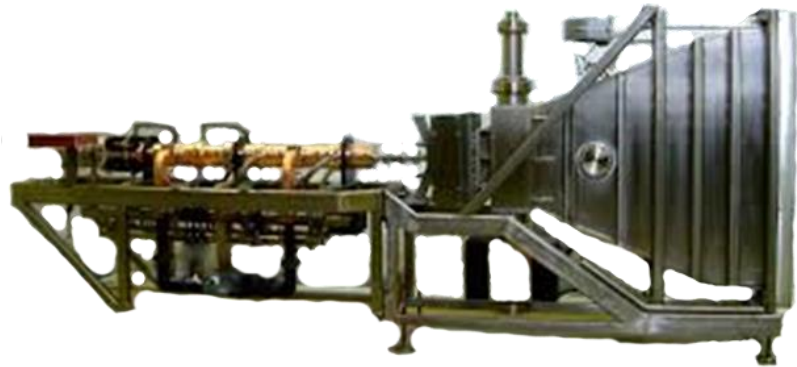
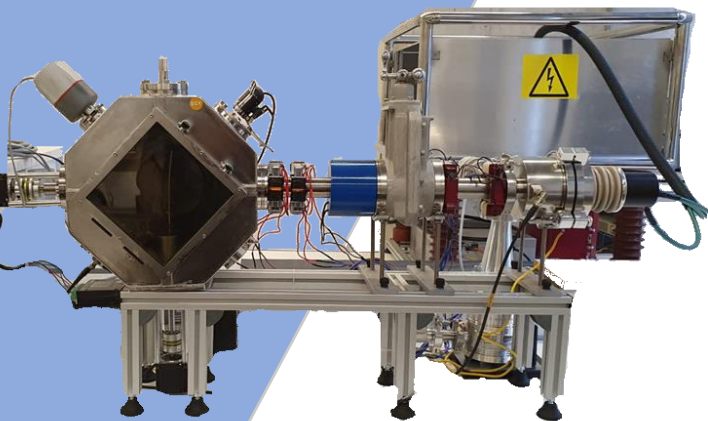
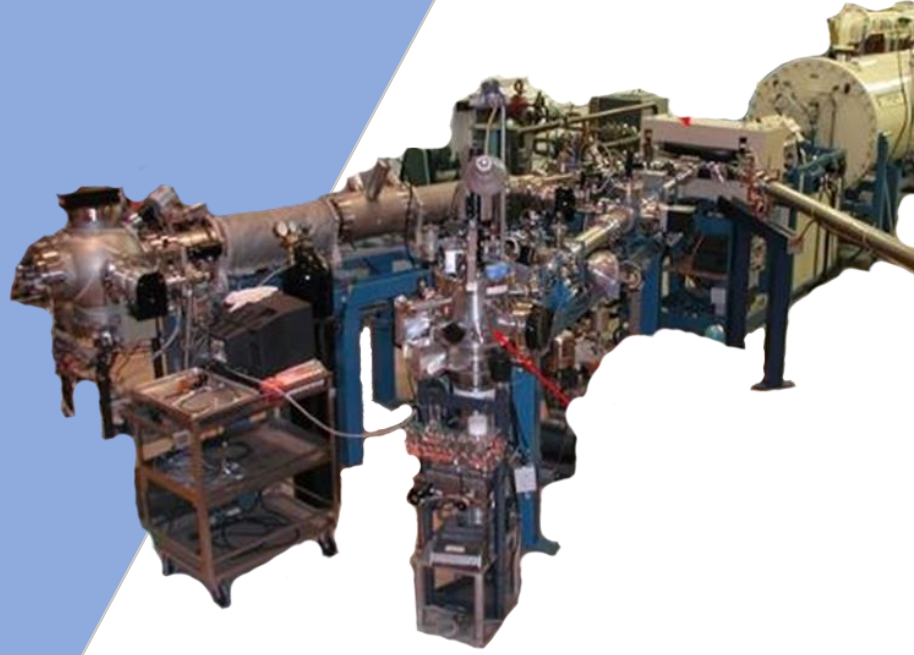


PARÇACIK HIZLANDIRICILARI VE TOGG



KAPAKTA BULUNAN GÖRSELLER

Sol üstte: Rhodotron 7 MeV elektron demeti üretici

<https://www.iba-industrial.com/downloads/sterilization-of-medical-devices/17>

Sağ üstte: İyon aşılama cihazı (Auburn University 2 MV Pelletron Accelerator)

<https://www.auburn.edu/cosam/departments/physics/department/laboratories/accelerator/index.htm>

Ortada: TOGG arabası

<https://www.togg.com.tr/>

Sol altta: Elektron tabancası (TOBB ETÜ YEF Laboratuvarı)

Boğaziçi Üniversitesi KAHVELab ile ortak yapılmıştır.

Sağ altta: MeV enerjili lineer elektron hızlandırıcısı

<https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.3586049>

Yer: TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara

Tarih: 15 Aralık 2020

HAZIRLAYANLAR

TOBB ETÜ Mühendislik Fakültesi Fen Bilimleri Enstitüsü Öğrencileri:

Çağlanaz AKIN, Mikro ve Nanoteknoloji Doktora Programı

Esra BEDİR, Mikro ve Nanoteknoloji Yüksek Lisans Programı

Tuluhan Olcayto ÇOLAK, Mikro ve Nanoteknoloji Doktora Programı

Burak DAĞLI, Mikro ve Nanoteknoloji Yüksek Lisans Programı

Osman Emre DELİALİOĞLU, Mikro ve Nanoteknoloji Yüksek Lisans Programı

Mehmet KARAHAN, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Doktora Programı

Didem ÖZKAYA, Mikro ve Nanoteknoloji Yüksek Lisans Programı

Arda UÇOK, Mikro ve Nanoteknoloji Yüksek Lisans Programı

DANIŞMAN

Prof. Dr. Saleh SULTANSOY, TOBB ETÜ Öğretim Üyesi

Member of the ATLAS, LHeC and FCC Collaborations at CERN

Member of Plenary ECFA

(European Committee for Future Accelerators)

İÇERİK

	Sayfa
Önsöz	1
1. Parçacık Hızlandırıcılarının Otomotiv Sektörde Kullanımı (O. E. DELİALİOĞLU)	3
2. Polimer Malzemelerin Elektron Demeti İle Çapraz Bağlanması (E. BEDİR)	11
3. X Işınları Kullanarak Kompozit Kürleme Yöntemi (B. DAĞLI)	22
4. Elektron Demeti ile Kaynak Yöntemi (Ç. AKIN)	32
5. Elektron Demeti ile Yüzey Sertleştirme (A. UÇOK)	43
6. Yarı İletkenlerde İyon Aşılması (M. KARAHAN)	52
7. İyon Aşılama ile Yüzey Sertleştirme (T. ÇOLAK, D. ÖZKAYA)	66

ÖNSÖZ

Parçacık hızlandırıcıları stratejik teknolojiler arasında istisnai bir yere sahiptir [1-5]. Hızlandırıcılar olmadan temel araştırmalarda ve teknolojinin birçok alanında atılım yapmak imkansızdır. ABD Enerji Bakanlığının 2003 yılında yayınladığı beyanının özet kısmı bu şekildedir [2]:

“Accelerators underpin every activity of the Office of Science and, increasingly, of the entire scientific enterprise. From biology to medicine, from materials to metallurgy, from elementary particles to the cosmos, accelerators provide the microscopic information that forms the basis for scientific understanding and applications.”

Gelişmiş ülkeler GSMH'lerinin en az %2'sini Ar-Ge'ye harcıyor ve Ar-Ge harcamalarının yaklaşık %2'sini hızlandırıcı teknolojileri ve uygulamalarına ayırıyor. Bu kapsamda Türkiye hızlandırıcılara her yıl en azından 320 milyon dolar harcamalıdır. Maalesef, gerçek harcamamız yıllık 10 milyon doların altındadır.

Sayın Cumhurbaşkanımızın himayesinde başlatılan Türk elektrikli araba üretimi (TOGG) programı ülkemiz ve bölgemiz için istisnai öneme sahiptir. Bu bakımdan TOGG üretiminde en ileri düzey teknolojilerin kullanılması elzemdir.

TOBB ETÜ Doktora ve Yüksek Lisans öğrencilerinden oluşan bir grup tarafından MBN524 “Parçacık Hızlandırıcıları ve Uygulamaları” dersinin 2020 Güz döneminde proje olarak hızlandırıcıların otomotiv sektörde kullanımı ile ilgili bir fizibilite çalışması gerçekleştirildi.

Bu Bilgi Notunda parçacık hızlandırıcılarının (keV ve MeV enerjili elektron demetleri, iyon implantasyonu vb) otomotivde kullanımı ile ilgili son durum irdelenerek, Dünyanın önde gelen otomobil firmalarının hızlandırıcı kullanımı ile ilgili örnekler verilecektir.

Benzer çalışmaların diğer ileri teknolojiler (lazer, plazma vb) için de yapılması gerektiğini düşünüyoruz. Bunların hepsinin TOGG çerçevesinde uygulanması şart olmayabilir, ama dünyadaki son gelişmeleri takip ederek gereken adımları atmak zorundayız.

Prof. Dr. Saleh SULTANSOY, TOBB ETÜ Öğretim Üyesi

KAYNAKÇA

1. S. Sultansoy, “Parçacık Hızlandırıcıları: Dün, Bugün, Yarın”, Çağrılı konuşma, 1.Ulusal Parçacık Hızlandırıcıları ve Uygulamaları Kongresi, 25-26 Ekim 2001, TAEK, Ankara. https://indico.tarla.org.tr/event/48/sessions/698/attachments/609/105/s._sultansoy-_parcacik_hizlandiricilari_duen_buguen_yarin.pdf
2. Office of Science Occasional Paper (2003) “Accelerator Technology for the Nation” https://www.fnal.gov/pub/forphysicists/doe_occasional_papers.html
3. S. Sultansoy, “Accelerator Technology for the Mankind”, Invited Talk at the Fourth Eurasian Conference on Nuclear Science and its Applications, Baku, Azerbaijan, 31 October - 03 November, 2006. <https://arxiv.org/abs/physics/0611076>
4. Web sayfası: Accelerators for America’s Future, <http://www.acceleratorsamerica.org/>; https://science.osti.gov/-/media/hep/pdf/files/pdfs/Accel_for_Americas_Future_final_report.pdf
5. Web sayfası: Accelerators for Society, <http://www.accelerators-for-society.org/>

Parçacık Hızlandırıcılarının Otomotiv Sektörde Kullanımı

Osman Emre DELİALİOĞLU

1. HIZLANDIRICI NEDİR

Parçacık hızlandırıcıların tümü, potansiyel farktaki (voltaj) yüklü bir parçacığın bu potansiyel fark boyunca hızlandırılacağı basit fikrine dayanır. Bu ivme, bir kütlenin düştüğü zaman yere doğru düştüğü ivmesine benzer. Potansiyel bir farkta yüklü bir parçacığın ivmesini, potansiyel bir farkın içinden 'düşen' parçacık olarak düşünebiliriz.

