

I- NİKEL ESASLI VE KOBALT İÇEREN ALAŞIMLARIN SERTLEHİMLENMESİ

Nikel ve nikel alaşımları sertlehimlemede (ve lehimlemede) birçok bakımdan demir esaslı alaşımlara benzerler. Aradaki fark, alaşımların esasına özgü özellik tarafından saptanır.

Nikel esaslı malzemelerin bakırla sertlehimlenmesi genel olarak kabul edilmiş tekniklerle gerçekleşirse de yumuşak çeliğin sertlehimlenmesine kıyasla dikkat edilmesi gereken önemli noktalar vardır. Bakır, Nikel 200 veya Monel 400* ile kolayca alaşımlanır ve birleştirme malzemesinin ergime noktasını yükseltmeye, ve dolayısıyla akmayı engellenmeye yetecek kadar nikel kapar. Bu itibarla sıcaklıkta tutma süresi kritik olmaktadır. Krom, titanium, alüminyum gibi elementler, normal bakır sertlehimlemesini çok güçleştiren refrakter oksitler oluştururlar.

Saf nikel, bir oksitleyici atmosferde herhangi bir sıcaklıkta sadece bir NiO oksit tabakasına bürünür. Nikele krom (nichrome), alüminyum, titanium eklenmesiyle üç ayrı yapıda oksit meydana gelir: (1) Me_2O_3 (isomorf Cr_2O_3); burada $Me = Fe, Cr, Mn, Ni, Al.$ (2) $MeTiO_3$ (isomorf $NiTiO_3$); burada $Me = Fe, Ni.$ (3) NiO. Me^A tipinde spineî . Me_2O_3 ve $MeTiO_3$, içyapı olarak isomorf-turlar.

Nichrome esaslı alaşımlar alçak sıcaklıklarda (500°C'a kadar) bir NiO oksidi tabakasıyla veya, mevcut alaşım ilâvelerine göre, daha yüksek sıcaklıklarda, öbür iki yapı tipindeki oksitlerle kaplanır. Bu sonuncular tek başına ya da bileşik olarak teşekkül eder. Kabuğun iç tabakaları alaşım elementlerinden yana zenginleşirler. 1200°C ve daha yukarı sıcaklıklarda kompleks nikel alaşımları üzerinde oluşmuş rekristalize NiO oksidi bir ısıya mukavemet kaybına işaret sayılır.

Yüksek sıcaklık sertlehimlemesi

Bu, 800°C'm üstünde yürütülen bütün sertlehimleme işlemlerini kapsayan bir terimdir. Az çok bütün nikel alaşımları bu yöntemle birleştirilebilirlerse de pratikte bu daha çok ısıya dayanıklı alaşımlara uygulanır.

Yüksek sıcaklık sertlehimlemesi, ergitmeli kaynak süreçleriyle kolayca birleştirilemeyen alaşımlarda ya da kalın kesitlerde kaynak edilemeyen Nimonic alaşımında kullanılmaya özellikle uygundur. Keza Nilo gibi nikel esaslı alaşımların kendileriyle ve seramiklerle birleştirilmesi için elektronik endüstrisinde geniş ölçüde kullanılır.

* Bu nikel alaşımları için bkz. Burhan Oğuz., Karbonlu ve alaşımlı çeliklerin kaynağı, 1987. .s. 284 ve dev.

** Başlıca Al, Mg ve Fe oksidinden oluşmuş sert, kristal yapılı mineral.

Aşırı derecede yüksek bir sertlehimleme sıcaklığı ana metalin nitelikleri üzerinde ciddi ölçüde olumsuz etki yapabildiğinden ilâve metal seçiminde istenilen sonucu verecek en düşük ergime noktası alınacaktır. Bu husus özellikle eriyik işleminin fazlasının sürünme ve gerilme/kırılma niteliklerini azalttığı Nimonic alaşımı için doğrudur. Ayrıca, sertlehimleme sayıklı sırasında içyapısal değişimleri asgaride tutmak için sertlehimleme sıcaklığına ısıtma ve bundan sonraki soğutma, mümkün olduğu kadar çabuk olacaktır.

Bütün bu alaşımların maruz buldukları ağır çalışma koşulları, sertlehimleme sürecinin her aşamasının çok dikkatli denetimini zorunlu kılar, Herhangi bir sorun çıkmadan birleştirmeler sağlamak için nikel ve yüksek nikel alaşımlarının kimyasal bileşimleri, mekanik ve fiziksel nitelikleri dikkate alınacaktır. Gözden uzak tutulmayacak etmenler arasında kükürt ve alçak ergime noktalı metallerin etkileriyle gerilme çatlama sorunu sayılır.

Nikel esaslı alaşımlar

Ana metaller

Sertlehimleme açısından nikel ve alaşımları aşağıdaki önemli sınıflara ayrılabilirler: (1) ticari saf nikel, (2) nikel-bakır alaşımları, (3) nikel-krom-demir alaşımları, (4) nikel-krom-molibden alaşımları ve (5) thoriumlu nikel alaşımları, (1) ve (2) gruplarındaki alaşımlar başlıca, korozyon mukavemetinin önemli olduğu ya da mamul saflığının korunmasının gerektiği uygulamalarda kullanılır. (3), (4) ve (5) gruplarındakiler de bir çok ortamda iyi bir korozyona mukavemet arz ederler, buna ek olarak da yüksek sıcaklıkta yüksek mekanik mukavemetle oksidasyona dayanma kabiliyetini haizdirler. Bu nitelikleri kullanabilmek için, çalışma koşullarının sertlehimlenmiş birleştirme üzerindeki etkisini saptamak önemlidir.

Yüksek nikel alaşımlarının bütün koşullar için geçerli olabilecek korozyon veya oksitlenmeye mukavemetine dair herhangi genel ifade, eğer varsa, çok azdır; bu itibarla belli bir uygulama için bir alaşım seçimi gerçek çalışma deneyleriyle yapılacaktır.

Gerilme çatlama

Birçok metal, çekme gerilmesi düzeyinin yüksek olması halinde bazı korozif çevreler içinde gerilme çatlama eğilimlidir. Nikel ve yüksek nikel alaşımları mutad sulu eriyikler içinde buna özellikle dayanıklı olmakla birlikte bu alaşımlarda gerilme çatlama neden olacak çevre, ergimiş ilâve metal olmaktadır. Bu itibarla nikel alaşımları sertlehimleme işlemi sırasında mümkün olduğu kadar bakiye veya uygulanmış çekme gerilmesinden yoksun olacaktır, önceki soğuk işlenmeden bakiye gerilmenin mevcut olması halinde parçaların

sertlehimlenmesinden önce gerilim giderme tavlmasına tâbi tutulmaları önerilir. Malzemenin tavlama sıcaklığına bağlı olarak bu işlemi sertlehimleme sayıklı içine ithal etmek mümkün olabilir.

