



溶接ベローズの耐久性試験。使用環境を考慮して、高温下や真空内での試験も実施する。

MANUFACTURING
POWER OF JAPAN

伸縮と長寿命の両立

真空装置に不可欠なベローズ

さまざまな産業分野や理化学研究分野などで、真空装置は幅広く使われている。代表的な用途である半導体製造分野においては、わずかな塵さえ電子回路に紛れ込まないようにしたり、ウェハ上に回路を形成する際に光の乱れを防いだりするために、真空技術が必要となり、ときには超高真空レベル(10^{-5} Pa以下)のきわめて高度な真空装置が求められることもある。

真空装置および周辺システムで使用される部品の1つにベ

ローズがある。ベローズとは「蛇腹」のことで、伸縮する継手として使われる。ベローズには、製造方法によって成形ベローズや溶接ベローズなどの種類がある。このうち成形ベローズは、パイプ側面に水圧をかけて、蛇腹状に成形する。一方、溶接ベローズは薄い中空円盤を重ね合わせて溶接し製造される。

1955年ごろ米国で開発された溶接ベローズは、日本では1963年ごろから製造されるようになり、その後、真空装置の普及とともに需要も急増した。

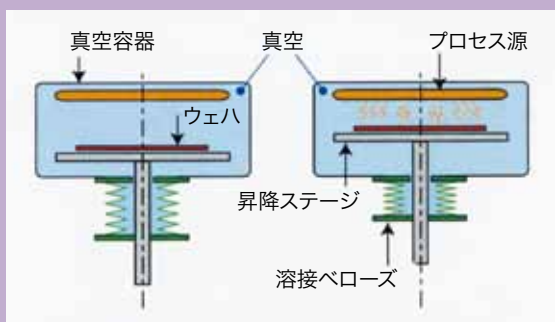
溶接ベローズは、材質の選択性が高い、内外径の寸法に対する自由度が大きい、などの特徴を持ち、用途や目的に合わせてさまざまな種類が使用されている。なかでも各真空装置間の位置ずれや運転中の振動、変位を吸収するために欠かせない要素部品として広く使用されている。

薄物を溶接するノウハウを蓄積

溶接ベローズの開発、製造で注目されているのが(株)ミラプロである。同社は十数年前から溶接ベローズの製造を始め、独自のノウハウを盛り込んだ製造技術を確認し、現在では国内でもトップクラスの実績を誇っている。

同社が作る溶接ベローズの種類は形状別におよそ130種類あり、大きいものは直径1m以上になる。最近では、液晶製造などに使われる直径約60cmの溶接ベローズを多く生産したという。

■ 真空装置内で使われる溶接ベローズの例

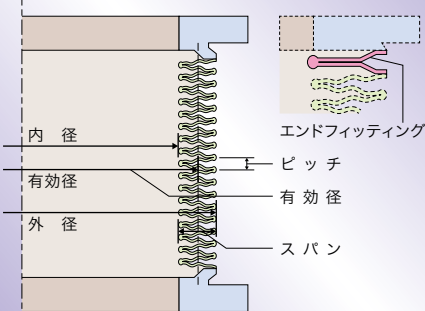


半導体製造でウェハ上に回路を形成する工程では、真空容器内にウェハを搬入し、位置制御するには、伸縮するベローズが使用される。このとき、ベローズは真空状態を維持する継手部品であり、なおかつ動作を行う機構部品でもある。



溶接ベローズのカットサンプル。
円盤は波型に成形されている。

■ 溶接ベローズの構造



■ 溶接ベローズの製造工程



部品となる中空円盤は、薄板からプレス
打ち抜きにより成形される。



溶接条件や位置制御、治具管理など、独自のノウハウを生かした
全自動溶接装置を開発し、24時間稼働システムを確立している。



成形された円盤

溶接ベローズ

溶接ベローズの製造工程を詳しく見てみよう。まず、蛇腹を構成する中空円盤を製造する。この部品は、プレス加工により薄板を打ち抜いた、波形形状の円盤である。次に、この円盤を重ね合わせ、内径および外径を交互に溶接し、蛇腹部を作る。この後、必要に応じてフランジなどを溶接する。最後の製品検査では、寸法検査、リーク検査、シール面検査、外観検査などの全数検査を実施する。

品質を左右するカギは、溶接技術である。同社では「薄物を溶接する」技術にこだわって技術開発を進めてきた。溶接ベローズにはおもにYAGレーザーを使用する。溶接棒などの異種材料は使用されないため、溶接部と母材の材質は同一である。溶接後、溶接部の断面形状は円形となり、丈夫で破損しにくい形状となる。このような形状であるため、溶接ベローズが収縮した状態では円盤同士は隙間なく密着し、縮んだ時と伸びた時との差（ストローク、伸縮幅）をより大きくすることが可能となる。

高精度のレーザーを使いこなすにはエネルギー制御や位置制御技術が必要となる。そのためには、優れた設備のみならずオペレータの技能も重要である。同社では、さまざまな溶接に関するノウハウを蓄積し、独自の全自動ベローズ溶接装置を開発した。この工程を核として24時間稼働生産システムを確立し、生産効率の向上を図り、製品のコストダウンと納期短縮を実現している。

最適設計から生まれる長寿命

同社の開発・設計部門では、需要家が使用する設備や環境などに応じて、最適な製品を提案している。

製品開発をする際、材料の選択は重要である。形状や寸法をはじめ、バネ特性、透磁性、疲労強度などの要求特性、さらに使用される環境やプロセスガス（腐食性ガスなど）の影響などを考慮し、最適な材料を選択する必要がある。

