

現場に役立つろう付技術講習会
ステンレス鋼のろう付技術, 50min
 東海大学, 宮沢靖幸
 ymiyazawa@tokai-u.jp

ステンレス鋼の応用範囲は、厨房機器から自動車用EGRクーラーまで多岐にわたっている。従って、ステンレス鋼のろう付では、多様な継手の要求性能を満たすためのろう材選定やろう付プロセスの管理が重要である。

- (1) ステンレス鋼やステンレス鋼用ろう材について
- (2) Ni系ろう材によるステンレス鋼ろう付プロセス
冶金学的な素養が必須、特に状態図と金属組織観察能力が要求される
- (3) ステンレス鋼ろう付プロセスの注意点
- (4) ステンレス鋼ろう付プロセスの現状と今後の展望
- (5) ろう付部金属組織が継手性能に及ぼす影響
- (6) 冶金学的な組織解析や分析解析手法

0-1 ろう付の基礎(復習), 定義と長所短所

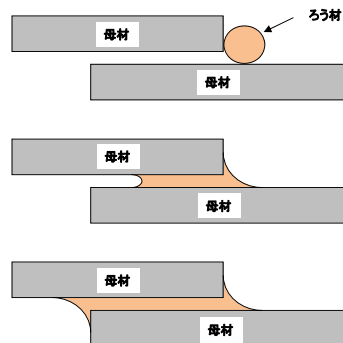
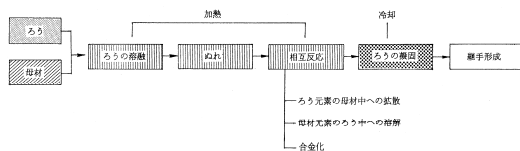


図1 ろう付技術の概念図

【ろう付とは?】
 ろう付は接合技術の一種である。図1の概念図に示す通り、被接合材(母材)を、**母材とは異なる金属(主に合金、ろう材)**で接合する技術である。実際には、母材とろう材をろう材のみが溶解する温度まで加熱し、**溶融ろう材を接合部へ毛細管現象により流入**させる。さらに、溶融ろう材/固体母材間で生ずる**界面反応現象**とそれに続く**凝固過程**で界面に強固な冶金的な接合を生じさせる。



ろう付の長所

- 1. 母材をほとんど溶解することなく、薄板や精密部品の接合が可能。
- 2. ろうの浸透により、複雑形状部品や多数箇所接合部品の同時接合が可能。
- 3. ろう及びろう付法の選択により、**異種金属同士や金属と非金属の接合が可能**。
- 4. ろうと母材の融点が異なるので、再ろう付や取り外しが可能。
- 5. 最適接合条件において、母材同等かそれ以上の接合強度を得ることが可能。
- 6. 比較的作業が簡単で仕上がりが美しく、自動化や大量生産向き。

ろう付の短所

- 1. 加熱を伴う作業であるので、熱影響は避けられない。
- 2. 接合部は異種材料同士で組合せないので、継手の性質に若干影響がある。
- 3. **継手精度の管理に厳しがある。**

0-2 接合技術におけるろう付技術の位置づけ

| 接合技術 | | 接合形態 | | | 加熱または加圧 |
|-------|--------|------|-----|-----|---------|
| | | 点接合 | 線接合 | 面接合 | |
| 溶融溶接 | アーク溶接 | | ◎ | | 局所 |
| | スポット溶接 | ◎ | | | 局所 |
| | レーザ溶接 | ◎ | ◎ | | 局所 |
| ろう付 | | | ◎ | ◎ | 全体 |
| 固相接合 | 拡散接合 | | | ◎ | 全体 |
| | FSW | ◎ | ◎ | | 局所 |
| 接着 | | ◎ | ◎ | ◎ | 全体 |
| 機械的締結 | | ◎ | | | 局所 |

