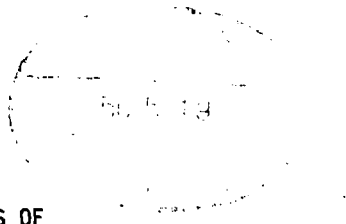




KEK 80-15
February 1981
I



PROCEEDINGS OF
THE 3rd SYMPOSIUM OF MACHINE WORK OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS
KEK, October 24, 1980 (in Japanese)

Edited by
Toshio HONGO

NATIONAL LABORATORY FOR
HIGH ENERGY PHYSICS

© National Laboratory for High Energy Physics, 1981

KEK Reports are available from:

Technical Information Office
National Laboratory for High Energy Physics
Oho-machi, Tsukuba-gun
Ibaraki-ken, 305
JAPAN

Phone: 0298-64-1171

Telex: 3652-534 (Domestic)

(0)3652-534 (International)

Cable: KEKOHQ

Preface

The 3rd Symposium on Machine Work of Scientific Instruments was recently held under the sponsorship of National Laboratory for High Energy Physics (KEK).

It is with great pleasure that the symposium planners realized that the contents of the research papers presented at the symposium have become so much richer, and that the number of organizations participating has increased year by year. We think that these facts; the yearly increase in the richness of the technical contents of the papers, and the increase in the number of participants are really praiseworthy, because it demonstrates the earnest intention of all scientists to enter the field of research, with improved technical abilities.

It is natural that the technical contents sought for would vary, depending on the contents of the researches conducted by individual organizations. However, there are common areas in basic technologies. It is therefore actually possible that the same theme will be a subject for discussion among scientists or engineers specializing in different technical fields; such as mechanical engineering, physics, etc.

At the symposium, about 50 scientists eagerly reported and discussed their research results throughout the day, based on actual examples of experimental productions, in accordance with the agenda given below.

Many scientists and engineers are responsible for supplying excellent high-performance experimental equipment. And it is to help them fulfill their duty that we will make strong efforts to continue holding this Symposium annually; contributing to the improvement of their technical capabilities and promoting an exchange of technical information and other mutually helpful items among them.

Toshio Hongo
(KEK)

目 次

- 1) 科研ピエゾ駆動高速ルーリングエンジンの設計と試作
東北大科研 山戸 吉雄・・・1
佐々木利明
- 2) 超鏡面の研磨（試作）第二報
高 エ 研 本郷 俊夫・・・7
東 保男
加藤 春男
星野 英雄
- 3) メタルリングの小型化とその応用
名古屋 大学 理 学 部 増田 忠志・・・11
烏井 竜晴
- 4) 超高真空試験槽の製作
分 子 研 堀米 利夫・・・17
鈴井 光一
- 5) SUS 薄板の溶接条件と金属組織
東北大金研 佐々木栄一・・・22
中沢 哲雄
山口 久
猪狩 博志
川村 秀夫
- 6) キュービック型高圧装置アンビル軸合せ誤差測定装置の試作
無機材質研究所 小倉 好次・・・31
増田 安次

Agenda of the Symposium

Chairman: Hiroshi Kameta Tsukuba University

- (1) Design and test production of piezoelectrically powered highspeed ruling engine for the Scientific Instrumentation Research Institute;

Yoshio Yamato

Toshiaki Sasaki Tohoku University

- (2) Ultra mirror polishing (2nd Report)

Toshio Hongo

Yasuo Higashi

Haruo Kato

Hideo Hoshino KEK

- (3) Miniaturization and application of metallic O-ring flange

Tadashi Masuda

Tatsuharu Torii Nagoya University

Chairman: Akio Iohinose National Institute for Researches in Inorganic Materials

- (4) Manufacture of ultra-high vacuum test vessel

Kusuo Sakai

Tohio Horigome

Koichi Suzui Molecular Science Research Institute

- (5) Welding conditions for thin SUS sheets and their metallic texture

Eiichi Sasaki, Tetsuo Nakazawa, Hideo Kawamura

Hisashi Yamaguchi, Hiroshi Igari

Tohoku University

- (6) Trial production of instrument for determining anvil axis alignment error in cubic-type high-pressure equipment:

Koji Ogura

Yasuji Masuda

National Institute for Research in Inorganic Materials

科研ピエゾ駆動高速ルーリングエンジンの設計と試作

東北大・科学計測研究所 山戸吉雄
佐々木俊明

1 はじめに

回折格子は、ふつう図1のような断面形状をもち、分光分散素子の一つとして各種分光器に応用されている。この回折格子を刻線(ルーリング)する機構(エンジン)がルーリングエンジンと呼ばれる。ルーリングエンジンによる回折格子の製作は、 $\lambda/4$ 以上の光学平面にポリシングしたガラスブランクにアルミニウムを蒸着し、その上からダイヤモンドカッターで押しつけ、塑性変形によって溝を作る。格子溝は、間隔・直線度共に格子溝間隔の数十分の一の精度で刻線することが要求される。

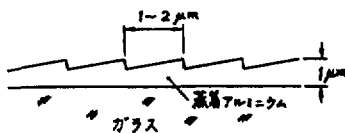


図1 回折格子の断面

回折格子の製作を目的とする本格的なエンジンの試作は、19世紀末、ローランドによって始められた。図2は、その概要図で、格子溝間隔を刻出するために、ねじと歯車を用いている。図の中央の1本のねじで格子定数分だけブランクを送り、ダイヤモンドツールはその上を往復する。これに対してストロングは、ツールが往復するシェーパー型の機構を、ブランクが往復するプレーナー型に改めた。すなわち、図3に示すように、このタイプは、2本のねじに跨った軽いツールキャリアッジに格子定数分の送りを与え、刻線されるブランクがその下側で往復する方式である。

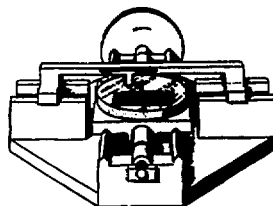


図2 ローランド型エンジン

他方、ハリソンは、ローランド型エンジンのブランク送りも、1刻線ごとに停止するいわゆる“ストップ and ゴー”方式から、送りを停止させない連続駆動方式に改め、送り速度を制御する形で光波干渉制御技術を取り入れた。これによってルーリングエンジンは純機械的の精度に頼っていた時代と比べて、著しくその性能が向上した。したがって、最近の複雑で大型化したルーリングエンジンには、何らかの形の干渉計による制御装置が組込まれている。

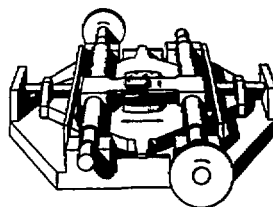


図3 ストロング型エンジン

現在、高性能回折格子の製作技術は、従来の機械的緻細精密加工技術から脱却して、精密工学、光学、エレクトロニクスの総合技術となっている。

本研究所では、15年前からストロング型エンジンの試作・改良に取り組み、ほぼ満足できる成果を得ていた。^{1) 2) 3)} 今回、その実績と経験を基礎として、新たに試作したのがピエゾ駆動高速ルーリングエンジンである。これは、従来型のエンジンが刻出し機構に用いていたねじと歯車に代わるものとして、ピエゾクリスタルの電歪作用を利用し、高速度刻線を行なう目的で試作したものである。機械的機構部分は、従来型のエンジンに比べて非常にシンプルであり、特に新しい技術開発によること無

く、より単純な機構をとり入れることにより加工精度が向上するよう、設計上の配慮が加えられている。以下、このエンジンの主な機構部分に関する設計と加工・工作について報告する。

2 ルーリングエンジンの構成

図4に、試作したルーリングエンジンの構成図を示す。本体は600×900mmの測定用精密定盤上に組んである。2本のスライドバーに跨がって置かれたツールキャリアジは、右方のマイクロステップモーターにより、プッシュロッドを介して格子定数分だけ同軸的に左方へ送られる。一方、ブランクキャリアジに固定したブランクは、ツールキャリアジの移動方向と直交した1本のスライドバーの上を一定位置で往復運動し、1往復で1本の格子溝が刻線される。すなわち、プレーナー型刻線機である。

ダイヤモンドツールは、1対のピボット型マイクロベアリングで支えられ、且つ直径10mmのオイルタンパーを持つ円盤型のホルダーに取付けられ、キャリアジに固定されている。このキャリアジは、後述の図8に示すように、平行した2本の90°山形案内溝をもち、研削した直径30mm長さ300mmの中空円筒2本と平行に配置したスライドバー上を直進移動する。キャリアジは、軽量化のため110×130×13mm³の高カアルミニウムを用い、案内溝の接触部分に0.3mm厚のテフロンを貼って、スライドバーとの摩擦の軽減をはかっている。

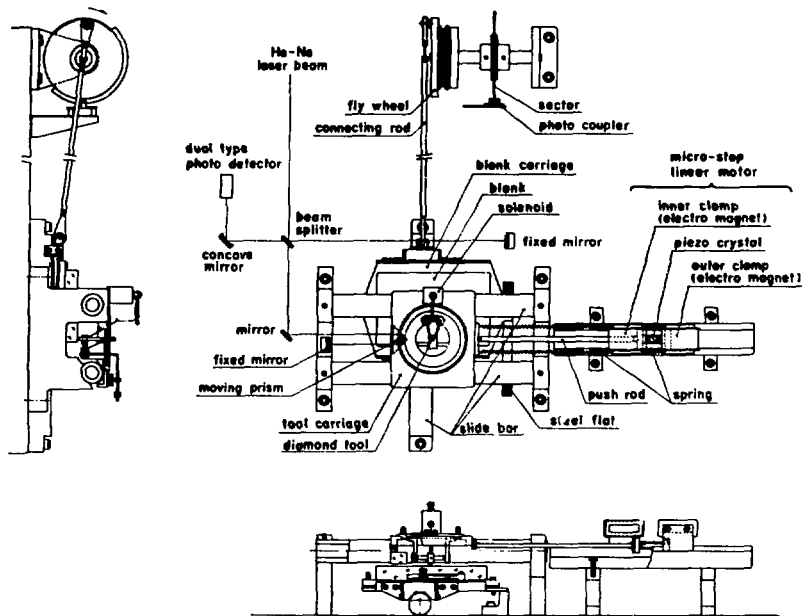


図4 ルーリングエンジンの構成図

マイクロステップモーターは、クランプの役目とする210の電磁石の間にピエゾ素子と挟んだもので、尺取式的に動作をする。電磁石は、U型断面とした2条の案内レール(図5に示す)の上を移動しレールとの接触面に0.3mm厚のテフロンをはり、無潤滑で滑動する。210の電磁石とツールキャリアッジの間は、それぞれスプリングで結合してある。

ツールキャリアッジの送り量は、キャリアッジに固定された直角プリズムを移動鏡とするマイケルソン型の干渉計でモニターされている。干渉計は、光源にHe-Neレーザーを用い、干渉縞計数法により、キャリアッジの送り量をレーザー波長の1/16の移動量(約0.04 μ m)で検出する。そして格子定数に相当する送り量でキャリアッジを止め、格子溝が刻線される。

試作したエンジンは、軽量で一定荷重のツールキャリアッジをマイクロステップモーターで駆動するので送りが安定である。また、スライドバーの長さ L とモーターの案内長さ l とを比較すれば、刻線面積 S が大きくなることとなる。刻線速度は45本/minと高速であり、最大面積150 \times 90mm²まで刻線出来る。例えば600本/mm、刻線巾100mmの回折格子の刻線時間は約22時間である。

3 機構部分の設計と工作

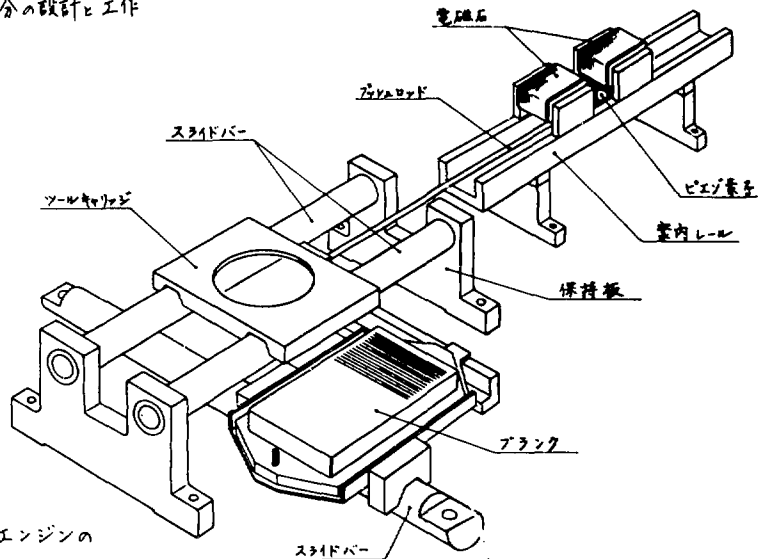


図5は、このエンジンの主な機構部分の概要図である。

前述のように、本研究所では、**図5 機構部分の概要図**

ストロング型によるエンジンの開発研究で成果を得ていたので、試作エンジンも、このタイプの機構的な長所をとり入れてプレーナー型とし、駆動要素のねじと歯車をピエゾ素子に代えている。

設計に当たっては、回折格子の刻線機という特殊な組立精度を要する装置ということで、機構各部が出来ればだけ簡素化し、重量を軽くすることに留意した。また1000の部品も、よりシンプルに形とすることで加工精度を上げ、運動目的に沿った単純な機構として高い組立精度を目指すことなどを設計の基本とした。

A) ツールキャリッジ

ツールキャリッジは、軽量且つ高い剛性を持つ材料として高力アルミ(A-2017)を送り、図6に示すように、13mm厚の板から、フライス加工によって底厚7mmの浅いマス型とした。

