

M - TUNGSTEN, MOLİBDEN, TANTAL VE KOLUMBİUMUN SERTLEHİMLENMESİ

Tungsten, molibden, tantal ve kolumbium 2200°C'in üstünde ergirler ve dolayısıyla refrakter metal olarak nitelenirler. Uzay ve nükleer endüstrilerin yüksek sıcaklık malzemesine olan talebi bu metalleri laboratuvarından mühendislik alanına taşımıştır.

Tungsten (Wolfram)

Pres ve sinterlenmiş, ark - döküm ve döğme şekillerde bulunan tungsten, bilinen metallerin en yüksek ergime sıcaklığını haiz olanıdır: 3410°C. Özgül ağırlığı 19 kg/dm³ olup yüksek elastikiyet modülü ve molibdeninkine yaklaşık olarak eşit ısıl genleşme katsayısına sahip bu ağır metal, yüksek ergime noktası ile birlikte yüksek sıcaklık mukavemeti sayesinde yüksek sıcaklık uygulamalarında çok kullanılır. Gayri tabii bir yüksek süneklik - gevreklik intikal sıcaklığı (260-371°C), tungstenin oda sıcaklığında işlenmesine engel olur. Rekrystallize halde bu metal, yüksek sıcaklıklarda azalmış bir mukavemet ve süneklik nitelikleri arz eder.

Gerçekten tungsten oda sıcaklığında gevrek olup çalışılması güçtür. Tane sınırın mukavemeti şebeke mukavemetinden önemli miktarda azdır. Bu nedenle rekrystallize tungsten tercihen tane sınırından kopar. Tane boyutu, şekillendirme ve safiyet derecesine göre 100 ilâ 500°C arasında bir sıcaklığın üstünde, tokluk derecesi hızla artar.

Tungsten saçların mukavemet değerleri

Saç kalınlığı	İşlem	Çekme muk. kp/ mm ²	Sertlik HV kp/ mm ²
1 mm'nin üstünde	az şekil alır	100 - 180	300 - 550
1 mm'nin altında	derin şekil alır	150 - 500	500 - 750
—	yumuşak tavlınmış (rekrystallizasyon tavi 1 sa - 1250°C)	100 - 120	360

Uygun süreçlerin kullanılması halinde tungsten kendisiyle ve öbür metaller ve metal dışı malzemelerle sertlehimlenebilir.

Son derece yüksek ergime noktası, alçak buhar basıncı ve ark ve şerare (kıvılcım) altında az malzeme transferi eğilimi sayesinde tungsten elektrik kontakt uygulamalarında (otomobil voltaj kontrol kontaktları, röleler, devre kesiciler...) kullanılır. Keza bu metal direnç kaynağı elektrodu olarak da kullanılmıştır. Son yıllarda tungsten uzay endüstrisinde çok önem kazanmıştır.

İlâve metaller

İlâve metaller, tasarlanan özel uygulamaya göre seçilecektir. Aşağıdaki tabloda tungstenin birleştirilmesinde kullanılan birçok ilâve metal ve saf metal verilmiştir, ilâve metal alaşımlarının likidus sıcaklıkları 650 il 1927°C arasında değişmektedir.

Refrakter metaller için sertlehimleme ilâve

İlâve metal	Likidus sic.		İlâve metal	Likidus sic.	
	F	C		F	C
Cb	4380	2416	Co-Cr-Si-Ni	3450	1899
Ta	5425	2996	Co-Cr-W-Ni	2600	1427
Ag	1760	960	Mo-Ru	3450	1899
Cu	1980	1052	Mo-B	3450	1899
Ni	2650	1454	Cu-Mn	1600	871
Pd-Mo	2860	1571	Cb-Ni	2175	1191
Pt-Mo	3225	1774	Pd-Ag-Mo	2400	1316
Ag-Cu-Zn-Cd-Mo	1145-1295	618-702	Pd-Al	2150	1177
Ag-Cu-Zn-Mo	1325-1450	718-788	Pd-Ni	2200	1204
Ag-Cu-Mo	1435	779	Pd-Cu	2200	1204
Ag-Mn	1780	971	Pd-Ag	2400	1316
			Pd-Fe	2400	1316
Ni-Cr-B	1950	1066	Au-Cu	1625	885
Ni-Cr-Fe-Si-C	1950	1066	Au-Ni	1740	949
Ni-Cr-Mo-Mn-Si	2100	1149	Au-Ni-Cr	1900	1038
Ni-Ti	2350	1288		Sertl.	Sic.
Ni-Cr-Mo-Fe-W	2380	1304	V-Ta-Cb	3300-3500	1816-1927
Ni-Cu	2460	1349	V-Ta-Ti	3200-3350	1760-1843
Ni-Cr-Fe	2600	1427	Ti-V-Be	2280	1249
Ni-Cr-Si	2050	1121	Zr-Cb-Be	1920	1049
Mn-Ni-Co	1870	1021	Zr-Ti-Be	1830	999

BAg -3, BCu P ve BCu gibi alçak ergimeli ilâve metaller tungsteni, elektrik uygulamalarında birleştirmek için kullanılır; ancak fevkalâde yüksek sıcaklıklarda çalışma gereği bunların kullanılma alanını sınırlar. Birleştirmelerin yüksek sıcaklıkta çalışması bazı durumlarda tantal ve kolumbium gibi saf metallerin kullanılmasını haklı çıkarır. Nikel ve manganez esaslı yüksek sıcaklık ilâve metalleri, tungstenin birleştirilmesi için uzay uygulamalarında kullanılır. Platin ve bor esaslı ilâve metaller, sonradan 1090°C'ta bir difüzyon işlemiyle 2150°C'a kadar kullanılmışlardır. Nispeten alçak sıcaklıklarda sertlehimleme ve bundan sonra bu tür difüzyon işlemleri birleştirmelerin yakl. 3038°C a kadar kullanılmasına olanak sağlar.

Tungstenin birleştirilmesinde difüzyon kaynağının özel bir anlamı vardır. Bu metalin ergime noktasının çok yüksek olmasına rağmen 1210 ile 2000°C'lık rekristalizasyon sınırı arasında difüzyon sıcaklığı, memnuluk verici birleştirme için yeterli olmaktadır. Gerekli basınç 0,2 ile 2,0 kp/mm² arasındadır. Kaynak vakum altında olduğu kadar hidrojen atmosferinde de olabilir: tungsten, yüksek sıcaklıklarda hidrojene bir ölçüde iyi dayanıklıdır.

