

UZAY YAPILARI İÇİN GÖMÜLÜ ISI BORULU ALÜMİNYUM SANDVIÇ PANEL GELİŞTİRİLMESİ

Esra GÜLGÖNÜL¹

TUSAŞ Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş., ANKARA

ÖZET

Bu çalışma kapsamında, gömülü ısı borulu sandviç yapılu uydu paneli üretim kabiliyetinin kazanılması için bir geliştirme paneli tasarlanmış, üretilmiş ve geliştirme panelinden test numuneleri çıkarılarak fiziko-kimyasal, mekanik ve ısı testlere tabi tutulmuştur. Kalite muayeneleri ve elde edilen test sonuçları değerlendirilerek üretimde iyileştirilmesi gereken noktalar belirlenmiş, ilerleyen dönemlerde uzay tarihçeli uydu panelleri üretilebilmesi amacıyla sürecin geliştirilmesi yönündeki bulgular ve öneriler raporlanmıştır.

GİRİŞ

Uyduların görevlerini gerçekleştirebilmeleri için uzay ortamında maruz kalacakları ısı koşullara uyumlu olmaları gerekmektedir. Uydunun bulunduğu ortamın ısı etkilerine karşı korunması ve uydunun tanımlanan en kötü sıcak ve en kötü soğuk operasyonel senaryolarında ekipman ve alt sistem sıcaklıklarının belirtilen sınırlar içerisinde kalması ısı kontrol sistemi ile sağlanmaktadır. Isı kontrol sisteminin önemli bir kısmını ekipmanların ısı kontrolü oluşturur.

Uydu panellerinde bulunan elektronik ekipmanlar çalışırken ısı açığa çıkarırlar. Ekipmanların bozulmaması ve doğru çalışması için bu ısının uydudan uzaklaştırılması gerekir. Uzayın vakum ortamında, taşınım ısı transferinin söz konusu olmamasından dolayı ortaya çıkan bu ısı, iletim yoluyla derin uzaya ışıyım yapan radyatör alanlarına taşınır ve oradan da uzaya atılır. Isı kontrol sisteminin en etkin şekilde ısıyı ekipman üzerinden radyatör paneline taşıması gerekmektedir. İletim ısı transferinin yeterli olmadığı durumlarda, küçük kesitlerinden büyük miktarda ısı taşıyabilmeleri (faz değişiminden kaynaklı yüksek ısı transferi), bunu yaparken iki ucu arasında görece az sıcaklık farkı oluşması, herhangi bir dış cihazdan bağımsız pasif olarak çalışabilmeleri ve tüm bunları yerçekimsiz ortamda da başarabilmeleri sebebiyle ısı boruları uzay uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir. Böylece, ekipman bölgelerinde yoğunlaşan ısının tüm panel geneline dağılması sağlanarak yapısal panellerde ve ekipman arayüzlerinde dengeli sıcaklık dağılımı elde edilmektedir.

Isı Borusu

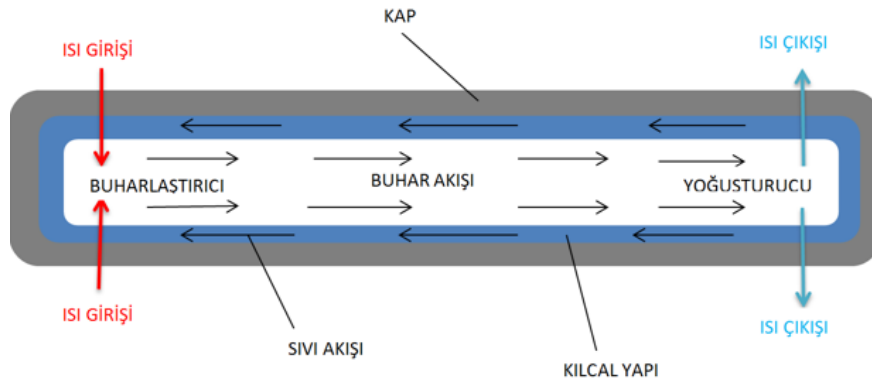
Uydu içerisinde ısının hızlı bir şekilde bir noktadan diğerine aktarılmasını sağlayan ısı boruları, çok yüksek miktarda enerjinin çok düşük kayıplarla radyatör alanlarına dolayısıyla da uzay boşluğuna atılabilmesini sağlamaktadırlar. Uzay uygulamalarında kullanılan örnekleri Şekil 1’de gösterilmiştir:

¹ Proje Teknik Yöneticisi, Uzay Sistemleri Genel Müdür Yardımcılığı, Yapısal Mühendislik Müdürlüğü, e-posta: egulgonul@tai.com.tr



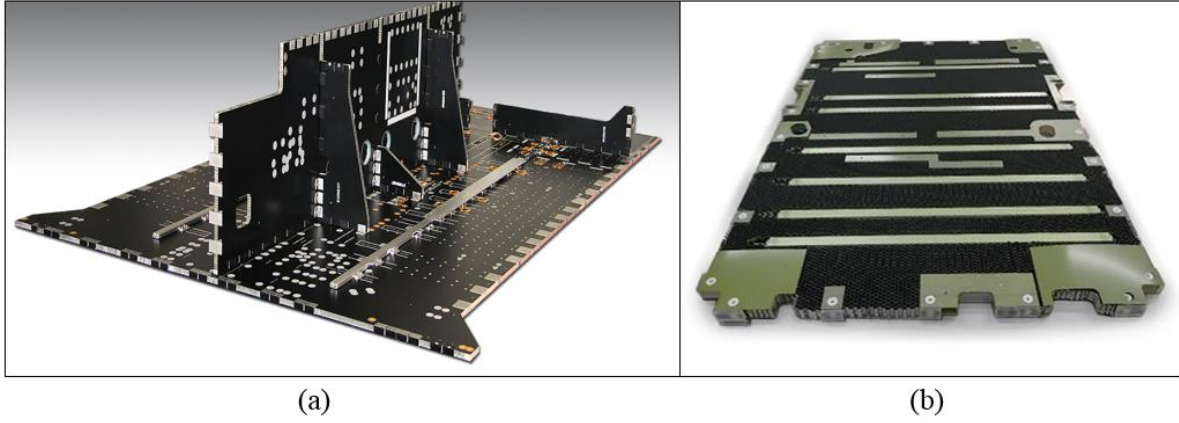
Şekil 1: (a) Uzak Uygulamaları Isı Borusu Kesitleri (b) Flanşlı Isı Borusu [4]

