

SEMI F78-0304

半導体製造用途における流体配管システムのガスタングステンアーク(GTA)溶接の作業方法

免責事項: この SEMI スタンドダードは、投票により作成された英語版が正式なものであり、日本語版は日本の利用者各位の便宜のために作成したものです。万が一英語と日本語とに差異がある場合には英語版記載内容が優先されます。

本作業方法は、Global Gases Committee で技術的に承認されたもので、North American Gases Committee が直接責任を負うものである。現行版は 2003 年 10 月 16 日 North American Regional Standards Committee にて承認されている。2004 年 2 月にまず www.semi.org で入手可能になり、2004 年 3 月発行に至る。初版は 2003 年 7 月発行。

1 目的

1.1 本施工方法の目的は、半導体製造用途における流体(液体や気体)分配システム用のステンレス鋼およびその他の耐食性金属と耐食性合金(CRA: corrosion resistant metals and alloys)の溶接手順を提供することである。これらの手順に従って実行された溶接部は、半導体製造用途で使用されるために必要なシステムの純度、溶接の健全性、溶接強度を提供するに十分な品質を有する。

2 範囲

2.1 本施工方法は、流体分配システムのステンレス鋼およびその他の CRA の突合わせ継手のガスタングステンアーク(GTA: gas tungsten arc)による自生溶接の手順を提供する。流体分配システムには、流体を格納、分配するチューブ、配管、フィッティング、バルブ、サブアセンブリ、コンポーネントが含まれる。

注意: このスタンダードはその使用に関連した全ての安全問題を取り扱うことを意図していない。このスタンダードの使用者は、その責任において、適切な安全および健康上の作業方法を確認し、また使用前に規制上その他の制限への適用性を判断するものである。

3 制限

3.1 本施工方法によってカバーされるステンレス鋼は、オーステナイト系および超オーステナイト系のグレードのステンレス鋼に限定される。

3.2 本施工方法によってカバーされる耐食性金属および合金は、固溶体型のニッケル合金および固溶体型のチタン合金に限定される。

3.3 本施工方法は、直径 6 インチ以下の流体分配システムコンポーネントに行われる GTA による自生円周溶接をした突合わせ継手にのみ適用される。

3.4 本施工方法は、自動式、機械式、あるいは GTA 溶接装置による溶接プロセスにのみ適用される。

3.5 本施工方法は、フィラーやフラックスなしで実行される溶接にのみ適用される。

3.6 本作業方法は、圧力容器やプロセスチャンバの溶接には適用されない。

4 参照スタンダード

注 1: 次の文書は、ここに記載されている範囲で、本施工方法の一部をなす。

4.1 SEMI スタンドダード

SEMI F20 — Specification for 316L Stainless Steel Bar, Extruded Shapes, Plate, and Investment Castings for Components Used in High Purity Semiconductor Manufacturing Applications

SEMI F81 — Specification for Visual Inspection and Acceptance of Gas Tungsten Arc (GTA) Welds in Fluid Distribution Systems in Semiconductor Applications

4.2 ANSI/ASME スタンドダード¹

ANSI/ASME Z49.1 — Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes

BPE — Bioprocessing Equipment Standard

B16.25 — Butt Welding Ends

B31.3 — Process Piping

Boiler and Pressure Vessel Code — Section IX, Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators

4.3 ASTM スタンドダード²

1 American National Standards Institute, New York Office: 11 West 42nd Street, New York, NY 10036, USA.
Tel: 212.642.4900; Fax: 212.398.0023 Website: www.ansi.org

2 American Society for Testing and Materials, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, Pennsylvania 19428-2959, USA.

A269 — Specification for Seamless and Welded Austenitic Stainless Steel Tubing for General Service

A450 (Section 25) — General Requirements for Carbon, Ferritic Alloy, and Austenitic Steel Tubes

A632 — Specification for Seamless and Welded Austenitic Stainless Steel Tubing (Small Diameter) for General Service

4.4 AWS スタンダード³

AWS A3.0 — Standard Welding Terms and Definitions

AWS B2.1 — Specification and Qualification of Welding Procedures and Welders for Piping and Tubing