Bunların dışında nikel, rhodium, platin ve özellikle palladiumun eklenmesiyle difüzyon olayı önemli derecede hızlanır. Bu metaller tungsten partiküllerinin etrafını ince tabaka halinde sararlar ve kristallerin birbirlerine dayanışmasını gevşeterek difüzyona yardımcı olurlar.

Süreç ve donanım

Tungsten ocak (asal gaz ya da redükleyici atmosfer veya vakum), üfleç, direnç ve endüksiyon ısıtmasıyla sertlehimlenebilir. Ocak birleştirmesine genellikle parçaların endüksiyon ve direnç sertlehimlemelerinin prafa olamayacağı kadar büyük olmaları halinde başvurulur.

Ön temizleme ve yüzey hazırlanması

Sertlehimlemeden önce çok iyi temizleme esastır ve bu yolda hem mekanik, hem de kimyasal temizleme kullanılabilir. Temizleme yöntemleri şunlardır:

1. Kaynar % 20 potasyum hidroksit eriyikine daldırma
2. % 20 potasyum hidroksit eriyiği içinde elektrolitik dekapaj
3. Hacim olarak % 50 HNO₃ ve % 50 HF karışımı içinde kimyasal dekapaj
4. Ergimiş sodyum hidroksit İçine daldırma
5. Ergimiş sodyum hidrürü içine daldırma

En etkin temizleme süreci oksit filminin yapışkanlık derecesine göre seçilir. Döğme (haddelenmiş) tungsten levhasının haddede temizlenmiş olması halinde bazen sadece yağdan arındırma yeterli olur. Bazı durumlarda nikel ve başka elementlerle elektrokaplama, ana metalle gevrek metaller arası birleşmeler meydana getirebilecek elementlerin difüzyonunu durdurmada kullanılmaktadır. 15 dakikalık bir hidrojen atmosferinde 1065°Cta ocakta temizleme işlemi, hafif oksit filmlerinin redüklenmesinde etkili olur. Tungsten kontakt malzemesi, çoğunlukla döner tamburda parlatılır.

Dekapanlar ve atmosferler

Tungsten ya bir asal gaz (helium argon) atmosferi, redükleyici atmosfer (hidrojen) ya da vakumda sertlehimlenebilir. Bu sonucunda iki önlem alınacaktır: ilâve metallerin bileşme elementlerinin buhar basınçları, kullanılan sıcaklık ve basınçlara uygun olacaktır; gaz tahliyesinin ana metallerle konmuş ilâve metalin nitelikleri üzerinde etkisi değerlendirilecektir. Tungsten elektrik kontakt sertlehimleme uygulamalarında gümüş ve bakır esaslı ilâve metaller kullanılması halinde mutlak sıcaklık dekapajları kullanılır.

Sertlehimleme teknikleri

Toplama İşlemleri sırasında tungsten parçalar, bunların doğal gevreklikleri dolayısıyla, dikkatle taşınacaklardır. Nikel esaslı ilâve metal fazlasından kaçınılacaktır şöyle ki W ile Ni arasında etkileşim, tungstenin rekristalizasyonu ile sonuçlanır. Gevrek tungsten karbürü oluşmasını önlemek üzere grafitle temastan kaçınılacaktır. Daha önce şekillendirme veya kaynaktan hasıl olmuş iç gerilmeli tungsten parçalar sertlehimlenmeden önce gerilim giderme işlemine tâbi tutulacaklardır. Çoğu durumda, ilâve metallerle sertlehimleme sayıları ana metalin bütünlüğünü korumak üzere tungstenle ilâve metal arasında karşılıklı etkileşim asgari olacak şekilde seçileceklerdir.

Tungsten - bakır uçlar

Bu malzemeler gerçek alaşımlar olmayıp toz metalürjisi süreçleriyle meydana getirilirler. Bunların normal bir analizi 80W-20 Cu şeklindedir. Bu uçların iki uygulama alanı vardır.

1. Genellikle, elektrodun başlıca akım taşıyıcı bölümünü oluşturan Cu-Cr alaşımına sertlehimlenen direnç kaynağı elektrodlan. BAg serisinde herhangi bir ilâve metal bunun için uygundur. W-Cu uçlar çoğunlukla endüksiyon veya üfleçle birleştirilir.
2. Aynı veya benzer W-Cu alaşımının kullanıldığı elektrik deşarj işlenmesi (EDM) (elektro erozyon) için elektrodlan. Burada da sadece elektrodun ucu W-Cu alaşımından yapılmıştır. Elektrodu akım beslenmesine bağlamada bir fosforlanmış bakır altlık kullanılır. Çoğunlukla sertlehimleme bir nötr ya da redükleyici atmosferde olur. En uygun ilâve metal BAg-8 dir; parçalan hızda tutmak için tasarımda pimler ithal edilir ve ilâve metal levha halkalar halinde önceden yerleştirilir.

Tungsten ve molibden uçlar

Saf tungsten veya molibden uçlu direnç kaynağı elektrodları özellikle demirdışı, yüksek iletken malzemelerin kaynağında faydalıdır, örgülü bakır telin kaynağı bir tipik örnektir.

Molibden

Molibden ve alaşımları pres ve sinterlenmiş ark-döküm ve döğme (haddelenmiş) hallerde bulunur. Birinciler elektrik kontaktları olarak kullanılırlar berikiler de yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemetin arandığı yerlerde uygulama alanı bulurlar. Mo yüksek elastikiyet modülüne sahip olup az çok çelik kadar kuvvetlidir. Tungstenin yansı kadar yoğun olup iyi bir ısı iletkenliği sahiptir. Tungsten gibi mükemmel yüksek sıcaklık niteliklerini haizdir; bununla birlikte zayıf olan oksitlenmeye mukavemeti, yüksek sıcaklıklarda koruyucu kaplamayı gerektirir. Çok az

miktarda oksijen, azot ve karbonun varlığı molibdenin sünekliğini azaltırken rekristallize olmuş molibdenin mukavemet ve sünekliği yine azalır ve dolayısıyla bundan kaçınılması gerekir. Bazı Mo grade'leri oda sıcaklığında gevrek olmakla birlikte bunlar ılımlı yüksek sıcaklıklarda (149-260°C) şekillendirilebilirler. Bir alaşım elementinin eklenmesi, rekristalizasyon sıcaklığını yükseltmek suretiyle çeşitli ilâve metallerin kullanılmasına olanak sağlar. Altı değişik alaşımın rekristalizasyon sıcaklığı şöyledir: alaşımlandırılmamış Mo: 1177°C; Mo-13Cb: 1204°C; Mo-15Ti: 1343°C; Mo-IV: 1177°C; Mo-0,5 Ti: 1343°C; Mo-0,5 Ti - 0,07 Zr,: 1482°C.