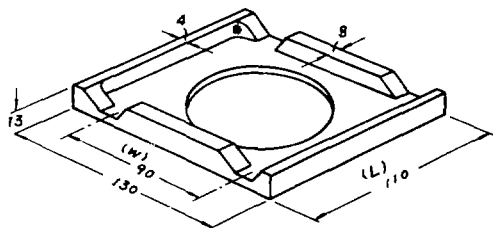
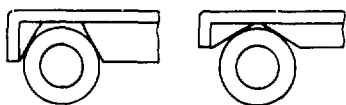


図6 ツールキャリッジ(下面)

キャリッジがスライドバーに跨がって運動するための案内溝の部分は、キャリッジの横ブレを防止する為には、図7の(a)のように、バーの両側面に近い箇所を接触させた。

(しかしこの形は溝型の角度が小さく、溝の部分に伝えられる力が効いてキャリッジに歪みを生じる。逆の場合には、同図(b)のように、この種の力は少ないが、直進案内の性格が失われて横ブレの精度が低下する。これらのことから両者のメリット、デメリットを勘案し、案内溝の形は図8に示すような90°の山形とした。



(a) 60°ミツ (b) 120°ミツ

図7 案内溝の形

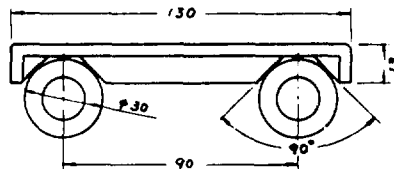


図8 キャリッジの接触形状

つぎに、この2本の山形溝の接触部分、計8面を、幾何学的に厳密なスライドバーに接触させる加工は困難である。しかしこの部分に、密着させるための微調整機構をつけることは、「単純で軽く」という設計理念に反する。そこでキャリッジは、組合わせ部分を特に140ものとして加工することに決めた。加工精度の及ばない範囲は、摺動摩擦の軽減のためにはリフケするテフロン、及びこれの接着剤(エポキシ樹脂)の厚みを表えることで補う方法をとった。

キャリッジの長さ(図6のL)は、必要とする横ブレ精度から見て、2本の案内溝間隔(同図のW)を90mmとした場合、少なくとも130mmが必要である。スライドバーの外径寸法を30mmと設定して、自重とキャリッジの重みによる撓みを考慮すると、バーの長さはおよそ300mmを超えることが出来ない。これに対して、要求される最大刻線中は150mmであることから、キャリッジの長さLは110mmに限定された。

製作されたツールキャリッジは、スライドバーとほぼ理想的に接触し、刻線運転に入っていたが、約半年後に、加工歪みによる経年変化と思われる狂いが生じた。この狂いは、刻線性能の低下から発見されたもので、干渉稿による測定の結果、1ヶ所の山形溝部分に0.2μmの浮き上りが実測された。このことは、設計製作に当たった我々に、材料の選択や加工歪み除去のための熱処理、マイクロオーダーの形状の狂いの検出とその測定方法など、残った課題を残した。

b) スライドバーと保持部分

3本のスライドバーは、何れも径30mm長さ300mmの円筒形状とし、このうちツールキャリアッジの摺動する2本は、両端支持による自重の挠みを考慮して、内径16mmの中空円筒に設計した。バーは、円筒精度(断面の真円度及び長さ方向の真直度)を最大限に望んだことと、当工場の現有設備との関係から、止むを得ず外注(小笠原ホブ)した。3本のバーは共に合金工具鋼(SKS-3)を用いて、入念な熱処理と高精度の研削加工とによって充分な精度に仕上げられており、および2年間使用した現在も、その精度は完全に保持されている。

ツールキャリアッジを摺動させる2本のスライドバーは、図9に示すように定盤上85mmの高さに平行に支持し、1 μ m以内の平行精度に組立てる必要がある。このため、2本のバーの両端支持は、単純な形状による精度追求という設計方針から、支持部分での微調整は考えずに、2枚の支持板を同時加工する方法をとり、図のような単純な鋼板製のステムとした。

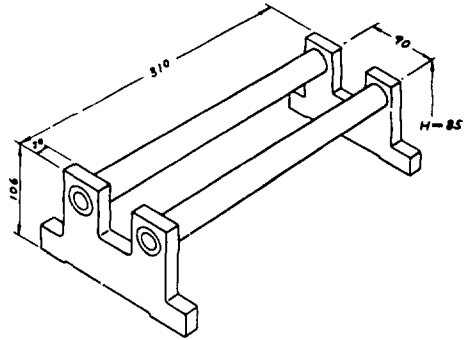
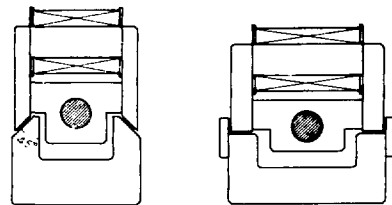


図9 スライドバー支持部分

支持板の穴くり加工は、最初旋盤によって行なったが、支持板の素材と面板に取付ける時のごくわずかな板の反りによって、2ヶ所の穴の平行度に狂いを生じていた。最終的にこの部分の加工は、ハウザー製治具中ぐり盤を用いた。荒加工して熱処理をほどこした2枚の板は、下穴あけのち、両面研磨とキリゲによって夫々の板の両面平行度を吟味した。次に重ね合わせ、底面の直角度をキリゲによって仕上げたのち、検ゲージを用いた中ぐりによって慎重な嵌合を行い、2本のバーと組立てた。支持板の底面は、更にきりげで補正した。このような方法で、2本のバーの定盤に対する平行度、並びにバー相互の平行度は共に要求精度の1 μ m以内に組立てることが出来た。

c) 電磁石とガイドレール

電磁石のヨーク及び案内レールは、残留磁気の影響を避けるため、共に純鉄を用いた。またU字型断面の案内レールは、ベッセルポイント部分で支え、フラックスの漏洩を遮断するため、支柱との間に厚目の真鍮板を挿入した。電磁石の摺動面には、摩擦を軽減するためのテフロンをはり、これが摺動する案内レールの摺動面は、ラッピングによる鏡面仕上げを施した。



(a) (b)

図10 電磁石とガイドレール

電磁石と案内レールとの摺動面は、図10の(a)に示すように当初45°の山形に設計し工作した。これは摩擦を増す横抑えと設計せずに案内とレールを兼ねさせることが目的であったが、電磁石とク

ランプした時、斜面に圧着する左右のヨークに外向きの力が働き、この歪みによって動作の確実性に難発が生じた。即ちツールキャリアッジは、ピエゾ素子に加えた電圧が成る値に達するまで停止してあり、それ以上の電圧でなければ動き出す。またキャリアッジは、停止すべき時にいっても直ぐには停止せず、期待した送り量を $0.16\mu\text{m}$ もオーバーランした。このような欠陥を除去するため、同図(b)のように両者の接触面をブレンタイプに改造し、レールの両側に真鍮板の横挿えを設けて、これに触れるヨークの接触部にもテフロンを貼った。その結果、動作がより安定し、同一送り量に対するピエゾ素子への印加電圧は約20%少なくて済み、オーバーランの量も $0.04\mu\text{m}$ 以下になった。

4 おわりに

以上に述べた機構部分に、エレクトロニクス回路を加えて構成されたルーリングエンジンの開発成果、ならびにこれによって製作した回折格子の性能については、日本分光学会誌に掲載され、分解能について理論値の89%と得たと報告されている。⁴⁾ その後に加えた調整・改造と創製技術の向上などによって、現在、分解能については理論値のほぼ100%に達し、送光および回折効率についても従来の水準を上回る成果を得ている。⁵⁾

これらによって、この装置の機構部分の設計と工作についても、初期の構想に近い成果をあげることが出来たと思われる。しかし同時に、この仕事を通じて我々は、自らの工作・加工結果を評価し、これらに基づけるために必要の測定方法の開発について、余りにも消極的であったことを感じている。今回の、ピエゾ素子駆動という新しい構想によるルーリングエンジンの設計・製作に、研究者の周知理念とも相まって、幸いに一応の成果を見る事が出来たとはいえ、今後、より高度な加工・工作技術を目指すために、我々には幾つかの新しい課題が課せられたと考えている。

本報告は、当研究所附属光学素子研究施設の高島幸史助教授から、全般にわたる問題点の考察や測定データなどと共に、適切な指導と助言を戴いていた。これらについて厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 縄田滋則、高島幸史；東北大学科研報告 22 (1973) 99.
- 2) 高島幸史、縄田滋則、高橋幸吾；東北大学科研報告 23 (1974) 121.
- 3) 縄田滋則、高島幸史；東北大学科研報告 25 (1976) 3.
- 4) 高島幸史、縄田滋則；分光研究 28 (1979) 30.
- 5) 高島幸史；分光学会講演要旨集 1979年秋

EEM (Elastic Emission Machining) による 数値制御加工でのミラーの製作 (第2報)

高エネルギー物理学研究所 本郷 俊夫
東 保男
加藤 春夫
星野 美夫

1. 諸言

当研究所で現在建設中のフォトンファクトリ施設では電子が加速器内部の磁場によってその軌道が曲げられる時、シンクロトロン放射と呼ばれる機構によって電磁波が発生する。この電磁波のエネルギー分布は加速器の電子エネルギーと磁場の強さにより変わるが極紫外、軟X線より硬X線に及んでいる。この施設に於けるX線光学系では全反射ミラーは重要な位置を占めている。ミラーの形状は平面、曲面が必要であり大きさも種々である。特に硬X線に関しては形状精度、面あらしについて要求される精度が高い。そこで大隈大卒、森らによって開発されたEEMによりミラーの加工を行ない平面度、表面あらしについて検討した。加工材料はハイレックスと鏡面加工が困難な鋼について加工した。今回はそのまでの結果を報告する。

2. 加工概念と加工装置

本加工法では極微細な粉末粒子を水に一樣に分散、懸濁した液を用いる。図1に示すようにポリウレタン球を回転させ工作物表面に近づけることによりその間に生ずる流体軸受的流れを用いて約 $1\mu\text{m}$ の間隙を作り懸濁液中の微細粉末粒子を工作物表面の微小領域に衝突させ加工を行なっている。

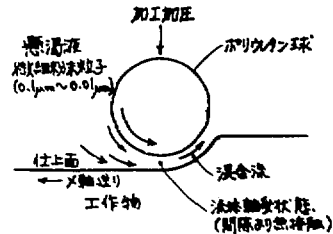


図1. 粉末加減法

所定の任意曲面を得るには前加工面と所走面との差に相当する量だけ加工すればよい。ある加工量制御変数が必要加工量と一義的な関係と満足できれば加工量制御変数に代り数値制御加工を行なうことと所定の加工面が得られる。本加工法の大きな特徴は一般の汎用機で数値制御加工を行なうことにより任意の幾何学的形状および完全鏡面が得られることである。

図2にEEM数値制御加工装置を示す。EEMの加工機構については既に森らの実験により妥当であることが確かめられており、種々の条件によるデータも発表されているが大きい面積についての加工データは少ない。本加工装置は大きい面積が加工可能なるように設計し、特に加工容器の洗浄等の作業性を良くした。又、粉塵が加工



図2. EEM加工装置

容器や加工物表面に付着しないように装置全体を乾泡スチロールで囲った。

ポリウレタン球回転機構については、軸受にエアベアリングを採用し駆動モーターはフレキシブルジョイントを介して別の場所に取り付け回転精度を上げた。

3. 加工

1) 加工送り速度変化の妥当性

前報では一時送り停止機能(404)を用い送り停止時間を加工量制御変数として加工を行なう必要があると述べたところがあるが、実際右記のような加工条件で加工してみると、結果は1stepごとによりが付き表面あらかさと著しく悪くしていることがわかった。これは、step幅を変えても停止時間を変えても同じように表面あらかさを悪くしていた。しかし、同じ条件で停止時間なしで加工を行なってみるとこのようにはなくなっていた。(図3、4)

以上のことから送り停止時間を用いることは表面あらかさを著しく悪くさせる可能性が高いといえ、送り停止時間をなくし、必要加工量に相当する送り速度と決めやり順次化させ加工することが妥当であると思われる。

2) 天面積加工

放射光用ミラーの加工として実現させるには天面積(200×50mm²)の加工が出来なければならぬ。送り速度20mm/min, 0.1mm strokeで走査するとしたら約3日かかることになる。我々は時間短縮のためポリウレタン球径を大きくし加工領域(加工幅—図5)を広くし走査させた。また、懸濁液中の微細粉末粒子の沈殿が時間とともに起こり、粉末濃度の減少が認められ加工条件の安定性に欠けたため、分散性と粘度のよい専用の粉末を利用し、泡攪拌を行なった。図6は泡攪拌を行なった結果であり泡攪拌を行なわない時に比べ約50%の向上が認められた。

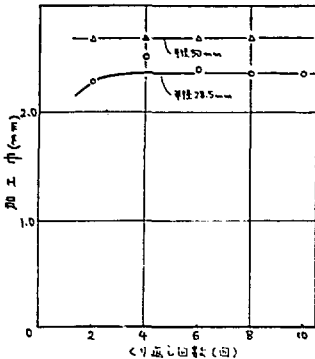


図5 加工幅変化

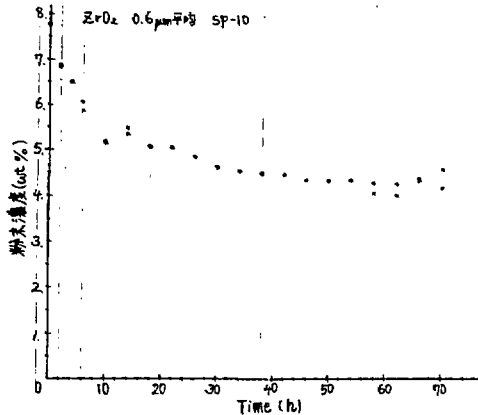


図6 粉末濃度変化

試料 バイレックス
Stroke 0.1 mm
送り速度 30 mm/min
回転数 1100 rpm
ポリウレタン球半径 30 mm
ポリウレタン球面あらかさ 1.5 μm

