



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

DP600 Çeliğine Uygulanan Kesme ve Hassas Kesme İşleminin Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak İncelenmesi

 Fatih HELİMERGİN^a,  Nuri ŞEN^{b,*}

^a Kompozit Malzeme Teknolojileri Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^{b,*} Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: nurisen@duzce.edu.tr

DOI : 10.29130/dubited.659183

ÖZET

Otomotiv sanayii başta olmak üzere, metal şekillendirme işlemlerinin yapıldığı sektörlerde kesme işlemi yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Kesme işleminden sonra gerçekleştirilen form verme işleminde istenmeyen yırtılmalar oluşmaktadır. Bu oluşumlar kesme işlemi tamamlandıktan sonra oluşan ve istenmeyen mikro ve makro düzeyde çatlaklardan kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada, kesme işleminde oluşan çatlakları minimum seviyeye indirmeye çalışılmıştır. Soğuk şekillendirme esnasında malzemede oluşan mikro ve makro boyuttaki çatlakları önlemek için her geçen gün kullanımı artan hassas kesme yönteminin önemini simufact forming V16 sonlu elemanlar yöntemi (SEY) programı kullanılarak sanal ortamda hem kesme hem de hassas kesme yöntemi deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, yüksek mukavemetli çeliklerden olan 1 mm kalınlığındaki çift fazlı DP600 sac malzeme kullanılmıştır. Sanal ortam deneylerinde kullanılan malzemeye ait akma noktası, çekme dayanımı, % uzama değerleri çekme testlerinden elde edilmiştir. Çalışmada ayyıldız figürlü kalıp tasarlanmış ve sanal ortam deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda kesme yönteminin ve hassas kesme yönteminde kullanılan farklı yükseklikteki v çentikli baskı bileziğinin malzemede meydana getirdiği gerilme, kavislenme genişliği ve derinliği, çapak yüksekliği değerleri incelenmiştir. Ayrıca v çentikli baskı bileziği hassas kesmedeki önemi ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Hassas kesme, Yüksek mukavemetli çelikler, Simufact forming, DP600

Investigation of Cutting and Fine Blanking Applied to DP600 Steel by Using Finite Element Method

ABSTRACT

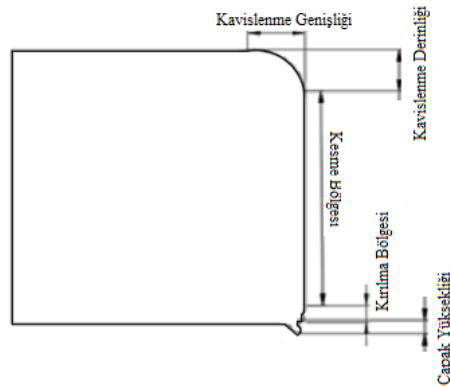
Cutting is commonly used in the sectors where metal forming processes are performed particularly in the automotive industry. Undesirable tears occur in the forming process after cutting-process. These formations are due to the undesirable micro and macro-level cracks after the cutting process completed. In the present paper, it is tried to decrease the cracks to a minimum level in the cutting process. In order to observe the micro and macro size cracks in the material during cold-forming process, the importance of the fine blanking method which is increasing in use every day; however, has been started to be widespread in Turkey, has been performed by using simufact forming V16 finite element method (FEM) software. In the tests, double phase DP 600 sheet material of 1 mm thick which is one of the high strength steels was used. Yield point, tensile strength, % elongation values used in virtual media tests were taken from the tensile test results of the sample. In this study, the mold of the figure "star and crescent" was designed and virtual medium experiments were performed. As a result of the tests,

the stress, width and depth and notch height values of cutting method and different notched v-ring which are used in the fine blanking method are investigated. In addition, the importance of the v-notched ring for fine blanking has been demonstrated in the study.

Keywords: Fine blanking, High-strength steels, Simufact forming, DP600

I. GİRİŞ

Özel bir kesme yöntemi olan hassas kesme, parçaların pürüzsüz bir geometri, mikro ve makro düzeyde çatlak veya yırtılma içermeyen kenarların ortaya konulmasıdır. Bir başka deyişle ikincil operasyona gerek duyulmadan kalıplarla üretildiği ileri ve hassas bir sac şekillendirme yöntemidir[1]. İşlem esnasında sacın kesiminden ziyade yüksek basınç etkisi altında sıkıştırılması söz konusudur. Çünkü kesme işleminde, parça kırılma ve kopma ile ayrılmaktadır. Burada ise ilke olarak farklılık söz konusudur ve yöntem sayesinde hassas sac parçaları kırılma kenarı karakteristiklerini göstermeden ve tek bir operasyon ile elde edilmesi mümkün olabilmektedir. İşlem hem kesme hem de delme operasyonu olarak uygulanabilmektedir [2]. Kesme evresi boyunca, malzemenin kesilme alanındaki çekme gerilmesi yükselir. Baskı geometrisinin batmasıyla, baskı gerilmeleri meydana gelir ve bu da kesme alanındaki malzeme akışında oluşan çekme gerilmelerini engellemektedir. Ayrıca baskı bileziği, kaydırma etkisi yapan yatay kuvvetlerden kaynaklanan riskleri de azaltmaktadır. V çentikli baskı bileziği kılavuz yüzeyinde veya kalıp yüzeyinde ya da sadece ikisinden birinde bulunabilir. V çentikli baskı bileziğinin boyutlandırılması çeşitli deneyler sonucunda elde edilmiştir ve optimum batma derinliği bulunmuştur.[3]. Hassas kesme işleminde birbirinden bağımsız üç ayrı kuvvet vardır [4]. Bu kuvvetler F_R çökertme kuvveti, F_G karşı zımba kuvveti ve F_S kesme kuvvetidir [5]. Hassas kesme kalıbındaki diğer önemli bir parametre ise kesme boşluğudur. Kesme boşluğu; zımba ile dişi kalıp arasındaki tek taraflı boşluğa denir. Kalıplarda kesme boşluğu verilmezse özellikle zımba gereğinden fazla zorlanır ve düzgün bir kesme yapamaz. Kesme boşluğu kesme ağızları boyunca her tarafta eşit olmalıdır. Böylece istenmeyen çapaklar oluşmaz ve kalıp ömrü uzar [6]. Dişi kalıp plakası ve zımbaların tasarımında kesme boşluğu, kesilen malzemenin cinsi, kalitesi ve kalınlığı, zımbaların boyutları, şekli ve tasarlanan kalıbın hassasiyeti dikkate alınarak belirlenir. Zımba ve dişi kalıp arasındaki kesme boşluğu, imal edilen parçanın kalitesine etki etmektedir. Kesme boşluğunun seçimi, zımba ve kalıba aktarılması önemlidir [7]. Malzeme kesildikten sonra kesilen yüzeyde hasar bölgeleri oluşmaktadır. Şekil 1’de hasar bölgeleri gösterilmiştir.



