

以上溶接橋に関する種々の data を示したが、両者の全製作費は次の如くなる。

コストの比較

	重量	単価	総金額
		\$	\$
鋸接橋	1,597,088 lbs	0.037\$	59,092.25
溶接橋	1,175,563	0.0408	48,004.00
	421,563		\$ 11,092.25

溶接橋は鋸接橋に比し 18.8% の節減が出来る

上記の比較で明らかな如く溶接橋は 1 ポンド当りの単価は鋸接橋より高いが、全体の総数から見ると \$11,000.00 の節減で、之は 18.8% に相当するものである。

此の著者は次の如き結論をなして居る。即ち、溶接橋と鋸接橋との比較を検討した結果、顯著に示された事が二つある。その一つは困難な技術的問題を解決するには再設計を行つて検討することが必要である。構造物を造る場合には、その前に十分な研究を行い、且つ正確な分析を行うことである。第二の結論は Plate Girder bridge の製作には溶接が最も適當していると云うことである。

部材の配列、応力、設計方法等を出来る丈け同一にした、此の様な特殊な場合に於て溶接は如何なる利点があったか次に示してみよう。

1. 部材や結合の detail を簡単にすることが出来た。又部材の数が減少し、仕事の型が少くなつた。之は製図、製作、架設等全コストの減少に影響するものである。

2. 重量において 26.4% の減少が得られた。
3. 総原価に於て \$ 11,000.00 の減少が得られ、之は 18.8% の節減となる。
4. 現場架設は時間にして 28 $\frac{1}{2}$ % 早く出来る。
5. 故に同種構造の橋梁であれば溶接の方が経済的に製作し得るのである。

以上アメリカの文庫により溶接橋と鋸接橋との比較を記したが之をそのまま日本にあてはめることは出来ないと思う。製作機材が違い、人件費が違い、其他色々な条件が異なるので、日本では前記の data と相当異つたものが出て来るであろう。而し傾向としては大体同じであることは確実である。即ち鋸接橋も溶接橋も共にアメリカの現在の状態を基礎にして比較したものであるからである。かゝる見地より日本に於ても Plate Girder の製作は溶接の方が経済的であると云うことが出来る。

Plate Girder に対し溶接は経済的であり結合として良好であると云うことが分つたが他の型式の橋即ち truss や arch 等に於てはどうであろうか。勿論過去に於てこれ等の型式の橋が溶接で製作されているが、これ等が溶接に適した構造であると云うことは出来ない。そこには幾多の研究を要する問題が存在している。将来溶接に適した構造を研究して行かねばならぬと考へる。

一先ず Plate Girder の溶接構造に於ては技術的にも経済的にも何等支障なく鋸構造より有利であることを記してこの稿を終る。

(以上の data は Arc Welding in Design, Manufacture and Construction によるものである。)

溶 接 應 力 の 緩 和 法

大阪大学教授 渡 辺 正 紀

1. 緒 論

溶接構造物を建造するに当り、溶接後に発生すべき応力並に歪の問題は何時の場合でも問題となる。残留応力の影響に関しては従来から多数の研究がなされてはいるが未だ決定的な結論は得られるに到っていない。然し何れにしても残留応力がないのにとした事はない。現在残留応力の緩和法として実際に工業的に使用せられている

方法には次のような方法がある。

(1) Stress Relieving Heat Treatment—一般に応力焼鈍又は低温焼鈍といわれ、一般に最も信頼すべき方法とせられている。

(2) Low-Temperature Stress Relieving—この方法は Oxy-acetylene flames により溶接線の両側をある一定巾丈ほゞ 150°C ~ 200°C に加熱し次で水で冷却する方法である、この操作は未だ日本では余り実用にせられ

ていないが米國では一部熔接船の建造時やガスタンク等の製作時に使用せられている。

(3) Mechanical Stress Relieving—本法の狙いは荷重をかけておろすことにより熔接部の応力を再分布させるにある。この方法を実用することほごく稀な場合と考えられるが外力下における残留応力の分布を調べるのに便利である。

(4) Static Compression With Rollers—熔接線の所を移動ローラーでおしつけてゆく方法で、独逸で疲労強度をます為に使用せられたと報告せられている方法である。