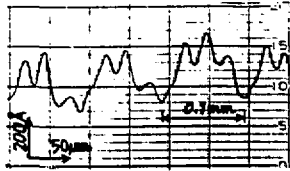


図3 停止 0.5 sec / 0.1 mmstep

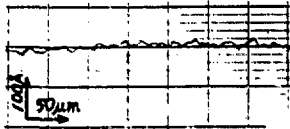


図4 停止なし

| EEM実験装置概要 | | パイレックス加工条件 | |
|-----------|----------------------------|------------|---------------------|
| 最大加工面積 | 100mm x 300mm | 平均用電圧 | 2.9 mV/ac |
| ポリウレタン回転球 | φ120 | 送り速度 | 20 mm/min |
| 加工液濃度 | 規定値 2.0% | Y方向ステップ | 0.1 mm |
| 加工液循環装置 | 規定値 I.A.M型 | 使用粉末 | ER02 φ75粒径 0.1μm |
| ポリウレタン回転球 | 1mmFT | 加工荷重 | 600gW |
| NC装置 | 日本電産 NEDAC-M 最大搬送 1m | | |
| 本体 | 東野フリス 規格 KK | | |

表1

3) 加工結果

我々はパイレックスと銅について加工を行った。パイレックスの前加工面は平面度入/4、表面あらし20Åである。この面をEEMにより面全体の加工深さを100Åにコントロールして加工した結果を図7に示す。又、表面あらしは10Åであった。その他、加工深さを0.1μmにした場合と同じ結果が得られた。

銅の加工に関しては表2以外に送り速度、加工荷重を変化させてみたが、加工量は変わるが表面あらしはほとんど変化しなかった。そこでポリウレタン回転球の表面あらしを変化させた場合のZrO₂、γ-Al₂O₃による加工面を微分干涉顕微鏡で見た図を、図8、9に示す。図よりEEM加工した面と前加工面の違いが観察でき、EEMにより加工が行なわれている事がわかった。実際にX線反射ミラーとして使用する材料は均結品になると思われるので多結晶性材料を用いたため、ポリウレタンの表面あらしを粗くすると結晶粒界が現われてくる。これはポリウレタン球の流体に対する抵抗係数が上昇し、粉末の衝突エネルギーが大きくなり加工量が増加し、粒界にある不純物に当たり止まると思われる。ポリウレタン球の表面あらしを小さくすると粒界は観察されず各結晶内部は鏡面になっている。γ-Al₂O₃ではポリウレタン球表面あらし1.5μmの場合、加工面が変色し粉末が銅の表面に埋め込まれた状態になっているのが見ら

表2

| 銅加工条件 | 使用平均電圧 | 電流 | 電量 |
|-------|----------|--|----|
| 平均用電圧 | 2.9 mV | ZrO ₂ 0.1 μm | 10 |
| 送り速度 | 2 mm/min | γ-Al ₂ O ₃ 0.05 μm | 10 |
| Y方向送り | 0.1 mm | γ-Al ₂ O ₃ 0.05 μm | — |
| 加工荷重 | 600gW | MgO 0.05 μm | 5 |
| 加工粉末 | 遊離銅 | Cr ₂ O ₃ 0.7 μm | 10 |

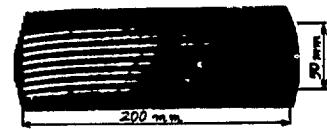
* 不二電研株式会社商品名



前加工面



EEM加工面



前加工面



図2 EEM加工面

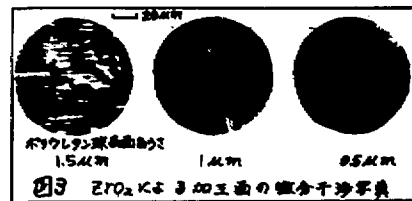


図3 ZrO₂による加工面の微分干涉写真

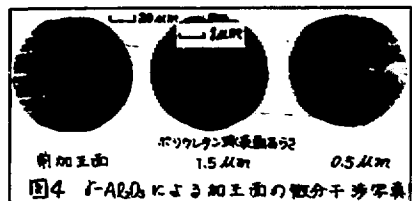


図4 γ-Al₂O₃による加工面の微分干涉写真

れる。0.5 μm にすると鏡面に近い状態になる。Cr₂O₃ もだいたい ZrO₂ の関係にあり、クリアライト、MgO については加工量が少なく測定できなかった。r-Al₂O₃ のポリウレタン球表面あらし 1.5 μm の結果は平均粒径が粗と比較して小さく比重も約2分の1であるた起こった現象だといえる。図10 に各粉末の加工面表面あらし測定結果を示すが ZrO₂ 300Å、r-Al₂O₃ 100Å 程度の面が得られているが結晶粒界が判断できるまでは至っていない。

Al, Cu など粒位密度が高く易動度が高い材料の加工現象は粉末粒子が小さければ加工が塑性流動的なものではなく極微量弾性破壊が可能である事が森らにより確かめられており本実験においても弾性破壊により加工が行なわれているといえる。

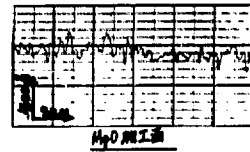
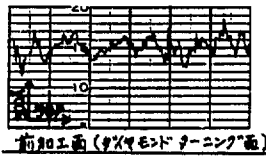


図 10

MgO加工面には前加工面が観察されず、Cu。

4. おわりに

パイレックスなどがガラス類については0.01 μm 程度まで加工量をコントロール出来ることがわかった。銅については多結晶の場合非常に難しく材料自体EEMに合った結晶粒や純度の高い物を使用する必要があるとともに加工条件、使用粉末と粒度等を検討しながら実験を進める必要がある。今後はSi, Si₂, Mo 等についても加工を行なう予定がある。加工面の評価方法は主として可視光や表面あらし計を用いているが、実際にX線全反射ミラーとして使用できるかどうかについては松下らのX線複結晶法による表面あらしの評価方法により確かめる事にしていく。また曲面加工の場合、前加工面及び加工面の形状測定については今後の課題である。現在、曲面加工および鏡面加工が困難な銅を加工するためにマイコン制御による実験装置と製作中である。

5. 謝辞

本実験の遂行にあたり適切な御指導、助言を頂きました大阪大学、井川、森、杉山の諸先生方、またSORによる測定をしていただいた高エネルギー物理学研究所放射光実験施設、佐藤繁、安藤両先生に厚く御礼申し上げます。

参考文献

森、津和、杉山：精微機械 43.5(1977) 542
 森、井川、奥田：昭和52年度精微学会秋季大会前刷(1977) 195
 石川、松下、高良：結晶加工と評価技術 第14号 養賢堂(1979) 8
 森、井川、杉山：昭和55年度精微学会秋季大会前刷(1980) 438

東、加藤、星野、本郷：PROCEEDINGS OF THE SECOND SYMPOSIUM ON MACHINE WORK OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS KEK(1978)
 東、加藤、星野、本郷：昭和55年度精微学会秋季大会前刷(1980) 439

メタルO-リングフランジの小型化とその応用

名古屋大学理学部金属工務室 増田 忠志

1. はじめに

超高温から、高温までの広い温度領域に使用できるメタルO-リングは、中空の金属O-リングの弾性ヒモ、全面に被覆したメッキ層の存在によりシールするものである。

一般に用いられている超高真空用フランジのガスケットの外径は、最小15mm程度であるが、市販のメタルO-リングには、6.4mmのものがあるので、小型のフランジを製作することができるとする。

当工作室では、市販の最小サイズのメタルO-リングを用いて、低温および高温で使用できる極めて小型化したパッキングを製作し、これを応用して、高温で使用できるX線発生装置の窓を製作したので報告する。

2. メタルO-リングと他のシール法との比較

表1は、超高真空領域で多く用いられている4種のシール法とメタルO-リングフランジによるシール法の性能を比較したものである。メタルO-リングフランジは、超高真空で広く用いられているコンフラットフランジに比べ、表面あらかさが大きくてもよく、O-リングに接する面が平面であるので、製作が簡単である。特に、高温で長時間の使用に耐えるという長所は他にかけがえがない。

| フランジの種類 | 許容ベーク温度 | シール面あらかさ | 同一ガスケットの使用回数 |
|----------------------------|------------------------|----------|--------------|
| コンフラットフランジ ⁽¹⁾ | 短時間 550°C 長時間 450°C | 0.8 s | 3回(ベーク熱) |
| 金線ガスケットフランジ ⁽¹⁾ | 短時間 550°C 長時間 450°C | 0.4 s | 4回(ベーク熱) |
| アルファイルフランジ ⁽¹⁾ | 300°C | 4.4 s | 1回 |
| バイトンフランジ ⁽¹⁾ | 130°C | 6 s | 大 |
| メタルO-リングフランジ | 500°C(ステンレス) | 3.2 s | 1回 |

表1 メタルO-リングシールと他のシール法の比較

3. 規格フランジの形状とメタルO-リングの一般的用法

今回使用したメタルO-リングは、内径4.4mm、外径6.4mm⁽²⁾であり、全面に銀メッキが

れである。このメタルローリ：ジ用の帯巻フランジ厚は、5~6 mm、推奨締付トルクは、M4~M5とされている。⁽³⁾ 図1には、ローラの指定するガスケット単位長当たりの締付力とつぶし量の関係を示した。入り口ムリ：フ量を 1×10^{-6} Pa・s以下にするためには、つぶし量を約0.2 mmにする必要がある。推奨使用条件のつぶし量は、約0.3 mmである。

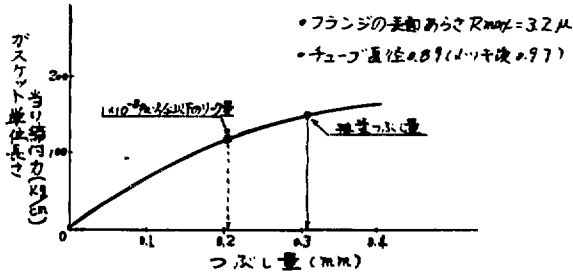


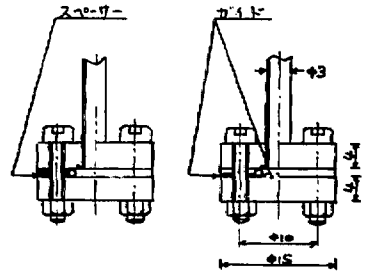
図1 ガスケット単位長当たりの締付力とつぶし量の関係

4、小型フランジの性能テストおよびその結果

4-1、フランジの形状および締付法

図2には、小型化したフランジの形状を示す。締付法には、図2-(a)のスペーサーの厚みを変えることによりつぶし量を決める方法と、b)のように、Oリングのずれを防止するガイドを内側か外側に設けて、つぶし量は、トルフレ：チによ、て決定する方法がある。メタルローリ：ジを繰返し使用するには、増締めを変更する。(a)の方法では、スペーサーを何通りも用意しなければならぬので、b)の方法を採用した。

フランジホルトの材質は、SUS304、Oリングとの接触面の表面あらまは、 $R_{max}=2.5\mu$ 、ホルトは、M2を6本の場合と、M3を5本の場合についてテストを行った。



(a) (b)

図2 フランジ形状

4-2、ホルト1本当たりのトルクとつぶし量の関係

図3に、ホルトの種類と大ききを変えた時のホルト1本当たりのトルクと測定したつぶし量の関係を示したものである。M2のホルトでは、その頭の溝の形状によ、て最大締付トルクが限定される。溝の形状がテラスでは、約4 kg・cm、マイテスでは、約5 kg・cm、六角形では、約6 kg・cmである。この場合、M3を使用すれば、強く締付けられるが、フランジの直径が大きくなる

を得た。M2の六角穴付ネルトならば、つぶし率を30%以上とすることができ、本実験ではこれを採用した。

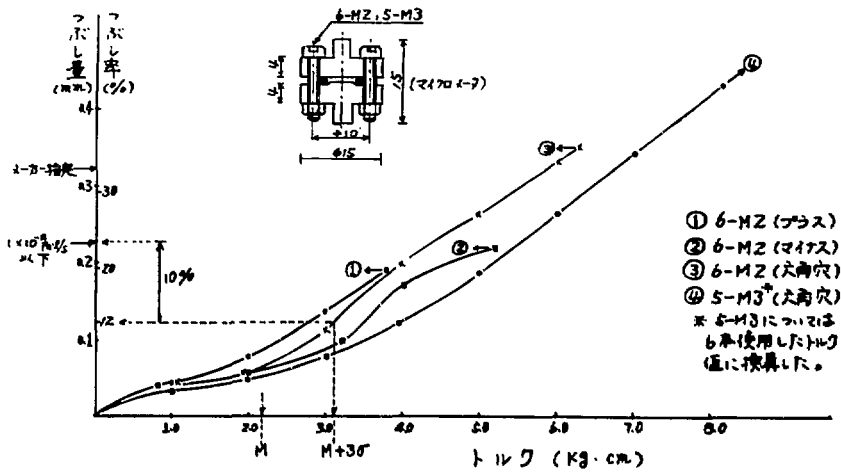


図3 ボルト1本当りのトルクとつぶし量の関係

4-3 性能テストとその結果

4-3-1 常温テスト

図2-b)の初収のフレンジにおいて、常温におけるリークが $1.6 \times 10^{-5} \text{ pa} \cdot \text{L/s}$ 以下になるボルト1本当りの最低トルクを測定した。

表2は、その結果を示した。この結果より、平均量を平均値 ($M=214 \text{ kg} \cdot \text{cm}$) より30%増の値、即ち $3.12 \text{ kg} \cdot \text{cm}$ より大きい値にすれば、リークを起す確率は、10%以下となるため、事實上、リークは無いと言える。なお、上記 $3.12 \text{ kg} \cdot \text{cm}$ は、図3に示したつぶし率に換算すると、12% 値に相当する。

| 試験(N0) | トルク(kg·cm) |
|--------|------------|
| 1 | 2.0 |
| 2 | 2.1 |
| 3 | 2.1 |
| 4 | 2.0 |
| 5 | 2.2 |
| 6 | 1.8 |
| 7 | 1.7 |
| 8 | 2.0 |
| 9 | 2.7 |
| 10 | 2.4 |
| 11 | 1.9 |
| 12 | 2.1 |
| 13 | 2.4 |
| 14 | 1.7 |
| 平均値(M) | 2.14 |
| 標準値(S) | 0.72 |

