

Ni-Al İNTERMETALİK MALZEMELER

Özkan ÖZDEMİR

*Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, Esentepe Kampüsü-Adapazarı

ÖZET

Yüksek sıcaklıkta kullanılacak malzemelerin yüksek oksitlenme, sürtünme direnci ve düşük yoğunluk gibi özelliklere sahip olmaları arzu edilir. Bu özelliklerin mükemmel bir kombinasyonuna sahip Ni-Al intermetalikleri (özellikle NiAl ve Ni₃Al), yüksek sıcaklık uygulamaları ve kaplama işlemleri için umut vaat eden malzemelerdir; fakat şekillendirilmeleri, gevrekliklerinden dolayı, oldukça zordur. Son yıllarda yapılan araştırmalarda, aluminidlerin alaşımlama ve üretim işlemleri kontrol altında tutularak kristal yapıları, mikroyapılar, tane yapıları ve kompozisyonları incelenerek gevreklik problemleri giderilmeye çalışılmaktadır. Ayrıca, bu malzemeler koruyucu kompakt ince film halinde alüminyum oksit (Al₂O₃) oluşturmaya yetecek kadar alüminyum içerdikleri için, oksitleyici ortamda da kullanım imkanı bulunmaktadır. Fiziksel ve mekanik özellikleri iyileştirilmiş aluminidler, ticari superalaşımlardan daha hafif ve daha mukavemetli olup, ticari olarak üretilme safhasındadır. Bu derleme çalışmasında, nikel aluminidlerin üretim yolları, genel özellikleri ve mevcut ve potansiyel kullanım alanları hakkında kısa bilgi verilmiştir.

Ni-Al INTERMETALLIC MATERIALS

ABSTRACT

The properties such as high oxidation and creep resistance and low density etc., are required to materials used at elevated temperatures. Ni-Al intermetallics, especially NiAl and Ni₃Al, having a large combination of these properties are used extensively for high temperature applications and coatings. However, forming and shaping of them are difficult due to their brittle character. In recent years, by controlling production processes and alloying of aluminides; the brittleness problem of them has been tried to solve by investigating crystal structures, microstructures, grain formations and compositions in related researches. In addition, they can be used in oxidation environment by making protective compact thin films in Al₂O₃ form. The physical and mechanical properties of aluminides were propagated and today they are tried to produce commercially, because these materials are lighter and more strengthen than superalloys. In this review, the production methods of aluminides and their general properties and common application areas have been introduced.

Keywords : Intermetallic, Aluminid, NiAl, Ni₃Al, Combustion Synthesis.

1.METALLERARASI BİLEŞİKLER

Metallerarası bileşikler, katı çözeltilerle güçlendirilmiş metalik bileşikler ya da ikinci bir fazla takviye edilmiş katı çözeltilerle seramikler arasında önemli bir yere sahiptirler. Bu bileşikler genellikle dar kompozisyon aralıklarında, basit oranlar çerçevesinde iki metalin bileşik oluşturacak şekilde kimyasal olarak birleşmesi ile oluşurlar. Metallerarası bileşikler kritik düzenlenme sıcaklığında ($T_c < 700^\circ\text{C}$) uzun mesafede düzenli kristal yapılardan oluşan metalik bağlı bir malzeme sınıfıdır [1].

Metallerarası bileşikler iki tip olabilir:

-Normal valans bileşikleri: Kimyasal valans kurallarına uygun olarak oluşurlar. Ör; Mg_3Sb_2 , Mg_3Bi_2 ,... Bu valans bileşikleri genellikle kuvvetli metalik kimyasal özelliklere sahip bir metal (Mg) ile zayıf metalik kimyasal özellik gösteren metal (Sb, Bi, Sn,...) arasında oluşurlar. Çoğunlukla bu bileşikler ana metallerden daha yüksek ergime sıcaklığına sahiptir.

-Elektron bileşikleri: Bu bileşikler normal valans kurallarına uymaz. Söz konusu metallerarası bileşiklerin bir molekülünde atomların toplam sayısı ve bütün atomların valans bağlarının toplam sayısı (toplam valans sayısı/ toplam atom sayısı) arasında sabit bir oranı vardır. Genel olarak Hume-Rothery oranları 3'e ayrılır:

3/2 oranı (21/14) → β yapıları (CuZn , Cu_3Al , Cu_5Sn , Ag_3Al ,...)