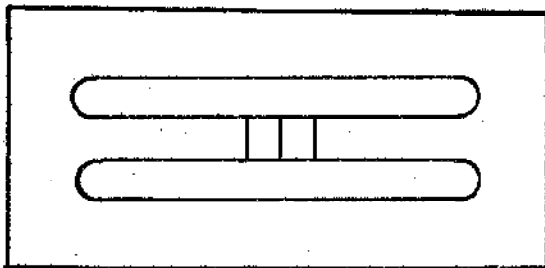
(5) Peening—本法はよく知られた方法であるが、操作後の機械的性質等に及すであろう信頼性の欠除の為に日本では余り実用に供されていない、然し外國ではこの操作の採用を奨めているものもある。

以上述べた如く応力緩和法としては種々の方法が考えられている訳であるが、かゝる操作の基本的機構については余り研究せられておらず、ただ実験的資料によつてにすぎないように思われる。

本稿はこれらの点について先ず理論的根拠を明にし、更に代表的な方法について著者の行つた実験的結果の一部を紹介することにする。

2. 試験体の採用

問題を簡単にする為に一方向にのみ応力が存在する場合を考える。今第1図の如き拘束試験体の中央部材の真



第 1 図
II 型 試 験 片

中を熔接すればこの部分は熔着部の冷却に伴いそれ自体が収縮せんとする傾向を有す。この歪を固有歪と名称する。然るに中央部材は両側材より拘束をうけている為を実際表に現れる歪(熔接前後の標点距離の変化)は固有歪とは異つてゐる。而してこの両者の差が残留応力による歪に相当している。この状態を式で表すと、

$$\text{(實際表に現れる歪)} = \text{(残留応力による歪)} + \text{(固有歪)} \quad (2.1)$$

となる。而して中央部材の残留応力は引張応力となる。これに対し両側部材は中央部材の縮みに伴い圧縮応力が

残留する。この部材には固有歪は存在しない故(2.1)の代りに

(實際表に現れる歪) = (残留応力による歪) (2.2) である。尚図に示す如く試験体の各部材の断面積を等しくしておく、両側部材の応力値は中央部材の値の1/2に相当する。(2.2)にみる如く両側部材の応力は別に切削法によらなくとも熔接前後の標点距離の変化を測定することにより求め得るので、上述の関係より中央部材の応力も切削法によらなくとも求めることが出来る訳である。因に中央部材の応力値を切削法により求めたものと上述の方法で求めたものに比較してみると実験誤差の範囲内において一致していることが知られた。

3. 応力焼鈍に関する実験並に考察

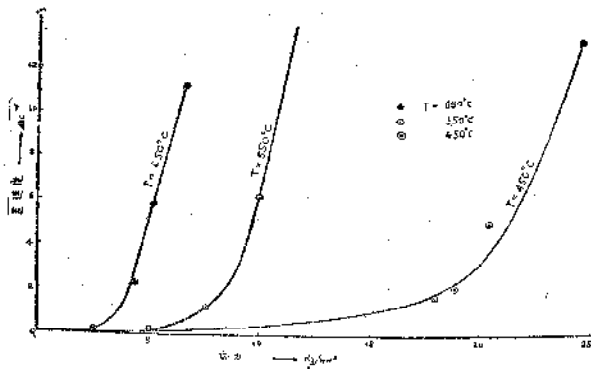
第1表は実験結果の一部で、中央部材の焼鈍前後における応力値を示す、応力焼鈍の過程を便利の為次の4段階に分けて考えてみる。(1) 焼鈍前の状態(熔接したまま)(2) 焼鈍温度迄加熱した状態、(3) 焼鈍中の状態、(4) 焼鈍後常温迄温度を低下させた状態、焼鈍過程において残留応力はクリープ並にリラクゼーションにより減少すると考えられるのであるが、便宜上第

第 1 表

焼鈍温度 °C	焼鈍時間 hr	熔接後の 応力 kg/mm ²	焼鈍後の 応力 kg/mm ²
550	0.5	28.4	8.68
	1.0	27.8	5.96
	1.5	27.34	4.70
	2.0	27.35	2.74
650	0.5	29.47	3.60
	1.0	30.03	4.29
	1.5	28.46	2.01
	2.0	28.68	1.58

