



T-Channel Mold Design in Mechanical Locking Method

Serdar Mercan^{1,a,*}

¹ Mechatronic Eng. Department, Sivas Cumhuriyet University Faculty of Technology, Sivas, Turkey

*Corresponding author

Research Article

History

Received: 27/05/2023

Accepted: 24/08/2023

Copyright



This work is licensed under
Creative Commons Attribution 4.0
International License

ABSTRACT

Metals are joined by using different joining methods to combine the superior properties of each metal type or due to structural requirements. Among these methods, the Mechanical Locking Method (MLM) is an alternative, environmental-friendly and new method. In this method, one of the materials joined in the method is called as the mold part and the other is called as the reshaped part. A conical or T channel is opened into the mold part from these materials, which are shaped according to the desired physical form before joint. In the face of the external forces to be applied, the connection shaped according to this channel is expected to have mechanical properties to bear the damage. Within the scope of the present study, the stress distributions occurring in the design of T channel in the joining of different material types using the mechanical locking method were numerically investigated. Six different models were created in ANSYS computer aided analysis program and the investigations were completed. It was found that while the highest stress value occurred in design no. S1, the lowest stress value in design no. S5.

Keywords: Mechanical locking method (MLM), Computer aided analysis, ANSYS, T channel, Damage

Mekanik Kilitleme Yönteminde T Kanallı Kalıp Tasarımı

Araştırma Makalesi

Süreç

Geliş: 27/05/2023

Kabul: 24/08/2023

ÖZ

Metaller, her bir metal türünün üstün özelliklerini bir araya getirebilmek amacıyla veya ortaya çıkan yapısal zorunluluklar nedeni ile farklı birleştirme yöntemleri kullanılarak birleştirilirler. Bu yöntemler arasında yer alan Mekanik Kilitleme Yöntemi (MLM) alternatif çevreci ve yeni bir yöntemdir. Yöntemde birleştirilen malzemelerden biri kalıp parçası diğeri yeniden şekillendirilen parça olarak isimlendirilirler. Bağlantı öncesi istenilen fiziksel forma göre şekillendirilen bu malzemelerden kalıp parçası içine konik veya T kanal açılır. Uygulanacak dış kuvvetler karşısında bu kanala göre şekillendirilen bağlantının hasarı taşıyacak mekanik özelliklerde olması beklenir. Bu çalışma kapsamında, mekanik kilitleme yöntemi kullanılarak, farklı malzeme türlerinin birleştirilmesinde T kanal tasarımında oluşan gerilme dağılımları numerik olarak incelenmiştir. ANSYS bilgisayar destekli analiz programında altı farklı model oluşturularak incelemeler tamamlanmıştır. En yüksek gerilme değerinin S1 nolu tasarımda en düşük gerilme değerinin S5 nolu tasarımda meydana geldiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mekanik kilitleme yöntemi (MLM), Bilgisayar destekli analiz, ANSYS, T kanal, Hasar

^a smsmercan@gmail.com

^{ID} 0000-0002-1225-8290

How to Cite: Mercan S. (2023) T-Channel Mold Design in Mechanical Locking Method, Journal of Science and Technology, 2(2): 65-72.

Giriş

Bir sistemin tasarımı sisteminin oluşturduğu malzeme türlerinin doğru seçilmesi sistemin ömrü açısından oldukça kritiktir. Malzeme türleri içinde metaller önemli yere ve buna bağlı olarak yaygın kullanım alanına sahiptir. Çünkü farklı ısı ve elektriksel özelliklerde, kolay şekillendirilebilen ve yüksek darbe dayanımına sahip malzeme türleridir. Metallerin çelik, alüminyum, çinko, bakır, titanyum ve alaşımları şeklinde birçok sınıflandırması yapılabilir. Söz konusu metaller bazı durumlarda yapısal zorunluluklar bazı durumlarda ise her bir metal türünün veya alaşımının üstün özelliklerini bir araya getirebilmek amacıyla birleştirilerek kullanılırlar. Aynı tür metallerin birleştirilmesi kimyasal ve fiziksel özellikleri farklı metallerin birleştirilmesine göre daha kolaydır ve sonuçlar ana metalin mekanik özelliklerine yakındır. Ancak aynı metalin farklı alaşımlarının birleştirilmesi ise ciddi problemleri beraberinde getirmektedir. Farklı kimyasal ve fiziksel özelliklerdeki metallerin birleştirilmesi ise çok daha zor ve neredeyse imkânsız hale gelmektedir. Farklı metal türlerinin kendi arasında ve metallerin seramik, cam gibi diğer malzeme türleri ile birleştirilmesinde kullanılacak yeni ve çevreci bir birleştirme yöntemi ise Mekanik Kitleme Yöntemidir.