Yaşlanma sertleşmesine tâbi tutulabilen alaşımlar

Bazı nikel alaşımlarının yüksek sıcaklıkta mukavemet nitelikleri titanium ve alüminyum ilâvesiyle artırılabilir. Rene 80, Rene 120 bunlardandır (Rene 41= % 19 Cr; % 11 Co; 10 Mo; % 3 Ti; % 1,5 Al; % 2,5 Fe; gerisi Ni). Bu iyileştirme, metallar arası birleşimler gibi, bir stabil, sert faz ya da fazların ithali suretiyle gerçekleştirilir. Yüksek nikel alaşımlarında mevcut başlıca sertleştirici birleşim Ni_3Al ve N_3Ti metallar arası birleşimlerdir. Yaşlanmayla sertleştirilebilen nikel ve nikel-bakır alaşımları genellikle $593^{\circ}C$ ta yaşlandırılırken Ni-Cr-Fe alaşımları genellikle $704^{\circ}C$ 'ta yaşlandırılır. Mevcut asli gerilmeler nedeniyle, yaşlanma sertleşmeli nikel alaşımları gerilme çatlamasına eğilimlidirler. Bu metallar dolayısıyla tavllanmış ya da eriyik işlemine tâbi tutulmuş halde sertlehimleneceklerdir; kullanılacak ilâve metal göreceli olarak yüksek ergime noktalı (tercihen $870^{\circ}C$ 'ın üstünde) ve daha sonraki yaşlanma sertleştirilmesi işlemi sırasında taşınmalara dayanacak kadar mukavemeti haiz olacaktır.

İlâve metotlar

Demirli metotlar için normal olarak kullanılan ilâve metallar nikel ve yüksek nikel alaşımlarına da uygundur. Seçim, bitmiş birleşmenin çalışma koşullarına bağlıdır. Keza ana metal için gerekebilecek herhangi bir ısıl işlem de dikkate alınacak, şöyle ki sertlehimlenmiş birleştirme, bahis konusu sıcaklığa dayanabilecektir.

BAG serisi, nikel ve yüksek nikel alaşımlarını kendileriyle ve birçok başka metal ve alaşımla birleştirmede kullanılabilir. Uygun dizayn ve teknikle, sertlehimlenmiş birleştirme ana metalin tüm mukavemetini sergileyebilir. Alçak ergime noktalı BAG-1, BAG-la ve BAG-3 genellikle kullanılmakla birlikte birçok korozif ortam için en az % 50 gümüş içeren ilâve metallar yeğlenir. BAG-7, gerilme çatlağının muhtemel olduğu yerlerde faydalıdır.

Yüksek nikel alaşımlarının çoğu çelikle aynı tekniği, sertlehimleme sürecinde bazı ikincil değişmelerle, kullanarak BCu ilâve metalleriyle sertlehimlenebilirler. BCu ilâve metallar, çelikle olduğundan daha çabuk nikel alaşımlarıyla alaşımlanır. Bu itibarla bakır, likidusunu yükseltip akışkanlığı azaltmaya yeterli nikel kapmadan uzağa akmayacaktır. Bu sorunu omdan kaldırmak için ilâve metal birleştirme yerine mümkün olduğu kadar yakın bir yere konacak, birleştirme yerini doldurmaya yeterli bir depo sağlanacaktır (şek 207'ye bkz). Hafifçe pürüzlü veya hafifçe dağlanmış bir yüzey bakır ilâve metalin kapiler akışı için daha iyi koşullar arzeder. Böyle yüzeyler daha uzun mesafelerde ıslatılırlar; o ise ki parlatılmış yüzeyler bakır

ilâve metalin akışına direnç arz eder. Fazla bakır mevcut olup da fazlasının ana metalin bir ince kesiti üzerine akması halinde bu ince kesiti delebilir.

Fosfor, birçok metalle bileşerek fosfürler olarak bilinen gevrek birleşikler meydana getirir. Bu- nedenle BCu P ilâve metalleri, genellikle herhangi bir demir ya da nikel esaslı alaşımlarla kullanılmaz. Bununla birlikte BNi-6 ve BNi-7, nikel esaslı alaşımları sertlehimlemede kullanılır BNi ilâve metalleri, nikel esaslı ve yüksek nikelli ısıya dayanıklı alaşımların sertlehimlenmesinde geniş ölçüde kullanılmıştır. Bu ilâve metallerle uygun şekilde sertlehimlenme durumunda, çok yüksek oksitlenmeye mukavemet, korozyona mukavemet ve yüksek sıcaklıkta mekanik mukavemeti haiz birleştirmeler elde edilebilir. BNi ilâve metalleri ana metalle sertlehimleme sıcaklığında karşılıklı olarak etkileşir. Bu nitelik, birleştirme yerinin sökölme (yeniden ergitilme) sıcaklığını, birleştirmenin kuvvetini, oksitlenmeye ve korozyona mukavemeti artırma avantajına sahiptir. Bununla birlikte nikel esaslı ilâve metaller kullanılırken erozyon ve ana metalle aşın karşılıklı etkileşimin meydana gelmemesine dikkat edilecektir.

Yüksek nikel alaşımlarının sertlehimlenmesinde palladium veya platin ilaveli nikel esaslı ilâve metallerle altın esaslı, palladium esaslı ve platin esaslı metaller de başarıyla kullanılmışlardır. Bu ilâve metaller genellikle iyi bir ıslatma ve akma karakteristiğine sahiptirler. Bunların çoğu nikel esaslı ana metallerle düşük etkileşim derecesine sahip olup iyi bir süneklik, yüksek mukavemet ve iyi oksidasyona dayanma kabiliyetini haiz birleştirmeler meydana getirmekte bunlar tercihen kullanılır. Ana malzeme ve silisyum ve bor ilâvelerinden oluşan ilâve metaller da Rene serisi alaşımların birleştirilmesinde başarıyla kullanılır.

BNi serisi gibi bor içeren ilâve metaller ana metalin kristaller arası kimyasal erozyonuna neden olurlar; bu erozyon, alaşımların yüzeyleri nikellenerek azaltılabilir veya önlenir. Hasıl olan nikel kaplama ayrıca alaşımı, bahis konusu alaşımlarda (Rene serisi) alüminyum ve titanium varlığı nedeniyle, teşekkül eden bir oksit filmi edinmesini önler. BNi serisiyle sertlehimlenmiş birleştirmeler, oluşan borürler, silisyürler ve karbürler gibi gevrek bileşimler dolayısıyla nispeten düşük mukavemet arz ederler.

Berilium ve özellikle borla alaşımlandırılmış ilâve metallerle, nikel alaşımının ergimiş bu ilâve metaller tarafından ciddi kimyasal erozyona uğratılmasından korunması için saptanmış sertlehimleme zaman-sıcaklık sayıklına dikkatle uyulacaktır.

Bor ilaveli nikel alaşımları, bor içeren ilâve metaller tarafından en ağır kimyasal erozyona uğratılırlar. Bu itibarla ince cidarlı nikel alaşımlarının bu tür ilâve metallerle sertlehimlenmesi önerilmez.

