

溶接継手の応力集中係数と切欠き係数

—— 余盛角度および余盛止端半径の影響

松田 一夫*, 長谷川正義*, 中尾俊二郎*

Stress Concentration Factors and Fatigue Notch

Factors of Welded Joints

—— Effect of Flank Angle and Toe Radius

Kazuo MATSUDA*, Masayoshi HASEGAWA* and Shunjiro NAKAO*

(Received August 29, 1977)

The effect of the flank angle θ and toe radius ρ , on the stress concentration factors α and fatigue notch factors β , of welded joints, is investigated by rotary bending test. For the test, however, specimens with simulated welded joints, are used and the stress concentration factors are determined by copper electro-plating technique.

The results obtained are as follows; 1) α is affected remarkably by θ . It increases with increase of θ , but the tendency is not perceptible for large ρ . 2) α is affected remarkably by ρ , when ρ is small. But the effect is not perceptible when ρ is comparatively large. 3) β is affected considerably by θ when θ and ρ are comparatively small. 4) β varies by the relation, $\beta=0.89 \alpha$, when α is less than 1.8.

1. 緒 言

溶接継手の疲れ強さが母材のそれに比べて著しく低いことは周知のとおりである。この疲れ強さ低下の原因に関する研究は数多く行なわれており、その原因としては、溶接余盛止端部における著しい形状変化に起因する応力集中、溶接時の急熱急冷にもとづく金属組織およびかたさの変化による機械的性質の不連続あるいは残留応力などが主因としてあげられている。著者らはこれらの因子に注目し、母材から機械加工により作製した擬似溶接継手を用いて余盛形状が疲れ強さにおよぼす影響を調べ、溶接余盛による切欠き効果のため、継手の疲れ強さが著しく低下することを報告した¹⁾。また、別の研究で

は、高張力鋼溶接継手の余盛を削除した平滑試験片に銅めっき応力測定法を採用し、溶接継手部の不均一組織による応力あるいはひずみの微視的分布状況についても詳しく調べたが、この場合には、最もひずみ集中が顕著なボンド部においても約10%程度で、疲れ強さの低下におよぼす効果が比較的小さいことを確かめている²⁾。これらの研究結果から、溶接継手の疲れ強さ低下の主因は、溶接余盛止端部における急激な形状変化に起因する応力集中であると考えられる。したがって、疲れ強さの著しい低下の原因を説明するには、余盛止端部に生ずる応力集中問題を究明することが何よりも必要になる。しかしながら、従来の報告の多くは、切欠き係数におよぼす余盛形状の影響を調べ、その結果から、低下の主因を余盛止端部における応力集中であろうことを推論してい

*機械・生産機械工学科 (Department of Mechanical Engineering)

るにとどまり^{3),4)},実際に余盛止端部の応力集中係数を測定した報告はほとんど見あたらない。

そこで本実験では,溶接余盛に相似な形状の突起を母材から機械加工により作製した擬似溶接継手試験片を用いて回転曲げ疲れ試験を行ない,銅めっき応力測定法⁵⁾により,擬似溶接継手の応力集中係数におよぼす余盛形状の影響を調べるとともに,銅めっきをしない擬似溶接継手試験片を用い,切欠き係数についても調べ比較検討を行なった。このように,実験に擬似溶接継手試験片を用いたのは,実際の溶接継手の場合には,溶接余盛の形状に不揃いがあることや,熱サイクルの相違による影響

があるので,これを避けるため,特定の余盛形状を与えて系統的な実験を行なうためである。

なお,本報では溶接余盛形状の余盛角度および余盛止端半径を主要因子として取り上げ,これらが応力集中係数および切欠き係数におよぼす影響について調べてみた。

2. 実験方法および結果

i) 供試母材および疲れ試験機

供試母材は市販の直径19mmのS35C引抜き丸棒で,その化学組成を第1表に示す。母材は試験片の機械加工前に結晶粒をできるだけ微細化し,母材組織による微視的

第1表 母材の化学組成および機械的性質

供試母材	直 径 (mm)	化 学 組 成 (wt. %)							
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
S 35 C	19	0.33	0.18	0.67	0.022	0.013	0.01	0.02	0.01

供試母材	機 械 的 性 質							熱 処 理 条 件
	せん断弾性係数 (kg/mm ²)	降 伏 点 (kg/mm ²)	引 張 強 さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	絞 り (%)	疲れ限度 (kg/mm ²)	ビッカース た た ざ (Hv)	
S 35 C	8.10×10^8	35.9	55.3	35.3	61.4	21.8	146	850°C, 1時間 焼ならし後 600°C, 1時間 真空焼なまし

応力集中をできるだけ軽減するため, 850°C, 1時間焼ならしを行ない, さらに, 加工後に硬化層および残留応力を除去する目的で600°C, 1時間真空焼なましを行なった。この場合の母材の機械的性質も同表に併記し, その顕微鏡組織を写真1に示す。

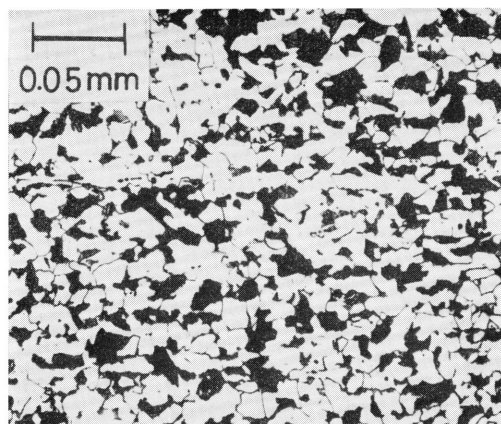
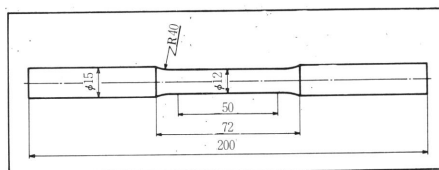


