実 用 講 座

溶接部の残留応力はどのようにして生じるのか、
また、その制御法は？*Why Does Welding Residual Stress Occur,
and How Can it be Controlled ?*

神 近 亮 一**

by Ryoichi Kamichika**

キーワード：溶接継手、残留応力、固有応力、固有ひずみ、拘束度、
固有収縮、溶接入熱

1. は じ め に

残留応力が溶接継手性能にあまり影響を与えないにも拘わらず過大に心配することがある一方で、その影響が軽視される場合も見受けられる。残留応力の影響を知り、それを軽減する対策をとる場合に、その発生のおしきみを理解しておくことは有益である。また、残留応力の影響を単に定性的にではなく定量的に明らかにした上で、適切な軽減法を採用し、溶接構造物の品質保証を行うことは、今後ますます重要になってくると思われる¹⁻³⁾。

2. 残留応力の発生のおしきみ

2.1 残留応力についての基本的事項

金属材料は加熱により膨張・軟化し、冷却により収縮・硬化するという性質を持っている。図1に示す円板を例にとつて考えると、円板全体が均一に加熱されて再び冷却されるならば、一様に膨張・収縮を起すだけである。しかし、同図(c1)、(c2)に示すように、中心部だけがある限度を越えて局部的に加熱される場合には、その部分の膨張や収縮が周囲によって拘束され、これが残留応力や変形の原因となる。特に残留応力に着目すると、高温で軟化した中心部の外側への自由膨張がまわりから抑制されて圧縮側の塑性変形を生じ、この塑性変形を受けた部分

が冷却するにつれて収縮・硬化し、その際にやはり周囲から拘束される。これによって加熱部およびその近傍に主として引張方向の応力が残留する。これが残留応力の一つの例である。

実際の溶接継手における残留応力発生過程のコンピュータを用いた詳細な解析については、他の著書⁴⁾や論文⁵⁻⁹⁾を参照願うこととし、本稿においては簡単な突き合せ溶接をさらに単純化あるいは抽象化した形で説明を行う。これに先立って、残留応力や溶接変形への理解を深めるために、これらの分野でよく用いられる基本的な用語についての簡単な説明を行う。

i) 固有応力

図1(c1)、(c2)に示すように、円板の中心部のみを局部的に加熱すると冷却後に残留応力が生じる。こ

図1 局部加熱による残留応力発生の一例

*原稿受付 平成 年 月 日

**正 員 石川島播磨重工業(株) Member, Ishikawa-jima-harima Heavy Industries Co., Ltd.

図 2 固有ひずみの意味

のように機械的外力が働いていない状態で物体内に存在する応力を一般に固有応力と呼んでいる。また、固有応力とは、以下で述べる固有ひずみ、固有変形などによって生ずる応力であると考えてもよい。加熱時の熱応力も固有応力の一つであるが、ここでは溶接終了後の固有ひずみによる固有応力、すなわち残留応力について考える。ある領域内に任意の固有ひずみ、あるいは固有変形が与えられた時に、この領域内の固有応力と見かけの変形を求めることは弾性論における昔からの課題であったが、有限要素法などの最近の数値解析法の発達によって、近似解を比較的容易に得ることができるようになった。しかし、溶接にともなう局所的な温度変化による塑性ひずみの発生過程を逐次追跡し、最終的な固有ひずみを求めることは、依然として重要かつ難しい課題である。

ii) 固有ひずみ

塑性ひずみや熱膨張ひずみのように固有応力を発生させる原因となっているひずみを総称して固有ひずみと呼んでいる。図 2 に示すような外力が作用していない円板を考える。初期の基準状態においては、固有ひずみ、したがって固有応力は存在していないものとする。この状態において、同図(a)に示すように予め基準となる網目をひいておく。この円板を部分的に加熱するなどして、冷却後まで残留する固有ひずみを発生させる。この状態では同図(b)に示すように、内在する固有ひずみと固有応力による弾性ひずみによって網目がゆがんだ状態になる。しかる後に、円板を網目に沿って切断し、各部をばらばらにする。すると、ばらばらにされた各要素はどこからも力を受けない自由状態となり、それぞれの固有の寸法となる。網目を十分に細かくしていった場合の、初期状態から解放後への各要素の寸法や角度の変化量の、初期状態におけるそれらに対する割合を固有ひずみと呼んでいる。このように、固有ひずみは領域内のある広さにわたって連続的に分布しているの