表2 リークの止まる最低トルク

4-3-2 低温テスト

常温で、リークを止まる最低のトルクを求めたメタルローリングを、図4に示した方法に従い、液体窒素に浸漬し、リークの有無を調べた。図のように、常温と液体窒素温度の間の熱サイクルを10回行ったが、マイコンゲージの読み中、ヘリウムのリーク検出限界 $1.6 \times 10^{-5} \text{ pa} \cdot \text{L/s}$

は、検出されなかった。

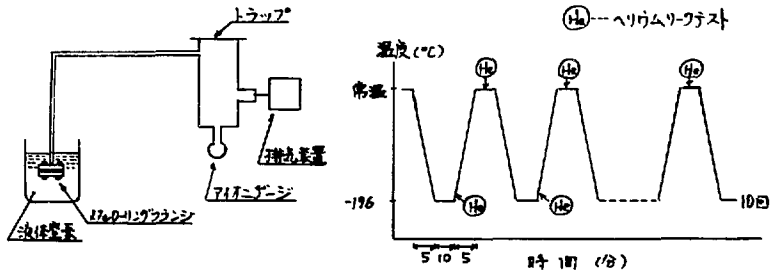


図4 低温テストの方法

4-3-3, 高温テスト

リークの止まる最低トルクを導いたより、ローリングについて、リークの有無を400°Cまで測定した。図5は、実験方法を示す。10回の熱サイクルを行ったが、リーク（検出限界 $1.6 \times 10^{-8} \text{ pa} \cdot \text{l/s}$ ）は、全く検出されなかった。

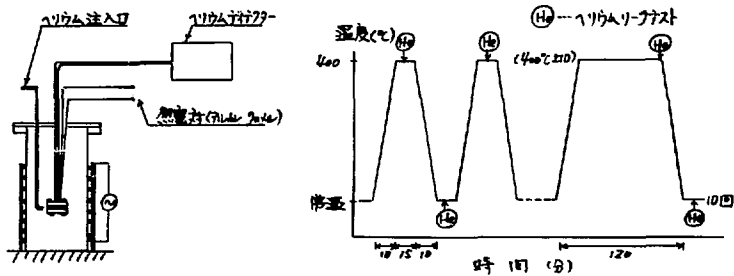


図5 高温テストの方法

4-3-4, 常温, 高温再使用テスト

常温, 高温において, 使用したローリングの再使用テストを検討した。

常温テストでは, 一旦, リークテストを行ったものについて, パツチンをゆるめ, ローリング位置をすらし, セットし直す。これについて, 再びリーク量が $1.6 \times 10^{-8} \text{ pa} \cdot \text{l/s}$ 以下になるトルクを測定する。この操作を9回繰り返したが, トルクの増加は認められなかった。

高温テストは, 4-3-3の高温テストを行った後, 上記と同じ方法でローリングをしめ直し, リークの止まるトルクを測定し, そのトルク値で, 5回の熱サイクルを与えてリークの有無を判

べた。200℃の実験では、回数がないための明瞭な結論は出せないが、常温の場合と同じ傾向を示している。400℃での再使用のためには、初期トルクに比べて約2倍必要であった。図3から明らかのように、4.5kg・cmのトルクは、新品に比べてメーカー指定のつぶし量に対応するトルク値より低い。このことは、400℃という高温においても2回の使用が可能であることを意味する。しかし、3回目には、6kg・cmまでのトルクを与え、リークを止めることができなかった。図6には、上記の結果をグラフで示してある。

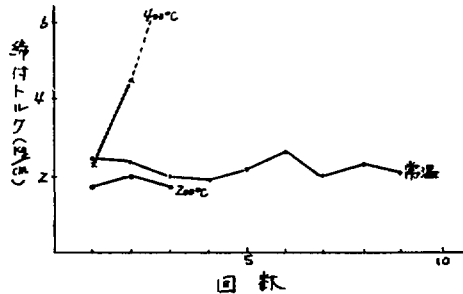


図6 常温、高温再使用テストの結果

4-3-5, トルクレニ寸法による締めについて

トルクレニ寸法を用いた締めを行う場合には、スベラーを用いる場合と異なり、押し始めが簡単にできるかわりに、締めつり量(Oリングのつぶし量)に不均一が生じることが多い。そこで、2.1~6.3kg・cmのトルクで使用したOリング5個について、リングの厚み分布を測定してみた。その結果(図7)から明らかのように、0.1mm程度までの片寄りが生じている。厚さの最小値がOリングの接点部(図中のA点)附近にあることは、片寄りが、接点Oリングそのものの性質に依存していることを示している。

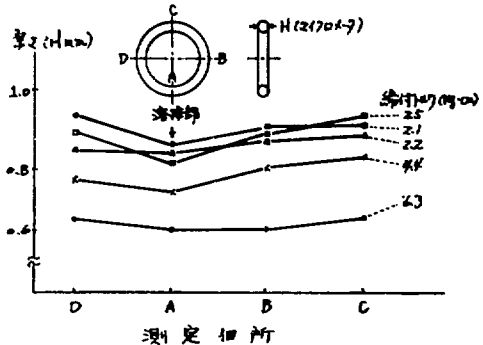


図7 使用後のメタルOリングの厚み分布測定結果

4-3-6, 密封, 考察

(1) メタルOリングのバツチンのつぶし率は、メーカー指定の33%(今回使用したG-0250では、つぶし量0.32mm)より著しく低い。10%程度でも相当信頼性のある真空バツチン性能を有することがわかった。すなわち、リークデテクター等でのリークの有無を確認すべし、抵抗値より著しく小さい締め力を採用してもよい。したがって、極めて小型、しかも小さな力で使用する必要のある真空シールには特に有用である。

(2) 上記のように低い締め力を用いたバツチンでも、-196℃~200℃の熱サイクルに対応する安定したシール性能を保持している。

3) メーカーのカatalogでは、メタルローリングの使用回数は「原則として1回」と規定されているが、使用する温度領域や締付けの条件によっては、相当の回数に耐える。

4) トルクレンチを締めつける場合、特に、小型のメタルローリングでは、締めめが主じやすいので、フランジにガイド等を設ける必要がある。「ルーチン使用」では、スベーパーローリング溝等を用いたフボし率を均一に保つことが望ましい。

5. X線用小型窓への応用

このような小型化フランジは、低温、超高真空装置のジョイント等に用いることができる。

図9-(a)は、ターゲットからの熱輻射を即熱される軟X線発生装置(A.L.K.: $\lambda=8.45\text{Å}$)に取り付けるベリリウムおよびアルミニウム箔の窓を示す。この窓の本体の形状については、4-3-5で述べた締めめを防止するため(A)に示すようにガイドを設けた。この本体の材質は、無酸素鋼を使用することが要求されている。そこで、図9-(b)の形状の鋼製の小型化フランジについて、4-3-1、4-3-3と同様の常温、高温テストを行ったところ、ステンレスフランジの場合と同様の結果が得られた。又、4-3-3の高温テストについては、図9-(c)のように、ベリリウム(400°Cまで)、又は、アルミニウム箔(200°Cまで)を取り付けを行ったが、リークは検出されなかった。

X線発生装置の応用窓については、金鳥若を締めつける応力が大きいため、リーク防止が重要である。そこで、実際には、まず、リークの上まの最低トルク(Be...2.8kg・cm, Al...1.8kg・cm)で締めつけ、更に、安全のためプラス20%の増し締め(Be...3.4kg・cm, Al...2.2kg・cm)を行った、製品を完成させた。

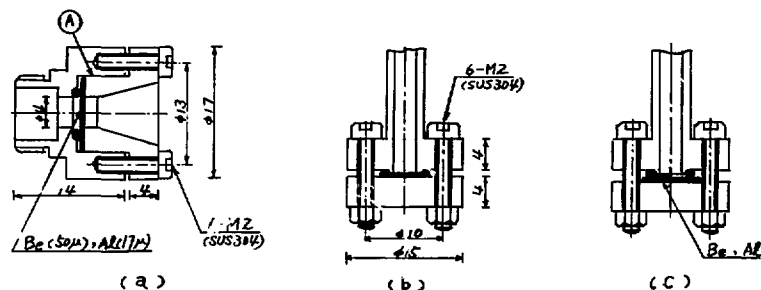


図9 X線発生装置の窓と銅フランジの実験形状

文献

- (1) 超高真空技術入門(日本真空技術K・K)
- (2) 富士エレクトロニクス O-リング規格 4-0250
- (3) 富士エレクトロニクス シュアケット
- (4) 技術研究会報告, NO.2 P12-17 (1976)

超高真空試験槽の製作

分子科学研究所

浦井 穠雄

鈴木 光一

塚本 利夫

I. はじめに

本装置は、分子研の将来計画であるUVSOR(極端紫外光実験施設)¹⁾の真空系のための予備実験装置の一つで 10^{10} Torr以下の清浄な真空を得ることを主目的としたものである。これは製作という観点でみた場合はとりたてて問題となることはないが、今回これを報告する理由は単に加工のみにとどまらず真空技術の範囲まで我々が担当したからである。つまり装置の設計から製作、組立、調整をして必ず真空を得るまで(ベーキング、アルゴンボンバード等)一貫して我々自身で行なったからである。

我々がユーザーの要求に応えるためには当然高度な加工技術・製造技術を持たなければならぬ。しかし現実には、それだけでは真にユーザーの要求に応えることは出来ない。例えば我々の研究所に於いては、先の真空技術だけではなく、光学技術・計測技術・化学反応技術……等広範な技術の集積がなければその要求に応えることが出来ないのである。

限られた人員・予算の中でこれを実現するためには、多くの困難があると思われるが長期の展望に立った場合やはり我々一人一人が広範な技術を持つよう努力しなければならぬと思われる。

このような観点のもとに分子研装置開発室は運営されており、本装置の製作依頼もこれが考慮されたものである。

II. 設計と製作

§1. 設計

UVSORの真空系は電子を貯蓄しない時に 1×10^{10} Torrの真空度が要求されている。そこでこの真空試験槽の基本設計として下記に示す事項を要点として設計を行なった。

- ① 到達圧力を 10^{10} Torr台以下にする。
- ② ドライは真空を得るため排気ポンプはスパッタイオンポンプ(ノーバルポンプ)・ゲッターポンプ・ターボモレキュラーポンプ・ソーブションポンプを使用する。
- ③ 250°C のベーキングが行はえるように、フランジは全てゴンフラットフランジを使用し、バルブはメタルバルブを使用する。
- ④ 本体の材質はSUS304を使用する。(SUS304Lの方が良いとされているが今回はSUS304を使用することにした。)
- ⑤ テスト用としてフランジ・ポート類が多く接続できる。

以上の点を考慮して、試験槽は図1のごとく、又真空系は図2のような構成と行った。

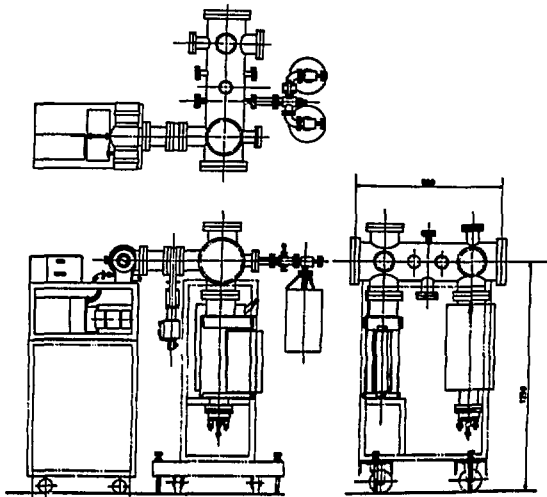


図1. 試験槽

が非常にそれを左右することが一般的に言われている。

そこで表面洗浄のために我々は電解研磨による方法をとり入れ、その効果について調べてみた。

§1. 表面洗浄方法

1台の試験槽により次のA・Bの2通りの洗浄を行ってその効果を調べた。

A. 中性洗剤による洗浄 → 水洗い → 超音波洗浄器による洗浄

B. 電解研磨 → 水洗い → 中性洗剤による洗浄 → 水洗い → 超音波洗浄器による洗浄

(電解研磨条件)

電解液: 硫酸+リン酸 (1:9)

電流: 210A

時間: 20分

A, B共に組立て直前にトリクロルエチレンによって表面を小さとった。

A・Bのテストの間約80時間槽表面を大気

§2. 製作

コンフラットフランジは全て市販品を利用し、本体はφ203×T3の溶接パイプを加工し、溶接部分の前加工は全て機械加工を施した。又溶接は全て内側よりTIG溶接を行った。製作・組立て過程においてフランジエッジ部の取扱いには十分な注意を払った。