注意: 別途指示のない場合、引用された全ての文書は最新版である。

5 用語⁴

5.1 定義

5.1.1 角度ミスマライメント(*angular misalignment*) — 溶接個所において、配管の角度が意図せずに変化している時に存在する状態。

5.1.2 自生溶接(*autogenous weld*) (2) — フィラー金属無しで行われる融合溶接。

5.1.3 自動アーク溶接ダウンスロープ(*automatic arc welding downslope*) — アークが消えるまでに溶接電流を最終レベルから連続的に減少させる時間。

5.1.4 軸方向ミスマライメント(*axial misalignment*) — 配管は直線状に揃っているが溶接部の中心に位置していないことによって起こるずれ。

5.1.5 バッキングガス(*backing gas*) — 溶接中の酸化物やその他の有害な表面物質の形成を防ぐあるいは低減し、溶接の形状保持用に加圧するために溶接継手の内側に導入される不活性ガス(またはガスの混合物)。

5.1.6 ビード(*bead*) (2) — 「溶接ビード」に対する非標準的な用語。

5.1.7 ビードオーバーラップ(*bead overlap*) — パルス溶接において、前の溶接パルスとの溶接パルスの重なり量。通常は、パルスの直径に対するパーセント値で計る。

5.1.8 ビード変動(*bead variation*) — 領域間の ID ビード幅の変化量。

5.1.9 ビード幅(*bead width*) — ID 上の溶接ビードの幅。通常は、*T* の単位で計る。ここで *T* は配管の公称肉厚である。

5.1.10 中心線収縮(*center line shrinkage*) — 形状収縮欠陥あるいは通常は凝固中の収縮によって形成される不連続部。

5.1.11 カラー(*color*) — 溶接部や近傍表面の酸化による黒ずみ。変色(*discoloration*)の標準的ではない用語。

5.1.12 カラーライン(*color line*) — 溶接部や近傍表面に許される最大変色量の許容判定基準。

5.1.13 ヘこみ(*concavity*) (3) — 溶接部の表面がチューブや配管の表面に対して凹んでいる状態。凹みは、溶接の止端を結ぶ線に対して直角な線に沿って溶接部の外側あるいは内側の直径面からの最大距離として測定される。

5.1.14 盛り上り(*convexity*) (3) — 溶接部の表面がチューブや配管の表面に対して凸になっている状態。凸は、溶接の止端を接続する線に対して直角な線に沿って溶接部の外側あるいは内側の直径面からの最大距離として測定される。

5.1.15 試片(*coupon*) — 溶接が仕様に合致していることを保証するために、検査用に公開される溶接サンプル。

5.1.16 開始試片(*coupon-in*) — 突合わせ溶接継手の本番溶接を行う前の最初の試片。

5.1.17 最終試片(*coupon-out*) — 突合わせ溶接継手の本番溶接を行った後の最後の試片。

5.1.18 変色(*discoloration*) (3) — ベース金属の表面色からの任意の色の変化。通常は、溶接中の金属の加熱により溶接接合部の外径部および内径部の溶接部や熱の影響を受けた領域に発生する酸化(*oxidation*)に関連付けられる。カラーは、薄い青みがかった灰色から深い青および薄い淡黄色からコーティングしたような黒皮までの範囲にわたることがある。

Telephone: 610.832.9585, Fax: 610.832.9555,
Website: www.astm.org

3 American Welding Society, 550 NW LeJeune Road, P.O. Box
351040, Miami, Florida 33135, USA.
Telephone: 800.443.9353, Website: www.aws.org

4 この用語は次の情報源から由来している。

- (1) Webster's New World College Dictionary Fourth Edition
- (2) ANSI/AWS A3.0 Standard Welding Terms and Definitions
- (3) ASME BPE Bioprocessing Equipment Standard

5.1.19 ダウンスロープ(*downslope*) — 自動アーク溶接ダウンスロープ(*automatic arc welding downslope*)を参照。

5.1.20 ドロス(*dross*) (2) — スラグ(*slag*)の非標準的な用語。

5.1.21 電極(*electrode*) (2) — タングステン電極(*tungsten electrode*)の非標準的な用語。

5.1.22 密閉溶接ヘッド(*enclosed weld head*) — シールド用のパージガスが入った密閉チャンバ内に溶接部が保持され、溶接される溶接ヘッド。

5.1.23 浸食(*encroachment*) — ID部の凸(*convexity*)の非標準的な用語。

5.1.24 審査者(*examiner*) — 与えられたスタンダードに準拠するかどうかを決定するために、特定の対象物の検査を実行あるいは動作を評価する人物。審査者は、製造業者、組立業者、据付業者の品質管理を実行する。