Isı borularının çalışması, temel olarak içlerindeki akışkan maddenin sıvı-gaz faz değişimi yoluyla dış ortamla ısı alışverişini yapması ve borunun iki ucu arasında hareket ederek ısıyı istenen noktaya taşımaya dayanmaktadır. Çalışma, ısınin harici bir kaynaktan transfer edildiği buharlaştırıcı bölümündeki sıvı fazındaki çalışma akışkanının buharlaştırılmasıyla başlar. Oluşan buhar yoğunlaştırıcı bölümüne doğru hareket eder, burada soğutucuya ısını aktararak faz değiştirir, yoğunlaşır. Yoğuşan sıvı, çoğu ısı borusu uygulamasında kılcal etki ile buharlaştırıcıya geri akar. Şekil 2’de yatay konumda tutulan bir ısı borusunun çalışma prensibi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2: Isı Borusu Çalışma Prensibi

Isı boruları, uydunun ısı kontrol tasarımına, montaj ve üretilebilirlik kısıtlarına bağlı olarak panel içerisine gömülü ya da panel üzerine monte edilerek kullanılabilirler. Isı boruları ekipmanların altında, sandviç panele gömülü olarak kullanıldığında ısı iletkenlik artmaktadır [5]. Gömülü ısı borulu panellerin ısı performansının yüzeye monte ısı borusu kullanılan panellere göre daha iyi olduğu yapılan çalışmalar ile gösterilmiştir [3]. Bu sebeple, özellikle haberleşme uydularında, ekipman sayısının ve ekipmanların ısı yayılımının yüksek olduğu panellerde ısınin radyatör yüzeyine ulaştırılması ve homojen sıcaklık dağılımı sağlanması amacıyla gömülü ısı borularının kullanımı yaygındır. Yüzeye monte ve gömülü ısı borulu panel örnekleri Şekil 3’de gösterilmiştir.

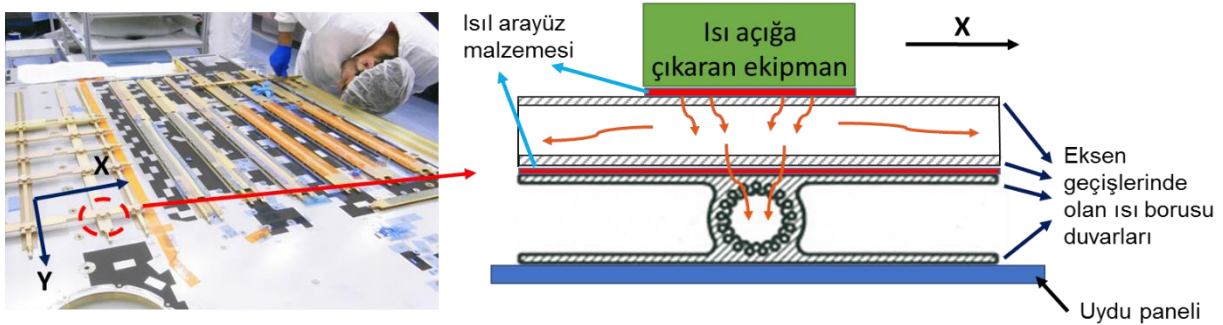


Şekil 3: (a) Yüzeye Monte Isı Borulu Panel [2] (b) Gömülü Isı Borulu Panel (Üretimi Tamamlanmamış) [1]

Gömülü Isı Borulu Sandviç Panel

Gömülü ısı borulu sandviç paneller, yüksek ısıl iletkenliğe sahip alüminyum yüzey plakalarının arasına yerleştirilmiş alüminyum balpeteği ve ısı borularından oluşmaktadır. Yüzey plakaları eğilme yüklerine karşı koyar ve ekipmanın ısısının yatay yönde iletimini sağlar. Balpetekleri ise kesme yüklerine karşı dayanım sağlar, bağlayıcıları tutar, panelin katılığını artırıcı yönde etki ederken panelin dikey yönündeki ısıl iletkenliği düşüktür [5]. Isı boruları, ekipmanların altına gelecek şekilde, yüzey plakalarının iç tarafına, balpeteklerinin arasına yerleştirilerek ısının dikey ve yatay yönlerdeki iletiminde artış sağlar.

Isıl tasarımın gerektirmesi durumunda ısı boruları panel içine ağ yapılı olarak yerleştirilebilir. Bu konfigürasyonda ısı boruları birbirlerine ısıl arayüz malzemeleri kullanılarak dik olacak şekilde yapıştırılır ve ısıyı yatay iki eksende etkin şekilde yaymaları sağlanır. Şekil 4’de ağ yapılı ısı borusu konfigürasyonu gösterilmektedir.