- (1) ろう付は、比較的容易に冶金的な面接合が得られる接合技術である。
- (2) 気密や水密が必要な接合部に用いられる場合が多い。

1-4 ステンレス鋼のろう付, ろう材の種類とその特徴

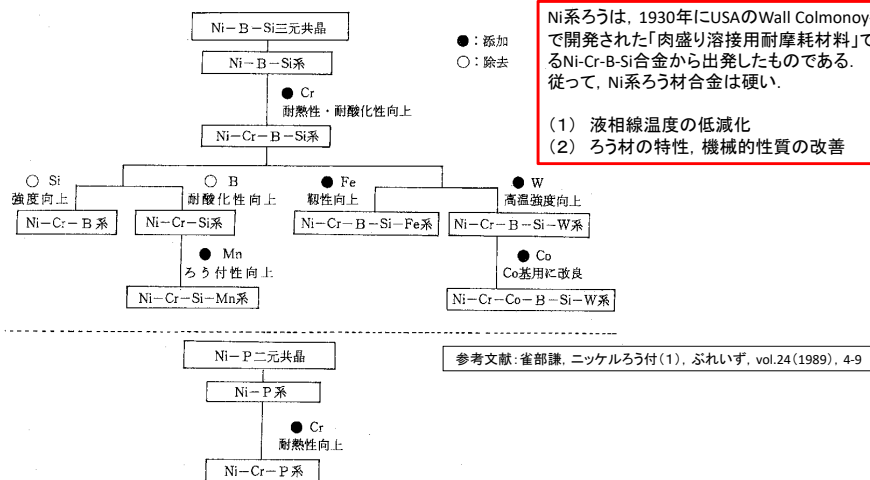
| 各種ろう材の適用材料と特徴 | | | |
|---------------|-------|-----------------------------------|--|
| ろうの種類 | 記号 | 適用材料 | 特徴 |
| 1 銅ろう | BCu | 鉄鋼, ステンレス鋼 | 炭素鋼やステンレス鋼に非常にぬれ性が高い。融点が高いため、一般に雰囲気中で使用される。 |
| 2 銅合金ろう | 黄銅ろう | 鉄鋼, ニッケル, 銅およびその合金 | フラックスを使用。安価、融点が高い。 |
| 3 銀ろう | BAG | Al, Mg以外の金属材料, セラミックス | 最も汎用性がある。フラックスろう付および雰囲気ろう付用。 |
| 4 リン銅ろう | BCuP | 純銅, 銅合金 (Ni10%以下) | 純銅ではフラックスなしでろう付(自己フラックス作用)。液相線温度以下でろう付される。 |
| 5 金ろう | BAu | 宝飾品, ステンレス鋼 , ニッケル合金, 耐熱合金 | 価格、色調から貴金属用。耐食、耐酸化ろう付用、高信頼性(宇宙、航空機器用)。 |
| 6 パラジウムろう | BPd | 宝飾品, 耐熱合金, Mo, Wなど | 耐食、耐酸化ろう付用。PdおよびAg量により液相線にかなりの差がありステップろう付用。 |
| 7 ニッケルろう | BNI | 鉄鋼, ステンレス鋼 , ニッケル合金, 耐熱合金 | ろう付温度が高い。高温強度が高い。真空ろう付用。拡散ろう付(液相拡散接合)用。 |
| 8 アルミニウムろう | BAISI | アルミニウム, アルミニウム合金 | フラックスろう付, 真空ろう付, フレージングシートを用いた薄板の複雑な構造がろう付される。 |

参考文献: 恩澤, 松, はじめてのろう付, 産報出版, 2013, 第3章

- ステンレス鋼用ろう材選択のポイントは以下の通りである。
- ① 使用温度や負荷される応力などの使用環境。
 - ② 母材組成, すなわち, ステンレス鋼の種類。
 - ③ マルテンサイト系または析出硬化型系ステンレス鋼に必要な熱処理。
 - ④ ろう付する部品の厚さや形状。
 - ⑤ ろう付プロセス。
 - ⑥ 製造コストなど。
 - ⑦ オーステナイト系ステンレス鋼の鋭敏化など特別に配慮しなければならない点。