5.1.25 流体(*fluid*) (1) — 液体または気体。

5.1.26 気体(*gas*) (1) — 無限に膨張し、その容器を完全に満たすことができる物質の流体の形態。液体でも固体でもない形態。

5.1.27 ガスタングステンアーク溶接(*gas tungsten arc welding* ((*GTAW*))) (3) — タングステン電極(非消耗性)と溶接プールとの間のアークを使用するアーク溶接プロセス。このプロセスは、シールドガスと共に使用される。

5.1.28 ハロー(*halo*) — 溶接プロセスによって生じる変色(*discoloration*)の非標準的な用語。

5.1.29 曇り(*haze*) — 溶接プロセスによって生じる変色(*discoloration*)の非標準的な用語。

5.1.30 熱影響部(*heat-affected zone* (*HAZ*))) (2) — 機械的性質や金属マイクロ組織が溶接の熱によって変化してしまったベース金属の部分。

5.1.31 色むら／カラー(*heat tint/color*) — 溶接プロセスによって生じる変色(*discoloration*)の非標準的な用語。

5.1.32 介在物(*inclusion*) (2) — スラグ、フラックス、タングステン、酸化物等、トラップされた固体の異物。

5.1.33 不活性ガス(*inert gas*) — 通常は、物質と化学的に結合しない気体。保護雰囲気。

5.1.34 検査者(*inspector*) — 必要な全ての検査とテストが完了したことを検証する人物およびアセンブリが該当する全ての検査要求条件に準拠していることを満たすために必要な範囲までアセンブリを検査する人物。

検査者は所有者のために品質保証を実行する。検査者は所有者によって指定されるかあ、所有者本人、所有者の雇用人、エンジニアリングまたは科学に関する組織の雇用人、所有者の代理人として機能する認証された保検会社あるいは検査会社の雇用人のいずれかでなければならない。

5.1.35 レース溶接(*lathe welding*) — 電極が固定で溶接継手が回転する、チューブや配管の自動または機械式溶接。ここで定義するレース溶接は、フィラー金属のない融合プロセスである。

5.1.36 液体(*liquid*) (1) — 固体とは異なり、分子が相互に自由に動くので容易に流動するが、凝集力のために気体のように無限には膨張しない。

5.1.37 液体シリンダ(*liquid cylinder*) — しばしばデュワー瓶と呼ばれる、流体を液体の形態で貯蔵するために使用される断熱され圧力が制御された金属のシリンダ。

5.1.38 蛇行(*meandering*) (3) — 接合部を正確になぞるのではなく、溶接接合部をまたいで両側に逸脱する溶接ビードの蛇行、あるいはそれに関すること。

5.1.39 軌道溶接(*orbital welding*) (3) — ワークの回りを電極が回転する(軌道運動することによって所定の位置に配置されたチューブや配管を溶接する自動または機械式溶接。本スタンダードに適用されるように、軌道溶接は、ノンフィラー融合プロセスである。

5.1.40 酸化(*oxidation*) (3) — 金属表面での酸化層の形成。溶接の結果、過剰な酸化があれば、変色(*discoloration*)として見るができる。

5.1.41 酸化島(*oxide island*) — スラグ(*slag*)の非標準的な用語。

5.1.42 圧力シリンダ(*pressure cylinder*) — 圧力のかかった気体を貯蔵するために使用される金属のシリンダ。

5.1.43 形状欠陥(*profile defect*) — 母材の肉厚未満に肉厚が薄くなる任意の欠陥または不連続部。

5.1.44 パルスガスタングステンアーク溶接(*pulsed gas tungsten arc welding*) — 電流が一定間隔で変化するガスタングステンアーク溶接プロセスの変種。

5.1.45 パージ(*purge*) — 不活性ではない雰囲気ガスを置換するために溶接継手の外面または内面に不活性ガス(またはガスの混合物)を導入すること。ブロックパージは、陽圧を使用しフローによらないパージである。