Mekanik kitleme yöntemine ait TR201503256B no' lu patent işlemleri 2017 yılında tamamlanmıştır (Mercan, 2017). Mekanik kitleme yöntemi ile birleştirmede malzeme çiftlerinde atomik seviyede bir birleştirme beklenmez. Bu nedenle demir esaslı malzemeler demir dışı metaller, kompozit malzemeler ve seramik malzemeler gibi birçok malzeme türü birbirleri ile birleştirilebilir. Yöntem kullanılarak birleştirilecek iki parçadan, biri yeniden şekillendirilen parça (YŞP) diğeri kalıp parçası olarak tasarlanır. Birleştirilecek iki malzeme türü arasında mekanik özellikleri ve ergime ısısı yüksek olan parça kalıp parçası olarak seçilir. Kalıp parçasının üzerine farklı ölçülerde konik kanal veya T kanal açılır. YŞP'nin seçimindeki temel şart ise plastik şekil değiştirme özelliğine sahip bir malzeme olmasıdır. Yöntem parametreleri, devir sayısı, sürtünme süresi ve sürtünme basıncı olarak sınıflandırılır. Bağlantı kalitesi üzerinde önemli etkisi bulunacağı düşünülen, kalıp parçası fiziksel tasarımına ait, kanal derinliğinin, kanal genişliğinin, boğaz açıklığının ve köşe yarıçapları gibi fiziksel parametrelerin malzeme özelliklerine uygun olarak belirlenmesi bağlantı kalitesinin artırılması için özel öneme sahiptir (Özkavak 2022). Söz konusu parametrelerin tamamı YŞP'nin mekanik özelliklerini kaybetmeden hamurumsu hale getirilmesi amacıyla belirlenir. Yöntemin en önemli avantajlarından biri malzemelerin ergime sıcaklığına ulaşmadan birleştirilmeleridir. Bu durum ısının dar bir alanda kalmasını ve mikro yapı değişimlerine bağlı istenmeyen sonuçların azalmasını sağlamaktadır (Mercan 2021). MLM ile birleştirilen malzemelerde gerilme yığılmasının olduğu bölgeleri tespit ederek fiziksel tasarım parametrelerinin belirlenmesinde nümerik analizler kullanılmaktadır. Endüstrinin birçok alanında, mekanik, optik ve akış özellikleri gibi birçok özelliğe ait

analizlerde nümerik analiz yöntemleri kullanılarak sayısal çözümler elde edilmektedir ve sonuçlar deneysel sonuçlara yakındır (Yıldırım, Demirel ve ark., 2023). Ürün geliştirme sürecinde oluşturulan CAD modellerinin nümerik hesaplama teknikleri ile tasarım doğrulama işlemi gerçekleştirilmekte olup geometrik ve topoloji optimizasyonu yapılabilmektedir. Böylece katı modeli ve analizi tamamlanan tasarım kullanılarak uygulamalarda zaman ve mali kayıpların önüne geçilmektedir. Bansal R. (2013), ANSYS paket programını kullanarak yaptığı araştırmalarda; bir bağlantı çubuğuna ait gerilme analizlerini tamamlamış, maksimum gerilme bölgesi, maksimum deformasyon bölgeleri ve kritik bölgeleri değerlendirmek için farklı yüklemelerde optimizasyon çalışmalarını yapmıştır. Solmaz M.Y ve ark. (2018), bindirme bağlantılarında tasarıma bağlı olarak bağlantı mukavemetindeki değişimi ANSYS paket programı kullanılarak araştırmışlardır. Bu amaçla farklı açılarda kenar birikintili modeller oluşturmuş ve eksenel çekme gerilmesi altında bağlantıların mekanik davranışlarını incelemiş ve en uygun tasarımı seçmişlerdir.

Bu çalışmada yüksek mekanik özelliklere sahip dubleks paslanmaz çelik AISI2205 malzeme ve iyi iletkenlik, yüksek mukavemet ve yüksek korozyon direncine sahip Cu30Zn malzeme çiftlerine ait mekanik özellikler analizlerde kullanılmıştır. Kartuş pirinci olarak adlandırılan %70 Cu-%30 Zn pirinci (C26000) mukavemet ve süneklik açısından en iyi kombinasyonu gösteren bu nedenle yüksek derin çekilebilme özelliği sağlayan alaşımdır (Akhyar, Samsul, ve ark., 2019). Cu30Zn alaşımlarının ergitme kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirilmesi oldukça zordur. Ergitme kaynak yöntemlerinde yaşanan problemler yerine katı hal kaynak yöntemleri kullanılarak problemlerin önüne geçilebilir. Katı hal kaynak yöntemleri ile birleştirilmesinde tekrarlanabilir kaynak parametrelerinin tespiti oldukça büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle katı hal kaynak yöntemlerinin pirinç alaşımlarının birleştirilmesinde yetersiz olduğu yapılan incelemelerde bildirilmiştir (Geçmen, Çatalgöl, 2021). Diğer taraftan kaynak hataları nedeni ile meydana gelen yüksek gerilmeler, kaynaklı bağlantıların hasar sürecinde olumsuz rol oynadığı bilinmektedir (Liu, Yang, ve ark., 2018). Özellikle pirincin farklı malzeme türleri ile birleştirilmesinde ortaya çıkan intermetalikler bağlantı kalitesini olumsuz olarak etkilemektedir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında farklı kimyasal bileşime sahip malzeme türlerinin, yeni ve çevreci bir imalat yöntemi olan mekanik kitleme yöntemi kullanılarak birleştirilmesinde T kanallı bağlantı tasarımının analizi yapılmıştır. Böylece bimetalik uygulamalar ile ihtiyaca uygun farklı malzeme çiftlerinin birlikte kullanılabilmesi hedeflenmiştir.

