

直交溶接継手の疲れ強さ

Fatigue Strength of Butt Joints with Crossed Weld Lines

西岡 章 夫* 大内 田 久**
Akio Nishioka Hisashi Ouchida

内 容 梗 概

直交溶接継手は突合継手に比べ疲れ強さが著しく低下することが知られているが、溶接が自動化された今日では one pass の溶接線を長くし能率向上をはかる面より使用を認めているところがある。そこで溶接線を直交させることによる強度低下を調べるとともに、強度増大策について実験を試みた。実験には SM 41 の 6 mm 鋼板を表裏各一層ずつのユニオンメルト溶接をした継手試験片を用い片振引張疲れ強さを求めた。得られた結果は、直交継手の疲れ強さが 12 kg/mm^2 となり突合継手の 15 kg/mm^2 より 20% の強度低下となった。この疲れ強さを増大させるには、直交部のまわり 4 箇所を局部加熱することにより 25% の強度上昇が得られ突合継手と同一強度となり、片面に円形板を溶接すれば約 8% 上昇する。またビード余盛りを除去すると 67% と著しく強度が増大する。

1. 緒 言

溶接構造物の疲れ強さは、主として溶接継手部の形状、表面状態、溶接欠陥など応力集中を生ずる因子により左右されるが、残留応力の影響も軽視できない。残留応力と疲れ強さについてはまだ定説は確立されていないが、残留応力が引張りの場合には疲れ強さを弱め、圧縮の場合には強めることが知られている。一般に溶接部の残留応力は溶接線方向に大きな引張残留応力を生じ、溶接線と直角方向の値は小さい。Trufyakov⁽¹⁾ が突合継手に縦ビードを置いたものの引張疲れ強さを、Hall⁽²⁾らが母材に縦ビードを置いたものが曲げを受ける場合の疲れ強さを求めているが、いずれも縦ビード置きにより大幅な強度低下を示している。このように縦ビードによる引張残留応力が疲れ強さを低下させるところから溶接線の交差は好ましくないとされてきた。

しかし、最近では自動溶接が盛んになり能率向上の面より one pass の溶接線を長くする傾向にあり、材料の板取りのうえからも都合である直交継手を採用している分野がみられる。そこで、本報はまず直交継手の疲れ強さを求めるとともに、その強度低下の要因を取り除くための対策を講じた場合の強度上昇を調べ、母材および突合継手との疲れ強さを比較検討した。

2. 供試材および試験方法

2.1 供 試 材 料

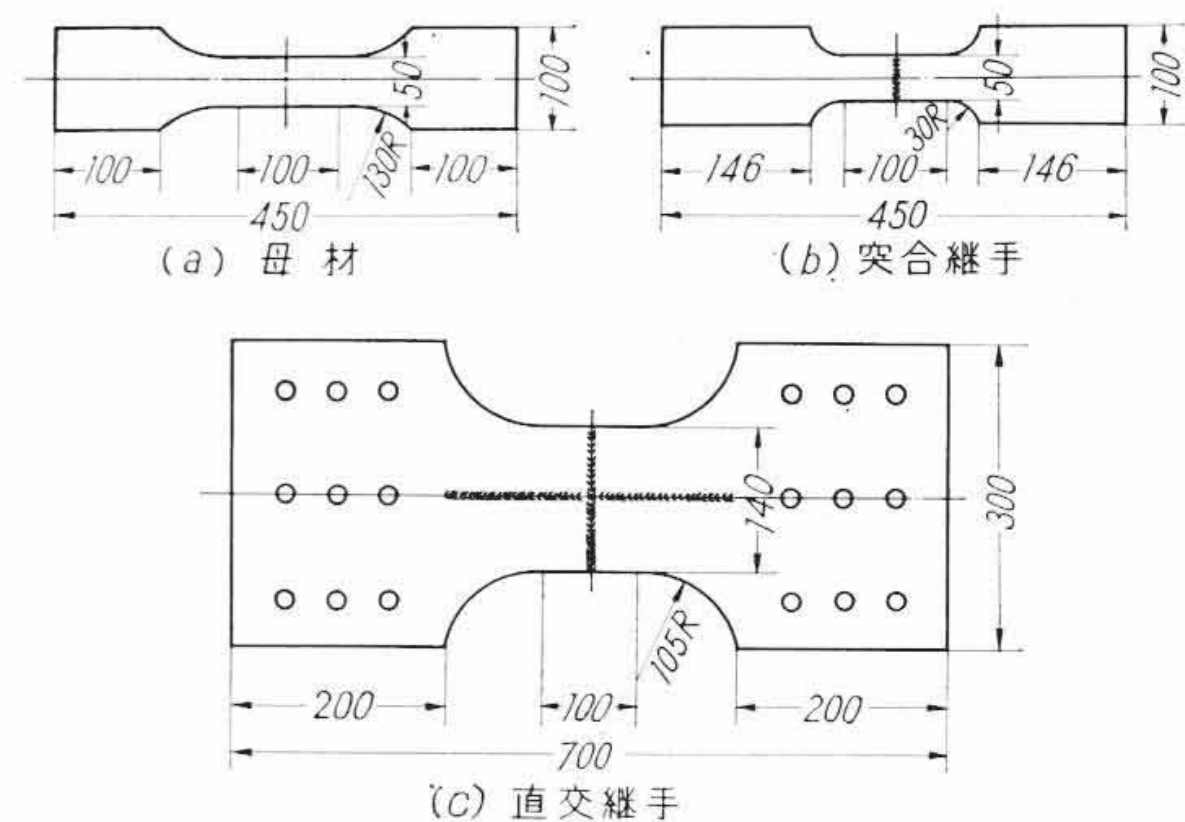
供試母材は SM 41 の 6 mm 鋼板であり、実験の都合上同一板材より試験片を作製することができなかったため 3 種類の鋼板を用いた。それぞれの化学成分および機械的性質を第 1 表に示す。化学成分は 3 種ともほぼ同一値となっているが、降伏点、引張強さには強度差がみられ、II 材では SM 41 の規格値を越えている。これは熱処理がやや異なったものと思われるが、後述の疲れ試験結果にて述べるように、この程度の母材の静的強度の差異は溶接継手の疲れ強さには影響しないと考えられる点から一応問題とする必要はないようである。