Bir hızlandırıcı, protonlar veya elektronlar gibi yüklü parçacıkları yüksek hızlarda, ışık hızına yakın bir şekilde iter. Daha sonra bir hedefe veya ters yönde dolaşan diğer parçacıklara çarpılırlar. Bu çarpışmaları inceleyerek, fizikçiler sonsuz küçük dünyayı inceleyebilirler.



Şekil 1.1: Stanford Doğrusal Hızlandırıcı Kompleksi.

2. HIZLANDIRICI UYGULAMA ALANLARI [1]

Bugün dünyada çalışan 40000 hızlandırıcının yarısı sanayide kullanılmaktadır. Bunların en yaygın mikro-elektronik alanında yarıiletken aletlerin yapımı için kullanılan iyon implantatörlerdir. Bir diğer yaygın kullanım alanı da kimya sanayisinde polimerlerin modifikasyonudur. Yüzey modifikasyonu için kullanılan hızlandırıcılar da bulunmaktadır.



Şekil 2.1: İyon İmplantatör Sistemi.

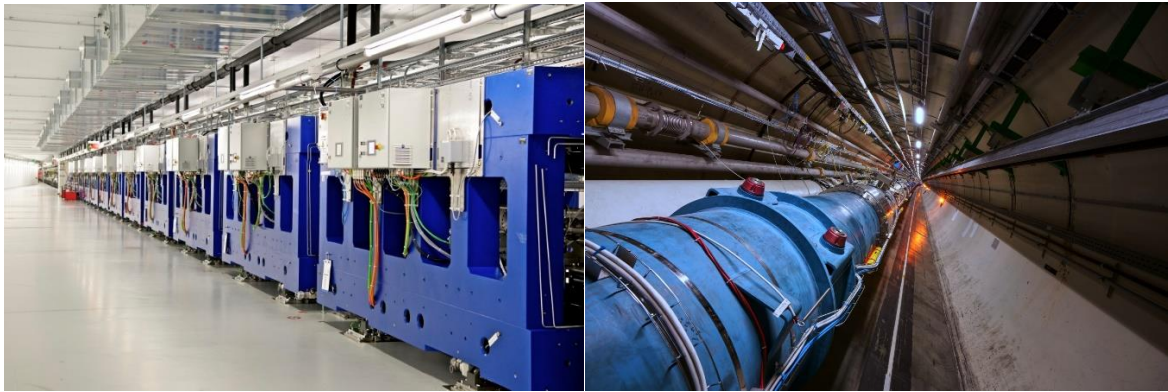
Sayısal bakımdan ikinci sırada tıp alanında kullanılmakta olan hızlandırıcılar gelmektedir. Bunların en yaygını tümör tedavisinde kullanılan elektron doğrusal hızlandırıcılarıdır. İkinci ve üçüncü sırayı izotop üretimi için kurulmuş siklotronlar ve tümör tedavisinde kullanılan proton hızlandırıcıları almaktadır. Sonuncu ise çok önemli bir gelişme olarak tümör tedavisinde kullanılan hafif çekirdek hızlandırıcılarıdır.



Şekil 2.2: Medikal Amaçlı Elektron LINAC'ı.

Malzeme bilimi, kimya, biyoloji alanlarında temel ve uygulamalı araştırmalara yönelik hızlandırıcıları iki sınıfa ayırabiliriz:

- sinkrotron ışınımı kaynakları ve serbest elektron lazerleri
- hadron (proton ve çekirdek) hızlandırıcıları ve bunlardan alınan ikincil demetler (nötron, mezon, muon vb.)



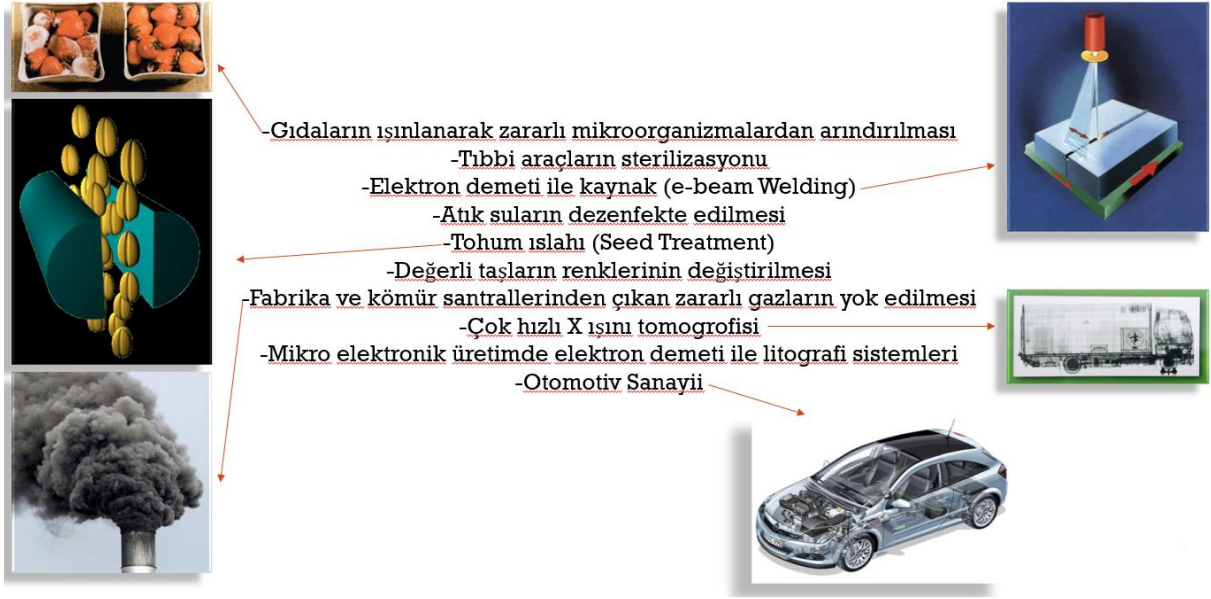
Şekil 2.3: SwissFEL X-ışını S.E.L.(solda) ve CERN Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (sağda).

3. SAYISAL OLARAK HIZLANDIRICI KULLANIM ALANLARI

Tablo 3.1: 2017 Yılı Aktif Hızlandırıcı Sayıları [2].

Area	Application	Beam	Accelerator	Beam energy/MeV	Beam current/ mA	Number
Medical	Cancer therapy	e	linac	4-20	10^{-2}	>14000
		p	cyclotron, synchrotron	250	10^{-6}	60
		C	synchrotron	4800	10^{-7}	10
	Radioisotope production	p	cyclotron	8-100	1	1600
Industrial	Ion implantation	B, As, P	electrostatic	< 1	2	>11000
	Ion beam analysis	p, He	electrostatic	<5	10^{-4}	300
	Material processing	e	electrostatic, linac, Rhodatron	≤ 10	150	7500
	Sterilisation	e	electrostatic, linac, Rhodatron	≤ 10	10	3000
Security	X-ray screening of cargo	e	linac	4-10	?	100?
	Hydrodynamic testing	e	linear induction	10-20	1000	5
Synchrotron light sources	Biology, medicine, materials science	e	synchrotron, linac	500-10000		70
Neutron scattering	Materials science	p	cyclotron, synchrotron, linac	600-1000	2	4
Energy - fusion	Neutral ion beam heating	d	electrostatic	1	50	10
	Heavy ion inertial fusion	Pb, Cs	Induction linac	8	1000	Under development
	Materials studies	d	linac	40	125	Under development
Energy - fission	Waste burner	p	linac	600-1000	10	Under development
	Thorium fuel amplifier	p	linac	600-1000	10	Under development
Energy - bio-fuel	Bio-fuel production	e	electrostatic	5	10	Under development
Environmental	Water treatment	e	electrostatic	5	10	5
	Flue gas treatment	e	electrostatic	0.7	50	Under development

4. ELEKTRON HIZLANDIRICILARININ SANAYİDE KULLANIM ALANLARI

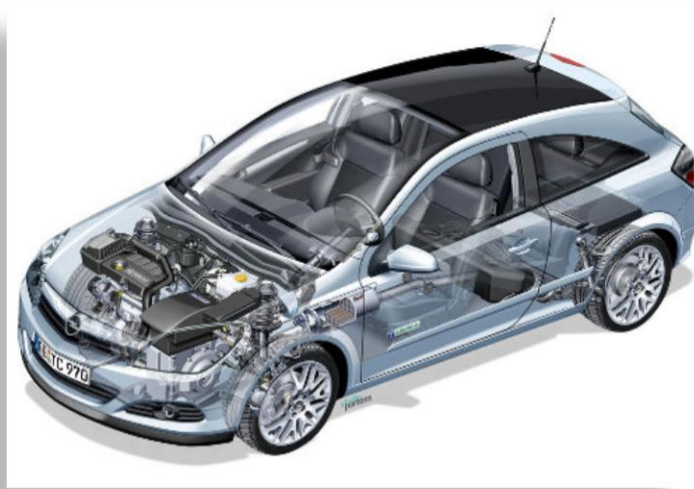


Şekil 4.1: Endüstride Elektron Hızlandırıcıları.

5. HIZLANDIRICILARIN OTOMOTİVDE KULLANIMI

Son yıllarda parçacık hızlandırıcılarının otomotivde kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. Dünyanın öncül araba üreten firmaları elektron ve iyon demetlerinin üretimde kullanılmasına ve ilgili Ar-Ge çalışmalarına özel bütçeler ayırmaktadır.

Parçacık hızlandırıcılarının arabanın çeşitli kısımlarında kullanımı ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir [4].



Şekil 5.1: 2007 Opel Astra GTC Hibrit Konsepti.