Malzeme ve Yöntem

AISI2205 ve Cu30Zn malzemelerin MLM' de birleştirilebilmeleri amacıyla T kanala sahip farklı fiziksel tasarımlar hazırlanmıştır. Bu tasarımlara uygun birleştirilen malzemelerde meydana gelen gerilme dağılımını belirlemek amacıyla ANSYS programı kullanılarak statik analizler gerçekleştirilmiştir.

Mekanik Kilitleme Yöntemi

MLM malzemelerin plastik şekil değiştirme özelliklerinden yararlanılarak gerçekleştirilen çevreci ve yeni bir birleştirme yöntemidir. Yöntemde biri ergime özelliğine sahip malzeme olmak koşulu ile farklı malzeme türlerinin tamamı birleştirilebilir. MLM kullanımı ile birbirine benzemeyen metaller birleştirilerek istenen güç/ağırlık oranı, elektrik iletkenliğini ve korozyon direncin elde edilebilir (Mercan, 2017).

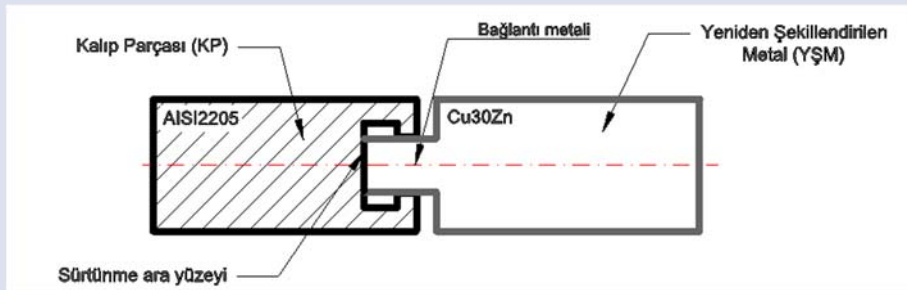
MLM yöntemi kullanılarak birleştirilecek iki parçadan, düşük mekanik özellikler ve düşük ergime sıcaklığına sahip olan parça yeniden şekillendirilecek parça (YŞP) olarak belirlenir. Mekanik özellikleri ve ergime ısısı yüksek olan diğer parça kalıp parçası (KP) olarak tasarlanır. Kalıp parçasının üzerine T kanal açılır. YŞP'nin ara yüzey temas hattı boyunca (KP üzerinde açılan kanal içinde) dönerek sürtünmesini ve aralarında aksel basınç oluşmasını sağlayacak bir sistem tasarlanır (Şekil 1). Bu sistem için sürtünme kaynak makinaları, torna tezgâhları ve freze tezgâhları aksel kaymaları önleyecek aparatlar yardımı ile kullanılabilir. YŞP ve KP'nin sürtünme hareketini sağlayacak ve plastik şekil değiştirme sonucunda kanal içini doldurabilecek, aynı zamanda burkulmaya neden olmayacak boyutlarda imalatı gerçekleştirilmelidir.

Başlangıçtaki sürtünme hareketi bir süre; plastik deformasyon sıcaklığına ulaşınca kadar devam ettirilir. Parçaların sürtünmekte olan yüzeylerinde, ısı açığa çıkar ve uygulanan aksel basınç etkisi ile YŞP yığılmaya başlar. Sürtünme işlemi her iki malzeme alın altına gelinceye kadar devam ettirilir. Yığılan malzeme kalıp şeklini (T) alır. Oluşturulan plastik deformasyon sonucunda, kanal şekline bağlı olarak

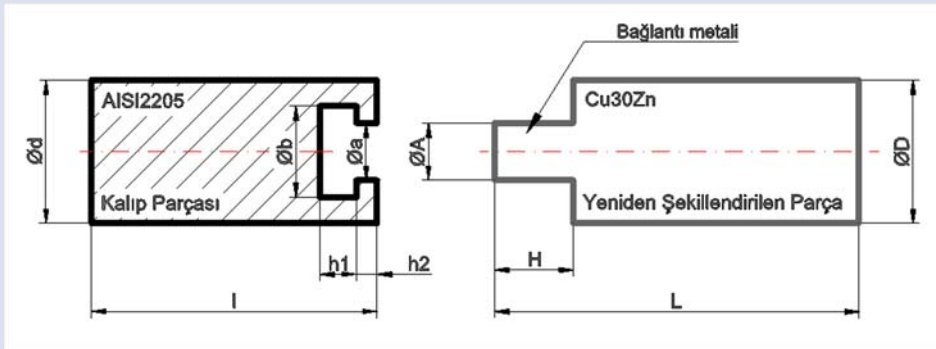
sökülemeyen mekanik bir birleşme sağlanır. Ara yüzeyde oluşturulan sürtünme ve açığa çıkan ısıya bağlı meydana gelen birleştirme, kaynaklı bağlantı olmayıp, kalıp parçası üzerine açılan kanal yardımı ile gerçekleştirilmiş mekanik bir birleştirmedir (Özkavak 2022). Sonuçta her iki malzeme mikroyapısında oluşabilecek muhtemel düzensizliklerin bir malzeme ile sınırlandırılması sağlanmış olur. KP'nin döküm yöntemi ile imal edilmesi ise atık oluşumunun önlenmesini sağlamaktadır. Bu durum teknolojik gelişmelerde ekosistemin korunmasında önemli bir adımdır. Birleştirme işleminden sonra da ek işlem yapılmasına gerek yoktur. Her iki durum yöntemin çevreci yönünü ortaya koymaktadır. Yönteme ait farklı endüstri sektörlerinde kullanımına yönelik metodolojik araştırmalar devam etmektedir. MLM bağlantı parametreleri; sürtünme süresi, devir sayısı ve sürtünme basıncı (ilerleme) dir. Diğer taraftan bağlantı kalitesi üzerinde önemli etkisi olan bağlantı profiline ait özellikler; KP kanal derinliği, boğaz mesafesi, kanal köşe yarıçapları gibi tasarım parametrelerinin malzeme özelliklerine ve bağlantı parametrelerine uygun belirlenmesi gerekmektedir (Mercan 2017; Özkavak 2022; Mercan 2021). Bu çalışma kapsamında fiziksel tasarım parametrelerine ait nümerik analizler gerçekleştirilmiştir.

