

大阪大学溶接工学研究所 松田福久 中田一博 眞喜志隆(大学院)
日本ステンレス工業(株) 木谷 滋

1 緒言

グロー放電を利用したイオン窒化法は、低公害、省エネルギー型の表面硬化法で、主に鉄鋼材料に利用され、非鉄金属材料への適用は極めて少い。ところで著者らは純金属のままでは窒化硬化しないAu, Ag, Cuでも、窒化物生成元素を添加し合金化すれば窒化硬化が可能なることを示した^{1,2)}。そこで本研究では、純金属では窒化硬化しないが、それらの合金であるインコネル系では極めて硬化するNiを取り上げた。そしてその硬化の主因元素を検討するためNiに窒化物生成元素を単独に添加した合金を試作し、これにイオン窒化を行うことでNi合金の窒化に貢献する元素を明らかにすることを目的とした。

2 使用材料および実験方法

合金元素は、代表的窒化物生成元素のFe, Cr, Mo, Al, Si, Nb, Tiを選び、これらを添加したNi2元素合金を試作した。表1に試作合金の化学成分を示す。比較のため、インコネル625も用いた。イオン窒化処理は、 N_2+H_2 混合ガス中($N_2/H_2=1/1$, 800Pa)で、純Ni陰極上に置いた試験片(20×10×2mm³)と炉壁(陽極)との間に直流グローを発生させることで行

表1 試作合金の化学成分

Alloy	Alloying element in Ni	Content of alloying element in Ni (wt%)
30Fe	Fe	33.1
30Cr	Cr	29.1
20Mo	Mo	17.7
6Al	Al	5.7
5Si	Si	4.6
10Nb	Nb	9.97
7Ti	Ti	7.19
Inconel 625		61Ni, 22Cr, 9Mo, 4Nb, 3Fe, 0.3Si, 0.2Ti, 0.2Al, 0.15Mn, 0.05C

た。窒化温度は673Kから1073Kまで変化させ、窒化時間は10.8KSとした。また、窒化温度は、輻射温度計で測定した試験片表面温度とした。処理後、試験片の表面と断面の硬さ分布測定、試験片断面SEM組織観察、EDXでの元素分析、試験片表面のX線回折を行った。

3. 実験結果

図1に窒化処理後の窒化温度と表面硬度の関係を示す。各試料の窒化後の母相硬度はHv150~220の範囲であった。純Niはどの温度でも硬化しなかった(Hv約140)。試作合金とインコネル625では、各温度で表面硬化が認められたが、表面硬度と温度依存性は各温度で異なっていた。表面硬度の高いものは、30Cr、7Ti、10Nb、インコネル625であり、同時に顕著な温度依存性を示し、最も硬化する温度が存在した。最高硬度はそれぞれ、Hv860(823K)、840(873K)、550(873K)、1070(893K)であった。特に、Cr, Mo, Nb, Fe等を含むインコネル625は各窒化温度で最も高い硬度を示した。これらに対し、30Fe、6Al、20Mo、5Siはほとんど硬度の温度依存性を示さず、表面硬さも30Fe、6AlでHv330~400と低く、20Mo、5Siはわずかに硬化したのみであった。図2に顕著な表面硬化を示した合金の断面組織SEM写真(王水(50%水希釈)腐食)を示す。30Crの623K処理(図2(a))では、緻密な2層よりなる窒化層(厚さ4μm)が得られ、表層はCr主体でNiはわずかしが含まれておらず、内層は母層とほぼ同じであり、

X線回折では Ni_3N と Cr_3N が同定された。硬さの低下した1073K処理(図2(b))も2層からなるが腐食が著しく、各層境界は不明瞭となり、層下部には Cr 欠乏層が認められた。また、窒化物としては、 Cr_3N の他に Cr_2N が同定された。次に7Ti(873K, 図2(c))では、窒化層(厚さ12 μm)は単層で、層中のNi, Tiの量は母相とほとんど変わらず、 Ni_3N とTiNが同定された。10Nb(873K, 図2(d))では明瞭な窒化層はみられず、層中のNi, Nb量は母相と同程度であり、1073Kでは、 NbN , Nb_2N が同定された。インコネル625では、30Cr(873K)に類似した窒化層を生じていたが、層中へのCr, Mo, Nbの富化が著しく、また同時にNi, Fe, Ti, Alも存在していた。インコネル625における著しい硬化はこれらの複合窒化物がもたらしたと考えられた。他の6Al, 5Siでは明瞭な窒化層、窒化物は同定できなかった。