Bütün bu sakıncalarına rağmen bor, nikel esaslı ilâve metallerde ergime noktasını düşürücü olarak geniş ölçüde kullanılır. Örneğin nikel-krom sisteminde bor likidusu 260°C'dan fazla düşürmekle sertlen imlemen in, birleştirilecek ana metallere uygun ısıl koşullar altında gerçekleşme olanağını sağlar. Metal bileşimi, ergime noktası, akma karakteristikleri ve birleştirme nitelikleri gibi parametreler birçok bor içeren ilâve metalin gelişmesine yol açmıştır. Bunlar genellikle Ni-Cr-Fe-B-Si-C grubu elementlerini içerir. Bor yüzdesi ağırlık olarak 2,0 - 3,5 arasındadır. Bu bor düzeylerinde nikel esaslı ilâve metallere oda sıcaklığında hiçbir süneklik arz etmezler ve bu nedenle de bunlar toz, pasta, veya plastikte bağlanmış levha şeklinde bulunur.

İlâve metalin bu toz şekli birçok sınırlamalara neden olmaktadır: ilâve metal miktarının kesinlikle uygulanamaması, toz sistemlerinin neden olduktan gözeneklilik, bağlayıcı artıklarının temizlenme güçlüğü, sertlehimleme sırasında yakın boyutsal kontrolün güçlüğü.

Bu itibarla yukarıdaki sınırlamaların üstesinde gelen bir ilâve metal sınıfı ve difüzyon sertlehimleme tekniği geliştirilmiştir. Bu teknoloji borun metallere içine kontrollü difüzyonuna dayanır. Malzeme, bor ithalinde Önce, istenilen şekle (folio, levha,tel) getirilir. Böylece de bu elementin varlığından hasıl olan süneklik sorunları (gevrekleşme) atlanmış olur. Bor, sonradan, yüzeylere difüzyon yoluyla eklenir. Örneğin 0,05 mm kalınlıkta bir Ni-Si foliosu, % 3B, % 4,5 Si ve gerisi Ni olan bir ilâve metal haline getirilebilir.

Böylece meydana getirilmiş folio, sünek çekirdek sayesinde (difüzyon üst ve alt yüzeyde vaki olur, ortada folio ana malzemesi bulaşmamış halde kalır) istenilen şekli alabilir. Ergime sırasında bütün folio, homogen bir sıvı halinde ergir.

Bazen de birleşecek yüzeylere önceden bor emdirilir (difüze ettirilir) ve böylece de birleşecek yüzler ilâve metala benzer alaşıma dönüştürülür, doğruca difüzyon sertlehimlemesi mümkün kılınabilir.

Nikel alaşımları, bor veya berilium içeren ilâve metallere içinde olduğu gibi silisyumlu ilâve metallere içinde fazla erimezler; bu nedenle sonuncular sertlehimleme sırasında 40°C'a kadar az bir fazla ısıtmaya müsaade ederler. Bununla birlikte uzamış fazla ısıda kalma süresi (özellikle 1220°C'ın üstünde fazladan 15 ilâ 30 dak), ana metalin bir yerel ve genel kimyasal erozyonuna ciddi bir hız verir; bunun yanı sıra ilâve metalde belirgin bir tane büyümesi ve akışkanlık azalması görülür.

Ni- Mn-Cr ilâve metallere nikel alaşımları üzerine fazlaca erozyon etkisi bulunmamakla birlikte bu alaşımların kimyasal erozyonu, bunların uzun süre fazla ısıtılmaları ya da uzun süre ergimiş ilâve metalle temas halinde kalmaları halinde yeterince kuvvetli olabilir. Nikel alaşımları en az erozyona 1250°C'ın altında ergiyen Pd-Ni ve Pd- Ni- Cr ilâve metalleriyle

uğrarlar; bunlarla meydana getirilmiş birleştirmeler 500 ilâ 800°C'a kadar yüksek sıcaklıklara dayanıklı olurlar.

Ana metala kaplama şeklinde tatbik edilmiş veya aralığa folio ya da toz halinde konmuş nikel, Inconel X tipinde alaşımlarının birleştirilmesinde ilâve metalin aralık doldurma kabiliyetini artırır.

Isıya dayanıklı alaşımların, yeni bir teknik olan aktive edilmiş basınç sertlehimlenmesi başlıca, ergimiş ilâve metalin aralığa ithal edilmesi ya da temas reaksiyonu ergimesiyle oluşması, bunun üzerine de sıvı fazın tümü ya da bir bölümünün aralıktan dışarı, uygulanan bir basınç tarafından atılması, ve bundan sonra da metallerin bir difüzyon bağlantısı şeklinde birleştirilmeleriyle karakterize olur. Bu sertlehimleme tekniğinin avantajları, birleştirilen alaşımların yüzey tabakalarının, oksit filmlerinin parçalanıp sıkıştırılarak sıvı fazla birlikte aralık dışına atılması suretiyle, ergimiş ilâve metalle etkileşimindedir. Bu, çok İnce bir sıvı faz tabakasıyla ayrılmış ana metallerin yapışmasını kolaylaştırır.

Bu teknik özellikle örneğin yüksek sıcaklık nikel ve kobalt alaşımlarının birleştirilmesinde etkindir. Bu teknikte çok düşük bir basıncın (0,007 ilâ 0,13 kgf/mm²) uygulanması esastır şöyle ki bunda bahis konusu ilâve metalin ısıya dayanıklı ana alaşımın tane sınırları boyunca büyük akma eğilimi göz önüne alınmaktadır. Düşük basınç ana metalleri, aktive edilmiş yüzey üzerinde belli bir ergimiş ilâve metal miktarıyla temasa getirmek amacını güder.

Inconel tipi Ni-Cr-Fe alaşımları en iyi nikel ilâve metallerle sertlehimlenir. Inconel tipi alaşımlarda % 0,5 ve daha fazla oranda bulunan alüminyum ve titanium gibi elementler son derece stabil oksitler hasil edip bunlar alaşımların ıslatılmasına iyice engel olurlar. Bu durumda metal yüzeyi taşlanmak ve dağlanmak suretiyle bu oksit filmi kaldırılır ve akışı kolaylaştıran pürüzlülük sağlanır. Nikellendikten sonra da ıslatılma daha da iyileşir.

Tavlanmış soğuk çekme Inconel tipi alaşım saçlarına bakır İlâve metal ve bakır kaplamaları uygulamaları ıslatma, yayılma ve aralık doldurma sürecini karakteristik şekilde engeller. Bakır ilâve metaller ayrıca kolaylıkla oksitlenirler ve bütün bu nedenlerle bunlar nikel alaşımlarının birleştirilmesinde sınırlı ölçüde kullanılırlar.

Ergimiş gümüş ilâve metallerin nikel alaşımlarını kolayca gevrekletirdikleri ve bunların çekme gerilmelerine dayanımlarını azalttıkları da akılda tutulacaktır.

Süreçler ve donanım

En çok kullanılan süreçler üfleç, ocak, endüksiyon ve direnç sertlehimlemeleri olup tuz banyosu ve metal banyosu daldırma yöntemi sınırlı uygulamayı haizdir. BAğ serisi üfleçte

kullanılırken BCu ve BNi serileri genellikle kontrollü atmosfer sertlehimlemede ele alınırlar. Ocak sertlehimlemede, sıcaklığın özenle kontrolü önemlidir.