図 3 固有変形の概念図⁹⁾

で、物体の各部を細かく切断することによってはじめて固有ひずみによる固有応力は解放される。

iii) 固有変形

今、図 3(a)⁹⁾に示すように平板上に長さ L のビード溶接をした場合を考え、溶接後に固有ひずみの存在する領域が、溶接前に長さ L 、幅 b 、高さ h であった直方体に含まれていると仮定する。この部分を板から切り出すと、溶接前の基準状態では直方体であったこの部分は同図(b), (c)に示すように溶接線方向およびこれと直角方向に全体として収縮すると同時にビード溶着側に凹に曲がる。一方、残りの部分は溶接前の状態に戻る。切り出された部分の収縮および角変形を溶接前の直方体の状態を基準として測り、これらをそれぞれ固有収縮、固有角変形と呼び、まとめて固有変形と呼ぶ。固有変形の概念¹⁰⁾を用いると、切り出された部分以外のすべての領域の応力、ひずみ、変形を、切り出された部分の内部での固有ひずみの細かな分布状態とは無関係に、固有変形量のみによってマクロ的に定めることができる。

iv) 拘束度と拘束係数

図4 組合せ材の拘束度

一般に溶接に際して外部からの拘束の度合いが大きいと高い残留応力を生じ、逆に拘束の度合いが小さいと残留応力は小さくなって、収縮変形が大きくなる。もっと細かく言うと、拘束の度合いが大きいと冷却後の固有ひずみ、固有変形（収縮）は小さくなるが、一定の大きさの固有ひずみまたは固有変形が存在する場合には、拘束の度合いが大きい程、固有応力すなわち残留応力は大きくなる。このような拘束の度合いを表わすのに、引張拘束度と曲げ拘束度の概念がよく用いられる。突き合せ継手の引張拘束度の定義は、「溶接継手の開先間隔を単位長さだけ弾性的に縮めるのに必要な単位溶接長当りの力の大きさ K_T (N/mm・mm)」である。一例として、図4のように上下を剛体で拘束した3本の柱を組合わせた構造物を考える^{4,11)}。まん中の部材の中央部を切断した突き合せ継手を想定する。この場合の引張拘束度 K_T は、

$$K_T = \frac{Eh}{B} \frac{A_R}{A + A_R} = \rho h \quad (1)$$

となる。拘束度を板厚で除したものを拘束係数と呼び、継手の開先間隔を単位長さ収縮させるのに要する単位溶接長当りの応力を表わす。実測データによれば、「鋼構造物の拘束係数は、200 MPa/mm 位が多く、高々400 MPa/mm 程度」である⁴⁾。溶接長が短い突き合せ継手においては、横収縮量 S_t は図5に示すように、(3)式によって拘束係数の関数として表わせることが実験的に確かめられている⁸⁾。

$$S_t/S_{tr} = \frac{1}{1 + 0.0118 \rho^{0.87}} \quad (2)$$

上式で S_{tr} は拘束を全く受けない時の自由収縮であり、拘束係数の単位は MPa/mm とする。一方、溶接長が長い場合や多層溶接に対しては、拘束度の定義が明確でなかったり、拘束度が収縮変形量とうまく関係づけられるとは考えにくい場合もある。これに対して、2次元状態における新しい力学的指標などが提案されている^{4,13,14)}。

図5 収縮変形に対する引張拘束の影響¹²⁾

2.2 残留応力の発生機構の簡易的考察

溶接の残留応力や変形を解析する問題は、非可逆過程の問題であり、時々刻々の温度変化や塑性ひずみを追跡することによって取扱わなければならない。この複雑な現象のコンピュータによるシミュレーション解析が近年多くなり^{15,16)}、そこで用いるべき材料特性データの採取が必要になりつつある。一方、材料のひずみ履歴や温度履歴を詳細には考慮しないで要所のみを押えた簡易的な解析も多く試みられている¹⁷⁻¹⁹⁾。あるいは、比較的単純な継手を対象として、多くの実験や解析の結果をふまえた上で、残留応力や変形の傾向や分布を近似的に推定する方法も提案されている¹⁹⁻²¹⁾。ここでは主として前者を参考にした上で、さらに簡略化した形で具体的な数値例を含めて定性的な説明を行う。簡略化のために、それらのモデル化には多くの仮定が含まれており、実際の現象とはやや異っていることをお断りしておきたい。