2.2 試 験 片

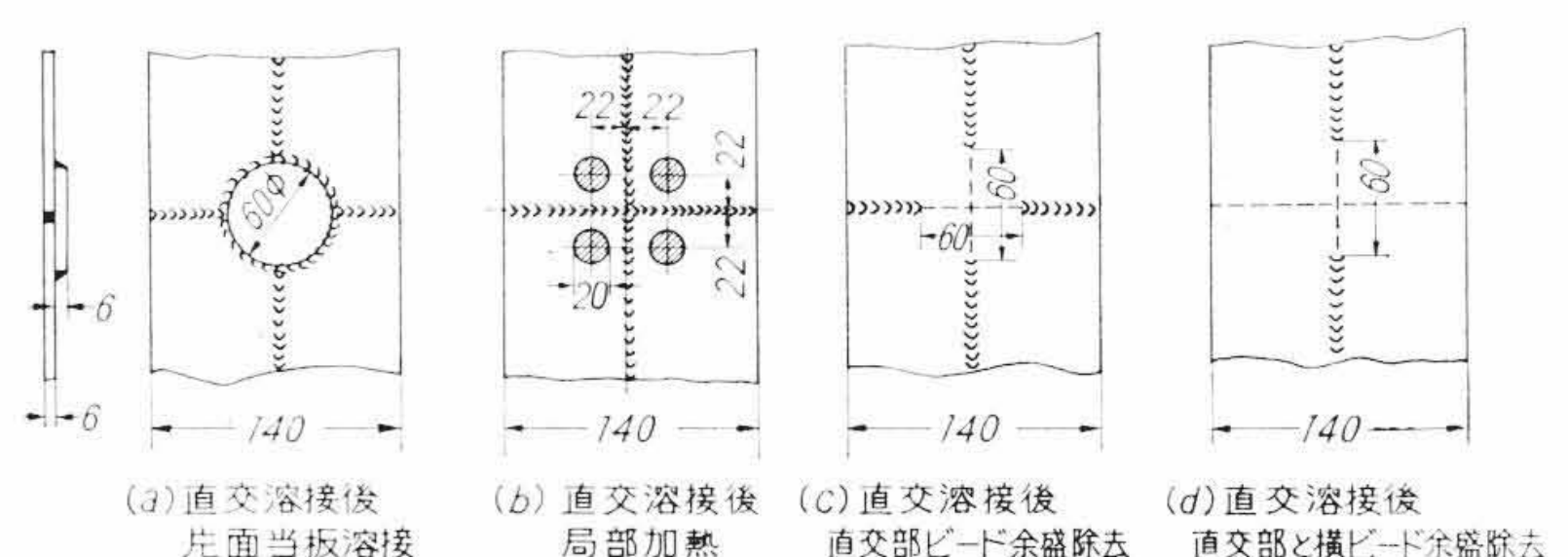
疲れ試験に用いた試験片形状を第 1 図および第 2 図に示す。第 1 図は母材、突合継手および直交継手の形状を示したもので、第 2 図は直交継手の直交部に種々の増強策をほどこしたものである。試験片はすべて黒皮のままであり、板取りは圧延方向とした。edge

第 1 表 供 試 材 の 諸 性 質

試料 No.	材 質	化 学 成 分 (%)					機械的性質 ($\text{kg/mm}^2, \%$)		
		C	Si	Mn	P	S	σ_s	σ_B	φ
I	SM41	0.19	0.01	0.53	0.029	0.020	32.9	49.1	28.5
II	SM41	0.21	0.01	0.54	0.029	0.023	38.8	55.1	27.6
III	SM41	0.18	0.01	0.44	0.012	0.027	30.4	44.0	33.5



第 1 図 試験片形状および寸法



第 2 図 増強策をほどこした直交継手

effect がはいらぬよう試験片幅を十分広くしたが、直交継手においては試験装置の関係で幅を 140 mm にしたため、試験片の端部より疲れき裂が発生したものがあつたので、両端約 10 mm 幅の表裏にショットピーニング加工してこれを防止した。この部分のショットピーニングの影響が直交部の疲れ強さにほとんど影響しないことは直交溶接のままの試験片により確かめてある。

ここで第 2 図に示した強度増大策の方法につき簡単に述べる。

(1) 直交溶接後片面当板溶接

直交部片面に直径約 60 mm、板厚 6 mm の鋼板を全周すみ肉溶接した。その場合、当板部分のビード余盛りはグラインダ仕上げした。

(2) 直交溶接後局部加熱

直交部の強度低下の原因の一つは引張残留応力によるものと考

* 日立製作所日立研究所

** 日立製作所日立研究所 工博

第2表 溶接条件

試料 No.	心線	フラックス	電流 (A)	電圧 (V)	層数
I	Oxweld # 43	G80	500	32	表裏1層ずつ
II, III	リンデ # 43	G80	460~500	30~35	表裏1層ずつ

えられるため、その引張残留応力を減少せしめるため第2図に示す位置に局部加熱をほどこした。加熱条件はガスバーナにより板の片面より加熱し、裏側でテンピルスチックにより温度を測定し、温度：650~700℃、時間：5~8秒で以後空冷とした。

(3) 直交溶接後直交部ビード余盛り除去

ビード余盛りを除去することにより直交部の応力集中を緩和して強度上昇をはかったもので、その範囲は直交部の直径約60mmを両面ともグラインダ仕上げした。

(4) 直交溶接後直交部と横ビード余盛り除去

(3)と同様であるが余盛り除去の範囲を広げて横ビードを全部除いたものである。

2.3 溶接条件

溶接はすべて表裏1層ずつのユニオンメルト溶接で、その条件を第2表に示す。開先加工はガス切りのままとしたため、ルート間隔は一定ではないが横縁溶接が0、縦縁溶接が1.5mm程度である。