Şekil 1. Malzemenin kesilmesinden sonra oluşan hasar bölgeleri

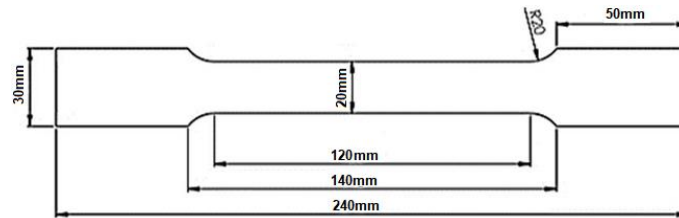
Taşdemir sonlu elemanlar analizi kullanarak yaptığı çalışmada hassas kesme işleminde kalıp boşluğunun artmasıyla erken kırılmanın olduğunu, kavislenme genişliği ve derinliği, kalıp boşluğu arttıkça arttığını, sac kalınlığının artmasıyla kavislenme genişliği ve derinliği de önemli ölçüde arttığını, kesme boşluğu arttıkça gerilme dağılımının arttığını ortaya koymuştur [8]. Küçük Türk AA5754 sac

malzemesinin kesme kalıpları ile kesilmesinde kesme boşluğu ve saç kalınlığının (zımba batma derinliği, kesme düzlüğü derinliği, çapak yüksekliği ve kesme kuvveti) üzerindeki etkisini araştırmıştır. Kesme boşluğunun artmasıyla zımba batma derinliğinin arttığı, kesme boyu düzlüğünü azaltmasıyla kesme yüzey kalitesinin olumsuz etkilediğini ve kesme boşluğu değeri arttıkça çapak yüksekliğinin arttığını ortaya koymuştur [9]. Kwak ve arkadaşları, zımbanın kesme işleminde V çentikli baskı bileziğinin kesilmiş yüzey üzerindeki etkisine araştırılmıştır. V çentik yüksekliği ne kadar yüksekse kesmenin hidrolik gerilimi o kadar fazla olduğunu, V çentik yüksekliği ne kadar yüksek olursa kavislenme genişliği ve derinliği o kadar küçük olduğunu ve bunun sonucunda düzgün kesilmiş yüzey ürünleri elde etmenin mümkün olduğunu ortaya koymuştur. V çentikli baskı bileziği zımbayla dışı kalıp arasında sacı sıkıştırmasıyla, çapak bölgesi artar ve kavislenme genişliği ve derinliği azalır [10]. Kwak ve arkadaşları 2002 yılında sonlu elemanlar yöntemi kullanarak kesme boşluğunun kesme düzlemi ve kayma düzlemi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Kesme boşluğu arttırıldığında, malzemenin kesme şeridi büyüdüğü ve daha erken kopmaya yol açtığını, kavislenme genişliği ve derinliğinin arttığı, kesme boşluğunun azaltılmasıyla da kırılma bölgesinin derinliği azaltıldığı ve kesme bölgesi derinliğinin arttığını ortaya koymuştur [11]. Bu çalışmada, hassas kesme yöntemiyle kesme kalıbı arasındaki sabit kesme boşluğunda v çentik yüksekliğinin malzemede meydana getirdiği gerilme, zımba kuvveti ve sıyrılcı plaka üzerine etkileyen kuvvet karşılaştırılmıştır.