21/13 oranı → γ yapıları (Cu_5Zn_8 , Cu_9Al_4 , $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$, Ag_5Zn_8 ,...)

7/4 oranı (21/12) → ϵ yapıları (CuZn_3 , Cu_3Sn , AgCd_3 , Ag_5Al_3 ,...)

Bununla birlikte, pek çok metallerarası bileşik ne valans bileşiklerine ne de Hume-Rothery oranlarına uymayabilir [2]. Kafes çalışmalarıyla metallerarası bileşiklerin tam tanımlaması yapılarak karbür, nitrür ve borürlerden (pek çok kompozit malzemede katkı fazları) farkları belirtilmiştir. Bu bileşikler, genel olarak, birkaç farklı stokiometrik oranda düzenli yapıda iki elementten oluşur. Yapılar genel olarak s, p ve d seviyesindeki elektronlarca kontrol edilen bağlarından dolayı metalik karakter göstermektedir. Bu bileşikler genellikle A ve B gibi iki elementten oluşan A_3B , A_2B , A_5B_3 , A_7B_6 ve AB kompozisyonuna sahip 5 farklı stokiometrik kombinasyonda sınıflandırılır. Her bir stokiometrik gruptaki metallerarası bileşikler farklı kristal yapıda oluşurlar. Genel olarak yüksek sıcaklık metallerarası bileşiklerin kristal yapıları Tablo 1 de gösterilmiştir. Pek çok kristal yapı, geometrik sıkı paket (gsp) yapı olarak tanımlanan düzlemde iki elementin sıkı paket köşelerine yığılması ile tanımlanır. Benzer şekilde, kompleks yapıların çoğu topolojik sıkı paket (tsp) olarak tanımlanır; bu yapıda hayali polihedrada atom gruplarının yığılmasından kaynaklanan farklılık mevcuttur [3].

Metallerarası bileşiklerin düzenli latisleri ile mekanik davranışları ve olağanüstü dislokasyon yapıları arasındaki ilişki 1960'lardan beri detaylı olarak araştırılmaktadır. Bu bileşiklerin deformasyonu ikili dislokasyon veya süperlatis kayması ile kontrol edilir. Yüksek sıcaklıklarda süperlatis dislokasyonlarının hareketi nispeten düşük olup akma davranışında yükselmeye neden olmakta ve artan test sıcaklığına paralel olarak akma mukavemetinde artış gözlenmektedir. Anormal akma davranışı pek çok metallerarası bileşikte (Ni_3Al , Cu_3Au) gözlenmiştir. Metallerarası bileşiklerin kritik özellikleri ile fiziksel ve kimyasal karakteristikleri arasındaki ilişki Tablo 2 de listelenmiştir.

Tablo 1. Nikel, Demir ve Titanyum Aluminidlerin Özellikleri [3].

Stokiometri	Kristal Yapı	Grup ismi	Örnek	Ergime Noktası(°C)	Yoğunluk(gr/cm ³)	
A ₃ B	L1 ₂	(Geometrik sıkı paket)	Ni ₃ Al	1397	7.41	
			Pt ₃ Al	1556	17.47	
			Ti ₃ Sn	1670	5.29	
	DO ₁₉ DO ₂₂		Ni ₃ Al	1547	11.8	
			Al ₃ Nb	1607	4.52	
			Al ₃ Ta	1550	6.9	
	A15		Nb ₃ Al	1960	7.29	
			Mo ₃ Si	2025	8.97	
			V ₃ Si	1925	6.47	
	A12	α -Mn	Cr ₃ Si	1770	6.46	
			Re ₃ Nb	2700	17.6	
	A ₂ B	C1	Silisidler	CoSi ₂	1326	4.98
		C11 _b		MoSi ₂	2030	6.31
		C14	Laves fazları	Cr ₂ Hf	1870	10.24
Cr ₂ Nb				1720	7.68	
C15		(Topolojik sıkı paket)	W ₂ Hf	2512	-	
			Co ₂ Nb	1520	9.0	
			Co ₂ Zr	1560	8.23	
C36			Fe ₂ Zr	1645	7.69	
D8 _b		Sigma fazları	Mo ₂ Hf	2170	11.4	
A ₅ B ₃		D8 _m	Nb ₂ Al	1871	6.87	
	Mo ₅ Si ₃		2180	8.2		
A ₇ B ₆	D8 ₈	Ti ₅ Si ₃	2130	4.38		
		Mü fazları	Nb ₆ Fe ₇	1620	-	
			W ₆ Co ₇	1689	-	
AB	B2	NiAl	1640	5.88		
		CoHf	1640	12.5		