溶接方法は、試験片のつかみ部を含んだく型板を横に並べて連続的に溶接し条件をそろえた。直交継手では横縁溶接を行なった後縦縁溶接を行ない、溶接後の処理はいっさいほどこしていない。なお、直交部に当板溶接したものは手溶接であり溶接棒はB-17を用いた。これら溶接終了後機械加工にて所定の寸法に仕上げた。

2.4 試験方法

疲れ試験は下限応力2kg/mm²の片振引張荷重で行ない、くり返し速度は500~700c/minとした。試験片の取り付けに際し、板厚方向の心がずれているものは溶接部が変形しないように修正し、幅方向には曲げが加わらぬように直交継手においては左右にストレインゲージをはり動的に荷重を検定した。

試験にはローゼンハウゼン万能疲れ試験機(UHS 100, 100/60 t)を用いたが、容量が大きいため試験荷重の小さいものでは、荷重計にたよらずにストレインゲージを用いて荷重精度を高めた。

3. 実験結果および検討

3.1 各種継手の疲れ強さ

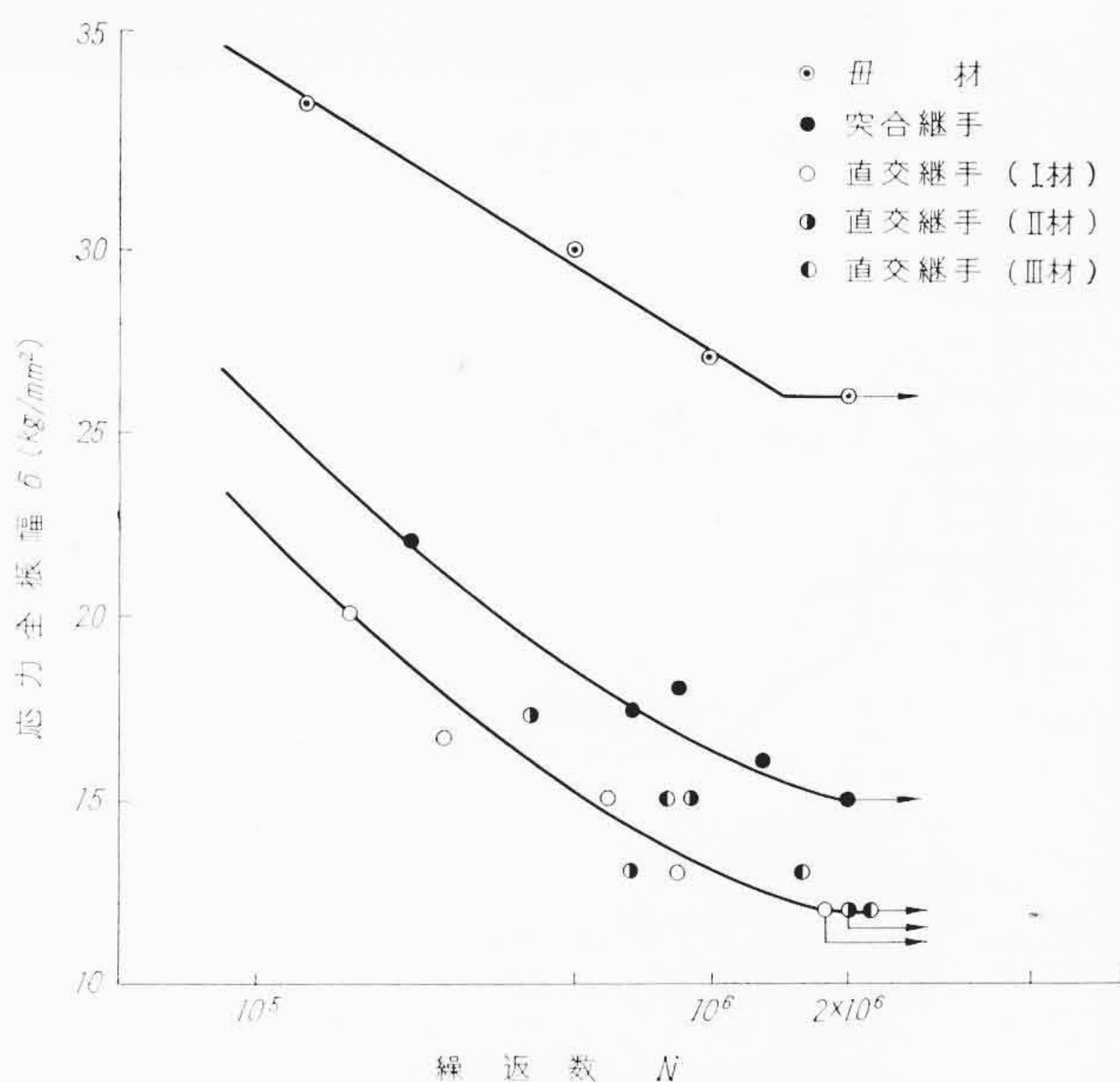
片振引張疲れ試験結果を第3図および第3表に示す。応力は上限と下限との差すなわち全振幅にて示してあり、 $N=2 \times 10^6$ における疲れ強さは、母材の26 kg/mm²に対し突合継手では15 kg/mm²で42%の強度低下となり、直交継手では12 kg/mm²で54%の強度低下となっている。

直交継手は2.1で述べたように3種類の母材を用いた関係上それぞれの母材について疲れ強さを求めたが、S-N曲線からわかるように時間強度にはいくぶんばらつきがみられるが $N=2 \times 10^6$ における値としてはすべて12 kg/mm²となり、熱処理などの影響により第1表の機械的性質には強度差を生じたが溶接継手の疲れ強さにはほとんど影響しないことがわかる。またI材の中には試験片端部にショットピーニング加工しなかったものが2本含まれているが、強度差がみられないところからこの影響も考えなくてよいと思われる。