II. MATERYAL VE METOT

A. MALZEME

Yeni nesil araçlarda özellikle elektrikli araçların dış ve iç aksamaları karmaşık yapılardan oluşmaktadır. Bu yapıları üretmek için gelişmiş makine ve teçhizatlar ve akıllı imalat yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Tasarım veya üretim safhasında oluşması muhtemel hataların kayıpları maddi ve iş gücü anlamında büyük olmaktadır. Bu durumundaki kayıpları minimize etmek veya ortadan kaldırmak için kalıp imalatında ve şekillendirme işlemine geçmeden önce tasarım aşamasındayken özellikle şekillendirmede kullanılan sonlu elemanlar yöntemi (SEY) tercih edilmelidir. Bu SEY'in kullanılmasıyla kalıp tasarımının doğruluğu, doğru sac malzemenin seçimi, şekillendirmede ortaya çıkabilecek hataları ortaya konulmasında fayda sağlayacaktır. Aynı zamanda, zaman ve maliyet açısından önemli derecede tasarruf sağlayacaktır. Çalışmada, ticari olarak temin edilmiş 1 mm kalınlığında olan DP600 sac malzeme kullanılmıştır. Çekme testi numunelerinin hazırlanmasında ısı girdisini önlemek için su jeti marifetiyle numuneler hazırlanmıştır. Çekme testlerinde kullanılan numunenin resmi Şekil 2'de verilmiştir. 100 kN luk UTEST marka tek eksen çekme test cihazıyla elde edilen kimyasal bileşimler Tablo 1'de ve mekanik özellikler ise Tablo 2'te verilmiştir.



Şekil 2. Çekme testi numune ölçüleri

Tablo 1. DP 600 Malzemesinin kimyasal özellikleri

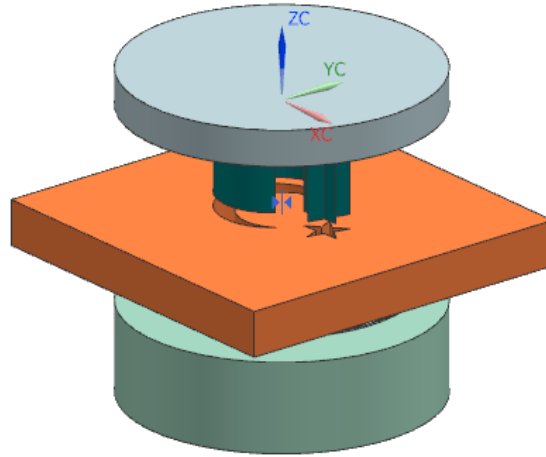
Malzeme	Kimyasal Özellik							
	(wt.%)							
	C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	Ti
DP 600	0,093	0,225	0,823	0,012	0,012	0,053	0,014	0,007

Tablo 2. DP 600 Mekanik özellikleri

Gerilme Oranı (S^{-1})	Sıcaklık ($^{\circ}C$)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
0.01	25	399	611

Yapılan analizlerden elde edilen malzemenin kimyasal ve mekanik özellikleri simufact programına girilerek simülasyon sonuçları incelenmiştir. Gerçek çekme testlerinden elde edilen veriler programa girilmiştir. Kütüphanedeki stok malzemesi kullanılmamıştır. Bu şekilde, gerçek ortam deneylerinin benzerlik oranının artırılması hedeflenmiştir

Simülasyon, 25 $^{\circ}C$ oda sıcaklığında gerçekleştirildi. Ayrıca, zımba, matris ve sıyırıcı plaka sürtünme koşulları, coulomb sürtünme yasasına göre 0,15 olarak tanımlanmıştır. Analizlerde Şekil 3'te görülen kesme kalıbı düzeneği kullanılmıştır.



Şekil 3. Analizlerde kullanılan kesme kalıbı deney düzeneği

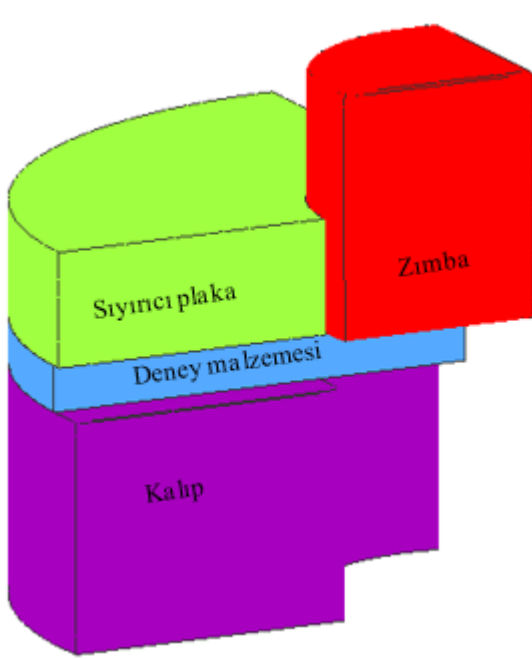
B. SONLU ELEMENLER ANALİZLERİ

Sonlu elemanlar analizleri metal şekillendirme için tasarlanmış olan simufact forming V16 fine blanking modülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha önceden çekme testleriyle elde edilen DP600'e ait mekanik özellikler analiz programına girilmiştir. Deney malzemeleri 1mm kalınlığında, 92 mm çapında dairesel olarak tasarlanmıştır. Hassas kesme ve kesme kalıbında kesme boşluğu tek taraflı 0.031 mm olarak sabit tutulmuştur. Sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan DP600 malzemesinin hesaplama parametreleri Tablo 2'de verilmiştir. Analiz sürecinde programa girilen analiz verileri Tablo 3'te verilmiştir.