5.1 Motor

> **Turbo:** Turboşarj üreticileri, geleneksel kaynak tekniklerinden elektron demet kaynağına geçiyor. Bu teknik, tamamen otomatik hale getirilebilir ve kaynak sonrası işlemler gerekli olmadığından, geleneksel kaynağa göre daha ucuz ve daha az zaman alıcıdır.

> **Yüksek Performanslı İletken Kablo Yalıtımı:** Motor gibi arabanın sıcak bölgelerindeki elektrik kablolarını korumak için gereken plastik yalıtım elektron demetleriyle çapraz bağlanmıştır. Polimerlerin çapraz bağlanması, plastiğin ısıtıldığında erimek yerine büzülmesini sağlar.

> **Eksantrik Mili, Valfler, Pistonlar, Tahrik Halkaları, Krank Mili, Külbütör Kolları ve Dişliler:** Frenlere benzer şekilde, motorun birçok parçası iyon aşılmasıyla yüzey sertleştirmeden faydalanabilir. Tahrik halkaları ve dişliler gibi birçok parça, dayanıklılığı artırmak için elektron demet kaynağına tabi tutulabilir.

5.2 Gövde, Kaporta, Tampon ve Çamurluk

Otomobil gövde ve panelleri için çelik ve alüminyum gibi metaller yerine karbon fiber kompozitler kullanmak, arabanın yapısal bütünlüğünü korurken ağırlığını önemli ölçüde azaltabilir. %80'e varan ağırlık azalışı, yakıt verimliliğinin iki katına çıkarılmasıyla sonuçlanabilir. Bu günlerde birçok otomobil çamurlukları için karbon fiber kompozitler kullanıyor. Bu karbon fiber parçaların güçlendirilmesi, parçacık hızlandırıcıların x-ışınları ürettiği x-ışını işlemi ile yapılabilir.

5.3 Ön Panel

> **Hava Yastığı Ateşleyici Kartuşlar:** Geleneksel kaynak teknikleri yerine elektron ışını kaynağı kullanmak, hava yastığı ateşleyici kartuşların kaynak yapılmasını en iyi hale getirebilir.

> **Elektronik:** Günümüzde kullandığımız tüm elektronik cihazların kalbinde yarı iletkenler vardır. Bu yarı iletkenler, hızlandırıcılar kullanılarak iyon aşılama ile üretilir.

5.4 İç Kısım

> **Plastik Polietilen Sünger:** Arabanın iç kısmının koltuklarında, kapılarında ve tavanında kullanılan plastik köpük, yine elektron demetleri kullanılarak ısıtılan şişirici maddelerle köpük üreten elektron demetleri kullanılarak çapraz bağlanır

5.5 Tekerlek Bileşenleri

Lastiklerde kullanılan kauçuk, yüksek enerjili elektron demetleri kullanılarak üretilir. Aşılama ve çapraz bağlama polimerlerinden oluşan bu işlem; geleneksel, kimyasal olarak başlatılan/desteklenen işlemlere göre daha ucuz ve daha çevre dostudur.

Tablo 5.1: Hızlandırıcı Kullanan Endüstriyel Süreçlerle Üretilen Parçalar.

ENDÜSTRİYEL SÜREÇLER		ARABA PARÇALARI
Malzemeyi elektron demeti ile ışınlama yöntemi (Işınlama İşlemi)	Polimerlerin çapraz bağlanması	Yüksek performanslı elektrik telleri izolasyonu Plastik (Polietilen [PE]) köpük Lastik bileşenleri
	Kompozitlerin X ışınları ile kürlenmesi	Çamurluk Gövde çerçevesi Paneller
Malzemeye elektron demeti ile ısıtım işlem uygulama yöntemi (Isıtım İşlemi)	Kaynaklama	Dişliler Sürücü halkaları Rot başları Turboşarj Hava yastığı ateşleyici Kartuşları
	Isıtım İşlemi (Yüzey Sertleştirme amaçlı)	Eksantrik mili
İyon aşılama yöntemi	Yarı iletkenlere iyon aşılama	Elektronikler
	Metallere iyon aşılama (Yüzey sertleştirme amaçlı)	Eksantrik mili Valfler Pistonlar Krank mili Külbütör çekiçleri Fren balataları Fren diskleri Fren kaliperleri

KAYNAKÇA

1. S. Sultansoy, “Parçacık Hızlandırıcıları: Dün, Bugün, Yarın”, Çağrılı konuşma, 1.Ulusal Parçacık Hızlandırıcıları ve Uygulamaları Kongresi, 25-26 Ekim 2001, TAEK, Ankara.
https://indico.tarla.org.tr/event/48/sessions/698/attachments/609/105/s._sultansoy-_parcacik_hizlandiricilari_duen_buguen_yarin.pdf
2. EuCARD “Applications of Particle Accelerators in Europe” 2017, [EuCARD-Applications-of-Accelerators-2017.pdf](http://www.euCARD.org/EuCARD-Applications-of-Accelerators-2017.pdf) (iiaglobal.com) sayfa 13
3. Web sayfası: Accelerators for America’s Future, <http://www.acceleratorsamerica.org/>;
[https://science.osti.gov/media/hep/pdf/files/pdfs/Accel for Americas Future final report.pdf](https://science.osti.gov/media/hep/pdf/files/pdfs/Accel%20for%20Americas%20Future%20final%20report.pdf)
4. Araba üretiminde hızlandırıcılar, <http://www.accelerators-for-society.org/case-studies/case-study-car.php>
5. Tel ve Kablo Yalıtımı, <https://www.symmetrymagazine.org/cms/pid=1000806> [2010]
6. Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA), *Emerging Applications of Radiation Processing*, sayfa 119 [2004]
7. M.R. Cleland, R.A. Galloway, D. Montoney, D. Dispenza, A.J. Berejka, *Raditation Curing of Composites for Vehicle Components and Vehicle Manufacture*
8. Elektron Demet Kaynağı, <http://www.camvaceng.com/turbochargers.asp>,
<http://www.pfeiffer-vacuum.com/markets/industry/electron-beam-welding/container.action>
9. Yüzey Sertleştirme, <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=552>
10. Amerikan Malzeme Topluluğu (ASM), *Surface Hardening of Steels: Understanding the Basics*
11. Kangok Lee, Gyuyeop Lee, Kyeongho Han, Jaedek Han, Kiehyung Chung, *Cellulose Modification Study by E-Beam Irradiation & Its Applications* [2008]
12. Benzin, <http://www.claremontclimatereport.com/2010/03/irradiating-future-of-biofuel-using.html> (Claremont Climate Report, 2010)

13. Robert W. Hamm and Marianne E. Hamm, Eds., “Introduction to the Beam Business” in *Industrial Accelerators and Their Applications* (World Scientific, Singapore, 2012), ISBN-13 978-981-4307-04-8.

Polimer Malzemelerin Elektron Demeti İle Çapraz Bağlanması

Esra BEDİR

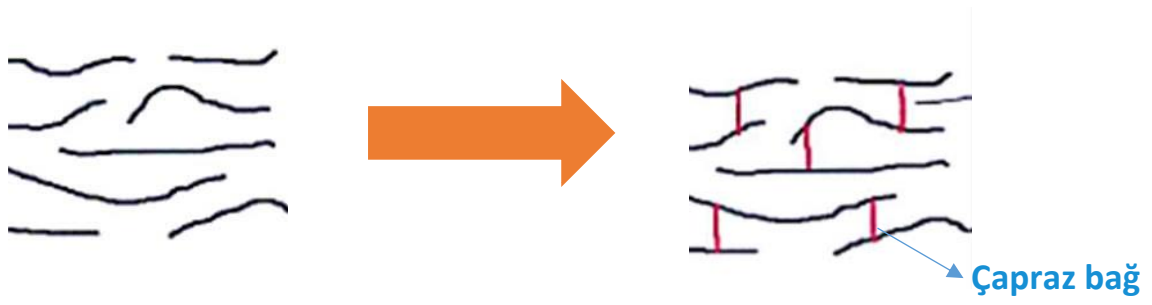
1. GİRİŞ

Elektron demeti ile polimerlerin çapraz bağlanma yönteminin dünya çapında en büyük pazarını otomotiv endüstrisi oluşturmaktadır. Bu raporda otomobilin motor kablolarında ve egzoz çevresinde kullanılan yalıtılmış tel ve kabloların elektron demeti ile çapraz bağ yapısını ve bunun polimere sağladığı gelişmeler anlatılacaktır. Ayrıca araba tekerlek malzemesinin ana maddesi olan kauçuğun da elektron demeti ile çapraz bağ yapısı ve bunun kauçuğa sağladığı katkılara değinilecektir. Bunlara ek olarak otomotiv endüstrisinde en çok kullanılan polimer olan polietilenin (PE) genel özelliği ve çapraz bağ yapısı ile beraber PE'nin ve yine otomotivde sık kullanılan polimer olan polivinilklorürün (PVC) elektron demeti ile çapraz bağlanmadan sonraki ısıya karşı dayanıklılığının arttığı karşılaştırma tablosu verilmiştir. Bütün bu bilgilerle beraber elektron hızlandırıcısının yapısı, elektron demeti ile çapraz bağlanma esnasında elektronun hareketi ve çapraz bağlanma yapısı, çapraz bağlanma yöntemlerinin karşılaştırılması, elektron demeti ile çapraz bağlanma yaparken temel iki parametre olan voltaj ve radyasyon dozunun etkisi, elektron demetinin kullanımının dünya çapındaki yeri ve en son elektron demeti ile çapraz bağlanmanın avantajlarına ve dezavantajlarına değinilmiştir.