Şekil 4: Literatür ve uzay sanayindeki mevcut ısı borusu ağı konfigürasyonu

YÖNTEM

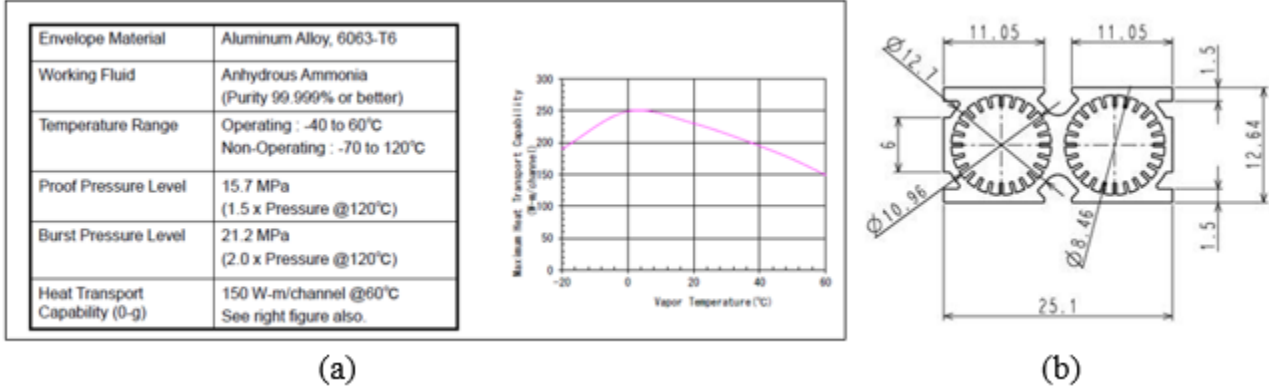
Çalışmalara gömülü ısı borulu alüminyum sandviç panel tasarımı ile başlanmıştır. Alüminyum plakalı sandviç panel üretimi TUSAŞ’ta yapılmakta olan kalifiye bir süreç olup, ısı borusu gömülü panel üretimi için ısı borularının birbirine yapıştırılması, ısı borusu ağı oluşturulması, ısı borularının aralarına ve altlarına balpetekleri yerleştirilmesi gibi çeşitli adımlar üretim sürecine eklenmiştir. Üretimin tamamlanması sonrasında geliştirme paneli kalite kontrollerinden geçirilmiş, üzerinden numuneler çıkarılarak bu numuneler fiziko-kimyasal, mekanik ve ısıl testlere tabi tutulmuştur. Kalite muayeneleri ve elde edilen test sonuçları değerlendirilerek üretimde iyileştirilmesi gereken noktalar belirlenmiş, ilerleyen aşamalarda bu metotla uzay tarihçeli uydu panelleri üretilebilmesi amacıyla sürecin geliştirilmesi yönündeki bulgular ve öneriler raporlanmıştır.

UYGULAMALAR

Çalışma kapsamında yapılan tüm uygulamalar, elde edilen detaylı sonuçlar, karşılaştırmalar ve ilgili yorumlar bu bölümde yer almaktadır.

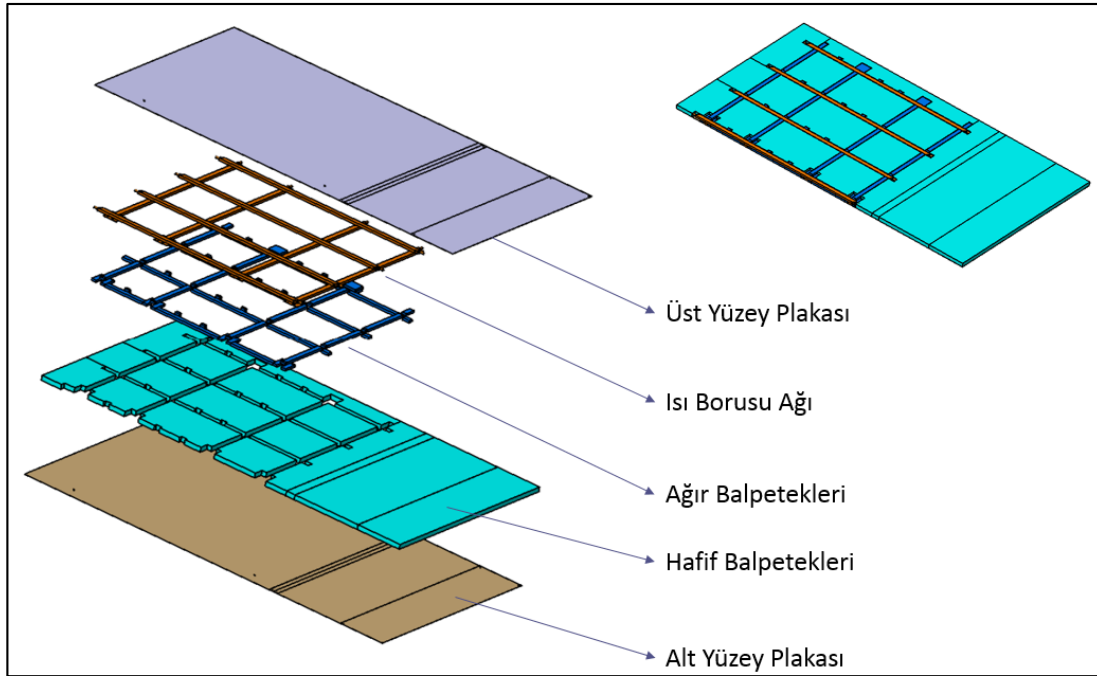
Tasarım Faaliyetleri

Çalışma kapsamında, alüminyum yüzey plakaları ile balpeteklerinden oluşan ağ yapılı ısı borulu panel tasarımı gerçekleştirilmiştir. Isı boruları, mevcut TUSAŞ tecrübelerine dayanarak alüminyum 6063-T6 alaşımından, çift oluklu ve panel üzerinden test numuneleri çıkarılmasına olanak verecek şekilde boş olarak seçilmiştir. Şekil 5'te kullanılan ısı borusunun kesiti ve özellikleri görülmektedir:



Şekil 5: (a) Isı Borusu Katalog Bilgileri (b) Isı Borusu Kesiti

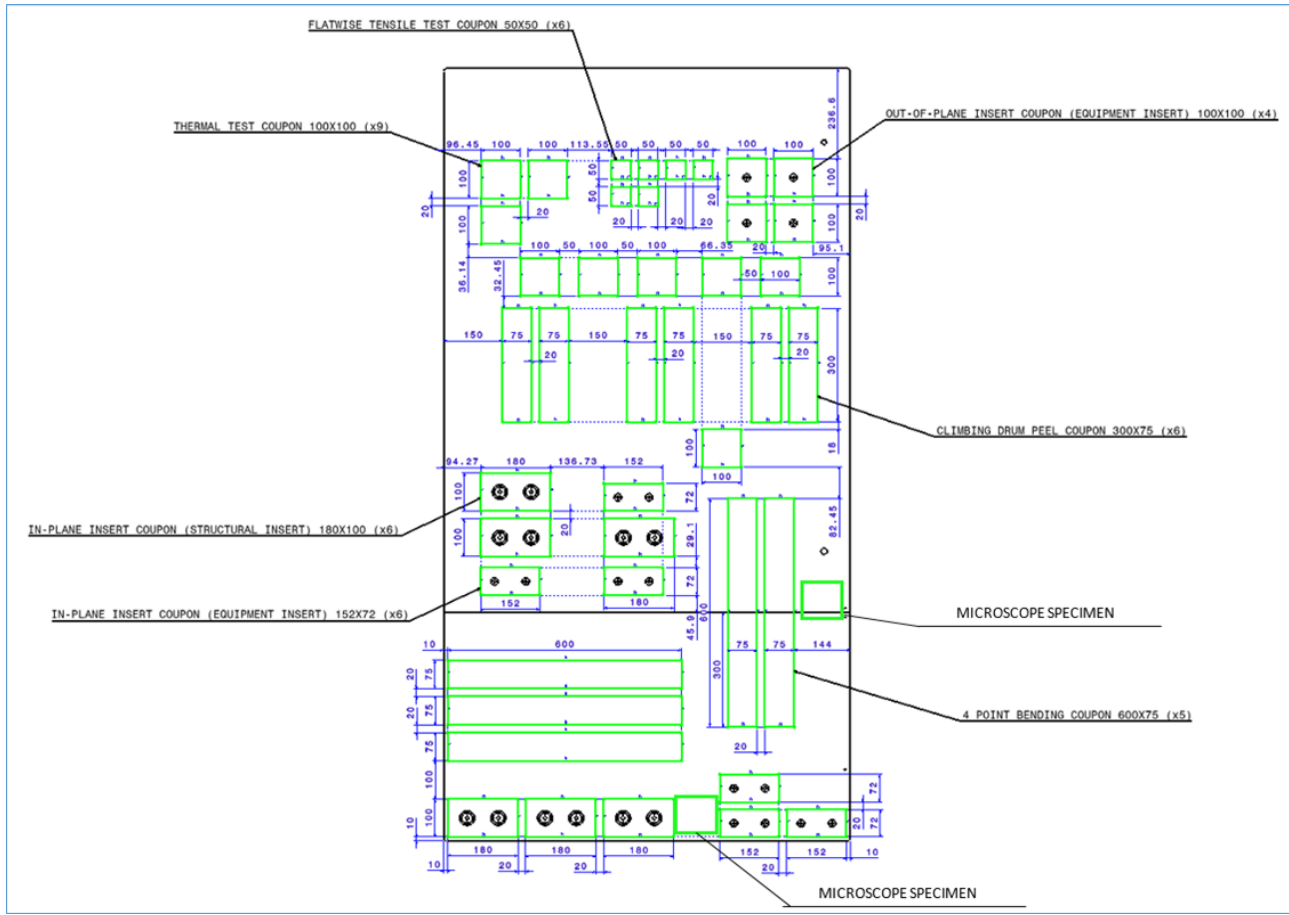
İnce yüzey plakaları ile sandviç panel üretim kabiliyetinin geliştirilmesi amacıyla alüminyum yüzey plakaları 0.25 mm olarak seçilmiş, ısı iletkenliğinin artırılması için ısı borularının altında ağır balpetekleri, diğer bölgelerde ise hafif balpetekleri kullanılarak tasarım tamamlanmıştır. Tasarımın patlatılmış görüntüsü Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6: Gömülü Isı Borulu Sandviç Panel Tasarımı

Uzay uygulamalarında yapısal parçaların birleştirilmesi ve ekipmanların panele tutturulması amacıyla insert'ler kullanılmaktadır. Tasarlanan gömülü ısı borulu alüminyum sandviç panel üzerine de bu insert'leri temsilen, mekanik testlerinin yapılabilmesi amacıyla insert'ler yerleştirilmiştir.

Panel üzerinden mekanik ve fiziko-kimyasal testler için çeşitli numuneler çıkarılması planlanmıştır. Bu sebeple, panel tasarımı tamamlandıktan sonra, panel üzerindeki ısı borusu yerleşimine ve test standartlarına uygun olacak şekilde test numunelerinin çıkarılacağı bölgeler belirlenmiştir. Test numunesi yerleşimi Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7: Test Numuneleri Yerleşimi

Üretim, Malzeme ve Proses Faaliyetleri

Uzay yapıları için alüminyum sandviç panel üretimi TUSAŞ'ta yürütülen kalifiye bir faaliyettir. Üretim için kür döngüsü belirlenmiş, ısı borusu ağının oluşturulması, özel proses gereksinimleri, metal yapıştırma ve üretim kalifikasyonun sağlanması için proses dokümanları hazırlanmıştır. Isı borusu ağının oluşturulması için ayrı, balpetekleri, ısı borusu ağı ile üst ve alt levhaların birbirine yapıştırılması için ayrı olmak üzere iki takım hazırlanmıştır. Gerekli işleme ve kimyasal yüzey hazırlıklarından sonra ısı borularının birbirlerine dik olarak yapıştırılarak ısı borusu ağının oluşturulması ile üretime başlanmıştır. Sonrasında levha, ısı borusu ağı serimi ve balpeteklerinin yerleştirilmesi ile panel tamamlanarak pişirmeye geçilmiştir. Pişirme sonrasında gerekli kalite kontrolleri yapılmış ve panel üzerinden test kuponları çıkarılmıştır. Test kuponlarının hazırlıkları tamamlandıktan sonra testler için ilgili istasyonlara sevk edilmişlerdir. Üretim ve kontrol adımları Şekil 8'de gösterilmiştir.



