

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇİFT FAZLI ÇELİKLERİN DEFORMASYON DAVRANIŞININ ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Berkay ERGENE

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Katı Cisimlerin Mekaniği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şafak YILMAZ

TEMMUZ 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇİFT FAZLI ÇELİKLERİN DEFORMASYON DAVRANIŞININ ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Berkay ERGENE
503121502**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Katı Cisimlerin Mekaniği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şafak YILMAZ

TEMMUZ 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503121502 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Berkay ERGENE** ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ÇİFT FAZLI ÇELİKLERİN DEFORMASYON DAVRANIŞININ ANALİZİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Şafak YILMAZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ekrem TÜFEKÇİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Halit Süleyman TÜRKMEN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **13 Temmuz 2015**
Savunma Tarihi : **09 Temmuz 2015**

Aileme,

ÖNSÖZ

Çalışmalarım sırasında bana rehberlik eden, her konuda bilgi ve tecrübesini daima paylaşan değerli hocam tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Şafak YILMAZ'a;

Yüksek lisans süresince desteklerini yanında hissettiğim aileme ve laboratuvar ve analiz çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan arkadaşlarım Makine Mühendisi Ufuk Doğan ve Hakan Şen'e, Arş. Gör.Ergin KOSA, Arş. Gör. Raşid Ahmed YILDIZ, Arş. Gör. Çağın BOLAT, Arş. Gör. Ali Taner KUZU, Arş. Gör. Umut KARAGÜZEL, Arş. Gör. Azmi TİMUR, Arş. Gör. Muhammed BEKİN ve Arş. Gör. Safa BODUR'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

TEMMUZ 2015

Berkay ERGENE

Makine Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY.....	xix
1.GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı.....	2
1.2 Literatür Araştırması.....	2
1.3 Çift Fazlı Çeliklerde Mekanik Özellikler.....	4
1.3.1 Akma ve çekme mukavemetleri.....	4
1.3.2 Mukavemet-süneklik özellikleri.....	6
2.DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI.....	7
2.1 DP600 Çeliğinin Çekme Deneyi.....	7
2.2. Metalografik Çalışmalar.....	9
2.3. Katı Model Oluşturulması.....	13
3.SONLU ELEMANLAR ANALİZLERİ.....	17
3.1 Sonlu Elemanlar Analizlerinde Kullanılan Verilerin Tanıtılması.....	17
3.2 Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi Yapılan Modellerin	
Sınır Koşullarının ve Yükleme Durumlarının Tanıtılması.....	19
3.2.1 X yönünde çekilen modelin sınır koşullarının ve yükleme	
durumunun tanıtılması.....	19
3.2.2 Y yönünde çekilen modelin sınır koşullarının ve yükleme	
durumunun tanıtılması.....	21

3.2.3 Y yönünde çekilen gömülü modelin sınır koşullarının ve yükleme durumunun tanıtılması.....	23
4.ANALİZ SONUÇLARI.....	25
4.1 X Yönünde Çekme Gerilmesi Uygulanan Modelin Analiz Sonuçlarının İncelenmesi.....	25
4.2 Y Yönünde Çekme Gerilmesi Uygulanan Modelin Analiz Sonuçlarının İncelenmesi.....	28
4.3 Y Yönünde Çekme Gerilmesi Uygulanan Gömülü Modelin Analiz Sonuçlarının İncelenmesi.....	31
5.İRDELEME.....	35
6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	41
KAYNAKLAR.....	43
ÖZGEÇMİŞ.....	46

KISALTMALAR

2D	: İki boyutlu
DP	: Çift fazlı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
mm.	: Milimetre
dk.	: Dakika
s.	: Saniye
MPa	: Megapascal
YMDA	: Yüksek Mukavemet Düşük Alaşım

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Fazların yüzde alan hesabı.....	14
---	----

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: Çekme test cihazı.....	7
Şekil 2.2	: Çekme deneyi numunesi.....	8
Şekil 2.3	: DP600 çeliği için mühendislik gerilme-genleme eğrisi.....	8
Şekil 2.4	: DP600 çeliği için gerçek gerilme-genleme eğrisi.....	9
Şekil 2.5	: Bakalit kalıba alma makinası.....	10
Şekil 2.6	: Dağlama işlemine hazır numune.....	11
Şekil 2.7	: SEM mikroskopunda 5000 büyütmede elde edilen içyapı görüntüsü.....	12
Şekil 2.8	: Elde edilen görüntüdeki fazların obje olarak çizildiği durum.....	13
Şekil 3.1	: Martenzit ve ferrit için gerilme-genleme eğrisi.....	18
Şekil 3.2(a)	: X yönünde (sağ tarafa doğru) çekilen kenarları sınırlandırılmış modelin sınır koşulları ve yükleme durumu.....	19
Şekil 3.2(b)	: X yönünde çekilen, kenarları sınırlandırılmış modelin, sol kenar dışındaki diğer üç kenardaki düğüm noktalarının sınır yer değiştirme koşullarını gösteren durum.....	20
Şekil 3.3(a)	: Y yönünde (yukarı doğru) çekilen kenarları sınırlandırılmış modelin sınır koşulları ve yükleme durumu.....	21
Şekil 3.3(b)	: Y yönünde çekilen, kenarları sınırlandırılmış modelin, alt kenar dışındaki diğer üç kenardaki düğüm noktalarının sınır yer değiştirme koşullarını gösteren durum.....	22
Şekil 3.4(a)	: Y yönünde (yukarı doğru) çekilen kenarları sınırlandırılmış gömülü modelin sınır koşulları ve yükleme durumu.....	23
Şekil 3.4(b)	: Y yönünde çekilen, kenarları sınırlandırılmış gömülü modelin, alt kenar dışındaki diğer üç kenardaki düğüm noktalarının sınır yer değiştirme koşullarını gösteren durum.....	24
Şekil 4.1	: Kenarları sınırlandırılmış model içiz analiz sonucunda elde edilen gerilme-genleme eğrisi.....	25
Şekil 4.2	: En büyük eşdeğer gerilmenin uygulanan dış gerilme artışına bağlı olarak değişimi.....	26
Şekil 4.3	: En büyük hidrostatik gerilmenin uygulanan dış gerilme artışına bağlı olarak değişimi.....	27
Şekil 4.4	: En büyük plastik birim şekil değişiminin uygulanan birim şekil değişimine göre durumu.....	27
Şekil 4.5	: Kenarları sınırlandırılmış model için analiz sonucunda elde edilen gerilme-genleme eğrisi.....	28
Şekil 4.6	: En büyük eşdeğer gerilmenin uygulanan dış gerilme artışına bağlı olarak değişimi diyagramı.....	29
Şekil 4.7	: En büyük hidrostatik gerilmenin uygulanan dış gerilme artışına bağlı olarak değişimi diyagramı.....	30
Şekil 4.8	: En büyük plastik birim şekil değişiminin uygulanan birim şekil değişimine göre durumu.....	31
Şekil 4.9	: Kenarları sınırlandırılmış model için analiz sonucunda elde edilen gerilme genleme eğrisi.....	31
Şekil 4.10	: En büyük eşdeğer gerilmenin uygulanan dış gerilme artışına bağlı olarak değişimi diyagramı.....	32.

Şekil 4.11 : En büyük hidrostatik gerilmenin uygulanan dış gerilme artışına bağlı olarak değişimi diyagramı.....	33
Şekil 4.12 : En büyük plastik birim şekil değişiminin uygulanan birim şekil değişimine göre durumu.....	34
Şekil 5.1 : Tüm analizi yapılan modellerin DP600 çekme deneyi sonucunda elde edilen mühendislik gerilme-genleme eğrisi ile karşılaştırılması.....	35
Şekil 5.2 : En büyük eşdeğer gerilmenin martenzit fazı için dağılımı.....	36
Şekil 5.3 : En büyük eşdeğer gerilmenin ferrit fazı için dağılımı.....	37
Şekil 5.4 : Martenzit fazı için en büyük hidrostatik gerilme değeri.....	38
Şekil 5.5 : Ferrit fazı için en büyük hidrostatik gerilme değeri.....	38
Şekil 5.6 : Martenzit fazı için en büyük plastik birim şekil değişimi değeri.....	39
Şekil 5.7 : Ferrit fazı için en büyük plastik birim şekil değişimi değeri.....	39

ÇİFT FAZLI ÇELİKLERİN DEFORMASYON DAVRANIŞININ ANALİZİ

ÖZET

Bu çalışmada ticari saflıktaki bir DP600 çift fazlı çelik sacın haddeleme yönüne göre 0-45-90 derece açılarda hazırlanan çekme deneyi numuneleri ile çekme testleri yapılmış, elde edilen mühendislik ve gerçek gerilme-genleme eğrilerinin yardımıyla şekil değiştirme davranışı belirlenmiştir. Malzemenin iç yapısı ve faz morfolijisinin tayinini yapabilmek için DP600 çelik sac üzerinden alınan örnek bir numune zımparalama ve parlatma işlemlerinin daha rahat bir şekilde yapılabilmesi amacıyla bakalit kalıba alınmıştır. Zımparalama, parlatma ve uygun dağlayıcı ile dağlama işlemi yeterli düzeyde yapıldıktan sonra optik ve SEM mikroskobu vasıtasıyla incelemesi yapılmıştır. DP600 malzemesinin iç yapısına dair en iyi görüntü %4 Nital ve %10'luk Sodyummetabisülfid dağlayıcıları kullanıldıktan sonra SEM mikroskopunda 5000 büyütme sonucunda elde edilmiştir.

Elde edilen bu görüntü Autocad çizim ve tasarım programına aktarılarak malzemenin sahip olduğu iki ana faz, yani adacıklar şeklinde gözükten martenzit fazı ile sürekli olan ferrit fazı sınırları, objeler şeklinde 2 boyutlu olarak çizilmiştir. Aktarılan görüntü üzerinde martenzit ve ferrit fazının toplam alan oranı ve martenzit adacıklarının toplam alanın, fazların toplam alanına oranı belirlenmiştir. DP600 çeliğinin mikroyapısı ile makro boyuttaki şekil değiştirme davranışı arasındaki ilişkiyi açığa çıkarmak amacıyla sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir.

Oluşturulan iki boyutlu üç farklı katı model kullanılarak yapılan sonlu elemanlar analizleri ile fazlar arası yük paylaşımının şekil değiştirme süresince nasıl değiştiği incelenerek malzemenin mekanik performansına ve iç yapısındaki fazlarının davranışlarına ait belirlenmesi oldukça güç olan bir çok ayrıntı irdelenmiştir.

DEFORMATION BEHAVIOUR ANALYSIS OF DUAL PHASE STEELS

SUMMARY

In this thesis, DP600 (Dual Phase) steel sheet which has commercial purity was used to obtain tensile testing samples in 0-45-90 degree according to rolling direction. Via using these tensile testing samples, tensile testing was done by tensile speed of 2 mm/min in the Istanbul Technical University Mechanical Testing Laboratory. Moreover, engineering and true stress-strain curves were specified for DP600 steel by using tensile testing results. Thus, the first step to determine the mechanical properties of the DP600 steel that we have has been completed. After that, DP600 steel sample was taken out and grinding, polishing and etching operations were applied respectively to determine the microstructure and phase morphology of DP600 steel. The best microstructure image has been obtained in SEM (Scanning Electron Microscope) at 5000 enlargement level by using % 4 Nital and %10 Sodium metabisulfite etchants during 30 seconds.

The best microstructure image of DP600 has been imported to Autocad 2012 drawing and design programme to draw the grain boundaries of martensite that looks like islands and have bright colour and ferrite that have dark colour if we compare with martensite phase in terms of detecting the percent areas of the both phases in DP600 steel. Besides, the drawn 2d objects in Autocad which represent the martensite and ferrite phases in related steel were used to create the model for the finite element method analysis. In order to reveal the relationship between deformation behavior in macro dimension and microstructure, 3 different finite element analysis were performed.

At the first one, the model was encastre supported from the one node at left side of the model and displacement of the other nodes along this edge were allowed in only y and z direction. Besides, 500 MPa pressure was applied to right side of the model in positive x direction.

In the second model, it is encastre supported from the one node at down side of the model and displacement of the other nodes along this edge were allowed in only x and z direction. Beside, 500 MPa pressure was applied to up side of the model in positive y direction.

In the third model, the model was same with first and second model without boundary conditions. The same model was embedded into a new model which has 5 times bigger than the initial model and from the one node at down side of the model was encastre supported and other nodes along this edge were allowed in only x and z direction. Besides, 450 MPa pressure was applied to up side of the model in positive y direction.

All the models which have been analyzed were constrained by their nodes along the edges without the edge that has some boundary conditions like encastre or etc. Details of the models can be seen in the fourt part in the thesis. Furthermore, material data of the phases (ferrite and martensite) is obtained from 3.1 and 3.2 equation. For all materials, the value of modulus of elasticity is 210 000 MPa, the value of poisson ratio is 0.3 are applied in Abaqus programme.

In conclusion, three different 2d models have been analyzed in Abaqus finite element analysis programme to specify and have the answer of how the load and stress get shared between phases during the analysis. Thus, many details about the microstructure of DP600 steel and mechanical performance of the material have been examined.

1.GİRİŞ

Çift fazlı çelik kavramı günümüzde bir çok endüstriyel uygulamada karşımıza çıkmaktadır. 1970’li yıllarda yaşanan petrol krizinden dolayı araştırma-geliştirme çalışmalarına önem veren otomotiv sektörü araçlarda ağırlığı azaltarak yakıttan tasarruf sağlamak amacıyla yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler grubuna dahil olan çift fazlı çelikler üzerinde daha fazla durmuşlardır.[1]

Çift fazlı çelik kavramını irdeleyecek olursak, adından da anlaşılacağı üzere yapısında ana iki faz içerir. Bu tür çelikler esas olarak sünek ve küçük taneli ferrit matriste %10 – %30 arasında bulunan sert martenzit parçacıkları ile az miktarlarda bulunabilen kalıntı ostenit ve beynit fazlarından oluşur. Martenzit fazı ferrit fazının içerisinde okyanusta yer alan adacıklar gibi düzensiz bir şekilde dağılmışlardır. Yapısında yer alan martenzit fazı çeliğe yüksek dayanım özelliği katarken, ferrit fazı ise malzemenin sünek bir yapıda olmasını sağlamaktadır.

Çift fazlı çelikler genel olarak DP600 - DP800 gibi isimlerle anılmakta olup, DP çift faz (Dual Phase) anlamını taşıırken, yanına getirilen 600, 800 gibi sayısal ifadeler ise bu malzemelerin çekme mukavemetini MPa cinsinden ifade etmektedir.

Çift fazlı çelikler teknolojik araştırmaların yanısıra, uygulamada en çok jant, koltuk çerçevesi, tampon, kapı panelleri, şasi gibi presle biçimlendirilen otomobil parçaları ve bazı bağlantı elemanları yapımında kullanılmaktadır.

Çift fazlı çelik yapısı esas olarak, söz konusu çeliklerin Fe-Fe₃C faz diyagramında A1-A3 sıcaklık aralığında (ferrit-ostenit bölgesinden) herhangi bir sıcaklığa kadar ısıtılıp, bir süre tutulup ostenitin martenzite dönüşebileceği hızlarda soğutulmasıyla elde edilirler.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmada DP600 olarak anılan çift fazlı çeliğin içyapısında bulunan fazların oranlarının, biçimlerinin, dağılım şekillerinin, boyutlarının tespit edilmesi ve bu içyapı karakteri üzerinden, sonlu elemanlar analizleri vasıtasıyla içyapı ile çekme davranışı arasındaki ilişkinin açığa çıkartılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda önce ticari saflıktaki bir DP600 çeliğinin metalografik yapısı ve çekme davranışı incelenmiştir. Metalografik incelemelerden elde edilen bulgular kullanılarak içyapı mimarisinin katı modeli kurulmuştur. Katı model kullanılarak elde edilen sonlu elemanlar analizi sonuçlarının deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak sayısal modellemenin doğrulanması sağlanmıştır. Sağlaması yapılan sonlu elemanlar modeli aracılığı ile, mikroyapıdaki deneysel olarak belirlenemeyen ya da belirlenmesi çok güç olan yerel faz davranışları açığa çıkartılarak, içyapının makro davranışlara olan etkisi aydınlatılmıştır. Böylece DP600 çeliğine ait içyapı-davranış arasındaki ilişkinin temelleri belirlenmeye çalışılmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Geçmişten günümüze kadar uzanan süreçte tüketiciler ihtiyaçları doğrultusunda farklı taleplerde bulunmuş, dolayısıyla imalatçı firmalar da teknolojinin elverdiği düzeyde bu taleplere karşılık vermeye çalışmışlardır. Her geçen gün değişen gereksinimler taşıtların daha ucuz, daha kaliteli ve aynı zamanda daha konforlu olması gibi talepleri tetiklemekte ve mühendisler malzeme konusunda değişikliklere giderek bu taleplerin çoğunu karşılamaya çalışmaktadırlar. Otomotiv sektöründe olduğu gibi diğer sektörlerde de arzu edilen ideal malzemenin hafif, dayanıklı, şekillendirilebilme özelliği yüksek, korozyon direnci en üst seviyede ve ekonomik olması istenir. Çünkü mukavemet ve hafiflik yakıt tasarrufunu, mukvemet ve şekillendirilebilme özelliği imalat maliyetini düşürmekte, korozyon direnci de kullanım maliyetini etkilemektedir. Malzemenin başlangıç maliyetinin sağladığı tüm bu kazanımları gölgelememesi gerektiği ise açıktır.