Bağlantı Parametreleri

MLM kullanılarak birleştirilecek numunelere ait modellerin şematik görüntüsü Şekil 2' de verilmiştir. Analizi yapılacak 6 farklı numune profilini oluşturan değerler Çizelge 1' de gösterilmiştir. Tasarıma ait değerler daha önce yapılan çalışmalar ve imal edilebilirlik kriterleri göz önüne alınarak belirlenmiştir (Özkavak, 2022).



Şekil 1. MLM şematik gösterimi
Figure 1. MLM schematic representation



Şekil 2. Numune Boyutları (mm)
Figure 2. Sample Dimensions (mm)

Çizelge 1. Bağlantı profiline ait değişen değerler (mm)

Table 1. Changing values of the joining profile (mm)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Kalıp Parçası boyutları						
Dış Çap ($\emptyset d$)				30		
Parça Boyu (l)				50		
Kanal Taban çapı ($\emptyset b$)				20		
Bağlantı boğaz çapı ($\emptyset a$)				13		
Kanal toplam derinliği (h_1+h_2)		13			15	
Kanal dip derinliği (h_1)	7	8	9	9	10	11
Kanal giriş derinliği (h_2)	6	5	4	6	5	4
Yeniden Şekillendirilen Parça						
Dış Çap ($\emptyset D$)				30		
Bağlantı Metal Çapı ($\emptyset A$)				13		

Çizelge 2. Kimyasal Bileşim (% Ağırlıkça)(Mercan, 2017, Mercan, 2021)

Table 2. Chemical Composition (Weight %)

Malzeme	Fe	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	C	P	S	Mo	N	Zn	Bi	Pb
AISI 2205	Bal	0,30	1,68	0,09	4,93	22,3	0,01	0,02	0,00	3,37	0,19	-	-	-
		9	6	7	2	3	8	6	3	9	1			
Cu30Zn	0,1											28,	1,00	0,0
	0	-	-	Bal.	-	-	-	0,01	-	-	-	2	2	3

Bağlantı Parametreleri

MLM kullanılarak birleştirilecek numunelere ait modellerin şematik görüntüsü Şekil 2' de verilmiştir. Analizi yapılacak 6 farklı numune profilini oluşturan değerler Çizelge 1' de gösterilmiştir. Tasarıma ait değerler daha önce yapılan çalışmalar ve imal edilebilirlik kriterleri göz önüne alınarak belirlenmiştir (Özkavak, 2022).

Kullanılan Malzemeler

Çalışma kapsamında AISI 2205 çelik ve Cu30Zn prinç malzemeler tasarımı yapılan malzeme çifti olarak belirlenmiştir. AISI 2205 dubleks paslanmaz çelik sertliği ve mekanik özellikleri Cu30Zn' den daha yüksektir bu nedenle KP olarak tasarlanırken Cu30Zn YŞP olarak tasarlanmıştır. Birleştirilen malzeme çiftlerine ait standart

kimyasal birleşim Çizelge 2' de mekanik özellikleri Çizelge 3' te gösterilmiştir.

AISI 2205 çelik ve Cu30Zn prinç malzeme değerlerinin kullanımının temel nedeni her iki malzemenin konvansiyonel birleştirme yöntemleri ile birleştirilmesinin neredeyse imkansız olmasıdır. Çünkü paslanmaz çeliklerin yüksek ısı kullanılarak birleştirilmesi durumunda bazı yapısal değişimler söz konusu olmaktadır. Bu değişimler tane irileşmesi, MX çökeltileri, M_2X çökeltileri, M_3C karbürü, M_7C_3 karbürü, $M_{23}C_6$ karbürü, M_6C karbürü, Sigma (σ) fazı, Laves fazı, Z fazı, Kapa (χ) fazı, Chi (G) fazları, delta ferrit, 475 °C kırılmalıdır. Bunun yanında korozyon direncinin azalması, ön tav gerektirmesi gibi birtakım olumsuzluklar nedeni ile paslanmaz çeliklerin düşük ısı girdisi kullanılarak birleştirilmeleri gerekmektedir (Çelik,