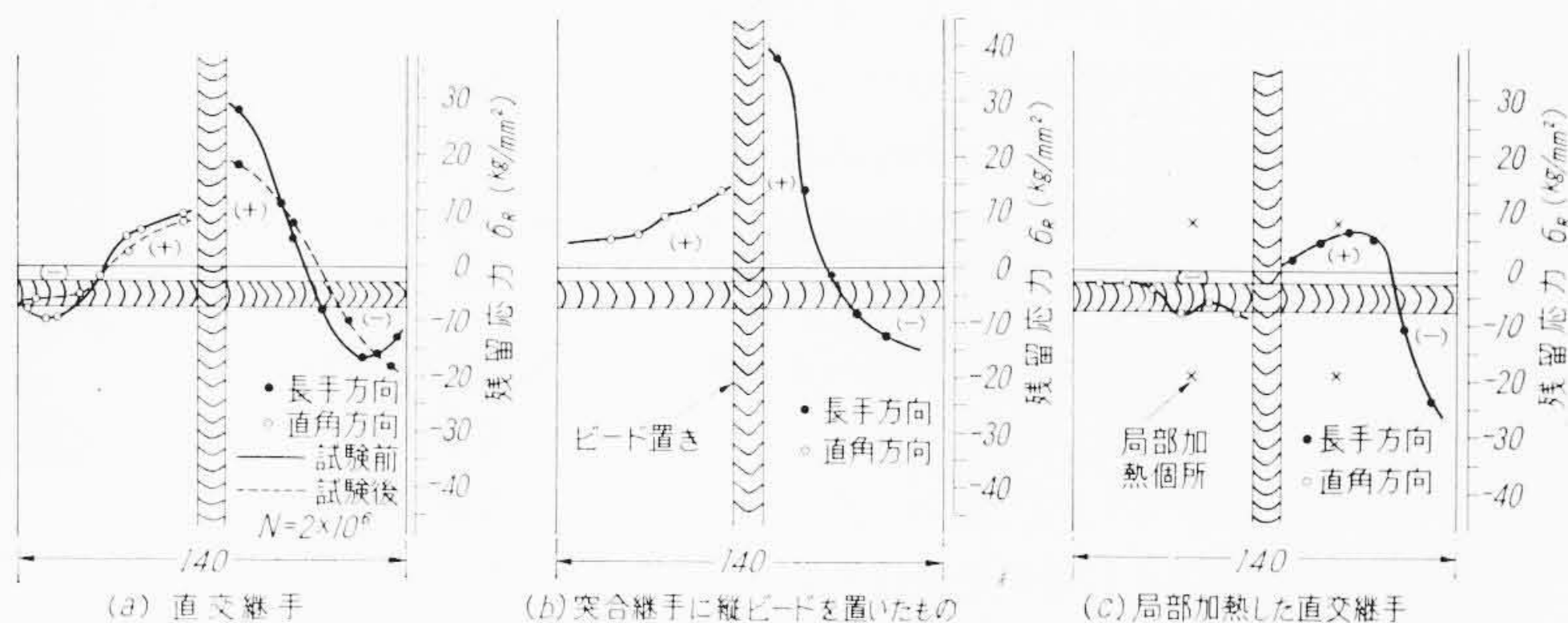
直交継手が突合継手より20%の強度低下を示したのは、直交部の材質に及ぼす熱影響も無視できないが、縦縁溶接による引張残留応力がきいたものと考えられる。第4図はストレインゲージをはって

第3表 各種継手の疲れ強さ ($N=2 \times 10^6$)

試験片種類	疲れ強さ σ_w (kg/mm ²)	母材に対する強度率(%)	直交溶接に対する強度率(%)	破壊状況
母材	26.0	100	216	平行部
突合継手	15.0	58	125	裏ビード止端部
直交継手	12.0	46	100	裏側直交部、縦、横ビード止端部
直交溶接後片面当板溶接	13.0	50	108	当板ビードと縦ビードとの交差部
直交溶接後局部加熱	15.0	58	125	裏側横ビードの局部加熱中心部
直交溶接後直交部ビード除去	16.0	62	133	裏側横ビードの残部
直交溶接後直交部と横ビード除去	20.0	77	167	ビード除去部の直交部中心