Yüksek mukavemete sahip düşük alaşımlı (YMDA) çelik türlerinin yeni bir sınıfı olan çift fazlı çelikler yukarıda belirtilen gereksinimlerin karşılanması amacıyla günümüzde üzerinde yoğun olarak çalışılan bir çelik türüdür.[2]

Çift fazlı çelik kavramı 1937’de yeni bir yatak malzemesinin üretimi için Grabe’in %0,25 C’lu bir çeligi kritik bölgeden soğutması sonucunda çift fazlı yapıyı elde etmesi ve patent almasıyla tanınmıştır. 1947’de Herres ve Lorig tamamlanmamış östenitleştirmenin yüksek alaşımlı östenit adalarının oluştuğuna ve arkasından martenzit dönüşümüne sebep olduğunu söylemişlerdir. Daha sonra, 1960’larda Williams ve Davies’in kalay kaplama uygulamaları için çift fazlı şerit gelişimi üzerine yaptıkları çalışmalar, çift fazlı çelik incelemelerinin başlangıcı sayılır. Cairns ve Charles tarafından yapılan çalışmalar da bu tip çelik üzerine yapılan ilk çalışmalardan biri olarak literatürde yerini almıştır. Çift fazlı çeliklerin gelişimi ve üzerindeki araştırmalar 1970’lerde de devam etmiştir. Özet olarak; Tamura ve arkadaşları martenzitin mukavemeti ve hacim oranı arasında bir ilişki tespit etmişlerdir ve Hayami ve Furukawa ise sürekli tavlama yoluyla işlenen ferrit-martenzit çeliklerinin özelliklerini tartışmışlardır. Çift fazlı çelikler olarak bu malzemelerin ilk tasarımları bu yazarlar ile anılmıştır. Rashid de, standart bir vanadyumlu YMDA kalite çelik (GM 980 X) kullanarak ticari çift fazlı çeliklerin üretimi üzerine yayınlar yapmış ve bu malzemelerin gelişimine büyük bir yardımda bulunmuştur.[3] Çift fazlı çeliklerle ilgili literatürde farklı araştırmacılar tarafından bu çeliklerin çeşitli özelliklerini inceleyen bir çok çalışma bulunmaktadır.

Çift fazlı çelikler YMDA çeliklerini A1 ve A3 kritik sıcaklıkları arasında (ferrit + östenit) tavlama ve ardından hedef mikroyapı elde edilebilecek soğuma hızında soğutulması ile elde edilir.[4] Çift fazlı çeliklerin mikroyapıları, ferrit matris içerisinde dağılmış yaklaşık %20 - %35 aralığında sert martenzit fazından meydana gelir.[3]. Bu kategorideki çelikler basitçe mikroyapılarında % ağırlık olarak 0.08-0.2 C, 0.5-1.5 Mn içermekle birlikte vanadyum ile mikro alaşımlandırılmış % 0.5 Cr ve 0.2-0.4 Mo içeren çeliklerde sıklıkla kullanılır. [4]

Genel olarak az karbonlu olarak üretilen çift fazlı çeliklerde ferrit ve martenzitin yanı sıra mikro yapılarında az miktarda perlit, beynit, sementit ve kalıntı östenit de bulunabilir. [5]

Ayrıca çift fazlı çeliklerin; sürekli akma davranışı, düşük $\sigma_{0.2}$ akma mukavemeti, yüksek çekme mukameti ve yüksek süneklik gibi temel mekanik özelliklere sahip oldukları tespit edilmiştir.[6]

Çift fazlı çelikleri elde etme yöntemleri;

- a) Sürekli tavlama-sıcak haddeleme,
- b) Sürekli tavlama soğuk haddeleme,
- c) Kutu tavlama
- d) Sıcak haddeleme yöntemleri

olarak ayrımlanabilir [6]

Bu yöntemlerin her birinde su verme esnasındaki soğuma oranı farklı olduğundan, kullanılan çelik alaşımının martenzitik dönüşüm eğrisinin yõteme uygunluğu çok önemlidir.[3] Martenzitik dönüşümün gerçekleşmesini sağlayacak alaşımın aynı zamanda çift-fazlı çeliklerden beklenen üstün mekanik özellikleri de verebilmesi yani, kırılğan bileşikler meydana getirip çift fazlı çeliklerden beklenen en önemli özellik olan sünekliğe zarar vermemesigerekir.

Çift fazlı çeliklerin sahip olduğu önemli özellikler:

- a. Sürekli akma davranışı,
- b. Yüksek çekme mukavemeti/akma mukavemeti oranı,
- c. Yüksek pekleşme üsteli,
- d. Yüksek üniform uzama (geç boyun verme)

olarak sıralanabilir.[7] Sahip olduğu bu üstün özellikler çift fazlı çelikleri özellikle otomotiv sanayinde kullanılan önemli malzeme türlerinden biri yapmıştır.

1.3 Çift Fazlı Çeliklerde Mekanik Özellikler

1.3.1 Akma ve çekme mukavemetleri

Çift fazlı çeliklerde, çekme deneyi sonuçlarından elde edilen gerilme-geenleme eğrileri incelendiğinde akma bölgesi belirgin olarak görülmez.

Akma mukavemetleri Akma mukavemeti, martenzit hacim oranına bağlı olarak doğrusal bir değişim gösterir ve martenzit fazının karbon içeriğine bağlı değildir [8]

Çift fazlı çeliklerin akma ve çekme mukavemetleri martenzit hacim oranının (MHO) bir fonksiyonu olarak, Davies tarafından şu formüllerle verilmiştir;

$$\text{Akma mukavemeti (0.1)} = 103 + 11.1 \% \text{MHO (MPa)}$$

$$\text{Akma mukavemeti (0.2)} = 172 + 15.5 \% \text{MHO (MPa)}$$

$$\text{Çekme mukavemeti} = 285 + 8.3 \% \text{MHO (MPa)}$$

Çift fazlı çelikleri üstün kılan optimum mukavemet-süneklik değerleri elde etmek için MHO değerinin %15-25 civarında ve malzemenin karbon içeriğinin %0.3'ten az olması istenir. Çift fazlı çeliklerin mukavemetlerini artırabilmek için östenitin miktarını ve sertleştirilebilirliği artırıcı alaşım elementleri olarak Mn, Cr, Mo, V, Ni vb. nin ilavesi gereklidir.

Bununla birlikte ilave edilen alaşım elementleri ferritin saflığını bozmayacak miktarlarda olmalıdır [9] Çift fazlı çeliklerin akma ve çekme mukavemetleri üzerinde martenzit hacimoranı, martenzit morfolojisi ve karbon içeriği baskın olmakla birlikte ferrit fazı özellikleri de etkilidir. Faz hacim oranları ve faz özellikleri kontrol edilerek, çift fazlı çeliklere arzu edilen mukavemet değerleri kazandırılabilir.

Çift fazlı çeliklerin çekme mukavemetine etki eden mikroyapı elemanları, düşük mukavemetli ferrit ve yüksek mukavemetli martenzit fazları ve bu fazların morfolojileridir. Çift fazlı çeliklerin dayanımına esas etkiyi martenzit fazı yapmaktadır. Çekme mukavemeti martenzit hacim oranına bağlı olarak doğrusal olarak değişmektedir. Martenzit hacim oranı ise östenitleme sıcaklığının dışında, östenit fazının dönüşebilirliğine de bağlıdır. Östenit fazının dönüşebilirliği sadece karbon miktarına bağlı ise, A3 sıcaklığına yaklaştıkça, östenit fazındaki karbon miktarı azalacak ve martenzit harici östenit dönüşüm ürünleri ortaya çıkabilecektir. Bu ise çekme dayanımında azalmaya sebep olacaktır [8]

Kim ve Thomas [10] çift fazlı çeliklerin çekme özelliklerine etki eden faktörleri

aşağıdaki gibi ifade etmişlerdir.

- a. Ferrit ve martenzitin özellikleri
- b. Ferrit ve özellikle martenzit (ikinci faz) morfolojisi
- c. Martenzit hacim oranı ve martenzitin karbon içeriği

Bunların durumunu ise; alaşım elementleri, kritik tavlama sıcaklığı, tavlama süresi ve soğutma hızı belirlemektedir.

1.3.2 Mukavemet-süneklik özellikleri

Çift fazlı çeliklerin tercih edilme sebebi, aynı mukavemet değerlerine sahip YMDA çeliklerden daha yüksek süneklik özelliği göstermeleridir.[7] YMDA çeliklerin toplam uzama değerleri %18 iken çift fazlı çeliklerin toplam uzama değerleri %28'e kadar çıkabilmektedir.[11] Dolayısı ile çift fazlı çeliklerin şekillendirilme kabiliyetleri YMDA çeliklerine göre daha iyidir. Bu durum çift fazlı çeliklerin ticari olarak ilgi çekmesini de sağlamıştır. [7] Rashid, çift fazlı çeliklerde yüksek deformasyon oranlarında dahi martenzit-ferrit ara yüzeyinde herhangi bir ayrışma ya da kopma olmadığını bildirmiştir. Bu durumun martenzit-ferrit ara yüzeyinin çok iyi bir uyum sağlaması ile açıklanabileceğini bildirmiştir.

Çift fazlı çeliklerin sünekliği, ferrit fazı hacim oranının artması diğer bir deyişle martenzit hacim oranının azalmasıyla artar. Çok iyi süneklik değerleri arzu edildiğinde ferrit fazı hacim oranının %80'den fazla olması istenir.

2.DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI

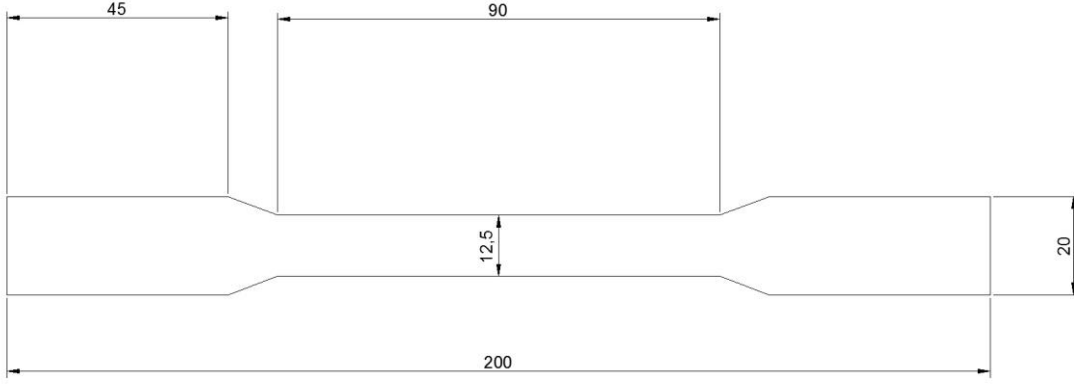
2.1 DP600 Çeliğinin Çekme Deneyi

Çekme deneyi, İstanbul Teknik Üniversitesi Mekanik Deneyler Laboratuvarında bulunan Şekil 2.1’de gösterilen Shimadzu marka çekme makinası ile yapılmıştır.



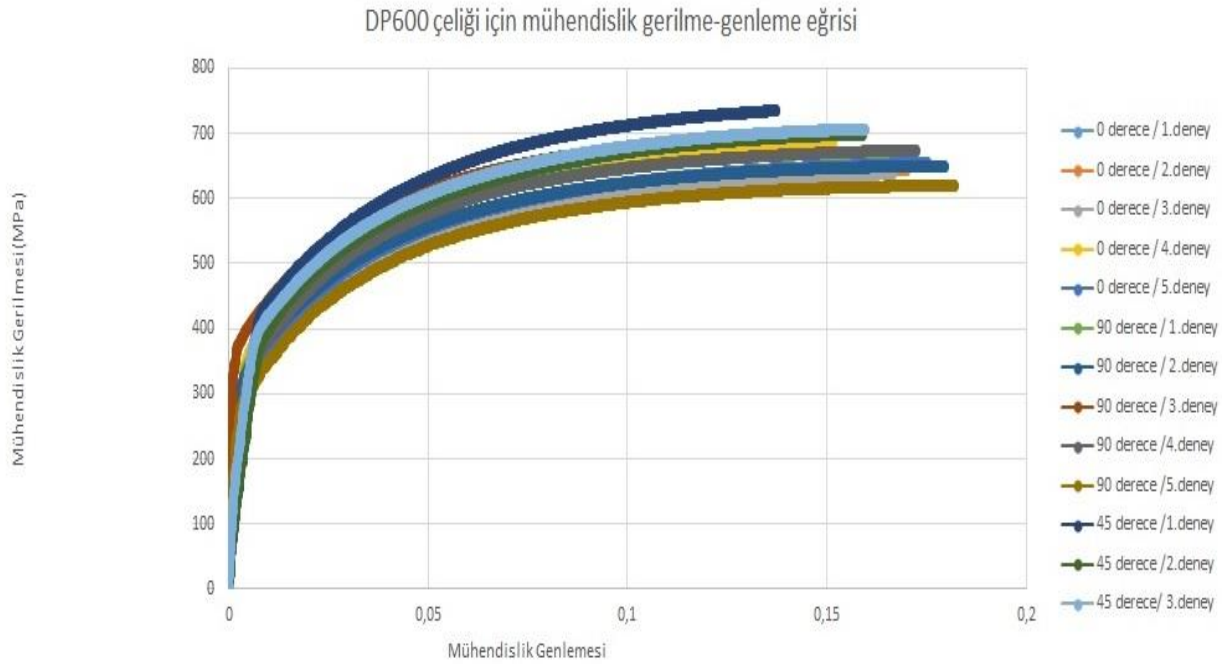
Şekil 2.1: Çekme test cihazı

Çekme deneyleri ticari saflıktaki DP600 plakadan haddeleme yönüne göre 0-45-90 derece açılarla kesilen Şekil 2.2’de görülen çekme deneyi numuneleri ile çekme hızı 2 mm/dk. olacak şekilde yapılmıştır.

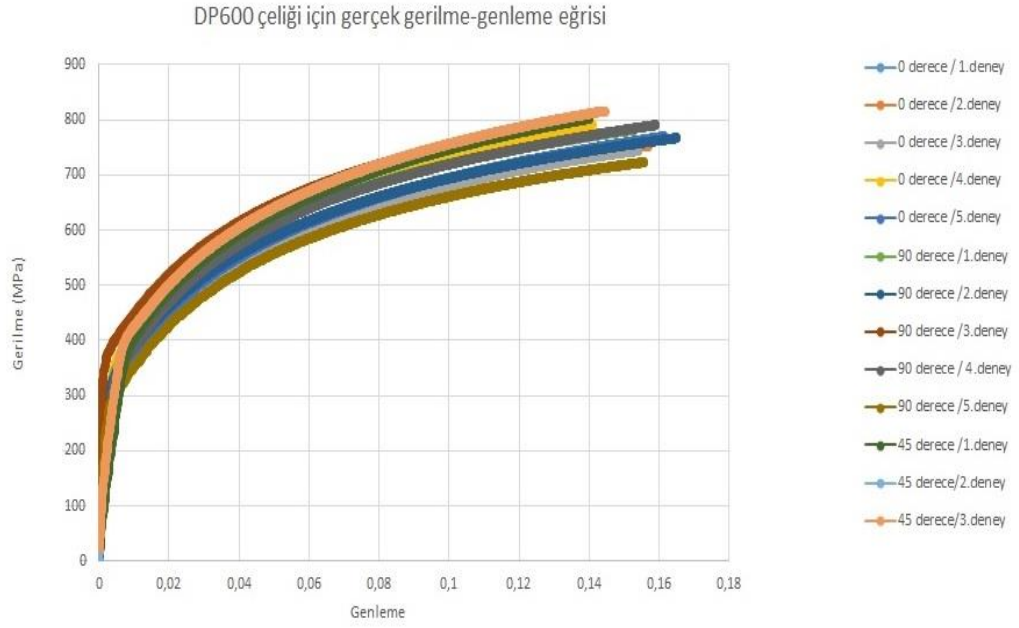


Şekil 2.2: Çekme deneyi numunesi

Çekme deneyleri ISO/TR:25679:2005 standardına uygun olarak yapılmıştır. Çekme testleri sonucunda elde edilen mühendislik gerilme-genleme eğrisi Şekil 2.3’de, gerçek gerilme-genleme eğrisi ise Şekil 2.4’de gösterilmiştir.