写真1 供試母材 (S35C) の顕微鏡写真 (熱処理条件: 850°C, 1時間 焼ならし後 600°C, 1時間真空焼なまし)

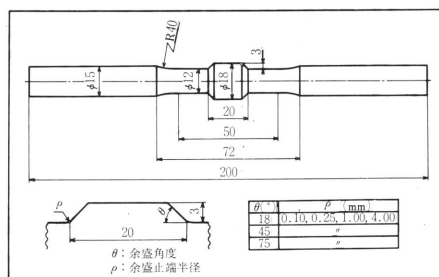
疲れ試験には容量10kg・mの小野式回転曲げ疲れ試験機を用い, 回転数は1800r・p・mとし, 試験はすべて室温で行なった。

ii) 試験片作製要領および試験片形状

実験に用いた試験片の形状および寸法を第1および2



第1図 平滑試験片の形状および寸法 単位: mm



第2図 擬似溶接継手試験片の形状および寸法 単位: mm

図に示す。第1図は母材の疲れ強さを求めるために, 850°C, 1時間熱処理した母材から機械加工により作製した平滑試験片である。第2図は擬似溶接継手試験片で, 余盛形状を余盛角度 θ および余盛止端半径 ρ で特徴づけ, これらの因子が応力集中係数および切欠き係数におよぼす影響を調べるためのもので, 850°C, 1時間熱処理した母材から機械加工により, 余盛高さ3mmおよび

余盛幅20mmは一定とし、余盛角度 θ および余盛止端半径 ρ をそれぞれ 18, 45, 75° および 0.10, 0.25, 1.00, 4.00mmに変えた12組の試験片を作製した。平滑試験片は機械加工後に平行部をエメリー紙で#1200まで仕上げた。また、擬似溶接継手試験片の場合は、機械加工により前述の形状および寸法に仕上げた後、余盛止端部および直径12mmの平行部を#1200のエメリー紙のみを用いて、余盛止端部形状をくずさないように注意深く仕上げた後、試験片の形状および寸法を万能投影機および工具顕微鏡を用いて測定し、余盛止端半径、余盛高さおよび余盛幅はいずれも誤差が $\pm 5 \mu$ 以内、また、余盛角度は $\pm 0.5^\circ$ 以内に仕上がっていることが確認できるものだけを選んで実験に用いた。前述の方法で仕上げた平滑あるいは擬似溶接継手試験片は、いずれも600°C、1時間真空焼なましを行なった後実験に供した。

2-1 めっき法による余盛止端部の応力集中係数の測定

余盛止端部の応力集中係数を測定するために用いた擬似溶接継手試験片は、前述のように機械加工後エメリー紙で仕上げ、真空焼なましを行なった後、さらに無水酢酸と過塩素酸との容積比が4:1の電解研磨液を用いて鏡面仕上げを行なった。その後、素地金属表面を電解研磨によってなめらかにしすぎたままめっきを行なうと、素地金属表面の組織がめっき層に移されるおそれがあるので、これを防ぐために余盛止端部を粒の大きさが 1μ のアルミナを研磨剤としてパフ研磨を行なった後、シアン化第一銅を主体とするアルカリ性溶液で基礎めっきをするようにした。次に、硫酸銅を主体とする酸性溶液でめっきをした。これらに用いためっき液の組成およびめっき処理条件を第2表に示す。なお、このめっき条件で得られためっき層の厚さは約 10μ である。

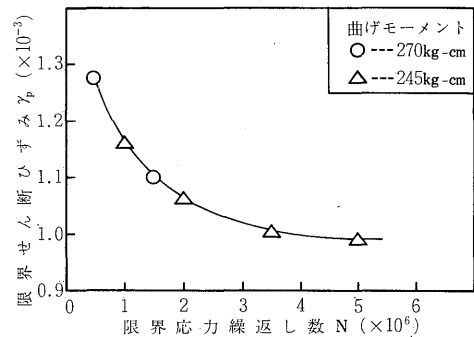
第2表 めっき液の組成およびめっき処理条件

め っ き 液 の 組 成			
アルカリめっき		酸性めっき	
シアン化第一銅 (CuCN)	23g	結 晶 硫 酸 銅 (CuSO ₄ ·5H ₂ O)	250g
無水炭酸ナトリウム (Na ₂ CO ₃)	10g	硫 酸 (H ₂ SO ₄)	80g
シアン化ナトリウム (NaCN)	30g	蒸 留 水 (H ₂ O)	1000cc
蒸 留 水 (H ₂ O)	1000cc		

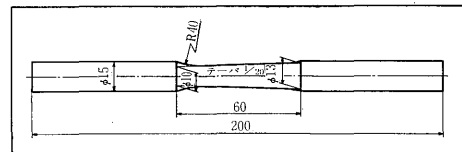
め っ き 処 理 条 件			
アルカリめっき		酸性めっき	
め っ き 温 度	30°C	め っ き 温 度	23°C
め っ き 時 間	20min	め っ き 時 間	15min
電 流 密 度	6A/m ²	電 流 密 度	300A/m ²
浴 電 圧	0.4~0.6V	浴 電 圧	0.3~0.4V

めっき法については、すでに大久保らによって多数の論文が報告されているので^{6), 7)}、その詳細については省略するが、本実験でめっき法を利用したのは、この方法によれば、溶接余盛止端部のような微小部分に発生する局部応力を精密に測定することができるからである⁵⁾。