2段階になる迄と第4段階におけるものはその程度が少いが故にこれを省略することにする。

第2段階において温度は各部均一に上昇せるものとすれば、温度上昇による拘束の状態は変化しないが故に、その時の応力状態は温度上昇によるヤング率の減少に影響されるのみである、第3段階においては、応力の大きさに伴うクリープが発生し、これに随伴して応力弛緩が発生することになる、これらの関係は時間に対して連続的に起るものであつて、応力の減少速度はクリープ速度とある一定の関係を有している、こゝでいうクリープ速度はクリープを開始し始める瞬間におけるクリープ速度に相当するもので、実験結果を応力の函数として図示すれば第2図の如くである。而して実験的にクリープ速度は



第 2 図

応力—歪速度曲線

応力の n 乗に比例する事が知られる。

$$\text{即ち (クリープ速度)} = (\text{常数}) \times (\text{応力})^n \quad (3.1)$$

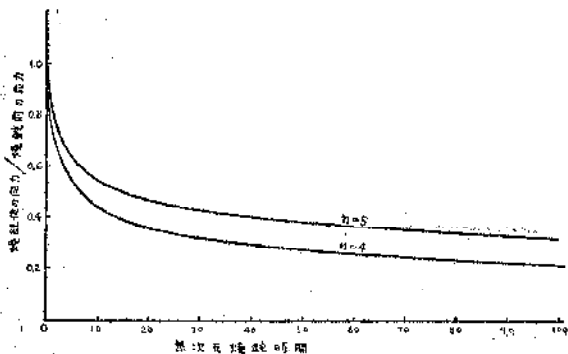
この関係を応力の減少速度とクリープ速度の関係式に入ると第 3 段階における応力に関する微分方程式が得られる。第 4 段階における応力値は第 3 段階の終了後における応力値に対しヤング率の温度による変化を考えれば直に求められる。

以上の如き理論計算を行うと、中央部材の焼鈍前後における応力値の間には次の関係式が導かれる。

$$\frac{\text{焼鈍後の応力}}{\text{焼鈍前の応力}} = (1 + U)^{-\frac{1}{n-1}} \quad (3.2)$$

$$U = \left\{ \begin{array}{l} \text{焼鈍温度、材料} \\ \text{試片の形状} \end{array} \right\} \text{により定まる常数} \\ \times (\text{焼鈍前の応力値})^{n-1} \times (\text{焼鈍時間})$$

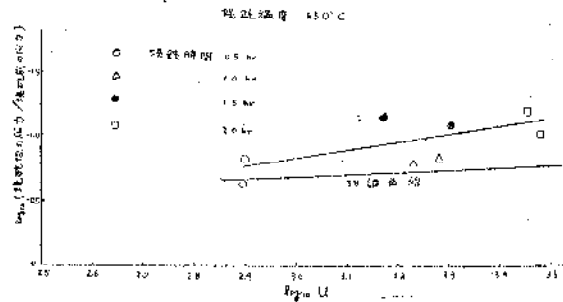
U の値は焼鈍時間に関係した無次元量である。(3.2) 式の大体の特性をみる為に $n=4$, $n=5$ とおいて図示す



第 3 図

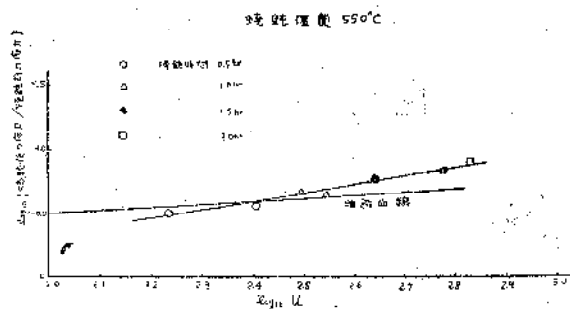
無次元焼鈍時間 U と応力軽減の割合

れば第 3 図の如くなり、焼鈍の初期において応力値は急激に減少することが知られる。普通行われている焼鈍時間に対して U の値は 1 に較べて遙に大きい、従つて近似的