2. POLİETİLEN POLİMERİ VE ÇAPRAZ BAĞ YAPISI

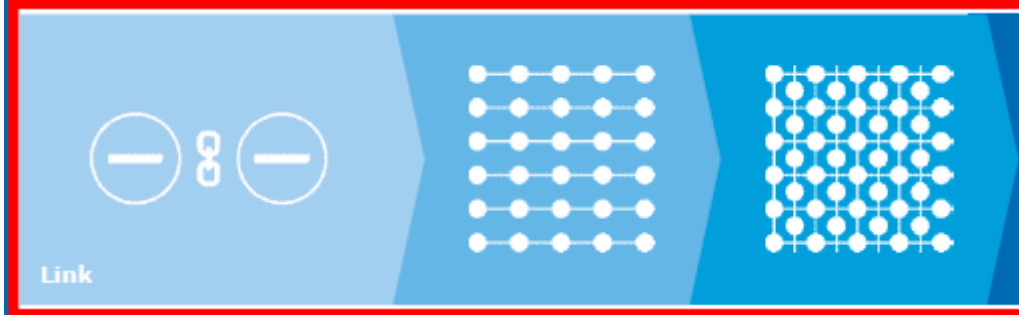
Polietilenler dünya çapında en çok kullanılan plastik çeşididir. Plastik pazarının %70'inden daha fazlasını oluşturur. Bunun nedenleri arasında ise kolay üretilme, kolay işlenebilme ve ucuz olması vardır. Bunlara ek olarak polietilen 150-250°C arası gibi düşük sıcaklıklarda işlenebilir. Ayrıca polietilen bazı prosesler için gerekli görülen çoğu katkı maddeleri ile iyi bir uyumluluk gösterir.

Çapraz bağ oluşturulan polietilenler yüksek sıcaklıklarda arzu edilen özelliklerini devam ettirebilirler. Çapraz bağ polimerlerde üç boyutlu ağ yapısı oluşturur. Çapraz bağ yapısı Şekil 2.1, 2.2 ve 2.3'te görülmektedir. Oluşturulan bu üç boyutlu ağ yapısı polimerin darbe mukavemetini, sürünme direncini, çatlak büyümesi direncini ve çevresel gerilim-çatlak direncini artırır [5].



Şekil 2.1: Çapraz bağ olmayan PE [1].

Şekil 2.2: Çapraz bağ olan PE [1].



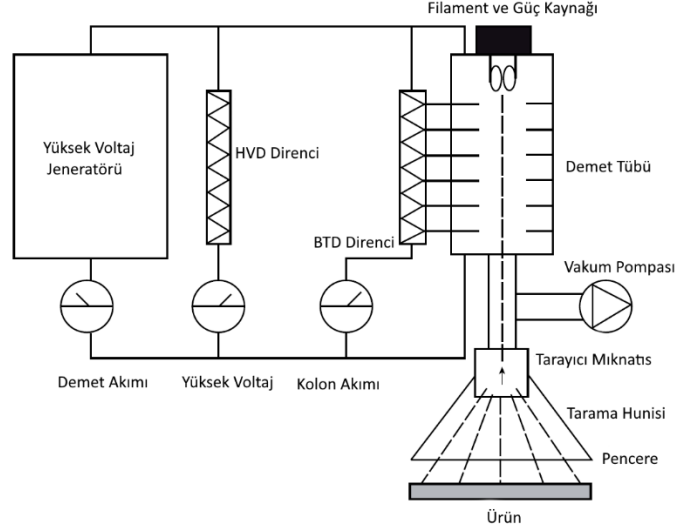
Şekil 2.3: Çapraz bağlanma yapısı [1].

3. ELEKTRON HIZLANDIRICISININ YAPISI

Elektron demeti ile yapılan çapraz bağlanma fiziksel bir çapraz bağlanma yöntemidir. Elektron demeti bu işlemi organik malzemede radikaller oluşturarak gerçekleştirir [1]. Elektron hızlandırıcısının gerek temel bölümleri gerek dış görünüşünü inceleyecek olursak:



Şekil 3.1: Elektron hızlandırıcısının yapısı [4].



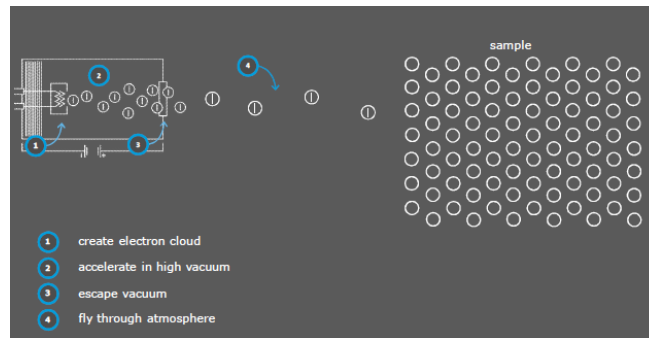
Şekil 3.2: Elektron hızlandırıcısının temel bölümleri [4].

Şekil 3.1’de görüldüğü gibi boyutsal olarak oldukça çok yer kaplamaktadır. Temel bölümleri ise Şekil 3.2’de verildiği üzere:

- Yüksek voltaj jeneratörü
- Elektron hızlandırıcı
- Tarayıcı sistem ve pencere
- Ürün yönetme sistemi
- Kontrol sistemi
- Radyasyondan koruma alanı ve personel koruma sisteminden oluşmaktadır.

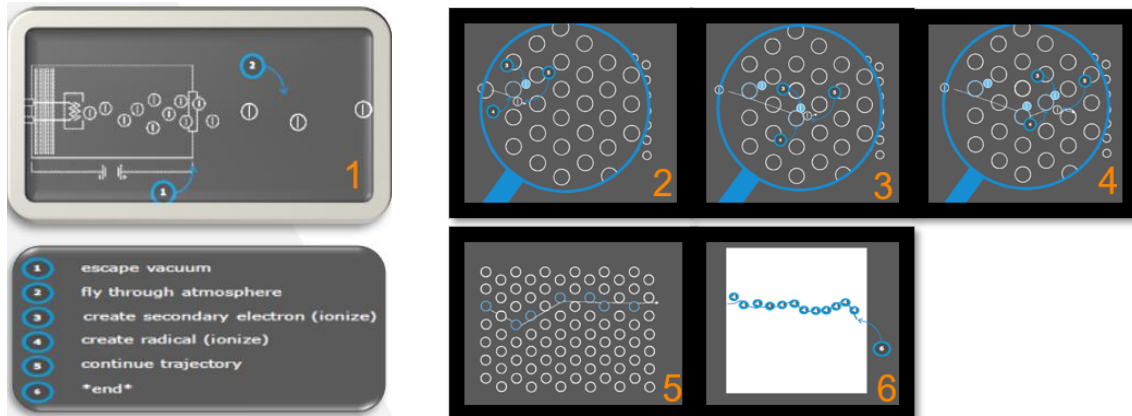
4. ELEKTRON DEMETİ İLE ÇAPRAZ BAĞLANMA ESNASINDA ELEKTRONUN HAREKETİ VE ÇAPRAZ BAĞLANMA YAPISI

Şekil 4.1’de görüldüğü üzere katotta oluşturulan elektron yüksek vakum içinde hızlanarak vakumdan çıkar ve numuneye doğru hareket eder.



Şekil 4.1: Elektronun işlem sırasındaki hareketi [1].

Şekil 4.2’de verildiği üzere elektron demet kaynağından numuneye gelen elektron malzeme içerisinde çapraz bağlanmayı başlatır. Nihayetinde polimer malzemede üç boyutlu bir ağ yapısı elde edilmiş olur.



Şekil 4.2: Elektron demeti ile çapraz bağ oluşumu [1].

5. ÇAPRAZ BAĞ YAPMA YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Polimerlerde çapraz bağ oluşturmak için peroksit, silan ve elektron demeti gibi belli başlı yöntemler mevcuttur. Bunlardan peroksit ve silan kimyasal çapraz bağ oluşturma yöntemleridir. Elektron demeti ise fiziksel bir çapraz bağ oluşturma yöntemidir. Tablo 5.1’de bu yöntemlerin karşılaştırılmış hali mevcuttur. Bu tabloda siyah çerçeveye alınmış PE ve PVC polimeri otomotiv endüstrisinde en çok kullanılan polimer çeşitleridir.

Tablo 5.1: Çapraz bağ yapma yöntemleri [1].

Çapraz Bağ Yapma Yöntemleri		Elektron Demeti	Peroksit	Silan
Çoğunlukla Uygulanan Ürünler		Tel ve kablo, tüp, boru, film, köpük	Tel ve kablo, tüp, boru, köpük	Tel ve kablo, boru
Polimer	PE	○	○	○
	PP	○	□	□
	PVC	○	□	□
	Mühendislik Polimerleri	○	◆	◆
	PTFE	○	◆	◆
	Floropolimer	○	○	□
Çapraz Bağ Oluşma Oranı		Yüksek	Düşük	Düşük
<p>○ pratikte mümkün □ teknik olarak olası fakat pratikte kullanımı yok ◆ uygulaması zor</p>				

5.1 Elektron Demeti ile Yapılan Çapraz Bağlanmanın PE'deki Etkileri

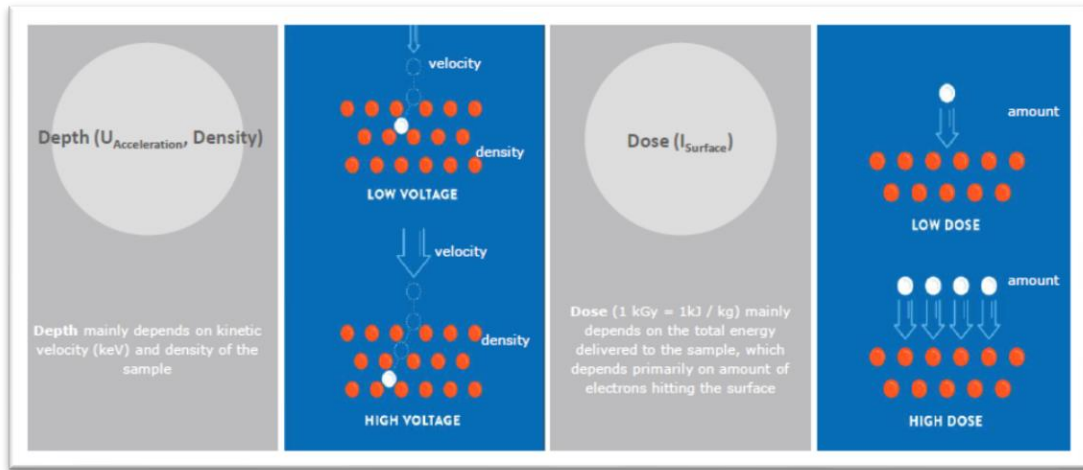
- ✓ Yüksek sıcaklık dayanımı
- ✓ Darbe mukavemeti
- ✓ Çekme mukavemeti
- ✓ Sürünme ve yorgunluk direnci
- ✓ Gerilim-çatlak direnci
- ✓ Aşınma direnci
- ✓ Kimyasallara karşı direnci gibi özelliklerinde önemli bir artış görülür [1].