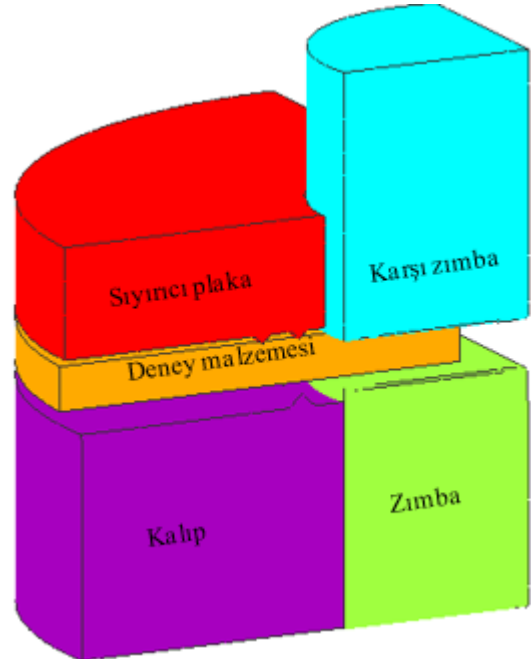
Tablo 3. Analiz verileri

Parametre	Değer
Nesne türü	İş parçası: Elastoplastik; Kalıp/Sıyırıcı plaka/Zimba : Rigid
İş parçası	DP600 (çift fazlı çelik)
Tek taraflı kesme boşluğu	0,031 mm
Kalıp kuvveti	100 kN
Karşı zimba kuvveti	50 kN
Sürtünme katsayısı	0,15
Cockroft latham kırılma değeri	2
Zimba hızı	40 mm/s
Eleman boyutu ve tipi	0,09 (kaba); Quads(dörtgen)

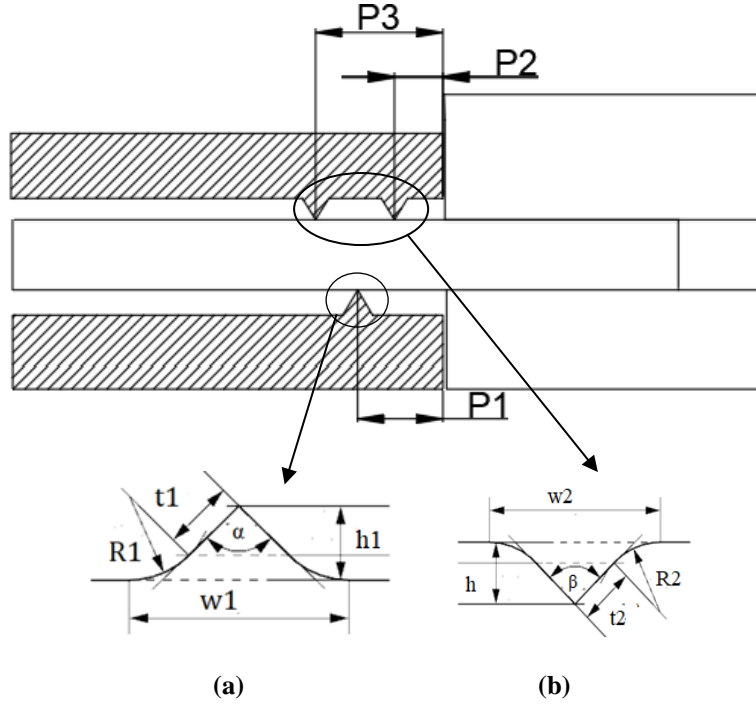
Kesme deney düzeneği Şekil 4’te verilmiştir. Hassas kesme deney düzeneği Şekil 5’te verilmiştir. Hassas kesme kalıbında kullanılan dışı kalıpta bulunan v çentik değerleri ve sıyırıcı plakada bulunan v çentik değerleri tablo 4’te verilmiştir. Hassas kesmede önemli olan noktalardan bir tanesi v çentik yüksekliği olan h1 değeridir. Bu çalışmada h1 yüksekliği olarak Tablo 4’te verilen değerler kullanılmıştır.



Şekil 4. Kesme kalıbı



Şekil 5. Hassas kesme kalıbı

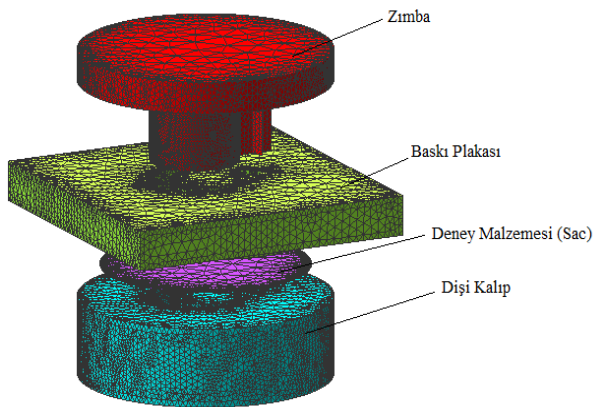


Şekil 6. Hassas kesmede kullanılan (a) kalıp v çentikli baskı bileziği geometrisi (b) sıyrıcı plaka v çentikli baskı bileziği geometrisi

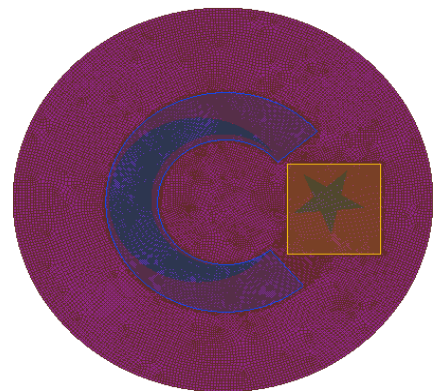
Tablo 4. V baskı bileziği geometrik ölçüleri(mm)

Parametre	h1	h	w1	w2	t1	t2	α	β	P1	P2	P3
Değerler	0,2 0,4 0,6 0,8	0,5	1,2	1,5	0,5	0,6	90°	60°	2	1,5	2,5

Şekil 7’de deney düzeneğinin mesh yapısı görülmektedir. Şekil 8’de ise iş parçasının mesh türü Quadtree olarak belirlenmiş ve element tipi olarakta Quads(dörtgen) kullanılmıştır ve 4474 adet element sayısına sahiptir. Ay yıldız figürün yüzeyine refinement boxes (cartesian full) mesh eklenmiştir. Cartesian full mesh, kesme sonuçlarının daha doğru olması için gereklidir.