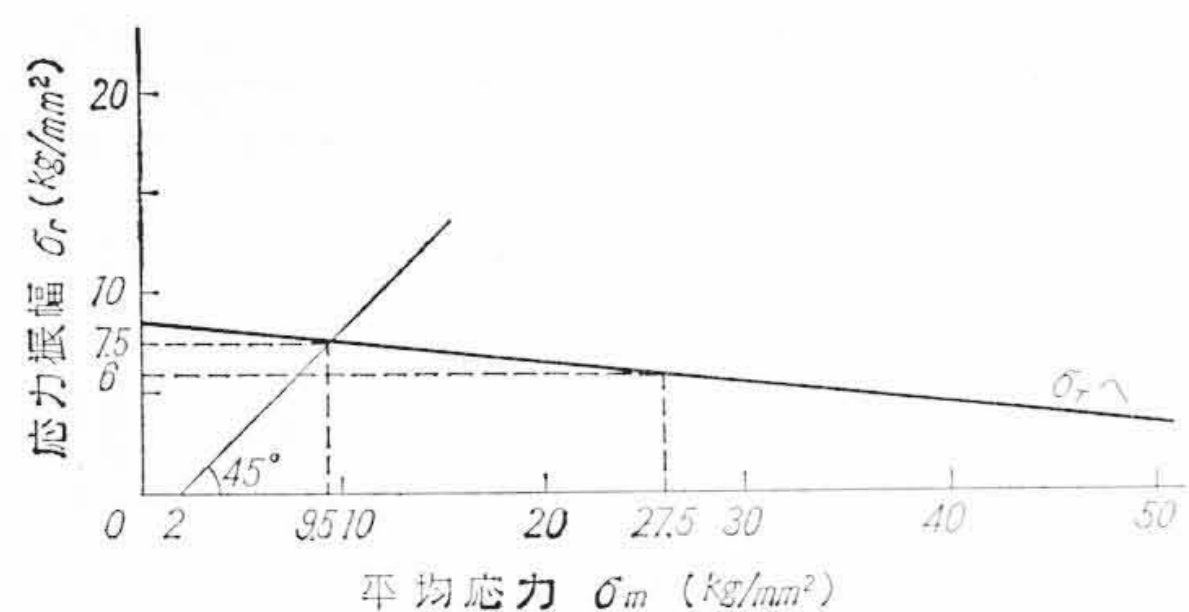


第3図 各種継手のS-N曲線

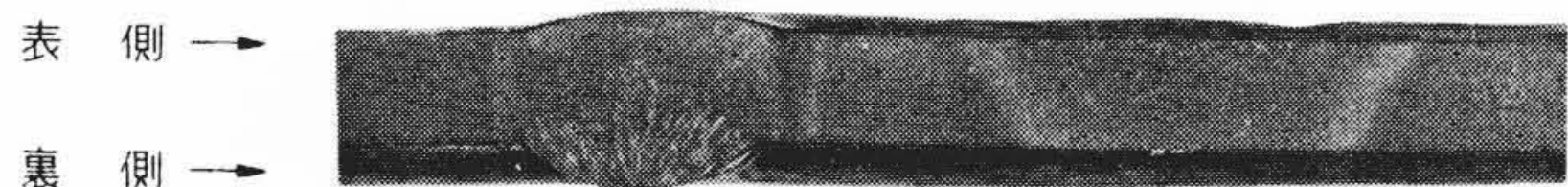


第4図 直交部の残留応力分布

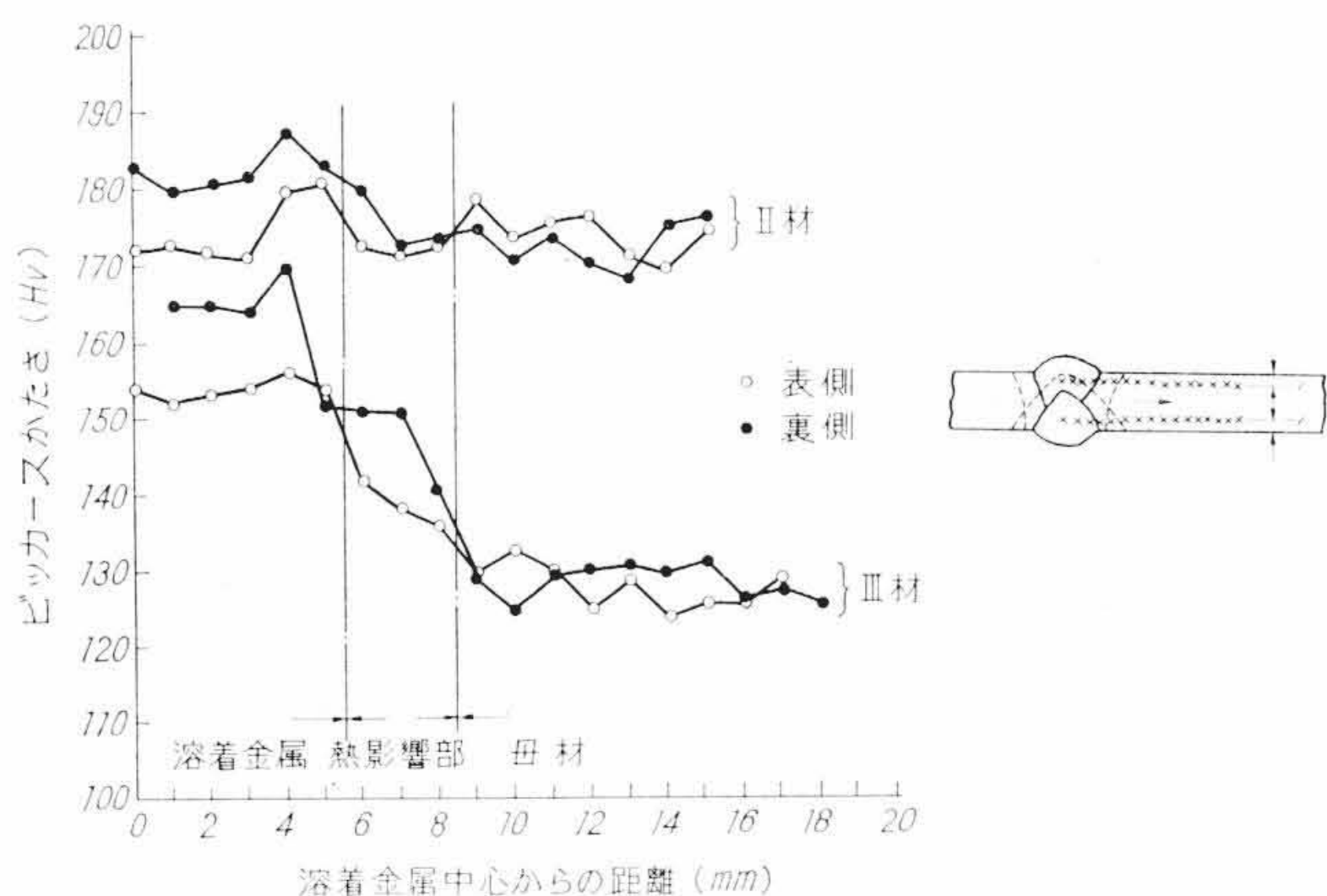
おき切り抜いて測った残留応力の分布を示し、測定位置は図の応力目盛0の点でビードより5mm離れた位置の値である。(a)の結果をみると、試験前のものは直交部で27~30 kg/mm²の残留応力となっており、試験応力12 kg/mm²で 2×10^6 回のくり返しに耐えた試験後のもので18 kg/mm²程度の値となっている。一般に大きな残留応力を有するものに外力による応力が加算され降伏点を越えると、もとの残留応力が次第に減少するといわれているが、本試験片の場合にはさほど減少していないようである。この試験後の値18 kg/mm²が平均応力としてきき、突合継手の疲れ強さを低下せしめたとして疲れ限度線図を描くと第5図のようになる。縦軸は応力振幅で突合継手の場合には7.5 kg/mm²となり、横軸の平均応力は9.5 kg/mm²となる。突合継手の平均応力9.5 kg/mm²に直交溶接による残留応力18 kg/mm²が加わると27.5 kg/mm²となり、その場合の応力振幅はほぼ6 kg/mm²すなわち全振幅で表わすと12 kg/mm²の疲れ強さであり、この値は直交継手のそれと一致する。このことから直