5.1.46 パージガス(*purge gas*) — 溶接継手の内側(ID)から雰囲気ガスを置換するために使用される不活性ガス(またはガスの混合物)。

5.1.47 ルート(*root*) — ルート面(*root surface*)の非標準的な用語。

5.1.48 ルート面(*root surface*) (2) — 溶接が実行される側と反対側の露出した面。

5.1.49 回転遅延時間(*rotation delay*) — アークが点火してからロータが回転し始めるまでの遅れ時間。

5.1.50 シールドガス(*shield gas*) — 電極と熔融池を雰囲気から保護し、必要なアーク特性を提供する不活性ガス(またはガスの混合物)。

5.1.51 スラグ(*slag*) (2) — 何らかの溶接プロセスにおいて非金属不純物が相互溶解おこして生成される非金属生成物。

5.1.52 仮付け溶接(*tack weld*) (2) — 最終的な溶接が行われるまで溶接部の部分を正しくアライメントして保持するために行われる溶接。

5.1.53 テールアウト(*tail-out*) (2) — 自動アーク溶接ダウンスロープ(*automatic arc welding downslope*)の非標準的な用語。

5.1.54 タングステン(*tungsten*) — タングステン電極の非標準的な用語。

5.1.55 タングステン電極(*tungsten electrode*) (2) — アーク、熔融した導電性のスラグ、またはベース金属で終る電気回路のコンポーネント。主としてタングステン製のノンフィラー溶接電極で、アーク溶接に使用される。

5.1.56 アンダーカット(*undercut*) (2) — 母材に隣接し、溶接エッジ部で溶接金属によって充填されないままになっている溝。

5.1.57 欠肉(*underfill*) (2) — 溶接面やルート面が隣接する母材面以下になっている溝の状態。

5.1.58 溶接ビード(*weld bead*) (2) — 溶接パスによる溶接部。

5.1.59 溶接レベル(*weld level*) — 1つまたは複数の溶接パラメータを独立に変更できる溶接スケジュールのセグメントまたは部分。溶接シーケンスの一部。

5.1.60 溶接シーケンス(*weld sequence*) — 特定の軌道溶接を行うために溶接電源によって実行される一連のステップ。

5.1.61 溶接者(*welder*) — 溶接を実行する人物(時には溶接機や溶接電源のことを指すこともある)。

5.1.62 溶接装置(*welding equipment*) — 溶接に使用される電源、溶接ヘッド、トーチ、関連するケーブルとアクセサリ。

5.1.63 溶接操作者(*welding operator*) — 軌道溶接システムまたは機械式溶接システムで溶接する人。

6 作業方法の概要

6.1 溶接手順を図1のフローチャートに示す。

7 一般的要件

7.1 本施工方法により実行される全ての溶接は、ここに記述されている点において、「ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section IX」,「ANSI B16.25, B31.3 Chapter V」,「AWS B2.1」の該当する要求条件に準拠しなければならない。

7.2 全ての溶接は、「ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section IX」または「AWS B2.1」に従い、「Welding Procedure Specifications (WPS)」に基づかなければならず、関連する「Procedure Qualification Records (PQR)」によって文書化しなければならない。

7.3 使用される溶接手順の適格性および溶接機の性能の認定と溶接者および溶接操作者の資格認定は、「ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section IX, Articles II and III」または「AWS B2.1」の要求条件に準拠しなければならない。

7.4 全ての溶接は、認定された溶接者および溶接操作者によって実行しなければならない。認定手順は、少なくとも、溶接される各合金について最小径と最大径の代表的な GTA 溶接継手の許容可能な溶接を3回連続して実行しなければならない。溶接パラメータは、溶接者または溶接操作者が設定しなければならない。認定は、6ヶ月間活動がない場合に有効期限切れとしなければならない。

7.5 溶接アセンブリは、溶接が完了するまで、連続的にパージし続けなければならない。

7.6 溶接されるチューブやコンポーネントが保護カバーから取り除かれるよう、溶接者はいかなる時もクリンルーム仕様の手袋を使用しなければならない。

8 装置

8.1 溶接装置は、GTAW でなければならない。GTAW は定電流型、直流負電極型(DCEN: direct current electrode negative), 5Hz (CPS) 以上の高速の動的応答能力がある電子式制御のパルス溶接型である。

8.2 全ての溶接用の固定具と溶接ヘッドは、清浄で、微粒子や過剰な変色があってはならない。溶接ヘッドは、全ての速度で自由にかつ円滑に回転しなければならない。全てのクランプ用および保持固定具は、該当するフィッティング／チューブの回りにしっかりと適合し、クランプ後は、0.003 インチ (0.008 cm) 以上動いてはならない。溶接の固定具は、正しくフィットしているかを確認するために溶接部が見えるものでなければならない。