第 4 図

(a) H 型試験片による焼鈍実験

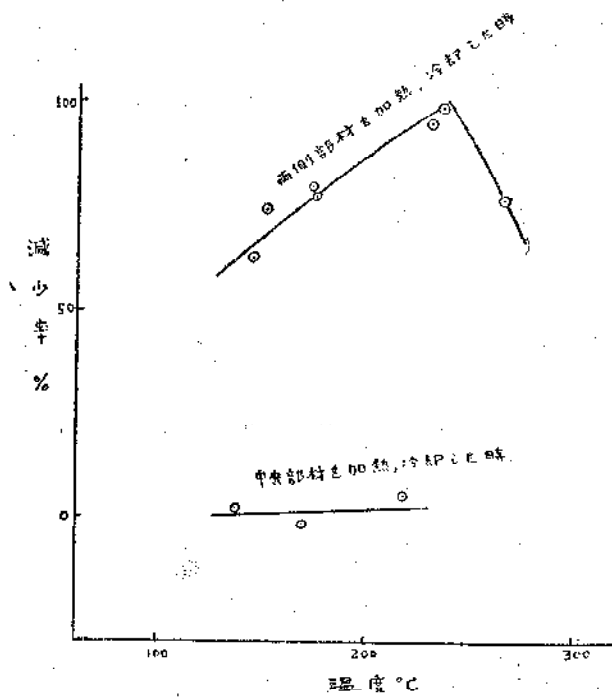


(b) H 型試験片による焼鈍実験

に (3.2) より $\log \left(\frac{\text{焼鈍後の応力}}{\text{焼鈍前の応力}} \right)$ と $\log U$ の間には直線関係がある、第 4 図は理論式と実験値との比較を示したものである。実験値の方もほぼ直線関係が成立しているが、実験値の方がクリープ試験より推定したものより応力減少の割合が大きくなっている。これは炉中冷却中の応力緩和を無視したこと、更に材料の再結晶により応力緩和が促進せられるであろうことを考慮外としたこと等に原因するものと思われる。

4. 低温応力緩和法に関する実験 並に考察

応力焼鈍の場合にはクリープによる歪により熔接による固有歪(収縮)を緩和させたのであるが、本法の場合には圧縮の残留応力の存在する部分を加熱し、引張の残留応力の存在する部分に引張塑性歪を與えることにより熔接による固有歪を緩和させることになる。このことは理論計算により証明することが出来るが、詳細はここでは触れないで、第 1 図の如き試験片について行つた実験結果を第 5 図に示しておく、図において減少率というのは応力緩和の処理前後における応力値の減少した値を処理前の応力値で除したものの百分率を表している。但しこの際応力値は引張、圧縮を問わずその絶対値をとつている。従つて加熱温度 240°C 附近で σ が出来ているのはそれ以上の温度に加熱すると、中央部材には逆に圧縮の残留応力が残るからである、尚同図中に中央部材の引張残

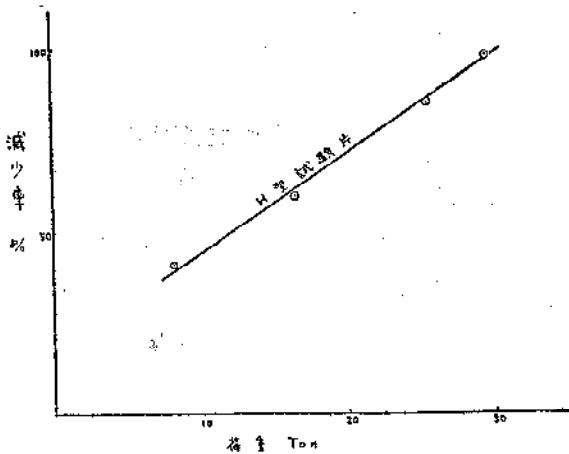


第 5 図
減少率—温度 図

留応力の残留している部分を加熱した時の結果をも示している、この場合には殆んど応力値は減少していない、このことから本応力緩和法は圧縮の残留応力の存在する部分に対して処理することが必要である。