6. ELEKTRON DEMETİ İLE ÇAPRAZ BAĞLANMA YAPARKEN TEMEL İKİ PARAMETRE: VOLTAJ VE DOZ

Burada penetrasyon derinliği temel olarak kinetik hıza ve malzemenin yoğunluğuna bağlıdır. Yüksek voltajda daha derin bir penetrasyon sağlanmaktadır.

Verilen doz ise temel olarak malzemeye ulaşan toplam enerjiye bağlıdır. Malzemeye ulaşan toplam enerji temel olarak malzeme yüzeyine çarpan elektron miktarına bağlıdır.

Hem voltajın hem de dozun malzeme üzerindeki etkisi Şekil 6.1'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir [1].



Şekil 6.1: Elektron demet ile çapraz bağ yapmanın temel parametreleri [1].

7. KIDS FORMÜLÜ

Elektron demeti ile çapraz bağ yaparken KIDS olarak geçen $K \cdot I = D \cdot S$ formülünden yararlanır:

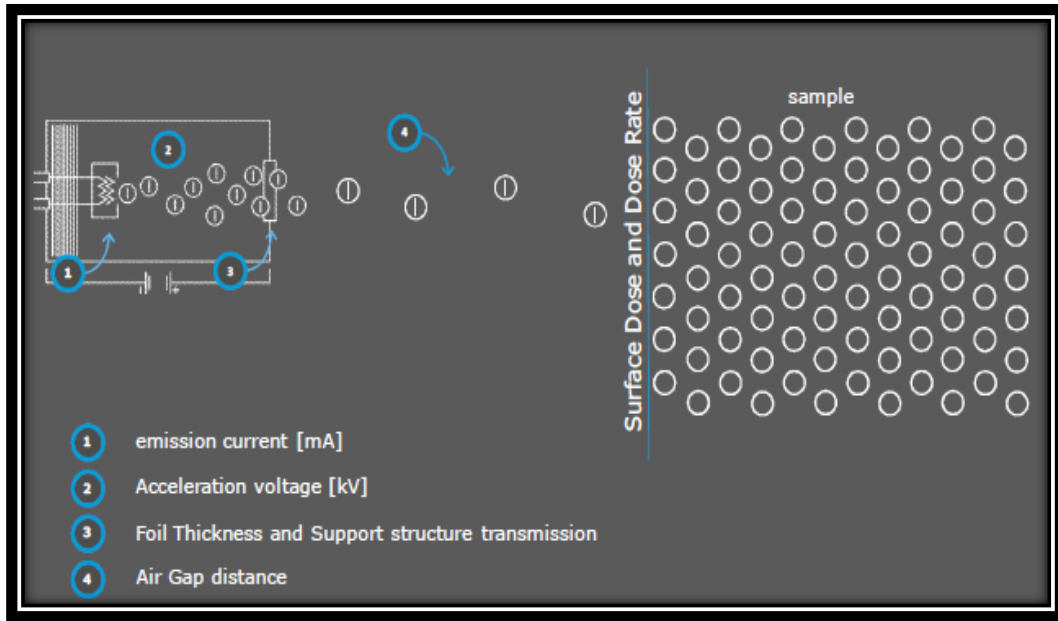
K: Seçilen çalışma parçası için makinenin tabule K-değeri

I: Salınan akım

D: Ürünün yüzeyine ulaşan doz

S: Proses hızı

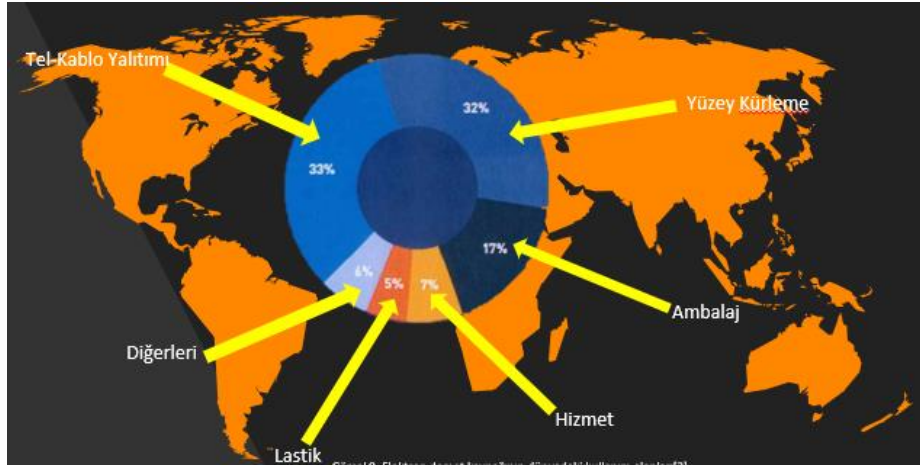
*K-değeri tabloları makineye ve imalata özeldir. Bu değer: üretime, pencere metal levha kalınlığına, destek yapı geçişine, voltaja, hava boşluğuna vb. bağlıdır [1]. Şekil 7.1'de bu formülün içerdiği parametreler mevcuttur.



Şekil 7.1: Elektron demeti dozunun yüzeydeki etkisi [1].

8. ELEKTRON DEMETİ İLE ÇAPRAZ BAĞ YAPMANIN ENDÜSTRİDEKİ YERİ

Çapraz bağlanma sağlamak için kullanılan elektron demeti malzemedeki gelişmeler sayesinde dünya çapında farklı alanlarda kullanılmaktadır. Bu kullanım alanları Şekil 8.1'de gösterilmiştir.



Şekil 8.1: Elektronik demeti ile çapraz bağ yapmanın dünyadaki kullanım alanları [3].

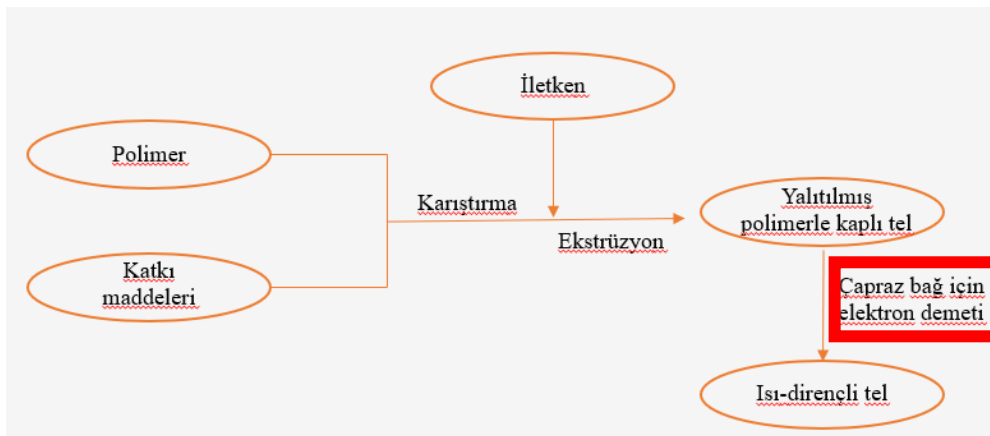
9. ELEKTRON DEMETİ İLE ÇAPRAZ BAĞ YAPMANIN KULLANIM ALANLARI

9.1 Elektriksel Olarak Yalıtılmış Tel ve Kablolarda

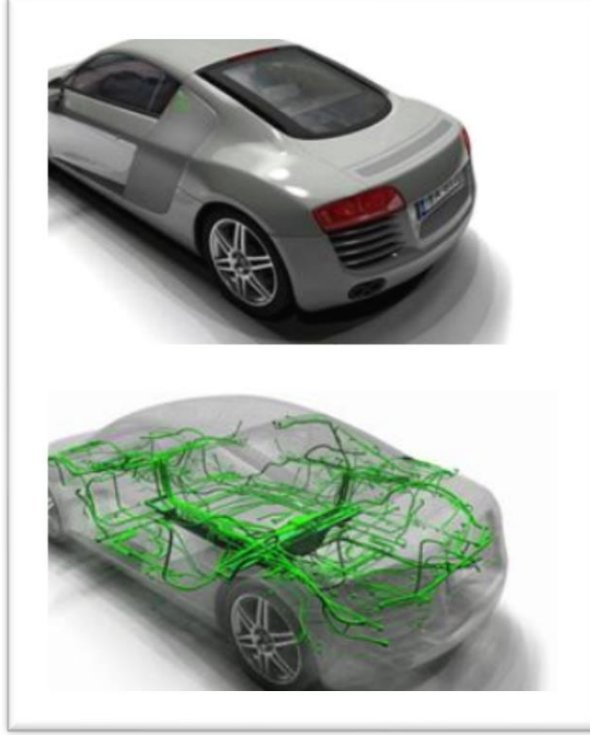
Tel ve kablolar polimer yalıtkan bir malzeme ile kaplanır. Elektrik taşıyan yalıtılmış iletkenler olarak bilinirler.

Tel ve kablolarda kullanılan yalıtkan polimerlerin çapraz bağ yapılmak istenmesinin ana sebebi yüksek sıcaklıklarda performansının artmasını sağlamaktır [2].

Elektron demeti ile çapraz bağlanmış tel ve kablo yalıtkan polimerleri üstün özellikler gösterirler. Bu konuda en önemli pazarı otomotiv endüstrisi oluşturmaktadır. Şekil 9.1.1'de elektronik demeti ile çapraz bağlanma işlemi, Şekil 9.1.2'de ise bu yöntemle üretilmiş tel ve kabloların otomotivde kullanıldığı yerler verilmiştir.



Şekil 9.1.1: Yalıtılmış kablunun çapraz bağ yapma adımları [2].



Şekil 9.1.2: Çapraz bağlanmış polimerin otomotivde kullanım yerleri [3].