III. 電解研磨による表面浄化。

洗浄は真空を得るため、又永くこれを保つためには真空槽の表面洗浄

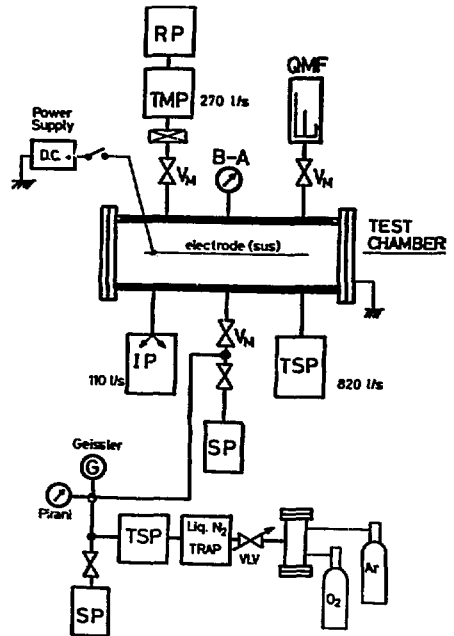


図2. 試験槽真空系。

SP: ソープソンプ、TSP: ゲッターポンプ

IP: ノーブルポンプ、RP: 油回転ポンプ

VM: メタルバルブ、VLV: バリアリクバルブ

Q: 10⁻⁶ 重量型質量分析計

TMP: ターボモレキュラーポンプ

にさらした。

§2. 排気テスト・結果

A、Bの表面処理の後、下記の項目についての排気テストを行ない各々の到達圧力を比較した。(ただしこの場合1ヶ所バイトンO-ringのフランジの部分を一ヶ所とりつけた。ここは100℃の温度による焼出しであった。)

a.) ソーパションポンプで粗引きを行ないノーマルポンプを起動させて1時間後の到達圧力の測定

b.) 3時間ベーキングを行った時の到達圧力の測定
図3はその時の排気線図を示す。

c.) 24時間ベーキングを行った時の到達圧力の測定。
図4はその時の排気線図を示す。

表1はテストの各々の到達圧力を示す。

結論として電解処理を行なうことにより、行なわない時よりも排気の立ち上がりが早く、又到達圧力が低いことが言えると考えられる。よって電解処理による表面浄化は高真空あるいはそれ以下の真空度を容易とする場合の表面処理方法として有効な一手段に成りうる可能性を持っている様に思われる。残念ながら今回のテストのみでは、バイトンフランジが一ヶ所あったため定量的な結論を得ることが出来なかった。

IV. Ar放電洗浄

真空槽内の表面脱ガスを抑える手段としてAr放電による陽イオン衝撃による洗浄法(アルゴンポンバード法)がある。

特に電子・イオンあるいはSORの照射による脱ガスを抑えるのに有効であるとされている。^{2) 3)} 我々もこの方法を用いてベーキングのみによる到達圧力をさらに向上させることを試みた。以下ではOリングフランジ(バイトン)を取除いた。

§1. 長時間ベーキング

ベーキングのみによる最終到達圧力を得るために30時間のベーキングを行ない、ノーマルポンプ・チタンゲッターポンプにより排気を行なった。ベーキング温度は250℃で行なった。図5はその時の排気線図を示す。

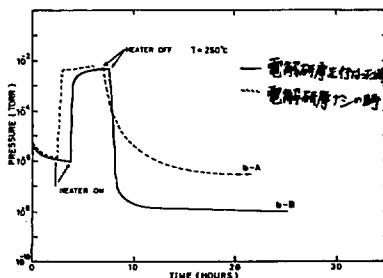


図3. 3時間ベーキング時の排気線図

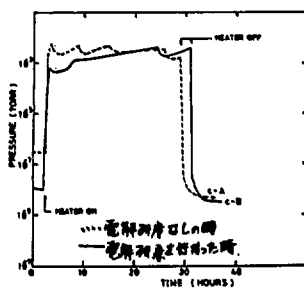


図4. 24時間ベーキング時の排気線図。

| | (TORR) | |
|---|----------------------|----------------------|
| | A | B |
| a | 1.3×10^{-6} | 9.8×10^{-7} |
| b | 3.0×10^{-7} | 1.0×10^{-6} |
| c | 7.2×10^{-8} | 3.5×10^{-8} |

表1. テスト結果

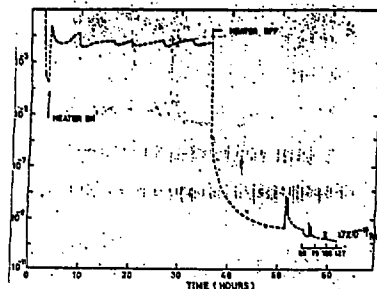


図5. 30時間ベーキング時の排気線図

粗引きはソーブションポンプで行った。

結果として 1.7×10^{-10} Torr の真空度を得ることができた。

§2. Ar 放電洗浄の方法

実験では放電用陽極としてステンレス棒を用い、槽表面と電極との間で放電が行われる様に電極を槽中央にセットさせた。

放電は純アルゴンガス、及びアルゴンガス+酸素ガスの混合ガス(9:1)を用いて放電を行なった。

アルゴンガス、及び混合ガスの純化のために試験槽とは別にガス純化装置を製作した。図6はその概略図を示す。これは導入されるガスの水分を除去するための液体窒素トラップ、その他の活性ガスを除去するためのチタンゲッターポンプ、流量調節用バリアブルリークバルブ、圧力測定用真空計(ピラニー真空計、カイスラー管)により構成されている。また放電用電源として定格1KV・1Aの直流電源を用意した。

放電洗浄はペーキング中2回行なった。ガス圧は槽内でグロー放電が全体に広がる前、又一定圧力で洗っていく物にターボモレキュラーポンプ(35φのメタルバルブを経由して接続)とバリアブルリークバルブによって調節を行なった。その時の圧力をピラニー真空計で測定すると 0.6 Torr を示していた。この時に電極に印加した電圧は210V、照射量は 4.2×10^{17} ions/cm² であった。

§3. Ar 放電を行なった排気システムと結果

図7はAr放電洗浄を行なった時の排気線図を示す。

結果として、到達圧力 9×10^{-11} Torr となり、前の長時間ペーキング(図7の点線)と比較すると到達圧力においては僅かであるが改善された。ガスフィルターによって残留ガス組成を測定し、その時の変化を比較することによって、その効果を評価する必要があったが測定器の故障により今回は報告できなかった。なおアルゴン放電前とアルゴン放電後の電子・イオン、あるいは光照射による脱ガス量の測定を行うには到らなかった。

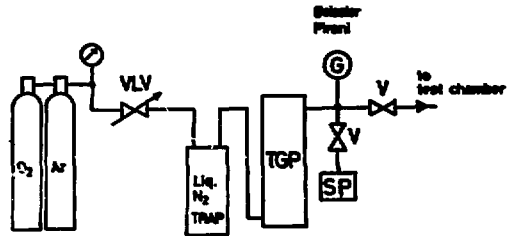


図6. ガス純化装置概略図

SP: ソーブションポンプ、V: メタルバルブ

TGP: ゲッターポンプ、VLV: バリアブルリークバルブ

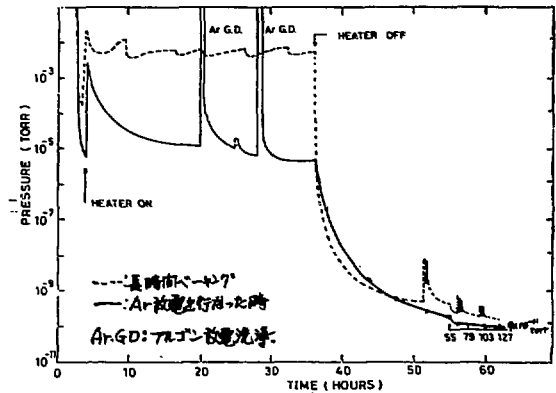


図7. Ar 放電を行なった時の排気線図

V. 終りに.

今回のテストの主目的である 10^{-10} Torr台以下の真空度を達成することができた。

製法・加工に関しては従来の経験によりとりたてて問題とする点は見られなかったが2つの表面浄化テストに関しては経験不足・時間不足のため十分な結果を得ることは出来なかった。

今後、この試験槽等を利用して引き続き表面処理の問題、あるいは真空に関するテストを行うことにより今回報告したテストの正確な結果が得られると思われ、又この種のテストを積極的に進めたい。我々はさらに超高真空技術を身につけていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 極端紫外光実験施設(UVSOR)計画、その総括集 分子研 1979.
- 2) TARNの真空系 満洲明 真空 VOL. 22 NO. 6 P. 1~7.
- 3) SOR-RINの真空系及びアルゴン社電洗浄の結果 北村英男 佐々木泰三
THE MEETING ON ULTRA HIGH VACUUM TECHNIQUES FOR PHOTON FACTORY
PROJECT, KEK, FEBRUARY 22-23, 1979. P. 86~98
- 4) 真空技術 堀越源一 東京大学出版会 1976.

SUS304鋼薄板のへり継手溶接部の形状と組織について

東北大学金属材料研究所

佐々木栄一、中沢哲雄

山口久、猪狩博志、川村秀夫

1. まえがき

極低温用機器のうち使用の際に大きな熱応力の発生が予想されるクライオスタットやリザーバーなどの使用材料としては低温で衝撃値の低下を示す遷移温度がなく、使用温度においても強度が大きい上に降伏比が比較的小さく延性の大きなオーステナイト系ステンレス鋼が多く用いられる。

一般的にはこれらの材料として多少の問題はあるとしてもSUS304鋼を使用することが多い。しかしこれらの機器が図1に示すクライオスタットの例のように溶接構造の場合は溶接部の低温における特性や溶接欠陥に注意が必要である。溶接金属は鍛造組織であるため母材と組織が異なる上溶接欠陥が生じ易く、また母材の熱影響部(HAZ)にも欠陥が生じ易い。溶接材の低温での衝撃値は母材>HAZ>溶接金属の順に低くなる。

従ってクライオスタットなどの故障は使用の際の大きな熱応力と溶接部の欠陥によって溶接部から発生することが多い。

今回クライオスタットの溶接継手の設計やその溶接条件の選定の参考とするためSUS304鋼薄板のへり継手のTIG溶接(手溶接)試験を行ない、溶接条件と溶接金属の形状および組織や溶接欠陥との関連などについて検討した結果、若干の知見が得られたので報告する。

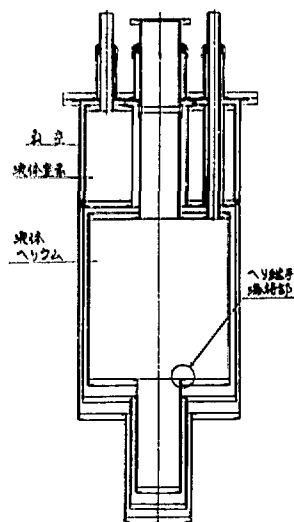


図1 金属製クライオスタットの例

2. 溶接試験方法

2.1 供試材料

使用した薄板材料は市販の厚さ0.5mmおよび1mmのSUS304鋼材であり、規格の化学成分は次の通りである。

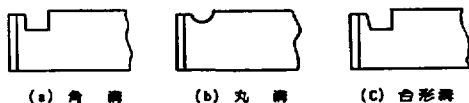
化学成分(%)

C: 0.08以下, Si: 1.00以下, Mn: 2.00以下, P: 0.040以下,

S: 0.030以下, Ni: 8.00~10.50, Cr: 18.00~20.00

2.2 溶接継手の形状

クライオスタットのような薄板の円筒部分と比較的円厚の鏡板やフランジ部分を溶接する場合、溶接継手の形状としては均等な加熱と熱応力の低減(変形防止)や溶接作業性の向上などの点から図2に示すようなへり継手が用いられることが多い。今回の試験ではへり継手の形状として、次の3つの形状のものを選んで試験を行なった。



(a) 角溝 (b) 丸溝 (c) 台形溝

溝形状

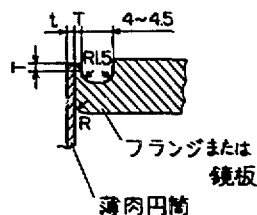
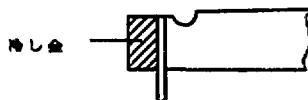


図2 ヘリ継手の例

2.3 溶接施工条件

溶接試験の施工条件と冷し金の使用方法は次の通りである。

- 溶加棒-----なし
- 溶接電圧-----11V(30A, 25A), 10V(20A, 18A), 9V(15A)
- 溶接電流-----図示および附表に示す
- 溶接速度-----〃
- 溶接入熱-----〃 (電圧×電流 / 溶接速度)
- アーク長-----約2.0mm
- 電極径-----1.6mm(2%トリタン)
- 保護ガス流量-----15 l/min
- トーチ角度-----約45°
- 極性-----D.C 正極
- 溶接姿勢-----下向き
- 溶接方法-----手溶接(ストリンガービード)



冷し金使用の場合

冷し金使用方法

冷し金鋼製

(断面寸法、3mm×20mm)

2.4 検査試料

各試験片の溶接ビードの任意の位置およびビード継ぎ目部分の横断面を研磨したのち、10%の硝酸液中において電圧5Vで15~20秒間電解腐食を行った。

2.5 硬さ測定

溶接部の横断面のほぼ板厚の中心線上を溶接金属、HAZ、(母材)についてマイクロビッカース硬度計(荷重100g)を用いて硬さを測定した。

3. 試験結果と考察

3.1 溶接金属について

図3はヘリ継手溶接部の名称を図解的に示したものである。

(1) 溶接金属の形状

図4に示すように溶接金属の形状は溶接条件が一定であっても、ヘリ継手の形状によって異なり、角溝の場合

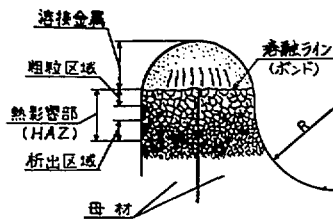


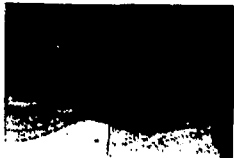
図3 ヘリ継手溶接部の各部名称



角溝



溶接電流 30A
(d) 溶接速度 90mm/min
溶け込量 3.6w/mm



丸溝



溶接電流 30A
(b) 溶接速度 95mm/min
溶け込量 3.4w/mm



U形溝



溶接電流 30A
(c) 溶接速度 90mm/min
溶け込量 3.6w/mm



角溝



溶接電流 18A
(e) 溶接速度 95mm/min
溶け込量 1.9w/mm



丸溝



溶接電流 18A
(b) 溶接速度 90mm/min
溶け込量 2w/mm



U形溝



溶接電流 18A
(c) 溶接速度 90mm/min
溶け込量 2w/mm

へり継手の形状と溶接金属部の形状との関係
〔1φ、×20（冷し金有、溶接条件一定）〕

へり継手の形状と溶接金属部の形状との関係
〔0.5φ、×20（冷し金有、溶接条件一定）〕

図4 へり継手の形状と溶接金属部の形状との関係

は薄板側に溶け込みが多くなって傾き易くなり、台形溝では溶け込み量が不足となる上にやはり薄板側に溶け込みを増して傾き易くなるが、丸溝の場合は形状が正常であり、溶け込み量も適当であった。