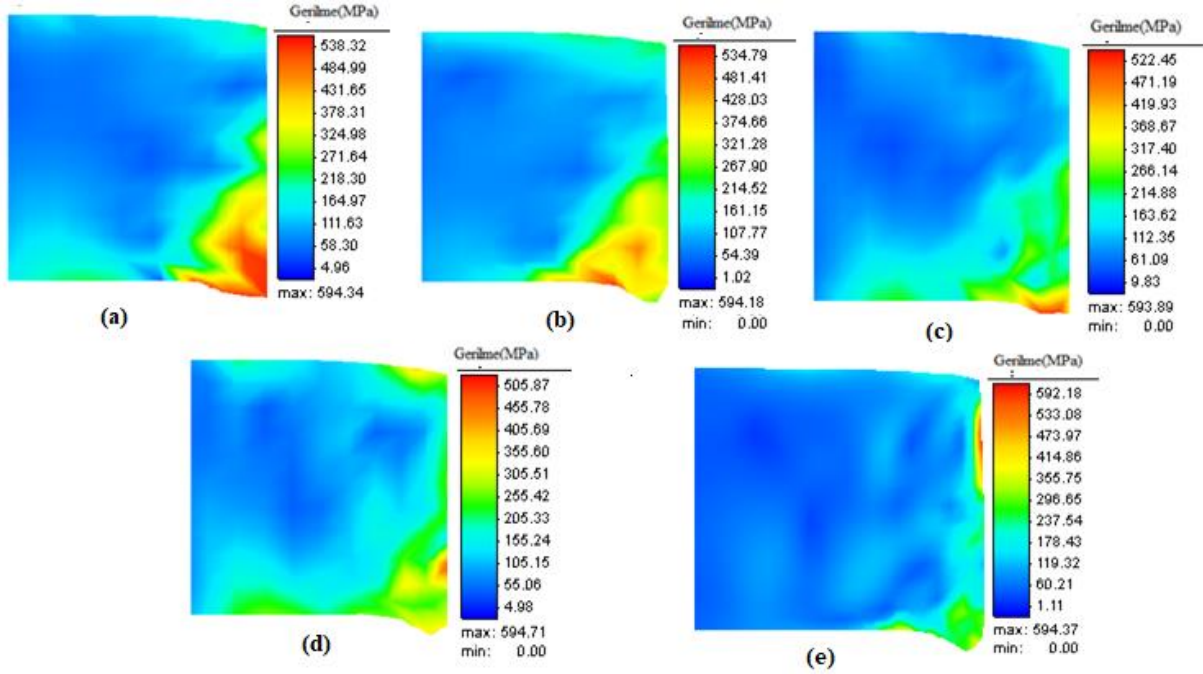
Şekil 7. Analizlerde kullanılan kesme kalıp takımı ağ yapısı



Şekil 8. Deney geometrisi ağ yapısı

III. DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, DP600 malzemesi için simufact forming V16 sonlu elemanlar programı kullanılarak sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucu elde edilen gerilme değişimleri Şekil 9'da, hassas kesme yönteminde kullanılan farklı yükseklikteki v çentikli baskı bileziğinin zımba kuvvetine etkisi Şekil 10 'da verilmiştir. V çentik yüksekliğinin kavışma derinliğine ve genişliğine etkisi sırasıyla Şekil 11 ve Şekil 12'de ve yine farklı yükseklikteki v çentikli baskı bileziğinin sıyrıcı plaka kuvvetine ve çapak yüksekliğine etkisi sırasıyla Şekil 13 ve Şekil 14'te gösterilmiştir.

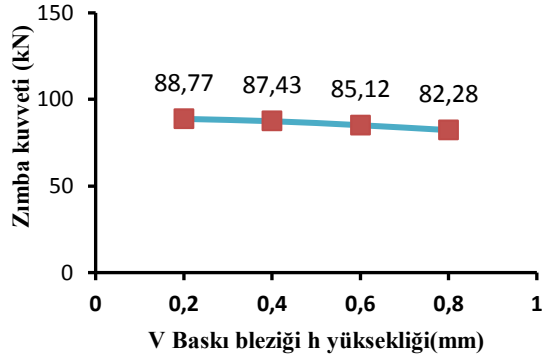


Şekil 9. V baskı bileziği yüksekliğinin ve kesme yönteminin gerilmeye etkisi (a) 0.2mm (b) 0.4mm (c) 0.6 mm (d) 0.8 mm (e) kesme yönteminin gerilmeye etkisi