(1) 溶接線と直角方向の残留応力

図4で示した組合せ材の継手を再び考える。この場合の収縮は、一部は溶着金属の収縮に起因するが、残りの大部分は溶着金属凝固直前における母材熱膨張による開先間隔のせばまり δ_H によるものである。今、溶接による熱は両端の部材には伝わらないと考え、凝固直前までは、まん中の部材は図6に示すように両端を拘束された部材と同等である。この熱膨張によるせばまり δ_H は、溶着金属の温度が材料が強度を持ち始める力学的融融温度 T_M まで下降した時の母材部の温度分布から計算できるが、簡単のために溶着部分の温度上昇分を無視して、溶接入熱の全部が母材部の熱膨張に寄与すると考えると、

$$\sigma_H = \alpha Q / cph \quad (3)$$

図 6 溶接線と直角方向の残留応力の推定

となる。ここで、 α は線膨張係数、 Q は単位溶接長当りの溶接入熱、 c は比熱、 ρ は密度をそれぞれ表わしている。この σ_H を(2)式における自由収縮量 S_{tr} と考え、(1)式を用いることによって、図 4 の組合せ材に対する収縮量 S_t に対する式を導くと、(4)式となる。

$$S_t = \frac{\alpha Q}{c \rho h} \frac{1}{1 + 0.0118 [E A_R / \{B(A + A_R)\}]^{0.87}} \quad (4)$$

この S_t を固有収縮量の近似値と考えると、残留応力 σ_{TR} を求める式は(5)式で示される。

$$\sigma_{TR} = p S_t = \frac{\alpha Q}{c \rho h} \frac{E A_R}{B(A + A_R)} \frac{1}{1 + 0.0118 [E A_R / \{B(A + A_R)\}]^{0.87}} \quad (5)$$

今、一例として、組合せ材長 $B = 500$ mm、まん中の部材板厚 $h = 5$ mm とした時に、まん中の部材の中央部を、電流 $I = 200$ amp、電圧 $V = 25$ volt、速度 $v = 300$ mm/min で溶接する場合を考える。熱効率 $\eta = 0.7$ とすると、

$$Q = \eta IV / v = 700 \text{ J/mm}$$

$c \rho = 4 \times 10^{-3} \text{ J/}^\circ\text{C} \cdot \text{mm}^3$, $\alpha = 12 \times 10^{-6} (1/^\circ\text{C})$, $E = 21 \times 10^4 \text{ MPa}$ とし、 A と A_R は等しいとすると、(5)式から σ_{TR} が下のように求まる。

$$\sigma_{TR} = 39.4 \text{ MPa}$$

(2) 溶接線方向の残留応力

周辺自由で十分大きな板の突き合せ溶接を考える。その際、溶接速度が大きく、全溶接長にわたって同時に加熱されると考える。溶接熱による溶接線方向の膨張・収縮に注目し、その方向の応力・ひずみだけが生ずるものとする。この時の残留応力発生状況を再び図 4 で示した組合せ材で説明する。溶接線方向を組合せ材の長さ方向に対応させる。突き合わせ継手の溶接部を一樣加熱されたまん中の部材

で模擬し、溶接部の両側の加熱されない部分からの拘束を両端の部材で表わす。両端の拘束部材が十分に大きい ($A_R \gg A$) とすると、まん中の加熱部材は両端固定に近い挙動をする。室温から高温までまん中の部材を加熱し、再び室温まで冷却した時の熱応力ヒステリシスを図 7 に示す。まん中の部材を加熱すると膨張しようとするが、両端の部材がそれを抑制するため圧縮応力が発生する。この応力は温度差が大きくなるにつれて図 7 の AB の経路で増加する。そして応力がその温度での部材の降伏応力 $\sigma_y(T_B)$ に達すると圧縮塑性ひずみを生じはじめる。この限界温度 T_B は次式で求まる。

$$-\alpha T_B = -\sigma_y(T_B)/E \quad (6)$$

B 点に達した後、それ以上の温度になると、降伏応力が温度と共に低下するので、熱膨張が増加しても各温度の降伏条件を満足して圧縮側塑性ひずみを生じながら、圧縮応力は小さくなる。最高到達温度に依じて、C あるいは D 点まで達する。これらの温度から冷却すると、熱膨張の減少に伴って収縮するので応力は急激に減少し、やがて引張応力に転ずる。この時、D 点のように最高加熱温度が高い場合には、さらに引張側で再降伏し (D' 点)、再び塑性状態に入る。温度が段々下がるにつれて降伏応力が上昇するため引張応力は高くなり、常温まで冷却すると E 点に相当する高い引張応力が残留する。引張側で再降伏するか否かは、同図 CE の経路からわかるように、この時の最高加熱温度が次式で求められる限界温度 T_c を越えるか否かで決まる。