1-5 ステンレス鋼用ろう材, Ni系ろう材の特徴, 添加元素の種類とその目的

5



1-6 ステンレス鋼用ろう材, Ni系ろう材の種類, 規格化されたNi系ろう材

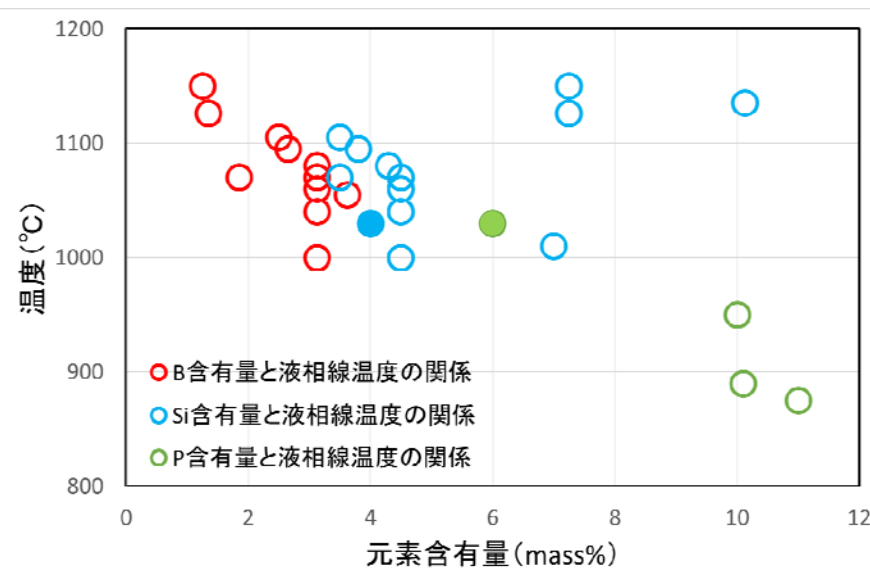
6

| No. | Chemical compositions, mass% | | | | | | | | | | | Temp., °C | |
|--------|------------------------------|-----------|-----------|------------|---------|-----------|-----------|-----------|---------|-------------|------------------------|-----------|------|
| | Ni | Cr | B | Si | Fe | C | P | Mn | Cu | W | 他 | S | L |
| BNI-1 | Bal. | 13.0-15.0 | 2.75-3.50 | 4.0-5.0 | 4.0-5.0 | 0.60-0.90 | 0.02以下 | - | - | - | - | 980 | 1060 |
| BNI-1A | Bal. | 13.0-15.0 | 2.75-3.50 | 4.0-5.0 | 4.0-5.0 | 0.06以下 | 0.02以下 | - | - | - | - | 980 | 1070 |
| BNI-2 | Bal. | 6.0-8.0 | 2.75-3.50 | 4.0-5.0 | 2.5-3.0 | 0.06以下 | 0.02以下 | - | - | - | - | 970 | 1000 |
| BNI-3 | Bal. | - | 2.75-3.50 | 4.0-5.0 | 0.5以下 | 0.06以下 | 0.02以下 | - | - | - | - | 980 | 1040 |
| BNI-4 | Bal. | - | 1.50-2.20 | 3.0-4.0 | 1.5以下 | 0.06以下 | 0.02以下 | - | - | - | - | 980 | 1070 |
| BNI-5 | Bal. | 18.5-19.5 | 0.03以下 | 9.75-10.50 | - | 0.06以下 | 0.02以下 | - | - | - | - | 1080 | 1135 |
| BNI-5a | Bal. | 18.5-19.5 | 1.0-1.5 | 7.0-7.5 | 0.5 | 0.10 | 0.02 | - | - | - | - | 1065 | 1150 |
| BNI-5b | Bal. | 14.5-15.5 | 1.1-1.6 | 7.0-7.5 | 1.0 | 0.06 | 0.02 | - | - | - | - | 1030 | 1126 |
| BNI-6 | Bal. | - | - | - | - | 0.06以下 | 10.0-12.0 | - | - | - | - | 875 | 875 |
| BNI-7 | Bal. | 13.0-15.0 | 0.01以下 | 0.10以下 | 0.20以下 | 0.06以下 | 9.7-10.5 | - | - | - | - | 890 | 890 |
| BNI-8 | Bal. | - | - | 6.0-8.0 | - | 0.06以下 | 0.02以下 | 21.5-24.5 | 4.0-5.0 | - | - | 980 | 1010 |
| BNI-9 | Bal. | 13.5-16.5 | 3.25-4.0 | - | 1.5以下 | 0.06以下 | 0.02以下 | - | - | - | - | 1055 | 1055 |
| BNI-10 | Bal. | 10.0-13.0 | 2.0-3.0 | 3.0-4.0 | 2.5-4.5 | 0.40-0.55 | 0.02以下 | - | - | 15.0-17.0 | - | 970 | 1105 |
| BNI-11 | Bal. | 9.0-11.75 | 2.2-3.1 | 3.35-4.25 | 2.5-4.0 | 0.30-0.50 | 0.02以下 | - | - | 11.50-12.75 | - | 970 | 1095 |
| BNI-12 | Bal. | 24.0-26.0 | 0.02 | 0.1 | 0.2 | 0.06 | 9.0-11.0 | - | - | - | - | 880 | 950 |
| BNI-13 | Bal. | 7.0-9.0 | 2.75-3.50 | 3.8-4.8 | 0.4 | 0.06 | 0.02 | - | 2.0-3.0 | - | Mo1.5-2.5 Nb1.5-2.5 | 970 | 1080 |
| 613 | Bal. | 27.5-31.5 | - | 3.8-4.2 | - | - | 5.6-6.4 | - | - | - | - | 985 | 1030 |