第5図 継手の疲れ限度線図



第6図 溶接部および局部加熱部のマクロ組織 (×1)



第7図 横縁溶接部のかたさ分布

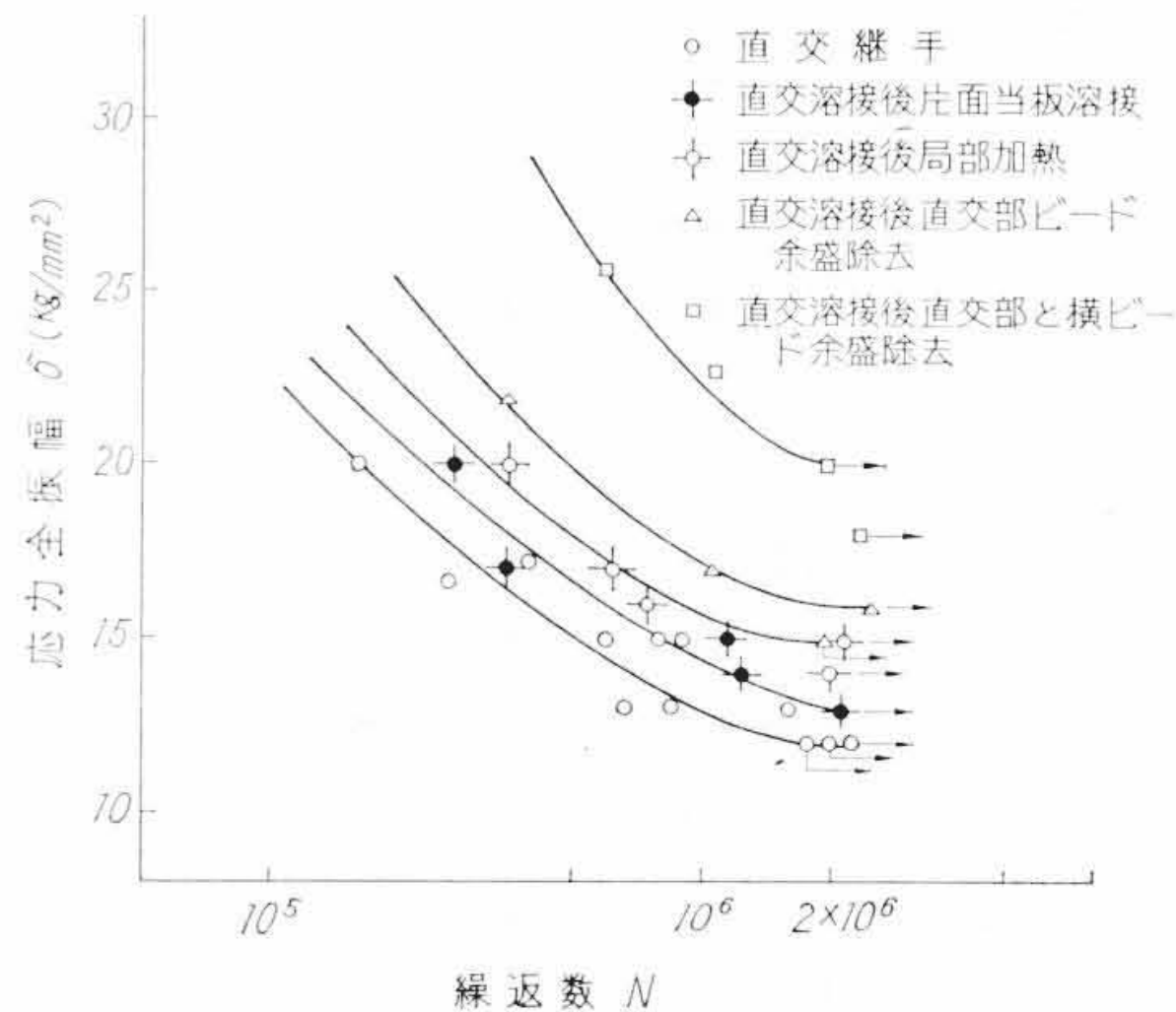
交継手でも縦縁溶接の引張残留応力を消滅させれば、突合継手の疲れ強さに近づけると推察される。また第4図(b)は縦縁溶接の代わりにビード置きした場合のもので(a)に比べ大きな値となっている。したがって溶接線上に付加物を溶接した場合にも直交継手以上の引張残留応力がもとの溶接部に生ずることを考慮せねばならないといえる。

次に溶接部の材質変化について述べる。第6図は横縁溶接部および局部加熱部の断面マクロ組織である。溶接は表裏1層ずつのユニオンメルト溶接であるため、最初に溶接した側の溶接金属は裏側からの溶接により焼なまし効果を受けていることがわかる。またビード形状は裏側の方が高くなっていることもきき、全試験片ともき裂の発生は裏側ビードの止端からであった。本試験片では余盛り高さを特に定めなかったが、板厚の20%以上になると応力集中が著しく増大する⁽³⁾ことから、余盛り高さを低くした方が強度上好ましいといえる。