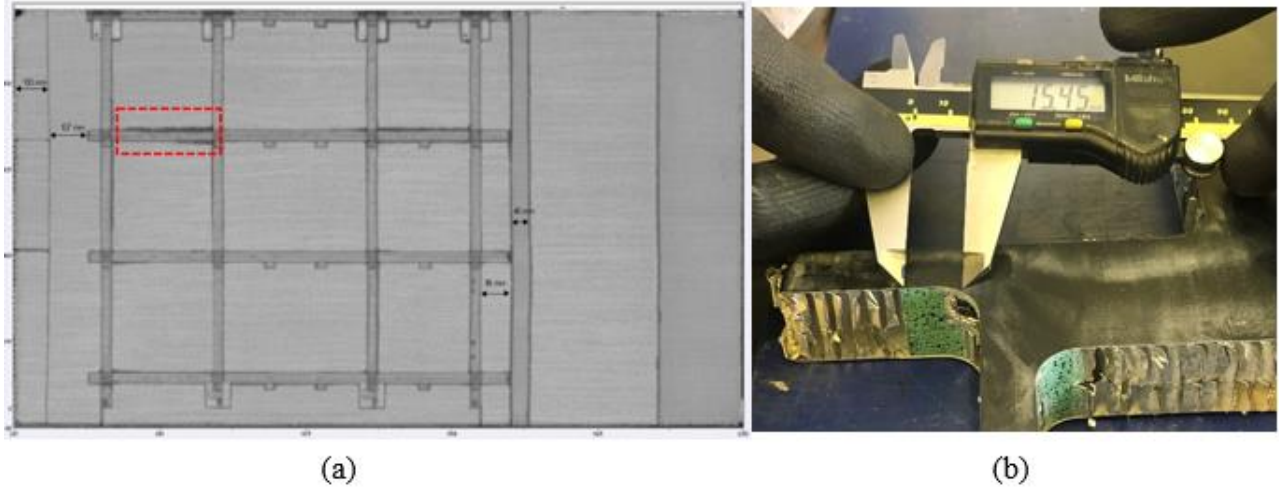
Şekil 8: Gömülü Isı Borulu Sandviç Panel Üretim Adımları

Kalite Kontrol Faaliyetleri

Şekil 8’de tanımlanan ara kontrollerin dışında panel üretiminin tamamlanması sonrasında panel üzerinde düzlemsellik muayenesi ve ultrasonik muayene; kesilen numuneler ve kalan panel parçaları üzerinde X-Ray muayenesi ile mikroskobik ve makroskobik incelemeler gerçekleştirilmiştir.

Yapılan düzlemsellik kontrolünde istenen toleransların sağlanamadığı görülmüştür ve sebebi otoklav işlemi esnasında alt ve üst levhaların birbirlerine göre farklı sıcaklık değerlerine ulaşması olarak değerlendirilmiştir. Bunun giderilmesi amacıyla sonraki panel üretimlerinde serim ardından üst levhanın üstüne ısı izolasyonu sağlayacak bir izolasyon malzemesi serilmesine; üretim öncesinde taklit panel ile ısıl profil yapılarak izolasyon seviyesinin gözlemlenmesine karar verilmiştir.

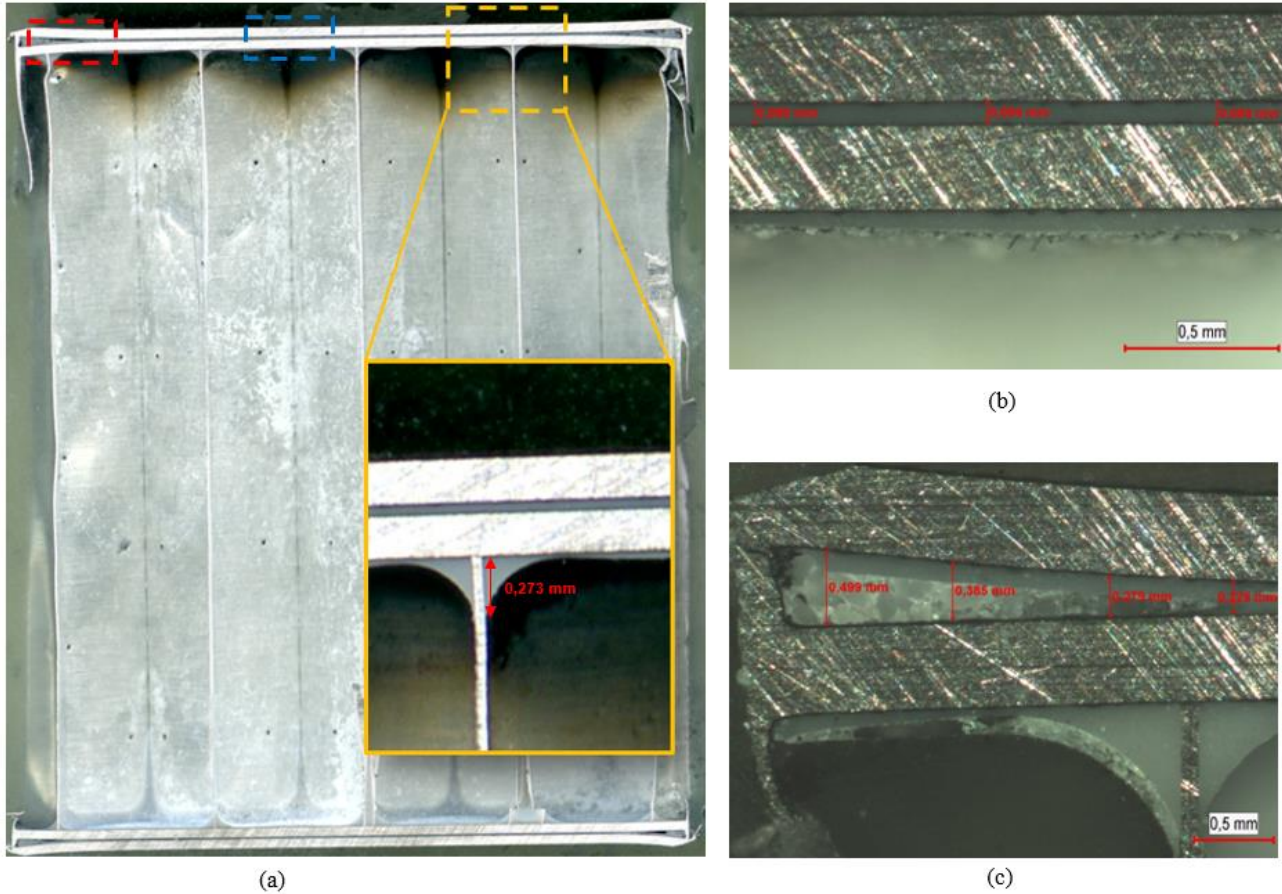
Ultrasonik muayene ve X-Ray muayenesi sonucunda bazı bölgelerde köpük yapıştırıcının kalınlığının fazla olduğu, bazı bölgelerde balpeteklerinin sıkıştığı gözlemlenmiş; örnekler Şekil 9’de gösterilmiştir.