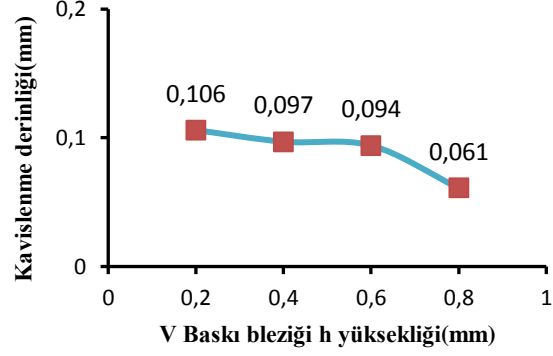
Hassas kesmenin önemini açıklamak ve hassas kesme kalıbının daha iyi anlaşılabilmesi için analizler kesme kalıpları ile de desteklenmiştir. Şekil 9 a. b. c. ve d. 'de farklı yükseklikteki v çentikli baskı bileziği ölçülerinde deney malzemesinde meydana getirdiği gerilmeler görülmektedir. Burada en yüksek gerilme miktarı 0.2 mm yüksekliğindeki v çentik geometrisinde meydana gelmiştir ve 538.22 MPa olarak ölçülmüştür. 0.2 mm yüksekliğe sahip v çentikli baskı bilezikli kalıpta yüksek gerilme çıkmasının sebebi malzemenin yanall yükler nedeniyle sürtünme gerilmesinin ve temas basıncının artmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Ayrıca Şekil 9.e'de kesme kalıbıyla yapılan analiz sonucu görülmektedir. Yapılan analiz sonucunda 592.25 MPa'lık bir gerilme oluşmuştur. Kesme yöntemiyle yapılan analiz sonucunun yüksek çıkmasının sebebi deney malzemesinin kesilmeden çok koparak şerit malzemesini terk etmeye çalışmasıdır. Kopmaya zorlanan deney malzemesi zımbada bulunan radyüs yardımıyla üst radyüs bandı oluşturur. Kalıp boşluğuna itilen deney malzemesi burada kalıp radyüsü vasıtasıyla alt radyüs bandı oluşturur. Burada kalıp tarafından deney malzemesine yüksek miktarda direnç kuvveti uygulanır. Zımba kuvveti direnç kuvvetini yendiği anda deney malzemesi şerit malzemedan ayrılır. Direnç kuvveti ne kadar yüksekse burada meydana gelen gerilmede o kadar yüksektir.

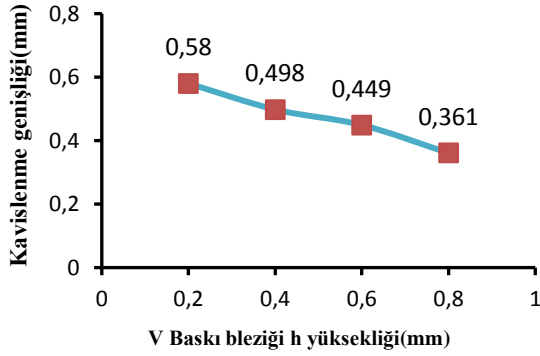
Gerilme değeri maksimum seviyeye her iki kesme yöntemi için iş parçasının deformasyonu sonucu dışı kalıptan ayrıldığı sırada çıkmıştır. Deney malzemesi kenarı boyunca ise büyük bir değişme göstermemiştir.



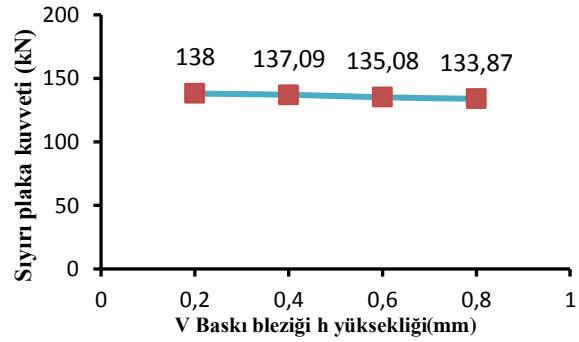
Şekil 10. V baskı bileziği h yüksekliğinin zımba kuvvetine etkisi



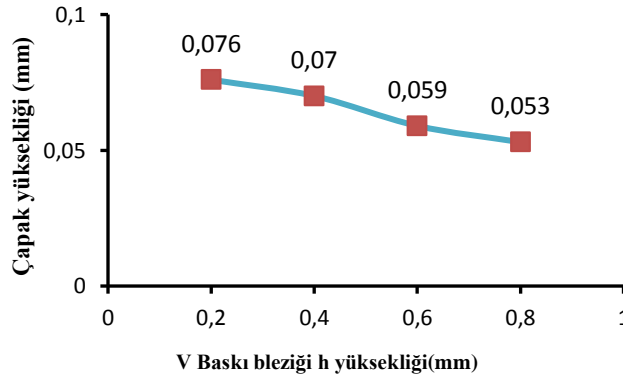
Şekil 11. V baskı bileziği geometrisinin kavislenme derinliğine etkisi