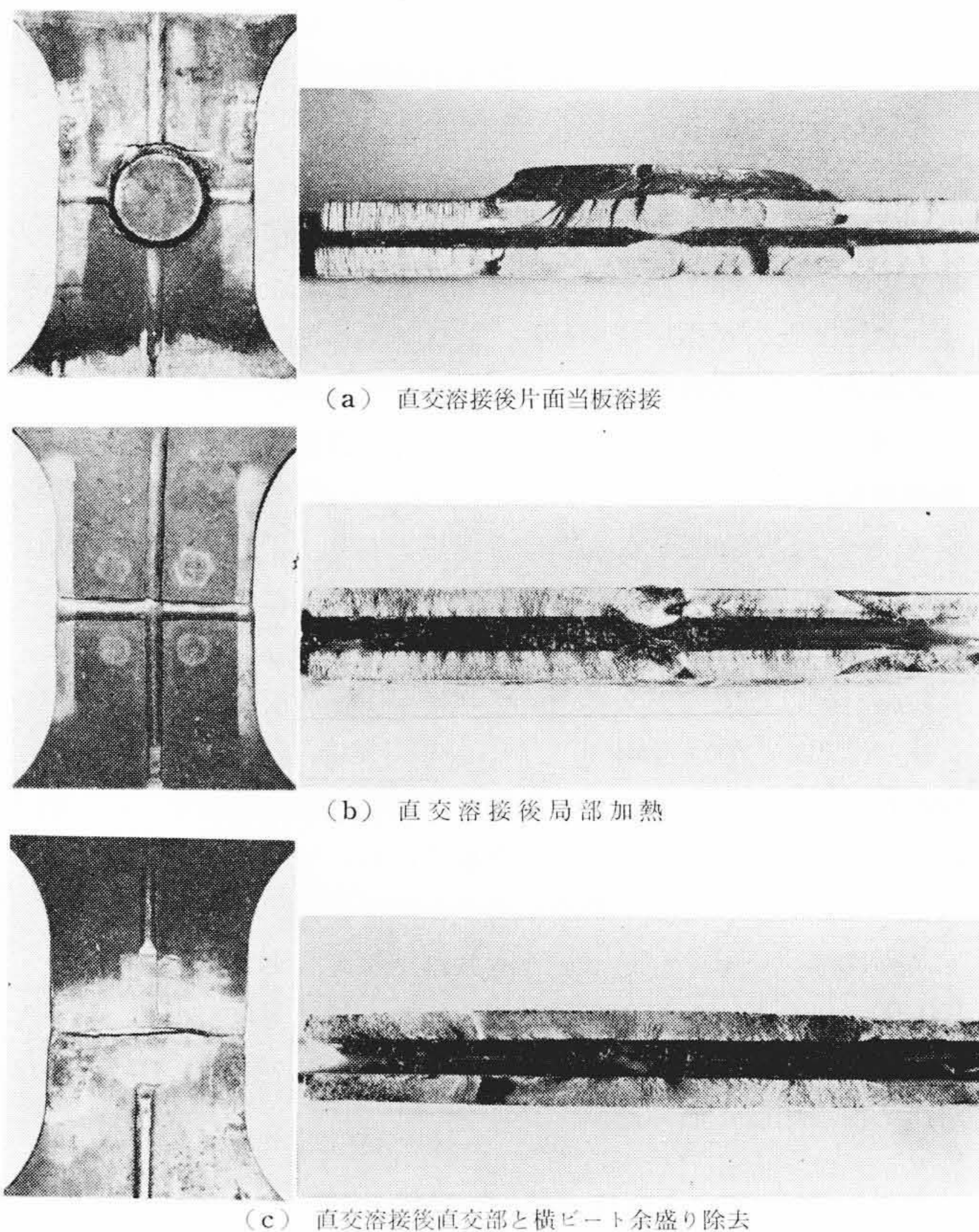
第7図は溶接部のかたさ分布である。II材およびIII材の場合であるが、I材では両者の中間の分布であった。やはり溶接金属部ではかたさが異なりなまし効果があらわれている。

3.2 増強策をほどこした直交継手の疲れ強さ

直交継手の疲れ強さを改善するため種々の対策をほどこしたものの片引張疲れ試験結果を第8図および第3表に示す。直交溶接のままは第3図のデータをそのままプロットしたものであり、それに対して直交部片面に当板溶接したものでは疲れ強さが 13 kg/mm^2 で8%の強度上昇となり、以下溶接後局部加熱すると 15 kg/mm^2 で25%、直交部のみビード余盛り除去が 16 kg/mm^2 で33%、横ビードと直交部縦ビードの余盛り除去が 20 kg/mm^2 で67%といずれも効果のあることを示している。したがって、この種の増強策の施工



第8図 増強策をほどこした直交継手の S-N 曲線



第9図 増強策をほどこした直交継手の疲労破壊状況

が実物の構造物の溶接部に対して可能な場合には直交継手を採用してさしつかえないといえる。

(1) 直交部片面に当板溶接したもの

試験片外観ならびに疲労破壊状況を第9図(a)に示す。破面より見てき裂は溶接した当板のすみ肉止端より発生していることがわかり、この部分の形状の影響がきいたものと考えられる。当板の形状はく形にすると角の部分に応力が集中するので必ず円形とし、その大きさは直交溶接と当板溶接それぞれの熱影響部が重ならぬ程度にすればよいと考えられ、すみ肉止端部はなめらかにして応力集中を避けることを要する。

(2) 直交溶接後局部加熱したもの

直交部に圧縮残留応力が生ずるようにガスバーナにて局部加熱して空冷したもので、チェコの Puchner にはじまり、イギリスの Gurney などが盛んにその効果を確認している方法である。主としてガセットなどの付加物のある溶接部の強度改善に用いられているが、それを応用するために Gurney⁽⁴⁾らの方法を参考にし

