U.D.C. 539.319.08

グナート法による残留応力測定上の二,三の注意

Some Remarks for Measurement of Residual Stress by Gunnert Method

渡辺 寬*

内 容 梗 概

グナート法は1952年,国際熔接会議において熔接による残留応力の国際標準測定法として制定された 方法であり,発案者の Gunnert 氏より測定に際しての種々の注意事項が示されている。しかしなお適 用上若干の注意を要する事項が含まれているのではないかと懸念し検討した。その二,三の事項をあげ ると次のごとくである。

歪計支持上注意を要する点を指摘し、若干の対策のもとに測定歪の信頼限界を二、三の傾斜面に対して求めた。現在の対策では水平面下向き測定を行なえぬ場合は幾分精度がおち、歪計の構造に対する再検討が望まれる。

薄板測定の場合トレパンによる溝切削の深さは指定の 6~8 mm とすることには問題があり、でき うれば完全に切りはなすことが望ましい。

測定孔を作製することの測定値におよぼす影響を求め,一部定量的に,一部定性的にその対策をあきらかにした。

〔I〕緒 言

残留応力の測定法として従来種々の方式が提案,実施 されているが⁽¹⁾,各方式ともそれぞれに多くの問題点を 包蔵しており,残留応力に関する研究成果の比較検討に かなり不便をきたしている現状である。国際熔接会議 (I. I. W.) 10/11 委員会は,これを国際的に統一した国



際標準残留応力測定法を制定するため,種々の測定法を 検討したが,1952年スウェーデン代表のGunnert氏に よつて提案された測定法を本目的に適切であると認め, 今後各国における残留応力の測定はすべてこの方式で行 ない,比較検討しうるようにすべきであるという勧告を 行なつた⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。

本法はトレパンを用いて応力弛緩を行ない,弛緩にと もなう歪をグナート歪計を使用して測定する方法であ り,発案者の Gunnert 氏は測定に際して細心の注意を もつて行なうよう種々の注意事項を示している^{(5)~(8)}。 しかしそのうち,あるいはそのほかに若干注意を要する 事項を含んでいるのではないかと懸念されたので,測定 精度に影響を与えると思われる種々の要因の影響につい て検討した。本報では主要な二,三の問題点について述 べる。

〔II〕 グナート法の概要

グナート法は被測定面に第1図のごとく8個の円錐状 の測定孔を設け、その周囲を第2図10のトレパンで切削 して応力弛緩を行ない、対向している測定孔間の距離の 切削による変化をグナート歪計で測定し、残留応力の 大いさ、方向を求めるものである。歪計はリボン(青 銅製)の回転により微小変位を拡大するミクロカトー

* 日立製作所笠戸工場



第1図 測定面および歪計ボール Fig. 1. Measured Surface and Tensometer Balls in the Gage Holes



----- 49 ------

1504 昭和 31 年 12 月

日 立

評 論

第 38 卷 第 12 号



第3図 グ ナ ー ト 歪 計 の 構 造 Fig. 3. Schema of Gunnert's Tensometer





第5図 ボールにかゝる偏り荷重の影響 Fig. 5. Variation of Measured Strain Due to the Unbalance of Pressure on Each Ball



力

押付力(自重を含む)(kg)

第4図 歪 計 押 付 力 の 影 響 Fig. 4. Variation of Measured Strain Due to the Pressure on Balls of Tensometer

ル⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾を主体としたもので, 第2図1,および第3図に その外観,構造を, 第1図に測定孔に歪計を挿入した状 況を示した。測定は歪計を手で支持して行ない,比較片 (第2図N)の孔間の距離との差を求めて行なうものであ る。

〔III〕 歪計の支持について

測定が手持ちで行なわれる以上,測定条件の変動はま ぬがれない。変動としては歪計の押付力,ボールにかか る偏り荷重,歪計のかたむき,手により歪計に与えられ る回転力などが考えられるが,これらについて次のごと 重錘あるいはバネにより押付力を変化させ,下向きで 行なつた結果を第4図に示している。この際2箇のボー ルにかかる力はできるだけ一様になるようにした。押付 力約 1 kg 以上ではばらつきが小さくなり,かつ自重附 近を中心として測定値自体の変化の少い範囲があるよう であるが,またさらに大きな押付力では変化が大きくな つている。以上の原因は測定孔とボールの接触状況の変 化,測定脚支点ピボットの当りの変化,それに起因する 調整ネジ端面とピンの当りの変化などが関係すると考え られ,かかる構造であるかぎり上述の傾向は避けえない ものと考えられる。

