より見ると静的応力と動的応力はおおむね一致するから静的荷重で試験片の握みの調節をして動的試験に移ればよいということがいえるようである。

4. 結 論

突合せ継手においては Fig. 9 に示す通りアンダーカットが深くなる程順次疲労強度は低下しており、疲労強度におよぼす影響はきわめて著しい。深さ 0.0 mm. で 18.5 kg/mm^2 のものが深

Fig. 15 Photograph showing the undercut of I 57 specimen

Fig. 16 Photograph showing the undercut of III 32 specimen

Fig. 17 Photograph showing the undercut of VII 48 specimen

Fig. 18 Photograph of fractured surface of A4 specimen

Fig. 19 Photograph of fractured surface of B1 specimen

Fig. 20 Photograph of fractured surface of C1 specimen

Fig. 22 Photograph of fractured surface of I 5 specimen

Fig. 23 Photograph of fractured surface of III 7 specimen

Fig. 24 Photograph of fractured surface of VII 45 specimen

さ0.9mmでは9.0kg/mm²となり疲労強度は約51%低下した。

これに比べるとフレーム取付スミ肉継手においてはその低下はやや緩やかで Fig. 10 のごとくアンダーカットの深さが0.3mmまでは直線的に疲労強度は低下しているが0.5mm. では少し上っている。しかしこれは試験片数が少いため確言はできない。ただ0.3mm. 以上の深さでは深さを増しても疲労強度の下らないことだけは確実のようである。これはスミ肉溶接のアンダーカットは突合せ溶接に比して切欠が鋭くならないことが一原因であると考えられる。またスミ肉止端ではすでに形状的に応力集中があってその応力集中部に切欠が存在してもその切欠効果が緩和されることも推察される。Code VII のものは0.46mm. 深さのアンダーカットを有するスミ肉ビードを仕上げたものであるが、アンダーカット部はほとんど仕上げられていないのでその疲労強度は全然改善されていない。

この実験の結果では突合せ継手ではアンダーカットは疲労強度に著しい影響を与えるから、船舶、橋梁、車輛、起重機そのほか機械構造の繰返し応力を受ける突合せ継手ではアンダーカットを発生しないように注意する必

Fig. 21 Photograph of fractured surface of D2 specimen

Fig. 25 Stress un-equality on the cross-section of butt welded joint fatigue test pieces under static and dynamical load.

Fig. 26 Stress un-equality on the cross-section of fillet welded joint fatigue test pieces under static and dynamical load.

要がある。あるいはアンダーカット部は必ず仕上げるほうがよいかも知れない。スミ肉継手ではアンダーカットの影響は突合せ継手より少いがやはり疲労強度の低下を来しているからやはり同様の注意をする要がある。

新 刊 案 内

International Welding

英国溶接学会 (The Institute of Welding) では、I. I. W. の 15 の各委員会で作された研究成果を、より広く役立てる企図のもとに、季刊誌 International Welding を刊行することになった。

季刊誌 International Welding は、I. I. W. で発行した英文文書や報告の中から選択されたものを内容とし、British Welding Journal の季刊増補版として刊行される。

価格および掲載予定内容は次の通りである。

◇各号平均24ページ (年4回発行)

◇予約価格 (1年分)

溶接学会会員

17S. 6d. (英貨) (邦貨約 875円)

そ の 他

22S. 6d. (") (" 1,125円)

◇1部売価

溶接学会会員

5S. (") (" 250円)

そ の 他

6S. (") (" 300円)

◇発行日 4月1日, 7月1日, 10月1日,
1月1日に発行

◇掲載内容 (第1号)

・ Enquiry on Fatigue Failures

(Commission XIII—Fatigue Testing)

・ Reports on Fatigue Failures

(Commission XIII—Fatigue Testing)

- (a) Welded Structure of a Self-Propelled Hoist.
- (b) Damage to the shell Plating of a Banana Ship.
- (c) Fatigue Cracking of the Main Deck of a Warship.
- (d) Fracture of the Bulkhead Stringers of Tanker.
- (e) Fracture of the Axle of a Trailer.
- (f) Fracture of a Drive Shaft, surfaced by Welding, of a Rolling Mill Reductions Gear.

・ Reports of Commissions I to VII

◇注文および問合せ先

The Secretary

The Institute of Welding

54 Princes Gate

Exhibition Road

London S.W. 7, England