



ORIST

りん銅ろうを用いた鉄鋼材料へのろう付技術

キーワード：ろう付、りん銅ろう、銅めっき鋼板、接合強度

はじめに

電極や熱交換器は、純銅を基材とし、りん銅ろうを用いたろう付によって組み立てられますが、純銅を部分的に鉄鋼材料に置き換え、コストダウンと高強度化を図る場合があります。この際、鉄鋼材料にりん銅ろうによるろう付を直接行くと、それらの接合界面に極めて脆弱な金属間化合物であるりん化鉄(Fe_3P)が形成されるため、高い接合強度が得られません。そこで、一般的には、鉄鋼材料に予め銅めっきを施した後にろう付が行われます。しかし、このような対策を講じて、なお、ろう付トラブルに至ったという相談がしばしば寄せられます。本シートでは、銅めっき鋼板とりん銅ろうの接合断面から本ろう付技術の特徴と注意点を示します。また、銅めっき鋼板およびめっき無し鋼板に対し、りん銅ろうによるろう付を行い、銅めっきが接合強度に与える影響について調べた結果を紹介します。

試料作製と評価方法

接合断面評価には厚さ 0.3 mm の、また接合強度試験には厚さ 3 mm の低炭素鋼を使用しました。各炭素鋼に、まずピロりん酸浴による銅めっきを、次に、硫酸銅による銅めっきを施し、めっき厚さの合計が 50 μm となる銅めっき鋼板を作製しました。

りん銅ろうには、BCuP-1 (Cu-5 mass%P、ろう付温度 790 $^{\circ}\text{C}$ ~930 $^{\circ}\text{C}$)を用いました。なお、実験に用いたろう材の形状は汎用の $\phi 2$ mm の棒状および厚さ 0.1 mm の箔状とし、比較検討を行いました。

ろう付は、窒素雰囲気中で 800 $^{\circ}\text{C}$ まで加熱後直ちに炉冷して行いました。図 1 に示すように、接合断面の評価については、銅めっき鋼板上に棒状または箔状のりん銅ろうを配置し、また接合強度試験については、箔状のろう材を銅めっき鋼板およびめ

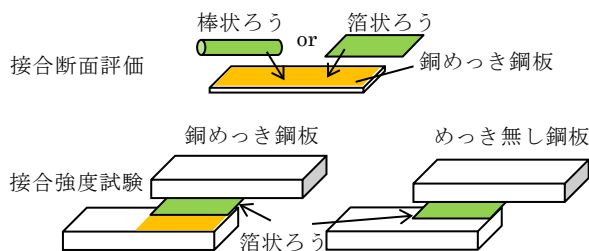


図 1 試料作製

き無し鋼板に挟んだ状態でろう付を行い、試料を作製しました。

接合断面の評価

図 2 に、棒状ろう材を用いた場合の接合断面の光学顕微鏡組織写真を示します。切断面は、加熱前にセットしたろう材の長手方向に対し垂直で、図 2(a)に示す赤の点線が加熱前にセットしたろう材のおおよその位置になります。図 2(a)において、中央から左側の接合界面には明らかに銅めっき層が認められますが、右側では銅めっき層が消失しています。図 2(b)、(c)に高倍率組織写真を示します。めっき層の残る(b)では空隙等の欠陥は認められず、良好な接合状態となっています。一方、めっき層の消失した(c)では、接合界面にめっき層とは明らかに異なる厚さ数 μm の薄い層が認められ、同時に、その薄い層に沿って空隙が存在します。

接合部の元素分布状態を明らかにするために、電子線プローブマイクロアナライザー(EPMA)による元素マッピングを行いました。図 3 上段にめっき層残存部、下段にめっき層消失部での結果を示します。めっき層残存部では、接合界面に沿って Cu の濃度が高くなっており、銅めっき層であることが確認できます。一方、めっき層消失部では、接合界面に Fe と P の共存する薄い層が認められます。これは、熔融したりん銅ろうが銅めっき層を溶解し、鉄鋼基材と反応して Fe_3P 層が生成したものと考えられます。

銅めっき層は 50 μm と比較的厚いにも関わらず、完全に消失する箇所が生じる理由は、ろう材部の組織と関連があります。ここでまず、Cu-P 二元系状態図を図 4 に示します。ろう材 BCuP-1 は、図中の矢印で示す加熱過程の 714 $^{\circ}\text{C}$ で共晶組成(Cu-8.3P)の液相を生じ、最終 800 $^{\circ}\text{C}$ まで固(Cu)液(Cu-P)二相領域が続きます。この領域での加熱中に液相が周囲に流出し、固相がその場に留まる“溶け分かれ”が生じることがあります。溶け分かれが生じると、加熱後のろう材部の組織は Cu が多い組織か、または共晶組織が多いかに二極化します。ここで、図 2 のろう材部について図 3 の元素マッピングと併せて考えると、めっき層の残る左側では Cu が多く、共晶組織は少ないが、めっき層の消失した

右側では Cu は極めて少なく、ほぼ全面が共晶組織となっていることがわかります。したがって、図 2(a)では溶け分かれが発生した結果、加熱前にろう材をセットした付近(図の左側)で固相が残り液相が流出し、めっき層の溶解が抑えられてめっき層が残存します。一方、上記箇所の周辺(図の右側)には液相が流入し、めっき層を完全に溶解し、鉄鋼基材と反応することで Fe_3P 層が生成し、その反応拡散によって同時に空隙も生成したと考えられます。