これらのことからへり継手溶接では溶接金属の形状はへり継手の形状と関連があり、そのほかに図2のφとTの関係やトーチ角度、ビード形成法等に関係し、当然ながら溶け込み量は溶接電流と溶接速度によって大きく変わる。またへり継手溶接では溝の形状のほかφ=Tとして薄板側に冷し金を使用しても薄板側に溶け込みを増して溶接金属は傾き易くなり、冷し金を使用しないとさらに薄板側に傾くようになる。この傾向は厚さ1mmの場合より0.5mmの場合に顕著であり、さらに0.5mmでは冷し金による拘束がないため変形し易くなる。このほかビードの継ぎ目はビードが再溶融されるため溶接金属の形状は不整になり易い。

以上のことからへり継手の形状としては丸溝がもっともよい結果が得られたので、以下の報告はすべて丸溝の場合とする。

溶接電流および溶接速度と溶接金属の形状との関係については厚さ1mmの場合図5の写真から電流を一定とした場合の速度による溶接金属の形状の差とほぼ速度を一定とした場合の電流による溶接金属の形状の差を比較できる。この結果電流30Aの(a)と(b)では速度による差は明らかでないが、25A、20Aでは速度による差が明らかになように、電流が小さくなるに従って速度による差が明らかになる。また速度が同じ場合の電流の影響は30Aの(b)と25Aの(d)では(d)の方が溶け込み量が大い点が注目される。(d)と(e)では電流による差が明白である。厚さ0.5mm板では溶接電流18Aの場合、溶接金属の形状の速度による差が認められ速い方が溶け込み量を

増している。

(2) 溶接金属の組織

SUS304鋼は図6の平衡状態図では凝固の最初はフェライト(δ)单相であるが、温度低下するに従ってオーステナイト(γ)への変態が進み、 $\delta+\gamma$ の2相領域を経て常温ではオーステナイト組織となる。

しかし溶接では溶接金属は母材を實質的な铸型として急冷凝固した铸造組織となるため $\delta\rightarrow\gamma$ の変態が抑制されて常温でも δ フェライトが存在する平衡状態と異なった組織となる。

溶接金属の組織は図7に示すシエフラーの組織図によって求めることができる。

オーステナイト系ステンレス鋼の溶接では溶接金属の高温割れの防止に δ フェライトは効果があるため5~6%程度これを含む組織とすることが多い。

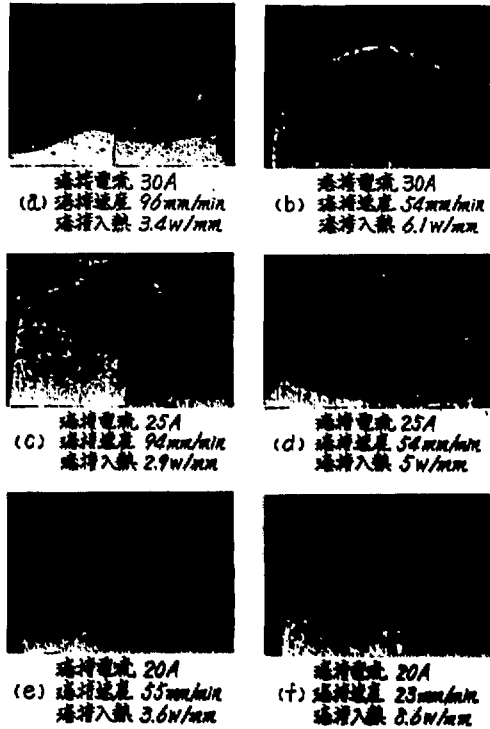


図5 溶接速度と溶接金属部の形状との関係

(1) 丸線、 $\times 20$ (角は直角、溶接電流=定)

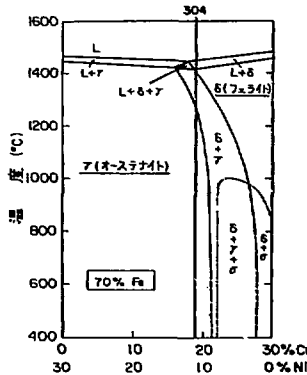


図6 Fe-Cr-Ni系断面平衡状態図 (Fe 70%)

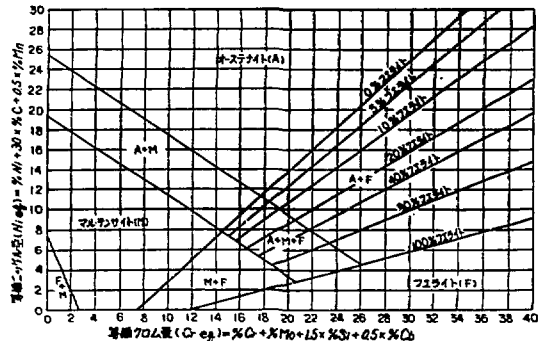


図7 ステンレス鋼溶接金属のSchaeffler組織図

しかし δ フェライトは体心立方晶の結晶構造であるため、炭素鋼と同じように低温で脆性を示し、 δ フェライトがあると図8に示すように溶接金属は低温衝撃値が低下するので、低温で使用する場合

では好ましくないため、5~6%を越えない方がよい。

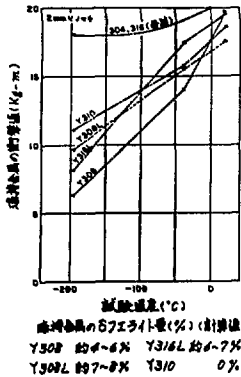


図8 TIG溶接による溶接金属の低温割裂値

溶接金属中のδフェライト量は材料の化学成分のほか冷却速度によっても変わり、薄板溶接のように冷却速度の早い場合にはシエラーの組織図から求められるδフェライト量よりも多くなる。今回の試験でも図9の(a)(b)に示すよ

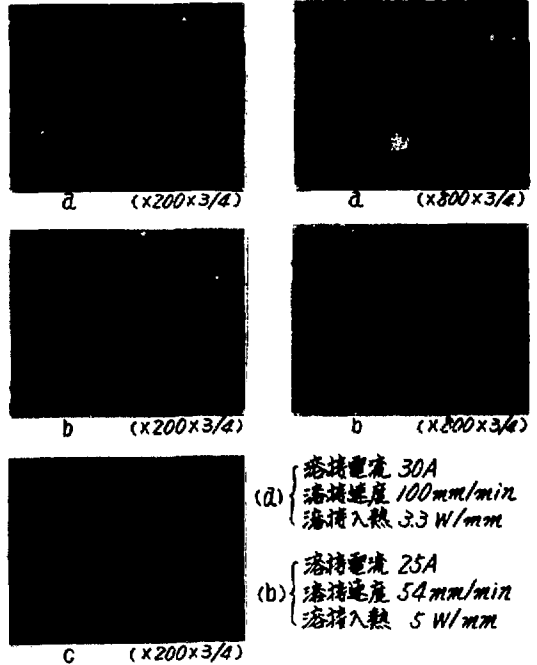
うに冷却した場合に比較して約2~2.5倍の量のδフェライトが認められた。これらのδフェライトは溶接金属の中でも場所によって形態が異なり冷却のもっとも早い溶融ライン付近では太い針状のラス状で量も多く、中央部は粗く細いラス状となり、冷却の遅い表層部は不連続的なネットワークを示している。またδフェライトは溶接条件によっても異なり図9の(a)と(b)では入熱の多い(b)ではδ→αが進み粗く粗く量も少なくなっている。このδフェライトは常温では不安定な組織であるから図10に示すように加熱によってδ→αの変態が進行してその量が減少する。

図9の(c)は固溶化熱処理(1050°C, 30分保持後水冷)後の溶接金属中のδフェライトの状態を示したものであり、δフェライトは球状化した上にその量も激減し、保持時間をもっと長くすると消滅することがわかる。

3.2 熱影響部(HAZ)について

(1) 溶接割れ

溶接の場合にもっとも欠陥の発生しやすい溶融ライン(バンド)付近では図11に示すように母材の粒界に沿った局



(a) 溶接電流 30A
溶接速度 100mm/min
溶接入熱 3.3 W/mm

(b) 溶接電流 25A
溶接速度 54mm/min
溶接入熱 5 W/mm

図9 溶接金属中のδフェライト

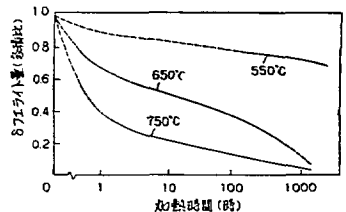
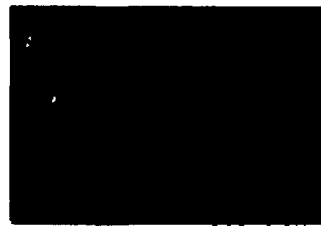


図10 δフェライト量の加熱温度と時間による変化



(x200 x3/4)



(x800 x3/4)

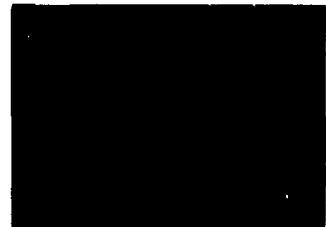
図11 溶接欠陥 (HAZの粒界溶融の例)

部分的な溶融(粒界溶融)と思われる欠陥が見られたものがある。これが割れと断定できないとしても割れの原因となることが十分考えられる。厚さ1mmの場合にはこのような欠陥は溶接速度よりも溶接電流による影響が大きく、30Aでは電流が大きいため多少速度を変えても欠陥が認められたが、25Aでは速度による差が明らかになり、速度の遅い方に欠陥が生じた。20Aでは速度による差は認められるが、電流が小さいため粒界溶融のような欠陥は生じなかった。厚さ0.5mmでは1mmと比較して溶融ライン附近の欠陥が少ないのは冷却速度が早いと考えられる。

そのほか1mm、0.5mmのいずれもビードの継ぎ目は再溶融されるため欠陥が生じ易く、始点の方が終点よりも欠陥が多い傾向が認められる。これは終点の方がアークスタートの始点より予熱の効果があるためと考えられる。

(2) 素材の使用方向による欠陥

図12に示すように素材のフランジ材の圧延方向が溶融ラインに直角になるように使用すると材料の圧延方向の縞模様の間が選択的に溶融して生じたと思われるスパイク状のδフェライトが認められるものもあり(附表の試料No.3, No.4)平行に使用したものには認められない。

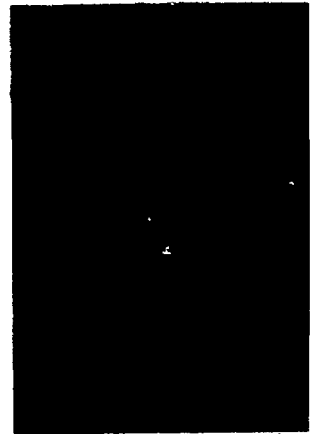


(x200 x3/4)

図12 素材の使用方向による欠陥

(3) HAZの結晶成長

厚さ1mmの場合、図13に示すようにHAZに結晶成長が認められるものがあった(図は附表の試料No.4を示し、その他No.2, No.6等にも認められた)。0.5mm板では冷却速度が早いこともあって明瞭な結晶成長は認めにくい。HAZの結晶成長は入熱量の多いものほど大きいですが、溶接電流よりも溶接速度による影響が大きく、溶接速度の違い(加熱時間が長い)ものほど成長が大きい傾向がある。



(x200 x3/4)

図13 HAZの結晶成長

(4) 炭化物の析出

SUS304鋼を鋭敏化温度範囲(550~850°C)に加熱保持すると粒界にCr炭化物が析出することはよく知られている。この析出は図14に示すように750°C附近の温度でもっとも早く起り、また炭素量の多いものほど短時間で析出する。今回の試験に使用した厚さ1mmの素材を750°Cに加熱保持すると図15に示したように約100秒後に析出が認められ、200秒後では典型的な析出を示す。

SUS304鋼薄板のヘリ継手溶接ではHAZの炭化物析出はほとんど認められなかったが、これは冷却速度が早いためと考えられる。しかし溶接の残留応力を除去するため鋭敏化温度範囲より上の900°Cに加熱し、30分保持後空冷したものは図15の(d)に示したように明瞭な析出が認められる。これは除冷のため鋭敏化温度範囲の通過の際に析出したものと考えられる。

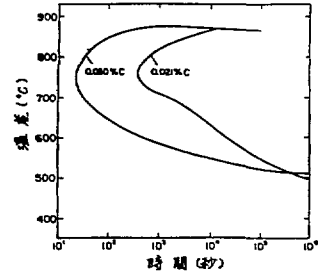


図14 SUS304鋼の炭化物析出におよぼす温度と時間の関係

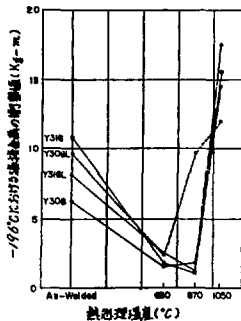


図16 低温衝撃値におよぼす熱処理の影響

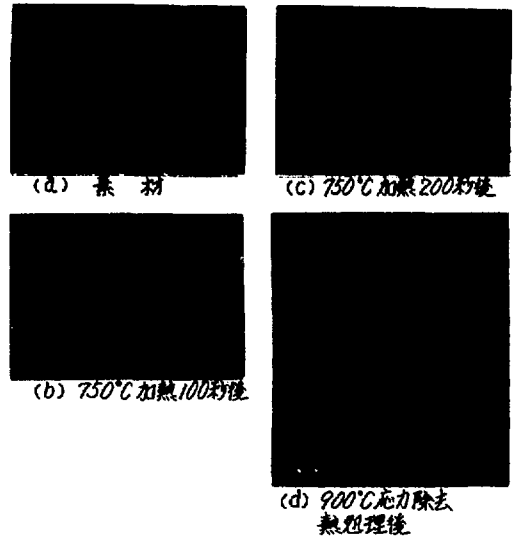


図15 炭化物析出状況 (x100 x 3/4)