$$-\alpha T_c = -\sigma_y(T_c)/E - \sigma_{y0}/E \quad (7)$$

図 8 は実際の溶接部材を最高温度に依じて三つの領域に分け、残留する応力分布を示したものである。図 7 の E 点まで加熱された時にまん中の部材に冷却後残留する固有ひずみを ϵ_1 で表わすと、 ϵ_1 は圧縮側と引張側で生じた塑性ひずみの差引き量として与えられるが、それぞれの塑性ひずみの量に拘わらず、最高温度が T_0 より高ければ冷却後必ず F 点に達するので、見かけのひずみが常に零であることから次の(8)式で求められる。

$$0 = \epsilon_1 + \sigma_{y0}/E \quad (8)$$

見方を変えると、組合せ材において、 $A_R \gg A$ であれば、固有ひずみ ϵ_1 あるいは固有収縮 $\epsilon_1 L$ による固有応力は図 8 の右側に破線で示すように σ_{y0} になるが、 A_R がそれ程大きくない場合には、両端部材が反力により弾性的に変形する。このために図 8 に実線で示すように固有応力は減少する。また、固有ひず

図7 溶接時の温度～応力ヒステリシスの概念図

みあるいは固有変形そのものも拘束の程度によって影響されるが、ここでは省略する。高張力鋼の場合には、冷却中の変態ひずみによって図7のD'Fのような経路をたどり、残留応力は $0.7\sigma_{y0}$ 程度になることが知られている。最も簡単な例として、軟鋼を想定し、降伏応力が温度によらず一定と考えて、 $\alpha = 0.12 \times 10^{-4} (1/^{\circ}\text{C})$ 、 $\sigma_{y0} = 235 \text{ MPa}$ 、 $E = 2.1 \times 10^5 \text{ MPa}$ とすると、 $T_B = 93^{\circ}\text{C}$ 、 $T_C = 186^{\circ}\text{C}$ となる。すなわち、溶接の際 186°C 以上に加熱された部分には降伏応力程度の引張残留応力を生ずることになる。

3. 残留応力の低減法

3.1 予防的措置

(1) 溶接による投入総熱量の低減

残留応力の直接的原因である溶接熱を減らすためには溶着金属の量を減らすことが重要である。このためには、突き合せ溶接ではギャップや開先角度を、すみ肉溶接では脚長を最小限にとどめる。さらには、減らした溶着量を少ない熱量で達成するためには、比溶着熱の小さな溶接法を選択することが有効である。電子ビームやレーザー溶接などの高エネルギー密度溶接法を採用することも有効である。同じ開先または脚長で溶接するのに、大入熱でパス数を少なくする方がトータルの固有変形量は小さいことが知られている。しかしエレガス溶接のような大入熱1パス溶接では、溶接中の回転変形のために二次的な板

図8 溶接線方向残留応力の推定

図9 高周波加熱による残留応力分布の改善²⁵⁾

面内の残留応力を生ずる恐れがある。

(2) 拘束度の低減

外的拘束に起因する残留応力を減らすためには溶接時の拘束を小さくすることが有効である。しかし拘束を小さくすると溶接変形を生じる。残留応力が少なく、しかも正しい寸法の製品に仕上げるためには、小さい拘束状態での溶接変形の十分な予測を行い、それらを見込んだ逆歪や予歪をとった上で、ストロングバックなどで最低限の拘束を行って溶接を行うことが望ましい。

(3) 最適な溶接順序の採用

著しい拘束応力を発生させない溶接順序にすることが原則である。具体的には、①構造の中央部から自由端部に向って、②溶着量の多いものを先に溶接し、少いものを後で溶接する、などが重要である。

(4) 予後熱の採用

溶接の前後を通じて溶接部周辺を加熱して温度分布を均一化することは、図4や図7に示した組合せ材において両端の拘束部を加熱し膨張させることに対応し、残留応力の軽減法として期待できるが、定量的なデータは未だあまり見られない。