Molibden elektrik ve elektronik endüstrilerinde (elektronik tüpler, kontaklar transdüsörler ve transistorlar için mesnetler...), uzay endüstrisi (nozzllar, radyasyon mahfazaları...), nükleer endüstri (ısı eşanjörleri, mesnet ızgaraları...) ve kimya, cam ve ısı püskürtme endüstrilerinde kullanılma alanı bulur.

Yüksek ergime noktası (2610°C) ve buna bağlı olarak belirgin yüksek sıcaklık mukavemeti nedeniyle bu metal vakum ya da koruyucu gazla çalışan yüksek sıcaklık ocakları için aranan bir malzeme olmuştur. Isı iletkenleri ve tav kaplarının yanı sıra özellikle, saf molibdenden yapılan ısı huzmelerine karşı çok cidarlı izolasyon koruyucusu imalinde kullanılır.

Al, Ti ve Zr ile alaşımlandırılarak Mo'nin sürünme dayanması daha da iyileşir şöyle ki molibdenli malzemelerin kullanılma alanı 1300°C'in üstüne kadar uzanır.

Molibdenin mekanik değerleri ayrıca işlenme şekli, şekillendirilme derecesi ve sıcaklığa bağlıdır. Mo, özellikle sinterlenmiş halde, büyük miktarda oksijen içerir; bu oksijen, yüksek sıcaklıklardan itibaren soğumada erimiş halde kalmaz ve MoO₃ halinde tane sınırında ifna olur. Aynı şekilde nitür ve karbürler de, gevrek cisim olarak tane sınırlarına oturur ve molibdenin plastik şekillendirilmesine önemli ölçüde engel olurlar.

Tokluk niteliğine verilen bu zarar iki yolla azaltılabilir. Bunlardan biri, yüksek derecede şekillendirmek için "TZM" alaşımına başvurmaktır ki bunda bulunan Ti ve Zr, bu ademi safiyetleri bağlarlar.

İkinci yol da, kaba kristalli molibdeni 1300°C'ta şiddetle şekillendirmek, yani döğmek, haddelemek vs. den ibaret olup böylece tane sınırındaki film kırılır ve uygun tokluk niteliklerini haiz bir elyafı tane dokusu elde edilir. Bu nedenle en az % 50 şekillendirilme derecesinden geçmiş saçlar iyi işlenebilirler.

Molibdenin dikkate değer nitelikleri arasında düşük ısıl uzama katsayısı olup bu, orantılı olarak cam, silisyum ve germaniumumkiyle uygunluk halindedir.

Bir oksitleyici olmayan asitler grubuna (HCl, SO₄H₂, HF vb) ve metal ergiyiklerine karşı yüksek korozyon mukavemeti de belirgin olup kimya apareyleri imali ve reaktör tekniğinde sayısız kullanıma olanağı sağlar.

İlave metalller

Molibdeni birleştirmede değişik ilâve metalller kullanılabilir; seçim, uygulama esasına göre yapılır. Sertlehimleme sıcaklığı, tungstende olduğu gibi, 649 ilâ 1927°C olup ilgili tabloda gösterilmiş alaşımların çoğu Mo'ne uygundur. Her ilâve metal, özel nihaî kullanıma göre değerlendirilir. Birçok durumda parçaların çalışma sıcaklığı belli bir ilâve metali zorunlu kılar. Bununla birlikte sertlehimleme sıcaklığının ana metal nitelikleri, özgül olarak da rekristalizasyon üzerindeki etkisi dikkat nazara alınacaktır. Rekristalizasyon sıcaklığının üstünde sertlehimlendiğinde, süre mümkün olduğu kadar kısa tutulacak; parçalardan yüksek sıcaklıkta çalışma istenmiyorsa bakır ve gümüş esaslı ilâve metalller kullanılabilir.

Daha yüksek sıcaklıkları gerektiren elektronik parçaları gibi uygulamalarda Cu-Au, Ni-Au, Ni-Cu ilâve metalleri kullanılabilir. Daha da yüksek sıcaklıklar için saf metalller kullanılabilir.

Birleştirme yerinin tasarımı

Molibdenin fevkalâde düşük ısıl genişleme katsayısı, tasarımda özellikle farklı metallere birleştirilmesinde dikkate alınacaktır. Genellikle birleştirme aralıkları 0,05 ile 0,13 mm arasında olur.

Süreçler ve donanım

Üfleç, kontrollü atmosferli ocaklar, vakum ocakları ve endüksiyon ve direnç ısıtma donanımı molibdenin sertlehimlenmesinde kullanılabilir. Oksiasetlen üfleç sertlehimlemesi gümüş ve bakır esaslı ilâve metallere ve bir uygun dekapana gerçekleştirilebilir.

Ön temizleme ve yüzey hazırlanması

Yüzeyden oksidin kaldırılması kesinlikle zorunludur. Temizleme işlemi sertlehimlemeden hemen önce yapılacaktır. Yağ, parmak izi ve gresin temizlenmesi için mekanik ya da kimyasal yollara başvurulur. Kum püskürtme, sıvı abrazyon temizleme veya abrazyon, basit parçaların üzerinden oksit filminin kaldırılması için kullanılabilirse de kimyasal temizleme, özellikle çapraşık parçalarda, daha uygundur. Ağır oksit filmleri için şu tuz banyoları iyi sonuç vermektedir: (1) 260-371°C'ta %70 sodyum hidroksit ve % 30 sodyum nitrit; (2) 371°C'ta çalışan ticari martemperleme tuzu (sodyum ve potasyum nitratları karışımı). ilki molibdeni atake ettiğinden yakından kontrol edilecektir, öbüründe ise herhangi bir ileri atak gözlenmemiştir.