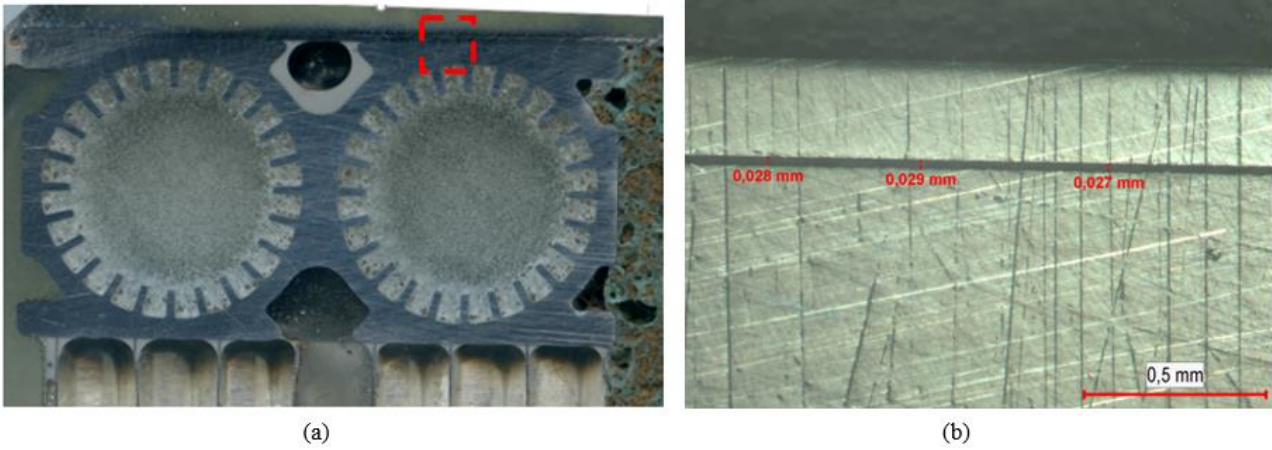
Şekil 9: (a) Ultrasonik Muayene Görüntüsü (b) Kırmızı İşaretli Bölgedeki Köpük Yapıştırıcı Ölçümü

Balpeteğinin sıkışmasının ya da fazla köpük yapıştırıcı kullanımının engellenmesi için balpeteğinin uygun ölçülerde kesilmesi; köpük yapıştırıcı ve balpeteğinin yerleştirilmesi sırasında gerekli hassasiyetin gösterilmesi ile ilgili iyileştirici önlemler raporlanmıştır.

Makroskobik ve mikroskobik incelemeler ile balpeteklerinin arasına dolan yapıştırıcı miktarı, ısı borusu ve alüminyum levha arasındaki film yapıştırıcının kalınlığı gibi veriler üzerinden yapışma kalitesi incelenmiştir. Elde edilen görüntüler Şekil 10 ve Şekil 11'da gösterilmiştir.



Şekil 10: (a) Yüksek Çözünürlüklü Tarayıcı Görüntüsü (b) Orta-Mavi İşaretli Bölgedeki Yapıştırıcı Kalınlığı(50X Büyütme) (c) Kenar-Kırmızı İşaretli Bölgedeki Yapıştırıcı Kalınlığı(50X Büyütme)

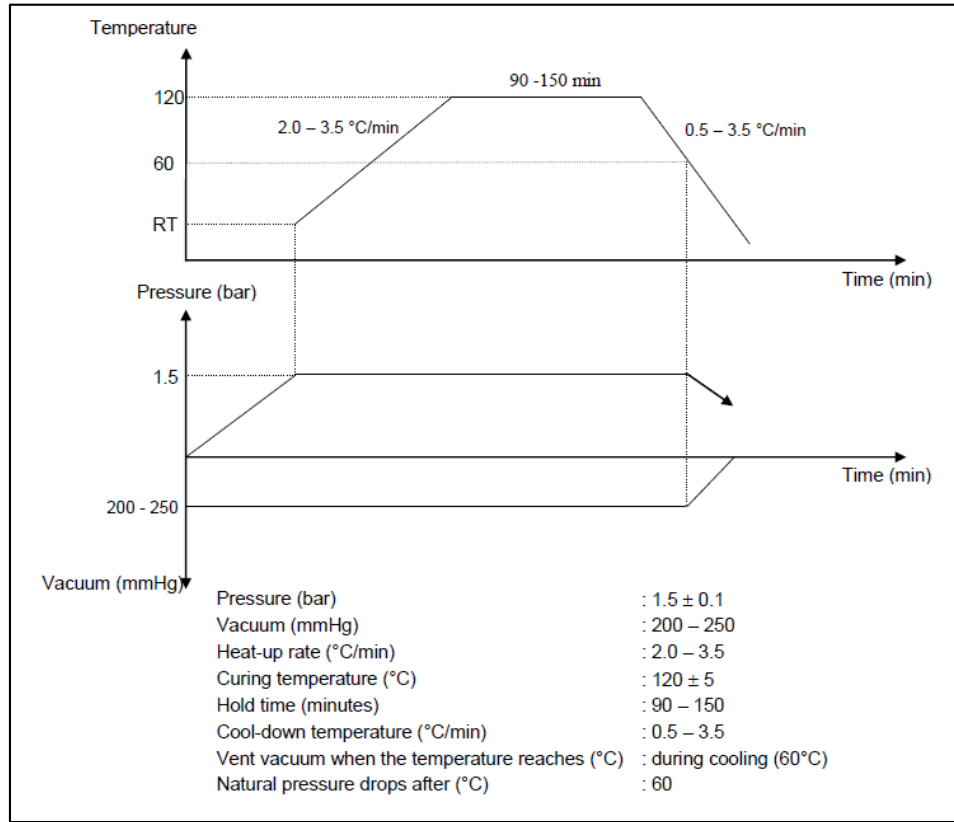


Şekil 11: (a) Isı Borusu - Alüminyum Levha Yapışma Bölgesindeki Yüksek Çözünürlüklü Tarayıcı Görüntüsü (b) Kırmızı İşaretli Bölgedeki Yapıştırıcı Kalınlığı(50X Büyütme)