以上の結果より、表面硬化の原因は合金元素の種類によっても異なるが、スパッタ作用による窒化物層の堆積、もしくはNi合金中での窒化物の析出に起因すると考えられ、低温側では前者が、高温側では後者がより主体になると考えられた。

4. まとめ

窒化硬化しない純Niに適当な窒化物生成元素を添加することで、イオン窒化法によって表面を窒化硬化できることがわかった。本研究の範囲内では、単独添加した合金元素では、Cr, Ti, Nbが有効で、Fe, Al, Si, Moはあまり有効でなかった。

参考文献

- 1) 松田3, Trans. JWRI, Vol. 12, No. 1, 1983, P 97. 2) 松田3, Trans. JWRI, Vol. 13, No. 1, 1984, P 67

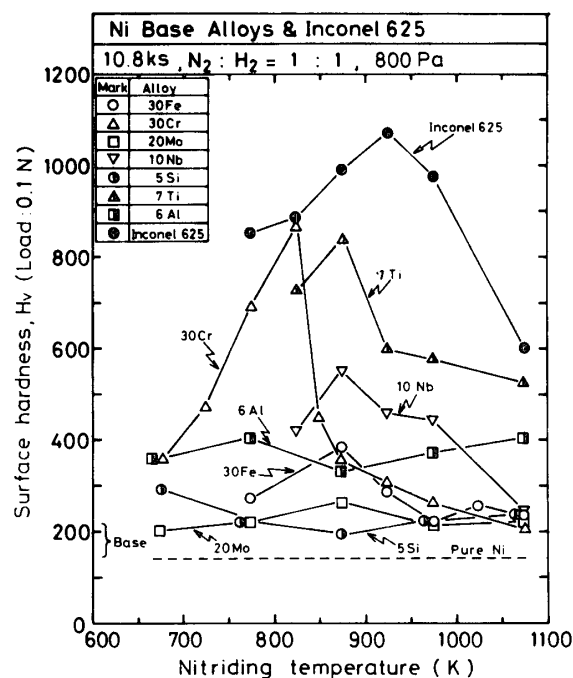


図1 イオン窒化処理温度に対する表面硬度の変化

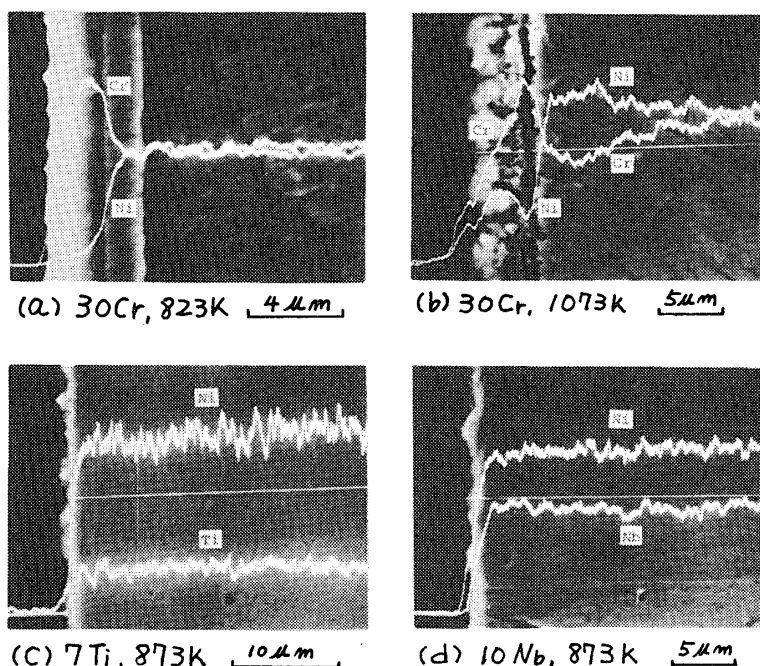


図2 顕著な表面硬化を示した合金の断面組織SEM写真。