Hafif yüzey oksit filmleri tuz banyosundan sonra bir uygun işleme yok edilir. Basit parçalardan bu yüzey oksitlerinin kaldırılması için elektrolitik dekapaj sıvıları kullanılabilir; mamafih molibdenin tane sınırlarına atak, ciddi olabilir. Kimyasal dekapaj eriyikleri en çok kullanılan temizleme yöntemi olup bunlardan üçü aşağıda verilmiştir.

1. % 95 H₂SO₄, %4,5 HNO₃, % 0,5, HF ve Cr₂O₃ (18,8 gr/lt'ye eşdeğer) den oluşan cam temizleme eriyikine daldırma
2. Ağırlık olarak % 10 NaOH, % 5 KMnO₄ ve % 85 H₂O (66-82°C) alkalın eriyikine 5-10 dak daldırma. Bundan sonra, bu daldırma sırasında oluşmuş birikintileri yok etmek için % 15 H₂SO₄, % 15 HCl, % 70 H₂O ve ağırlık birimi başına % 6-10 kromik asitten oluşmuş bir ikinci banyoya 5-10 dak daldırma.
3. Mo-0,5 Ti alaşımı
 - a) 10 dak trikloreu'ten içinde yağdan temizleme
 - b) ticari alkalın temizleyici içine 2-3 dak daldırma
 - c) soğuk suda çalkalama
 - e) (b) nin tekrarı
 - d) Buhar püskürtme
 - e) (b) nin tekrarı
 - f) soğuk suda çalkalama
 - g) 54°C'ta % 80 H₂SO₄ içinde elektrolitik parlatma (8-12 amp)
 - h) soğuk suda çalkalama

Dekapanlar ve atmosferler

Bir oksiasetlen üfleci kullanıldığında iyi bir koruma, bir ticarî borat esaslı veya gümüş dekapanı (AWS tip 3A ve 3B) ve kalsiyum flüorürü içeren bir yüksek sıcaklık dekapanı karışımı kullanılarak elde edilir. Dekapanlar 566 ile 1427°C arasında sıcaklıklarda aktiftirler. Molibden önce ticari gümüş dekapanı ile kaplanır, sonra yüksek sıcaklık dekapanı tatbik edilir. Gümüş sertlehimleme dekapanı, aktif sıcaklık aralığının alt sınırında aktif olup bundan sonra, 1427°C'ye kadar aktif olan yüksek sıcaklık dekapanı devreye girer. Safleştirilmiş kuru hidrojen ve asal gaz (helium ve argon) atmosferleri molibdenin sertlehimlenmesi için uygundur. Saf molibdenin sertlehimlenmesinde hidrojenin saflığı kritik sayılmaz. Molibden oksidinin redüklenmesinde 27°C'lık çığ noktasına müsaade edilebilir. Aşağı bir çığ noktası (-46°C veya daha aşağı), titanium içeren molibden alaşımları için gereklidir. Vakum ocakları molibdenin sertlehimlenmesinde kullanılmıştır; bununla birlikte, bu işlem sırasında

buharlaşmayacak ilâve metalin seçimine dikkat edilecektir. \forall (0,15Pa) dan aşağı basınçlar, Ti içeren Mo alaşımlarının birleştirilmesinde arzu edilir.

Toplama, süreçler ve teknikler

Molibdenin rekristalizasyonundan kaçınmak için 1093°C'ın üstünde ısıtma sayklları kısa olacaktır. Sertlehimlemede dikkat nazara alınacak bir başka sorun da Mo ile ilâve metal arasında metaller arası birleşmelerin oluşmasıdır. Rekristalizasyon, molibdenin rekristalizasyon sıcaklığını asmasıyla ve /veya ilâve metalin nikel gibi elementlerinin difüzyonuyla rekristalizasyon sıcaklığının düşmesiyle vaki olur. Bu sorunlar parçalann alçak sıcaklıklarda çalışması halinde önemli değillerdir; bunlar kendilerini yüksek sıcaklıklarda gösterirler. Yüksek rekristalizasyon sıcaklığını haiz (Mo-0,5 Ti) ana metallerle birlikte palladium esaslı ilâve metallerin kullanılmasıyla bu koşullar asgariye indirilmiştir. Mo üzerine bir engel tabaka olarak kaplanmış krom, metaller arası birleşiklerinin oluşmasını önlemekte kullanılmıştır. Çalışma koşulları uygun ilâve metal ve sertlehimleme saykllının seçimini etkiler. Nitekim vakum tübü uygulamaları elementlerin gaz tahliyesi veya buharlaşmasına müsaade edemez. Bu nedenle de çinko veya kadmiyum içeren dekapan ve ilâve metaller kullanılmaz. Yüksek sıcaklık ilâve metallerinin çoğu ana metal kadar oksitlenmeye dayanıklıdırlar. Çok yüksek ergime noktalarını haiz ilâve metaller kaplama uygulamalarına en uygun olanlardır. Kaplamanın kullanıldığı her uygulamada, ilâve metal - kaplama uygunluğunu saptayacak deneye başvurulmalıdır.

Difüzyon kaynağında 3 sa süreli 820-920°C arasında sıcaklıkta tavlama ile 7 kp/mm²lık basınç önerilir. Ara tabaka olarak 25 μ kalınlığında Ti ve Zr foliosu kullanılır.

TZM'in zirkonium ve çeliğe sertlehimlenmesi

TZM (ortalama 0,5 Ti-0,08 Zr-Mo), hidrojen nüfuziyetine az müsaade etmesi itibariyle, 400°C'ta çalışan organik soğutmalı nükleer reaktör (organic cooled reactor-OCR) de çelikte zirkonium alaşımları arasında intikal birleştirmelerinde bir hidrojen kalkanı olarak önem kazanmıştır. TZM'in bu koşullar altında zirkonium ve çeliğe sertlehimlenmesi mekanik mukavemet açısından olduğu kadar birleştirmenin korozyona mukavemeti bakımından da sorun yaratmıştır. Bunun çözümü için yapılmış araştırmalar şöyle özetlenir: Kanada döterium uranium reaktörleri (CANDU-Canada Deuterium Uranium) nin çekirdek içi basınç tüpleri zirkonium alaşımlarından, çekirdek dışı boru tesisatı da çeliktendir.

Organik soğutmalı reaktörde basınç tüpleri dıştan CO₂ gazına, içten de OS-84'e (WR-1 reaktöründe kullanılan organik soğutucu için Monsanto Co'. in patentli adı) maruzdur.