Şekil 2.3: DP600 çeliği için mühendislik gerilme-genleme eğrisi



Şekil 2.4: DP600 çeliği için gerçek gerilme-genleme eğrisi

2.2. Metalografik Çalışmalar

Metalografik çalışmalar için numuneler şu şekilde hazırlanmıştır: Öncelikle numuneler kesilip bakalit kalıba alınmıştır. Sonrasında, numuneler zımparalama, parlatma ve son olarak dağlama işlemlerinden geçirilmiştir. Bu şekilde görüntülenebilir hale gelen iç yapının SEM mikroskobu ile 5000 büyütmedeki görüntüleri alınmıştır.

Metalografik inceleme için seçilmiş numunenin bir değer taşıyabilmesi için, bu numunenin fiziksel özellik ve kimyasal bileşim bakımından esas malzemeyi tam olarak temsil etmesi gerekmektedir. [12] Prensip olarak, numuneyi alırken yüzeyde en az plastik şekil değiştiren ve en az ısı meydana getiren kesme yöntemi seçilmelidir. Çünkü bütün gayretler, orjinal malzeme iç yapısının mikroskop altında görülebilmesi içindir.[13]

Numunenin kesildikten sonra kalıba alınmasının başlıca sebepleri olarak elle tutulması güç olan parçaların kolaylıkla zımparalanmasına hazır hale getirmek, zımparalama-parlatma kademelerinin sonucunda numunenin temizliğinin yapılmasına elverişlilik ve markalama işlemlerinin kolaylığını sayabiliriz.

DP600 çift fazlı çelik levhadan kesilen 10mm.x10mm.x1mm. boyutlarında kesilen dikdörtgen prizma şeklindeki küçük numune Şekil 2.5’de gösterilen bakalit kalıba alma makinesi vasıtasıyla kalıba alınarak iç yapısının istenilen şekilde görülebilmesi için zımparalama ve parlatma işlemine hazır hale getirilmiştir



Şekil 2.5: Bakalit kalıba alma makinesi

Numuneler kesilip ve kalıba alındıktan sonra, mikroskobik inceleme için parlatılmaları gerekir. Parlatma işlemi, çeşitli parlatma kademelerini içerir. Her kademedeki bir önceki kademedeki kullanılan aşındırıcılardan daha ince aşındırıcı kullanılır ve böylece her kademenin numune yüzeyinde yarattığı deformasyon ve çizik minimuma indirilir. Numunelerin parlatılmasındaki başarı, parlatılacak malzemeye uygun yöntem ve aşındırıcının seçimine bağlıdır.

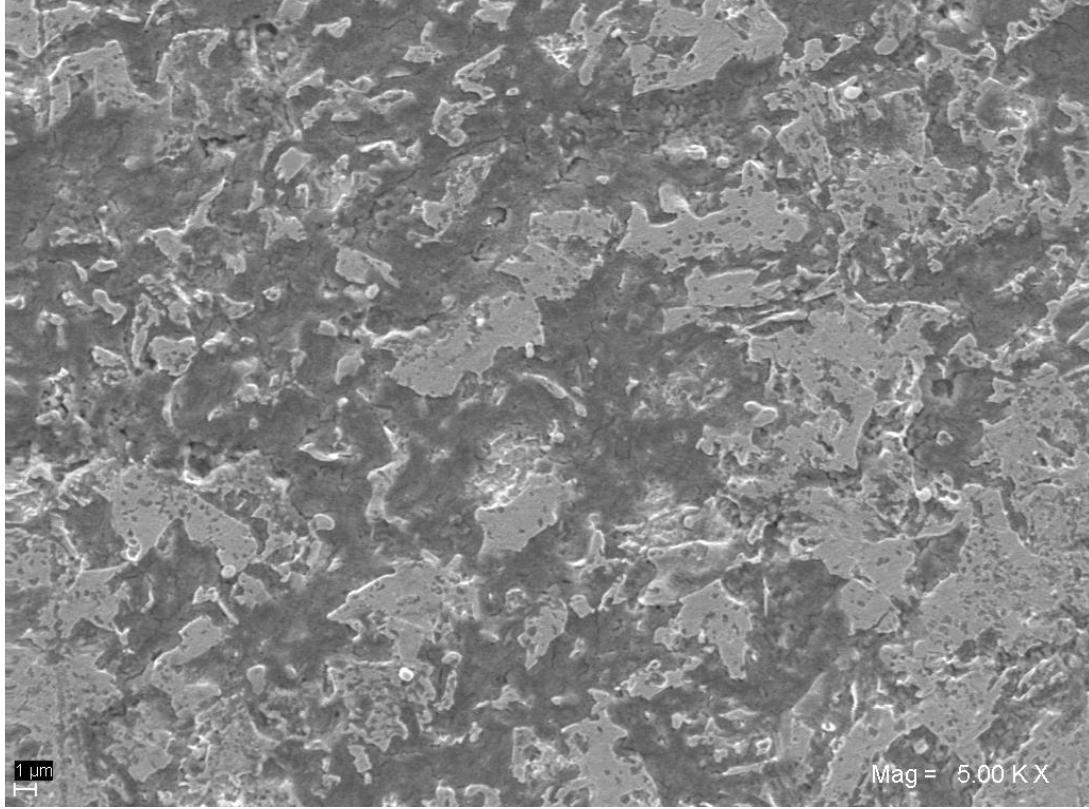
Zımparalama işlemi, sırasıyla 180-240-400-600-800 ve 1000 nolu zımpara kağıtlarının her biriyle ortalama 10'ar dakika işleme tabi tutularak gerçekleştirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü minimuma indirilen yüzey 20 dakika süresince Alümina ile parlatılarak dağlama işlemine hazır hale getirilmiştir. (Şekil 2.6)



Şekil 2.6: Dağlama işlemine hazır numune

Parlatılmış numunelere mikroskopta bakıldığında, yapıları hakkında bilgi sahibi olmak ender rastlanan bir durumdur. Parlatmadan sonra ancak, metalik olmayan kalıntılar, porozite, çatlak, yüzeydeki diğer benzeri kusurlar kolaylıkla görülebilir. Bu nedenle parlatmadan sonra numunelerin mikroskopta incelenmesinde yarar vardır. Parlatılmış numunenin yüzeyi ışığı eşit bir şekilde dağıttığından yapıdaki ayrıntılar ayırt edilemez. Bu nedenle yapıda kontrast oluşturulması gerekir. Malzemelerde gerçek iç yapı özelliklerini ortaya çıkaran kontrastı elde etmek için metalografide çoğu kez, parlatılmış numune yüzeyine uygun bir reaktif tatbik edilir. Bu işleme kimyasal dağlama (etching) denir. Dağlama ile parlatma sonunda görülemeyen mikroyapı özellikleri açığa çıkar. Dağlama, ayrıca fazların cinsini tayin etmede, dislokasyonların yerlerini belirlemede (etch pitting) ve doku yönlenmesi incelemelerinde kullanılır.[14]

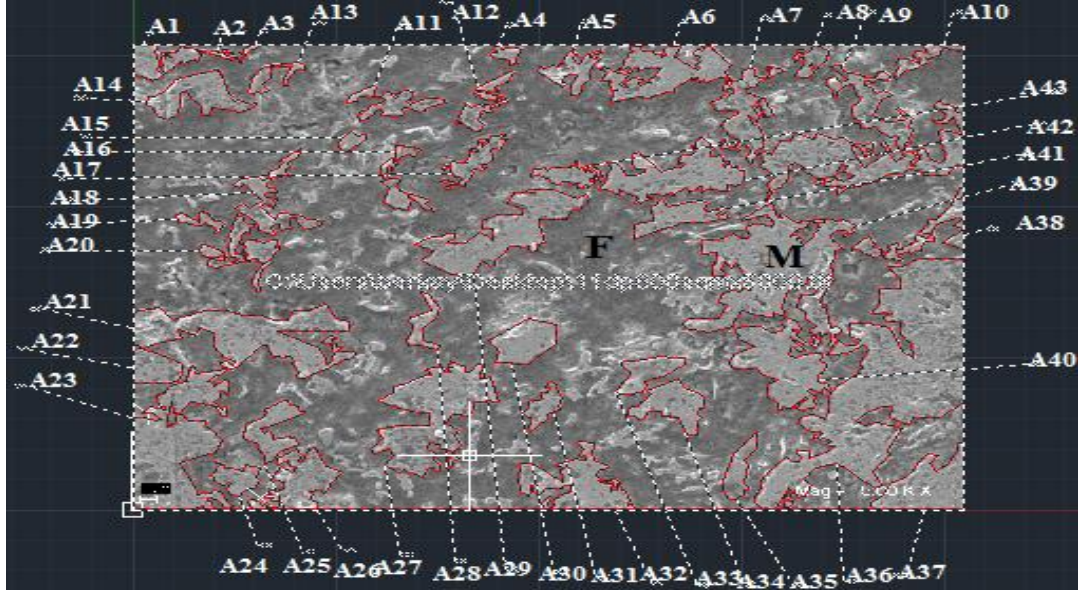
Bu çalışmada bünyesinde 4ml. nitrik asit ile 96ml. etanol barındıran %4 Nital dağlayıcısı ile %10 oranında Sodyummetabisülfid içeren sodyummetabisülfid sulu çözeltisinden oluşan dağlayıcı kullanılmıştır. Dağlama işlemlerinin sonucunda, 5000 büyütme ile elde edilen SEM mikroskobu görüntüsü Şekil 2.7’te gösterilmektedir.



Şekil 2.7: SEM mikroskobunda 5000 büyütmede elde edilen içyapı görüntüsü (parlak bölgeler martenzit fazını, koyu bölgeler ferrit fazını göstermektedir)

2.3 Katı Model Oluşturulması

Katı modellerin oluşturulması için fazların net bir şekilde gözlemlendiği en iyi SEM görüntüsü AUTOCAD2012 programına aktarılmıştır. Aktarılan bu görüntü üzerinde martenzit fazları şekil 2.8’de gösterildiği üzere obje olarak çizilmiştir.



şekil 2.8: Elde edilen görüntüdeki fazların obje olarak çizildiği durum.

DP600 ift fazlı çeliğinin içerdiği iki ana faz olan martenzit ve ferrit fazlarının yüzde oranlarının tespit edilmesi için her bir objenin alanının ayrı ayrı hesaplanması suretiyle, toplam martenzit alanının, toplam fazların alanına bölünmesi ile yüzde faz oranları tespit edilmiştir. Hesaplanan her bir martenzit adacığının alanı ve yüzde hesabı aşağıdaki izelge 2.1’de detaylı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 2.1: Fazların yüzde alan hesabı

Martenzit Obje Numarası	Objenin Alanı	Ortalama Yarıçapı
A1	72.345	151,789
A2	6332,812	44,90901
A3	4.298	36,99705
A4	17096,3819	73,78826
A5	59883,8163	138,0988
A6	189038,9781	245,364
A7	138203,8585	209,7951
A8	31822,3067	100,6702
A9	448787,9187	378,0557
A10	33927,4734	103,9468
A11	65995,7308	144,975
A12	53204,0382	130,169
A13	32409,9426	101,5955
A14	127078,9863	201,1741
A15	17267,9287	74,15754
A16	56139,9596	133,7123
A17	56253,5363	133,8474
A18	97738,8779	176,4285
A19	20054,0289	79,91642
A20	87831,5589	167,2478
A21	387528,2609	351,3071
A22	69332,7852	148,5951
A23	433030,5134	371,3594
A24	48359,7695	124,1016
A25	83107,8286	162,6882
A26	140813,6124	211,7666
A27	361366,1885	339,2415
A28	40661,4653	113,7959
A29	285579,1208	301,5771
A30	106295,9637	183,9897
A31	44613,8661	119,1983
A32	194865,7023	249,1667
A33	70884,8821	150,2491
A34	106987,9118	184,5876
A35	59043,0551	137,1259
A36	1080554,48	586,6222
A37	180896,7864	240,0218
A38	85375,9371	164,8933
A39	528328,9862	410,1922
A40	246712,2992	280,3048
A41	83271,6616	162,8485
A42	218375,9499	263,7167
A43	48148,961	123,8308
Toplam Martenzit Alanı:	6519847	Ort. Yarıçap: 190,8783
Fazların Toplam Alanı:	19660800	
Yüzde Martenzit Oranı:	33,16%	
Yüzde Ferrit Oranı:	66,84%	

Toplam martenzit alanının toplam fazların alanına bölünmesi sonucunda DP600 çeliğinin içerdiği martenzit oranı % 33,16 olarak tespit edilmiştir. Ferrit oranı ise %66,84'tür.

Bu şekilde elde edilen 2 boyutlu katı model Bölüm 4 'deki analizlerde; en rijit davranışı veren peryodik sınır şartlarının geçerli olduğu kabulü ile doğrudan sonlu elemanlar modeli olarak kullanıldığı gibi, 2 boyutlu halde daha gerçek sınır şartlarına yaklaşabilmek amacıyla DP600 malzeme özelliklerine sahip bir çerçeve içine gömülerek de kullanılmıştır.

3. SONLU ELEMANLAR ANALİZLERİ

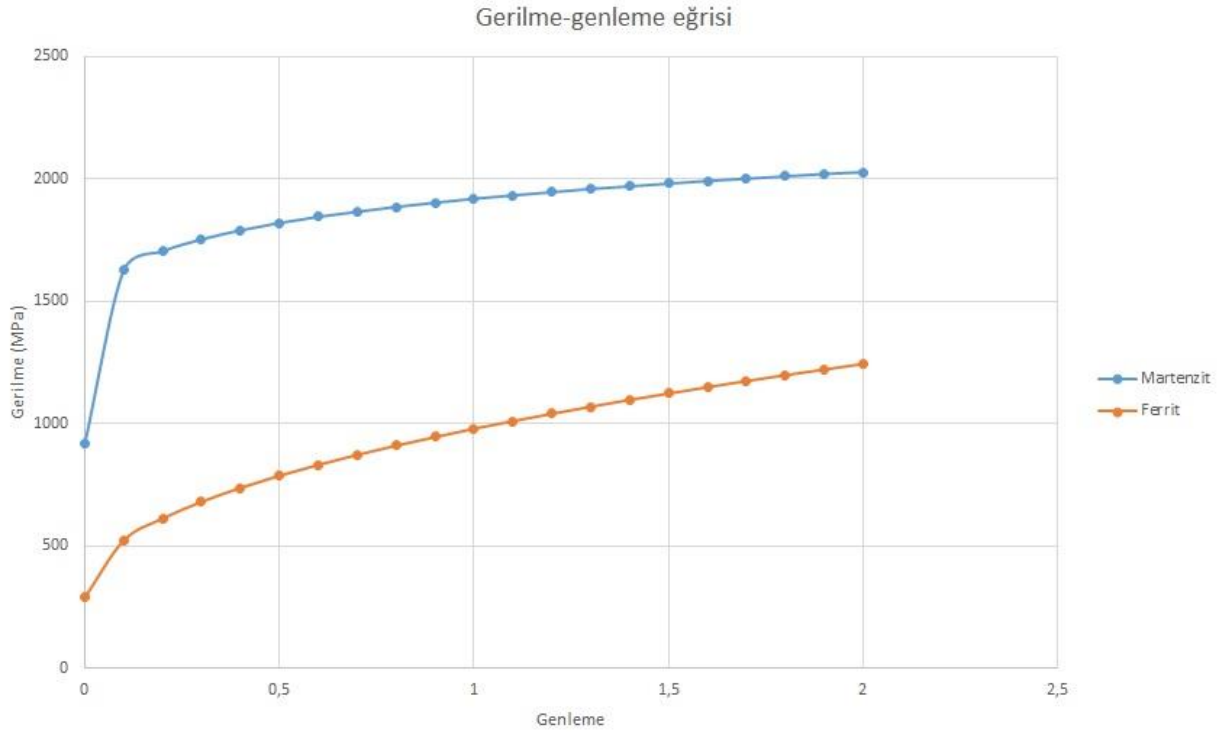
3.1 Sonlu Elemanlar Analizlerinde Kullanılan Verilerin Tanıtılması

Yapılan sonlu elemanlar analizlerinde kullanılmak üzere, martenzit ve ferritin gerilme-genleme ilişkisi için sırasıyla 3.1 ve 3.2 bağıntılarından faydalanılmıştır.

$$\sigma_y = 920 + 1000 \left[\bar{\varepsilon}^P \right]^{0.15} \text{ (MPa)} \quad (3.1)$$

$$\sigma_y = 290 + 690 \left(\bar{\varepsilon}^P \right)^{0.47} \quad (3.2)$$

3.1 ve 3.2'deki bağıntılardan görüleceği üzere, martenzit fazının akma gerilmesi değeri 920 MPa olup, ferrit fazının akma gerilmesi değeri ise 290 MPa'dır. Bu bağıntılardan da martenzit ve ferrit için Şekil 3.1'de görülen gerilme-genleme eğrisi oluşturulmuştur.