オーステナイト系ステンレス鋼でこのような炭化物の析出があると図16に示すように低温での衝撃値が低下するので、低温で使用する場合は固溶化熱処理するか、熱処理が困難な場合は応力腐食等の問題がなければむしろ応力除去熱処理を行なわない方がよい(500°C以下の低温熱処理は大応力の除去は期待できる)。

4. 硬さ測定結果

溶接部の硬さについては、どの試験片も多少のバラツキはあってもほとんど母材の硬さ(Hv185~

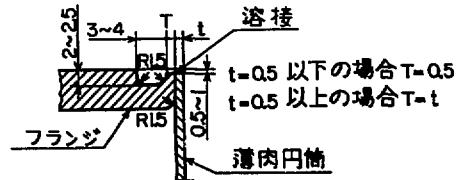
190)程度であったが、溶融ライン上では Hv 220~230程度と比較的高い値を示した。

5. まとめ

(1) ヘリ継手の形状によって溶接金属部の形状と溶け込み量が変わるので溶接条件を変える必要がある。実験結果からクライオスタートのヘリ継手溶接では下図に示すような継手形状(丸溝)が溶接金属部の形状も正常で、材料力学的な強度の面からもよいと考えられる。

(2) 冷し金の有無は溶接条件のほか溶接部の形状や組織に影響を与えるが、特に薄板ほど冷却速度のバランスと拘束による変形防止のほか欠陥の制御にも効果的である。

(3) 溶接部の溶融ライン(ボンド)に近いHAZに局部的な粒界溶融や結晶粒の成長が認められたものがある。これらの溶接欠陥は入熱量と関係があるが、粒界溶融は溶接速度よりも溶接電流による影響が大きく、結晶粒の成長は溶接電流よりも溶接速度による影響が大きいように思われる。



(4) 薄板溶接では冷却が早いので、溶接金属中には平衡状態よりもかなり多い量の δ フェライトが認められる。その量と形態は溶接入熱と関係があるが、溶接電流による影響が大きいように思われる。溶接電流が大きく溶接速度の早いものほど δ フェライトは太く連続的で量も多くなり、逆に溶接電流が小さく溶接速度の遅いものほど δ フェライトは細く不連続で量も少ない。

(5) T/Gによる手溶接では溶接電流が大きいほど溶接速度の増加により入熱量を制御してHAZに生じる欠陥を防止することは難しい。従ってHAZの結晶成長がなげり溶接電流を低くし、溶接速度を遅くした方が作業も容易な上欠陥も少ないと考えられる。

(6) ビードの継ぎ目(オーバーラップ部)部分は溶接金属の形状の不整やHAZに粒界溶融、結晶成長などの欠陥が生じ易く、アークスタート(始点)部分では粒界溶融が終点では結晶成長が生じ易い傾向が認められた。また δ フェライト量は始点より終点が減少しておりこれは予熱をうけた効果と考えられる(HAZの欠陥も予熱の影響をうける)。

(7) 薄板溶接では加熱時間も短かく冷却速度も早いのでHAZにCr炭化物の析出は認められない。しかし鋭敏化温度より高い900°Cの応力除去熱処理を行なったものでも、母材部分の粒界に明らかな炭化物の析出が認められた。

(8) 素材のステンレス鋼板を使用する場合、溶融ライン(ボンド)と圧延方向が直角になるように使用すると欠陥が認められるものもあった。

追補: 溶接部のボンド近くの硬度が高いのは、この部分が他の部分よりも急冷度が高いので δ フェライト量が多いため、従ってCr濃度が高いためと考えられる。

SUS304 鋼溶接のヘリ層手TIG溶接試験結果の比較

| 試験番号 | 板厚 mm | 溶接位置 A | 溶接速度 mm/min | 溶接入力 W/mm | 肉し合 | 溶接位置別状態 | 溶け込み量 | HAZの溶接欠陥 | | 備 考 |
|--------|----------|-----------|----------------|--------------|-----|---------|--------|----------|------|----------|
| | | | | | | | | 気孔発生 | 結晶成長 | |
| NO. 1 | 1 | 30 | 9.6 | 3.4 | 行 | ◎ | ○ (不足) | × | ○ | |
| NO. 2 | 1 | 30 | 5.4 | 6.1 | 行 | ◎ | ○ (不足) | × | △ | |
| NO. 3 | 1 | 25 | 9.4 | 2.9 | 行 | ◎ | △ (不足) | ○ | ◎ | |
| NO. 4 | 1 | 25 | 5.4 | 5.0 | 寄 | ◎ | △ (過大) | × | × | |
| NO. 5 | 1 | 20 | 5.5 | 3.6 | 寄 | ◎ | × | ○ (不足) | ◎ | |
| NO. 6 | 1 | 20 | 2.3 | 8.6 | 寄 | ◎ | ◎ | ◎ | △ | |
| NO. 7 | 1 | 30 | 16.5 | 2.0 | 無 | ○ (傾斜) | ◎ | △ | ○ | |
| NO. 8 | 1 | 30 | 13.6 | 1.5 | 無 | △ (傾斜) | △ (不足) | × | ○ | |
| NO. 9 | 1 | 30 | 17.0 | //// | 寄 | ○ (傾斜) | ○ (不足) | △ | ○ | 融着目 (気泡) |
| NO. 10 | 1 | 30 | 17.0 | //// | 寄 | ◎ | ○ (不足) | ○ | △ | 融着目 (気泡) |
| NO. 11 | 1 | 30 | 17.0 | //// | 無 | ○ (傾斜) | ○ (不足) | × | ○ | 融着目 (気泡) |
| NO. 12 | 1 | 30 | 17.0 | //// | 無 | ◎ | ○ (過大) | △ | △ | 融着目 (気泡) |
| NO. 13 | 0.5 | 18 | 15.5 | 1.2 | 寄 | ◎ | ○ (不足) | ○ | ○ | |
| NO. 14 | 0.5 | 18 | 9.0 | 2.0 | 寄 | ◎ | ○ (過大) | ○ | ○ | |
| NO. 15 | 0.5 | 18 | 30.0 | 0.6 | 無 | × | △ (傾斜) | × | ○ | |
| NO. 16 | 0.5 | 18 | 27.0 | 0.5 | 無 | × | △ (傾斜) | × | ○ | |
| NO. 17 | 0.5 | 18 | 20.0 | //// | 寄 | ◎ | ○ (過大) | △ | ○ | 融着目 (気泡) |
| NO. 18 | 0.5 | 18 | 20.0 | //// | 寄 | ◎ | ○ (過大) | ○ | △ | 融着目 (気泡) |

注 (1) 気孔発生量は15%以下 (2) HAZの異化物析出は溶接状態では気象写真で認められない。
記号：◎良好、○やや良好、△やや不良、×不良

参考文献

- 1) D.A. Wigly : *Cryogenics*, Vol. 8, (1968), 3.
- 2) 田村 博 : *溶接学会誌*, Vol. 41, (1972), 127.
- 3) W.T. DeLong : *Welding Journal*, Vol. 53, (1974), 273-S.
- 4) J.E. Spruiell, W.E. Fett and C.D. Lundin : *Welding Journal*, Vol. 56, (1977), 289-S.
- 5) 足立正博 : *溶接技術*, 10月号 (1978), 33.
- 6) U.S. Raghunathan, V. Seetharaman and P. Rodriguez : *Met Trans.*, Vol. 10A, (1979), 1683.
- 7) J.C. Lippold and W.F. Savage : *Welding Journal* Vol. 59, (1980), 48-S.

1. はじめに

高圧発生装置とは、実験室に地球深部に存在する巨大な圧力を目標にして高圧を発生させ、人造鉱物の合成やその物性測定を行なう装置である。無機材料所においては、神鋼製キュービック型高圧発生装置が稼動している。この圧力容器は、多面体加圧方式に属するものであり、立方体6個の面に、各々力が加わるように設計されている。(図1) 通常2万気圧以上の圧力発生には圧力媒体として固体がよく使われる。その場合には、加軸方向の応力成分が大きくなり、静水圧性からのずれが問題になる。多面体加圧方式はいわゆる、ピストンとシリンダーを使った、一軸圧縮に代って静水圧性においてすぐれている。

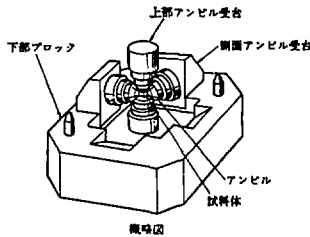


図 1

又、多面体アンビルは圧力空間からの、応力勾配を工夫する事により、比較的大容量で超高圧発生を可能ならしめる装置である。従々のところでは、後者の特徴を利用すべくキュービック型装置の中に、さらに、8個の各々頂点を切りかいた立方体を中心部に、8面体が出来るように、組合せた。高圧装置を入れ、二段加圧方式にして、20万気圧以上の超高圧力発生を行なっている。

この加圧方式は、一般に(図2)6-8アンビルと名付けられ、阪大のKawai等により始められたものである。一段目キュービック型装置のアンビルの一边の長さは、40mmであり、二段目の8アンビルは、一边21.5mmの立方体で、八面体の一边の長さが、2mmになるように頂点に切りかき互に嵌めたものである。プレスは、2500tonである。二段加圧はより超高圧を発生させるために、一段目アンビルの大きさを大きくして、二段目即ち圧力空間により大きな加重をかけるようとするものである。そのため、大き目アンビルで、小さ目圧力空間を制御する必要がある。

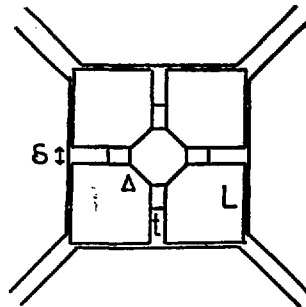
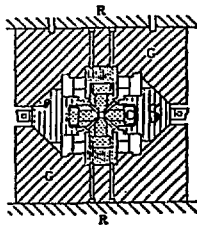


図 2 6-8型アンビル

2. キュービック装置のアンビル調整

図3は、一段目キュービック装置の断面図である。上下のサイドブロックには、各々直角の位置に45°の勾配の斜面がある。上下のサイドブロックを合わせた時、上と下の斜面によって作



R: プレスラム, G: ガイドブロック
C: アンビル
正六面体型アンビル
超高压装置

図 3

られる4つの空間に、それぞれアンビル受台Sが入る。4つのアンビル受台Sと上と下のガイドブロックGには、各々1個のアンビルが取付けてある。プレスラムRにより、図の上下方向にガイドブロックが圧縮されるとガイドブロックの進みに応じて斜面上も、アンビル受台が進み上下と横4個のアンビルが、互いに立方体の形をしながら、中心に向かって進む。

次に、この装置の6個のアンビルの軸合せは、立方体をした銅を加圧し(図4)、加圧後の立方体面間距離3個と、アンビル間の隙間にはみ出した立方体の積の厚み12個を測定し、各々の値を、出来るだけ述べるように行なってきた。図5に示すように、キュービック装置の各々のアンビルは、X・Y・Zと3つの独立

な自由度を持っている。従って、未知数は6個のアンビルで18となる。既に記したように、銅ブロックの加圧により測定されたのは、銅のはみ出しの厚み12個と、面間距離3個の計15個である。3個の未知数については、測定できなかった。このため、従来の軸合せにおいては、取扱いの困難さもある。上アンビル1つを固定して、他の5個のアンビルの最適値で、調整していた。しかし、上部アンビルを固定することは、任意に置いたばかりであり、調整のための未知数を減らしたことはない。たとえば、各面間距離の各々のはみ出しの厚みのずれを、零に調整出来たととしても、図6に、示すように互いに直交する各面内で、アンビルが回転している。分からないからである。これは、対向するアンビル面の、中心軸のずれに相当し、加圧後、銅ブロックの対向する3つの面の中心軸のずれを測定することにより明らかになる。この3個の測定値により、これまでの、15個の測定値とあわせて6個のアンビルの自由度と同じ18個の測定値が求められることになる。

今回、加圧後、銅ブロックの中心軸のずれを測定する装置を製作した。また、この装置を使いアンビル軸合せを、実際に行なった。次に、これ等の結果について述べる。なお、キュービック型装置のアンビル軸合せにおいて、面中心軸のずれを測定したのは、我々のところが、初めてであり、超高压発生への成果が、期待される。

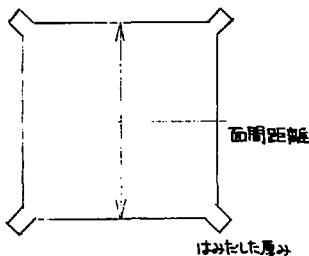


図4 カ加圧された銅ブロック

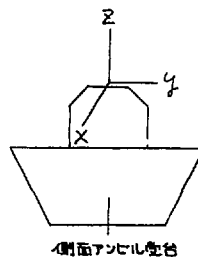


図 5

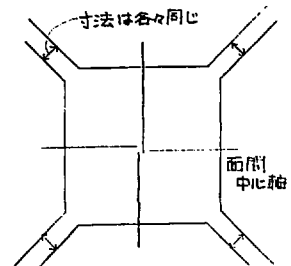


図 6

3. 加圧鋼ブロックの測定方法

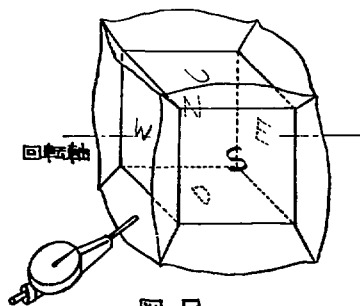
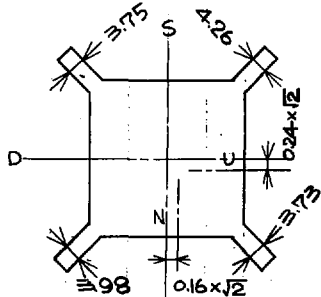