一方種々のかたむきの面に対して測定時の押付力を調べたが,若干の試行後には押付力を± 0.1~0.2 kg 程度におさめうることを認め,自重程度の押付力で行なえばその影響を小さくしうると考えられる。

(2) ボールにかかる偏り荷重

測定面を第5図上図のようにわずかに傾斜してボール にかかる力に差を与えて検討した。同図にその結果を示 したが幾分影響を受けている。この原因は(1)と同様 に考えられるが,対策として水平面下向きで測定可能な 場合は(実際かかる場合がかなり多い。)歪計上面に小 さい水準器をとりつけ,測定孔とボールとの接触面の水 平度を保つよう測定面の傾を調整することが一策であ る。そのほかの場合では適当な機構を用いないかぎり,

---- 50 -----

グ ナ ー ト 法 に よ る 残 留 応 力 測 定 上 の 二,三 の 注 意



傾斜角(°)

第6図 歪計 のかたむきの影響 Fig. 6. Variation of Measured Strain Due to Keeping Tensometer out of Perpendicular to Measured Surface



第1表測定 歪の信頼 限界 Table 1. Confidence Limits of Measured Strain

| 測 定 | 条件 | 母標準偏差 | 平均値の95% 信頼限界(6回測定) |
|--------|---------|-----------|-----------------------|
| 水平面下向き | | 0.47×10-4 | 0.38×10-4 |
| 垂直面横向き | 垂直方向 | 1.07 | 0.86 |
| | 水平方向* | 1.16 | 0.93 |
| | 45° 斜方向 | 0.96 | 0.77 |
| 水平面上向き | * | 1.33 | 1.06 |

器を使用することは有効である。

(4) 回 転 力

これは手により歪計に与えられる回転力の問題である が,かなり大きいことが認められた。この対策としてと りあえず簡単にベアリング 6013X を歪計の外周にはめ こみ,それを介して支持することによりかなりこの影響 を小さくできた。

(5) 測定歪の信頼限界

上述の諸注意を払つて種々のかたむきを有する測定面 に対する測定値の信頼限界を求めた。第7図は平板の長 手水平方向に一様な引張を与え,引張方向に2個の測定 孔を設けて測定し計算値ならびに抵抗線歪計による測定 値と比較した結果を示している。グナート歪計の値(6

- Gunnert's Tensometer With Electric Resistance Strain Gage
 - ε : Measured Strain
 - ε_0 : Calculated Strain

いわゆる手加減にたよるほかはない。

(3) 歪計の被測定面に対する鉛直度

第6図に同図上のごとく測定面を傾斜して求めた結果 を示した。影響をうける原因は上述のほかにボールの真 球度も関係するが,一般に垂直度の判別能力はかなり良 好で,実際上大きな影響を与えないように考えられる。 勿論水平面下向きの場合,測定面を水平に保つよう水準 回測定の平均値として求めた)は抵抗線歪計の値とかな りよく一致しており偏りは見られない。100 個の測定値 の平均値のまわりの測定値の分布は正規分布と推定され たので,測定値の母標準偏差,および一例として6回測 定における測定値の平均値の信頼限界(95%)を推定する と第1表のごとくなる。水平面下向きの場合(被測定面 のかたむきを調整できる場合)は上述の影響をほとんど 無視できるのでほかの方向の測定の場合に比しかなり良 好な値を示している。表中*印の測定は歪計の読取が困 難なため目盛横上面に反射鏡を取付たので幾分悪い値を 示しているが,水平面下向き以外のものとの有意差は認 められない。また Gunnert 氏の指示する,3回程度の 測定ではかなり信頼度悪く,6~10回程度の測定が望ま しいと考えられる。