ものづくりの魅力

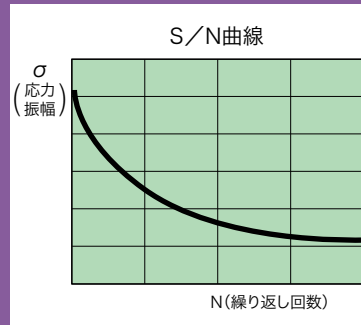
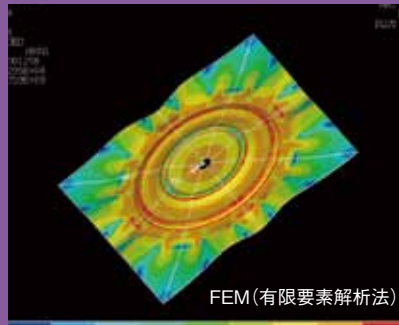


元は学校の教師だった私ですが、多くの人の助けがあってこそものづくりでここまでやってこられたと思います。日本のものづくりは、これまで努力して技術力を積み重ねてきました。これが最近ではどんどん海外に流出してしまっています。将来何をやって食べて行くべきか。真剣に考えるべき時期が来ているのではないかと感じます。（津金洋一 会長）

株式会社ミラプロ(山梨県北杜市)
1984年創業。半導体製造装置、加速器などの分野で使用される真空関連部品や製造装置の開発、製造を行う。主力商品である溶接ベローズは国内トップクラスのシェアを誇っている。
<http://www.mirapro.co.jp>

■ 最適化設計の取組み

伸縮に伴う応力集中や金属疲労が発生するため、溶接ベローズには緻密な寿命評価が求められる。そこでFEMシステムを導入して重要部分の評価を行なっている。これを元に精度の高いS-N曲線を求め、最適化設計を実施している。

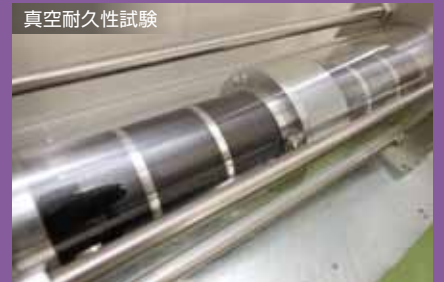


一般エリアと分離した製造室にはエアシャワー、クリーンマット、空気清浄機などを配置している。

■ 製品検査試験



品質検査では、寸法検査やリーク検査、外観検査などの全数検査を実施している。



使用される材料は厚さ0.1～0.3mm程度の薄板が多い。代表的な材料は、SUS304、304L、316Lなどのステンレス鋼である。このうちSUS316Lは、オーステナイト系ステンレス鋼の中でも特に耐食性に優れており、代表的な溶接ベローズの材料である。またAM350は、セミオーステナイト系析出硬化型ステンレス鋼であり、熱処理により優れた強度や硬度が得られる。例えば、長いストロークや狭い空間での配管誤差吸収用などの用途で、高い復元性や長寿命が求められる場合に適している。このほか、ハステロイなどの高ニッケル系合金は、強度、耐食性、耐熱性に優れ、腐食性ガス環境下などで使用される。

溶接ベローズの需要家にとって最も重要な特性は、寿命の長さである。薄い板を溶接して作るベローズは、長期間伸縮を繰り返すことにより、最初に破損するのは溶接部ではないかと思われやすい。ところが実際には、溶接部以外の箇所、つまり円盤部の疲労により破損が起こりやすいのだという。溶接部が弱点にならないように、いかに材料本来の強度を生かした設計ができるかがポイントである。

このため、円盤の形状を最適化することが重要であり、同社では、FEM解析を導入して最適設計を行っている。

製品は、耐久性評価を行い設計値との整合性を把握する。また高温環境など、使用環境を再現した試験も実施する。

同社では、耐久性試験のデータを長年にわたって蓄積しており、精度の高いS-N曲線を求めて、これを元に寿命予測を行っている。ベローズの要求寿命として、長いものは100万回あるいは1000万回の動作を保証するものとなっている。実際にこの回数に達するのは納入後概ね2、3年以上先のことである。将来の性能をどれだけ正確に予想できるかが、各メーカー



真空装置同士の連結に使用する角型ベローズ。従来は手動溶接が多かったが、一体プレス成形の大型部品を自動溶接によりベローズ形状に製造する技術が開発された。溶接は、パーティクルの混入を避けるため、高グレードのクリーンルーム内で行われる。

の持つ技術力の高さを計るバロメーターなのである。

同社のベローズの品質は業界でも評価され、製造装置関連だけでなく、これまでに科学技術の大型プロジェクトへ製品を納入してきた。例えば加速器や放射光施設の構築などで、真空関連領域のエンジニアリングや製品の提供を行ってきた。

最近の成果の一つが、東京大学宇宙線研究所が進めている大型低温重力波望遠鏡「KAGRA」への真空機器の提供である。人類がいまだしえなかった重力波の直接検出という世界初のプロジェクトのため、超高真空ダクト650t(12m×240本)をすでに納入した(本誌テクノスコープ記事参照)。この世界的な望遠鏡は、2017年から本格稼働する予定である。同社が長年ベローズで培ってきたノウハウは、世界が注目するビッグプロジェクトで、大きな役割を果たすものと期待されている。

●文 杉山 香里