Şekil 12. V baskı bileziği geometrisinin kavislenme genişliğine etkisi

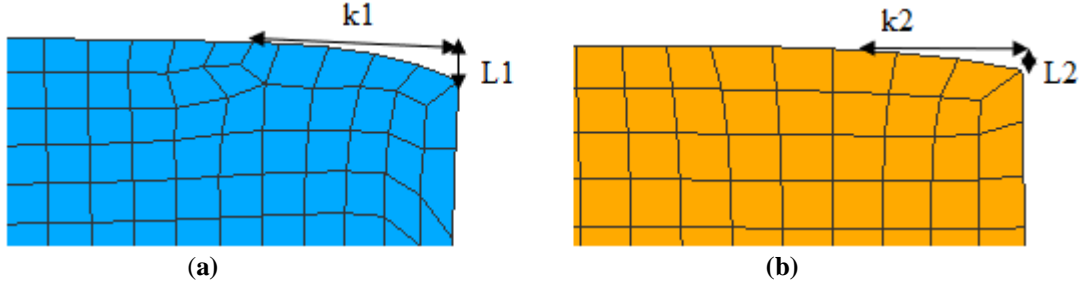


Şekil 13. V baskı bileziği geometrisinin sıyrıcı plaka kuvvetine etkisi



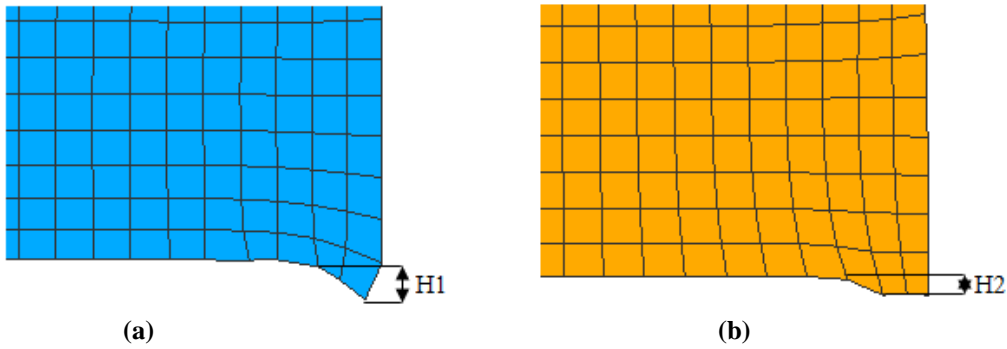
Şekil 14. Hassas kesme kalıbı v baskı bileziği geometrisinin çapak yüksekliğine etkisi

Analiz gerçekleştirilirken hassas kesme kalıbında bulunan karşı zımba'ya 50 kN ve dişi kalıba 100 kN'luk kuvvet uygulanmıştır. Analizde ayrıca farklı yükseklikteki v çentikli baskı bileziğine sahip dişi kalıbın sıyrıcı plakaya olan kuvvet etkisi, karşı zımbanın ise zımbaya olan kuvvet etkisi incelenmiştir. Şekil 10'da 0,2 mm yüksekliğe sahip v çentik geometrisinde 88,77 kN'luk zımba kuvveti oluşmuştur. Bunun nedeni 0,2 mm yüksekliğine sahibi v çentik geometrisinin zımbanın deney malzemesine temas ettiği anda yanıl kuvvetlere karşı koyamaması ve malzemeyi sabit tutmaması sonucunda yüksek miktarda kavislenme derinliği ve genişliği oluşturmasıdır. Bu durum malzemenin kesim yüzeyinde yüksek oranda deformasyon meydana getirmiştir. Şekil 13'te kalıbın sıyrıcı plaka üzerindeki kuvvet etkisi görülmektedir. Burada en yüksek sıyrıcı plaka kuvveti 0,2 mm yüksekliğindeki v çentik geometrisinde meydana gelmiştir.



Şekil 15. (a) Kesme kalıbı kavışlenme genişliği($k1$)=0,725mm ve derinliği($L1$)=0,157mm (b) 0,4 mm v çentik yüksekliğine sahip hassas kesme kalıbında kavışlenme genişliği($k2$)=0,498mm ve derinliği($L2$)=0,097mm

Kesme kalıplarında malzeme kesildikten sonra soğuk şekillendirmeye girdiği seri üretimlerde üretim hatası olarak bilinen ve hassas kesme ile kesmeyi birbirinden ayıran bir başka faktörde kavışlenme derinliği ve genişliğidir. Kavışlenme derinliği ve genişliği kesme kalıbında daha fazla görülmektedir. Kavışlenme derinliği ve genişliği malzemede mikro ve makro boyutta çatlak oluşumunda etkilidir. Şekil 11 ve şekil 12’de v çentikli baskı bileziği geometrisinin kavışlenme derinliğine ve genişliğine etkisini görülmektedir. V çentik yüksekliği kavışlenme derinliği ve genişliğiyle ters orantılıdır. V çentik yüksekliği artıça kavışlenme derinliği ve genişliği düşmektedir. Şekil 15.a’da kesme yöntemiyle elde edilen analiz sonucu görülmektedir. Kesme yönteminde kavışlenme derinliği ve genişliği sırasıyla 0,725 mm ve 0,157 mm ölçülürken, Şekil 15.b’de 0,4 mm yüksekliğine sahip v çentikli hassas kesme yönteminde kavışlenme genişliği ve derinliği sırasıyla 0,498 mm ve 0,097 mm ölçülmüştür. Hassas kesme yöntemi kavışlenme genişliğinde % 32 kavışlenme derinliğinde ise %38’lik azalma sağlamıştır. Bununla birlikte kesme kalıbı ile üretilen malzemede eğilme oluşmuş, hassas kesmede ise bu şekil bozukluğu oluşmamıştır. Bu durum boyut hassasiyeti açısından hassas kesme işleminin ne derece önemli olduğunu göstermektedir.