Ersözlü, 2008). Cu30Zn alaşımlarının ısı iletkenliğinin oldukça yüksek olması nedeniyle kaynaklı birleştirme işlemlerinde diğer tüm malzemelerden daha fazla ısı girdisine ihtiyaç duymaktadır. Dolayısıyla kaynak hızı düşüktür. Aynı zamanda malzemede çarpılma, çatlak, gözenek ve çinko buharlaşması gibi bazı kaynak hataları ile karşılaşılır. Sonuçta geleneksel ergitme kaynak tekniklerinin kullanılması halinde ciddi kaynak problemleri ile karşı karşıya kalındığı ve sınırlı oranda birleştirme yapıldığı bilinmektedir (Liu, Yang, ve ark, 2018). Diğer taraftan her iki malzeme ısıl değerlerindeki uyumsuzluk kaynak işlemini neredeyse imkansız hale getirmektedir.

ANSYS Paket Program ile Yapılan İncelemeler

Farklı fiziksel tasarım parametreleri kullanılarak elde edilen 6 farklı model için analizler, Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) ni kullanan ANSYS/Workbench 18.2 sürümü, Static

Structural Modülü ile yapılmıştır. Analiz sonuçlarında özellikle deneysel çalışmalarda kullanılacak en uygun fiziksel tasarım parametreleri tespit edilmesi hedeflenmiştir. Statik yük altında yapılan gerilme analizlerinde Von mises maksimum gerilme değerleri ile maksimum deformasyon bölgeleri tespit edilerek değerlendirmeler tamamlanmıştır.

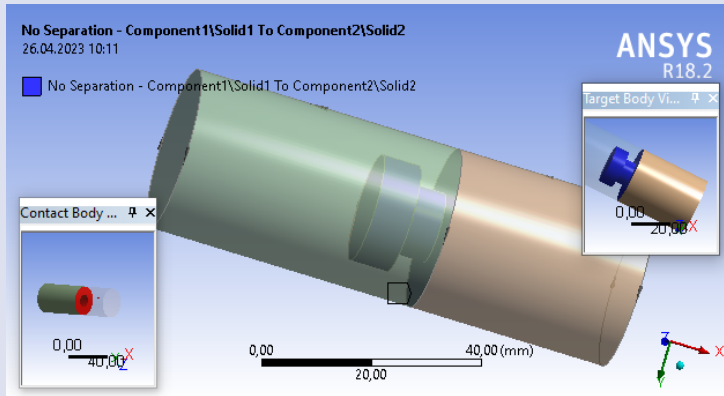
Modellerin Oluşturulması

Numunelere ait modeller oluşturulmuş ve aralarında kaynaklı bir bağlantı olmaması nedeni ile temas yüzeyleri tanımlanmıştır. Şekil 3' te numunelere ait modeller ve temas yüzeyleri gösterilmiştir. Malzemeler arasında difüzyon beklenmediği için bağlantı tipi No Separation olarak tanımlanmıştır. Böylece parçaların birbirlerinin normali doğrultusunda ayrılmadıkları fakat birbirleri üzerinden sınırlı kayma hareketi yapabildikleri kabulü ile incelemeler tamamlanmıştır.

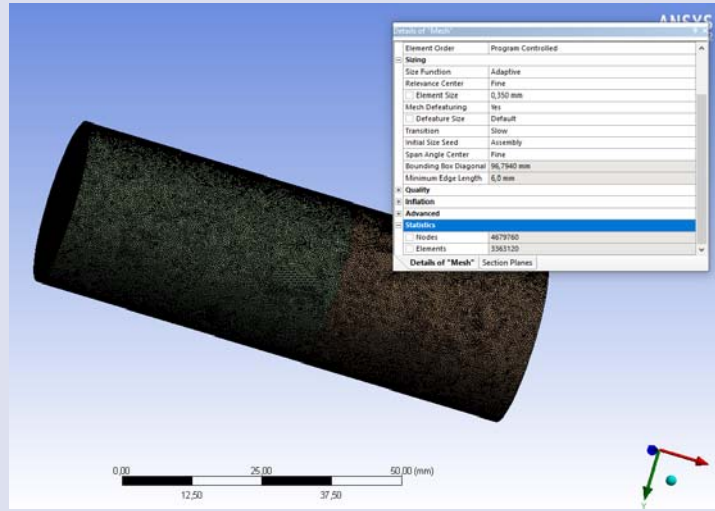
Çizelge 3. Malzeme mekanik özellikleri (Mercan, 2017, Mercan, 2021)