余盛止端部の応力集中係数 α は、成長粒子発生の限界を示すせん断ひずみ γ_p と応力繰返し数 N との関係を示すグラフ、すなわち γ_p - N 曲線を求めた場合と同一品質のめっき液を用いて、同一条件でめっきをした擬似溶接継手試験片に対し、一定荷重のもとで試験機の運転を小刻みに停止させて応力繰返し数 N を変え、そのつど電解研磨およびエッチングを行ない、めっき層内に成長粒子が発生し始めたときの応力繰返し数 N を求め、あらかじめ求めておいた γ_p - N 曲線を用いて、成長粒子の発生個所の限界せん断ひずみ γ_p を決定し、 γ_p を試験片に作用する公称せん断ひずみ γ_0 で除した値、すなわち、 $\alpha = \gamma_p / \gamma_0$ で求めた⁵⁾。



第3図 γ_p - N 曲線 (回転曲げ)



第4図 テーパ試験片の形状および寸法 単位: mm

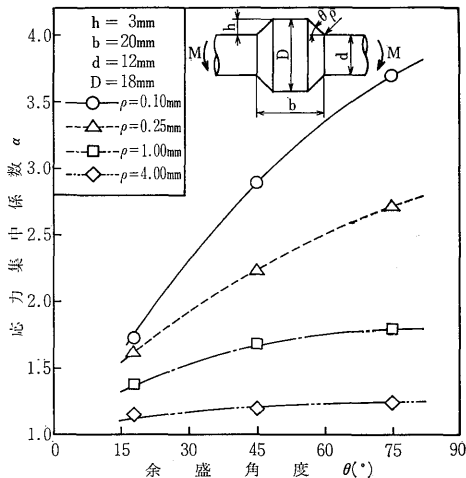
第3図は平滑および擬似溶接継手試験片作製の場合と同様の熱処理を行なった第4図に示すテーパ試験片を用いて疲れ試験を行なった結果であって、余盛止端部の応力集中係数を測定する際に使用するためのめっき液に対する γ_p - N 曲線である。成長粒子の観察にあたっては、試験片表面をりん酸溶液を用いて1.5Vの電圧で約1分間電解研磨を行なった後、グラード液(FeCl₃·6H₂O: 10g, HCl: 50cc, 蒸留水: 120cc)で、約30秒間エッチングして初期成長粒子発生の有無を顕微鏡で調べた。な

第3表 応力集中係数および切欠き係数と余盛角度および余盛止端半径との関係

試験片 番号	平行部 直径 d (mm)	余盛 角度 θ (°)	余盛止 端半径 ρ (mm)	公称せん 断ひずみ γ_0 ($\times 10^{-3}$)	最大せん 断ひずみ γ_p ($\times 10^{-3}$)	応力集 中係数 α_r	応力集中 係数の 平均値 α	試験片 番号	平行部 直径 d (mm)	余盛 角度 θ (°)	余盛止 端半径 ρ (mm)	公称 応力 σ (kg/mm ²)	破断繰 返し数 N ($\times 10^6$)	疲 れ 度 σ_w (kg/mm ²)	切欠き 係数 β
A 1	11.96	18	0.10	0.684	1.16	1.70	1.72	B 1	12.02	18	0.10	15.96	2.93	15.31	1.42
A 2	12.02			0.674	1.16	1.72		B 2	12.01			15.59	7.10		
A 3	11.97			0.672	1.16	1.73		B 3	11.98			15.31	∞		
A 4	11.97			0.671	1.16	1.73		B 4	12.03			14.99	∞		
A 5	12.02		0.25	0.652	1.05	1.61	1.62	B 5	12.01		0.25	16.18	1.64	15.73	1.39
A 6	12.00			0.655	1.05	1.60		B 6	12.00			15.92	2.95		
A 7	12.03			0.681	1.11	1.63		B 7	12.05			15.73	∞		
A 8	12.02			0.681	1.11	1.63		B 8	12.00			15.04	∞		
A 9	12.02	45	1.00	0.743	1.02	1.37	1.39	B 9	12.00	45	1.00	16.17	3.84	16.63	1.31
A 10	12.02			0.743	1.02	1.37		B 10	12.02			16.75	4.60		
A 11	12.03			0.777	1.10	1.42		B 11	12.00			16.63	∞		
A 12	11.97			0.789	1.11	1.41		B 12	12.04			16.35	∞		
A 13	12.02		4.00	0.953	1.10	1.15	1.15	B 13	11.99		4.00	22.59	0.53	21.79	1.00
A 14	11.96			0.967	1.12	1.16		B 14	12.02			22.30	1.41		
A 15	12.00			0.910	1.05	1.15		B 15	11.96			21.79	∞		
A 16	11.95			0.924	1.05	1.14		B 16	12.01			21.63	∞		
A 17	12.02	75	0.10	0.417	1.19	2.85	2.91	B 17	11.97	75	0.10	11.59	1.44	10.88	2.00
A 18	12.01			0.418	1.19	2.85		B 18	11.98			11.08	2.86		
A 19	11.99			0.354	1.06	2.99		B 19	12.01			10.88	∞		
A 20	12.02			0.351	1.04	2.96		B 20	11.98			10.37	∞		
A 21	11.99		0.25	0.529	1.19	2.25	2.25	B 21	12.03		0.25	11.88	0.92	11.47	1.90
A 22	12.01			0.527	1.19	2.26		B 22	12.05			11.66	4.83		
A 23	11.98			0.458	1.03	2.25		B 23	12.01			11.47	∞		
A 24	11.95			0.461	1.03	2.23		B 24	11.99			11.21	∞		
A 25	11.95	18	1.00	0.664	1.11	1.67	1.69	B 25	12.01	18	1.00	15.30	5.14	14.78	1.47
A 26	11.95			0.664	1.11	1.67		B 26	12.05			15.03	6.02		
A 27	11.95			0.738	1.26	1.71		B 27	11.97			14.78	∞		
A 28	11.98			0.732	1.26	1.72		B 28	12.02			14.51	∞		
A 29	11.96	45	4.00	0.956	1.15	1.20	1.20	B 29	12.03	45	4.00	21.13	2.01	20.60	1.06
A 30	12.02			0.942	1.13	1.20		B 30	11.97			20.80	0.72		
A 31	12.01			1.017	1.22	1.20		B 31	11.95			20.60	∞		
A 32	12.02			1.016	1.22	1.20		B 32	11.97			20.36	∞		
A 33	11.95	75	0.10	0.339	1.25	3.69	3.71	B 33	12.05	75	0.10	10.54	2.74	9.97	2.19
A 34	11.95			0.335	1.24	3.70		B 34	12.01			10.23	4.61		
A 35	11.95			0.294	1.09	3.71		B 35	11.95			9.97	∞		
A 36	11.98			0.293	1.09	3.72		B 36	11.96			9.65	∞		
A 37	11.98	18	0.25	0.402	1.09	2.71	2.73	B 37	12.03	18	0.25	11.14	3.93	10.64	2.05
A 38	12.03			0.397	1.09	2.75		B 38	11.95			10.79	3.61		
A 39	11.96			0.382	1.04	2.72		B 39	11.99			10.64	∞		
A 40	11.96			0.383	1.04	2.72		B 40	12.01			10.42	∞		
A 41	11.95	45	1.00	0.571	1.03	1.80	1.80	B 41	12.01	45	1.00	14.12	3.91	13.59	1.60
A 42	12.05			0.557	0.99	1.78		B 42	12.01			13.84	3.56		
A 43	11.99			0.657	1.19	1.81		B 43	12.00			13.59	∞		
A 44	11.98			0.659	1.19	1.81		B 44	12.02			13.26	∞		
A 45	11.99	75	4.00	0.995	1.25	1.26	1.24	B 45	12.02	75	4.00	21.13	1.62	20.25	1.08
A 46	12.04			0.983	1.22	1.24		B 46	12.05			20.50	3.42		
A 47	11.98			0.997	1.22	1.22		B 47	11.98			20.25	∞		
A 48	12.00			0.993	1.22	1.23		B 48	11.96			19.92	∞		