Gerek bu korozyon ortamı, gerekse ıslatılma ve dolayısıyla çekme mukavemeti koşullarım karşılayacak ilâve metal alaşımları tespit edilmiştir:

TZM / Çelik birleştirmesi için 82 Au-18Ni

TZM / zirkonium alaşımları birleştirmesi için Zr-5Be.

Radyasyonun Zr-5Be ilâve metalinin çekme mukavemetini etkilememesine karşılık bu etki, altının çok geniş bir nötron kapma kesitine sahip olması itibariyle, 82 Au-18Ni ilâve metalinde çok ciddi olmuştur. Bu nedenle bu sertlehim malzemesinin radyasyondan korunması gerekmektedir.

82 Au-18Ni ile TZM /çelik alın sertlehimlemesinin çekme mukavemeti deney sonuçları

Deney sıcaklığı °C	Çekme mukavemeti	
	ksi	MN/m ²
20	49,7	343
20	54,2	374
440	27,9	192
440	30,5	210

Bütün numuneler 5 dak süre ile 1000°C'ta sertlehimlenmiş, 20°C'ta yapılmış çekme deneylerinde kopma TZM'de olmuştur.

Bu çalışmalar, genelde, refrakter metallerin yüksek sıcaklık mukavemet niteliklerine yaklaşan sertlehimlenmiş birleştirmeler elde etmeyi amaçlamaktadır. Çalışmalar Ta-V-Cb ve Ta-V-Ti üçlü sistemlerinin refrakter metaller üzerinde mükemmel ıslatma ve akma arz ettiklerini göstermiştir. Bu sistemlerden alaşımlar, 1650 ile 2010°C arasında akma noktasını haiz olup oda sıcaklığında sünektirler ve yüksek sıcaklıkta iyi bir stabilite sergilerler; sadece bir tâli ana metalle etkileşim eğilimi görülür.

Bu ilâve metallere yapılmış birleştirmeler, vakum ve 1090°C sıcaklıkta denendiklerinde 12,6 ilâ 21,0 kp/mm² makaslama mukavemeti arz etmişlerdir. Vakum sertlehimlemesi sırasında vanadium ve titaniumun buharlaşması sonucu "yeniden ergime" sıcaklığında önemli artış görülür. Bu artış çoğu kez 590°C'ı aşar.

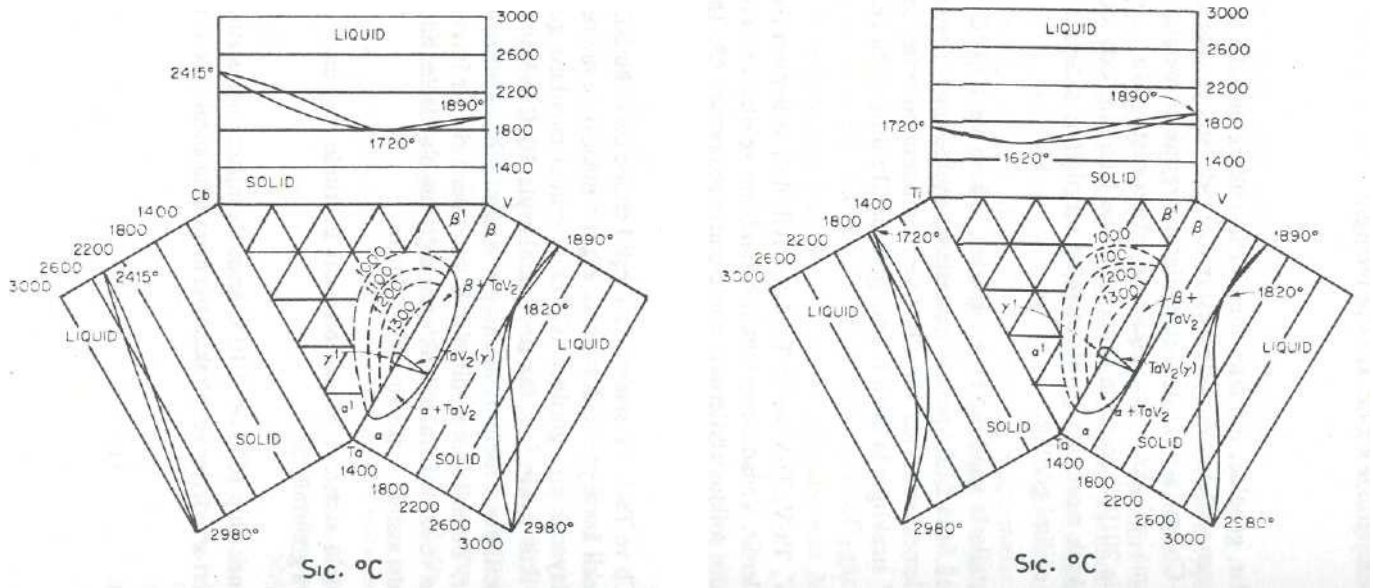
Ta-Cb, Cb-V, Ta-V, Ti-V ve Ti-Ta katı eriyik ikili sistemleri umut verici sonuçlar arz etmişlerdir. Vanadiumun tantal, kolumbium ve titaniumla ikili denge diyagramları, likidus solidus eğrilerinde minimumlar gösterirler. Cb-Ta ve Ti-Ta sistemleri sürekli katı eriyiklilik halini haizdirler.

Üçlü Ta-V-Cb ve Ta-V-Ti sistemlerini teşkil etmek üzere bu ikili sistemler birleştirilerek gerekli korozyon mukavemeti, ergime noktası ve hizmet sıcaklığı potansiyelini sağlayacak gibi görünen iki çekici sistem meydana getirilmiştir. Şek. 221, herbir ikili terkip için faz

diyagramlarıyla 1000- 1300°C alanının üstünde her bir önerilmiş sertlehimleme alaşım sistemi için kabul edilmiş kısmî diyagramı gösterir. Yukarda sözü edilen ikili sistemler belli bir ilâve metal için arzu edilen ıslatma ve akma karakteristiklerini sağlamış olabilseler bile daha ileri bir alaşımlama, daha stabil bir sistem sağlamaktadır.

Bu her iki üçlü sistemin birçok bileşimi üzerinde yapılmış çalışmalar, aşağıdaki sonuçlara götürmüştün

1. Bileşimler sünek olup 1650 ile 2010°C arasında mükemmel ıslatma ve akma karakteristikleri arz ederler ve refrakter ana metallere ancak çok az reaksiyona girerler.