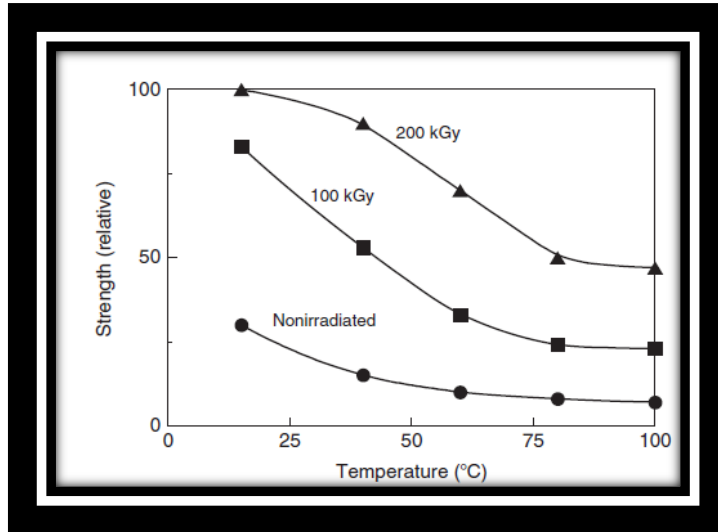
Elektron demeti ile çapraz bağlanmış yalıtkan tel ve kablolar; kısa devre ve lehimleme esnasında yüksek sıcaklıktan dolayı erimez ve akamaz. Ayrıca motor ve egzoz borusunun yakınında bulunan kablolar stabilliği sağlar. Tüm bunlara ek olarak; aşınma direnci, gerilim-çatlak direnci ve kimyasal çözücülere karşı direnç sağlar [2].

Tablo 9.1.1: Elektron demeti ile çapraz bağlanmış polimerlerin ısı-direnç sıcaklıkları [2,7].

Polimer Türleri	HRT(°C)
PE	80
Elektron demetiyle çapraz bağlanmış PE yalıtılmış kablo	120
PVC	60
Elektron demetiyle çapraz bağlanmış PVC yalıtılmış kablo	100

9.2 Araba Tekerleklerinde

Elektron demeti ile çapraz bağlanan kauçuk, tekerleğin her bir kısmında eşit kalınlığa sahip olur. Ayrıca tekerleğin üretim ve montajı esnasında şeklini ve boyutunu korur. Çapraz bağlama işlemi için düşük ve orta enerjili (500-800 keV) elektron demetiyle yapılır. Şekil 9.2.1’de sıcaklığa karşı görece mukavemet grafiği verilmiştir. Bu grafikte elektron demetine maruz kalmamış (nonirradiated) ve farklı iki radyasyon dozuna (100 ve 200 kGy) maruz kalmış kauçuğun artan sıcaklığa göre davranışı ele alınmıştır. Oda sıcaklığında artan radyasyon dozu ile mukavemette artış gözlenmektedir. Fakat elektron demeti ile çapraz bağlanmamış kauçuk oda sıcaklığında bile çok düşük mukavemet değeri vermiştir. Farklı radyasyon dozuna tabi tutulan kauçuk artan sıcaklıkta bile tatmin edici mukavemet değerleri vermiştir.



Şekil 9.2.1: Artan sıcaklıkta radyasyon dozunun mukavemetteki etkisi [2].

Araba tekerleklerinde elektron demetini kullanarak kauçukta çapraz bağlama yapan firmaların başında Goodyear Corporate ve The Firestone Tire&Rubber Co. bulunmaktadır [6].

10. ELEKTRON DEMETİ İLE ÇAPRAZ BAĞ YAPMANIN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

10.1 Avantajları

- Reaksiyon oda sıcaklığında gerçekleşir.
- Reaksiyon saniyeler içinde tamamlanır ve yüksek verimlilik elde edilir.
- Reaksiyon herhangi bir katkı maddesi olmadan gerçekleşebilir ama katkı maddeleri reaksiyonu hızlandırıcı görev üstlenebilir.
- Çok ince yalıtım katmanları için uygundur [1].

10.2 Dezavantajları

- Polimer çeşitleri çok olduğundan bunların testleri ve gelişimi için optimizasyon gereklidir.
- Düzensiz şekillerin çapraz bağlanması zordur ama bu son zamanlarda 3 boyutlu elektron demeti kütleleme sistemi ile değişmektedir [1].

11. SONUÇ

Polietilen ve polivinilklorür polimerleri ucuz, kolay işlenebilir ve çoğu katkı maddeleri ile uyumlu bir bileşen oluşturdukları için endüstride epeyce kullanılmaktadır. Elektron demeti ile çapraz bağlanmış bu polimerler tel ve kablo yalıtım malzemesi olarak tercih edilmektedir. Çünkü elektron demeti ile çapraz bağlanan bu polimerlerde çapraz bağ yoğunluğu yüksek olmakla beraber bu polimerlerin yüksek sıcaklık dayanımı, darbe mukavemeti, çekme mukavemeti, sürünme ve yorgunluk direnci, gerilim-çatlak direnci, aşınma direnci ve kimyasallara karşı direnç gibi özelliklerinde önemli bir artış sağlar. Bütün bu önemli artışlardan dolayı özellikle araba motor kablolarında ve egzoz çevresinde bulunan kablolarda elektron demetiyle çapraz bağlanmış yalıtımlı tel ve kablolar kullanıldığından bu yöntemin en büyük pazarını otomotiv endüstrisi oluşturmaktadır. Bunlara ek olarak her yerde eşit bir kalınlık ve gerek üretim gerek montaj kısmında boyutsal kararlılık sağladığından ötürü araba tekerlek malzemesinin çoğunu oluşturan kauçuğun çapraz bağlanmasında da elektron demeti kullanılmaktadır. Elektron demeti ile çapraz bağ yapma yönteminin oda sıcaklığında gerçekleşiyor olması, reaksiyonun saniyeler içinde tamamlanması ve yüksek verimlilik elde edilmesi ve hiçbir katkı maddesine ihtiyaç duyulmadan yapılması bu yöntemi daha cazip kılmaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Daresbury e-beam Seminar: Polymer Crosslinking, 28/05/18, Crosslinking of Polymer materials with Electron Beam, <http://indico.hep.manchester.ac.uk>
- [2] Makuuchi, K., & Cheng, S. (2012). Radiation processing of polymer materials and its industrial applications. John Wiley & Sons.
- [3] THE INDUSTRIAL AND ENVIRONMENTAL APPLICATIONS OF ELECTRON BEAMS, 6-7 November 2014, WARSAW, POLAND, <https://indico.cern.ch>
- [4] Electron-beam crosslinking technology, Edition 2013, White Paper, <https://www.simacelectronics.nl/>
- [5] Tamboli, S. M., Mhaske, S. T., & Kale, D. D. (2004). Crosslinked polyethylene.
- [6] Industrial Application of Electron Beam- Crosslinking, Project(BSC), University of Liverpool, <http://hep.ph.liv.ac.uk/>
- [7] Simona technical handbook, <https://www.simona.de/>

X Işınları Kullanarak Kompozit Kürleme Yöntemi

Burak DAĞLI

1. GİRİŞ

Araç bileşenlerinde ve araç imalatında çelik veya alüminyum gibi bazı metal kullanımları, yapısal bütünlüğü korurken önemli ölçüde ağırlık tasarrufu sağlamak için karbon fiber kompozitler ile değiştirilebilir. Uçak ve havacılık endüstrisi bu konsepti tamamen benimsemiş, otomotiv sektörü ise kısmen benimsemiş durumdadır[1]. Kompozit malzeme, en az iki farklı malzemenin makro boyutlarda birleşimi ile oluşan malzemelerin genel adıdır. Araç bileşenlerinde kullanılabilen karbon fiber kompozitlerin bileşenleri ise şu şekildedir;

- Takviye malzemesi olarak karbon fiber
- Matris malzemesi olarak epoksi reçine

Karbon fiberi bir arada tutma görevi gören epoksi reçine yoğun akışkan halde iken ilave edilir ve çeşitli yöntemlerle çapraz bağlanması sağlanarak sert katı hale getirilir. Bu işleme kürleme adı verilir. En sık kullanılan yöntem kompozit içine çeşitli kimyasallar ekledikten sonra kürleme sıcaklığında belli bir süre tutmaktır. Bu işleme ısıl kürleme denir. Isıl kürleme yönteminin bir diğer alternatifi ise radyasyon ile kürleme yöntemidir. Radyasyonla kürleme işlemine uygun bir epoksi reçine seçilerek, karbon fiber kompozitlerin üretimi basitleştirebilir[2].

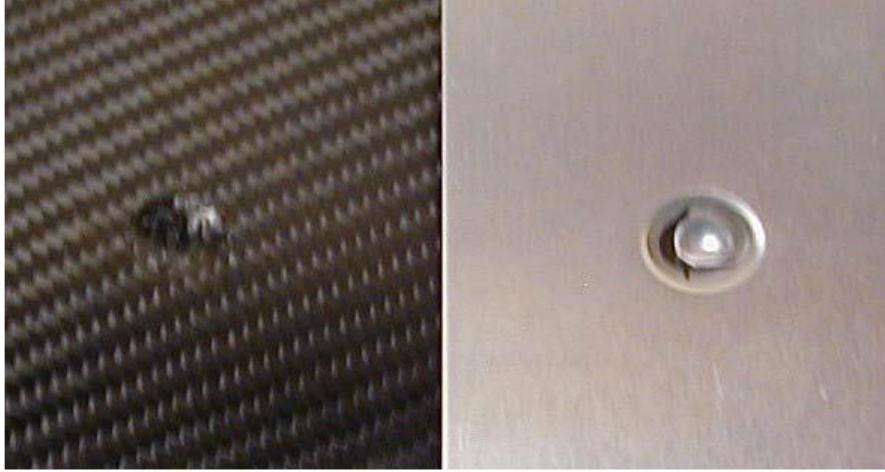
2. OTOMOTİVDE KOMPOZİT KULLANIMIN AVANTAJLARI

Yaklaşık 750 kilogram ağırlığındaki tipik bir çelik otomobil gövdesi, karbon fiber kompozitlerle değiştirilirse ağırlığı yaklaşık 155 kilogram olacaktır. Araç şasisi ve gövde çerçevesi gibi yapısal elemanlar da karbon fiber kompozitlerden üretilebilir. Tipik gövde ağırlığının yalnızca %20'si ile bu tür araçlarda daha küçük, daha hafif ve yakıt verimliliği yüksek motorlar kullanılabilir. Ticari uçak üreticileri, ağırlıkta %40 azalma için alüminyum yerine büyük karbon fiber yapıları benimsedi ve büyük uçaklar için yakıt maliyetlerinde yaklaşık % 20'lik bir tasarrufa karşılık geliyordu. Bir otomobilin yakıt verimliliği %80 ağırlık azaltımı ile yaklaşık iki katına çıkarılabilir[1].