お, 母材のせん断弾性係数 G は $8.10 \times 10^9 \text{ kg/mm}^2$ である。

第3表はめっき法により, 余盛止端部の応力集中係数

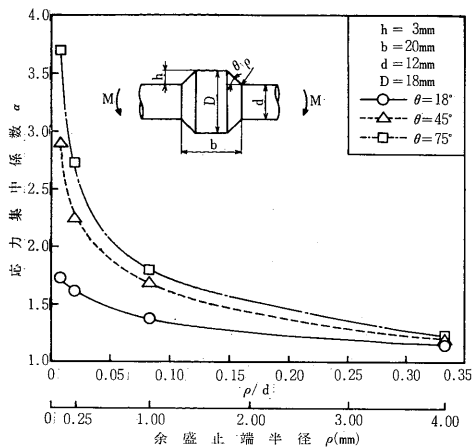


第5図 応力集中係数におよぼす余盛角度の影響

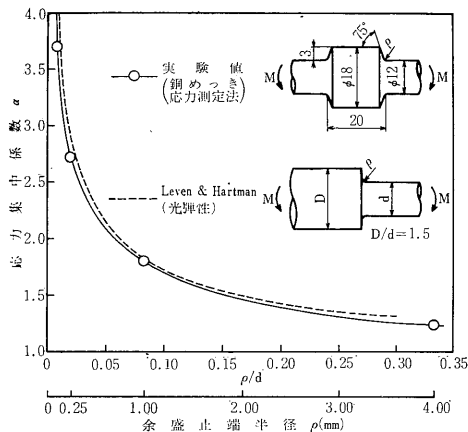
α におよぼす余盛角度 θ および余盛止端半径 ρ の影響を調べた結果を総括して示したものである。なお, 同表には後で述べる切欠き係数 β も併記してある。

第5図は余盛止端部の応力集中係数 α におよぼす余盛角度 θ の影響を, 種々の余盛止端半径 ρ について示したものである。図示のように, α におよぼす θ の影響は ρ によっても異なり, ρ が小さい場合ほど顕著で, θ が増大するとともに α も著しく増大する傾向が認められる。しかし, ρ が増大するとともに θ の影響は次第に認められないようになる。たとえば, $\rho = 4.00 \text{ mm}$, すなわち $\rho/d = 0.333$ の場合。また, α におよぼす θ の影響はいずれの ρ の場合も θ が小さい場合, すなわち, θ が $45 \sim 75^\circ$ の範囲よりも $18 \sim 45^\circ$ の範囲の方が著しいようである。

第6図は応力集中係数 α におよぼす余盛止端半径 ρ の影響を, 種々の余盛角度 θ について示したものである。図示のように, いずれの θ の場合にも ρ が小さくなるほど ρ の影響は顕著に現われる。しかし, ρ が大きくなる