Menisküs (balpeteği duvarları arasına dolan film yapıştırıcı) yüksekliğinin yeterli ve homojen olduğu gözlemlenmiştir. Şekillerde gösterildiği gibi kenarlara yakın bölgelerde film yapıştırıcı kalınlığının homojen olmadığı ve ısı borularının yapışma bölgelerinde film yapıştırıcının çok ince olduğu gözlemlenmiştir. Homojen yapıştırıcı kalınlığının elde edilmesi için yapıştırma işleminin daha dikkatli yapılması ve ısı borusunun yapıştırıldığı bölgelerde iki kat yapıştırıcı kullanılması kararlaştırılmıştır.

Kür Döngüsü Değerlendirmesi Ve Kürlenme Derecesi

Kür döngüsünün teorik değerlere uygun bir şekilde gerçekleştirilmesi, panelin kürlenmesi sırasında yapışmanın istenen seviyede sağlanması, dolayısıyla da yapısal panellerin istenen mekanik özelliklerde üretilmesi için oldukça önem taşımaktadır. Bu sebeple üretim sonrasında ısı çiftlerinden alınan veriler ile kür döngüsü değerlendirilerek panelin üst ve alt yüzeyleri ile otoklava girdiği konuma göre ön ve arka tarafındaki ısınma ve soğuma oranları teorik veriler ile karşılaştırılmıştır. Şekil 12’de panel üretiminde kullanılan kür döngüsü verilmiştir.



Şekil 12: Kür Döngüsü

Kür döngüsünün değerlendirilmesi sonucunda, ısıtma oranının istenen değerleri sağlamadığı; vakum basıncının ise 200-250 mmHg olarak tanımlanmasına rağmen pişme sırasında 250 mmHg'nın çok yakınında seyrettiği, hatta bazen üstüne çıktığı gözlemlenmiştir. Isıtma oranının kür döngüsünde verilen isterleri sağlayacak şekilde otoklavın kontrol edilmesi; balpeteklerinde sıkışma ve bozulma olmaması açısından vakum basıncının 250 mmHg'yi aşmayacak şekilde kontrol edilmesi kararlaştırılmıştır.

Kürlenme derecesi, film yapıştırıcının pişmesinin doğrulanması amacıyla yapılan bir analizdir. Isı borusu gömülü sandviç panel için EN6041 ve EN6064 standartlarına uygun olacak şekilde aynı hammadde grubundan çıkarılan film yapıştırıcının kürlenmemiş ve kürlenmiş reaksiyon entalpilerinin ölçümlerinin karşılaştırılması sonucunda kürlenme derecesi %97 olarak bulunmuş ve kürlenmenin yeterli olduğu değerlendirilmiştir.

Mekanik Testler

Isı borusu gömülü alüminyum sandviç panelin mekanik karakterizasyonu için çıkarılan numuneler üzerinde düz çekme testi (flatwise tensile test), soyma testi (climbing drum peel test), dört noktalı eğilme testi (four point bending test), düzlemsel ve düzlemsel olmayan insert testleri (in plane ve out of plane insert testleri) gerçekleştirilmiştir. Testler sonucunda numuneler üzerinde görülen yükler, teorik hesaplamalar ile karşılaştırılarak panelin ve insert'lerin yapısal açıdan uygunluğu incelenmiştir. Test sonuçları Tablo 1'de verilmiştir:

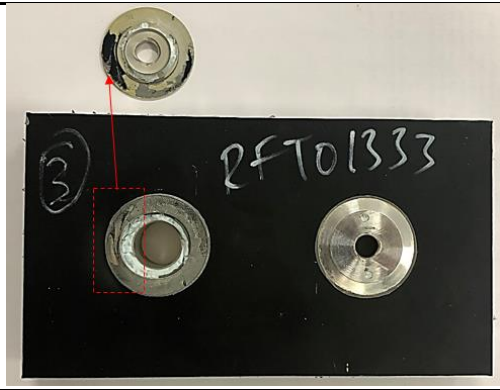
Tablo 1: Mekanik Test Sonuçları

Test	Test Standardı	Hesaplanan	Ölçülen Ortalama	Sonuç
Düz Çekme Testi (Flatwise Tension)	EN 2243-4	>3MPa	4 MPa	OK
Düzlemsel Normal Bölge Ekipman Insert Testi (in-plane normal region – equipment)	ECSS-E-HB-32-22A	1819 N	2752 N	OK
Düzlemsel Takviye Bölgesi Ekipman Insert Testi (in-plane doubler region – equipment)	ECSS-E-HB-32-22A	3304 N	4354 N	OK

Düzlemsel Takviye Bölgesi Yapısal Insert Testi (in-plane doubler region – structural)	ECSS-E-HB-32-22A	3304 N	3490 N	OK
Düzlemsel Normal Bölge Yapısal Insert Testi (in-plane normal region – structural)	ECSS-E-HB-32-22A	1819 N	2841 N	OK
Düzlemsel Olmayan Insert Testi (Out of plane insert test)	ECSS-E-HB-32-22A	1085 N	1388 N	OK
Isı Borusuz Bölge Dört Noktalı Eğilme Testi (Four Point Bending)	EN ASTM_D7249	1136 N	1023 N	OK
Isı Borulu Bölge Dört Noktalı Eğilme Testi (Four Point Bending)	EN ASTM_D7249	1136 N	1114 N	OK
Soyma Testi (Climbing Drum Peel Test)	EN2243-3	138 N / 75mm	152 N / 75mm	OK

Soyma ve düzlemsel takviye bölgesi ekipman insert testlerinde yüzey hazırlığı ve temizlik ile ilgili bazı uyumsuzluklar tespit edilmiş olup bu uyumsuzluklar Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2: Mekanik Testlerde Karşılaşılan Uyumsuzluklar

Test	Uyumsuzluk	Görsel
Düzlemsel Takviye Bölgesi Yapısal Insert Testi (in-plane doubler region – structural)	Bir numunede insert flanşı kırılmıştır. Flanş ve levhanın yapışma yüzeyleri incelendiğinde, levha tarafında debond gözlemlenmiştir. Sebebi, alüminyum levhanın yapışma (bonding primer) öncesi yüzey hazırlığının yetersiz olması olarak değerlendirilmiştir.	
Soyma Testi (Climbing Drum Peel Test)	Üç numunede balpeteği üzerinde film yapıştırıcı kalıntısı gözlemlenmemiştir. Bu duruma yüzey temizliğinin neden olduğu değerlendirilmiştir.	