Tablo 2.1: Araç bileşenlerinde gövde görevi görebilecek bazı malzemelerin özgül ağırlıkları[1].

Malzeme	Özgül Ağırlık
Çelik	7.8
Alüminyum	2.7
Karbon Fiber Kompozit	1.6

Otomotiv Kompozit Konsorsiyumu (ACC), kompozit malzemelerden yapılmış bir ön bölümü olan deneysel bir Ford otomobilinin çarpışma testlerini gerçekleştirdi ve tipik bir metal araba kadar güvenli olduğu sonucuna vardı. Karbon fiber takviyeli kompozit panellerin aynı kalınlıktaki alüminyum panellerden daha fazla darbe direncine sahip olduğu görüldü[1].



Şekil 2.1: X-ray ile serleştirilmiş karbonfiber kompozit (sol) ve alüminyum (sağ) plakalara bir çubuk ile aynı kuvvet uygulanıyor. Kompozitte çukur oluşurken alüminyum çatlak oluşuyor[1].

3. OTOMOTİVDE KOMPOZİT KULLANIMIN ÖRNEKLERİ

Otomobillerde ısıt kürlenmiş kompozit malzemeler için devam eden bazı uygulamalar;

- GM Corvette'in dış gövdesi ve yaprak yayları[1],
- Porsche Carrera GT'nin alt şasesi[1],
- BMWi3 serisi[2],
- Tesla Motors tarafından geliştirilen Roadster elektrikli otomobilin tüm gövdesi[5].

 rnek olarak verilebilir.



şekil 3.1: Gövdesi ve yaprak yayları kompozitten yapılmış 1953 model GM Corvette.



şekil 3.2: Alt şasesi kompozitten yapılmış Porsche Carrera GT.



Şekil 3.3: Gövdesi karbon fiber kompozitten yapılmış BMWi3 serisi.



Şekil 3.4: Tüm gövdesi kompozitten yapılmış Tesla Motors tarafından geliştirilen elektrikli otomobil.

4. RADYASYON İLE KÜRLEME YÖNTEMİ

Motorlu taşıt endüstrisi, otomobillerdeki bazı yapısal olmayan bileşenler için kompozit malzemeler kullanıyor, ancak ısıl kürlenme süreleri ve yüksek hacimli üretim süreçlerindeki diğer problemler nedeniyle bu teknolojiyi yaygın olarak benimseme konusunda isteksiz davranıyor. Öte yandan ısıl kürlenme yerine radyasyonla sertleştirme, karbon fiber kompozitlerin üretimini basitleştirebilir[1].

4.1 Elektron Demeti Kullanarak Kürlenme

Radyasyon ile kürlenme, otomobil endüstrisi için tamamen yeni bir kavram değildir. Lastikler, köpük paneller ve yüksek performanslı elektrik kabloları gibi birçok araç parçası halihazırda radyasyonla çapraz bağlama yöntemi ile üretiliyor. Lastik üretiminde elektron hızlandırıcılarda hızlandırılmış elektron demetleri kullanılarak lastiğin bazı bileşenlerinin sertleştirilmesi sağlanıyor. Bu elektron demeti ile radyasyonlama işlemi, daha düzgün ve dengeli bir lastik

üretilmesinin önünü açıyor. Bu sayede lastiğin kalınlığında ve ağırlığında bir azalmaya gidilerek malzemeden tasarruf edilmesi ve üretim maliyetinin düşürülmesi sağlanıyor[1].

4.2 X – Işınları Kullanarak Kürleme

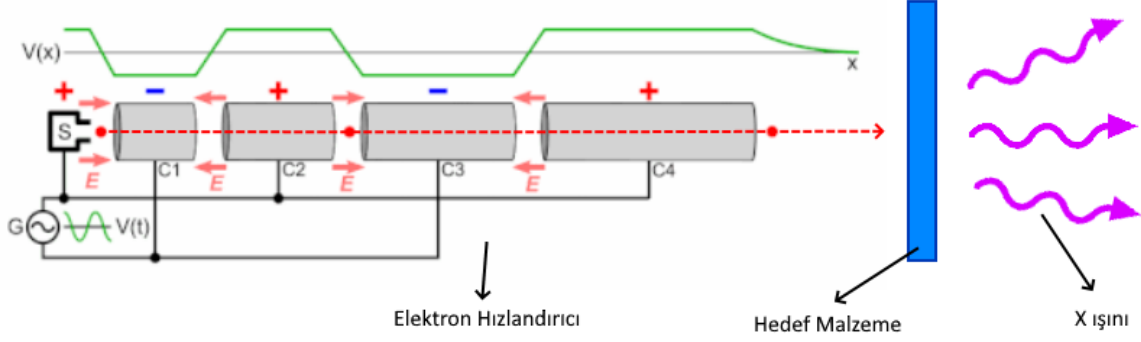
Ne yazık ki elektron demeti ile kürleme işlemini kalın kompozit parçalar için uygulayabilmek mümkün değildir. Elektron demetinin kompozit malzeme içerisine nüfuz etme derinliği yaklaşık olarak 2.5 cm ile sınırlıdır. Kalınlığın engel teşkil ettiği durumlarda yüksek enerjili elektron demetlerinin bir hedef üzerine çarptırılması ile elde edilen X ışınları kullanılabilir. X ışınları, endüstriyel olarak uygulanabilir en yüksek voltajlı elektron demetlerinin bile en az 10 katı, malzeme içine nüfuz etme derinliğine sahiptir. Tablo 2’de farklı kaynaklardan elde edilen elektron demeti ve X ışınlarının özellikleri karşılaştırılmıştır[3].

Tablo 4.2.1: Elektron hızlandırıcı kaynakları ve kompozit kürleme kapasiteleri[3].

ELEKTRON / X- IŞINI KAYNAĞI	KOMPOZİT İÇİNE NÜFUS ETME DERİNLİĞİ (cm)	YAYINLANAN GÜÇ (kW)	POTANSİYEL SERTLEŞTİRME HIZI (kg/h)
10 MeV Linac (elektron demeti)	2.5	20	216
10 MeV Rhodotron (elektron demeti)	2.5	200	2160
10 MeV Linac 20 kW X-Işını modu	30	3	22
7 MeV Rhodotron 700 kW X-Işını modu	28	70	770
5 MeV Dynamitron 300 kW X-Işını modu	24	24	260

5. ELEKTRON DEMETİNDEN X - IŞINLARI ELDE ETME VERİMLİLİĞİ

Yüksek enerjili X-ışınları, yüksek enerjili elektronların bir malzemeye çarpması ile yayılır. Elektron demetinin gücünü, X ışını gücüne dönüştürme verimliliği, elektronların enerjisi ve hedef malzemenin atom numarası ile artar. Tantal, tungsten ve altın, X ışını hedeflerine uygun özelliklere sahiptir, ancak tantal, verimli ve geniş alanlı hedefler yapmak için en uygun ve ekonomik malzemedir[1].



Şekil 5.1: Elektron demeti kullanarak X ışınları üretiminin şematik gösterimi.

Elektron demetini X ışınına dönüştürme verimliliği düşüktür. Elektron demetinden X ışınları elde etme verimliliği;

- 5.0 MeV enerjili elektronlar ile yaklaşık % 8,
- 7.5 MeV enerjili elektronlar ile yaklaşık %12,
- 10.0 MeV enerjili elektronlar ile yaklaşık %16'dır.

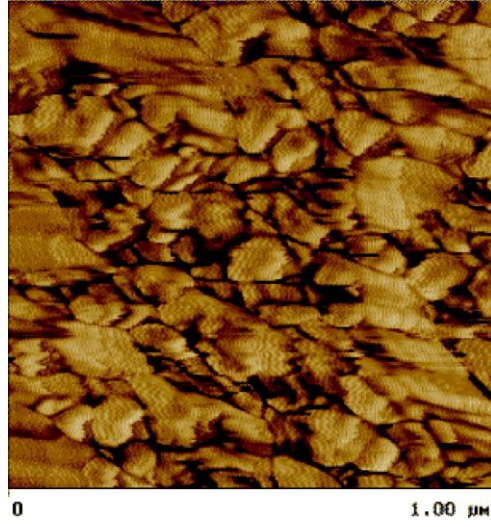
Yüksek enerjili endüstriyel X-ışını jeneratörleri için kullanılan maksimum elektron enerjisi genellikle 7,5 MeV'den azdır. Bu seçim, tantal hedeflerde nükleer reaksiyonların tetiklenmesini önler. Düşük verimliliğe rağmen, gerekli doz oranlarını elde etmek için yüksek enerjili ve yüksek akıllı elektron hızlandırıcıları kullanılır[1].

6. KÜRLEME YÖNTEMİNE UYGUN EPOKSİ REÇİNE SEÇİMİ[2]

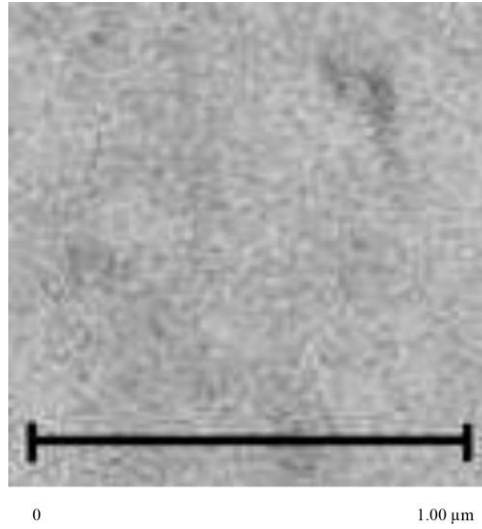
Isıl kürlleme işleminde kullanılan epoksi reçinelerde kürlleme işlemini sağlayacak olan kimyasallar reçine içinde karıştırılmış olarak bulunur. Bu yüzden reçine oda sıcaklığında depolandığında istenmeyen bir şekilde kürlenmeye başlayabilir. Oysaki beklenen yapının eldesi için kürllemenin kontrollü gerçekleşmesi gerekir. Bu nedenle ısıl işlem öncesi reçineyi soğuk hava depolarında muhafaza etmemiz gerekir. Isıl işlem sırasında ise kürlleme sıcaklığına ulaşana kadar sıcaklığı kademeli olarak arttırmalıyız. Bu durum işlem süresinin artmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte, aminler, amitler veya anhidritler gibi kürlleyici kimyalların baz epoksi reçinelerin kendileri ile uyumsuz olduğu söylenebilir.