Ön temizleme ve yüzey hazırlanması

Nikel alaşımları üzerinde teşekkül eden oksit filmleri çok sabit olup tel fırçayla kalkmazlar; zımpara bezi veya taşlama bu yolda etkin olur. Yüksek nikel alaşımları önceden her türlü yabancı maddeden itina ile arındırılmadan dekapajla bir uniform oksit kaldırılması beklenemez. Bu alaşımlar için önerilen dekapaj süreçleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. Sabun, sıcak suyla temizlenir. Eriyebilen yağlar, donyağı ve yağ asit bileşimleri için sıcak (82-93°C) % 10-20 eşit oranda sodyum karbonat ve trisodyum fosfat eriyiki veya kostik soda kullanılır. Parçalar bu eriyike yarım saate kadar bir süre daldırılır sonra suda çalkalanır. Madeni yağlar ve gresler trikloretilen ve öbür solventlerde kolayca erirler.

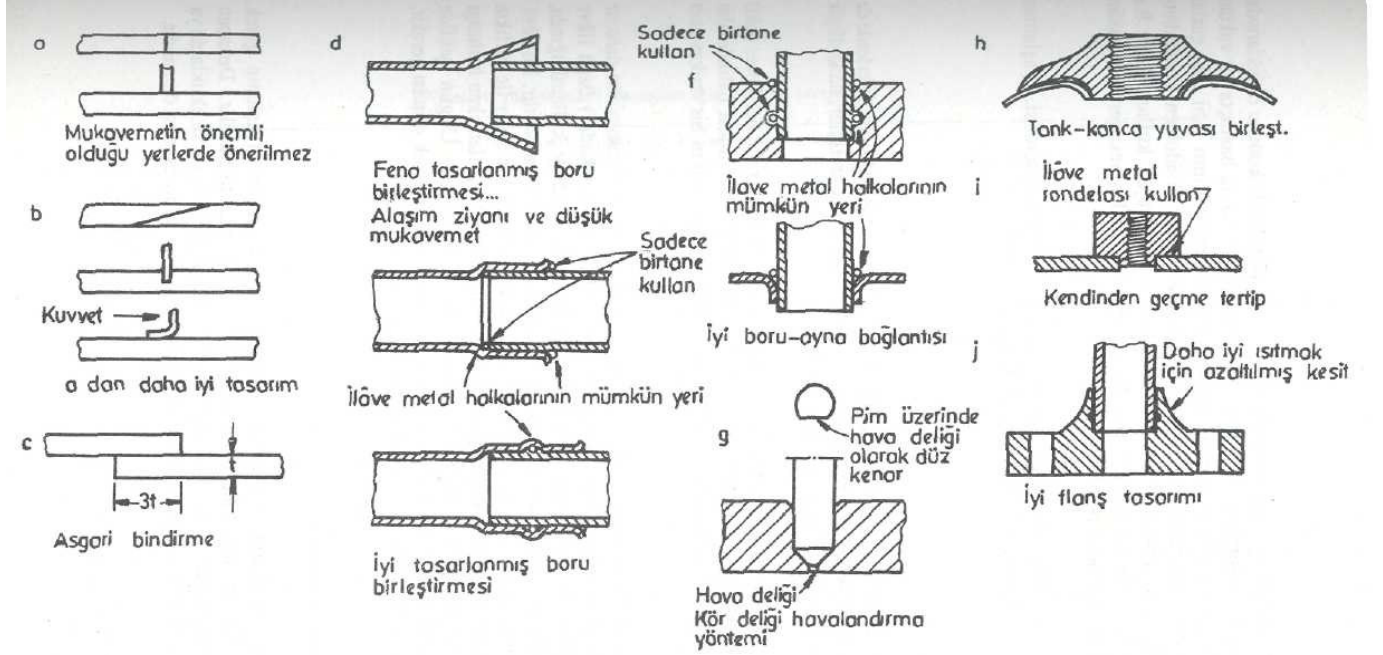
Dekapanlar ve atmosferler

Bağ ilâve metaller kullanıldığında, alüminyum içermeyen alaşımların çoğunu AWS tip 3A ve 3B dekapanlar uygundur. AWS tip 4 dekapanı alüminyum içeren nikel alaşımlarıyla kullanılırken başlarda verilmiş tablolar nikel ve yüksek nikel alaşımlarını sertlehimlemek için gerekli atmosferleri verirler.

Alüminyum ve titanium gibi elementlerin meydana getirdikleri inatçı oksitler normal ocak atmosferiyle redüklenemezler. Bu itibarla yaşlanma sertleşmesine tâbi alaşımlar, Standart alaşımlardan çok daha güç sertlehimlenirler, Ya oksit oluşmasını önleyen ya da ısıtma sırasında teşekkül edecek her oksidi dekapanlayıp atacak bir süreç gereklidir. Böyle bir durumu karşılayacak bazı yöntemler şunlardır:

1. Yukarıda söylenenlerin ışığı altında, parçalar bakırla kaplanabilirler (Inconel tipi alaşımlar dışındakiler). Ancak kaplamanın altında da oksit bulunmayacaktır. Bunu sağlamak üzere de yüzey normal şekilde hazırlanır ve bir nikel klorürü atakı yapıldıktan sonra bakır, mutad şekilde kaplanır. Kaplama yaklaşık 0,008mm (8 fi) olacaktır.
2. Bir başka yöntem de parçaları nikelle kaplayıp refrakter oksitlerin oluşmasını önlemektir. Nikel kaplama genellikle BNi-1 ilâve metali ve alüminyum ve titanium içeren yaşlanma sertleşmesine tâbi tutulabilen alaşımlarla birlikte kullanılır. Kaplama kalınlığı sertlehimleme saykılının süre ve sıcaklığına göre 0,01 ile 0,05 mm arasında değişir.

3. Kuru, oksijenden arındırılmış atmosferler çoğu oksidin oluşmasını önlemek ve birçok durumda da, oluşmuş olanları redüklemekte kullanılır.



Şek. 207.- Gümüş sertlehimlemesi için bazı tasarımlar

Mamafih titanium veya alüminyum oksitleri bahis konusu olduklarında, sertlehimlemenin 10^{-3} torr (0,15 Pa) veya daha az basınçta bir vakum altında yapılması tercih edilir. Argon veya helium gibi asal gazlar kullanıldığında parçalar ocağa konulurken yüzey oksidinden arındırılmış durumda olacaklardır. Bazı hallerde saf hidrojen kullanılabilir. Bu atmosferin çığ noktası, oluşabilecek ya da redüklenmesi gereken oksidin türü tarafından belirlenir.

Tam sızdırmaz metalik ocakta vakum sertlehimlemesi, yaşlanma sertleşmesine tâbi alaşımlar için geniş ölçüde kullanılır.

Teknikler:

B_{Ag}: Aralık, dekapan kullanıldığında 0,05-0,13 mm; kontrollü atmosferlerde de 0,01 mm 'ye kadar inmiş olacak. Kaide olarak, geniş aralıklar, daha düşük birleşme mukavemetiyle sonuçlanırlar.