Tablo 2. Metallerarası bileşiklerin kritik özellikleri [3].

Özellik	Karakteristik tanımlar
Sürünme Mukavemeti	Ergime Sıcaklığı, Bağ yapısı
Oksidasyon Direnci	Oksit oluşturan elementlerin yüksek aktivasyonu, Kristal Yapı
Süneklik	Kristal Yapı, Stokiometri
Termal Genleşme	Ergime Sıcaklığı, Bağ yapısı
Elastik Modül	Kristal yapı, Bağ yapısı
Alaşımlama Potansiyeli	Faz Alanının Genişliği
Yoğunluk	Esas element, Kristal yapı.

Kuvvetli metallerearası bileşiklerin gevrekliklerinden dolayı yapısal uygulamalar için şekillendirilmeleri oldukça zordur. Üretilbilseler bile; düşük kırılma tokluğu, yüksek çentik hassasiyeti, aşırı yorulmadan kaynaklanan çatlak büyümesi ve düşük süneklik özellikleri bu malzemelerin kullanım alanlarını oldukça sınırlandırmaktadır. Ayrıca metallerearası bileşikler küçük kompozisyon değişikliklerine ve hidrojen içeren ortamlara karşı aşırı hassastırlar. 1970’li yıllarda fiziksel metalurji prensipleri kullanılarak alaşım dizaynı ile metallerearası bileşiklerin üretilebilirliklerinde ve mekanik özelliklerinde gelişmeler sağlanmıştır. Bunun için yapı kontrolü, mikroalaşımlama ve makroalaşımlama yapılmaktadır. Co_3V ’un sünekliği Fe ile makroalaşımlama yapılarak iyileştirilmiştir. Fe ilavesi, ortalama elektron konsantrasyonunu azaltarak bileşiğin yapısını hegzagonal yapıdan kübik yapıya dönüştürmüştür. Kübik $L1_2$ yapılı $(Fe,Co,Ni)_3V$ alaşımın oda sıcaklığındaki süneklik değerinde %40’dan fazla iyileşme sağlanmıştır. Aynı şekilde Al_3Ti bileşiğine Cr ve Mn, Ni_3Al bileşiğine de Mn, Fe ve Cr ile makroalaşımlama yapılarak süneklik özellikleri iyileştirilmiştir. Çok kristalli Ni_3Al bileşiğine ilave edilen bor’un tane sınırlarına segregasyonu ile tanelerearası kırılma önlenerek kırılma tarzı değişmekte ve süneklik değeri hızla artmaktadır. Mikroyapı kontrolü ile de metallerearası bileşiklerin sünekliği iyileştirilmektedir. $NiAl$ bileşiğinin tane boyutu inceltirilerek 400°C den yüksek sıcaklıklarda süneklik değeri artırılmıştır. Ni_3Al bileşiğinin sünekliğinin artırılmasında diğer bir yaklaşım ise yönlü katılaşmadır. Bunlar kuvvetli metallerearası bileşiklerde yüksek süneklik değerlerine ulaşmada örnek uygulamalar olarak verilmektedir [1, 4]. Metallerearası bileşiklerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi ile pek çok uygulamalar için kullanılabilceği görülmüştür. Tablo 3’de metallerearası bileşiklerin uygulama alanları genel olarak verilmiştir [5].

Tablo 3. Metallerearası Bileşiklerin Uygulama Alanları [5].

