

軟鋼摩擦圧接継手の疲れ強さに及ぼす摩擦 及びアップセット圧力の影響

長谷川正義*

Effect of Friction and Upsetting Pressure on the Fatigue Strength of Mild Steel Friction Welded Joint

Masayoshi HASEGAWA*

(Received May 31, 1993)

The effect of weld upset on fatigue strength of friction welded joints are examined by rotary bending fatigue test, using specimens of hot and cold drawn mild steel round bar with weld upset welded joints.

The following experimental results were obtained :

- 1) Fatigue strength of hot and cold drawn steel decreased with the increase of friction and upsetting pressure.
- 2) Toe radius of weld upset decreased with the increase of upsetting pressure and toe angle increased with the increase of this pressure. Therefore, it was considered that the main cause of the decrease of fatigue strength was stress concentration of toe of weld upset.
- 3) In the case of hot drawn steel fatigue strength by any welding conditions was recovered till it of base metal when weld upset was removed.
- 4) But fatigue strength of cold drawn steel was not recovered.
- 5) Fatigue strength of cold drawn steel was remarkably decreased, when break location was duplicated by stress concentration part and softening part. Therefore, this material required sufficient care when friction welding condition was selected.

1. 緒 言

近年、工業製品の高性能化及び高機能化をはじめ生産性の向上、材料費の節減及び省資源化が一層強く求められ、それに答える接合法の一つとして摩擦圧接法が採用されている。

摩擦圧接法は接合時間がきわめて短く、接合強度も高いことから、コスト低減はもとより高品質の圧接継手を得ることが容易であり、また、異種金属の接合が可能であるため、自動車産業をはじめとしたあらゆる産業で盛んに用いられている。

従来摩擦圧接継手の多くは、機械的強度及び外観上の観点からバリを除去して用いられている。しかし、最近では、生産性の向上あるいは摩擦圧接継手部の形状の複雑さなどの理由から、バリを残したまま使用することがふえてきている。

バリを除去した摩擦圧接継手の疲れ強さについては、各種材料及び種々の圧接条件での研究がかなり行なわれており¹⁻³⁾、その結果、継手の疲れ強さは母材のそれと同程度かあるいはそれよりやや高くなることがよく知られている。しかし、バリ付摩擦圧接継手の疲れ強さに関する研究はほとんど見当たらない。

*機械工学科 (Department of Mechanical Engineering)

アーク溶接継手の疲れ強さが母材のそれと比べ著しく低下する原因としては種々の因子が挙げられているが、その主原因は、余盛による止端部の応力集中であることは良く知られている⁴⁻⁷⁾。さらに、余盛付溶接継手の疲れ強さを改善するには、余盛止端半径を大きくすることが最も効果的であることが報告されている⁸⁻¹¹⁾。したがって、バリ付摩擦圧接継手の疲れ強さも、バリによる止端部の応力集中のため、母材のそれに比べ低下するものと考えられる。

バリ付摩擦圧接継手が多く用いられるようになった現在、バリ付継手の疲れ強さに及ぼす種々の因子の影響を明らかにすることが何よりも急務である。

そこで本研究では、熱間及び冷間引抜軟鋼中実丸棒を用い、疲れ強さに及ぼす種々の因子の中から、摩擦圧力並びにアプセット圧力の影響を詳細に調べた。その結果について報告する。

2. 実験方法

2.1 供試材料、圧接条件及び疲れ試験方法

表 1 供試材料の化学組成

Materials	Chemical compositions, wt. %				
	C	Si	Mn	P	S
Hot drawn steel	0.13	0.18	0.64	0.032	0.025
Cold drawn steel	0.16	0.22	0.53	0.030	0.019