Şek. 221.- Üçlü ilâve metal alaşımları için kabul edilmiş faz diyagramları. Uygun ikili faz diyagramlarının bölümleri de gösterilmiştir. (Sol) Ta-V-Cb; sağ Ta-V-Ti

2. Vakumda, 500 sa süreyle 1360°C'a maruz kaldıktan sonra bunlar mükemmel stabilite sergilemişlerdir.

3. Sertlehimlenmiş birleştirmeler 1100°C'ta mükemmel makaslama muka vemetleri arz etmişlerdir. Aşağıdaki tablodaki değerler ana metalin TZM olmasına göredir.

Vakumda, 1100°C'ta Ta-V-Cb, Ta-V-Ti ile sertlehimlenmiş birleştirmelerin makaslama mukavemetleri

Bileşim Ağ-%	Sıcaklık °F		Makasl. muk. psi
	Sertl.	Yeniden ergitme	
Ta - 50V - 25Cb	3400	4530	24,400
Ta - 40V - 30Cb	3500	3630	22,400
Ta - 65V - 30Cb	3300	4170	24,600
Ta - 65V - 5Cb	3400	4170	23,400
Ta - 65V - 5Ti	3350	4350	25,600
Ta - 55V - 20Ti	3350	3990	18,900
Ta - 50V - 30Ti	3200	4350	30,200
Ta - 40V - 50Ti	3200	4350	20,500

4. Önemli ölçüde (590°C'tan fazla) ilâve metalin ergime noktası yükselişi gözlenmiştir. Bu, V ve Ti'nin sertlehimleme sırasında buharlaşmasına ve ana metallerin hafifçe bulaşmasına bağlanıyor.

Tantal

Tantal, çeliğin yaklaşık iki katı ağırlığında (özgül ağırlığı 16,6gr/cm³), ³C gibi bir yüksek ergime noktasına sahip ve bütün özel metaller gibi gazlara duyarlı bir malzemedir. Bu nedenle tantalın yüksek sıcaklık mukavemeti (1650°C'ta 17 ilâ 20 kp/mm²) sadece vakum altında ya da bir sürekli koruyucu atmosfer altında kullanılabilir.

Tantal oda sıcaklığında kolayca işlenebilir. Isıl iletkenliği molibdeninkinin dörtte biri, genleşme katsayısı üçte bir kadar daha fazla, yüksek sıcaklıkta mukavemeti, W ve Mo'ninkine göre alçaktır. Korozyona mukavemeti sıcak sülfürik asit eriyikleri dışında asit terkiplerinin çoğunda fevkalâde iyidir. Saf tantal, vaki olmuş soğuk işleme miktarına bağlı olarak yaklaşık 1204°C'ta rekristallize olur. Tungsten gibi alaşım elementlerinin ilâvesiyle rekristallizasyon sıcaklığı 1650°C'a yükselir. Başka tantal alaşımlarında (Ta-20Ti-5Al), Ti ilâvesi, bu sıcaklığı 1010°C'a düşürür.

Tantal, alçak genleşme katsayısı, yüksek sıcaklık nitelikleri ve oda sıcaklığında işlenebilme kolaylığı nedeniyle tespit malzemesi olarak kullanılmıştır. Onun başlıca kullanılma alanlarından biri elektronik endüstrisi olup tantal ve özellikle % 7,5 W'li alaşımı pekiştirme tüpleri, yayın tüpleri, röntgen tüpleri parçaları imalinde tercih edilir. Aynı zamanda, tantalın yüksek sıcaklıklarda gazlan kimyasal olarak bağlama niteliği sayesinde bu metal tüpler içinde vakum getter'leri olarak kullanılır. Ayrıca tantal, belli koşullar altında, redresör etkisini haiz bir anodik oksidasyon yüzey tabakası oluşturma niteliğini de haizdir. Tantal oksit tabakasının bu özelliklerle yüksek gücü nedeniyle fevkalâde küçük redresör, kondansatör, elektrot ve özel elektrik parçalarının imalinde önem kazanmıştır.

% 18 ilâ 28 Mo'li tantal alaşımı, flürhidrik asitten de etkilenmez.

Isı eşanjörleri, serpantinler, distillasyon kolonları, her tür kap tantaldan yapılır ya da kaplanır. Plastik elyaf sanayiinde mekik, cerrahide tel, levha , iğne vb. tantaldan yapılır.

0,25 mm kalınlıkta tantal sağın mukavemet değerleri

	Tavlannış	şekillendirilmiş
Çekme mukavemeti kp/mm ²	35	77
Kopma uzaması %	40	21
Sertlik HV kp/mm ²	65-70	120

İlave metaller

İlave metaller tasarlanan uygulamaya göre seçilir. Nikel esaslılar (Ni-Cr-Si alaşımları gibi) tantali sertlehimlemede kullanılmıştır. Tantal nikelde, % 36 Ta içeriğine kadar bir homojen katı eriyik oluşturur; likidus 1449°C'tan 1349°C'a iner. Bu ilave metaller, 982°C'ın altında çalışacak parçalara uygundur. % 40'dan az altınlı Cu-Au alaşımları da ilave metal olarak kullanılmıştır, ancak %40 ile 90 arasında altın miktarları, gevrek de olan yaşlanma sertlikti birleşimler oluşturma eğiliminde olur. Gümüş esaslı ilave metaller, ana metali gevrekleştirme eğilimi dolayısıyla tavsiye edilmez. Keza Cu-Sn, Au-Ni, Au-Cu ve Cu-Ti alaşımları da tantal ve kolumbiumun sertlehimlenmesinde kullanılmıştır.

Ön temizleme ve yüzey hazırlanması

Tantal hem mekanik hem de kimyasal yolla temizlenebilir. Sıcak kromik asit (cam temizleme eriyiki) iyi sonuç verirse de sıcak kostik eriyikler metali atake ettiğinden kullanılmayacaklardır. Kromik asit temizlenmesinden önce tantal püskürtmeyle temizlenebilir; ancak bu işlemden sonra, demir zerrecelerini eritmek için tantal parça bir HCl eriyikine daldırılacaktır. Cam temizleme eriyiki bundan sonra etkin olur. Abrasyon ve öbür mekanik temizleme yöntemleri kabul edilebilir sonuç vermektedir. Tantal, herhangi bir temizleme işleminden hemen sonra, hava veya buhara maruz kalınca, yeniden oluşan bir yapışkan oksit filmiyle kaplanır. Tantali, sertlehimlemeden önce hazırlamanın bir yolu onu, asitle temizlenmiş yüzey üzerine bakır ve nikel elektrokaplama olarakdır. Bu tertip bundan sonra 1204°C ve 10³ torr basınçta bir difüzyon işlemine tâbi tutulur. Kaplama tabakası tantala difüzyonla bağlanır ve bakırla kaplanmış olması halinde o arada ergime vaki olur. Sertlehimleme bundan sonra, kaplanmış yüzeyler esas alınarak gerçeleştirilir.