第6図 応力集中係数におよぼす余盛止端半径の影響



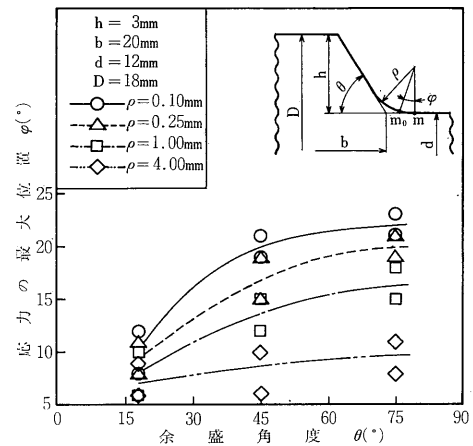
第7図 応力集中係数におよぼす余盛止端半径の影響

にしたがって θ の影響は次第に小さくなる。

第7図は本実験で求めた応力集中係数 α を、段付軸に対し Leven and Hartman が光弾性で求めた実験値と比較したものである⁸⁾。本実験結果は図示のように、Leven and Hartman が段付軸に対して求めた値にほぼ一致するが、幾分小さくなっている。しかし、段付軸は余盛幅が無限大になった場合と考えることができるから、段付軸の α が幾分大きくなるのは当然である。

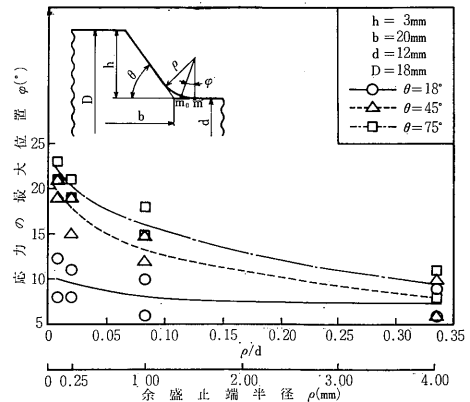
以上の実験では、余盛止端部に発生した初期成長粒子の観察により、応力集中係数におよぼす余盛角度および余盛止端半径の影響を調べたが、この初期成長粒子の発生個所、すなわち応力が最大になる位置は余盛角度および余盛止端半径の相違によって著しく異なることが観察された。そこで、応力が最大になる位置と余盛角度およ

び余盛止端半径との関係についても調べてみた。その結果を第8および9図に示す。



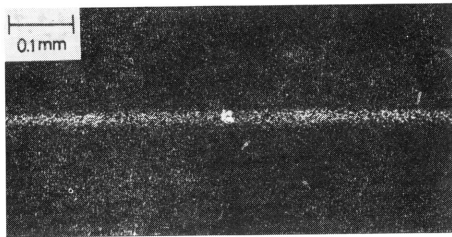
第8図 余盛止端部の応力の最大位置におよぼす余盛角度の影響

第8図は最大応力の発生位置 ϕ と余盛角度 θ との関係を示す。種々の余盛止端半径 ρ について調べた結果を示したものである。本実験では応力が最大になる位置 m は、図に示すように、余盛止端部の円弧と直線部との接続点 m から円弧側に入った角度で表わし、この角度を ϕ とした。 ϕ と θ との関係は ρ によっても異なり、 ρ が1.00mm以下の場合には θ の影響が顕著で、 θ が18~45°の範囲では θ の増大とともに著しく増大する。しかし、 θ が45~75°の範囲ではわずかに増大するに過ぎない。

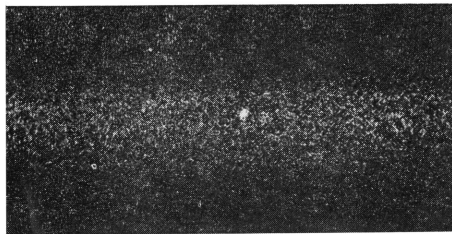


第9図 余盛止端部の応力の最大位置におよぼす余盛止端半径の影響

第9図は余盛止端半径 ρ との関係を示す。種々の余盛角度 θ について示す。 ϕ と ρ の関係は θ によっても異なり、 θ が45および75°の場合で、 ρ が0.10~0.25mmの範囲では ρ の増大とともに ϕ も著しく減少し、 ρ が0.25~4.00mm



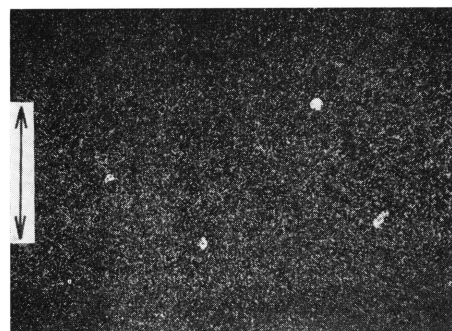
$\theta = 45^\circ$ $\rho = 0.10 \text{ mm}$
 $\sigma = 5.69 \text{ kg/mm}^2$, $N = 2.40 \times 10^6$
 $\alpha = 2.91$



$\theta = 45^\circ$ $\rho = 0.25 \text{ mm}$
 $\sigma = 7.53 \text{ kg/mm}^2$, $N = 2.40 \times 10^6$
 $\alpha = 2.25$



$\theta = 45^\circ$ $\rho = 1.00 \text{ mm}$
 $\sigma = 10.81 \text{ kg/mm}^2$, $N = 1.40 \times 10^6$
 $\alpha = 1.69$



$\theta = 45^\circ$ $\rho = 4.00 \text{ mm}$
 $\sigma = 15.49 \text{ kg/mm}^2$, $N = 1.10 \times 10^6$
 $\alpha = 1.20$

写真2 余盛止端部における初期成長粒子の発生状況

の範囲ではほぼ一様に減少する傾向が認められた。また、 θ が 18° の場合で、 ρ が $0.10 \sim 1.00 \text{ mm}$ の範囲では ρ の増大とともに ϕ もわずかに減少する傾向が認められるが、 1.00 mm 以上では ρ の影響は認められない。