Table 3. Material mechanical properties

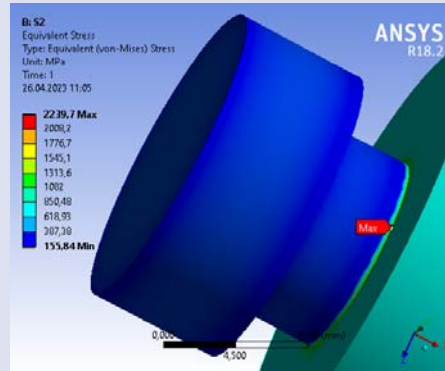
Malzeme	AISI 2205	Cu30Zn
Yoğunluk (gr/cm ³)	7,85	8,85
Elastisite Modülü (GPa)	351	97
Poisson Oranı	0,30	0,34
Uzama %	8	30
Akma Mukavemet Değeri (N/mm ²)	327,835	130
Çekme Mukavemet Değeri (N/mm ²)	955,681	300
Sertlik (HV)	328	134
Ergime Aralığı (°C)	1450	1056
Isıl Genleşme (µm/m°C)	14,7	18,1
Isıl İletkenlik (W/mK)	19	244,93



Şekil 3. Numune temas yüzeyleri
Figure 3. Sample contact surfaces



Şekil 4. Mesh yapısı ve sınır koşulları
Figure 4. Mesh structure and boundary conditions



Şekil 5. S2 nolu numune maksimum gerilme dağılım bölgeleri
Figure 5. Maksimum stress distribution regions of samples S2

Mesh Yapısının Oluşturulması

Hassas bir mesh yapısı oluşturmak amacıyla tüm parça genelinde mesh boyutu için Relevance Center değeri 100 yapıldıktan sonra Adaptive-Fine seçimleri ile en küçük mesh boyutu 0,35 mm olarak ayarlanmıştır. Eleman büyüklük fonksiyonu olarak Proximity seçimi yapılmış ve böylece kesit değişimi olan kısımlarda mesh sıklığının artırılması sağlanmıştır. Proximity mantığına uygun olarak hassas bölgelerin özellikle geçiş kısımlarının mesh eleman sayısını arttırmak amacıyla Num Cells Across Gap değeri 15 olarak ayarlanmıştır. Eleman büyüklükleri arasındaki geçişler içinde Transition bölümü slow yapılmıştır.

Düğüm sayıları sırasıyla 4679760, 4722927, 4727741, 4665143, 4664173 ve 4631849 dur. Eleman sayıları 3363120, 3394308, 3397812, 3351644, 3350971 ve 3326164 olmuştur. Tetrahedron eleman tipi kullanılmıştır. Mesh yapılandırma işleminde kullanılacak element modelleme için HEX Dominant method seçilmiştir. Şekil 4' te mesh yapısı, sınır koşulları ve yükleme durumu ile birlikte gösterilmiştir.

Yükleme ve Sınır Şartları

Analizlerin tamamında AISI2205 tarafından parçalara tam sabitleme (fix support) tanımlaması yapılırken, Cu30Zn tarafından aksenal yönde (+X eksenini doğrultusunda) kuvvet uygulanarak analizler tamamlanmıştır. Tek eksenli çekme deneyinden elde edilmiş olan gerilme-şekil değiştirme davranışları dikkate alınmıştır. Analizlerde hasar yükü Cu30Zn nin çekme dayanımının üstünde belirlenmiştir. Cu30Zn malzemenin maksimum çekme gerilmesini oluşturacak ve gerilme değerlerini renk skalasında net olarak görebilecek şekilde hasar yükünün üstünde 500.000 N'luk tekil kuvvet uygulanmış ve oluşan gerilme dağılımları tespit edilmiştir.