5. 過 歪

第1図と同様の試験片に溶接をした後アムスラーの試験機にかけ引張を興え中央部材(引張残留応力あり)に引張塑性歪を興えたものである。第6図は引張荷重と応



第 6 図
減少率—荷重 図

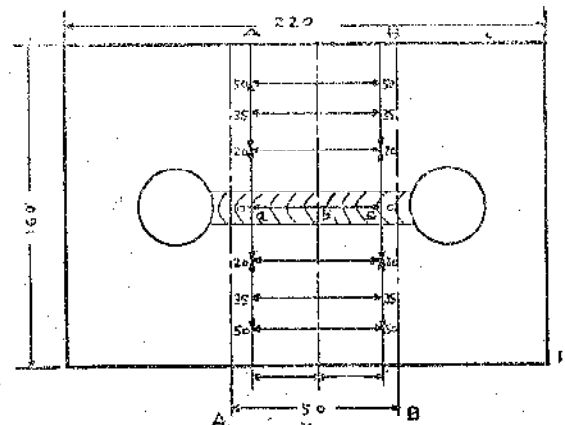
力減少率との関係を示す。

6. ピーニング法

ピーニング操作の目的は主としてピーニング方向に叩

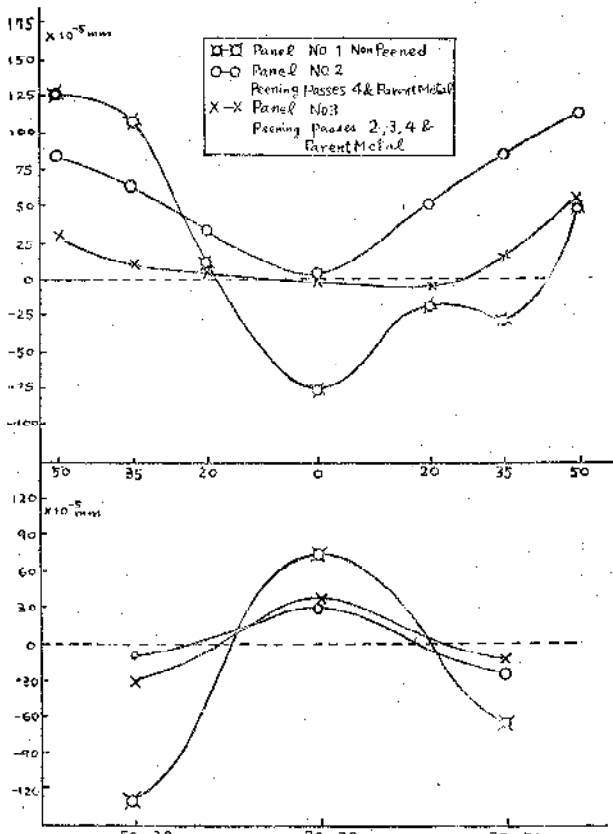
き伸して、伸びの塑性変形を興えることにより応力を緩和せんとするものである。この状態を実際に確かめてみる為に巾 12mm 長さ 150mm 厚さ 12, 15, 20mm の試験片に $\frac{1}{8} \times \frac{5}{16}$ チゼルで 80 mm の間をピーニングし標点距離 100 mm について長さの変化を測定してみた、その結果 (1) ピーニングにより材料は塑性変形を現しその程度はピーニング速度の遅い程大きく、(2) ピーニング方向の伸びは横方向の伸びより大きいこと、更に (3) ピーニング面の伸びは反対側のそれに比し大きい事を確めた、更に第1図の試験片について実験を行い引張残留応力の存在している中央部材をピーニングして伸びの塑性変形を興えることにより応力値を減少せしめ得ることを確めた。

元々ピーニングには三つの目的即ち溶接時における亀裂防止、残留応力並び歪の緩和が考えられる、亀裂防止に対しては収縮亀裂の入る以前に行う必要があり、時期的には所謂 Hot peening であるべきであるが、応力の緩和に対しては所謂 Coldpeening を行うべきである。而してピーニングの施行に当りては各層を行うべきか最



第 7 図
罫書線の位置

後の層のみをすればよいか等の問題がある。これらの点を確認る為に第7図の如きスリット試験片にピーニングをおき種々の条件の下に実験を行い溶接線方向の各位置(溶接線上の位置、20, 35, 50 mm の位置における変形状態並に溶接線の直角方向の 20 mm~20 mm 間、20 mm~50 mm 間の変形の状態を測定した、第8図はこれらの試験結果の一例である。これらの実験結果より次の結果が得られた。(1) ピーニングする時期は常温で行つたものが Hot peening に較べ応力軽減には一層有効である。(2) 各層ピーニングした方が最後の層のみ行つたものより幾分よい結果を示すが、その程度は僅であり実用的には最終層のみ行えばよい。(3) 溶接線に直角方