(5) ブロック法の採用

はめ込み溶接のように拘束が極めて大きい場合には、後退法や対称法などブロックに分けて溶接を行う方法が有効である²²⁾。

3.2 事後対策

(1) 応力除去焼鈍

残留応力を除去する方法として最も広く用いられ、かつ効果が確実な方法である。応力除去効果のメカニズムやシミュレーション、あるいは具体的実施方法については参考文献^{2,4)}を参照されたい。ここで注意すべき事は、異材継手や肉盛溶接部を焼鈍した場合に材質境界部にかえって高い応力を生じ、割れなどの欠陥の原因になることがあることである²³⁾。また、80 キロ高張力鋼や Cr-Mo-V 系低合金鋼を焼鈍すると、残留応力は低減するにも拘わらず、韌性低下や再熱割れ²⁴⁾が生じることがあるので、焼鈍に当っては十分な検討が必要である。

(2) 低温応力緩和法

溶接中心線から 50~200 mm の部分を溶接線に沿ってガス炎で 200°C 以下に加熱し、その後直ちに水冷することによって、前述の溶接線方向の降伏応力程度の高い残留応力を低減する方法である。単純な継手に対しては効果が認められている^{2,4)}。

(3) 機械的応力緩和法

溶接線方向に引張荷重を加えた後に除荷する方法であり、上記の低温応力緩和と同様の効果を狙った方法である^{2,4)}。

(4) ピーニング法

ピーニングハンマーという特殊なハンマーにより溶接部を直接打撃することによって溶着金属やその周辺部に板厚方向に圧縮塑性変形を生ぜしめ、それと直角方向に延ばすことによって引張りの残留応力を減らす方法である。その実施に当っては、その方法や悪影響の有無を十分調査することが望ましい^{2,4)}。

(5) 高周波加熱によるパイプ残留応力分布の制御^{25,26)}

パイプの周継手においては、通常の溶接線方向の残留応力の他に、ビードの円周方向の収縮による絞りのために溶接線と直角方向の曲げに起因する残留応力が生じる。この高周波加熱法は、パイプ外面に高周波誘導コイルを巻いて管外表面の温度を上げると同時に、管内面を水冷することによって、継手部の管内面引張残留応力を圧縮側に改善するものである。応力腐食割れの防止に効果があることから、一部ステンレス管の溶接部に適用されている。

4. お わ り に

溶接の残留応力による悪影響を除くためには設計の段階からの適切な配慮と検討が必要である。工作

の段階では、事後対策よりも効果的な予防対策を積極的に取入れることが望まれる。溶接残留応力の分野においては、古くから多くの実験、研究の成果が蓄積されてきている。本稿においては、その一部しか参照できなかったことをお許しいただきたい。

参 考 文 献

- 1) 佐藤邦彦, 向井喜彦, 豊田政男: 溶接工学, 理工学社 (1979)
- 2) K. Masubuchi: Analysis of Welded Structures, Pergamon Press (1980)
- 3) 佐藤邦彦編: 構造工学要覧, 黒木出版社 (1988)
- 4) 佐藤邦彦, 上田幸雄, 藤本二男: 溶接変形・残留応力, 溶接全書 3, 産報出版 (1979)
- 5) 辻勇: 一次元的温度分布を有する矩形板の熱弾塑性応力問題に関する研究, 造船協会論文集 115 号 (1965)
- 6) 藤田譲, 野本敏治: 熱弾塑性問題に関する研究(その 1), 造船学会論文集, 第 130 号 (1971)
- 7) 上田幸雄, 山川武人: 有限要素法による熱弾塑性挙動の解析, 溶接学会誌, 42, 6 号 (1973)
- 8) R. Kamichika, T. Yada: Un-Stationary Thermoelastic Plastic Analysis by Finite Element Method and its Application to Welding, IHI Engineering Review, vol. 8, No. 1 (1975)
- 9) 渡辺正紀, 佐藤邦彦: 溶接力学とその応用, 朝倉書店 (1965)
- 10) 佐藤邦彦: 溶接継手ならびに構造物の収縮変形に関する研究, 大阪大学提出学位論文 (1959)
- 11) 木原博, 増淵興一: 溶接変形と残留応力, 溶接叢書第 2 巻, 産報 (1955)
- 12) 渡辺正紀, 佐藤邦彦, 高木乙磨, 麻生文太郎: 船体ブロック継手の拘束度ならびに収縮, 造船協会論文集, 104 号 (1959)
- 13) 上田幸雄, 福田敬二, 金裕哲, 古木良一: スリット溶接継手に生じる拘束応力・拘束ひずみの一般的特性及び拘束度の力学的指標としての意義, 溶接学会誌, 51, 8 号 (1982)
- 14) 金裕哲, 柄谷和輝: 円板はめ込み溶接の拘束応力・ひずみの解析的計算法と拘束度の力学的指標としての実用性, 溶接学会論文集, 7, 3 号 (1989)
- 15) E. F. Rybicki, R. B. Stonesifer: Computation of Residual Stresses due to Multipass Welds in Piping Systems, J. of Pressure Vessel Technology, vol. 101, May (1979)
- 16) Y. Ueda, K. Iida, M. Saito, A. Okamoto: Finite Element Modeling and Residual Stress Calculation for Multi-pass Single Welded Joint between a Plate and the Penetrating Pipe. Modeling of Casting, Welding and Advanced Solidification Processes, Engineering Foundation Conference (1990)
- 17) 中根金作: 薄い軟鋼円板の中心を溶接した場合の熱応力 (第 2 報), 溶接学会誌, 17, 2 号 (1948)
- 18) 佐藤邦彦, 松井繁朋: 溶接継手の拘束応力とこれにともなう溶接割れの研究, 溶接学会誌, 36, 10 号 (1967)