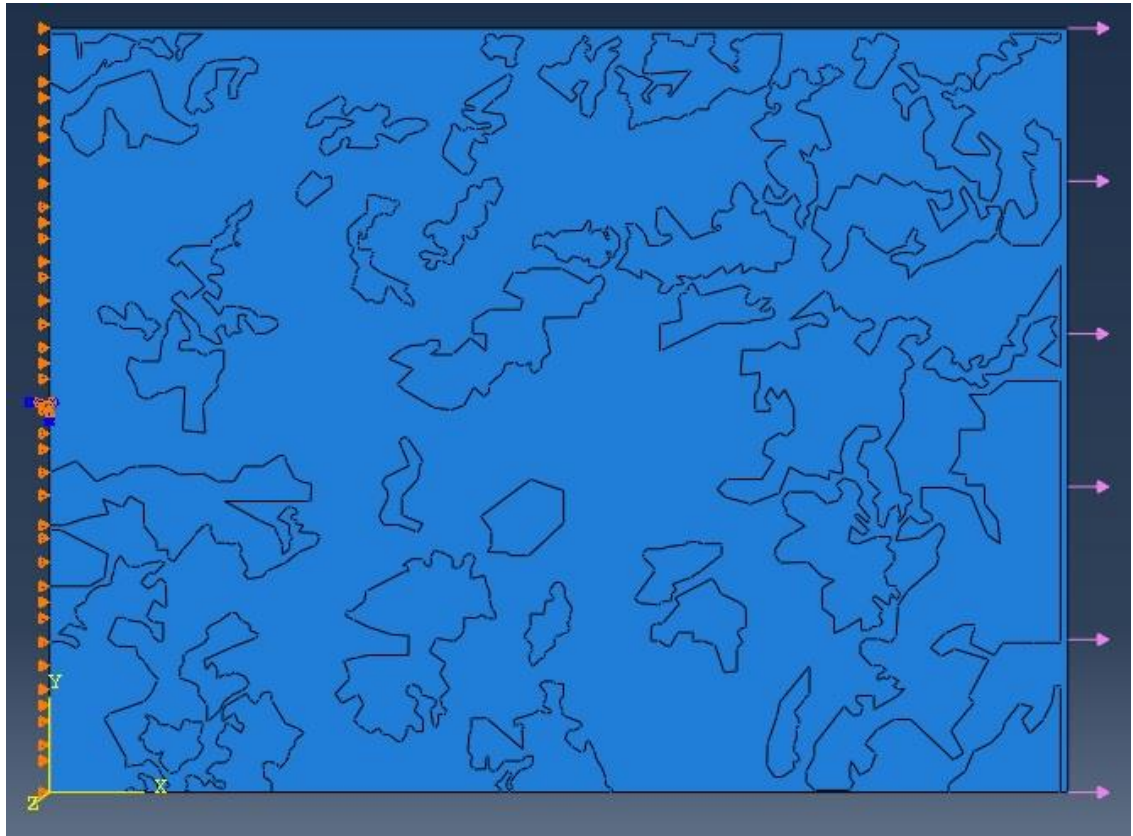
Şekil 3.1: Martenzit ve ferrit için gerilme-genleme eğrisi

Analizlerde malzeme girdisi olarak kullanılan martenzit, ferrit ve DP600 çelik için, Elastiklik modülü 210 000MPa, Poisson oranı 0,3 olarak girilmiş olup, her bir malzeme için gerilmeye karşılık gelen plastik birim şekil değişimi DP600 için çekme deneyi sonuçları, martenzit ve ferrit için de 3.1 ve 3.2'deki bağıntılar kullanarak Abaqus sonlu elemanlar analiz programına girilmiş, gerekli analizler belirtilen sınır koşulları ve yükleme durumlarına göre gerçekleştirilmiştir.

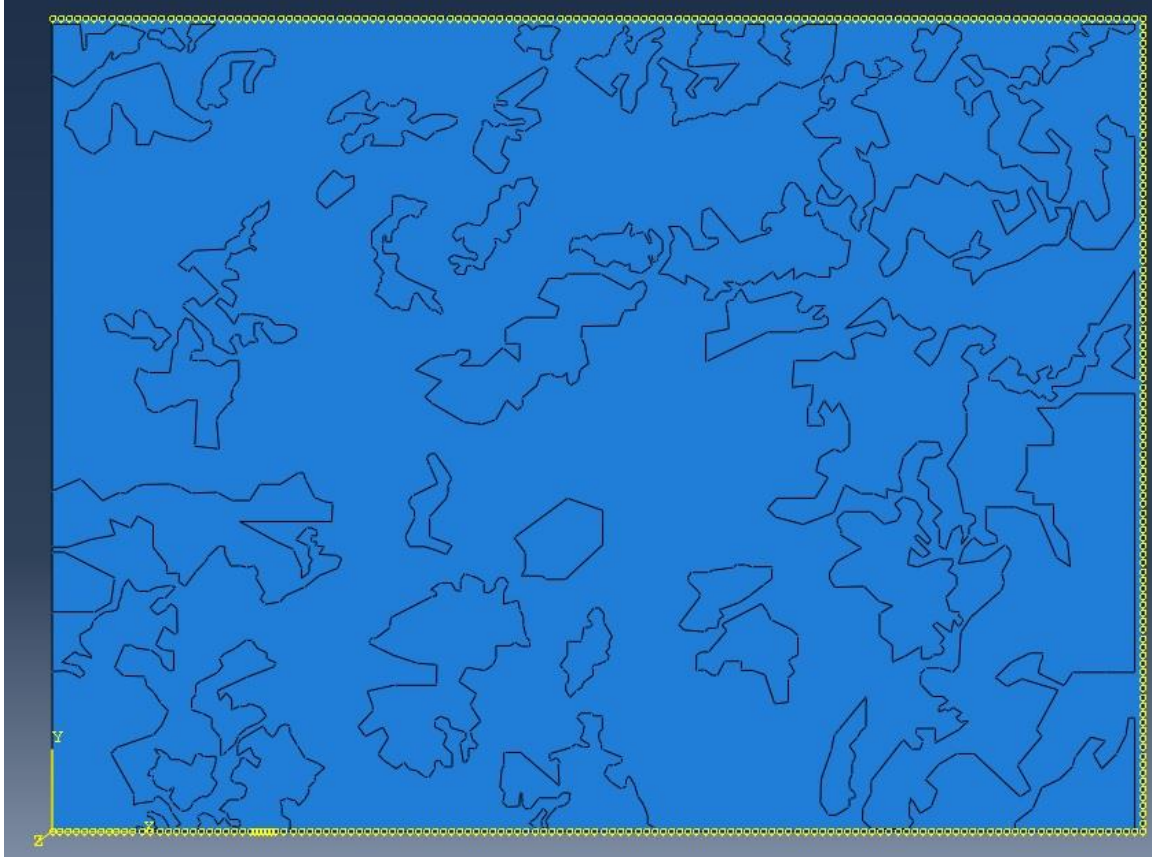
3.2 Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi Yapılan Modellerin Sınır Koşullarının ve Yükleme Durumlarının Tanıtılması

Sonlu elemanlar yöntemiyle analizi yapılan 3 farklı modelin sınır koşulları ve yükleme durumları sırasıyla Şekil 3.2a - Şekil 3.2b, Şekil 3.3a – Şekil 3.3b ve Şekil 3.4a ve Şekil 3.4b’de gösterilmiştir.

3.2.1 X yönünde çekilen modelin sınır koşullarının ve yükleme durumunun tanıtılması



Şekil 3.2(a): X yönünde (sağ tarafa doğru) çekilen kenarları sınırlandırılmış modelin sınır koşulları ve yükleme durumu

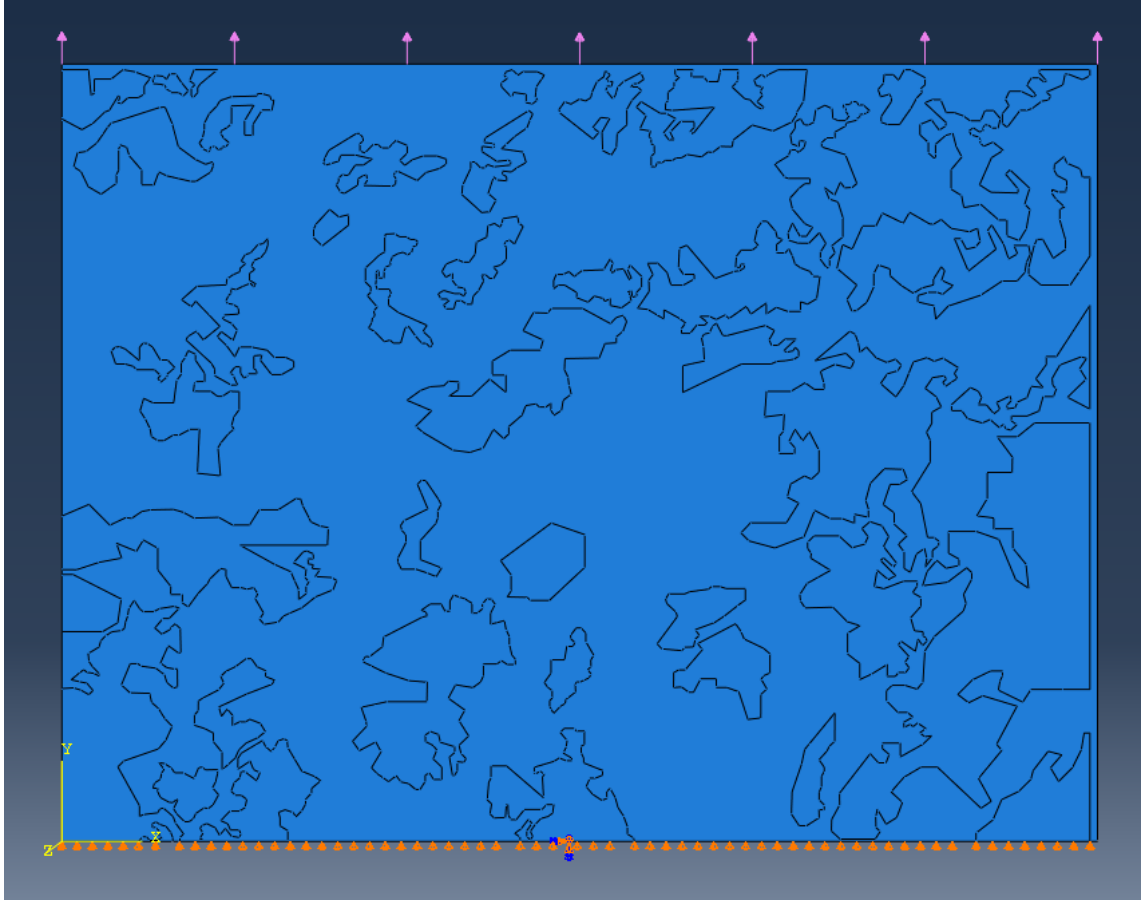


Şekil 3.2(b): X yönünde çekilen, kenarları sınırlandırılmış modelin, sol kenar dışındaki diğer üç kenardaki düğüm noktalarının sınır yer değiştirme koşullarını gösteren durum.

Şekil 3.2(a) 'da görülen modelde sol kenarından tek bir nokta üzerinden ankastre, aynı kenar üzerindeki diğer noktalardan ise (x) yönünde hareketini engelleyecek şekilde mesnetlenmiş, sağ kenarından ise (x) yönünde 500 MPa gerilme ile çekilmiştir.

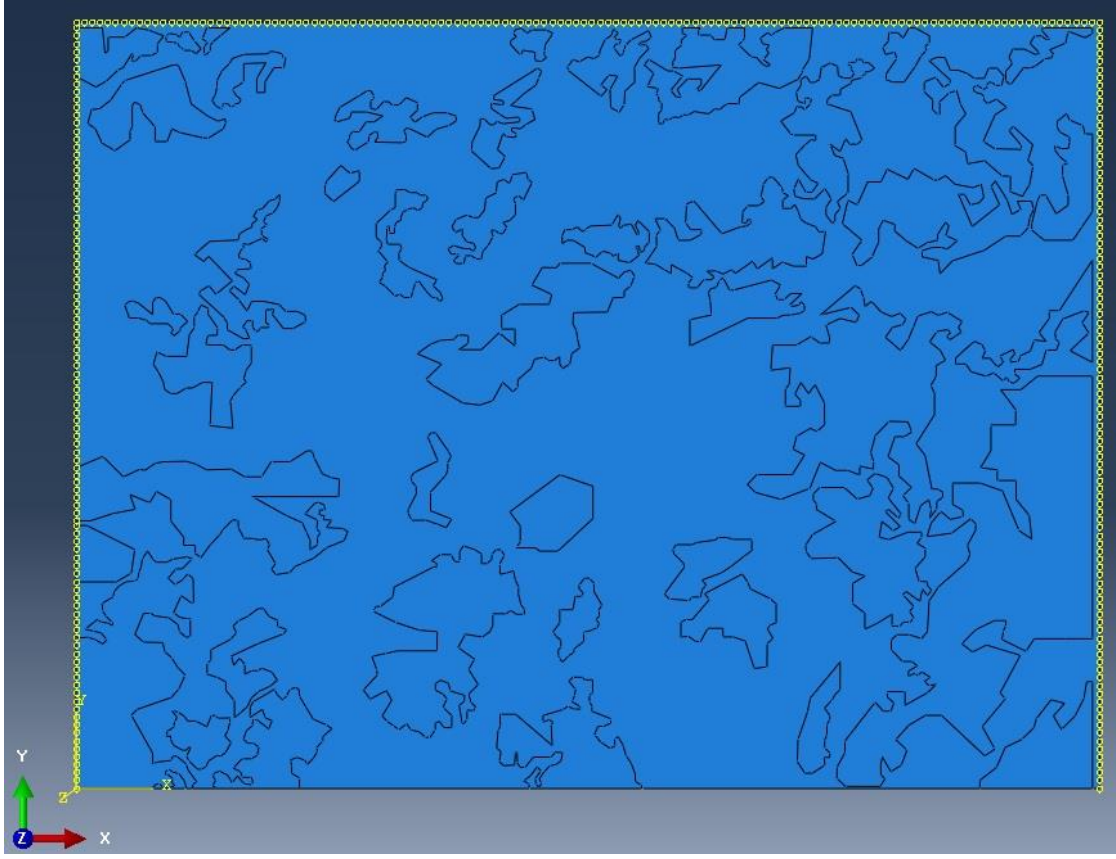
Şekil 3.2(b)'de gösterilen aynı modelde sınır yer değiştirme koşulları olarak; sol kenar dışındaki diğer üç kenardaki düğüm noktalarının kenar boyunca kenara dik yönde yer değiştirmelerinin aynı olması koşulu modele aktarılmıştır.