Şekil 16. (a) Kesme yöntemiyle elde edilen çapak yüksekliği($H1$)=0,109 mm (b) 0,4 mm v çentik yüksekliğine sahip hassas kesme kalıbında elde edilen çapak yüksekliği($H2$)=0,070 mm

Deney malzemesi şerit malzemeyi terk ederken her iki yöntemde de çapak bırakmaktadır. Bu durum hassas kesmede daha az miktardadır. Çapak istenmeyen bir durumdur ve çapağın malzemeden uzaklaştırmak için ilave olarak birtakım üretim proseslerine ihtiyaç vardır. Şekil 16.a’da kesme yöntemiyle yapılan analiz sonucunu görülmektedir. Kesme yönteminde çapak yüksekliği 0,109 mm olarak ölçülmüştür. Şekil 16.b’de 0,4 mm yüksekliğe sahip v çentikli hassas kesme yöntemi görülmektedir. Burada ise 0,070 mm yüksekliğinde bir çapak mevcuttur. Kesme yönteminde çapak yüksekliğinin daha fazla çıkmasının sebeplerinde biride malzemenin koparak şerit malzemeyi terk etmesidir.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada, hassas kesme ve kesme yöntemiyle 1 mm kalınlığındaki DP 600 soğuk haddelenmiş çelik malzemenin her iki kalıpta ve hassas kesme yönteminde bulunan farklı V çentik yüksekliğindeki gerilme, zımba kuvveti, sıyrıcı kuvvet, kavislenme genişliği ve derinliği, kesme sonucunda malzemede meydana gelen çapak yükseklikleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Kesme kalıbında parça kopma anında matris kenarı boyunca uzayarak radyüs bandı oluşturmuştur.
2. Kesme kalıbıyla elde edilen deney malzemesinde 0,109 mm uzunluğunda çapak oluşturmuştur.
3. Kesme kalıbında parça koparak şeridi terk etmiştir.
4. Hassas kesme yöntemiyle yapılan analizde maksimum çapak yüksekliği 0,2 mm yüksekliğe sahip V çentik geometrisinde 0,076 mm olarak ölçülürken, minimum çapak yüksekliği 0,8 mm yüksekliğe sahip V çentik geometrisinde 0,053 mm olarak ölçülmüştür.
5. Hassas kesme kalıbı V çentikli baskı bileziği sayesinde parçayı koparmadan kesmiştir.
6. Hassas kesme kalıbında 0,2 mm yüksekliğe sahip V çentik geometrisinde 88,72 kN'luk en yüksek zımba kuvvetine sahipken, minimum zımba kuvveti 82,28 kN olarak 0,8 mm yüksekliğindeki V çentikte ölçülmüştür.
7. V çentiğinin yüksekliği arttıkça zımba kuvveti azalmıştır.
8. V çentiğinin yüksekliği arttıkça kavislenme genişliği ve derinliği düşmektedir.
9. Hassas kesme ile elde edilen parçada kavislenme derinliği ve genişliği kesme kalıbıyla elde edilen parçaya göre daha düşüktür.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2019.06.05.901). Ayrıca Simufact forming V16 analiz programının lisanslanmasında yaptıkları destekten dolayı NETFORM Mühendislik Makina Metal San. ve Tic. Ltd. Şti., Mert AYGİN ve Ali Baran METE'ye teşekkür ederiz.

V. KAYNAKLAR

- [1] Ü.B. Darıcı, "Hassas Kesme ve Kalıpları," İstanbul Teknik Üniversitesi, 1998.
- [2] M. Murat, "Hassas Kesme Kalıplarında Kesme Olayını Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi," Sakarya Üniversitesi, 1999.
- [3] S. F. Feintool, "Achieving success with fineblanking Maximum cost-efficiency with systems and services from a single source," c. October, ss. 1–20, 2012.
- [4] S. F. Golovashchenko, "A study on trimming of aluminum autobody sheet and development of a new robust process eliminating burrs and slivers," *Int. J. Mech. Sci.*, cilt. 48, c. 12, ss. 1384–1400, 2006.
- [5] A. T. Güneş, *Pres İşleri Tekniği Cilt-2*. Ankara: Makine Mühendisleri Odası, 2002.
- [6] Milli Eğitim Bakanlığı, *Kılavuz Plakalı Delme Kesme Kalıpları 1*. Ankara, 2012.
- [7] H. Wang, "Cam fine blanking technology and die design," *Procedia Eng.*, cilt. 15, ss. 137–141, 2011.

- [8] V. Taşdemir, “Hassas Kesme İşlemine Malzeme Kalınlığı ve Kalıp Boşluğunun Etkisinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi,” *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Derg.*, cilt. 10, c. 2, ss. 127–134, 2018.
- [9] G. Küçüktürk, “AA5754 Malzemenin Kesme İşlemlerinde Kesme Boşluğunun Ürün Kalitesi Etkilerinin Deneysel İncelenmesi Ve Bulanık Mantık İle Tahmini,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Derg.*, cilt. 31, c. 2, ss. 285–294, 2016.
- [10] T. S. Kwak, Y. J. Kim, M. K. Seo, and W. B. Bae, “The effect of V-ring indenter on the sheared surface in the fine-blanking process of pawl,” *J. Mater. Process. Technol.*, cilt. 143–144, c. 1, ss. 656–661, 2003.
- [11] T. S. Kwak, Y. J. Kim, and W. B. Bae, “Finite element analysis on the effect of die clearance on shear planes in fine blanking,” *J. Mater. Process. Technol.*, cilt. 130, c. 131, ss. 462–468, 2002.