B_{Cu}: Kademeler birçok bakımdan çelikte olduğu gibidir. Aralık hafif pres (sıkı) geçmeden 0,05 mm arasında olur. Uygun aralığın verilmesi halinde alın birleştirilmesi, tavlanmış ana metalin mukavemetine yakın bir mukavemet verir.

BNi: Genel olarak BAg ile aynı. Daha iyi mukavemet, 0,005mm'den daha az aralıkla alınır. Ayrıca, geniş aralıklara (0,25 mm'ye kadar) özgül ilâve metaller de mevcuttur. Genel olarak BNi ilâve metaller kullanıldığında, sertlehimleme, uygun bir atmosferle çalışan bir ocakta yapılır. Bu ilâve metaller genel olarak, bir akrilik reçine gibi uçucu bir aracı ile birlikte fırça, püskürtme veya ekstrüzyonla uygulanır. Aracıyı kullanırken herhangi bir zararlı artığın kalmamasına dikkat edilecektir. Uygun şekilde kullanıldığında aracının ısıtma sayıklı içinde tamamen yok olması gerekir. İlâve metal keza folio ve sair şekillerde de bulunur.

Sertlehimleme sonrası işlemler

Birçok uygulama, herhangi bir sertlehimleme sonrası işleme gerek göstermez. Oksitlenme vaki olmuşsa, bir dekapaja başvurulabilir. Dekapan kullanılmışsa, bir temizleme işlemi gerekebilir. Özellikle yüksek sıcaklıklarda ya da korozif çevrelerde çalışacak olan parçalarda dekapanın temizlenmesi önemlidir.

Nikel ve yüksek nikel alaşımları için dekapaj tavsiyeleri

Ana metal	Aşağıdaki oksit tipleri için kullanılacak formüller		
	Hafif kirlilik	redüklenmiş oksit	Ağır oksit
Nikel	3	4	5* ve 3**
Nikel- alüminyum al. (Duranikel)	3	4	5* ve 3**
Nikel-bakır al.(Monel)	1 ve 2**	4	5 ve 6**
Nikel-bakır-alüm. al (KMonel)	1 ve 2**	4	5 ve 6**
Nikel- kron-demir al. (Inconel)	—	—	7A
Ni-Cr-Fe-Ti al. (Inconel X)	—	—	7A

Formüller

	1	2	3	4	5	6	7A
Su (lt)	4	4	4	4	4	4	12
Nitrik asit (38°Be') (lt)	4	4	9	—	—	—	4
Sülfürik asit (66°Be') (lt)	—	—	3	0,38	—	0,38	—
Klorhidrik asit (20°Be') (lt)	—	—	—	—	2	—	—
Hidroflüorik asit (%49) (lt)	—	—	—	—	—	—	0,65
Sodyum klorür (kg)	0,250-0,380	—	0,125***	0,500	—	—	—
Sodyum nitrat (kg)	—	—	—	0,250	—	—	—

Sodyum dikromat (kg)	—	—	—	—	—	0,500	—
Bakır klorürü (kg)	—	—	—	—	0,125	—	—
Sıcaklık (°C)	21-38	21-38	21-38	82-88	82	21-38	49-60
Süre	5 sn'den fazla değil	5 sn'den fazla değil	5-20sn	30-90 dak	20-40 dak	5-10 dak	15-90 dak
Kap malzemesi	Toprak Cam Seramik	Paslanmaz Cam Seramik	Toprak Cam Seramik	Toprak Cam Seramik	Toprak Cam Seramik Tuğla	Toprak Cam Seramik Kauçuk	Karbon Tuğla

Not. - Bütün işparçaları dekapajdan önce yağdan temizlenip son bir işlem olarak 1-2 hacim % amonyak eriyikinde nötralize edilecektir. Bu dekapaj malzemesinden çıkan dumanlar kuvvetli tahriş edicidir. Havalandırma davlumbazları kullanılacaktır.

* 1-2 sa gerektirir.

** daldırmalar arasında 82°C'ta sıcak suda çalkalama

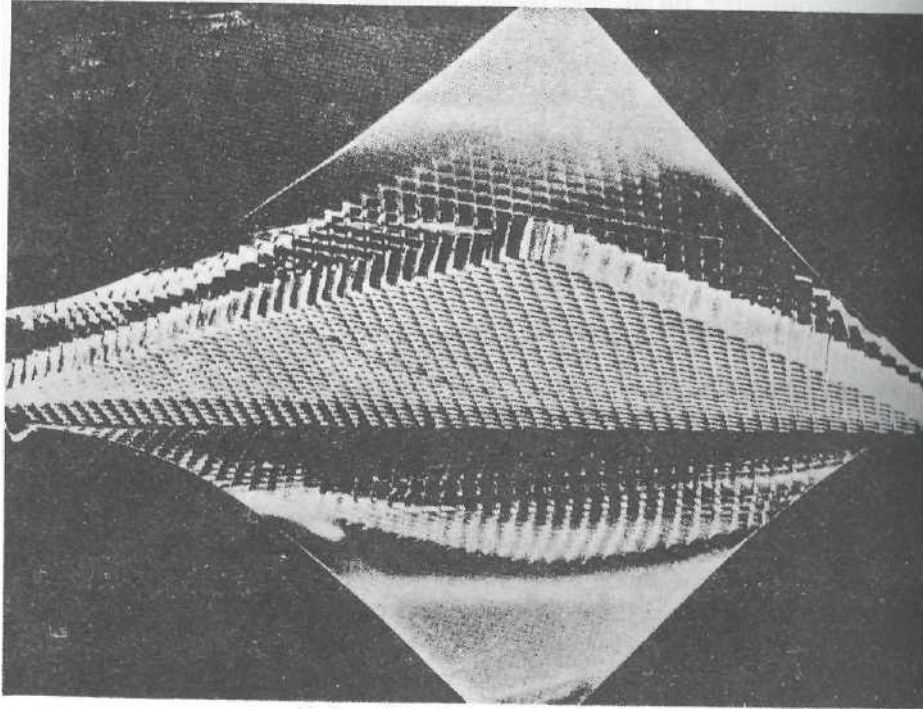
*** Tuz eklemenden önce soğutulmaya bırakılacak

Yaşlandırma sertleşmesine tatn tutulabilen nücel alaşımları, semenim iemeaen sonra yaşlandırılabilirler. Bu takdirde, işlemin yürütüldüğü sıcaklığın üstünde bir ergime sıcaklığını haiz bir ilâve metalin seçimi gerekir. Uygun bir ocak atmosferinde birleştirilmiş nikel alaşımlarının çoğu herhangi bir sertlehimleme işlemine gerek göstermezler, ilâve metalden artmış bakırın bulunması halinde bunu soğuk 20 kısım amonyak ve bîr kısım hidrojen peroksit veya iyice karıştırılmış 15 galon su, 1 galon sülfürik asit, ve 80 lb kromik asit eriyikinde temizlenmesi gereklidir.