て予備実験を行ない、直交部の引張残留応力が最小になるように2.2で述べた条件を決めた。局部加熱したものの残留応力分布を第4図(c)に示す。第9図(b)のき裂発生状況をみると、局部加熱部付近の引張残留応力の大きな個所よりき裂が発生することがわかる。き裂発生部の 7 kg/mm^2 程度の残留応力値は突合継手に生ずる溶接線直角方向の値に近いところから疲れ強さが突合継手の疲れ強さに等しくなったことがうなずける。

(3) ビード余盛りを除去したもの

ビード余盛りをグラインダ研削すると止端部の応力集中が取り除かれるため疲れ強さが増大することが知られているので、余盛りを完全に削除したものと直交部のみ削除したものにつき調べた。完全に削除した場合には第9図(c)のようにき裂は直交部から生じている。この疲れ強さは突合継手の余盛り除去のものと大差ないところから、応力集中のない場合の残留応力のきき方は小さくなると考えられる。また、直交部のみビード余盛り除去したものでは、両端の余盛りが残っている部分から破壊し、突合継手と大差ない疲れ強さとなった。

以上、実験結果につき述べたが、本結果は6mm鋼板により求めたものであるため、厚板の場合にこのまま適用することには問題があると思われる。また、実物の溶接構造物において局部加熱などは荷重方向を十分吟味して行なうことが肝要である。縦ビードを有するものどうしを突合溶接した場合には母材の突合継手とほとんど強度が変わらない⁽⁴⁾ところから、荷重方向が明らかに一方向とわかっている場合には、荷重方向の縦縁溶接を行なった後突合溶接すれば直交溶接による強度低下は考えなくてよいことになる。ここで述べた増強策以外にマルチプルガンによる溶接後のピーニング、局部圧縮加工などによる効果も調べられているので、この種処置を講ずれば

直交継手も十分使用しうるといえよう。

4. 結 言

SM 41 の6mm鋼板により表裏1層ずつのユニオンメルト溶接した突合せおよび直交継手の疲れ強さ ($N=2 \times 10^6$) を片振引張荷重のもとで調べた結果以下のことがわかった。

- (1) 直交継手の疲れ強さは 12 kg/mm^2 となり、突合継手の 15 kg/mm^2 に対して20%の強度低下を示している。
- (2) 直交部のビード余盛りを除去すれば、疲れ強さは 20 kg/mm^2 になり67%の強度増大が得られる。この値は突合継手の余盛りを除去した場合とほぼ等しいものである。したがって、直交溶接による残留応力は応力集中部がなければほとんどきかないといえる。
- (3) 局部加熱により直交部の引張残留応力を軽減すると疲れ強さは25%上昇し、突合継手と等しい 15 kg/mm^2 が得られた。また直交部片面に円形板を当てて溶接すると疲れ強さは 13 kg/mm^2 といくぶん上昇する。

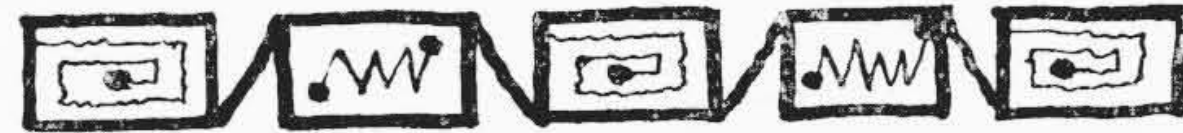
終わりに臨み、本研究に対しご助言とご協力をいただいた日立製作所国分工場米沢課長、内藤課長、山田氏その他関係各位に厚く感謝の意を表するとともに、実験に協力された日立製作所日立研究所横田君にお礼申しあげる。

参 考 文 献

- (1) V. I. Trufyakov: Brit. Weld. J., 5, 11 (Nov. 1958) 491
- (2) L. D. Hall, E. R. Parker: Weld. J., 25, 8 (Aug. 1946) 421s
- (3) 西岡, 大内田: 日立評論 45, 6 (昭38-6) 21
- (4) T. R. Gurney, L. N. Trepka: Brit. Weld. J., 6, 10 (Oct. 1959) 491



新 案 の 紹 介



登録新案第712937号

沢 幡 寅 治

電 気 炉 用 変 圧 器 の 端 子 接 続 装 置

この考案は電気炉用変圧器の二次側端子と電気炉側の入力端子導体とを接続するため、変圧器の二次側端子導体に取り着けた接続装置に関するものである。

従来、複数個配列された電気炉の運転を一台の変圧器を共用して行う場合、運転される電気炉へ変圧器を移動して電気炉側の入力端子導体と変圧器の二次側端子導体をボルト締めして導電接続を行っていたが、この取り外しおよび接続操作には相当多くの工数を要し、変圧器および電気炉の利用率が低下するという短所があった。また接続部の締着圧力の不足により、接続部の加熱を引き起すこともたびたびあった。

この考案は変圧器の二次側端子導体8へ基板10および10'を定着させ、基板10の内側に変圧器の二次側端子導体8および電気炉の入力端子4と接触対応するように接触板12を設け、他方、基板10'にはベローズ13および13'を介して接触板12と対応して両端子導体4、

8の他の面へ接触する接触板12'を設けてあり、油圧源から通油管14を通してベローズに圧油を供給することによって、両端子導体4、8を接触板12、12'間に挟圧して接続を完了する。またボルト17はその両端にボルト18に枢着されているレバー19、19'が取り付けられてあり、パネ21の張力によって切欠溝16に係合しているが、両端子導体の取り外しに際しては、まずベローズ13、13'内の油圧を低下または除去し、接触板12、12'の接触圧力を除去し、次にボルト17に設けられた耳金20を引出操作により切欠溝16から鎖線で示した位置に回転操作することによって電気炉の端子導体4を変圧器の二次側端子導体8から簡単に取り外すことができる。

このように本案によれば接続および取り外し操作を簡単にし、変圧器および電気炉の利用率を高め、かつ油圧操作により接触圧力を必要に応じて高めることもできる。

(小 島)