供試材料は、表 1 に示す化学組成を持つ直径16mmのSS400中実丸棒の熱間引抜材及び冷間引抜材の二種類を用いた。

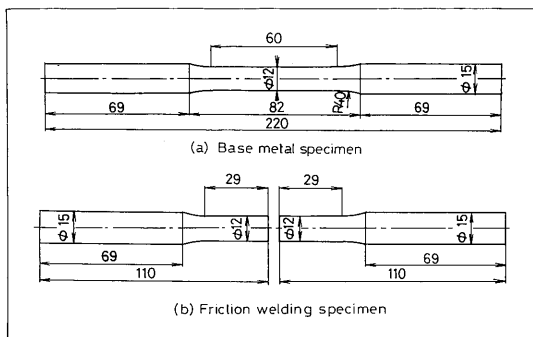


図 1 母材疲れ試験片及び摩擦圧接試験片の形状並びに寸法 単位：mm

母材疲れ試験片は、図 1 (a) に示す形状及び寸法に機械加工した。機械加工にあたっては、切削による残留応力の影響をできるだけ少なくするため、切込みは小さく

し、注意深く行った。

摩擦圧接に用いた試験片は、図 1 (b) に示すように母材疲れ試験片をマイクロカッタで二等分したものをを用いた。

摩擦圧接条件は熱間及び冷間引抜材のいずれも同じで、試験片の回転数3650rpm、送り速度3mm/sec及びより

表 2 摩擦圧接条件

Marks	Pressure	Burn-off
A	Friction pressure, 29MPa Friction time, 8sec Upsetting pressure, 56MPa Upsetting time, 2sec	About 8mm
B	Friction pressure, 39MPa Friction time, 7sec Upsetting pressure, 78Pa Upsetting time, 2sec	
C	Friction pressure, 51MPa Friction time, 6sec Upsetting pressure, 94MPa Upsetting time, 2sec	

約8mmは一定とし、表 2 に示すように摩擦圧力(以後これを P_1 という)及びアプセット圧力(P_2 という)のみを種々に変化させた。すなわち、A、B及びCの条件は、 P_1 と P_2 がそれぞれ29と56、39と78及び51と94MPaである。

また、本実験ではバリを除去した摩擦圧接継手試験片についても疲れ試験を行い、バリ付の場合と比較検討した。この場合、バリ除去による切欠きが生じないように注意深くバリを旋削した。

摩擦圧接機はプレーキ式を用いた。

疲れ試験には最大容量98N-mの回転曲げ疲れ試験機を用い、繰返し速度は1800cycles/minとし、室温で実験を行った。なお、本実験では、10回の時間強さを疲れ限度とした。

2.2 摩擦圧接継手のバリ止端部の形状及び硬さ分布の測定

種々の摩擦圧接条件により得られたバリ付摩擦圧接継手について、バリ止端半径 R 及び止端角度 θ を測定した。測定にあたっては、摩擦圧接試験片を軸方向中心で切断した後、研磨及び腐食し、止端部を顕微鏡で50倍に拡大した後、写真撮影を行い、 R 及び θ を測定した。この場合、 R 及び θ は図 2 に示すように定義し、バリ表面の微細な凹凸は無視してマクロ的な R を測定した。 θ は R を半径とする円弧がバリと離れる点でバリに接線を引き、この接線と平行部表面とがなす角によって表した。