Kobalt içeren alaşımlar

Niteliklerinin çoğu itibariyle nikel çok benzeyen kobaltın dahil olduğu alaşımlar genellikle korozyon ve ısıya dayanıklılık nitelikleri için kullanılırlar. Kobalt içeren demir esas malzemelerinin bazıları, metal-cam sızdırmazlık aracı olarak uygulama yeri bulur. Kobaltın kullanıldığı üç sıradan alaşım grubu vardır: demir esaslı, nikel esaslı, kobalt esaslı. Genel olarak nikel ve yüksek nikelli alaşımlar için söylenmiş olanlar kobalt içeren alaşımlara da uyar. Mamafih BAg ve BCu ilâve metalleri kullanıldığında, çalışma sıcaklığı arttıkça mukavemet ve oksitlenmeye dayanıklılık hususlarına dikkat çekilecektir. Çalışma sıcaklığının yüksek olduğu hallerde BNi serisi önerilir.

Bu alaşımlar üzerinde ısıl işlem sırasında teşekkül eden oksit filmi ana metala kuvvetlice yapışır. Bu oksit ergimiş kostik banyolar ve asit eriyiklerle kaldırılır. Ama metalin gevrekleşmesinden kaçınmak için ısıtmadan önce yabancı maddelerin temizlenmesi yine önemlidir.



Şek. 208.- Nikel alaşımından petek sandviç elementleri

Önemli uygulamalardan örnekler

1. Inconel 718 ve X750'nin 1025°C'ın altında nikel sertlehimlemesi

Ta, Ti ve Nb (Cb) gibi reaktif metallerin varlığı, bazı Ni-Cr-Fe yüksek sıcaklık alaşımlarında (örneğin Inconel 718 ve X-750), redüklenmesi ve bir vakum ya da kum hidrojen atmosferinde ıslatılması çok güç yüzey oksitleri meydana getirirler. Bu itibarla bu gibi alaşımların sertlehimlenmesi, 10^{-5} mm Hg dan daha ileri bir vakum ve 1075°C'tan daha yüksek bir sertlehimleme sıcaklığını gerektirir.

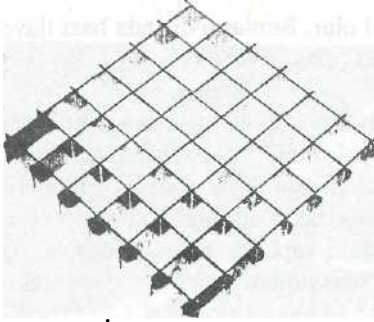
Ancak bu yüksek sıcaklıklarda sertlehimleme ve difüzyon çoğu kez ana metalde, her zaman kabul edilmeyen, tane büyümesine götürür. Sertlehimlenecek parçaların bu yüksek sertlehimleme sıcaklıklarında mukavemetleri çoğunlukla o denli düşük olacak ki bir tür desteğe gerek hasıl olur. Bunların dışında bazı ilâve metallerin bu yüksek sıcaklıklarda agresif etkileri çok yüksek olur.

Klasik olarak, sertlehimleme sıcaklığını düşürmek için, yukarıda ayrıntılarını vermiş olduğumuz şekilde yüzey oksitlerini yok etme yolu tutulur ki bunun sertlehimlemeden önce çok zaman aldığı bilinir. Bunun dışında yüzey işlemleri, ince levhalarda, Örneğin petek yapılarda, nihâi ana metal bileşimini değiştirebilir. Üstelik de elektrolitik nikel kaplamada, kenarlarda kaplama kalınlığı daha fazla olur ki nikelle sertlehimlenmiş birleştirmelerin maksimum sünekliği için gerekli sıkı geçmenin elde edilmesinde sorun yaratabilir.

Bu sorunların üstesinden gelmenin çok daha kolay yolu, bir çok kuvvetli oksit redükleyici ortam kullanmaktır; böylece bu Inconel tiplerinin yüzey oksitleri, sertlehimlenme işlemi sırasında yok edilir. Böyle bir süreç, metal-metal oksit reaksiyonlarının istenilen alçak sıcaklıkta vaki olması halinde çok çekici olur.

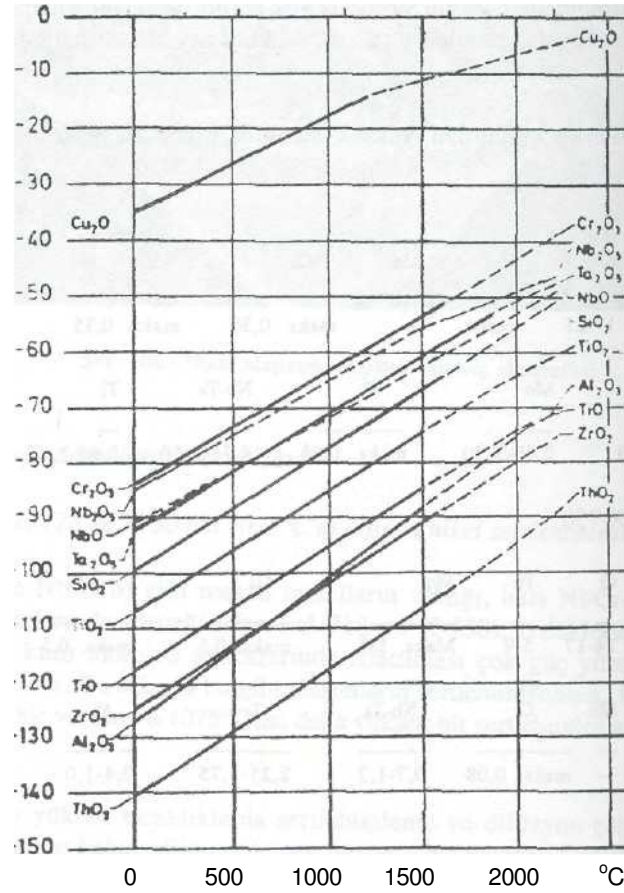
Genel olarak kullanılan yüksek sıcaklık nikel alaşımlarının kimyasal bileşimi şöyledir:

Inconel 718						
Ni	Cr	Fe	Mn	Cu	Si	S
50-55	17-21	gerisi	—	maks. 0,30	maks. 0,35	maks.0,05
Co	Mo	C	Nb-Ta	Ti	Al	
Maks. 1,0	2,80-3,30	maks. 0,08	4,75-5,50	0,65-1,15	0,20-0,80	
Inconel X-750						
Ni	Cr	Fe	Mn	Cu	Si	S
Min. 70	14-17	5-9	Maks. 1,0	maks. 0,5	maks. 0,5	maks. 0,01
Co	Mo	C	Nb-Ta	Ti	Al	
—	—	maks. 0,08	0,7-1,2	2,25-2,75	0,4-1,0	



Şek. 209.- İşlem görmemiş Inconel X-750'den bir nükleer "spacer" in BNİ7 ve bir zirkonium "getter"i ile aynı anda sertleştirilmiş 49 eklemi

Şek. 76'dan, sertleştirme sıcaklığının 1050°C'in altında tutulması istendiğinde oksitlerin redüklenmesi için hidrojen atmosferinin çok kuru olması gerektiği görülür. Keza şek. 76'daki eğrilerden, NbO (CbO) ve Ta₂O₅'in teorik olarak -65°C'lik bir çığ noktası ya da 6 ppm su buharını; TiO₂ve Al₂O₃'in ise pratik olarak uygulanmayacak ölçüde alçak bir hidrojen atmosferi çığ noktasını gerektirir.