第 8 図

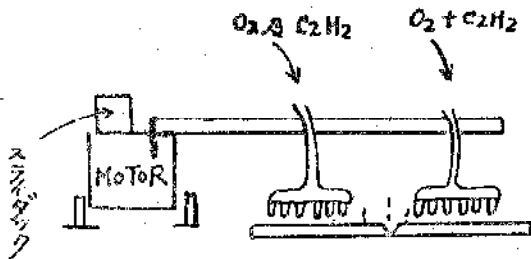
Effect of Peening Passes

Peening operation was done at room temperature

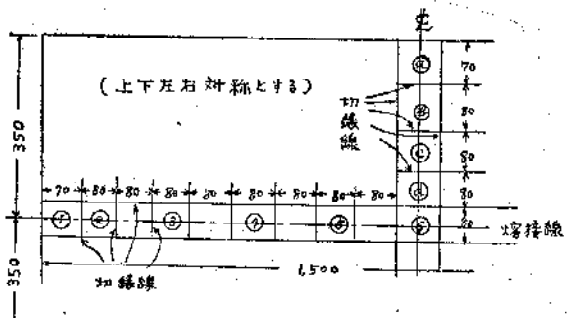
向の応力に対しては母材部もピーニングした方がよい結果を與える。(4)板厚の大なる程ピーニング効果は減少する傾向にある。

7. 大型試験片による実験結果

長さ 1500 mm、巾 350 mm、厚さ 70 mm の軟鋼板

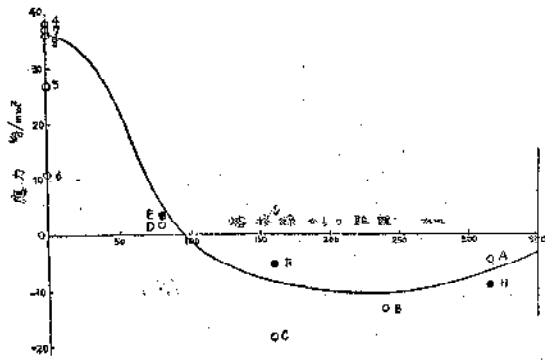


第 9 図



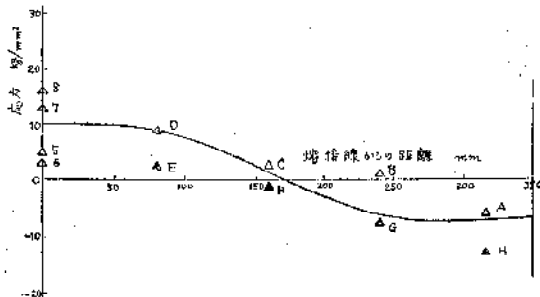
第 10 図

をV開先で衝合溶接した。溶接法はすべて対称法とし6層に仕上げた。これに対して Low temp. stress relieving 法第 9 図は装置の略図を示す並にピーニング操作(最終層のみ、並に母材の近傍部)を行い応力緩和の状況を調査した、応力値は第10図の如く切削し 60 mm の標点距離に対し溶接線方向並に直角方向の垂の変化を測定して求めた、第11図は溶接したままのもの、第12図並に第13図は夫々ピーニング、低温応力緩和法を行つた時の溶接線方向の応力分布の測定例を示している。これらの結果より特に溶接線近傍における応力のピークが相当程度緩和されていることが知られよう。



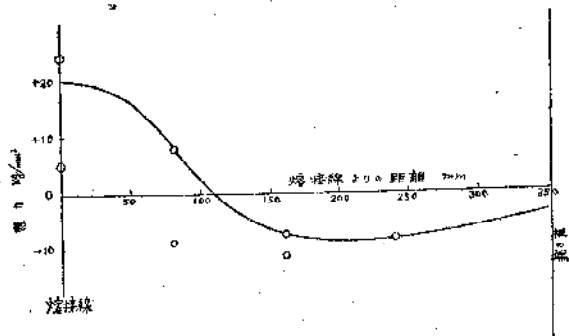
第 11 図

溶接したままの試験片の溶接線方向の応力分布



第 12 図

No 1 ピーニング用試験片の溶接線方向の応力分布



第 13 図

150°C 応力除去試験片溶接線方向応力

(以下55頁に続く)