また、摩擦圧接継手の硬さ分布の測定にはマイクロピッカー硬さ計(荷重300g)を用いた。

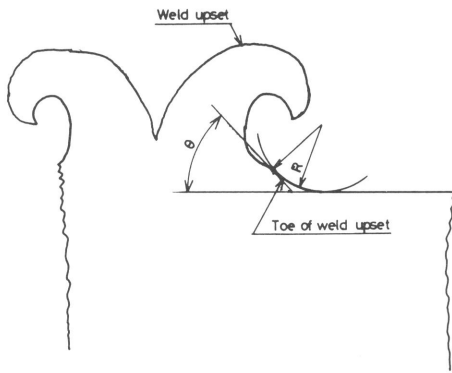


図2 バリ止端半径R及びバリ止端角度θの定義及び測定方法

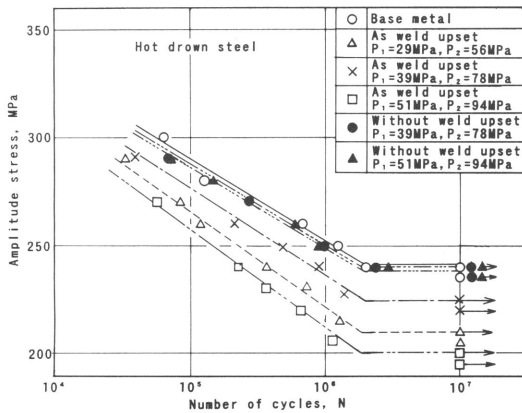
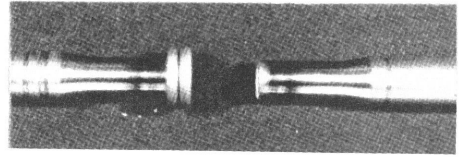


図3 摩擦圧接継手のS-N曲線

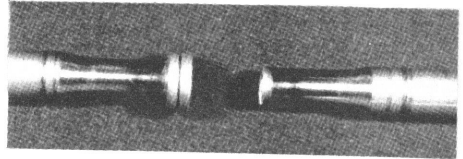
3. 実験結果及びその検討

図3は熱間引抜材のバリ付摩擦圧接継手の疲れ試験結果を示したものである。なお、同図中には、比較のためバリを除去した継手及び母材の疲れ試験結果も示してある。同図によれば、バリ付継手の疲れ強さは $P_1=39$ で $P_2=78\text{MPa}$ の場合の疲れ限度は 225MPa で、母材のそれ(240MPa)に比べわずかに低い値である。しかし、 $P_1=51$ で $P_2=94\text{MPa}$ と圧力を高くした場合の疲れ限度(200MPa)の減少は著しく、母材のそれに比べ 40MPa 低下している。これらの継手試験片の破断位置はいずれもバリの止端部であった。なお、これらの継手試験片のバリを除去した場合には、いずれの圧力による試験片も母材とはほぼ同程度の疲れ限度を示し、バリを除去すれば疲れ強さは回復することが認められた。

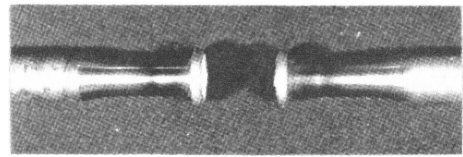
なお、 $P_1=29$ で $P_2=56\text{MPa}$ と圧力を低くした場合の継手は接合面で破断している。しかし、この継手の疲れ



(a) $P_1=39\text{MPa}$, $P_2=78\text{MPa}$



(b) $P_1=51\text{MPa}$, $P_2=94\text{MPa}$



(c) $P_1=29\text{MPa}$, $P_2=56\text{MPa}$

図4 摩擦圧接継手試験片の破断後の外観写真(熱間引抜材)