Şek. 210.- Oksijenin gram- atomik ağırlığı başına kcal cinsinden oluşma serbest enerjisi

Soruna başka bir çözüm, ana metalle mevcut olanlardan daha çok oksit redükleyici bir elementin kullanılması olmaktadır. Böyle bir element hiç değilse Inconeli daha sonraki bir oksitlenmeden koruyacak ve belki de sertlehimleme işleminden önce mevcut yüzey oksitlerini redükleyecektir. Şek. 77 ve 210'a Standart oksit teşekkülünün serbest enerjileri için göz atıldığında zirkoniumun bu yolda bir olanak sağladığı görülür. Gerçekten ZrO_2 'nin oluşma serbest enerjisi, aşağıdaki tablodan görüldüğü gibi, $ZrC > 2$ nin oluşma serbest enerjisi Inconellerdeki alaşım elementlerinin oksitlerinininkinden aşağıdır. Zirkoniumun ergime noktası $^{\circ}C$ olup $1000-1200^{\circ}C$ arasında bir yüksek vakumda sorun çıkartmayacağı

Kcal/gram atomik oksijen ağırlığı olarak oluşma serbest enerjisi

Me \rightarrow MeO	900 C (1652 F)	1000 C (1832 F)	1100 C (2012 F)	1200 C (2192 F)	1300 C (2372 F)
ZrO ₂	-104	-101.5	-99.5	97	95
Al ₂ O ₃	-103.5	-101	-98.5	96	93.5
TiO	- 97	- 95	-92.5	-90.5	-88.5
TiO ₂	- 87	- 85	-82.5	80.5	78.5
Ta ₂ O ₅	- 73	- 71	-69	-67	-65
NbO	- 74.5	- 72.5	-70.5	-68.5	-66.5
Nb ₂ O ₅	- 67.5	- 65.5	-63.5	-61.5	-59.5
Cr ₂ O ₃	- 66	- 63	-60	-56.5	-53.5

gibi şekillendirilip işlenmesi kolaydır. Böylece de aşağıdaki araştırmanın konusu olmuştur.

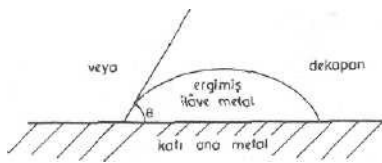
Sözü edilen Inconel türlerinden 0,8 mm kalınlıkta levhalar üzerinde BNİ6 ve BNİ7 ile ıslatma etkisi ölçülmüş, birleştirme yeri doldurma karakteristikleri de pratik olarak şek. 209'daki "spacer" in eklemleri üzerinde gözlenmiş, her İki ilâve metalin ıslatma etkisi temas açılan ölçülerek (şek. 211) saptanmıştır.

İlk başlan itibaren BNi7'nin öbüründen daha üstün oksit redükleyici koşulları gerektirdiği görülmüş olup deneye, bu daha zor ilâve metalle devam edilmiştir. Toz halindeki ilâve metal, yağdan arındırılmış levhalar üzerine veya eklem kesitleri üzerine, vakum birkaç yüz °C'ta uçan bir yapıştırıcı aracılığıyla konulmuş.

Deney parçaları ocaklara konduktan sonra, bunda kullanılan küçük laboratuvar ocağı 5×10^6 mm Hg, öbür daha büyük imalât ocağı da 10^5 mm Hg'ye boşaltılmış. Sonra ısı sertlehimleme sıcaklığına getirilip burada 1 saat ve parçalar 200°C 'a kadar vakum altında soğutulmuş.

Küçük ocak 43 mm iç çaplı ve 500 mm boyunda bir kuvarz tüpü olup parçalar bir Fiberfrax (Carbonindum Co., N.Y.) üzerine konmuş. "Getier* sertlen i m tem esi yapıldığında, Fiberfrax, kuvarz tüpünün içinde bir açık zirkonium tüpü (getter) içine yerleştirilmiş.

Bütün deneyler 150 mm çapında ve 300 mm boyunda, emniyet çemberi ("susceptor") olarak kullanılan bir molibden tüp içinde yürütülmüş (şek. 212).



Şek. 211.' Islatma etkisini ölçmek için temas açısı

Sonuçlar: BNi1, Inconel 718 ve X-750 numuneler üzerinde çok iyi ıslatma özelliği arz etmiştir: küçük laboratuvar ocağında sertlehimleme- mede 1065°C 'ta ve 10^{-5} mmHg'dendaha ileri bir vakumda temas açısı sadece birkaç dereceden ibaret kalmıştır.

Aşağıdaki tabloların verileri, zirkoniumun, her iki Inconel üzerinde BNi 7 ilâve metalin ıslatma etkisini teşvik etmede çok etkin olduğunu gösterir.

BNi 7 ilâve metaliyle 1065°C'ta bir saat süreyle sertlehimlemeden sonra ölçülmüş temas açıları

Ana metal 10^{-5} mm Hg 10^{-2} mmHg 10^{-2} mm Hg + Zr getter

Ana metal	10^{-5} mm Hg	10^{-2} mmHg	10^{-2} mm Hg + Zr getter
Inconel 718	1°	Islatma yok	3°
Inconel X-750	1°	ıslatma yok	5°

BNi 7 ilâve metaliyle 1000°C'ta bir saat süreyle sertlehimlemeden sonra ölçülmüş temas açıları

Ana metal 10^{-5} mm Hg 10^{-5} mm Hg
 + Zr getter + Ti getter 10^{-5} mm Hg

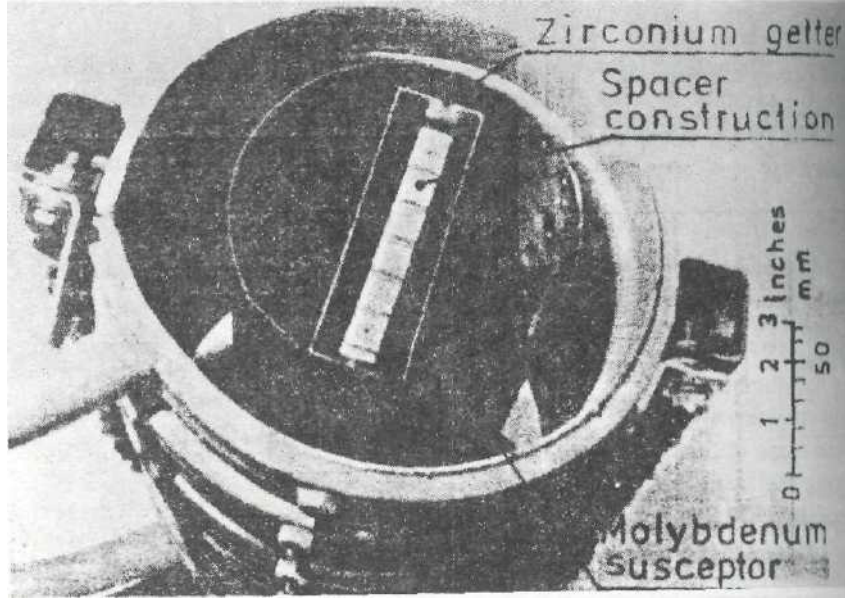
Ana metal	10^{-5} mm Hg + Zr getter	10^{-5} mm Hg + Ti getter	10^{-5} mm Hg
AISI 304	—	—	1,5°
Inconel 718	1°	1°	15°
Inconel X-750	3°	3°	ıslatma yok