Özetle:

1. Tantal yüzeyine çelik püskürtme

2. Gmlm demir zerrelerini yok etmek için HC1 eriyikine daldırma
3. % 95 H₂SO₄, % 4,5 HNO₃; % 0,5 HF ve Cr^h (18,8 gr/lt edeğe rinde) dan oluşan cam temizleme eriyikine daldırma.

Dekapanlar ve atmosferler

Sadece asal gaz (argon ve helium), kontrollü atmosferler ve vakum kullanılır. Tantali gevrekletiren O,N ve H gibi bileşenlerden kaçınılacaktır. Sertlehimleme, kullanılan özgü ilâve metala uygun dekapanlar kullanılarak havada yapılabilir. Bununla birlikte tantal nikel veya bakır elektrokaplama gibi bir koruyucu kaplamayı gerektirir.

Kolumbium

Kolumbium tantala çok benzer; refrakter metaller arasında en alçak ergime noktasını (2416°C), en alçak elastikiyet modülünü (tavlanmış levhanın akma sınırı 207 MPa, kopma gerilmesi 345 MPa, uzama % 35) ve ısıl iletkenliği ve en yüksek ısıl genleşme katsayısını haizdir. Özgül ağırlığı 8,6 gr/cm'dr. Kolumbiumun sünek-gevrek intikal sıcaklık alanı-101 il -157°C'tır. Keza bu metal nükleer uygulamalar için gerekli alçak ısıl nötron kapma kesit alanını haizdir. Salt olarak yüksek olan ergime noktası onun demir esaslı, nikel esaslı ve kobalt esaslı metallerin azami kullanılma sıcaklıklarının üzerinde çalışacak parçalarda kullanılmasını sağlar. Sünekliği ve işlenebilirliği mükemmeldir. Saf Cb'ın rekristalizasyon sıcaklık aralığı 982-1093°C'tır. Alaşım elementlerinin eklenmesiyle bu sıcaklık artar: Cb-33Ta-12r (1204°C); Cb-15W-1Zr-5Ti (1371°C). Kolumbium alaşımlarının tasarımımda katı eriyik ve dispersiyon sertletirmesi gibi pekiştirici mekanizmalara başvurulur. Mevcut sair alaşımlar Cb-15W-5Mo-1Zr; Cb-10Ti-10Mo ve Cb-0,8Zr dır.

Tantalın sertlehimlenmesi için söylenenler aynen kolumbium için de geçerlidir. Bunlara ek olarak Ti, Pt, Pd gibi saf ilâve metaller, kolumbiumu birleştirmede kullanılır. Kolumbium için nükleer uygulamalarda yüzler mertebesinde koruyucu ilâve metal değerlendirilmiştir.

Kolumbiumun n temizlenmesi

1. Yağdan arındırma
2. Ticar alkalin temizleyici içine 5-10 dak daldırma
3. Suda alkalama
4. Oda sıcaklığında 2-5 dak %35-40 HNO₃ eriyikine daldırma
5. nce adi su, sonra damıtık suda alkalama
6. Basıncılı havada kurutma

Farklı metallerin sertlehimlenmesi

Molibden, tungsten ve AISI 310 paslanmaz çelik levhaya, bir Mn-Cu ilâve metali kullanılarak sertlehimlenmiştir. Keza Mo, bir argon atmosferi ve Mn-Ni-Co ve Ni-Cr-Si ilâve metalleriyle tungstene ocakta sertlehimlenmiştir. Molibdenle grafit arasında birleştirmeler, hidrojen, helium ve argon içinde, bir Au-Ni -Cr ilâve metali kullanılarak, gerçekleştirilmiştir.

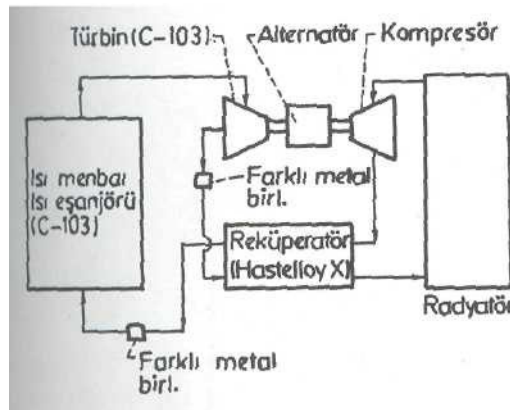
Tungsten, grafit ve molibdene, Mn-Ni-Co, Ni-Cr-Si-B ve Ni-Cr-Si-Mo ilâve metalleri kullanılarak argon ve hidrojen atmosferleri altında sertlehimlenmiştir, Aynı ilâve metaller ve argon atmosferiyle tungsten tantala sertlehimlenmiştir. Molibden gözenekli tungstene (toz metalürjisi), bir Mn-Ni-Co ilâve metalla, argon ve hidrojen atmosferleri altında birleştirilmiştir.

Uzay mekiğinin ısı kalkanı, hem metalik hem de metal dışı çeşitli malzemeden imal edilmiştir. Metal dışı alanların 1760°C gibi yüksek sıcaklıklara varması beklenmekteyken metalik bölüm 1370°C'a yaklaşan sıcaklıklara tâbi olacaktır. Burada sadece metalik bölümün sertlehimlenmesi irdelenmiştir. Birleştirmelerin niteliği, mekiğin 100 sefer yapacağına göre, tasarlanmıştır.

Bu yüksek sıcaklık bölümü için seçilmiş malzemeler TD-Ni -Cr*,Cb-C 129Y, Cb-752, Haynes 188" ve Inconel 625 olmuştur. Son ikisi, toz halinde BNi-5 ile, 1 mikrondan az vakumda, 1176 ile 1190°C arasında sıcaklıkta ocakta sertlehimlenmiştir.