Isıl Testler

Panelin ısı performansının görülmesi açısından ısı testlerin operasyonel (içi dolu) ısı borulu panel ile yapılması gerekmektedir. Ancak, mevcut çalışmada panelin kesilerek üretim kalitesinin belirlenmesi öncelikli hedef olduğundan içi boş ısı boruları kullanılmıştır. Bu sebeple tek ısı borulu, kesişen ısı borulu ve ısı borusuz bölgelerden kesilen numuneler üzerinde ısı iletkenliğinin belirlenmesi ve kullanılan parametrelerin karakterizasyonu için ısı testler gerçekleştirilerek veriler toplanmıştır.

Numunelerden elde edilen sıcaklıklarda farklılıklar gözlemlenmiş; bu durum ısı karakteristiklerinin panel boyunca homojen olmadığı şeklinde yorumlanmıştır. Numunelerin ısı iletkenlik değerleri, ısı borusu ve çevresindeki yapışkanın kalınlığı ve işçilik kalitesine, bir başka deyişle üretim koşullarına bağlıdır. Isı karakteristiklerinin panel boyunca homojen olarak elde edilebilmesi için yapıştırıcı kalınlıklarının homojenliğinin sağlanması ve işçilik kalitesinin artırılması gerekmektedir.

Bulgular ve İyileştirmeler

Yapılan testlerin ve kalite muayenelerinin değerlendirilmesi neticesinde sonraki üretimler için aşağıdaki iyileştirmeler önerilmiştir:

- Kür döngüsü değerlendirmesi sonucunda balpeteklerinde sıkışma problemi yaşanmaması için basınç ve sıcaklık değerlerinin 200-250 mmHg ve maksimum 124 °C olacak şekilde kür döngüsünün yeniden düzenlenmesine karar verilmiştir.
- Üretim sonrası kalite kontrollerinin arasına X-Ray muayenesi de eklenerek parçanın içindeki üretim kalitesi doğrulanmalıdır.
- Isı borusu ağının yapışma kalitesinin gözlemlenmesi için ısı borusu ağının yapıştırılmasından sonra IR muayenesi eklenmelidir.
- Balpeteklerinin saklanması, taşınması ve temizlenmesi sırasında daha çok özen gösterilerek üretimde oluşan hataların önüne geçilmesi hedeflenmelidir.
- Üretim sırasında balpeteklerinin montaj alanına sığmaması durumunda balpeteği kesimi yeniden yapılmalı, böylece balpeteklerinin sıkışarak hücre yapısının bozulmasının önüne geçilmelidir. Benzer şekilde balpeteklerinin montaj alanına küçük gelmesi durumunda da balpeteği kesimi yinelenmeli, böylece fazladan köpük yapıştırıcı kullanımının önüne geçilmelidir.
- Yapışmanın düzgün sağlanabilmesi için alüminyum plakaların yüzey hazırlığına özen gösterilmelidir.
- Homojen yapıştırıcı kalınlığının elde edilebilmesi için yapıştırma işlemi kontrollü olarak yapılmalıdır.
- Pişme sırasında ısıtma oranının kalite kontrol tarafından kür döngüsüne uygun olacak şekilde sınırlanarak kontrol edilmesi gerekmektedir.
- Panel boyunca film yapıştırıcı kalınlığının homojen olarak elde edilebilmesi için üretim kalitesinin artırılması hedeflenmelidir.

SONUÇ

Elde edilen sonuçlar ışığında gömülü ısı borulu alüminyum sandviç panel üretim prosesinin isterleri karşılayabilecek şekilde iyileştirilebileceği görülerek gerekli düzeltmelerin üretim sürecine eklenmesi sağlanmıştır. Gömülü ısı borulu alüminyum sandviç panel üretim kabiliyetinin kazanılması kapsamında ikinci adım olarak operasyonel (dolu) ısı borularının gömülü olduğu bir panel daha üretilmiş ve ısı performans testlerine tabi tutulmuştur. Bu panelin üretiminde, geliştirme panelinde edinilen tecrübelerden yararlanılmış ve gerekli iyileştirmeler yapılmıştır. Gerçekleştirilen ısı testler neticesinde üretilen panelin homojen ve etkili bir ısı dağılımı sağladığı görülmüştür.

Kaynaklar

- [1] Anonim, Gömülü Isı Borulu Panel (Üretimi Tamamlanmamış), <https://gtm-as.com/aerospace/showcase-manufacturing-heritage-panels/>, erişim tarihi: 20.08.2020.
- [2] Anonim, Yüzeye Monte Isı Borulu Panel, <https://www.aascworld.com/portfolio/thermal-radiator/>, erişim tarihi: 20.08.2020.
- [3] Ataer S.K, Çokgezen O. Ö. ve Dirgin E., 2016. “Haberleşme Uydularında Gömülü ve Yüzeye Monteli Isı Borularının Isıl Kontrol Açısından Karşılaştırılması”, UHUK-2016-94
- [4] ESA Thermal Design Handbook, 2011. ECSS-E-HB-31-01 Part 8A Heat Pipes, 5 December.
- [5] Gilmore D. G., 2002. *Spacecraft Thermal Control Handbook, Volume:1 Fundamental Technologies*, California: The Aerospace Press s.275, 283-287