限度は 215MPa で、最も圧力の高い継手の疲れ限度より高い値が得られている。図4はこれらの継手試験片の破断後の外観写真の一例を示す。

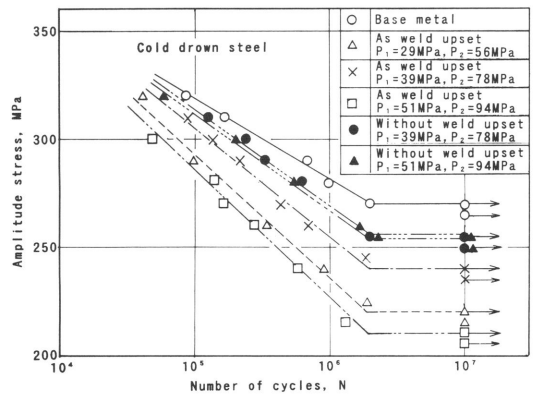


図5 摩擦圧接継手のS-N曲線

図5は冷間引抜材の場合の疲れ試験結果を示したものである。バリ付継手の疲れ強さは $P_1=39$ で $P_2=78\text{MPa}$ の場合で 240MPa 及び $P_1=51$ で $P_2=94\text{MPa}$ の場合で 210MPa で、母材のそれ(270MPa)に比べ、それぞれ 30 及び 60MPa も低く、圧力の増大と共に疲れ限度は著し

く減少することが認められた。なお冷間引抜材の場合にはバリを除去しても、疲れ限度は母材のそれまで回復せず、いずれの場合も母材よりも約15MPa低い値を示している。

熱間引抜材及び冷間引抜材のいずれもバリ付摩擦圧接継手の疲れ強さは P_1 及び P_2 の増大と共に著しく減少することが明らかとなった。また、熱間引抜材の場合には、バリを除去すれば、疲れ強さは母材と同程度まで回復するが、冷間引抜材の場合には母材の疲れ強さまで回復しないことが明らかとなった。

そこでこれらの原因を明らかにするため、バリ止端半径 R 及び止端角度 θ を測定した。

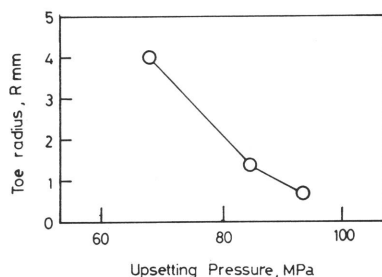


図6 バリ止端半径に及ぼすアプセット圧力の影響 (熱間引抜材)

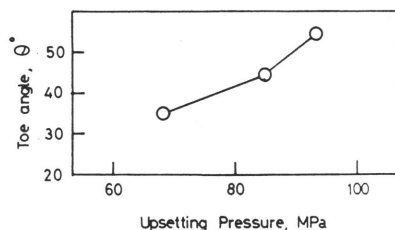
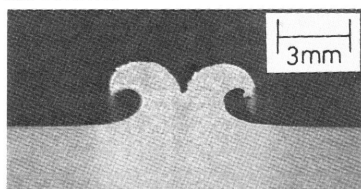
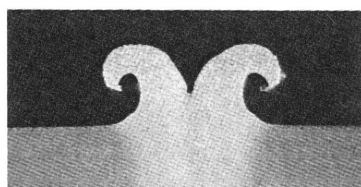


図7 バリ止端角度に及ぼすアプセット圧力の影響 (熱間引抜材)



(a) $P_1 = 39 \text{ MPa}$, $P_2 = 78 \text{ MPa}$



(b) $P_1 = 51 \text{ MPa}$, $P_2 = 94 \text{ MPa}$

図8 バリ止端部のマクロ写真 (熱間引抜材)

図6及び7は熱間引抜材を用いた場合の R および θ を測定した結果を示したものである。 R は P_2 の増加と共にほぼ一様に減少し、 θ は逆に増大する傾向が認められた。図8はバリ止端部のマクロ写真の一例を示す。