Otomotiv, Uzay, Magnetik
Enerji depolama, Piller, Hidrojen depolama
Istııcı elemanlar, Fırın donanımı
Takımlar ve kalıplar
Korozif ortamlar, Kimya endüstrisi için borular
Kladlama, Kaplamalar, Elektronik devreler

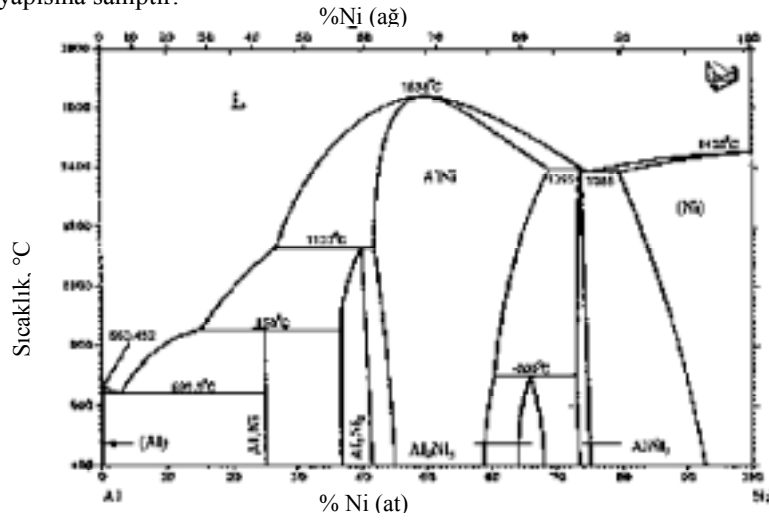
2. ALUMİNYUM ESASLI METALLEREARASI BİLEŞİKLER

Yüksek sıcaklıkta kullanılacak malzemeler yüksek oksitlenme, sürünme direnci ve düşük yoğunluk gibi özelliklere sahip olmalıdır. Aluminidler tüm bu özelliklerin mükemmel bir kombinasyonuna sahiptir. Fakat gevrekliklerinden dolayı uygulamalar için şekillendirilmeleri oldukça zordur. Yüksek sıcaklık uygulamaları için oldukça çekici olan Ti, Fe ve Ni aluminidler üzerinde son yıllarda yapılan araştırmalarda, alaşımlama ve üretim işlemleri kontrol altında tutularak kristal yapıları, mikroyapısal oluşumları, tane yapıları ve kompozisyonları incelenerek gevreklik problemleri giderilmeye çalışılmaktadır. Yeterli Al içeren bileşiklerde oksitleyici ortamda yüzeyde, kompakt ve koruyucu alumina (Al_2O_3) oluşmaktadır. Bu malzemeler düşük yoğunluk, oldukça yüksek ergime noktası, yüksek mukavemet ve iyi korozyon direncine sahiptir. Aluminidlerin çoğu belirtilen kompozisyon aralığının üzerinde oluşmakta ve stokiometriden sapma artarken düzen oranı da düşmektedir. İlave edilen

elementler yapıda herhangi bir düzensizlik oluşturmadan yerleşirler. Örneğin Ni_3Al 'da Si atomları alüminyum konumlarına, Co atomları nikel konumlarına ve Fe atomu her iki konuma da yerleşebilmektedir [1].

2.1 Nikel Aluminidler

Ni-Al ikili faz diyagramında (Şekil 1) Al_3Ni , Al_3Ni_2 , Al_3Ni_5 , NiAl, Ni_3Al metallarası bileşikleri mevcuttur. Bu metallarası bileşiklerden nikelce zengin NiAl ve Ni_3Al yüksek sıcaklık uygulamalarına ve kaplama işlemlerine aday malzemelerdir. Bunlar Al-Ni sisteminde en kararlı yapılarıdır ayrıca en yüksek ergime noktasına, oldukça düşük yoğunluğa, iyi mukavemet özelliklerine ve yüksek sıcaklıklarda korozyon ve oksidasyon direncine sahiptirler[6]. Ni_3Al bileşiği yüzey merkezli kübik (YMK) yapının bir türevi olan $L1_2$ kristal yapıya, NiAl ise hacim merkezli kübik (HMK) yapının bir türevi olan B2 yapısına sahiptir.