写真2は余盛止端部における初期成長粒子の発生状況を、余盛角度 θ が 45° で、余盛止端半径 ρ が異なる場合について示したものである。なお、矢印は試験片の軸方向を示す。 ρ が増大するとともに初期成長粒子は次第に広い範囲に発生するようになることが観察される。

写真3は余盛止端部表面の軸方向の応力分布状況を、余盛角度 θ が 45° で、余盛止端半径 ρ が 0.25 mm と 4.00 mm の場合とを比較して示したものである。 ρ が 0.25 mm の場合には、繰返し応力 8.72 kg/mm^2 、繰返し数 0.58×10^6 で写真(a-1)に示すように m_0 ($\phi = 15 \sim 19^\circ$) 断面の円周に初期成長粒子が発生した。その後、繰返し数を 3.30×10^6 まで与えたが写真(a-3)に示すように成長粒子が発生した領域は著しく狭く、 m_0 から余盛側の円弧に沿って約 0.1 mm ($m_2 m_0$)、直線部側の円弧に沿って約 0.1 mm ($m_0 m_1$) 程度である。しかし、この領域の応力勾配は急で、 m_0 の α は 2.25 であるのに比べ、 m_0 から円弧に沿ってわずか約 0.1 mm 離れた位置の α は 1.88 で、その差は 0.37 である。一方、 ρ が 4.00 mm の場合には繰返し応力 16.51 kg/mm^2 、繰返し数 0.58×10^6 で写真(b-1)に示すように m_0 ($\phi = 6 \sim 10^\circ$) 断面の円周に初期成長粒子が発生した。その後、繰返し数が増加するとともに成長粒子は次第に幅広い円弧に沿って発生するようになる。繰返し数 3.50×10^6 では写真(b-3)に示すように、成長粒子が発生した領域は m_0 から余盛側の円弧に沿って約 1.2 mm ($m_2 m_0$)、直線部側には円弧と直線部との接続点 m を通り、さらに試験片平行部の m から約 0.7 mm にも達している。しかし、当然のことながら、この領域の応力勾配は比較的小さい。

以上の実験により、余盛止端部の応力が最大になる位置、すなわち応力の集中する個所を明らかにすることができたが、さらに、これが疲れき裂の発生にどのように影響するかを調べてみた。本実験では疲れき裂の発生を観察するかわりに、疲れ破壊の初期段階であるすべり線の発生について観察を行なった。

実験には前述の応力集中係数を測定した場合と同様の擬似溶接継手試験片を用いた。まず、応力集中係数を求めた場合の応力よりわずかに大きい応力を与える。このように、繰返し応力をわずかに大きく選んだのは、比較的小きな成長粒子を密に発生させるためである。次に、ひずみ集中によって余盛止端部のめっき層内に粒の成長が起こり始めた後、電解研磨してからグラード液でエッ

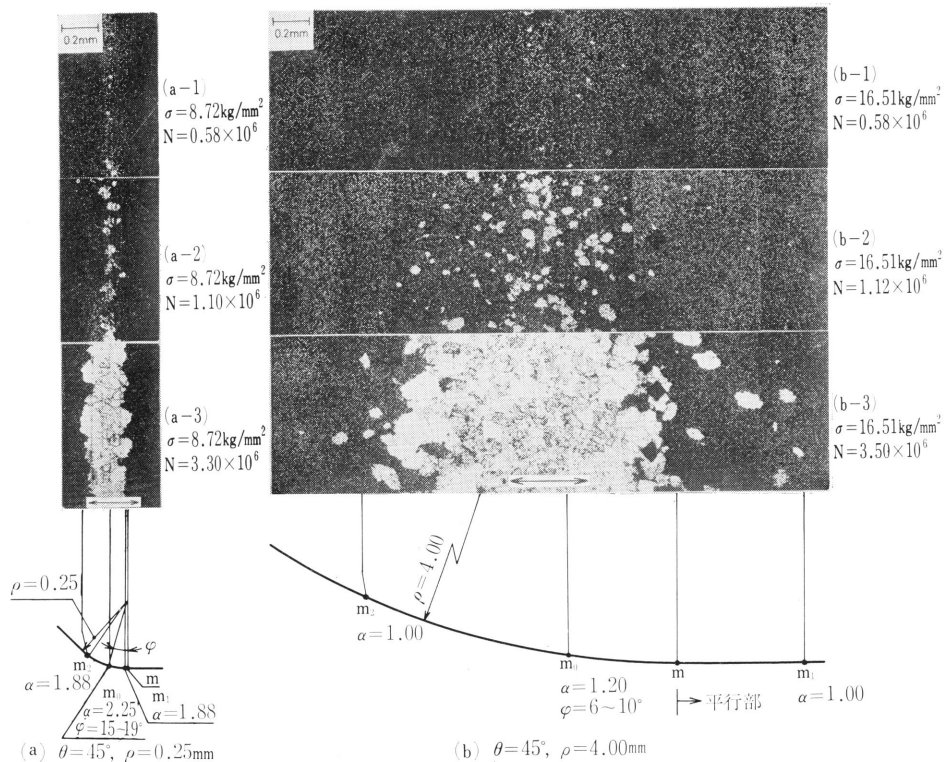


写真3 余盛止端部の応力分布状況

チングを行ない、余盛止端部に発生する初期成長粒子を観察する。次に、この試験片に電解研磨を行ない、めっき層を除去した後、すべり線が発生するように、さらに同一の繰返し応力のもとで疲れ試験を行ない、めっき層内の成長粒子の発生個所に対応する素地金属表面を観察する。一例として余盛角度 θ が 18° で余盛止端半径 ρ が 1.00mm の場合を写真4に示した。写真(b)に示すように初期すべり線が発生している領域は、写真(a)に示した初期成長粒子の発生している領域、すなわち応力が最大になる位置によく対応していることが観察される。疲れき裂は必ずすべり線から発生することを考えれば、応力が最大になる位置から疲れき裂が発生するであろうことは容易に推察することができる。したがって、めっき法を用いれば、疲れき裂の発生個所を正確に予知することができる。