8.3 電極は、ヘッドと溶接型式に対する工場仕様に従って、精密研削しなければならない。電極ギャップは、0.002 インチ (0.005 cm) 以内に設定できる精度と再現性を有した工具や手順によって設定しなければならない。2%の Ce(セリウム)あるいは 2%の La(ランタン)を添加したタングステン電極を使用することが推奨される。

8.4 ガスパージ装置は、可能な場合は面シールフィッティング付きのステンレス鋼のチューブおよびコンポーネントでなければならない。PFA プラスチックのチューブは、フックアップ工事での接続の柔軟性を確保するために、最後の溶接施工に使用することができる。長さは、10 フィート未満に制限しなければならない。溶接部に接触する全てのコンポーネントは、ステンレス鋼でなければならない。内側のパージには厚肉の PFA またはステンレス鋼のチューブのみを使用しなければならない。HP システムには、ステンレス鋼のチューブのみを使用しなければならない。

8.5 パージガスの流量は、測定し制御しなければならない。

8.6 端面処理装置は、乾式の端部加工方式のものでなければならない。装置は、チューブの中心線に垂直な面から 0.003 インチの許容範囲に収めることができる。外径および内径のバリは 0.005 インチ未満でなければならない。切りくずがチューブ内に入ったり、内面を傷つけたりしないように、装置側でカールした切りくずを管理できなければならない。装置は、端面処理されるチューブを汚染する可能性があるようなオイルや潤滑剤を使用してはならない。切断や端面処理は、研磨する方式であってはならない。

8.7 切断装置や切り離し装置は、チューブの内面を汚染せずにチューブを切断する加工方式のものでなければならない。ステンレス鋼や CRA を切断するために設計されたホイールタイプの切断機は、パージと共に使用してよい。軌道方式の乾式鋸や切断機は、切断後に 12.5 項で説明するクリーニングを行う場合に限り使用してよい。全ての切断端部は、端面処理装置の許容誤差に合致しなければならない、その後端面処理工具によって端部を整えなければならない。

9 材料

9.1 溶接される全ての材料は、ASTM 仕様に準拠して製造されたものでなければならず、そのことがメーカーによって証明されたものでなければならない。証明書は、ASTM A450 の 25 章に準拠しなければならない。

9.2 全てのオーステナイト系ステンレスシームレス鋼管は、SEMI F20 または顧客の仕様に準拠しなければならない。

9.3 溶接中または仮付け溶接中 (仮付け溶接を使用する場合) には、内面シールドガス (ID) が必要である。

9.4 溶接パラメータは、選択したシールドガスに影響を受ける。アルゴンガスは、有効性と材料との両立性により、最もよく選択されるシールドガスおよびパージガスである。アルゴンおよびヘリウムは不活性であるために、溶接金属に影響しない。これらのガスの電離ポテンシャル、熱伝導率、反応性は非常に異なる。

9.5 アルゴン／水素の混合ガスは、酸化物の生成を防ぐ還元ガスである。また、OD 溶接ビード幅を狭くしつつ、任意の ID 溶接ビード幅に必要な電流値を下げるができる。アルゴン／水素の混合ガスは、フェライト相の多い材料 (フェライト相が 80%超) については逆効果となる。アルゴン／水素の混合ガスを使用すると、タングステン電極の寿命が短くなる。溶接パラメータは、アルゴンに対する水素のパーセント値によって影響を受ける。水素を 5 vol%以上混合することは、安全上の理由により推奨できない。

9.6 外面シールド (OD) パージガスに 3 vol%以上の窒素が混入するとアークが不安定となる。これは、オーステナイト系ステンレス鋼や多くの CRA については許容可能な内面シールド (ID) ガスである。フェライト相の多い材料 (フェライト相が 80%超) では、窒素が溶接の高温にさらされると窒化物が生成される。外面シールド (OD) ガスに窒素を混合すると、タングステン電極の寿命が短くなる。

9.7 内面 (ID) パージガスは、99.9997%の純度あるいは不純物 (水分、酸素、その他の不純物) の総量が 3 ppm 未満であることが証明されているものでなければならない。

10 安全注意事項

10.1 本作業方法はその使用に関連した全ての安全問題を取り扱うことを意図していない。このスタンダードの使用者は、その責任において、適切な安全および健康上の作業方法を確立し、また使用前に規制上の制限への適用性を判断するものである。