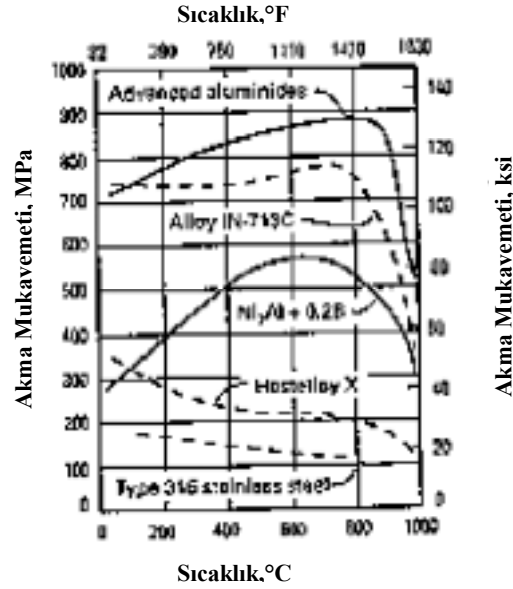


Şekil 1. Ni-Al ikili faz diyagramı [6].

Ni_3Al : Bu aluminidleri önemli kılan yüksek sıcaklıklardaki oksidasyon direnci ve mükemmel mukavemet özelliğidir. Ni_3Al , nikel-esaslı süperalaşımarda ikincil faz olarak bulunur ve en önemli mukavemetlendirici bileşendir. Ni_3Al tek kristali, kullanım sıcaklığında sünektir, fakat çok kristalli malzemeler çok küçük plastisiteyle gevrek tane-sınır kırılmasıyla hasara uğrarlar. Bu etki, tane sınırlarında empürite segregasyonunun olmadığı yüksek saflıktaki malzemelerde gözlenmekte, ayrıca ortam şartları da etkili olmaktadır. Tek fazdan ibaret Ni_3Al 'un mukavemeti sıcaklık artışıyla düşmez. Mühendislik akma mukavemeti (%0.2) gösteren metallarası bileşiklerden biri olan Ni_3Al 'un sıcaklık artışına paralel akma gerilmesinde görülen artış, bu fazın tipik bir özelliğidir (Şekil 2).

Oda sıcaklığı ve 700°C arasında akma mukavemeti artan sıcaklıkla birlikte maksimuma ulaşır ve sıcaklık artışı ile birlikte malzemede normal yumuşama gözlenir. Bu durum Ni_3Al ' un plastik deformasyonunu sınırlayan superlatis vida dislokasyonunun mobilitesi ve enerji anizotropisinin sonucudur. Vida dislokasyonları {111} ve {010} düzlemlerinde hareket eder. Enerji açısından {010} düzleminin ikiye bölünmesi tercih edilir çünkü kısmi bölge ile antifaz sınırları arasındaki enerji bu düzlemde daha düşüktür. Bölünen kısımların içindeki dislokasyon antifaz sınır düzleminin dışında

yayıldığı için {010} düzlemindeki süperdislokasyon kayamaz (sessile). Diğer yandan yüksek enerjili {111} süperdislokasyonu kayabilir (glissile), çünkü dislokasyonun yayılma bölgesi kayma düzlemine hapsolmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda oksijen içeren ortamlarda yapılan incelemelerde, yüzeyde oluşan koruyucu alüminyum oksit (Al_2O_3) tabakasının tanelerarası çatlak oluşumunu yavaşlattığı tespit edilmiştir.. Tabakanın yapışması, Cr ve oksijene affinitesi olan Ti, Zr, Hf ve nadir toprak element ilavesiyle geliştirilmektedir [1, 7, 8].



Şekil 2. Ni_3Al alaşımı, iki süperalaşım ve 316 tip paslanmaz çelik için farklı test sıcaklıklarında akma mukavemeti [1].

Ağırlıkça %0,1 B ilavesi yapılarak hem gevreklik problemi giderilebilmekte, hem de oda sıcaklığında yaklaşık % 50 oranında sünekliği iyileştirilerek, Ni_3Al dövme işlemi ile şekillendirilebilecek hale getirilmektedir. Burada, bor tane sınırlarına segregasyon olarak tane sınır mukavemetini ve dislokasyon oluşumunu artırıp tane sınırlarında karşılıklı kaymayı kolaylaştırmaktadır. Karbon kimyasal olarak bor'a benzemesine karşılık süneklik üzerindeki etkisi aynı değildir. Fe, Mn, Cr veya Be gibi yeralan elementlerin ilavesi ile sınırlı oranda süneklikte artış sağlanmaktadır. Bu artış Ni_3Al 'un tane sınırlarında karşılıklı daha homojen bir atomik bağlanma ve Ni-Al atomları arasındaki elektronegativite farklılığında düşme sağlanarak başarılmaktadır. %6-10 oranında Cr ilavesi ile koruyucu kroma (Cr_2O_3) filmi oluşarak süneklik özelliğini iyileştirmektedir.