Analiz Sonuçları

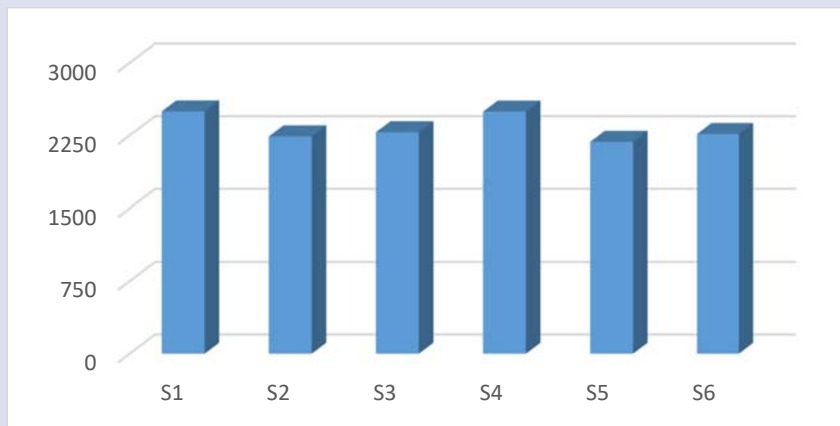
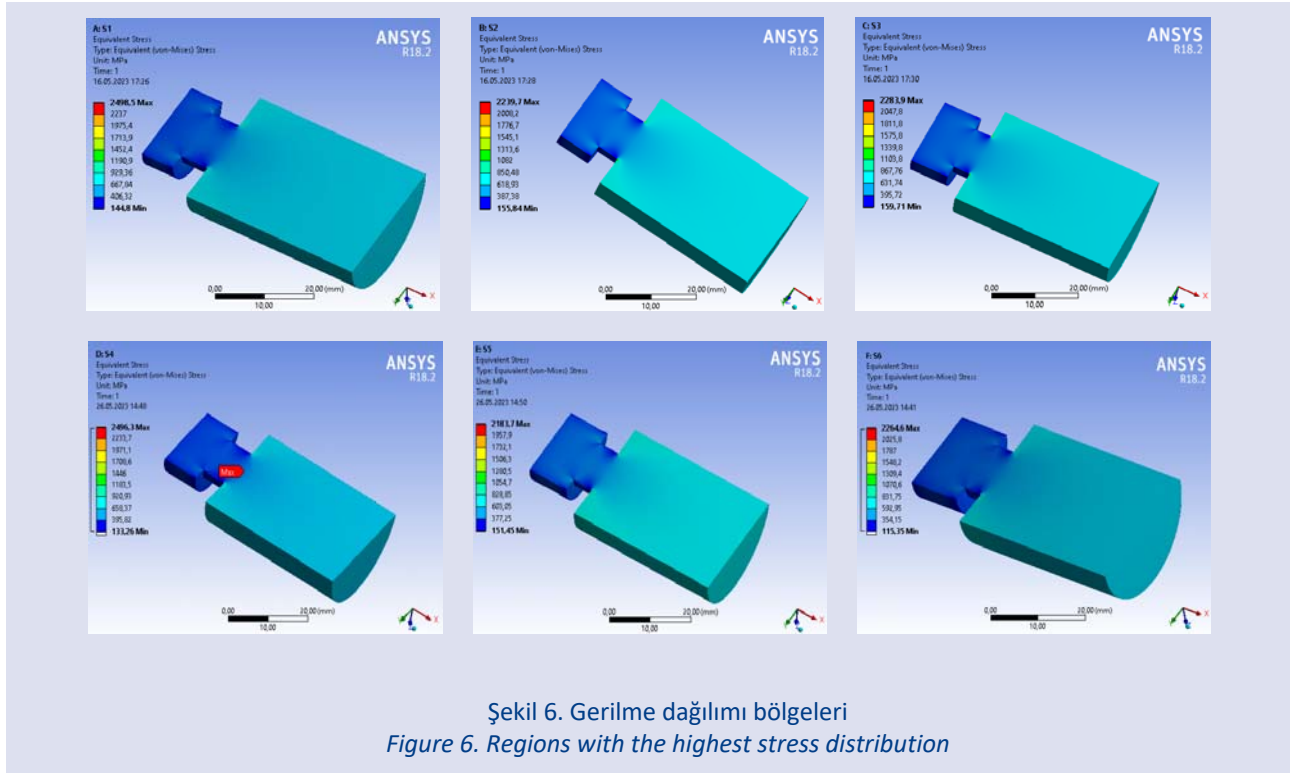
Bu çalışma kapsamında, malzemelerin birleştirilmesinde malzeme akışına ve ısıya bağlı mikroyapı hataları olmadığı ön kabulleri ile analizler tamamlanmıştır. Analiz sonuçlarına göre gerilme dağılımının en yüksek olduğu bölgeler her numunede YŞP üzerinde bağlantı metalinin kesit değişim bölgesinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Daha önce yapılan

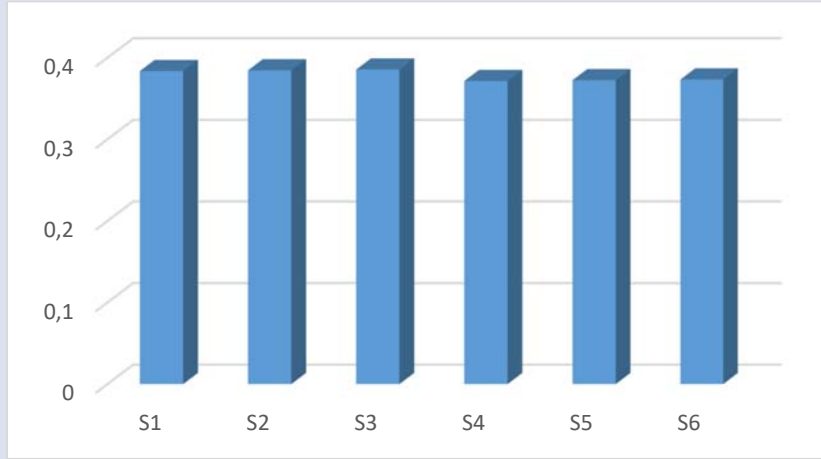
deneysel ve nümerik çalışmalarda, hasarın kesitin daraldığı bölgede meydana geldiği bilinmektedir (Mercan, 2019). Dolayısı ile yeniden şekillendirilen parça üzerinde bağlantı metali kesit değişim bölgesinin güçlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir. Şekil 5'te bağlantı metali üzerinde oluşan maksimum gerilme değerlerinin olduğu bölge gösterilmiştir.