3.2.2 Y yönünde çekilen modelin sınır koşullarının ve yükleme durumunun tanıtılması



Şekil 3.3(a): Y yönünde (yukarı doğru) çekilen kenarları sınırlandırılmış modelin sınır koşulları ve yükleme durumu

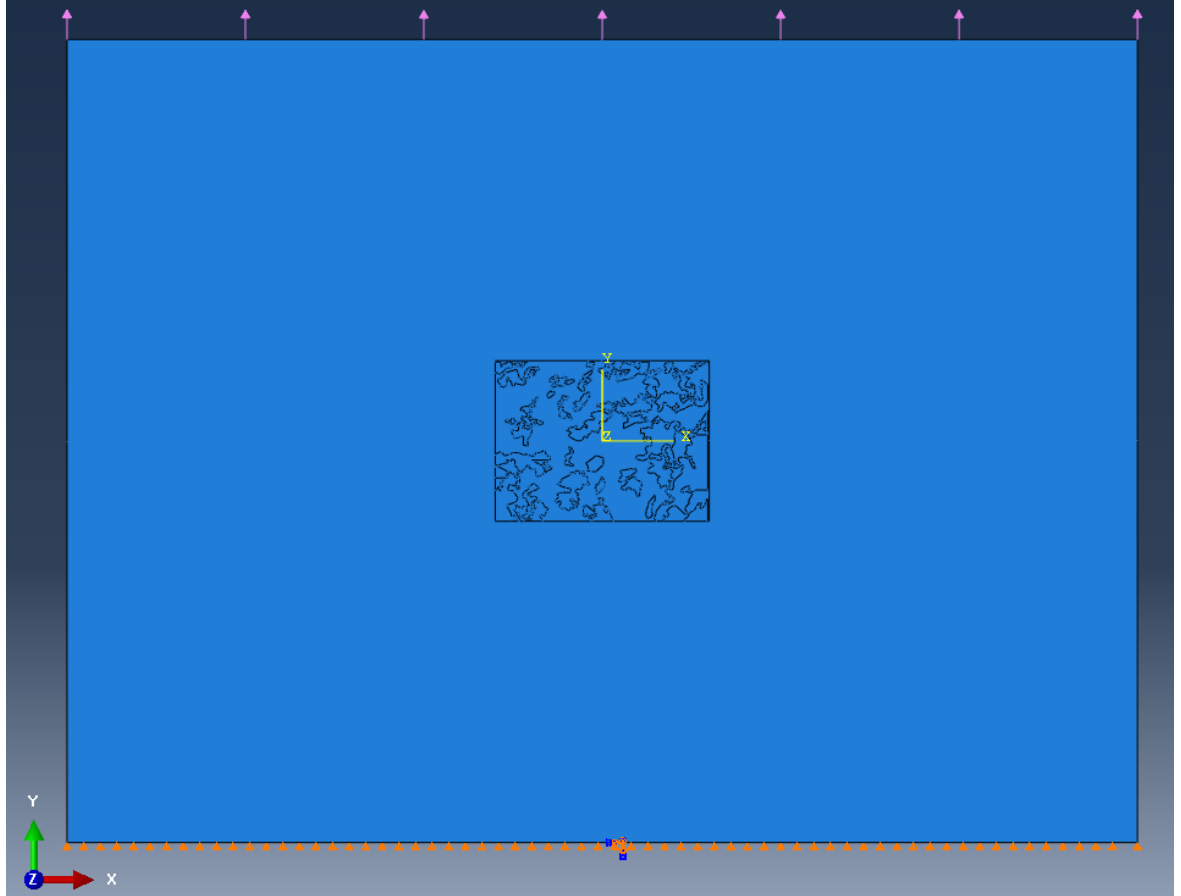
Şekil 3.3(a) 'da görülen modelde alt kenarından tek bir nokta üzerinden ankastre, aynı kenar üzerindeki diğer noktalardan ise (y) yönünde hareketini engelleyecek şekilde mesnetlenmiş, üst kenarından ise (y) yönünde 500 MPa gerilme ile çekilmiştir.



Şekil 3.3(b): Y yönünde çekilen, kenarları sınırlandırılmış modelin, alt kenar dışındaki diğer üç kenardaki düğüm noktalarının sınır yer değiştirme koşullarını gösteren durum.

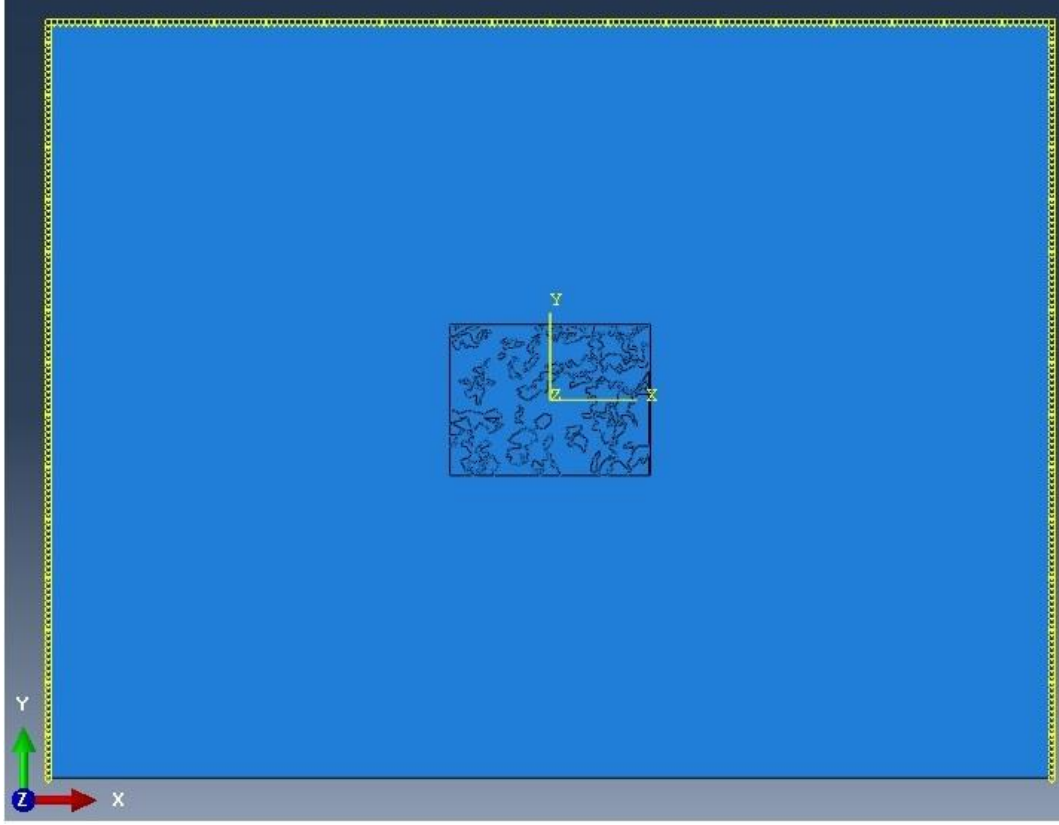
Şekil 3.3(b)'de gösterilen aynı modelde sınır yer değiştirme koşulları olarak; alt kenar dışındaki diğer üç kenardaki düğüm noktalarının kenar boyunca kenara dik yönde aynı şekilde hareketinin sağlanması yani, kenara dik yer değiştirmelerinin aynı olması koşulu modele aktarılmıştır.

3.2.3 Y yönünde çekilen gömülü modelin sınır koşullarının ve yükleme durumunun tanıtılması



Şekil 3.4(a): Y yönünde (yukarı doğru) çekilen kenarları sınırlandırılmış gömülü modelin sınır koşulları ve yükleme durumu

Şekil 3.4(a) ve Şekil 3.4(b)'deki modeller Şekil 3.2(a) ve Şekil 3.3(a)'deki katı modelin 5 katı ölçekteki bir çerçeve içine gömülmüş hali olup, Şekil 3.4(a)'daki model alt kenarda tek bir noktadan ankastre, aynı kenardaki diğer noktalardan ise (y) yönünde hareketinin engelleyecek şekilde mesnetlenmiş olup, üst kenardan ise 450 MPa gerilme ile çekilmiştir. Ferrit ve martenzitin olmadığı çerçeve kısımlar için DP600 çeliğinin çekme deneyinden elde edilen gerilme-genleme verileri kullanılmıştır.



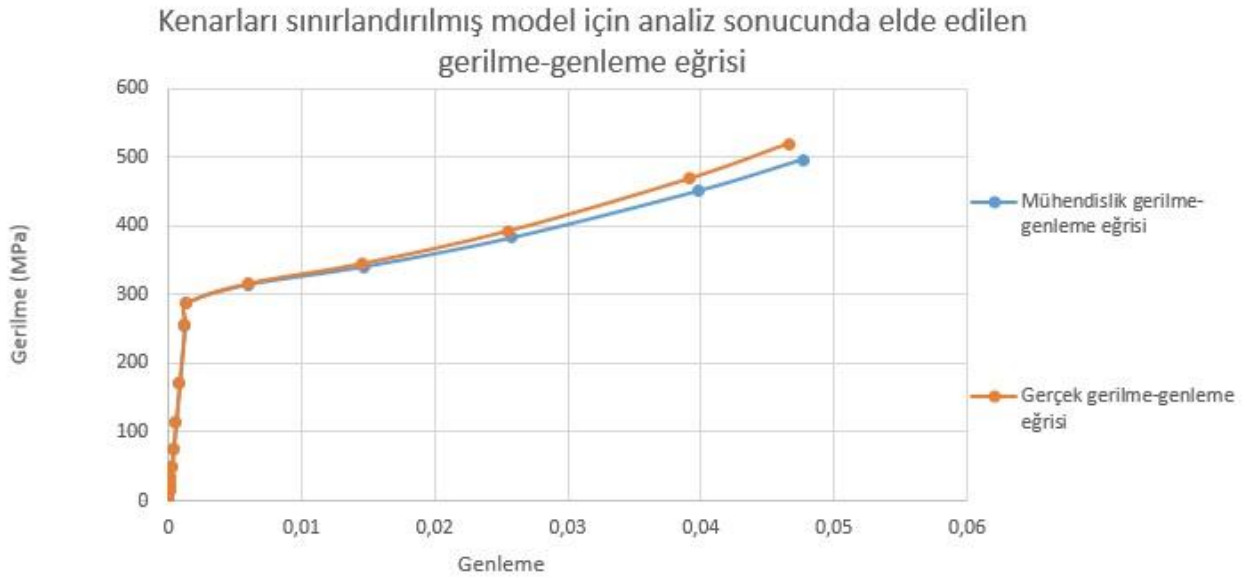
Şekil 3.4(b): Y yönünde çekilen, kenarları sınırlandırılmış gömülü modelin, alt kenar dışındaki diğer üç kenardaki düğüm noktalarının sınır yer değiştirme koşullarını gösteren durum.

Şekil 3.4(b)'deki modelde alt kenar dışındaki üç kenardaki, kenara dik yer değiştirmelerin aynı olması koşulu sınır koşulu modele aktarılmıştır.

4. ANALİZ SONUÇLARI

4.1 X Yönünde Çekme Gerilmesi Uygulanan Modelin Analiz Sonuçlarının İncelenmesi

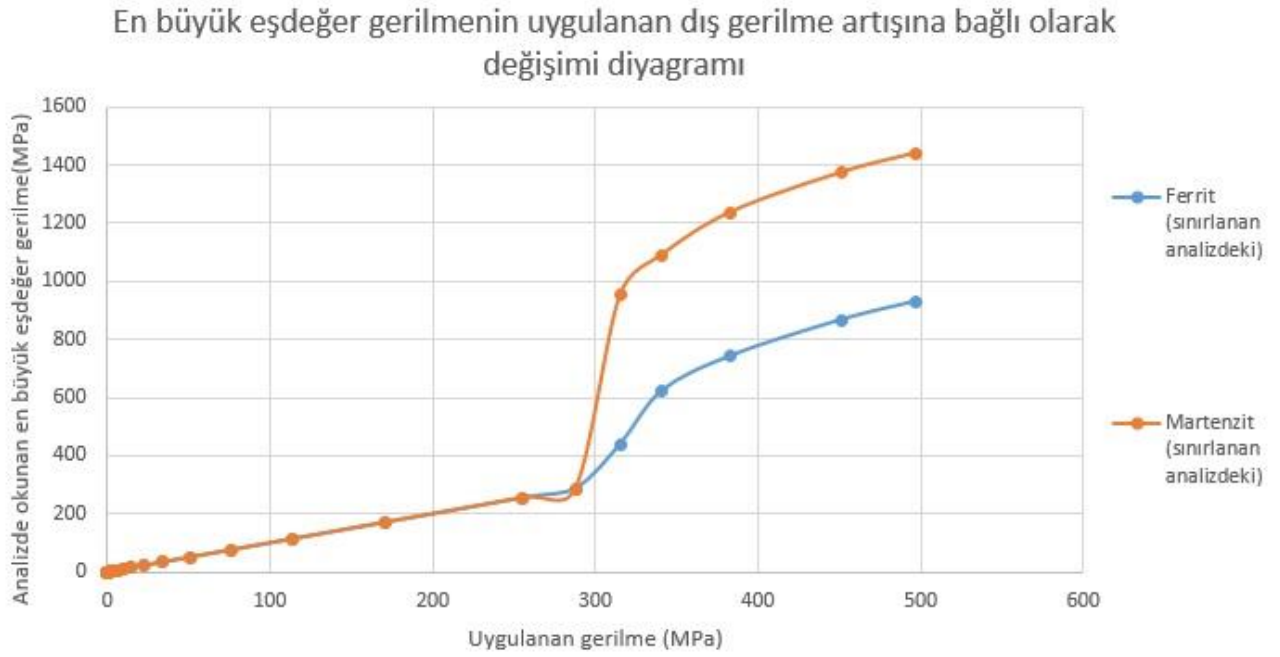
Sonlu Elemanlar yöntemiyle analizi yapılan Şekil 3.2(a)'da verilen X yönündeki yükleme hali ile elde edilen gerçek ve mühendislik gerilme – genleme eğrileri Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1: Kenarları sınırlandırılmış model için analiz sonucunda elde edilen gerilme-genleme eğrisi

Şekil 4.1’deki grafikte, beklentilere uygun olarak gerçek gerilme-genleme eğrisi mühendislik eğrisinin üzerinde kalmaktadır.

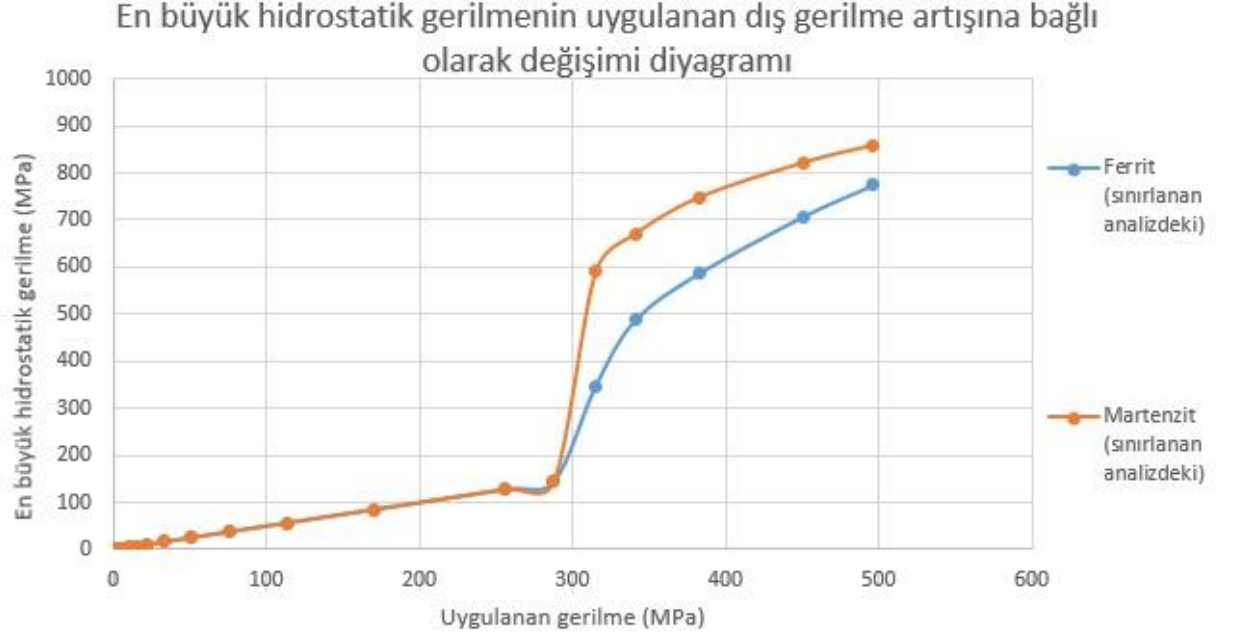
Kenara dik yer değiştirmeleri eşit kalmak üzere hareketi sınırlandırılan Şekil 3.1(b)’de gösterilen modelde (x) yönündeki yükleme sonucunda martenzit ve ferrit fazlarında meydana gelen en büyük eşdeğer gerilmenin, uygulanan gerilme artışına bağlı olarak değişimini gösteren grafik, Şekil 4.2’de gösterilmektedir



Şekil 4.2: En büyük eşdeğer gerilmenin uygulanan dış gerilme artışına bağlı olarak değişimi

Analiz sonuçlarına göre uygulanan gerilme artışı esnasında martenzit fazının üzerinde oluşan en büyük eşdeğer gerilme artışı beklentilere uygun olarak plastik alanda ferrit fazında gelişen en büyük eşdeğer gerilmenin yaklaşık 2 kat üzerinde kalmaktadır. İncelenen yükleme mertebesinde martenzit ve ferrit fazlarını zorlayan en büyük eşdeğer gerilme değerleri arasındaki oran genel olarak değişmemektedir.