Ayrıca alüminidler katı-eriyik etkisi ile sertleştirilebilmektedir. Farklı alaşımların 1000 °C'de Ni_3Al fazında ($L1_2$) eriyebilirliği üç grup altında incelenmiştir: Birinci grup Si, Ge, Ti, V, Hf elementleri genelde alüminyum alt kafesine, ikinci grup Cu, Co ve Pt nikel alt kafes yapısına ve üçüncü grup Fe, Mn ve Cr elementleri ise her iki alt kafes yapısına yerleşmektedir. Alt yapıya yerleşmede, atom boyutundan çok elektronik yapı yani elementin periyodik tablodaki yeri yerleşme davranışı üzerinde daha etkili olmaktadır. Ni_3Al 'da katı eriyik oluşumu, atomik boyut uyumsuzluğu ve Ni_3Al-Ni_3X arasındaki oluşum ısı farklılığı ile kontrol edilir. Ni_3Al 'un oda sıcaklığında katı-eriyik sertleşmesi, alaşım elementinin yerleşme düzenine, atomik boyut uyumsuzluğuna ve alaşımın stokiometriden uzaklaşma derecesine

bağlıdır. Mukavemet, Al-zengin alaşımlar ve stokiometrik alaşımlar için telaffuz edilmektedir[1]. Mekanik özellikler açısından da ilgi çekici hale gelen alaşımlar en çok korozyona maruz uygulamalarda kullanılmaktadır. Ayrıca oksidasyon ve karbürizasyon direncinin yüksek olmasından dolayı kaviteasyon-erozyon ve aşınma direnci yüksektir. Ni₃Al'un potansiyel uygulama alanları Tablo 3'de gösterilmiştir [5].

Tablo 3. Ni₃Al'un Uygulama Alanları [5].

Çelik
Fırın rulosu ve Döküm rulosu olarak
Radyan yakma tüpleri
Isıl işlem
Karbürleme fırınları için bağlantı elemanları
Isıl işlem fırınları için bağlantı elemanları
Fırın gözü, Radyan yakma tüpleri
Kimyasal
Yüksek sıcaklıklar için reaksiyon kapları
Tüp askıları, Fosfat kalsinasyonu için paletler
Pompa pervaneleri ve Etilen kırıcılar için
Yüksek sülfürlü yanmasında hava brolörleri
Dövme
Dövme kalıpları, Kalıpların kaynaklı tamirinde

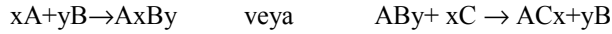
NiAl: Ni-Al sisteminde yaklaşık at.% 40 Ni içeriğinden itibaren Hacim Merkezli Kübik yapı esaslı B2 tip kristal yapıya sahip tek faz şeklinde oluşmaya başlar. B2 NiAl'un fiziksel özellikleri yüksek sıcaklık uygulamaları için L1₂'den daha uygundur. Yüksek ergime noktasına (1638°C) düşük yoğunluk (5.86 gr/cm³) ve daha yüksek Young modülüne (294 GPa) sahiptir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda mükemmel oksidasyon direnci gösterir. Oksidasyon direnci, ytriyum, Hf ve Zr refrakter elementlerin alaşım elementi olarak kullanılması ile daha da iyileştirilmektedir. NiAl'un uygulamalarda kullanımı için iki dezavantajı vardır: Kullanım sıcaklığında zayıf süneklik ve yüksek sıcaklıklarda düşük mukavemet ve sürünme direnci. NiAl tek kristali basma uygulamalarında oldukça sünek olmasına karşın, tek ve çok kristalli NiAl oda sıcaklığında çekme şartlarında oldukça gevrekler. Alüminidlerin 400°C üzerinde sünekliği hızla artar ve 600°C altında oldukça sünektirler [1]. NiAl gaz türbin donanımlarında kullanılmaktadır. NiAl tek kristalleri, Ni-esaslı süperalaşımlarla mukayese edilebilir sürünme direncine sahip iken mekanik özellikleri yetersizdir. Yapılan araştırmalarda tek kristallerin darbe mukavemetinin gaz türbin pervaneleri için yetersiz olduğu fakat sabit parçalarda örneğin, vanalarda ve yanma contalarında kullanım için yeterli olduğu tespit edilmiştir. NiAl alaşımlarının darbe mukavemeti daha yüksektir [5].