以上は歪計の特殊性,および個人差等の含まれた結果 で,数値そのものに対する一般性に乏しいが,傾向は認 められると考えられ,(1)~(4)の注意は必要であり, かかる見地より歪計の構造にも再検討を加えることが望 まれる。

〔IV〕 トレパンによる切削溝の深さ

Gunnert 氏は本法は 6 mm 程度の深さに切削溝を設 ければ完全に応力が弛緩されるといつている。この根拠 はさらに深く切削しても,また全部切りだし,かつさら

---- 51 -----

1506

昭和31年12月

日 立 評

第

論

第 38 巻 第 12 号





第9図 トレパン溝切削による歪の変化量(熔 接した板)

ɛ, z, t: 第8図参照

Fig. 9. Relaxed Strain by Trepanning (on

様引張)

- ε: 溝切削にともなう歪の変化量
- €0:真の歪
- z: トレパン溝深さ
- t:板 厚

Fig. 8. Relaxed Strain by Trepanning (Plate under Uniform Tension)

- ε : Relaxed Strain by Trepanning
- ϵ_0 : Real Strain z: Depth of Trepanned Groove, t: Thickness of Plate

に薄く切つてみても測定値が変化しなかつたという実験 結果に基いている。しかるに種々の板厚についていかに すべきかは指示しておらず,かつこの指示にも若干問題 点があるのではないかと考えられた。

(1) 実験方法

応力焼鈍を行なった 80×450mm(板厚 17.5 mm 以下) SS 41 軟鋼板に一方向の測定孔を設け,油圧により長手 方向水平に一様な引張を与え,抵抗線歪計により真歪既 知のものを順次トレパンにより切削し,その測定孔間隔 の変化を調べた。この際板に曲げがかからぬよう,油圧 シリンダの着力点を調整した。

なお,500×250mmの同一材の長手方向中心部に,両 面よりユニオンメルトのビードを置くか,ガス焔によつ て加熱してえた,かなり一様な残留応力を有する箇所の ある試験片についても同様のことを行なつた。

(2) 実験結果

第8図は前者の実験結果である。溝切削にともない生

the Welded Plate) ε, z, t: Refer to Fig. 8



第10図 トレパン溝切削による歪の変化状況の 説明図

Fig. 10. Schema Showing Balance of Forces

じた歪 ε は収縮したものを正とした。板厚が薄くなるに つれ Gunnert 氏の示したような z = 6 mm 程度で曲線 が平坦になる現象が認められず,ある溝深さで極大とな る点があり,真値に対してかなり大きな値を示してい

---- 52 -----

る。また全切削を行なうとほぼ真値に近い値を示してい るが,応力が降伏点に近い場合幾分弛緩され過ぎている 傾向を示している。

第9図は後者,すなわち熔接によつて残留応力を与え た試験片についての例であるが,前者とまつたく同様な 結果を示している。

(3) 結果の検討

トレパンにより円柱部を切削することを,第10図の ごとく単位厚さの矩形板に溝を設けるものと考える。こ れは(b)図のように矩形板の周辺に外力を受けたとき の問題となるが⁽¹¹⁾,簡単に次のように考える。

すなわち図のごとく *z*, (t-z)の部分にわけ, (c)図 のようにその境界部で切断してみる。この際 (t-z)の 部分の変形量などより類推してかかる状態の平均歪 ε_0 は z=t となる直前まで常に一定と考えると, (t-z)部 は *z* 部に対し最初の応力に相当する長さ $d\varepsilon_0$ の差を有 することになる。この2 個の矩形板をその境界部にずれ の起らぬよう *P*₁, *P*₂, *M*₁, *M*₂ なる力,およびモーメ ントを加え, (d)図の形状にしたときの表面の歪の変化 量 ε を考える。ここで

*I*₁, *I*₂; *z*, (*t*-*z*) に相当する部分の断面二次モーメント *r*: 曲率半径 による確認が必要と思われる。しかし薄板の場合に、 Gunnert氏の示すような現象がなく、真値よりも絶対値 の大きい極大値があり、z = 6 mm 附近というように板 厚に関せず深さを決めて切削を止めることには問題があ り、完全に切りだして測定を行なうことが望ましいと考 えられる。