Martenzit ve ferrit fazlarında meydana gelen en büyük hidrostatik gerilmenin uygulanan gerilme artışına bağlı olarak değişimi ise Şekil 4.3’de gösterilmektedir. Analiz sonuçlarına göre uygulanan gerilme süresince martenzit fazında gelişen en büyük hidrostatik gerilme değeri beklentilere uygun olarak plastik alanda ferrit fazında gelişen en büyük hidrostatik gerilmenin üzerinde kalmaktadır. İncelenen yükleme mertebelerinde plastik akmanın başlangıcında, martenzitte ferritteki göre yaklaşık 1.2 kat daha yüksek en büyük hidrostatik gerilme oluşurken, artan plastik deformasyon ile martenzit ve ferrit fazlarında gelişen en büyük hidrostatik gerilme değerleri arasındaki oran yaklaşık 1.1 mertebelerine düşmektedir.



Şekil 4.3: En büyük hidrostatik gerilmenin uygulanan dış gerilme artışına bağlı olarak değişimi

Martenzit ve ferrit fazlarında meydana gelen en büyük plastik birim şekil değişiminin uygulanan birim şekil değişimi artışına bağlı olarak değişimini ise Şekil 4.4’de gösterilmektedir.

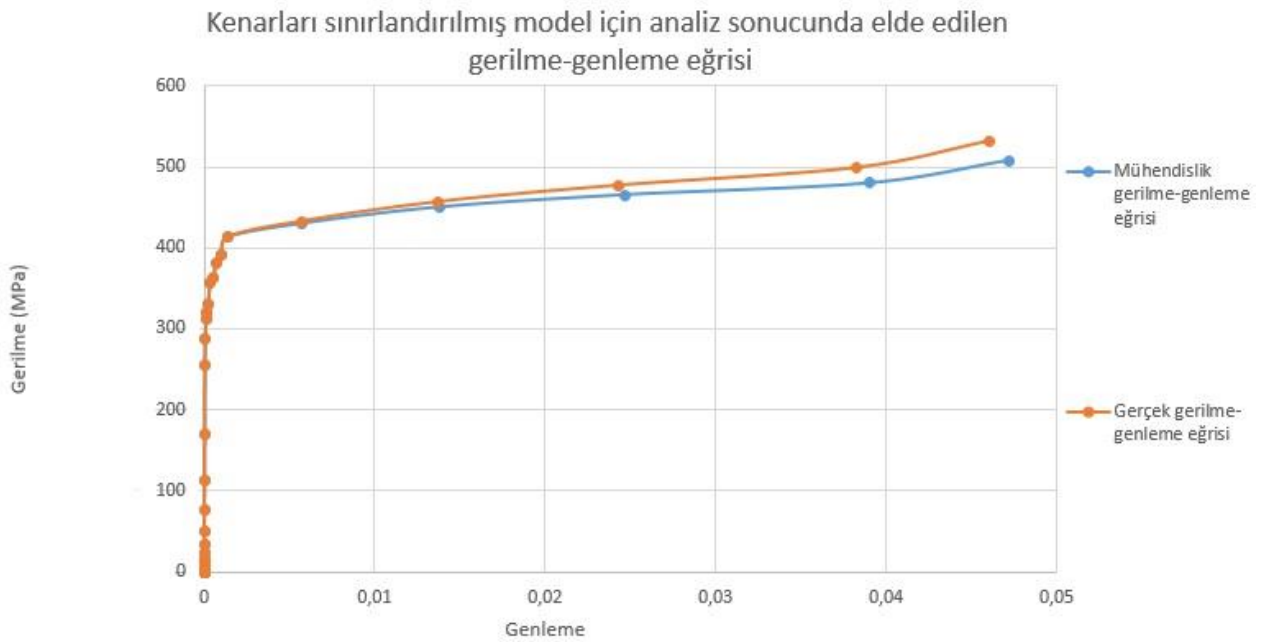


Şekil 4.4: En büyük plastik birim şekil değişiminin uygulanan birim şekil değişimine göre durumu

Uygulanan şekil değişimi süresince martenzit fazındaki en büyük plastik birim şekil değişiminin, beklentilere uygun olarak ferrit fazındaki en büyük plastik birim şekil değişimi değerinin çok altında kalığı görülmüştür. Plastik alandaki martenzit ve ferrit fazlarında gelişen en büyük plastik genleme değerleri arasındaki oran artan deformasyonla beraber genel olarak korunmaktadır.

4.2 Y Yönünde Çekme Gerilmesi Uygulanan Modelin Analiz Sonuçlarının İncelenmesi

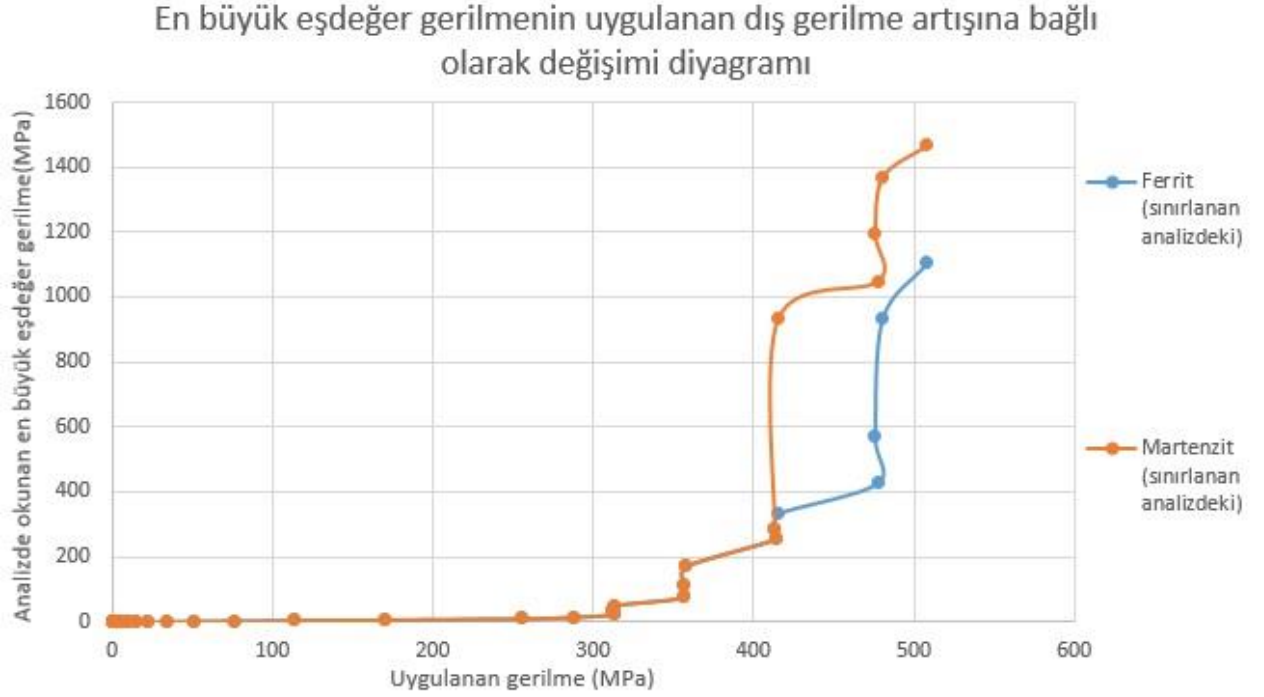
Sonlu Elemanlar yöntemiyle analizi yapılan Şekil 3.3(a)'da verilen Y yönündeki yükleme hali ile elde edilen gerçek ve mühendislik gerilme – genleme eğrileri Şekil 4.5’de gösterilmektedir.



Şekil 4.5: Kenarları sınırlandırılmış model için analiz sonucunda elde edilen gerilme-genleme eğrisi

Şekil 4.5’deki grafikte beklentilere uygun olarak gerçek gerilme-genleme eğrisi mühendislik eğrisinin üzerinde kalmaktadır.

Kenara dik yer değiştirmeleri eşit kalmak üzere hareketi sınırlandırılan Şekil 3.3(a)'da gösterilen modelde (y) yönündeki yükleme sonucunda martenzit ve ferrit fazlarında meydana gelen en büyük eşdeğer gerilmenin, uygulanan gerilme artışına bağlı olarak değişimini gösteren grafik, Şekil 4.6'da gösterilmektedir.

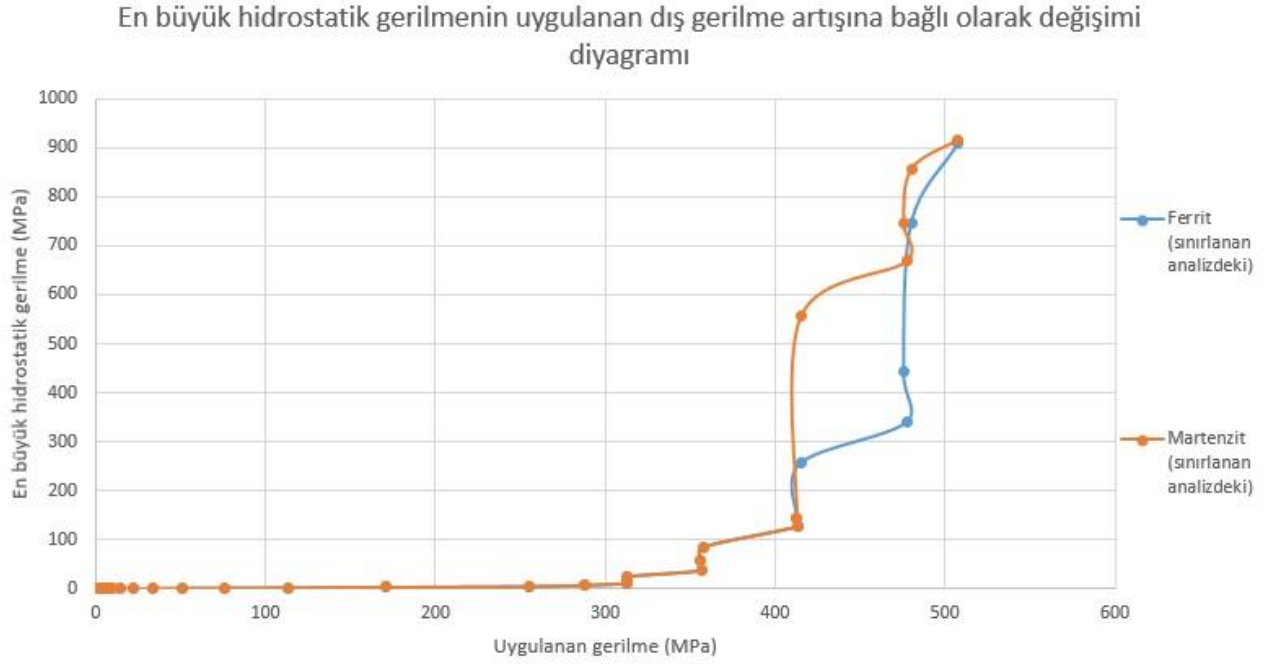


Şekil 4.6: En büyük eşdeğer gerilmenin uygulanan dış gerilme artışına bağlı olarak değişimi diyagramı

Analiz sonuçlarına göre uygulanan gerilme artışı esnasında martenzit fazının üzerinde oluşan en büyük eşdeğer gerilme artışı beklentilere uygun olarak plastik alanda ferrit fazında gelişen en büyük eşdeğer gerilmenin üzerinde kalmaktadır. İncelenen yükleme mertebesinde martenzit ve ferrit fazlarını zorlayan en büyük eşdeğer gerilme değerleri arasındaki oran (X) yönündeki yükleme haline göre daha düşüktür ve yüklemeye bağlı olarak düzgün değişmemektedir.

Martenzit ve ferrit fazlarında meydana gelen en büyük hidrostatik gerilmenin uygulanan gerilme artışına bağlı olarak değişimi ise Şekil 4.7'de gösterilmektedir. Analiz sonuçlarına göre uygulanan gerilme süresince martenzit fazında gelişen en büyük hidrostatik gerilme değeri beklentilere uygun olarak plastik alanda ferrit fazında gelişen en büyük hidrostatik gerilmenin üzerinde kalmaktadır.

İncelenen yükleme mertebesinde martenzit ve ferrit fazlarını zorlayan en büyük hidrostatik gerilme değerleri arasındaki oran (X) yönündeki yükleme haline göre daha düşüktür ve yüklemeye bağlı olarak düzgün değişmemektedir.



Şekil 4.7: En büyük hidrostatik gerilmenin uygulanan dış gerilme artışına bağlı olarak değişimi diyagramı

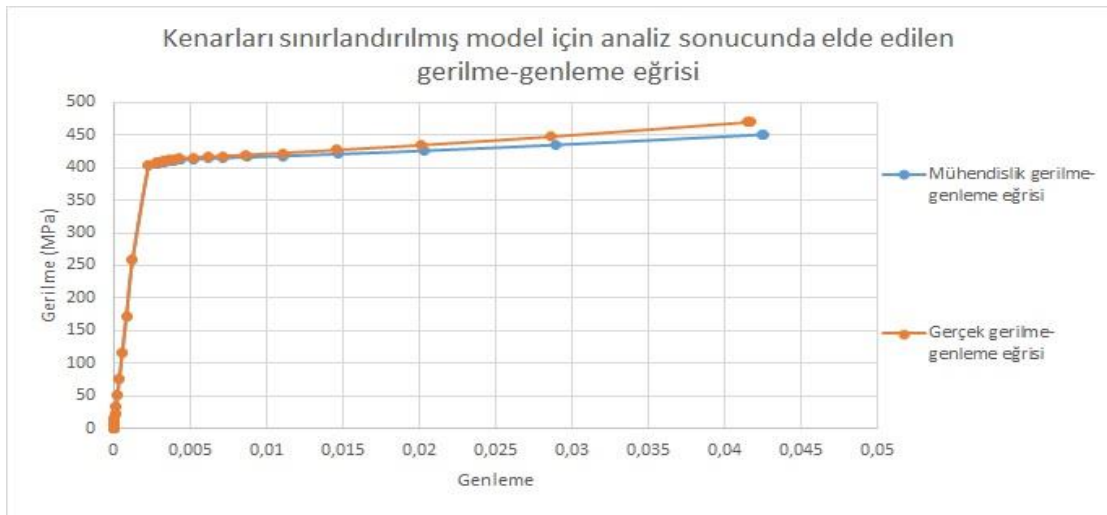
Martenzit ve ferrit fazlarında meydana gelen en büyük plastik birim şekil değişiminin uygulanan birim şekil değişimi artışına bağlı olarak değişimi ise Şekil 4.8’de gösterilmektedir. Uygulanan birim şekil değişimi süresince martenzit fazının en büyük plastik birim şekil değişiminin beklentilere uygun olarak ferrit fazındaki en büyük plastik birim şekil değişimi değerinin çok altında kaldığı ve iki değer arasındaki oranın plastik bölgede genel olarak değişmediği görülmüştür.