- D. Seferieu: Les soudures. 5e partie p209~220
- The Oxyacetylene Handbook, The Linde Air Products Co, New-York, Welding Handbook. American Welding Society.
- プロパン瓦斯の利用関係
- 斎藤彝人: 工業用プロパンの熔断及加熱への利用について。熔接界IV-5 (May 1952)
- K. F. Mewes: Verwendung von Propane an Stelle von Acetylen zum Schneiden und Schweißen. Journ. de la Soudure XL-6 (June 1950) p 108.
- R. Vernier: L'utilisation des gaz de combustion riches. Metallurgie LXXXII-4, 5, 6 (Avril, Mai, Juin 1950) p277, 281, 389
- M. Beyst: Les gaz liquifiés butane et propane. Bull. Techn. I. G Liège 6 (1950) p29.
- P. Le Gonpils: Le propane dans l'industrie. Bull. d'Inform. Techn, publié par Lab. d'Et. et de Recher. Aéron., mars 1951. p8.
- 器具関係
- W. Bergerow & A. H. Yoch: New development in oxyacetylene cutting machines. Welding Journ. XXIX-5 (May 1950) p 382
- Oxygen Cutting machine for steel plates. Engineering 170 (Aug. 1950) p128.
- R. F. Helmkamp: Designing around a process. Welding Journ. XXIX-10 (Oct. 1950) p 887.
- Profile cutting machine, Welding XVIII-8 (Aug. 1950) p 366.
- Oxygen profiling and Cutting. Machinery Lloyd XXIII-3 (Fev 1951) p 74.
- Oxygen profiling and Cutting. Machinery Lloyd XXIII-6 (May 1951) p58.
- Tube Cutting machine and end beveller. Welding XIX-5 (June 1951) p 231.
- Les applications spéciales des machines d'oxyconpage. Pratiq. du Soudage IV-7 (Août/sept 1950) P 124.
- R. O. Fish: Tracing devices in Shape flame cutting Welding Journ. XXIX-12 (Dec 1950) p 1059.
- Jig for making the pipe joints, Welding XIX-7 (July 1951) p 272.
- H. G. Frommer.: Magnetic Tracing-a frame cutting production aid. Modern Modern Machine Shap. 23 (Dec 1950) p 90.
- 熔剂切断
- E. Spire: Le découpage des aciers inoxydables aux U. S. A. avec le chalumeaux à flux. Soudure et Techn. Connexes IV-3/4 (Mars/avril 1950) p 49
- Powder cutting of ferrous and non-ferrous Metals. Engineering 170 (July 1950) p 57.
- G. Ancion & T. Courard: Le procédé d'oxyconpage "Ginox" Journ. Soudure XXX-12 (Dec 1950) p 211
- R. E. Doré: Réview of powder cutting processes. Welding XIX-3, 6, 7, 8 (March, June, July, Aug. 1951) p91, p 217, p. 253, p 301.
- G. E. Bellew: New development in flame cutting stainless Steel, Welding Journ. XXX-3 (March 1951) p 265.

(86頁の続き)

8. 結 言

以上各種の応力緩和法について筆者の行つて来た実験結果の一部を紹介し、それぞれの場合ともその根本原理は同様であることを述べ同時にそれらの効果を実験例により示した、然しこれらの方法により応力緩和を行つたものがいかなる機械的性質を示すかということについては言及していない、これらについては目下実験を進めており、別の機会に譲ることとした。

今村学長渡歐さる

阪大学長、本協会顧問今村荒男氏は11月12日よりパリに開かれる第7回ユネスコ総会に国内委員の資格にて出席されることとなり、11月1日羽田発のS A S機にて出発された。

赤堀教授歸朝

理学部赤堀教授は7月渡欧以来欧米各地の化学界を視察、去る10月9日羽田着歸朝、12日帰阪された。