- 現在, 多くの企業がNi系ろう材を製造販売している。日本, アメリカ, ドイツ
- Ni系ろう材は, 「粉末状ろう材」と液体急冷凝固法により作製された「箔状ろう材」に大別される。粉末状ろう材はアトマイズ法によって製造されている。粉末形状は球体であるが, 形状は重要である。
- 粉末状ろう材を用いる場合, Binderは必要不可欠である。箔状ろう材を用いる場合, Binderは不要である。

1-6-2 既存のNi系ろう材における, 主要元素含有量と液相線温度の関係

7



1-9 粉末ろう材と箔状アモルファスろう材の違い

8

| | Binder | 脱Binder工程 | 添付量の調整 | 添付の方法 | ろう付後のすきま調整 | ろう材の費用 | プロセスの費用 |
|-------|--------|----------------------------|------------------------|-------------|------------|--------|---------|
| 粉末ろう材 | 必要 | 必要(炉内汚染の可能性大) | 可能 添付量が過剰になる傾向が強い | ろう付部の一部分に添付 | 難しい場合がある | 標準 | ? |
| 箔状ろう材 | 不要 | 不要(脱Binderで炉内が汚染される可能性は低い) | 可能 添付量は最小値に設定する事が可能 | ろう付間隙部に添付 | 比較的容易 | 高い | ? |

Ni系ろう材に関し, 粉末状ろう材と箔状ろう材の特徴を比較する場合, ろう材そのものの価格のみに着目する傾向が強いと感じている。実際に使用する場合には, 上表に示す通り, プロセス全体に必要な費用で比較をするべきと考える。