- 19) 前田豊生：溶接構造物の変形とその防止，機械の研究，25 巻，12 号（1973）
- 20) 佐藤邦彦，寺崎俊夫：構造用材料の溶接残留応力分布におよぼす溶接諸条件の影響，溶接学会誌，45，2 号（1976）
- 21) 佐藤邦彦，豊田政男，吹田義一，田中正文，平野俊雄：薄肉円筒殻の溶接残留応力・たわみ変形の支配パラメータとその応用，溶接学会論文集，2，3 号（1984）
- 22) 吉田兎四郎，阿部武，尾上久浩：円板はめ込み溶接の残留応力について，造船協会論文集，105 号（1959）
- 23) R. Kamichika, T. Yada, A. Okamoto: Internal Stresses in Thick Plates Weld-overlaid with Austenitic Stainless Steel (Report 2), Trans. JWS, 5, No. 1 (1974)
- 24) 内木虎蔵，岡林久喜，桑 亮一他：応力除去焼鈍割れに関する研究，溶接学会誌，33，9 号（1964），39，10 号（1970）
- 25) 梅本忠宏，田中伸治：高周波加熱法を利用した残留応力の改善，石川島播磨技報，18，No. 1（1978）
- 26) E. F. Rybicki, P. A. McGuire: The Effect of Induction Heating Conditions on Controlling Residual Stresses in Welded Pipes, J. of Engineering material and Technology, vol. 104 (1982)

溶接に関する国際行事の御案内（1991）

当案内他の掲載頁（39 頁）

No.	会 議 名	日 時	開 催 地	会議用語	主 催（連 絡 先）
37	Annual Meeting on "Metallurgy" and Expo	FEBRUARY	New Orleans USA	English	The Metallurgical Society, 420 Commonwealth Dr, Warrendale, PA 150 86-USA
38	Seminar in Microjoining	MARCH	? UK	English	The Welding Institute Abington Hall, Abington Cambridge, CBI 6AL-UK
39	Conference on "Thermal-spraying in Repair and Corrosion Protection"	MARCH	Belgradc YUGOSLAVIA	English/Serbo-Croatian	Serbian Society for Anvancement of Welding (DUZ Srbije) Grcica Milenka 67 11000 Beograd-YUGOSLAVIA
40	9th Conference on "Brazing and Soldering"	MARCH (3 days)	Karlovy Vary (Carlsbad) CZECHOSLOVAKIA	Czech English German Russian Slovak	Dom Techniky Skultětyho 1 832 27 Bratislava CZECHOSLOVAKIA
41	A. W. S. Annual Conference "Welding and allied applications"	14-19/APR.	Detroit (Michigan) USA	English	American Welding Socieity (A. W. S.) -550 NW Le Jeune Rd P. O. Box 351040 Miami FL 33126 -USA
42	A. W. S. Welding Exhibition	16-18/APR.			
43	International Welding Congress (Theme to be fixed)	APRIL	Tatranska Lomnika (High Tatras) CZECHOSLOVAKIA	English Russian Slovak	Dom Techniky, Marxova 2 043 23 Kosice CZECHOSLOVAKIA