応力値が降伏点にちかい場合全切削の値が真値になら ないのは,切りだされる部分の底面が切削にともない塑 性変形を受けて,全切削の場合曲げが残つているためと 考えられるが,円柱の中央附近より底面を切り離して, 表面の歪を測定することは一策であろう。

以上は断面内で一様に応力が働く場合であるが、応力 分布が断面内で異なる場合はたとえば Rosenthal 氏の 行なつたごとき方法⁽¹³⁾を用うべきであろう。

[V] 測定孔作製の影響

4方向の歪を測定するため測定孔は8個を要し、かつ 孔を円錐形状にする関係上約2~3mm程度の深さを必



とすると

| $P_1 = P$ | $P_2 = P$ | , | $\frac{Pt}{2}$ | $=M_1+M_2$ |
|----------------------------|-----------|-------------------|----------------|------------|
| $M_1 \rightleftharpoons I$ | EI_1/r | , | M_2 ė. | $= EI_2/r$ |
| P_1 | z | | P_2 | t-z |
| Ez | 2r | $=\varepsilon_0-$ | E(t-z) | 2r |
| | | | | |

なる関係があり

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{0}} = 1 - \left\{ \frac{2 (I_{1} + I_{2})}{t z} - \frac{z}{2} \right\} / \left\{ \frac{2 (I_{1} + I_{2})}{z (t - z)} + \frac{t}{2} \right\}$$
.....(1)

となる。

この場合(t-z)の部分は,実際は周辺を固定された 円板となつており,曲げに対する剛性が大きい筈であ る。ゆえにそれに相当した概略の断面二次モーメント を,長さdの支持梁に等分布荷重を受けたときの中央の 曲率と,板厚の同一な径dの円板に同一密度の等分布荷 重を受けたときの中央の曲率の比が,断面二次モーメン トの逆比を表わすものと考えて⁽¹²⁾補正することにす る。

以上の計算結果を第8図に鎖線で示したが,実験結果 とほぼ同様な傾向を示している。板厚が厚くなると実測 値の極大値が小さくなつて計算値とのはずれを増す。こ れは削りだされる円筒の径が同一であるのに対して板厚 のみが変化し,上のごとき簡単な考え方では相当無理が あるためと考えられ,詳細な応力計算,光弾性実験など



----- 53 ------

1508 昭和31年12月 V. 論 H 評 第 38 巻 第 12 号



測定孔作製にともなう応力集中が歪にお 第12 図 よぼす影響

ε, $ε_0$, h: 第11 図参照, η: 第14 図参照

- Fig. 12. Influence of Stress Concentration Caused by the Presence of Gage Holes on Measured Strain
 - ε , ε_0 , h: Refer to Fig. 11

 η : Refer to Fig. 14

要とする。したがつて測定孔周辺の応力集中、および円 錐孔作製過程中の塑性加工などの影響を受けて, (こと に薄板の場合影響が大きいと考えられる)測定値が真の 値と異なつてくるのではないかという懸念がある。



第13図 測定孔作製にともなう応力集中の説 明記号



るが,測定値はいずれもこの線より大きな絶対値を示し, h/t が大なるほどはずれが大きい。

(3) 結果の検討

(1) 実験方法

[N]と同様な残留応力を有する板を種々の温度で応 力焼鈍を行ない適当な残留応力とし(14),残留応力のほぼ 一様な箇所で測定孔を一方向のみに設けたもの(測定孔 作製の影響が小さいことが確認された。)と4方向設け たものとの同一方向の測定値の比較を行なつた。

上の実験より幾分影響のあることが認められたので, その原因の考察のため、とりあえず測定孔周辺の応力集 中の影響を検討した。すなわち平板に8個の測定孔を種 々の深さに作製して長手方向に一様に引張り,抵抗線歪 計の値と比較した。

(2) 実験結果

第11図は残留応力を有する試験片について、熔接線方 向の値を求めた例である。応力分布自体の一様性があま り良好でないものもあつて,かなりばらつきが大きいが, 絶対値の低い応力の場合は真値に対して絶対値の大きな 値を示し, 引張降伏点に近くなると逆に小さな値を示し ている。