Tüm numunelere ait gerilme dağılımları Şekil 6 da verilmiştir. Gerilme dağılımları kesit alınmış YŞP üzerinden gösterilmiştir. Gerilme dağılımının tüm fiziksel tasarımlar için benzer şekilde olduğu görülmüştür. Kanal toplam derinliği (h) 13 mm'den 15 mm ye çıkması sonucunda gerilme değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Bu sonuç yük taşıyan kesit miktarının artmasına bağlı olarak ortaya

çıkmıştır. Ancak her iki grup içinde gerilme değerlerinin kanal dip derinliğine (h_1) bağlı olarak değiştiği görülmüştür. h_1 değerinin artması ile birlikte gerilme değerleri toplam kanal derinliğinden bağımsız olarak önce azalmış daha sonra artmıştır. Bu nedenle h_1 ve h_2 değerlerinin birlikte değerlendirilmesi gerektiği tespit edilmiştir.

Şekil 7 de tüm numunelere ait gerilme değerleri grafik halinde verilmiştir. En yüksek gerilme dağılımı S1 nolu numunede 2498,5 MPa olarak meydana gelirken, en düşük gerilme dağılımı kanal toplam derinliği 15 mm ve kanal dip derinliği 10 mm olan S5 nolu numunede meydana gelmiştir.





Şekil 8. Maksimum yer değiştirme miktarı
Figure 8. Maximum displacement

Şekil 8' de maksimum yer değiştirme miktarları grafik halinde verilmiştir. Yer değiştirme miktarları kanal toplam derinliğine bağlı olarak değişmiş ve kanal derinliği aynı olan numunelerde benzer değerler elde edilmiştir.

Sonuçlar

* Yeniden şekillendirilen parça tasarımına bağlı olarak gerilme değerleri önemli oranda değişmiştir.

* Gerilme yığılmalarının kesitin daraldığı bölgelerde meydana geldiği ve maksimum değere ulaştığı tespit edilmiştir.

* En yüksek gerilme değeri S1 nolu numunede meydana gelirken en düşük gerilme değeri S5 nolu numunede meydana gelmiştir. Uygun tasarımların belirlenmesinde kanal dip derinliği ile kanal giriş derinliğinin birlikte değerlendirilmesi gerektiği tespit edilmiştir.

Kaynakça

- Akhyar I., Samsul R., Nurdin A., Syifaül H., 2019. The Effect of Chemical Composition on Grain Size and Formability of the Free-Lead Cu-30Zn Alloy. 2019 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 536 012019, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/536/1/012019/meta>
- Bansal, R., 2013. Dynamic simulation of a connecting rod made of aluminium alloy using finite element analysis approach. J. of Mech. and Civil Eng, DOI:10.9790/1684-0520105
- Geçmen İ., Çatalgöl Z., 2021. Sürtünme Karıştırma Kaynak Tekniği ile Birleştirilen Pirinç (CuZn63) Levhaların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. El-Cezeri Fen ve Müh. Der., 8, 1, 533-545, doi.org/10.31202/ecjse.813440
- Çelik, S., Ersözlü, İ., 2008. Investigation of the mechanical

- properties and microstructure of friction welded joints between AISI 4140 and AISI 1050 steels. Mat. and Design, 30, 970-976, doi.org/10.1016/j.matdes.2008.06.070
- Karthick M., Ramakrishna Ch. S., Pugazhenth R., Gudadhe N., Baskar S., Kumar R.R., 2023. Contact stress analysis of xylon coated spur gear using ANSYS workbench. Mat. Proceedings, doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.572.
- Liu G.L., Yang S.W., Han W.T., Zhou L.J., Zhang M.Q., Ding J.W., Dong Y., Wan F.R., Shang C.J., Misra R.D.K., 2018. Microstructural evolution of dissimilar welded joints between reduced activation ferritic-martensitic steel and 316L stainless steel during the post weld heat treatment. Mat. Sci. & Eng. A, 722 182–196, doi.org/10.1016/j.msea.2018.03.035
- Mercan S., Mekanik kilitleme yöntemi (MLM)”. Türk Patent ve Marka Kurumu, No: TR 2015 03256 B 2017/05/22, (2017)
- Mercan S., 2019. Farklı Metal Çiftlerinin Mekanik Kilitlenme Yöntemi ile Birleştirilmesi, GU J Sci, Part C, 7(1): 25-36, DOI:10.29109/gujsc.437488
- Mercan S., 2021. Joining dissimilar material pairs by mechanical locking method (MLM). Int. J. of Pre. Eng. and Man., doi.org/10.1007/s12541-021-00593-z
- Mercan S., Özdemir N., 2017. Weldability characteristics of friction-welded AISI 2205 to AISI 1020 steels, Weld World, DOI 10.1007/s40194-017-0441-1
- Özkavak H. V., 2022. Joining Cu30Zn (Brass) and AA6063 alloys using the mechanical locking method. Russian J. of Non-Fer. Metal, doi.org/10.3103/S1067821222050078
- Solmaz, M.Y., 2018. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş dalgalı bağlantı (Wavy-lap) performanslarının uç açısına bağlı olarak araştırılması. Fırat Ün. Müh. Bil. Der., <https://dergipark.org.tr/tr/pub/fumbd/issue/35837/400530>
- Yıldırım F., Demirel B., Dağışan B., 2022. Investigation of the mechanical properties of calcite reinforced polypropylene by using digimat-mean field homogenization and ansys FEM. Mat. Com., doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.105023