現場に役立つろう付技術講習会
ステンレス鋼のろう付技術, 50m
 東海大学, 宮沢靖幸
 ymiyazawa@tokai-u.jp

講演内容

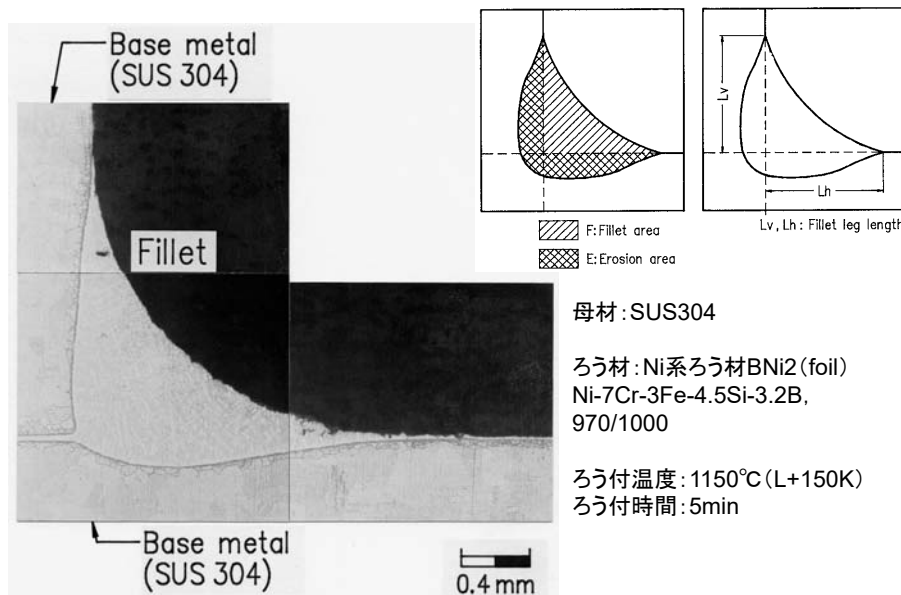
- (1) ステンレス鋼やステンレス鋼用ろう材について
- (2) Ni系ろう材によるステンレス鋼ろう付プロセス**
 冶金学的な素養が必須, 特に状態図と金属組織観察能力が要求される
- (3) ステンレス鋼ろう付プロセスの注意点**
- (4) ステンレス鋼ろう付プロセスの現状と今後の展望
- (5) ろう付部金属組織が継手性能に及ぼす影響
- (6) 冶金学的な組織解析や分析解析手法

2-6 ろう付プロセスの比較 ろう材の形態の違い, 雰囲気の違い

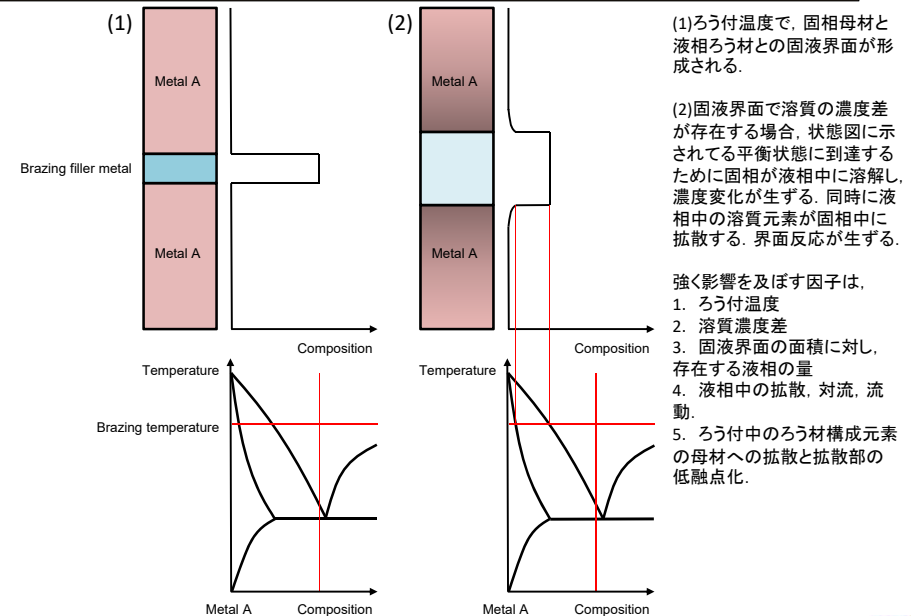
| | Binder | 脱Binder工程 | 添付量の調整 | 添付の方法 | ろう付後のすきま調整 | ろう材の費用 | プロセスの費用 |
|----------------|--------|---------------------------|----------------------------|-------------|------------|--------|---------|
| 粉末ろう材 | 必要 | 必要(炉内汚染の可能性大) | 可能 添付量が過剰になる傾向が強い | ろう付部の一部分に添付 | 難しい場合がある | 標準 | ? |
| 箔状ろう材 | 不要 | 不要(脱Binderで炉内汚染される可能性は低い) | 可能 添付量は最小値に設定する事が可能 | ろう付間隙部に添付 | 比較的容易 | 高い | ? |
| 線状ろう材 棒状ろう材 | 不要 | 不要 炎ろう付を用いる場合もある | 可能 予め加工しておけば, 添付量の制御が容易 | ろう付部に添付 | 難しい場合がある | 標準 | ? |