第12図に一様な引張を与えた場合,応力方向とそれ に直角方向の歪を求めた結果を示している。図中実線は 与えた歪に対し孔の影響のない場合当然示すべき値であ

応力の低い場合真値に対して絶対値の大きな値を示し ているので, まず測定孔周辺に生ずる応力集中のための 歪を考えてみる。いま

測定孔は板厚全体に貫通された完全な円孔である。 孔明けによる変化はすべて弾性的である。 お互の孔同志の干渉がない。

応力は平板全域にわたつて一様に働く。

なる仮定をおくと,第13図において平板上の2点A, B (円 I, I' の中心点) を考えるに, 円 I の孔明けを行 なうと点BはAに対し変位を生ずる。同様に I' を明け るとAはBに対して変位し、孔明け前後においてAB間 の距離は変化する。同様なことが円 [],]]',]] [] " によつても起こり,結局ABの長さは孔明け後弾性的に 変位する。

σ₁, σ₂; 残留主応力

 $\Delta \varepsilon_1', \Delta \varepsilon_2';$ 孔明けによる主応力方向の変化歪

a; 円孔半径

 \mathbf{r} , θ ; 孔中心よりの距離, および σ_1 方向とのなす角 とすれば、 (\mathbf{r}, θ) における $\Delta \varepsilon_1'$, $\Delta \varepsilon_2'$ は次式のごとく 表わしうる(15)(16)。

$$\begin{split} \mathcal{\Delta}\varepsilon_{1}' &= \frac{\sigma_{1} + \sigma_{2}}{2 E} \Big\{ -(1+\nu) \frac{\mathbf{a}^{2}}{\mathbf{r}^{2}} \cos 2\theta \Big\} \\ &+ \frac{\sigma_{1} - \sigma_{2}}{2 E} \Big\{ -2 (1-\nu) \frac{\mathbf{a}^{2}}{\mathbf{r}^{2}} \cos 2\theta \\ &+ (1+\nu) (3 \frac{\mathbf{a}^{4}}{\mathbf{r}^{4}} - 2 \frac{\mathbf{a}^{2}}{\mathbf{r}^{2}}) \cos 4\theta \Big\} \end{split}$$

---- 54 -----

グナート法による残留応力測定上の二,三の注意

$$\begin{split} \mathcal{\Delta}\varepsilon_{2}' &= \frac{\sigma_{1} + \sigma_{2}}{2 E} \left\{ \begin{array}{l} (1 + \nu) \frac{a^{2}}{\gamma^{2}} \cos 2 \theta \right\} \\ &- \frac{\sigma_{1} - \sigma_{2}}{2 E} \left\{ 2 (1 - \nu) \frac{a^{2}}{r^{2}} \cos 2 \theta \right. \\ &+ (1 + \nu) \left(3 \frac{a^{4}}{r^{4}} - 2 \frac{a^{2}}{r^{2}} \right) \cos 4 \theta \end{split}$$

ABが σ1 方向に一致すると考え

l: AB間の距離

Δε₁₁, Δε₁₁, Δε₁₁; 円 I, I', ..., I... II''' の孔明け
 により変化したAB間の平均歪
 Δε₁, Δε₂; 孔明けにともなう σ₁, σ₂ 方向の測定孔間
 の平均歪の変化

とすれば

$$\begin{split} & \varDelta \varepsilon_{11} = -\frac{2}{l} \int_{l}^{\infty} \varDelta \varepsilon_{1}' dr \\ & \varDelta \varepsilon_{11} = -\frac{4}{l} \int_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{2}} \varDelta \varepsilon_{1}' \frac{l}{2 \sin^{2} \theta} d\theta \end{split}$$

$$\varDelta \varepsilon_1 = \varDelta \varepsilon_{||1} + \varDelta \varepsilon_{||1} + \varDelta \varepsilon_{||1}$$

となる。

実際には測定孔の深さは2~3mm 程度で,一般に板

 $\varDelta \varepsilon_2 = \eta \left(0.291 \ \sigma_2 - 0.034 \ \sigma_1 \right) / E$