Şekil 4.8: En büyük plastik birim şekil değişiminin uygulanan birim şekil değişimine göre durumu

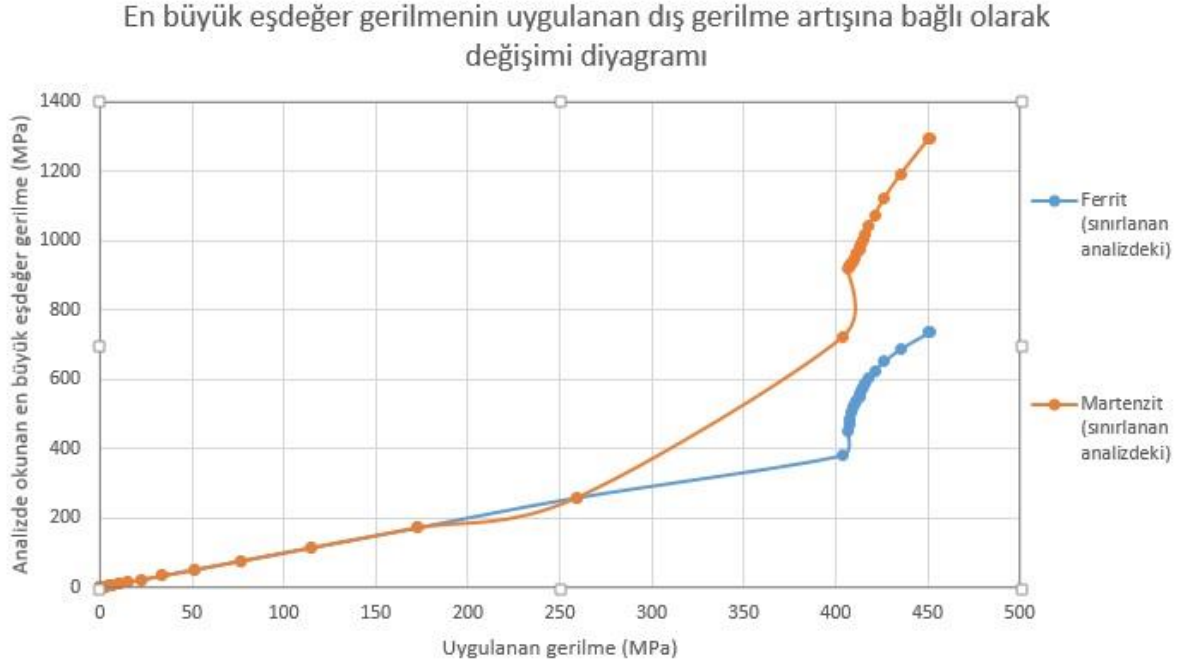
4.3 Y Yönünde Çekme Gerilmesi Uygulanan Gömülü Modelin Analiz Sonuçlarının İncelenmesi

Gömülü modelin y yönünde yükleme hali için elde edilen gerçek ve mühendislik gerilme – genleme eğrisi Şekil 4.9’da gösterilmektedir.



Şekil 4.9: Kenarları sınırlandırılmış gömülü model için analiz sonucunda elde edilen gerilme genleme eğrisi

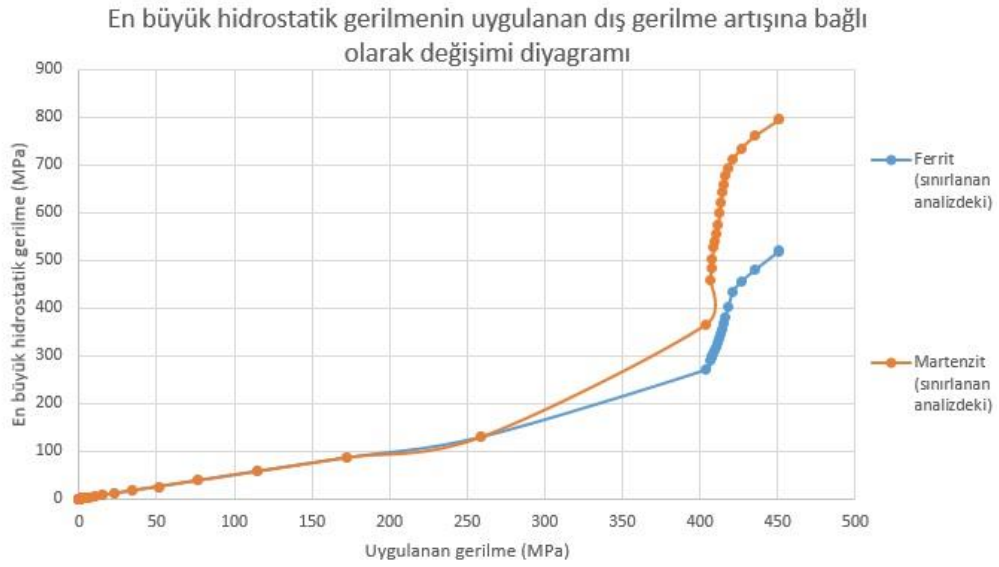
Gömülü modelin analiz sonucuna göre martenzit ve ferrit fazlarında meydana gelen en büyük eşdeğer gerilmenin, uygulanan gerilme artışına bağlı olarak değişimini gösteren grafik, Şekil 4.10'da gösterilmektedir.



Şekil 4.10: En büyük eşdeğer gerilmenin uygulanan dış gerilme artışına bağlı olarak değişimi diyagramı

Uygulanan dış gerilme artışına bağlı olarak gelişen en büyük eşdeğer gerilme değerleri, sınır kısıtları daha serbest olan gömülü modelde de beklentilere uygun olarak, martenzit fazında ferrit fazındaki değer üzerinde kalmaktadır. İncelenen yükleme aralığında martenzit fazında oluşan en büyük eşdeğer gerilme değeri ferrit fazında oluşan en büyük eşdeğer gerilmenin yaklaşık 1.8 katına kadar yükselmektedir.

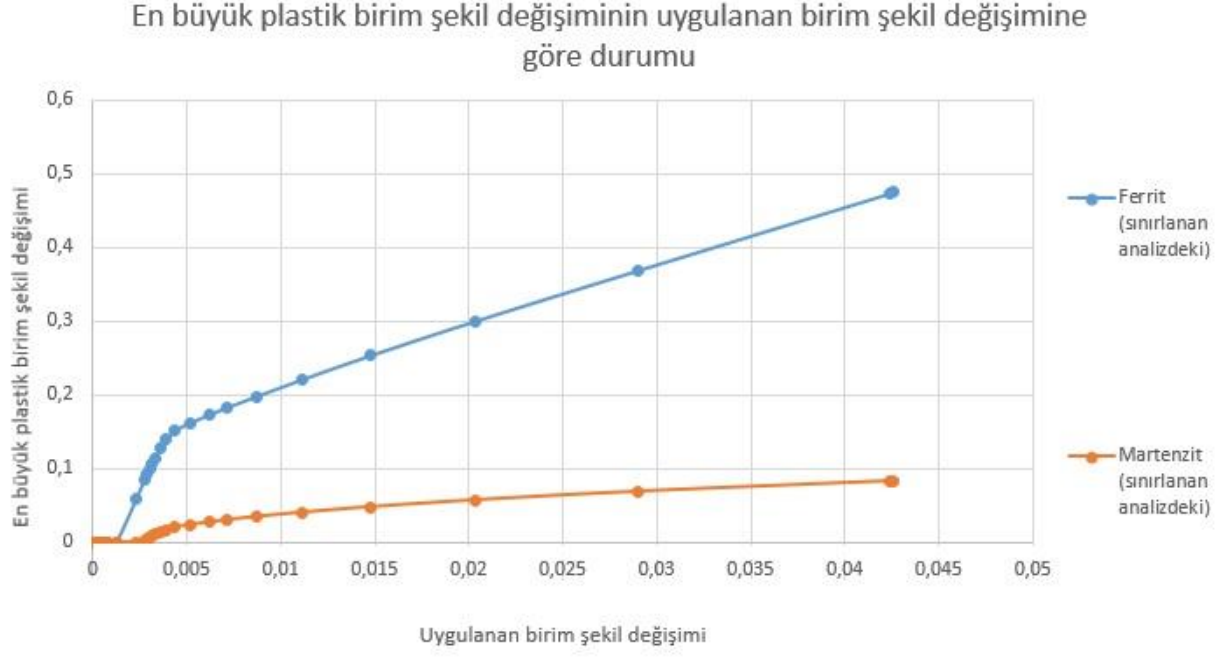
Kenarları sınırlandırılan gömülü modelin analiz sonucuna göre martenzit ve ferrit fazlarında meydana gelen en büyük hidrostatik gerilmenin uygulanan gerilme artışına bağlı olarak değişimini gösteren grafik, Şekil 4.11'de gösterilmektedir.



Şekil 4.11: En büyük hidrostatik gerilmenin uygulanan dış gerilme artışına bağlı olarak değişimi diyagramı

Uygulanan dış gerilme artışına bağlı olarak gelişen en büyük hidrostatik gerilme değerleri, sınır kısıtları daha serbest olan gömülü modelde de beklentilere uygun olarak, martenzit fazında ferrit fazındaki değere in üzerinde kalmaktadır. İncelenen yükleme aralığında martenzit fazında oluşan en büyük hidrostatik gerilme değeri ferrit fazında oluşan en büyük hidrostatik gerilmenin yaklaşık 1.5 katına kadar yükselmektedir.

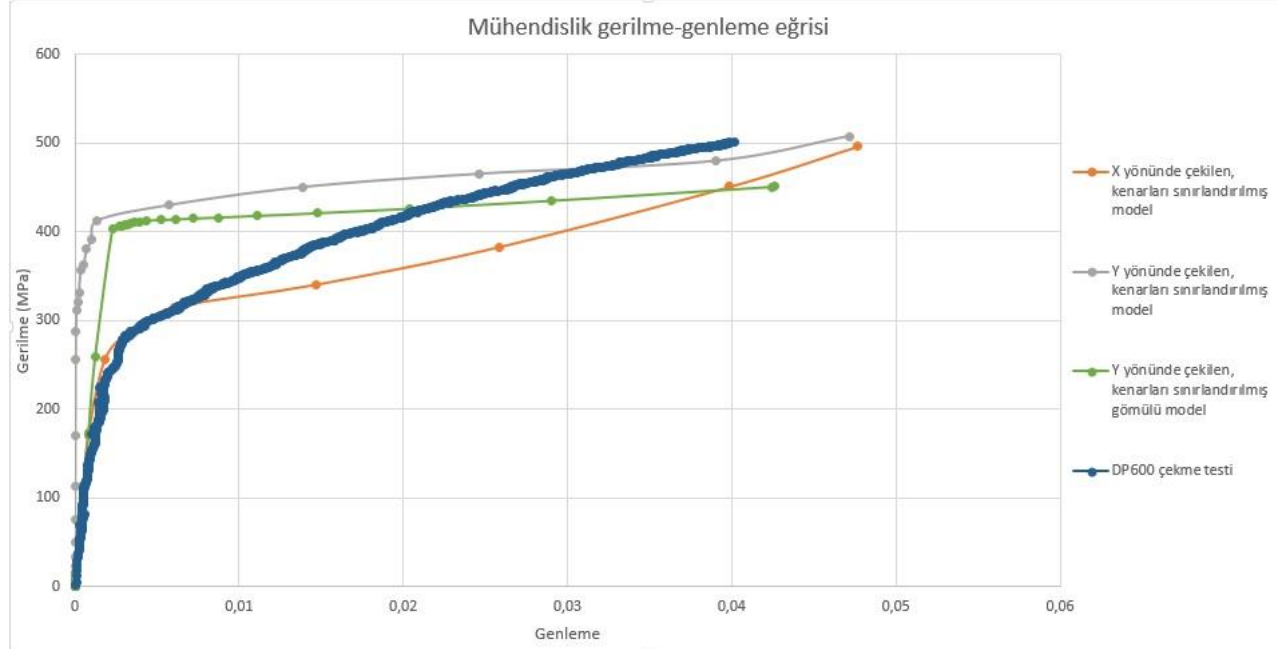
Kenarları sınırlandırılan gömülü modelin analiz sonucuna göre martenzit ve ferrit fazlarında meydana gelen en büyük plastik birim şekil değişiminin uygulanan gerilme artışına bağlı olarak değişimini gösteren grafik, şekil 4.12’de gösterilmektedir.



Şekil 4.12: Gömülü modeled en büyük plastik birim şekil değişiminin uygulanan birim şekil değişimine göre durumu

Uygulanan şekil değişimine bağlı olarak gelişen fazlardaki en büyük plastik birim şekil değişimi değeri beklentilere uygun olarak ferrit fazında martenzit fazına göre daha büyük değer almıştır. Uygulanan birim şekil değişimi artışına bağlı olarak ferrit fazında gelişen en büyük plastik genlemenin martenzitinkine göre gittikçe daha fazla büyüdüğü görülmektedir.

5. İRDELEME

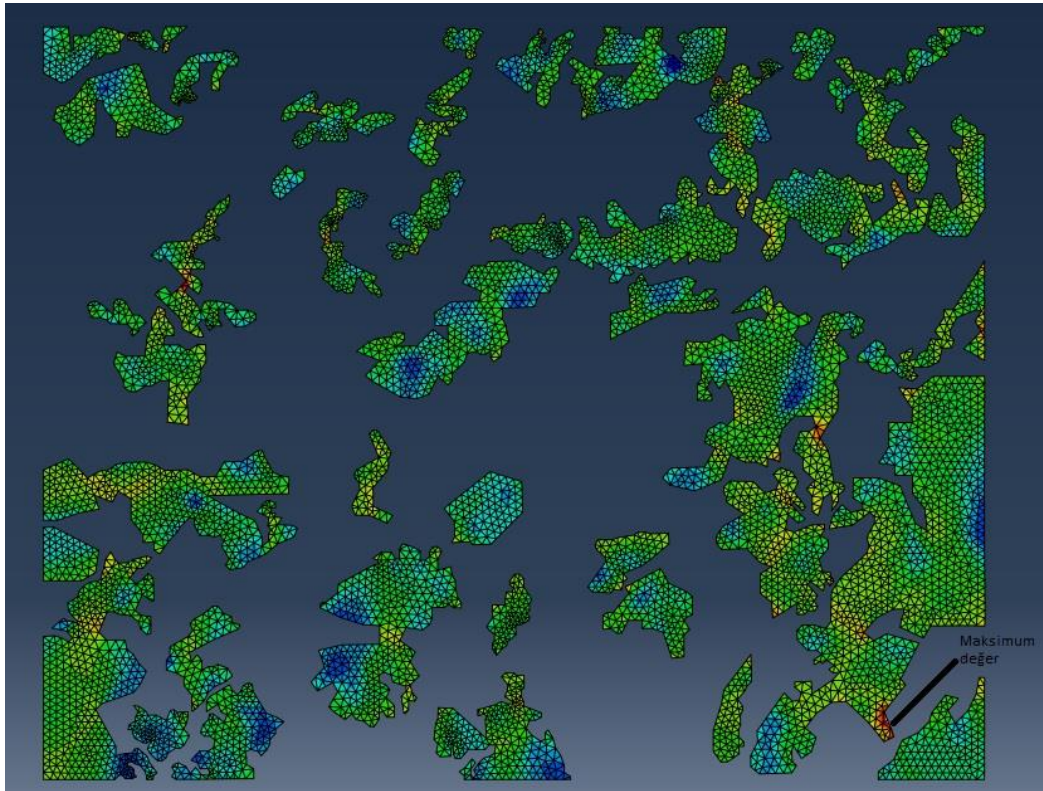


Şekil 5.1: Tüm modellere ait gerilme-genleme eğrilerinin DP600 çekme deneyi sonucunda elde edilen mühendislik gerilme-genleme eğrisi ile karşılaştırılması

Şekil 5.1’de deneysel gerilme-genleme eğrisi model sonuçları ile karşılaştırılmaktadır. Şekil 5.1’de görüldüğü gibi, X yönünde çekilen modele ait sonuç, düşük genleme seviyelerinde deney sonucu ile uyumludur. Y yönünde yüklenen modellere ait sonuçlar ise (gömülü modelin kenarları sınırlandırılmış olanı ve normal katı modelin y yönünde kenarları sınırlandırılmış olanı) büyük genleme seviyelerinde deney sonucu ile daha uyumludur.