以上の実験結果から、余盛角度および余盛止端半径は、いずれも余盛止端部の応力集中係数あるいは応力が集中する位置に大きな影響を与えることがわかった。

2-2 切欠き係数の測定

前項ではめっき法を利用して余盛止端部の応力集中係

数を測定し、余盛角度および余盛止端半径の影響を調べたが、ここでは、切欠き係数とこれらがどのように関連するかを調べた。

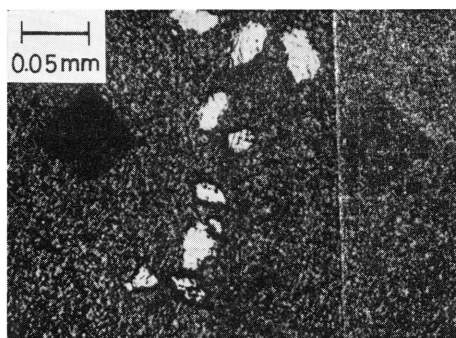
切欠き係数の測定に用いた平滑および擬似溶接継手試験片には、前述の実験と同様に、機械加工後エメリー紙で仕上げ、 600°C 、1時間真空焼なましを行なったものを用いた。

本実験では、疲れ強さには繰返し数を 10^7 回に指定した時間強さをもって切欠き係数を求めることにした。

第10図は平滑試験片を用いて求めた母材の S-N 曲線を示す。疲れ限度は 21.8kg/mm^2 である。

次に、同様な方法で、擬似溶接継手試験片に対しても疲れ限度を決定し、切欠き係数 β を求めた。実験の結果、得られた切欠き係数 β と余盛角度 θ および余盛止端半径 ρ との関係は前記第3表に示したとおりである。

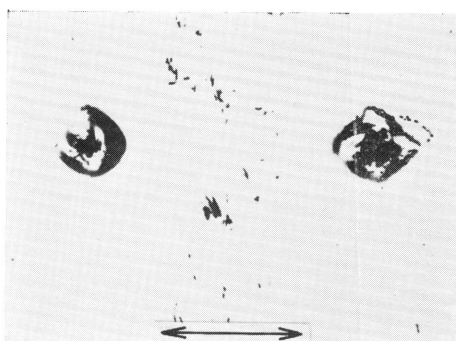
第11図は切欠き係数 β におよぼす余盛角度 θ の影響を、種々の余盛止端半径 ρ について示したものである。 β におよぼす θ の影響は ρ によっても異なり、 ρ が 0.10 および 0.25mm の場合が顕著で、 θ の増大とともに増大する傾向が認められる。しかし、この傾向は ρ が増大す



(a)

$$\sigma = 14.87 \text{ kg/mm}^2$$

$$N = 0.7 \times 10^6$$



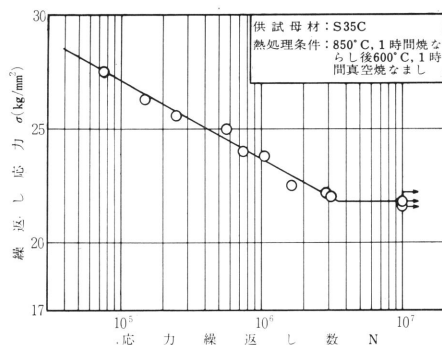
(b)

$$\sigma = 14.87 \text{ kg/mm}^2$$

$$N = 0.3 \times 10^6$$

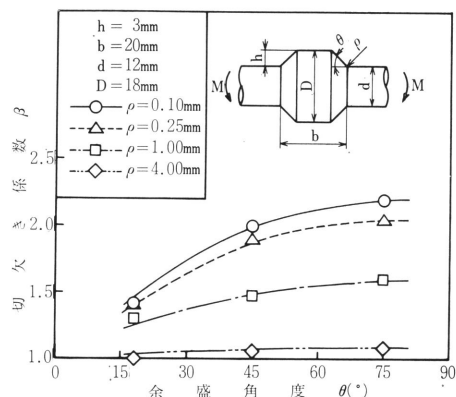
$$\theta = 18^\circ, \rho = 1.00 \text{ mm}$$

写真4 初期成長粒子および初期すべり線の発生状況



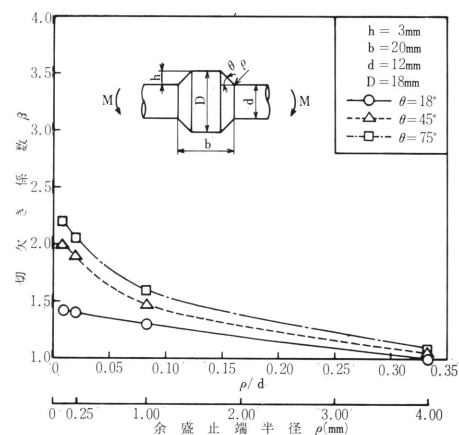
第10図 母材平滑試験片のS-N曲線(回転曲げ)

とともに減少し、 ρ が1.00mmの場合には θ の増大とともに β もわずかしこ増大しないようになる。また、 ρ が4.00mmに増大すると θ の影響はほとんど認められな