2.2. Üretim Yöntemleri:

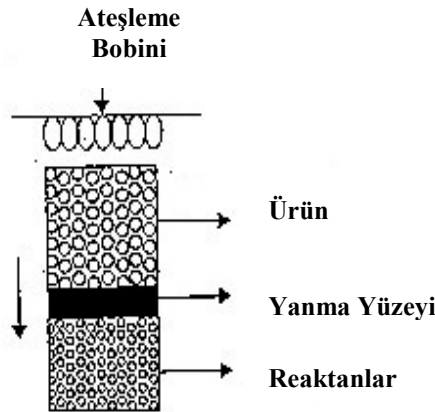
Metallerarası bileşiklerin üretimi için çeşitli üretim yöntemleri denenmiştir. Ergitme ve döküm, alaşım tozlarının kullanıldığı toz metalurjisi, saf orijinal malzemeli reaktif sinterleme (Ni_3Al üretiminde saf Al ve Ni tozları) ve yanma sentezi bunların başlıcalarıdır.

Ergitme metodunda, metallerarası bileşik ingotların üretimi için vakum indüksiyon ergitme, argon indüksiyon ergitme, plazma ergitme ve elektron ışın ergitme gibi pek çok metod kullanılmaktadır. Bununla birlikte, dökümlerin yüksek sıcaklıklarda şekillendirilmesinde potadan empüritelere bulaşması ile oluşan kompozisyon değişiklikleri ve ergitme işlemi esnasında oluşan buhar kaybı problem oluşturmaktadır. Toz metalurjisi kompleks şekilli metallerarası bileşiklerin üretimi için ideal olmakla birlikte alaşım toz kullanıldığında verimliliği düşmektedir. Diğer yandan reaktif sinterleme ile saf orijinal malzemeler kullanıldığı zaman yüksek yoğunluklu malzemeler kolayca elde edilebilmekte ama son işlem olarak HIP gibi işlem gerekli olmaktadır. Böylece yeni ürünlerin yoğunluğu orijinal malzemelerden daha düşük olmakta ve proses esnasında oluşan porozitelerin boyutu artmaktadır. Bu, porozitelerdeki mevcut gaz ve sıvı ürünlerin uzaklaşmamasından kaynaklanmaktadır [9].

Yanma sentezi (reaktif sentez veya yüksek sıcaklıkta kendi kendine yayılma sentezi (SHS, self propagating high temperature synthesis) olarak literatürde farklı şekilde ifade edilir) 1940'ların sonu 1950'lerin başından beri $MoSi_2$ ve WC gibi ileri seramik ve metallerarası bileşiklerin üretiminde kullanılmaktadır. Böylece yüksek enerji randımanına sahip yüksek verimlilikte, son şekle yakın boyutlarda numuneler elde edilmektedir. Basitçe ifade edilirse, yanma sentezi elementel veya alt bileşiklerden, kompozit veya bileşiklerin elde edilmesidir:



Reaksiyonun itici gücü oluşan bileşiğin, karışımının oluşturduğu negatif ısıdır. Isı açığa çıkmasının sonucunda, reaksiyon reaktanların tamamına yayılır ve devam eder. Numune boyunca ilerleyen reaksiyon sonucu reaktanlar son ürüne dönüşür. Yanma sentez prosesi şematik olarak Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Yanma sentez prosesisinin şematik olarak gösterimi [10].