Öbür yandan bir Brayton uzay isotop güç sistemi (BIPS) NASA tarafından geliştirilmiştir (şek. 222). Şemada görülen boru sertlehimlemeleri uzayda yedi yıl süreyle 720°C'ta tam sızdırmazlığı koruyacaktır.

Şek.222.- Brayton isotop güç sisteminin şematik görüntüsü



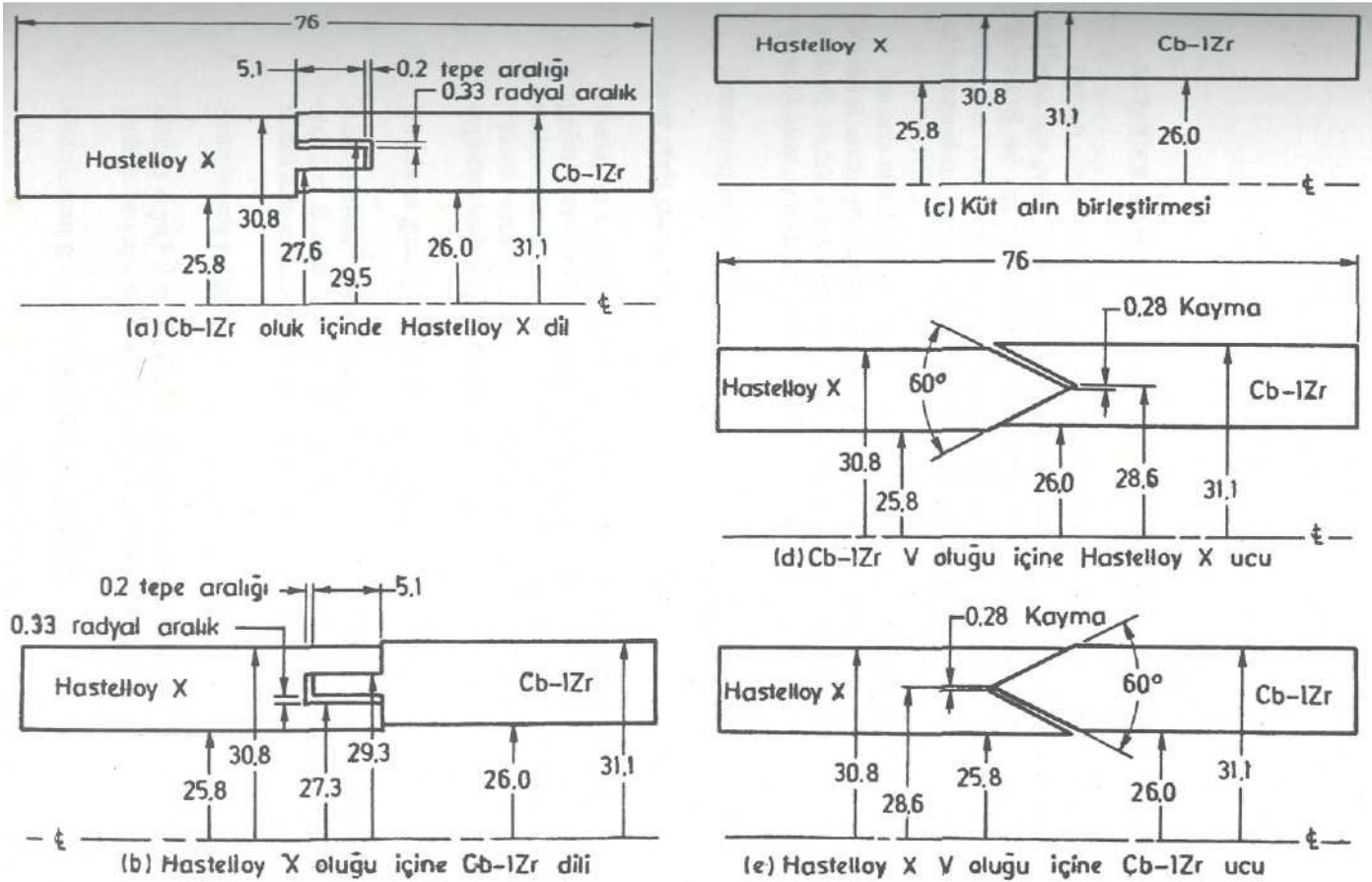
*Kobalt esaslı alaşım

** Fevkalâde ince ve üniform olarak dağılmış, thorium ile pekiştirilmiş (thoriadisepersed) nikel-krom alaşımı

Isı menbaı, ısı eşanjörü ve türbin zarfı C-103 kolumbium alaşımından (ağ. %: Cb-10 Hf-1Ti-0,5Zr-0,4 Ta-0,4W), daha düşük çalışma sıcaklığı (720°C) dolayısıyla de reküperatör ve buna bağlı boru donanımı Hastelloy X (Ni-22 Cr-18,5 Fe-9,0 Mo - 1,5 Co - 0,6W - 0,5 Mn-0,5Si - 0,10 C) den imal edilecektir. İki Hastelloy X / C-103 değişik metal boru birleşmesi sistemin ömrü boyunca 720°C ta alışacaktır. Alaşımların çok farklı ısıl gen-genleşmesi, birleştirmelerin tasarım ve imalini güçleştirmektedir (oda sıcaklığından 720°C'a C-103, %0,6; Hastelloy X, %1,1 genleşir).

Bu arada sertlehimlenmiş birleştirmeler üzerine ısıl yaşlanma ile hızlı ısıl saykllarının etkisi de araştırılmış, aynı zamanda C-103 yerine Cb-1Zr (Cb-1Zr) den boru birleştirmeleri de denenmiştir. (şek. 223). Deneme şekilleri hayli ilginçtir.

İlave metal olarak BNi-4 ile AMI-914 (Ni-4,5Si - 3,5 B - 20Co; sert, sıc, 588°C), hem sertlehimlenmiş halde, hem de yaşlanmadan sonra iyi bir mukavemetin yanı sıra iyi akma karakteristikleri ve çok az ana metalle reaksiyon arz etmişlerdir. Bütün birleştirmeler helium sızdırmazlığı göstermişler, oda sıcaklığından 720°C'a ısıl sayklama, bunları etkilememiştir.



şek. 223.- ϕ 62mm x 5mm boru için oluk içinde dil, küt alın ve v birleştirmeleri