棒状と異なり、加熱に伴い均等に溶融しやすい箔状のろう材を用いて同様に加熱実験を行ったところ、ろう材部の組織は一様で、溶け分かれは発生しませんでした。図 5 に接合部断面の光学顕微鏡組織写真を示します。めっき層は維持され、また空隙もなく非常に良好な接合状態となっています。

製品化において、ろう材の形状を適宜使い分けする際に、棒状を使用する場合には、溶け分かれに注意し、めっき厚さを十分に厚くする等の対策を考える必要があります。

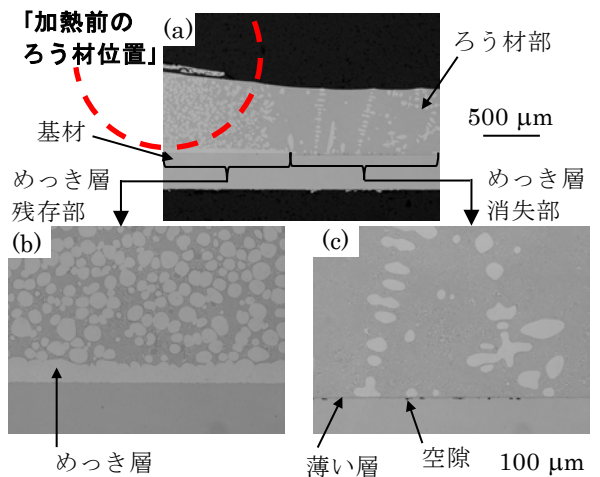


図 2 接合部断面の光学顕微鏡組織写真

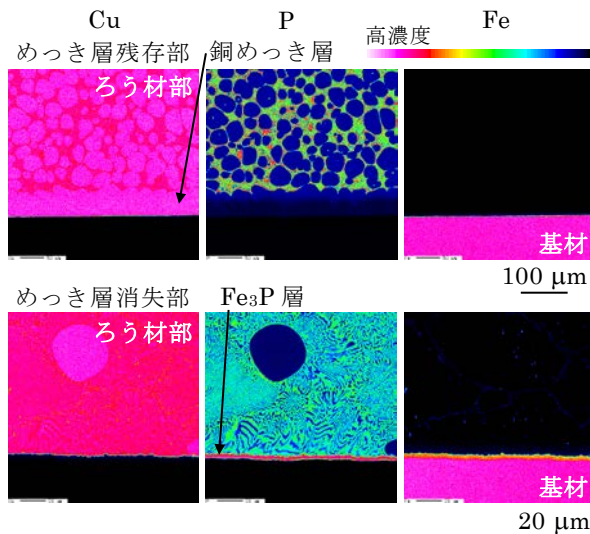


図 3 接合部断面の EPMA 元素マッピング

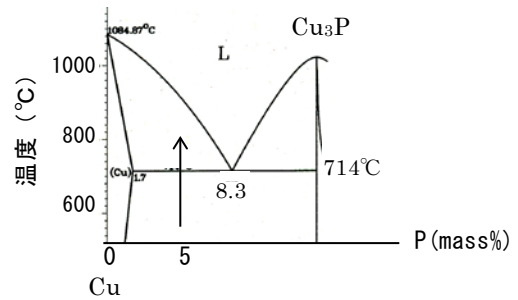


図 4 Cu-P 二元系状態図

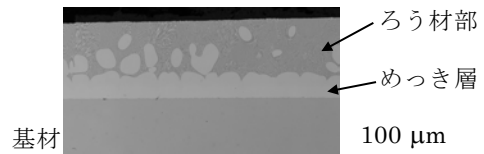


図 5 接合部断面の光学顕微鏡組織写真

接合強度試験

銅めっき鋼板およびめっき無し鋼板の間に箔状のろう材を挟んで引張せん断試験片を作製し、試験に供しました。図 6 にそれらの変位-荷重曲線と破断状況を示します。図から明らかなように、めっき無し鋼板では、接合部で極低荷重で破断が生じることがわかります。これは、接合面全体に脆性な Fe_3P 層が生成したことによると考えられます。一方、銅めっき鋼板では、基材側で破断が生じており、十分な接合強度を有していることがわかりました。以上からも、ろう付時に銅めっき層を維持することが極めて重要であることがわかります。

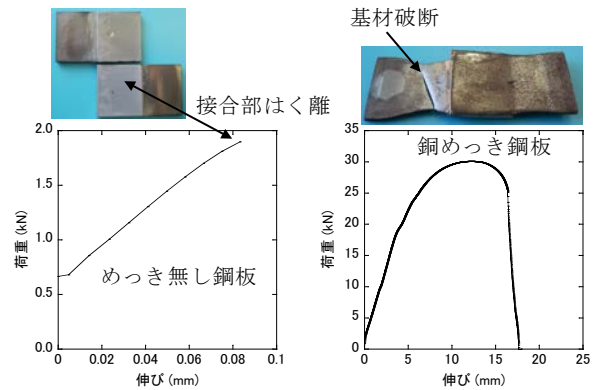


図 6 接合強度試験における変位-荷重曲線と破断状況

おわりに

本シートでは、鉄鋼材料にりん銅ろうによるろう付を適用する場合の注意点を接合断面の観察や接合強度試験から紹介しました。

当所では、このようなろう付に関する基礎評価について、簡易受託研究などで対応できます。ご興味、ご不明な点がございましたら、お気軽に担当者までお問い合わせください。