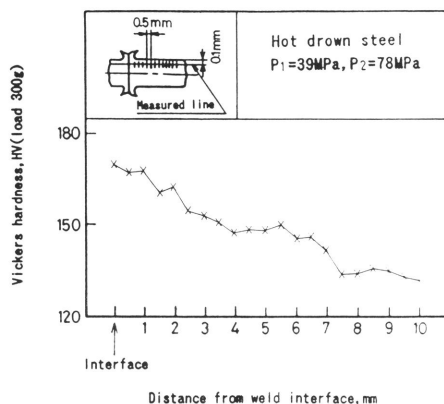


図9 摩擦圧接部の硬さ分布

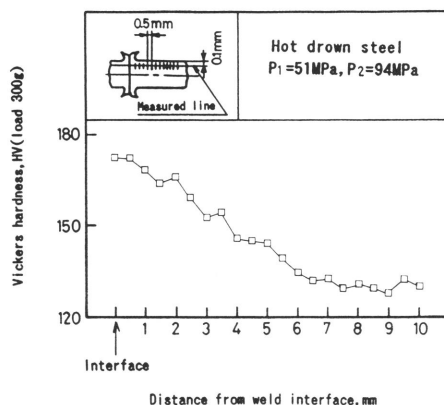


図10 摩擦圧接部の硬さ分布

図9及び10は熱間引抜材の硬さ分布を $P_1=39$ で $P_2=78$ MPa及び $P_1=51$ で $P_2=94$ MPaの場合について示したものである。いずれの場合も接合面の硬さが最も高く、そこから母材側に向かってほぼ一様に減少し、接合面から約7mm離れた位置で母材の硬さと同程度となっている。したがって熱間引抜材の場合、バリを除去した継手の疲れ強さは母材と同程度まで回復するが、これは摩擦圧接を行っても継手に軟化部が生じないためと考えられる。

一方、図11及び12に示す冷間引抜材の場合には、熱間引抜材の場合とその様相は著しく異なり、軟化部が観察された。しかもこの軟化部は $P_1=39$ で $P_2=78$ MPaの場合には接合面から約3.5mmであったのに比べ、 $P_1=51$ で $P_2=94$ MPaと圧力を増大すると軟化部は接合面から約2mmの位置に移動することが観察された。なお、冷間引抜材の場合には、破断箇所のマクロ及び硬さ試験結果か

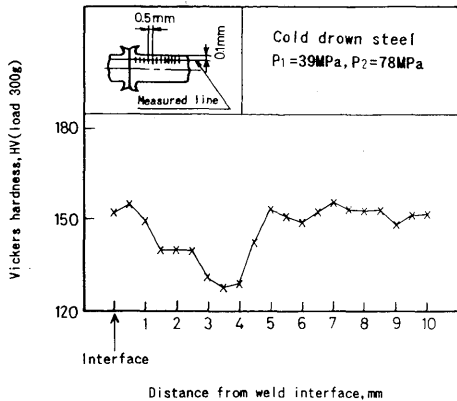


図11 摩擦圧接部の硬さ分布

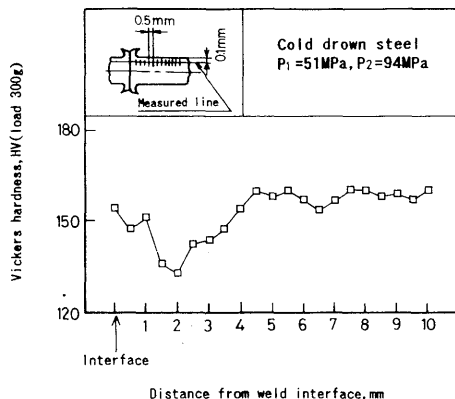


図12 摩擦圧接部の硬さ分布

ら、バリを除去した継手の破断箇所が軟化部と一致していることが認められた。したがってバリを除去しても、疲れ強さが母材のそれまで回復しないのは、この著しい軟化部が存在することに起因するものと考えられる。

以上の実験結果から、バリ付熱間及び冷間引抜材による摩擦圧接継手の疲れ強さが P_1 及び P_2 の増大と共に減少するのは、 P_1 及び P_2 の増大と共にバリ止端半径が減少すると共に止端角度が増大し、止端部の応力集中係数が増加するためと考えられる¹²⁾。

またバリ付の場合、 $P_1=51$ で $P_2=94$ MPaの場合の疲れ強さの減少が熱間引抜材の場合に比べ、冷間引抜材の場合の方が著しく大きいことを示したが、これは応力集中箇所と軟化部とが一致したことによる重畳効果に起因するものと考えられる。