図 7

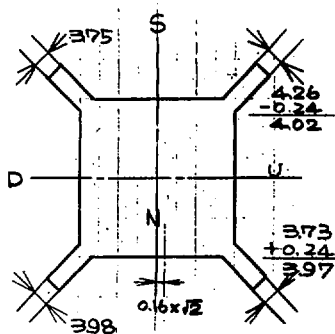
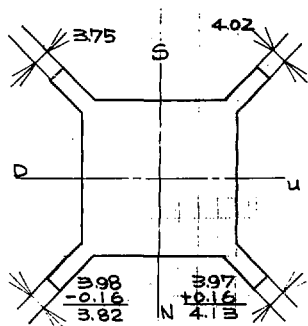
以上の理由により、次の測定方法を考えた。加圧後の鋼ブロックを、図7の4ヶ所の加圧面U・S・N・Dで保持し、これに上下、前後の移動機構を設ける。さらに、これ全体を回転しながら図7のように、ダイヤルゲージでチェックすることにより、回転軸とW面の中点軸を一致させることができる。この状態で、E面の斜面にダイヤルゲージのレバーを、ほぼ平行に当て、回転によって得られる対面との測定値の差の $\frac{\sqrt{2}}{2}$ が、W・E面の中点軸の差である。この測定をU・D面・W・E面に対しても行ない、鋼突出部分の厚さ、対向するアンビルの

中心軸が、それぞれ一致するようにすると、アンビルX・Y方向の調整量が出る筈である。

次に、この方法で測定を行なった場合の、加圧鋼ブロックの測定値から、アンビルの調整量を出すまでの具体例を示す。

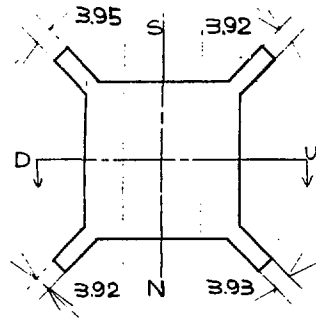
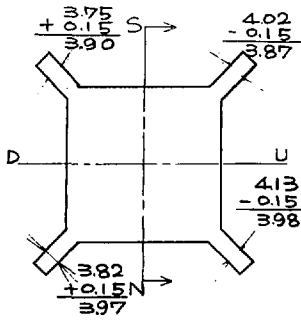


(1) 測定値



(2) DUアンビルの融合せを行なった後の厚さ。アンビルの移動による厚さの変化は $\frac{\sqrt{2}}{2}$ なので、測定値 0.24 をそのまま加減する。

(3) SNアンビルの融合せを行なった後の厚さ



(4) S,N軸をU側に0.15移動した後の厚さ (5) D,U軸をN側へ0.05移動した後の厚さ
最終的な調整量は、D→Nへ0.05、U→Sへ0.19、S→Uへ0.15、N→Dへ0.01

4. 装置の製作

図8・図12・図13が、装置の組立図である。測定誤差±0.01mmを満足させるために、回転軸のフレタ、ある程度小さくする必要がある。図8の部品番号②のリングは、6個のベアリング(NSK 69004純)で、保持され、ベアリング軸動部の真円度3μ以内、面端面との同軸度3μ以内、リング②・⑦・②・⑨のそれぞれの端面には、キサゲ加工を行なった。

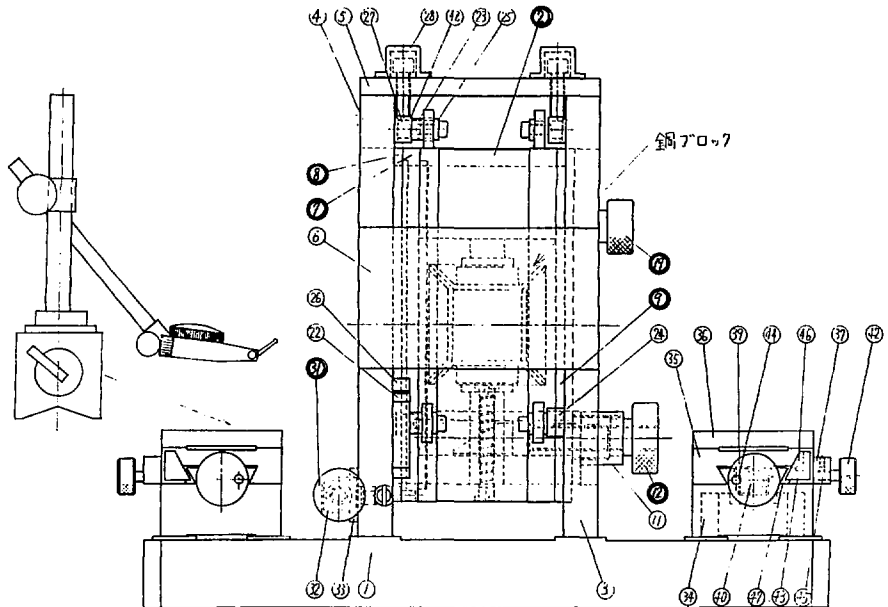


図8 装置正面図

リング④は、3ヶ所の押しネジ・引きネジで、軸方向に移動し、リング②の軸方向の間隙を調整する。加圧後の銅アロフは、断面図9に示される⑬で4方向から保持される。ハンドル⑫を回転するこきにより、左ネジの切られたクサビ③が前後し、これにより④は、外周方向に引っぱられたり上下する。リング②に、部品を取り付け後の真円度は、ネジ締結の変形によりらむであつた。このらむは、回転軸のつれが、5μ以内を有するNIKKEN300HPのロータリーテーブルで削、たものである。図8の左右の載物台は、マグネットスタンドをセットし、ダイヤルカージを回転中心軸下に位置させるために前後する。ハンドル⑬は、回転リング②のクランプであり、ハンドル⑭は、②の微動用である。

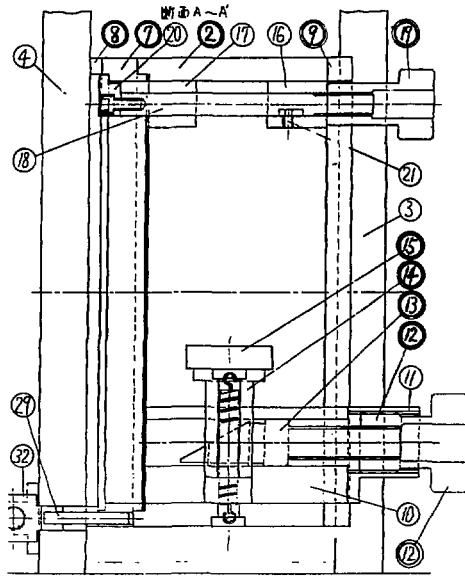


図 9

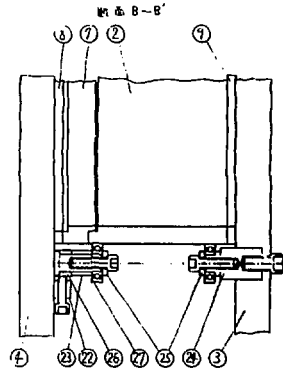
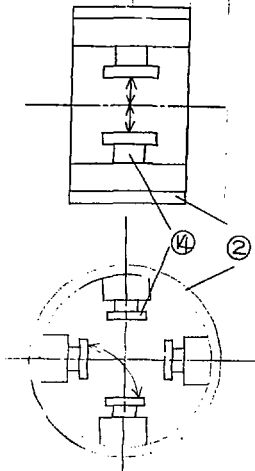
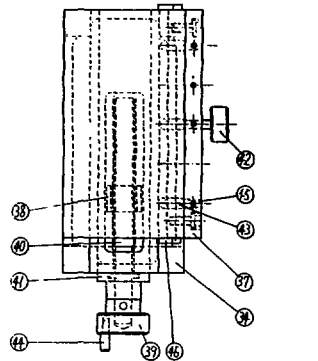


図 10



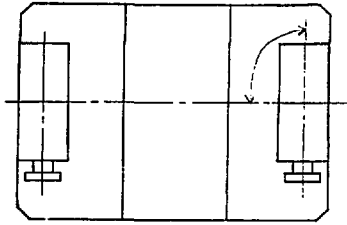
載物台平面図

図 11

組立後の各部分の誤差は、次の通りである。

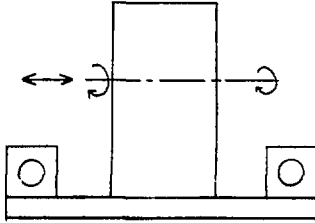
対応する銅アロフ保持部分⑬の、回転軸に対する平行度は長さ40mmで、3μ以内

⑬の、各面の直角度は長さ40mmで、3μ以内



回転軸と左右置物台の移動距離75mmに対して
直角差0.01mm以内

回転軸のラジアル方向のつしは ±5μ以内
スラスト方向のつしは 3μ以内



以上が、組み立て後の精度であったが、加圧後の
銅ブロックの測定誤差±0.01mmはほぼ満足して
いる。

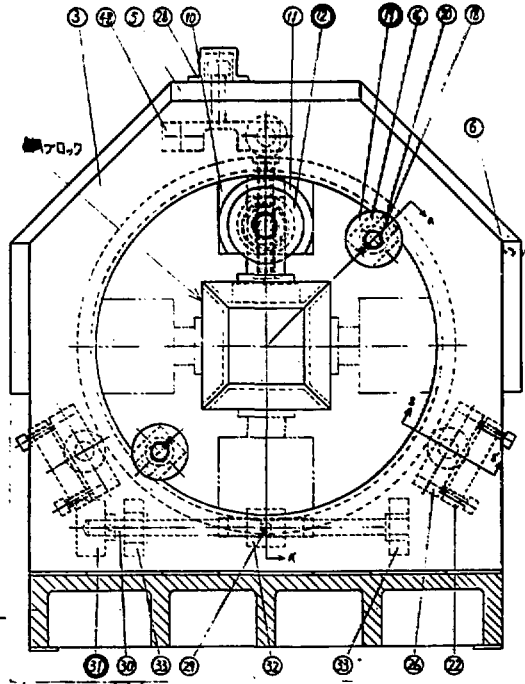


図 12
装置側面図

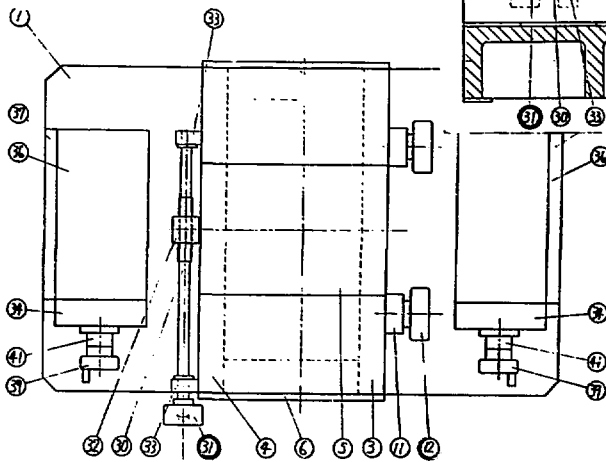


図 13
装置平面図

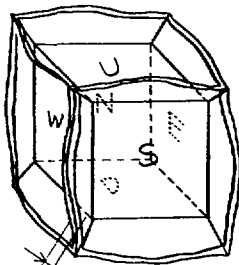
5. 結果

| | | 調整前 (注) | 調整後 | |
|---------------|-------------------------------------|-----------|--------|----------|
| 面間寸法 (mm) | U-D | 45.80 | 45.83 | |
| | E-W | 45.80 | 45.85 | |
| | N-S | 45.81 | 45.85 | |
| 銅流出部分 (mm) | U-E | 3.80 | 3.94 | |
| | U-N | △ 3.73 | 3.93 | |
| | U-W | 3.99 | 3.93 | |
| | U-S | ○ 4.23 | ○ 4.01 | |
| | E-N | 4.01 | 3.97 | |
| | N-W | 3.91 | 3.99 | |
| | W-S | 3.94 | 4.00 | |
| | S-E | 3.98 | 3.96 | |
| | D-E | 4.06 | 3.91 | |
| | D-N | 3.98 | △ 3.90 | |
| | D-W | 3.80 | 4.00 | |
| | D-S | 3.75 | 3.96 | |
| | 対向面 マン セル の 軸 誤 差 | E±O 基準 | W-U | ○ + 0.35 |
| | | W-N | 0.04 | ○ 0.10 |
| | | W-D | 0.00 | 0.10 |
| (注 2mm) | | W-S | 0.35 | 0.04 |
| S±O 基準 | | N-U | 0.00 | 0.00 |
| | | N-E | 0.07 | ○ 0.09 |
| | | N-D | ○ 0.32 | 0.08 |
| | | N-W | 0.28 | 0.04 |
| D±O 基準 | | U-S | ○ 0.48 | 0.02 |
| | | U-E | 0.18 | 0.08 |
| | U-N | 0.00 | 0.07 | |
| | U-W | 0.30 | 0.00 | |

以上の装置によ
り得た結果を、左表
に示す。

○印……最大値
△印……最小値

(注) 従来の方法による
加圧、調整後の測定
値を要す。



銅流出部分(W.S)

上記の結果は、1回目の調整値であり、銅流出部の
厚さ、マンセルの軸誤差は減少しつつある。さらに
調整をくりかえすことにより、設置精度が向上するも
のと思われる。