BNi 7 Dâve metaliyle 1025 ve 1065°C'ta bir saat süreyle

10^{-2} mm Hg vakumu ve bir Zr gelleri ile sertlehimlemeden sonra Ölçülmüş temas açıları

Ana metal

Ana metal	Sertl. sıcaklıkları	
	1025°C	1065°C
AISI 304	1-2°	—
Inconel 718	2°	3°
Inconel X-750	3°	5°



Şek. 212.- Şek. 209'daki spacer'in getterle sertlehimlenme tertibi

Yukarıdaki sonuçlardan zirkoniumun bu Inconel'lerin ısıtılma karakteristiklerini çok kesin şekilde ıslah ettiği aşikâr olmaktadır. Bunun yanı sıra Inconel yüzeylerinin, bir parlak tavlama sonrasında olduğu gibi değiştikleri gözlenmiştir.

Zirkoniumun, Inconel'lerin içindeki öbür alaşım elementlerinin hepsinden çok oksijene eğilimi olması itibariyle, zirkonium tübü (getter'i) içine konmuş Inconel numune parçalarını oksitlenmeden koruyacağı doğaldır. Hatta Inconel'lerin yüzey oksitlerini redükleyebilmesi bile mümkün görünmektedir.

Zr getter'le sertlehimlemede ön işlem bir yağdan arındırmadan ibarettir. Getter malzemesinin zirkonium iş parçasını ya da sertlehimlenecek birleştirmeyi çevrelemesi gereklidir. Kolay şekil alıp işlenebilen zirkonium, endüksiyon ısıtmasında emniyet çemberi (susceptor) olarak da kullanılabilir.

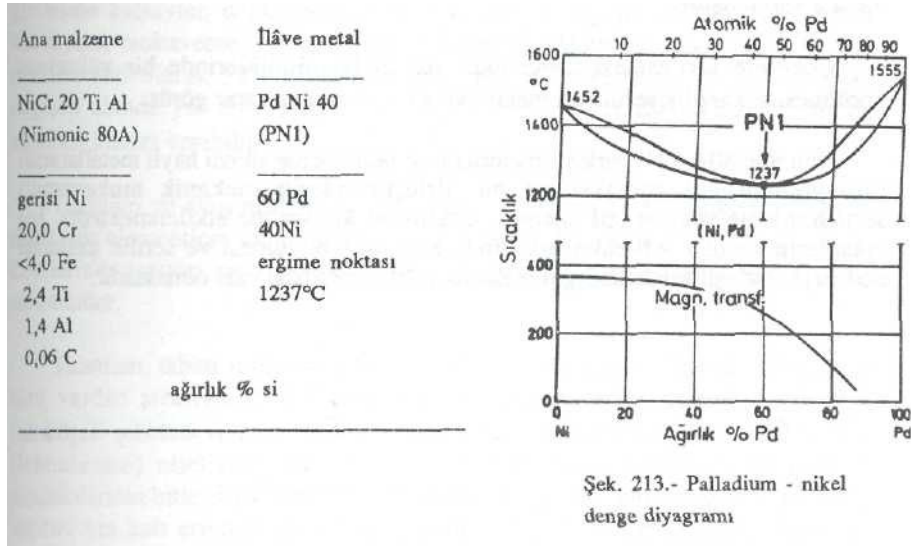
2.Yüksek sıcaklıkta sertlehimlenmiş NiCr 20 TiAl-PdNi40 birleştirmelerinin nitelikleri

Burada yüksek sıcaklıkta sertlehimleme uygulamasının pratikte mekanik nitelikler ve kristal içyapının ve kimyasal bileşimin bu nitelikler üzerinde etkileri bahis konusudur.

Isıya dayanıklı Nimonic 80A alaşımının yüksek sıcaklık sertlehimini PN1 ile birleştirilmesinde bu hususlar ele alınmıştır.

γ fazı - Ni₃ (TiAl) - oluşturan Ti ve Al içerikli Nimonic 80A yapay yaşlanma sertleşmesine tâbi tutulabilir. Bununla birlikte bu alaşım bileşenleri özel birleştirme

teknikleri gerektirirler. Eriyik ısıtım işleminden sonra bu süper alaşım bazı yöntemlerle kaynak edilebilir*.



Metalürjik etkilerin asgaride tutulması gerektiğinde yüksek sıcaklık sertlehimlemesine başvurulur. Nimonic 80A üzerinde yürütülmüş araştırma, vakum sertlehimlemesinin yüksek alaşımlı malzemeleri birleştirmede bir tamamlayıcı ve bazen de tek uygun yöntem olduğunu göstermiştir.

Yüksek ergime noktalı PNI ilâve melali başka alaşımların birleştirilmesinde de başarıyla kullanılmakta olup bir homogen içyapı şeklinde aniden katılır (şek. 213'deki diyagrama bkz.). Bu sertlehim malzemesi bir alçak buhar basıncıyla belirgin olup böylece vakumda yüksek sıcaklık sertlehimlemesine çok uygundur.

PNI ile Nimonic 80A'nın birleştirilmesi deneyleri 5×10^3 mm Hg gibi yüksek vakum ve 1290°C 'ta yürütülmüştür. Ana metal dokusu üzerinde asgari ısıtım etki sağlamak için, sertlehimleme süresi mümkün olduğu kadar kısa tutulmuştur.

Birleştirmeler oda sıcaklığında yakl. 100 da N / mm², 500°C 'ta da 85 da N/ mm² çekme mukavemeti arz etmişlerdir. Bunun dışında, yorulma davranışı kabul edilebilir sınırlar içinde kalmıştır. Bütün deneklerde yorulma çatlakları sertlehim metalinde başlamış, çatlak kısmen serilenime, kısmen de ara yüze komşu ana metala yürümüştür.

Çökeltme sertleşmesi sonucunda ana metal niteliklerinde bir yükselme görülmesine karşılık sertlehim metali bu ısıtım işlemlerden zarar görür.

Karbonlu ve alaşımlı çeliklerin kaynağı kitabına bkz.

Nimonic 80A-PN1 birleştirmelerinde sertlehimleme süreci hayli metaller arası difüzyonuna yol açmakta ve bu birleştirmelerin mekanik mukavemeti sertlehimleme sonrası ısıll işlemler tarafından kuvvetlice etkilenmektedir. Isıl işlemlerin sonucu sertlehim metalinde aşın tane büyümesi ve sertlik azalması nedeniyle birleştirmede belirgin mekanik nitelik azalması vaki olmaktadır.