10.2 溶接を行う溶接装置は、メーカーの取扱説明書および安全に関する説明書に従って操作しなければならない。

10.3 この施工方法によって実行される全ての溶接は、ANSI/ASC Z49.1 の該当する要求条件に準拠しなければならない。

10.4 5 vol%を超える H_2 を含有した溶接混合ガスは、危険である可能性があるため推奨されない。

10.5 腐食性ガス配管に使用されたステンレス鋼を再溶接してはならない。

10.6 ステンレス鋼と溶接ヒュームに関する情報については付属書 1 を参照すること。

11 テスト試料：試片の作成

11.1 特定のサイズ、肉厚、合金の溶接を行う前に、ジョブサイトで主要標準サンプル溶接を作成し、切断して、分析しなければならない。主要標準サンプル溶接は、同じサイズ、肉厚、合金を別に溶接した際の判定用オンサイトの作業サンプルとなる。このオンサイトの作業サンプルを無期限に使用してもよいし、審査者の指示によって毎日再製作してもよい。

11.2 主要標準サンプル溶接は、SEMI F81「Specification for Visual Inspection and Acceptance of Gas Tungsten Arc (GTA) Welds in Fluid Distribution Systems in Semiconductor Manufacturing Applications」に準拠しているかどうかチェックしなければならない。試片は、切断し、目視検査しなければならない。溶接試片の判定基準は、全ての配管系の溶接と同じ判定基準である。

11.3 サンプル溶接が合格したら、全ての基本的な変数および補足的に重要な変数を手順認定記録に文書化しなければならない。

11.4 オンサイト作業サンプルから大きく外れた場合は、その溶接は不合格となる。不合格となった溶接は、除去し、交換しなければならない。

11.5 サンプルテスト溶接は、定期的に行うなければならない。これらのサンプルテスト溶接は、オンサイト作業サンプルと比較し、SEMI F81 に準拠しているかどうかをチェックしなければならない。オンサイト作業サンプルあるいは SEMI F81 から偏る場合には、不合格としなければならない。内視鏡やその他のデバイスを使用して溶接部の内面を検査できるならば、サンプルテスト溶接は、本格溶接としてもよい。次のいずれかの条件に該当する場合は、サンプルテスト溶接を製作しなければならない。

11.5.1 交代シフトの開始時または終了時。

11.5.2 溶接パラメータの変更。

11.5.3 材料(ヒート番号)の変更。

11.5.4 チューブサイズまたは肉厚の変更。

11.5.5 $\pm 20^\circ F$ ($\pm 11^\circ C$)の雰囲気温度の変化。

11.5.6 延長コードの追加や取り外しも含め、パワーサプライへの電源の変更。

11.5.7 溶接電極の変更や取り外し。

11.5.8 溶接ヘッド、溶接ヘッド延長部、パワーサプライの変更。

11.5.9 溶接操作者によって不具合が指摘された場合。

11.5.10 ID または OD パージガスの重大な変更(供給源や流量)。

11.6 全ての試片には、本格溶接と同じ ID パージガスおよび OD シールドガスを使用しなければならない(図 2)。

12 手順

12.1 全てのパラメータ(パージ時間、オリフィスサイズ、パージ流量、内圧を含む)を含め、各溶接の構成について文書化された手順が存在しなければならない。

12.2 パラメータをチェックし、それらが認定された溶接手順に従っていることを確認する。

12.3 一度に一カ所だけの溶接を実行する。

12.4 継手作成手順(Joint Preparation Procedure)

12.4.1 溶接される全てのコンポーネントおよび配管端の切断は、鋭利な工具で実行しなければならない。いかなる種類の潤滑剤も許されない。

12.4.2 切断後、全てのコンポーネントおよび配管端のバリを除去しなければならない。

12.4.3 溶接面は清浄でなければならない。酸化、変色、油分、スケール、破片、異物など溶接に悪影響を及ぼすその他の物質があってはならない。

12.4.4 後で配管をクリーニングするのではない限り、配管は、必要なクリーンルーム環境で、開封、切断、端面処理、バリ取を実行しなければならない。切断端の内部に目に見える微粒子を残してはならない。

12.4.5 チューブは、チューブ切断機によって生じた全ての変形(縮径/楔形)を除去するために端面処理しなければならない(図 3)。チューブの切断には、旋盤型端面処理工具付きのホイール切断機またはアラ