| | 炉の構造 | 炉の価格 | ろう付時間 | 脱Binder | 雰囲気と関わり | メンテナンス | プロセスの費用 |
|-----------|-------|------|--------|-----------------|---------|--------|---------|
| 真空 | 複雑 | 高価 | 比較的長時間 | 揮発しやすい | 重要 | 標準 | ? |
| ガス 雰囲気 | 比較的単純 | 標準 | 標準的な時間 | 揮発しにくい 場合がある | 重要 | 標準 | ? |

2-10-3 ろう付時の界面反応現象, 溶解反応, ろう付部の断面組織



2-10-4 ろう付時の界面反応現象, 溶解反応の発生メカニズム

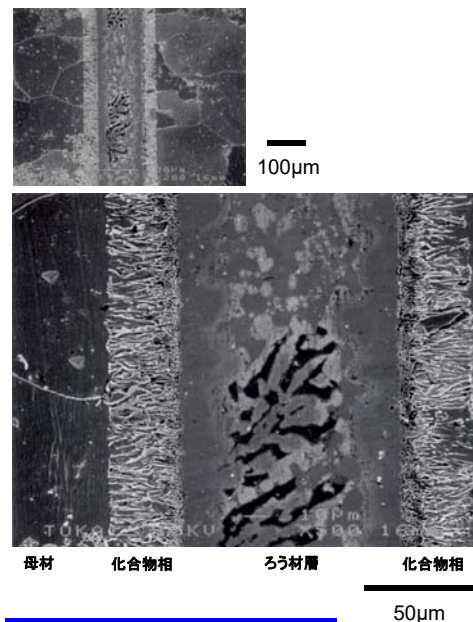


現場に役立つろう付技術講習会
ステンレス鋼のろう付技術, 50m
 東海大学, 宮沢靖幸
 ymiyazawa@tokai-u.jp

講演内容

- (1) ステンレス鋼やステンレス鋼用ろう材について
- (2) Ni系ろう材によるステンレス鋼ろう付プロセス
 冶金学的な素養が必須, 特に状態図と金属組織観察能力が要求される
- (3) ステンレス鋼ろう付プロセスの注意点
- (4) ステンレス鋼ろう付プロセスの現状と今後の展望**
- (5) ろう付部金属組織が継手性能に及ぼす影響**
- (6) 冶金学的な組織解析や分析解析手法**

4-1 Ni系ろう材を用いてろう付したステンレス鋼ろう付部の典型的な組織

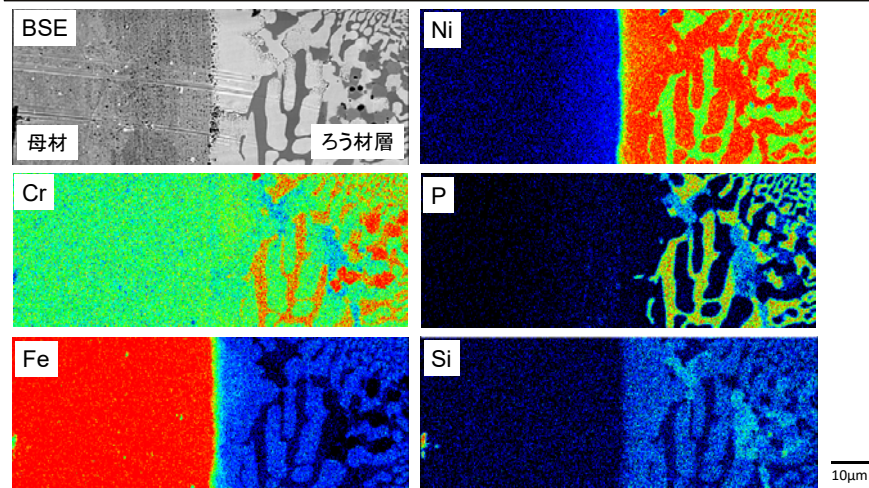


BNi-2を用いてフェライト系ステンレス鋼をろう付した. 1050°C, 10min

SEMにより撮影したろう付部断面組織の2次電子像
 2次電子像は, エッチングにより形成された試験片表面の微細な凹凸を反映した像.
 SEMの原理の理解も必要!