Yanma sentezi ile üretilen ürünler genel olarak porozitelidir. Porozite pek çok faktörden kaynaklanabilir; Kirkendall ve Frenkel etkisi, gaz oluşumu, molar hacim değişimleri veya başlangıç porozitesi. Reaktif sinterlemenin en önemli faydası elementel tozlardan direkt olarak yoğun metallerarası

ve seramik bileşikler, alaşımlar veya kompozit malzemeler elde edilmesidir. Yanma sentezi ile elde edilen ürünlerdeki porozite oluşumu reaktif sıcak presleme (RHP, Reactive Hot Pressing) veya reaktif sıcak izostatik preslemede (RHIP, Reactive Hot Isostatic Pressing) reaktif sinterleme esnasında dış basınç uygulanması ve/veya reaksiyon üzerinde dikkatli bir kontrol ile giderilebilir [10, 11].

Proseste tutuşma, iki alt modele ayrılmaktadır: Birincisi kendiliğinden ilerleyen yüksek sıcaklık sentezi (SHS) olarak tanımlanır. Burada kompakt haldeki reaktanlar ısıtılmış bobin kullanılarak ateşlenir, reaksiyon sonucu reaktanların yanması ile reaksiyon dalgalar şeklinde ilerler ve numuneler üretilir. İlk reaksiyon, harici ısı kaynağı kullanılarak başlatılır (Ör: dirençle ısıtılan bobin). Tutuşma sıcaklığına ısıtılan bitişik tabakadaki reaksiyon ısısından faydalanılarak reaksiyon kendi kendine sürdürülür ve dış ısı kaynağına ihtiyaç duyulmaksızın reaksiyon devam eder. Tutuşmanın ikinci modeli, termal patlama veya simultane yanma olarak tanımlanır. Kompaktın tüm hacmi patlama sıcaklığına ısıtılır (fırında), reaktan tozların tamamı kendiliğinden son ürüne dönüşür. Tutuşmanın her iki modeli geçmişte nikel aluminide başarı ile uygulanmıştır [6]. Reaktanların stokiometrik oranı, ilave edilen katkı maddesinin miktarı, işlem atmosferi, reaktanların partikül boyutu, ham kompaktların çapı ve yoğunluğu oluşan reaksiyonları etkilemektedir [10].

3. SONUÇ

Metallerarası bileşiklerin üretimi ve şekillendirilmesindeki zorlukların bir sonucu olarak pratikte sadece birkaçı kullanılabilir. Bu malzemelerin özelliklerinin iyileştirilmesi ve kolay, pahalı olmayan bir yöntemle üretilmesi pek çok avantaj sağlayacaktır.

4. KAYNAKLAR

1. Metals Handbook ASM, Metals Park , Ohio 10th ed. Vol.2, 913-939, 1990
2. Higgins R.A., Engineering Metallurgy Applied Physical Metallurgy, London, 1973
3. Anton D.L., Shah D.M., Duhl D.N. and Giamei A.F., "Selecting High-Temperature Structural Intermetallic Compounds: The Engineering Approach", JOM, 12-17, 1989
4. Stoloff N.S., "Toughening Mechanisms in Intermetallics", Metallurgical Trans. A, vol. 24A, 561-566, 1993
5. Stoloff N.S., Liu C.T. Deevi S.C., "Emerging Applications of Intermetallics", Intermetallics, Elsevier Science B.V., 1313-1320, 2000
6. Morsi K., "Review: Reaction Synthesis Processing of Ni-Al Intermetallic Materials", Materials Sci. & Eng. A299, Elsevier Science B.V., 1-15, 2001
7. Çam G., Buyuran M.S., "Yüksek Sıcaklık Malzemeleri: Aluminidler" Metalurji Dergisi, 33-41, 1993
8. Sauthoff, G., "Intermetallics", Materials Science and Tech., Vol: 8, 643-805, 1996.
9. Nakae H., Fujii H., Nakajima K., Goto A., "Infiltration and Combustion Synthesis of an Intermetallic Compound Ni₃Al", Materials Sci. And Eng. A223, 21-28, 1997
10. Radhakrishnan R., Bhaduri S. and Henager C.H., "The Reactive Processing of Silicides", JOM, 41-45, 1997
11. German D.E., "Reactive Sintering", Powder Metal Tech. And App., ASM Handbook, 516-521