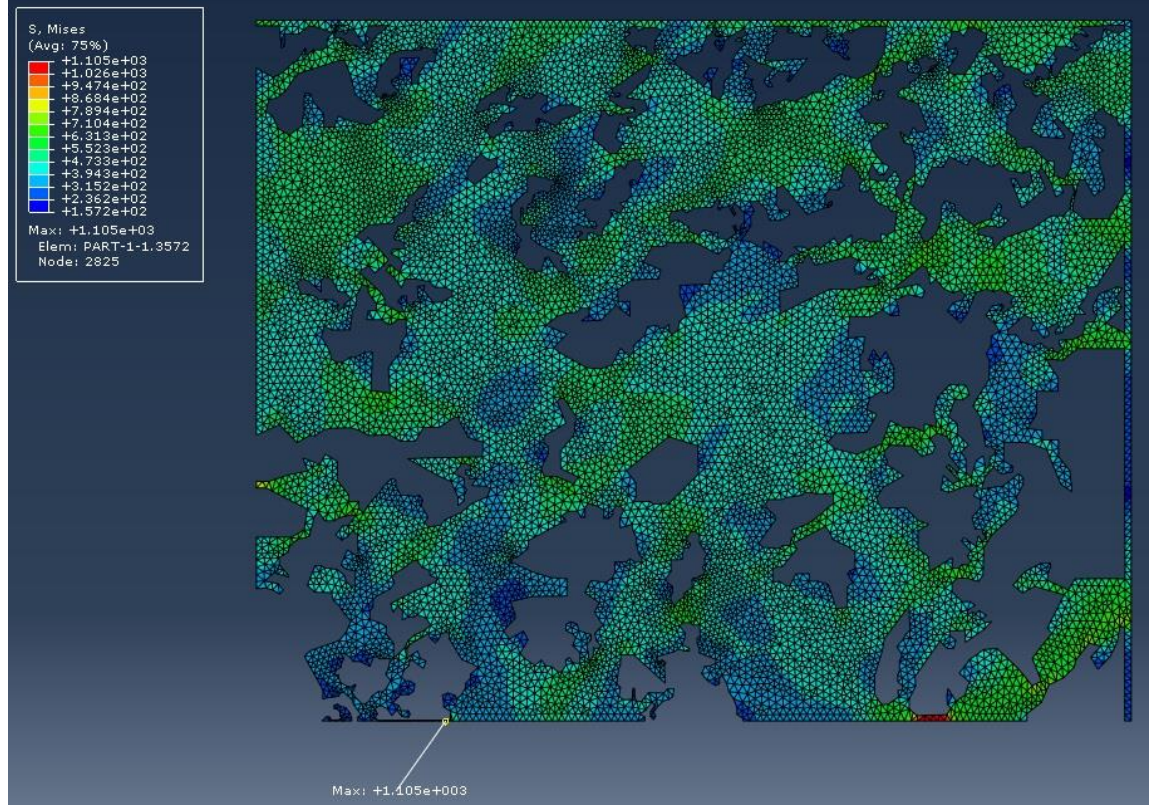
Analizi yapılan tüm modeller içerisinde hem martenzit hem de ferrit fazı için; en büyük eşdeğer gerilme, en büyük hidrostatik gerilme, en büyük plastik birim şekil değişimi değerleri y yönünde kenarları sınırlandırılmış gömülü olmayan modelde gerçekleşip, aşağıdaki şekillerde bu büyüklüklere ait dağılımlar gösterilmektedir.

- Martenzit fazının en büyük eşdeğer gerilme değeri 1467 MPa olup, martenzitteki eşdeğer gerilme dağılımı Şekil 5.2’de görülmektedir.



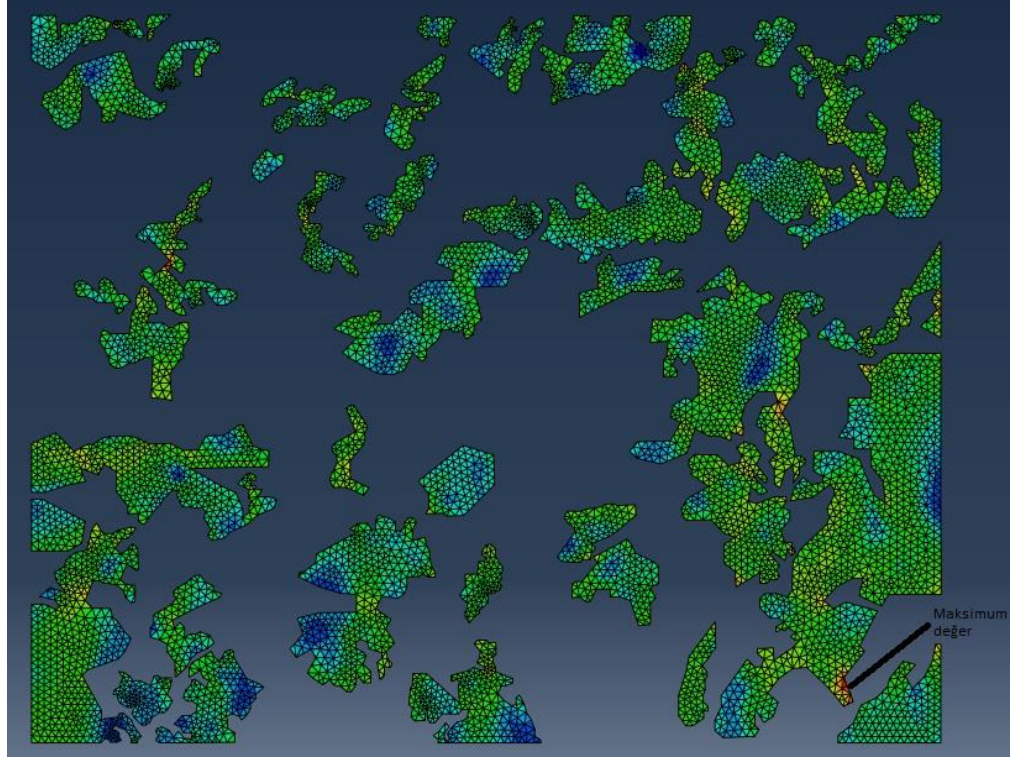
Şekil 5.2: En büyük eşdeğer gerilmenin martenzit fazı için dağılımı

- Ferrit fazının en büyük eşdeğer gerilme değeri 1105 MPa olup, Şekil 5.3’de ferritteki eşdeğer gerilme dağılımı görülmektedir.



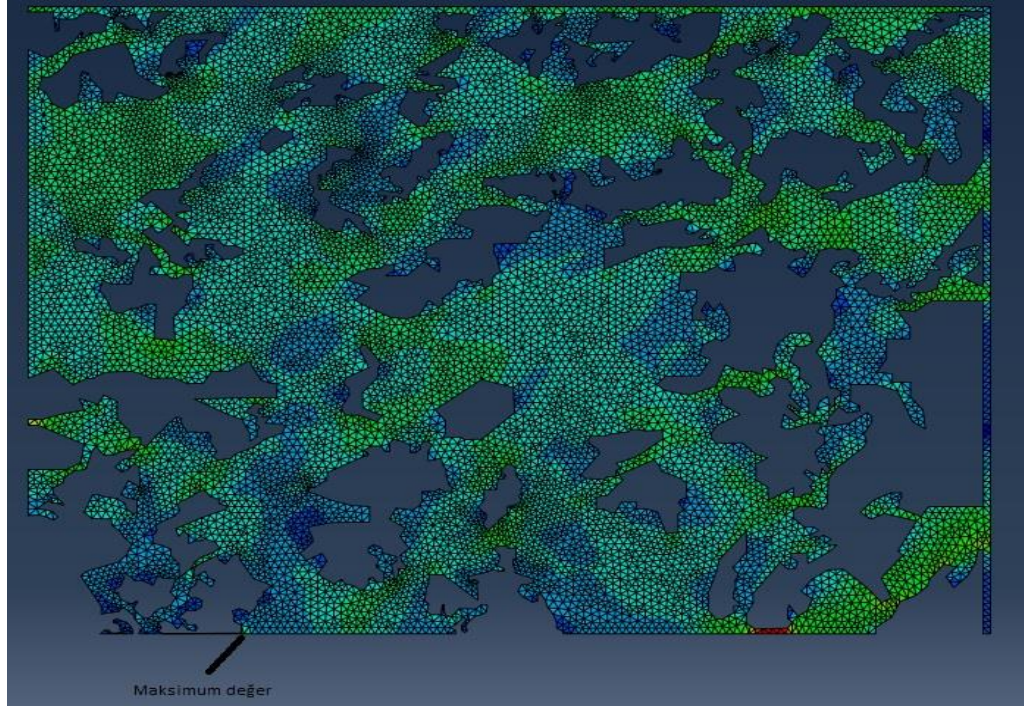
Şekil 5.3: En büyük eşdeğer gerilmenin ferrit fazı için dağılımı

- Martenzit fazının en büyük hidrostatik gerilme değeri 917 MPa olup, Şekil5.4’de martenzitteki hidrosotatik gerilme dağılımı görülmektedir.



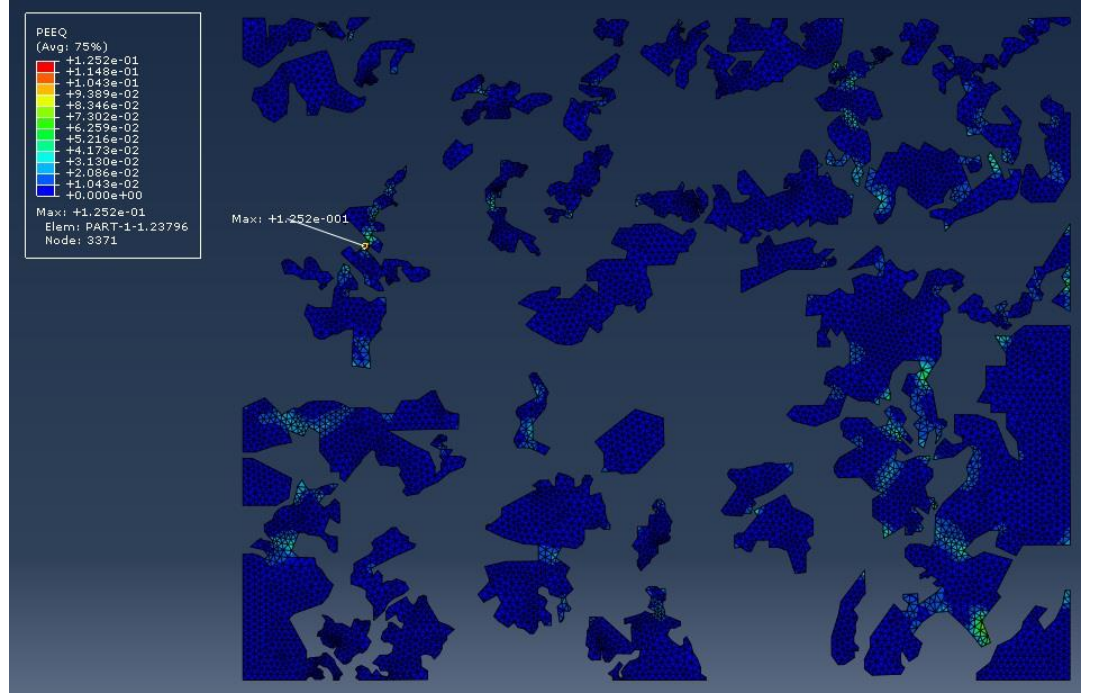
Şekil 5.4: Martenzit fazı için en büyük hidrostatik gerilme dağılımı

- Ferrit fazının en büyük hidrostatik gerilme değeri 910 MPa olup, Şekil 5.5’de ferritteki hidrostatik gerilme dağılımı görülmektedir.



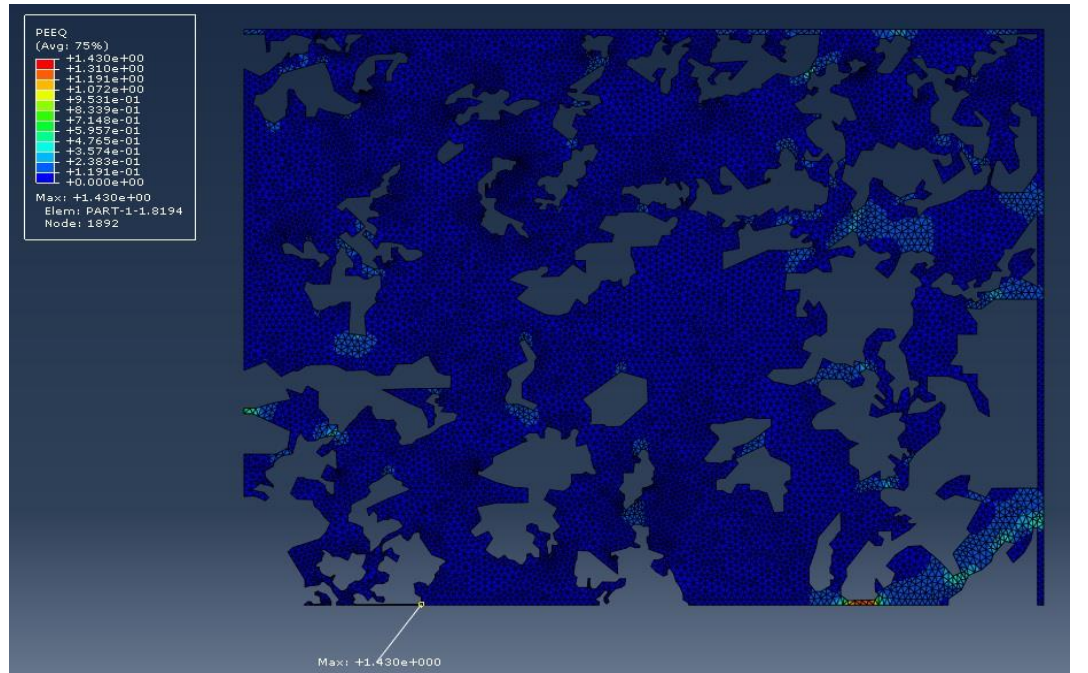
Şekil 5.5: Ferrit fazı için en büyük hidrostatik gerilme dağılımı

- Martenzit fazının en büyük plastik birim şekil değışimi değeri 0.125 olup, Şekil 5.6’da martenzitteki plastik genleme dağılımı görölmektedir.



Şekil 5.6: Martenzit fazı için en büyük plastik birim şekil değışimi dağılımı

- Ferrit fazının en büyük plastik birim şekil değışimi değeri 1.43 olup, Şekil5.7’de feritteki plastik genleme dağılımı görölmektedir.



Şekil 5.7: Ferrit fazı için en büyük plastik birim şekil değışimi dağılımı

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- Bu çalışmada DP600 çeliğinin gerilme-genleme davranışı ve içyapı görüntüsü deneysel olarak belirlenmiştir. İçyapı görüntüsünden hareketle oluşturulan katı modeller aracılığı ile sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak martenzit ve ferrit fazlarında oluşan gerilme-genleme dağılımları incelenmiştir. Beklentilere uygun olarak gerilmelerin martenzit fazında daha yüksek, genlemelerin ise ferrit fazında daha yüksek mertebe olacak şekilde dağıldığı görülmüştür.
- Benzer incelemeler 3 boyutlu bir katı model ile gerçekleştirilip, farklı martenzit hacim oranları için çalışma genişletilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Ulu S. 'Çift Fazlı Çelikler' Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi 2009, (6), 100-113]
- [2] Speich G. R., 1997, "Dual Phase Steels", Heat Treating, ASM Handbook, fifth printing, pp.424-429.
- [3] Llewellyn, D.T. ve Hillis, D.J. "Iron making and Steelmaking 23,471 " (1996)
- [4] 1995, English, Book edition:Steels : microstructure and properties / R. W. K. Honeycombe.
- [5] W. R. Cribb and J. M. Rigsbee, Work-Hardening Behavior and Its Relationship to The Microstructure and Mechanical Properties of DualPhase Steels, in R. A. Kot and J. W. Morris, eds. Structure and Properties of Dual-Phase Steels, AIME (1979) 91-117
- [6] "Formation of Austenite During Intercritical Annealing of Dual-Phase Steels" G.R. Speich, 1981
- [7] Rashid, M. S., 1977, "Relationship Between Steel Microstructure and Formability of Formable HSLA and Dual Phase Steels", Ed. By., Davenport, A.T., AIME, pp. 1-26.
- [8] Davies, R.G., 1978, "Influence of Martensite Composition and Content on The Properties of DualPhaseSteels", Metallurgical Transactions, Vol.18A, pp. 671-679.
- [9] Gordion, L., Mutteazzi, P., Tiziani, A., and Zambon, A.,1991, "Retained Austenite Variation in Dual-Phase Steel After Mechanical Stressing and Heat Treatment", Material Science and Engineering. Vol. A/31, pp. 215-219.

[10] Kim, N. J., Thomas, G., 1981, “Effect of Morphology on Mechanical Behaviour of Dual-Phase Fe/2Si/0,1 C Steel”, Metallurgical Transactions, Vol. 12 A, pp. 483-489.

[11] Hayami, S., Furukuwa, T., 1975, “A Family of Strength Cold Rolled Steels”, Proceedings of MicroAlloying(International Symposium on HSLA) Washington D.C., pp. 311–320.

[12] “Metals Handbook”, Vol:8, 8th Edition, Ohio, 1973

[13] İ. A.E.Geçkinli, “Metalografi”, I. Kısım, İ.T.Ü. Yayını sayı 1391, İstanbul, 1989.

[14] Etching Techniques for the microstructural characterization of complex phase steels by light microscopy, F. Hairer, A. Karelova, C. Krempaszky, E. Werner, T.Hebesberger,2008

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Berkay ERGENE
Doğum Yeri ve Tarihi : Üsküdar, 08.09.1990
E-Posta : berkay_ergene@hotmail.com



ÖĞRENİM DURUMU :

- **Lisans** : 2008-2012, Namık Kemal Üniversitesi, Makine Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2012-2015, İstanbul Teknik Üniversitesi, Katı Cisimlerin Mekaniği Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER :

2013 yılından bu yana Arş. Gör.

Namık Kemal Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölüm İkcılığı