なお、冷間引抜材による摩擦圧接継手の疲れ強さがバリを除去しても母材のそれまで回復しないのは、摩擦圧接により発生した熱のために著しい軟化部が生じるためと考えられる。したがって冷間引抜材による摩擦圧接継手を作製する場合には、十分に摩擦圧接条件を検討する必要があるものと思われる。

4. 結 言

熱間及び冷間引抜軟鋼摩擦圧接継手の疲れ強さに及ぼす摩擦並びにアプセット圧力の影響を調べるための諸実験を行い、次の結論を得た。

- 1) 熱間及び冷間引抜材のバリ付継手の疲れ強さはいずれも摩擦及びアプセット圧力の増加と共に減少する。
- 2) バリ止端半径はアプセット圧力の増加と共に減少し、止端角度は逆に増加する。したがってバリ付継手の疲れ強さが母材に比べ低下する主原因はバリ止端部の応力集中によるものと考えられる。
- 3) 熱間引抜材の場合、いずれの条件による継手も、バリを除去すれば、母材のそれまで回復する。
- 4) しかし、冷間引抜材の疲れ強さは、バリを除去しても母材のそれまで回復しない。
- 5) 冷間引抜材の疲れ強さは、破断箇所の応力集中と軟化部とが重畳した場合は著しく減少する。したがってこの材料の摩擦圧接条件の選定にあたっては十分な注意が必要である。

本研究を遂行するにあたり、終始ご懇切なるご指導を賜りました中部大学生産技術開発センター長、岡村健二郎教授に対して、深甚の謝意を表します。また疲れ試験片の作製にあたっては、アサダ株式会社社長浅田一吉、常務取締役滝尚弘、研究開発部第3研究開発課長小澤泰裕及び第2研究開発課影山昭人の各氏のご協力を得た。ここに付記して謝意を表します。

参 考 文 献

- (1) 時末、加藤：摩擦圧接継手の疲れ強さに関する研究(第1報)、日本大学生産工学部報告、10-1 (1977)、P1-7
- (2) 加賀谷、加藤：回転曲げを受ける摩擦圧接継手のひずみ分布と疲労損傷、材料、28-313 (1979)、P941-945
- (3) 中山、石井、大植、小川：S45C鋼同種摩擦圧接継手の統計的疲労強度について、材料、30-329 (1981)、P180-186
- (4) W.W.Sanders, A.T.Derecho and W.H.Munse: Effect of external geometry on fatigue behavior of welded joints. Welding journal, February (1965), P49s-55s
- (5) 高橋、伊藤：突合せ溶接継手余盛止端部形状と疲れ強さ、溶接学会誌、40-8 (1971)、P723-735
- (6) 益本、篠田、田島：各種被覆アーク溶接による溶接継手の疲れ強さ、溶接学会誌、44-3 (1975)、P202-210
- (7) 益本、篠田、鈴木：CO₂溶接継手の疲れ強さ、溶接学会誌、45-10 (1976)、P882-890
- (8) 益本、松田、岩田、長谷川：軟鋼溶接継手の疲れ強さに及ぼす予ひずみ及びハンマピーニングの影響、溶接学会誌、46-3 (1978)、P610-615
- (9) 益本、齊名、長谷川：アルミニウム合金A5083P-O溶接継手の疲れ

- 強さに及ぼす余盛止端部レーザー処理の効果, 接学会論文集, 6-3 (1988), P420-425
- (10) J.D.Harrison: Further techniques for improving the fatigue strength of welded joints. British welding journal, November (1966), P642-647
- (11) J.D.Harrison: Effect of peening and grinding on the fatigue strength of fillet welded joints, British Welding Journal, December (1968), P601-609
- (12) 松田, 長谷川, 中尾: 溶接継手の応力集中係数と切欠き係数, 中部工業大学紀要, 12-A (1977), P1-9