第11図 切欠き係数におよぼす余盛角度の影響

い。さらに、 β におよぼす θ の影響は、 ρ に関係なく θ が45~75°の範囲よりも18~45°の範囲の方が著しいようである。

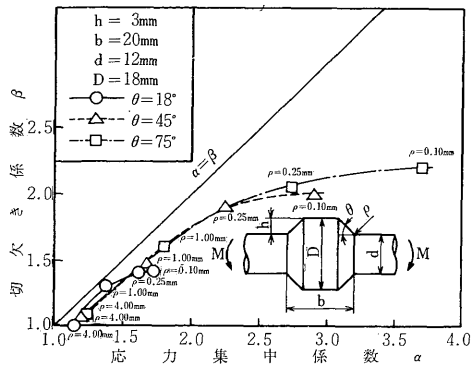


第12図 切欠き係数におよぼす余盛止端半径の影響

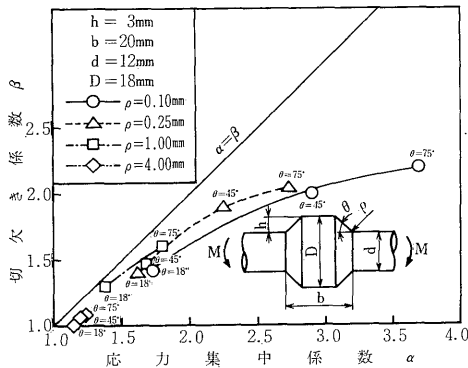
第12図は切欠き係数 β におよぼす余盛止端半径 ρ の影響を、種々の余盛角度 θ について示したものである。 ρ の影響は、 θ が45および75°で、 ρ が1.00mm以下の場合には特に顕著である。しかし、 θ が45および75°で、 ρ が1.00mm以上の場合あるいは θ が18°の場合などには、 ρ が増大しても β はわずかに減少する傾向を示すに過ぎない。

以上の実験結果から、応力集中係数の場合と同様に、余盛角度および余盛止端半径が互いに干渉しあって、切欠き係数に著しい影響を与えることがわかった。

第13および14図は応力集中係数 α と切欠き係数 β との関係を、余盛角度 θ および余盛止端半径 ρ について整理して示したものである。両図から明らかなように、 α が



第13図 応力集中係数と切欠き係数との関係



第14図 応力集中係数と切欠き係数との関係

1.8 (β では 1.6) よりも小さくなれば, θ および ρ には関係なく, β はほぼ α に比例するようになるので, α が決まれば β も決まることになる。本実験で用いた母材の場合には近似式 $\beta = 0.89\alpha$ の関係式を用いて計算すればよい。しかし, このような関係は, α が大きくなると成立しなくなることは図から明らかである。

3. 結 言

母材 (S35C) から機械加工により作製した擬似溶接継手試験片を用いて回転曲げ疲れ試験を行ない, 銅めっき応力測定法により溶接継手の応力集中係数 α を求めるとともに, 切欠き係数 β も測定し, 余盛角度 θ および余盛止端半径 ρ の影響を調べた。本研究で得られた結果は次のとおりである。

(1) α におよぼす θ の影響は ρ によっても異なり, ρ が 0.10mm の場合が最も顕著で, θ の増大とともに α も

著しく増大する。しかし, この傾向は ρ の増大とともに減少し, ρ が 4.00mm の場合にはその影響はほとんど認められない。

(2) α におよぼす ρ の影響は, いずれの θ の場合も ρ が 1.00mm 以下では顕著である。しかし, ρ がそれ以上ではその影響は比較的小さく, ρ が増大しても α はわずかに減少するに過ぎない。この傾向は θ が大きいほど著しい。

(3) β におよぼす θ の影響は ρ によっても異なり, ρ が小さい場合は顕著で, θ の増大とともに β も増大する。しかし, ρ が 4.00mm の場合には影響はほとんど認められない。

(4) θ および ρ は互いに干渉しあって α あるいは β に影響を与える。

(5) 供試母材の場合, β と α は α が約 1.8 になるまではほぼ比例し, $\beta = 0.89\alpha$ の関係が成立する。しかし, それ以上では α の増大に比べ, β の増大はわずかなる。

本研究は昭和52年度本学特別研究費の交付により行なわれたことを付記し, 本学関係者各位に対し, 謝意を表します。また, 本研究を遂行するにあたり, ご懇切なるご指導を賜りました本学大学院工学研究科主任大久保肇教授に対し, 深甚の謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 松田, 長谷川, 川本: “擬似溶接継手の疲れ強さにおよぼす余盛形状およびアンダカットの影響”, 中部工業大学紀要, 第5巻 (1969年12月), 15—26
- 2) 松田, 長谷川, 中尾: “高張力鋼溶接継手におけるひずみ集中と疲れき裂の発生”, 中部工業大学紀要, 第12巻A (1976年12月), 15—26
- 3) 川崎, 沢木, 八木: “高張力鋼溶接継手の余盛形状および組織と疲労強度”, 溶接学会誌, Vol.37 (1968) No.12, 1353—1366
- 4) W. W. Sanders, A. T. Derecho and W. H. Munse: “Effect of External Geometry on Fatigue Behavior of Welded Joints,” British. W.J. 12 (1965), 49s—55s
- 5) 大久保: “銅めっき応力測定法”, (昭和41年10月), 朝倉書店
- 6) 大久保, 村上, 細野: “めっき法による金属の疲れ破損の研究”, 日本機械学会論文集 (第1部) 28巻 (昭37-7) 191号, 774—783
- 7) 大久保: “めっきによる応力測定技術”, 日本機械学会誌, 第77巻 (昭49-11) 第672号, 1096—1104
- 8) R. E. Peterson: “Stress Concentration Factors”, (1974), 103, A Wiley-Interscience Publication, New York