ろう付時の界面反応により形成された組織が確認できる. この複雑な組織がステンレス鋼ろう付体の性質に強く影響を及ぼしている.
 組織をより詳細に理解するためには分析が必要.

4-2 Ni系ろう材を用いてろう付したステンレス鋼ろう付部のEPMAによる典型的な元素分析結果

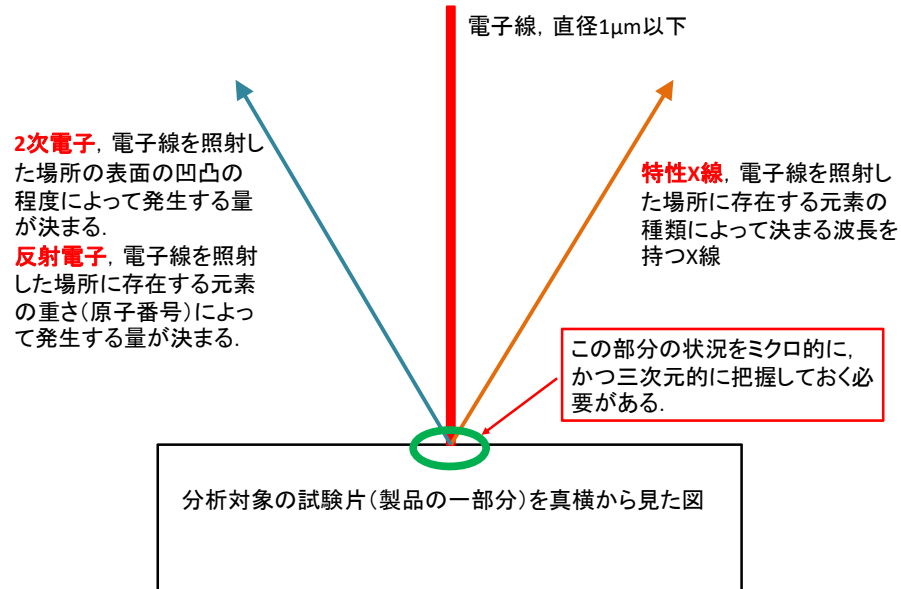


ろう材613, 1080°C, 30min, アルゴンガス雰囲気

4-3 EPMA, X線マイクロアナライザー, 元素分布を分析できる装置

Electron Probe Micro-Analyzer (EPMA), SHIMAZU EPMA-1600





Ni系ろう材を用いたステンレス鋼のろう付技術について解説しました。不足している部分などもあると思いますが、今後のステンレス鋼のろう付技術発展の一助となればありがたいです。また、さらに情報が必要な方は、掲載した参考文献や書籍から情報収集も可能です。

ステンレス鋼のろう付において、今後、我々が考えなければならない事などを以下に示しました。

- (1) 真空雰囲気ではなく、ガス雰囲気下でステンレス鋼をろう付する。
- (2) 薄肉ステンレス鋼をろう付する。
- (3) ステンレス鋼と異種金属材料をろう付する。
- (4) 飲料水と接触するステンレス鋼ろう付部から飲料水中へ溶出する元素について。
- (5) ステンレス鋼を比較的低温で、 1000°C 以下でろう付できるろう材の開発。
FP-615 ($985^{\circ}\text{C}/975^{\circ}\text{C}$), FP-616 ($980^{\circ}\text{C}/950^{\circ}\text{C}$), 福田金属箔粉工業(株)
- (6) ステンレス鋼ろう付部に発生する欠陥を減少させる。

ステンレス鋼のろう付において、健全なろう付部を得るためには、今後、様々な問題点を解決しなければなりません。

ご清聴ありがとうございました。