となる。これを測定された主歪 €1, €2(弛緩にともない 収縮するものを正)で表わすと

$$\begin{split} \mathcal{A}\varepsilon_{1} &= \{ (A+1) (A\varepsilon_{1}+B\varepsilon_{2}) - (B-\nu) (A\varepsilon_{2} \\ &+ B\varepsilon_{1} \} / \{ (A+1)^{2} - (B-\nu)^{2} \} \\ \mathcal{A}\varepsilon_{2} &= \{ (A+1) (A\varepsilon_{2}+B\varepsilon_{1}) - (B-\nu) (A\varepsilon_{1} \\ &+ B\varepsilon_{2} \} / \{ (A+1)^{2} - (B-\nu)^{2} \} \\ \mathcal{R} \ @ 忘 \ D \& \& \\ \sigma_{1} &= E \{ (A+1)\varepsilon_{1} - (B-\nu)\varepsilon_{2} \} / \{ (A+1)^{2} \\ &- (B-\nu)^{2} \} \\ \sigma_{2} &= E \{ (A+1)\varepsilon_{2} - (B-\nu)\varepsilon_{1} \} / \{ (A+1)^{2} \\ &- (B-\nu)^{2} \} \end{split}$$
 (3)

 $A = 0.291 \eta$ $B = -0.034 \eta$

となる。

ηを求めた結果の例を第14図に示している。参考の ため文献⁽¹⁷⁾の値の平均値を実線で示したが概略はあつ ているので、これを使用することにする。(2)式に実

を貫通することがない。いま貫通した場合とある深さま で孔を明けた場合の歪の変化量の比を η として,上式の 右辺に乗じておけば,一般の場合を表わすものと考えら れる。

 $\nu = 0.3, a = 1 \text{ mm}, l = 9 \text{ mm}$ を代入して数値計算を 行なうと



 η : $\epsilon h | \epsilon h'$

εh: 深さhの孔を作製したことによる周辺の歪の変化量
εh': 深さtの孔を作製したことによる周辺の歪の変化量
Fig. 14. Relation Between η and Depth of
a Hole, η: εh/εh'
εh: Strain Varied with Making a Hole in Depth

 $h, \epsilon h'$: Strain Varied with Making a Hole in Depth Depth t 験条件に対する η を入れて補正線を 画けば 第12 図点線 のごとくなり、実験結果にかなりよく一致している。

実際の残留応力の場合,第11図を見るに上述の理由 でばらつきは大きいが,歪の絶対値が小さい場合は,(材 料の降伏点のほぼ¹/3程度以下)(2)(3)式を用いて補 正を行なえば,すなわち応力集中のみの補正で概略真値 に近くなるようである。

₅₀が降伏点に近くなると逆に小さな値を示していることに対しては測定孔を塑性加工により作製したために生ずる圧縮残留応力の重畳,および測定孔周辺の降伏の影響が考えられ検討中であるが、少くとも測定値が真値に対しいかなる傾向を有しているかを第11図より定性的にでも把握しておくことが必要であろう。

〔VI〕 結 言

グナート法を用いて残留応力の測定を行なう場合,問題となる点を検討したが,本報ではそのうち二,三の点に言及した。すなわち

(1) 歪計の支持条件の変動が測定精度におよぼす影響を検討し,水平面下向き測定で被測定面のかたむきを 変化しうる場合にはその影響をほとんど無視しうるよう 対策を講じうるが,そのほかのかたむきの面に対する対 策はいまだ完全とはいいがたく,歪計の構造に対する再 検討が望まれる。

--- 55 -----

係

| 1510 | 昭和31年12月 | 日 | $\overline{\underline{M}}$ | 評 | 論 | 第 38 巻 第 12 号 |
|------|----------|---|----------------------------|---|---|---------------|
| | | | | | | |

(2) トレパンによる切削溝の深さは Gunnert 氏の 指示する 6 mm 程度とすることには薄板測定の場合に は問題があり,できうれば切り放してしまうことが望ま しい。残留応力が降伏点に近い場合には,切りだされる 円柱部の底面が塑性変形を受け大きな絶対値の測定値を 与えがちなので,円柱部の底面を切断除去して測定する ことは一策である。

(3) 測定孔を作成することにより測定値は真の値よ りはずれるが,応力値の絶対値がその材料の降伏点に比 しある程度小さい場合は(3)式で補正できる。残留応 力が降伏点に近くなると応力集中の影響とはかえつて逆 の結果がでる。これは測定孔作製時の塑性加工による圧 縮残留応力の重畳と,測定孔周辺の降伏の原因などによ ると考えられる。

終りにのぞみ種々御教示頂いた九州大学 石橋教授, 日立製作所笠戸工場 鈴木音次郎氏,実験に御協力頂い た同社 蒲原秀明氏に深謝する次第である。

参考文献

- (1) たとえば American Society for Metals: Residual Stress Measurement (1952)
- (2) 楠田: 熔接資料 2, 3, 238 (昭29)

- (3) 木原, 增淵: 熔接学会誌 25, 2, 113 (昭31)
- (4) 木原, 增淵: 熔接資料 2, 6, 425 (昭29)
- (5) R. Gunnert: Residual Welding Stresses (I. I. W. Rep. 1955)
- (6) R. Gunnert: Directions for Application of Method of Measuring Residual Stresses (I.I. W. Rep. 1953)
- (7) R. Gunnert: Supplementary Directions for Application of a Method of Measuring Residual Stresses (I. I. W. Rep. 1953)
- (8) R. Gunnert: The Weleding Journal 32, 6, 292-s (1953)
- (9) M. Hetényi: Handbook of Experimental Stress Analysis 104 (1950)
- (10) 応力測定技術研究会: 応力測定法 104 (昭30)
- (11) 大久保: 日本機械学会論文集 7,28,23 (昭16)
- (12) R. J. Roark: Formulas for Stress and Strain 171 (1931)
- (13) D. Rosenthal, J. T. Norton: The Welding Journal 24, 5, 295-s (1945)
- (14) 石橋: 機械の研究 8, 6, 670 (昭31)
- (15) 小野鑑正: 材料力学 464 (昭13)
- (16) E.W. Riparbelli: The Welding Journal 30,
 2, 93-s (1951)
- W. Soete, R. Vancrombrugge: Residual Stresses in Metal and Metal Construction (Osgood 編) 331, (1954)

CARACK

許の紹介

MOCRE

特許第221000号

三 浦 倫 義

発電機を異常電圧より防護する方式

特

発電所においてはしばしば低圧同期化が行われるので あるが, このために 設置 される 発電機側回路(変圧器 T₁, T₂の低圧側)の遮断器 O₁ または O₁₁ が回路故障 で動作するとき, 特に発電機 G1, G11 が変圧器 T1, T2 に励磁電流を供給しているときに動作するときは、遮断 行程の途中において再点弧現象をおこし、これがために 異常電圧を発生する。この異常電圧は発電機の絶縁をお びやかすものであるから危険防止の見地から保護用キャ パシタを遮断器と変圧器との間に接続すること (図のB 発電所のごとく)が行われ,また遮断器と発電機との間 特に発電機にできるだけ接近して設けることも一広は考 えられた。ところが前者の対策では遮断器の再点弧に際 して保護キャパシタ側の遮断点の電圧は回路の固有振動 数で振動するのに対し, 遮断点の発電機側は商用周波数 であるから,その両遮断点が再点弧で弧絡すると保護用 キャパシタに充電された電荷が丁度インパルスゼネレー タを飛ばしたときと同じように発電機側を襲い、その急 峻な波頭は発電機 G11の入力端層間絶縁をおびやかすこ とになる。また後者の対策では遮断器再点弧のとき発電 機 G1に対しては截断波を生じ,変圧器 T1 の一次に対 してはインパルスが加わること前の場合と同様になる。 この発明は図のA発電所に示すように保護キャパシタC を C_1 と C_2 とにほぼ均等に二分して接続したことを 特徴とするものである。このようにすれば, いま C1 と



 C_2 とを相ひとしく分割した場合を考えると, 遮断器の 再点弧は C_1 と C_2 との電位の差によつて起り, その瞬 間に電荷は C_1 と C_2 に同電位に充電されるわけである から従来知られる対策に比して再点弧により発生する電 圧は半減することになる。 (宮崎)

---- 56 -----