X-ışını ile kürlleme işleminde kullanılan matris malzemesi ise üzerine akrilat grubu eklenmiş epoksilerdir. Böylece serbest radikal polimerizasyon diğer adıyla çapraz bağlanma işlemi gerçekleşebilir. Bu tür malzemeler, kaplama endüstrisinde uzun bir kullanım geçmişine sahiptir

ve uzun yıllar boyunca herhangi bir reaksiyon başlatılmadan veya jel oluşmadan oda sıcaklıklarında depolanabilirler. Bu epoksiler uzun raf ömürleri ile bilinirler.



Şekil 6.1: Amin kimyasalı ile ısıl kürlenmiş epoksinin mikrofaz yapısı[2].



Şekil 6.2: X-Işınları ile kürlenmiş akrilatlı epoksinin mikrofaz yapısı[2].

7. RADYASYONLA KÜRLEME YÖNTEMİNİN AVANTAJLARI[4]

Isıl kürleme işlemine göre radyasyonla kürlemenin yararları;

- Pahalı olmayan kalıplar kullanılarak kürleme yapılabilir.
- Kalıbı ısıtmak soğutmak gibi işlemlere gerek kalmaz.

- Kürleme işleminin süresi büyük  l de azalır.
- Isı transferi kaynaklı problemler ile karşılaşılmaz.
- Tehlikeli uçucu emisyonların kullanımından kaçınılabilir.
- Farklı tasarımlara sahip çeşitli bileşenler ortak bir radyasyon kaynağı kullanılarak aynı anda kürlenebilir.

8. ASTON-MARTİN KAPUTUNUN ÜRETİM KARŐILAŐTIRMASI[2]

Aston-Martin kompozit kaputu 2.4 m çaplı otoklav kullanılarak ısıl işlemlerle kürlendiğinde;

- 6 tane kaput aynı anda k rleniyor.
- 3 saatlik bir kürleme döngüsüne ihtiyaç duyar.
- Kürleme döngüsü için entegre g c talebi 192 kWh yani kaput başına tüketilen g c 32 kWh (192kWh / 6) olarak hesaplanmıştır.
- Isıl kürleme için kullanılan reçine oda sıcaklığında bozulmalar yaşadığı için soğuk hava depolarında saklanmalıdır.



Şekil 8.1: Vakum torbasına sarılmış kalıp içerisindeki kompozit malzemenin otoklavdan çıkarılırken.

Aston-Martin kompozit kaputu 7.0 MeV, 700 kW X-ışını kaynağı ile kürlendiğinde;

- X-ışını kaynağı altında 0,425 m / dakika'lık bir hız ile geçiriliyor.
- X-ışınımaya maruz kalma süresi kaput başına sadece 1,3 dakikadır.
- Kaput başına g c talebi yaklaşık olarak 25.26 kWh'dir.
- Saatte 47 kaput bu yöntemle kürlenebilir.
- Kürleme  ncesi reçine oda sıcaklığında saklanabilir.



Şekil 8.2: 7.0 MeV, 700 kW X ışını jenerasyonu için kullanılan elektron hızlandırıcısı.

9. SONUÇ

Araç bileşenlerinde ve araç imalatında çelik veya alüminyum gibi malzemeler yerine karbon fiber kompozitler kullanılabilir. Karbon fiber kompozitler sayesinde yapısal bütünlük korunurken %80'e varan bir ağırlık azaltımı elde edilebilir. Bunun sonucu olarak büyük oranda yakıt tasarrufu sağlanabilir[1]. Havacılık endüstrisi ve hız odaklı otomotiv üreticileri kompozit kullanımı tamamen benimsemiş olmasına rağmen otomotiv sanayisinin büyük bölümü; üretim maliyeti, ısıl kütleme süresi ve yüksek hacimde üretimdeki problemler yüzünden kompozit kullanımı benimseyebilmiş değil. Öte yandan hızlandırıcı teknolojisinin gelişmesi ile günümüzde kompozit üretiminde radyasyon ile kütleme yönteminin kullanılması kütleme sürecini basitleştirebilir. Hızlandırıcılardan çıkan elektron demetlerinin hedef malzeme çarptırılması ile elde edilen X ışınları kullanılarak kompozit malzeme küllenebilir[1]. Bu sayede daha az enerji tüketimi ile kompozit kütleme işlemi ısıl küllemeye göre 23 kata kadar hızlandırılabilir ve bu işlem otomasyona bağlanabilir[2]. Bu yöntem ile ucuz kalıplar kullanılarak farklı bileşenlerin aynı anda kütleme işlemi yapılabilir. Ayrıca işleme uygun seçilen reçine ısıl işlemde kullanılanın aksine oda sıcaklığında saklanabilir[2].

KAYNAKÇA

- [1] M.R. Cleland, R.A. Galloway, D. Montoney, D. Dispenza, A.J. Berejka, “Radiation Curing of Composites for Vehicle Components and Vehicle Manufacture”, 2009
- [2] Berejka ,A., Montoney, D., Dispenza, D., Poveromo, L., Galloway, R., Cleland, M., Driscoll, M., “Power Demands for Curing Carbon Fiber Composites for Automotive Components”, 2016
- [3] Anthony J. Berejka , M.R. Cleland , R.A. Galloway , O. Gregoire , “X-ray curing of composite materials”, 2005
- [4] Kerluke, D., Cheng, S., “Electron beam processing for automotive composite applications”, 2002
- [5] Barrie Dickinson, Cut From A Different Cloth, “<https://www.tesla.com/blog/cut-different-cloth>”, 2007

Elektron Demeti ile Kaynak Yöntemi

Çağlanaz AKIN

1. GİRİŞ

Kaynak, çoğunlukla metaller olmak üzere farklı malzeme parçalarının birleştirilmesi için kullanılan bir imalat yöntemidir. Kaynak yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli hususlar kaynak yapılacak malzemeye uygun yöntem ve dolgu malzemesi kullanımudur. Otomotiv sektöründe özellikle türbin çarkı, şanzıman bileşeni, rot başı, şasi ve ana gövde parçalarında kaynak işlemi yapılmaktadır. Günümüzde kaynak bölgesinin dayanımının daha yüksek olması adına daha verimli kaynak yöntemlerine yönelim bulunmaktadır. Bu yöntemlerde aranan özellikler; yüksek verimlilik, yüksek dayanım ve düşük maliyetli olmasıdır. Verim ve dayanım açısından oldukça öncelikli hale gelen lazer demetiyle kaynak ve elektron demetiyle kaynak yöntemleri aynı zamanda kaynak yapılan iş parçası başına maliyete bakıldığında diğer yöntemlerden daha avantajlıdır.

Elektron demetiyle kaynak yönteminde 0.01 mm'lik bir bölgeye bile kaynak yapılması mümkündür. Bundan dolayı bu yöntem ileri teknoloji ve yüksek dayanım gerektiren mühendislik işleri için tercih edilmektedir.

1.1 Kaynak Çeşitleri

Kaynak yöntemleri başlıca ark kaynağı, gaz kaynağı, plazma kaynağı, lazer demetiyle kaynak ve elektron demetiyle kaynak olarak beş ana grupta incelenebilmektedir.

Ark Kaynağı: elektrik akımı yardımıyla metal dolgu malzemesi ısıtılır ve eritilir. Eriyik metal ile parçalar birleştirilir. En yaygın kaynak çeşitlerinden biridir. Taşınabilir ekipmanları olması ve her türlü mekânda yapılabiliyor olması nedeniyle kullanışlıdır. Dezavantajları ise, kaynak boyutlarının çok büyük olması, metal yığıma hızı ve verimliliğinin düşük olmasıdır. Ayrıca kaynak sonrasında soğuyan dolgu malzemesinin üzerinde cüruf oluşmaktadır ve temizlenmelidir.

Gaz Kaynağı: yakıt gazları veya oksijen kullanımıyla alev sıcaklığı artırılır. Sıcaklığı yüksek olan alevle iş parçası malzemenin lokal erimesi gerçekleşir ve kaynak işlemi yapılır. Bu kaynak çeşidinin avantajlarından biri dolgu malzemesi kullanılmıyor oluşudur. Dezavantajları ise, ark kaynağında olduğu gibi kaynak boyutlarının çok büyük olması ve verimliliğin düşük olmasıdır.

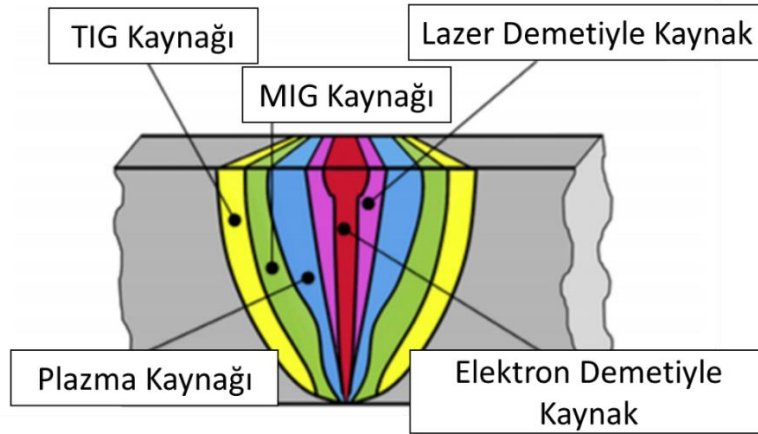
Plazma Kaynağı: ark kaynağına çok benzeyen bu yöntemde, arkı stabilize etmek ve eriyiğin korozyonunu önlemek amaçlı plazma gazı kullanılır. Plazma gazının sayesinde daha küçük kaynak profilleri elde edilmektedir.

Lazer Demetiyle Kaynak: lazer demetleri/ışınları optik lensler yardımıyla hedefe odaklanır ve enerjisi sayesinde iş parçası ergitilir. Kaynaklama hızının yüksek olması ve kaynak sonrası işlem sayının düşmesi nedeniyle parça başı işlem maliyeti diğer yöntemlere kıyasla düşüktür. Kaynak profilinin küçük olması da avantaj sağlamaktadır.

Elektron Demetiyle Kaynak: elektronlar hızlandırılarak yüksek kinetik enerji kazandırılır. Demet halinde iş parçasına elektronlar çarptığında yüksek kinetik enerji ısıya dönüşür ve parçayı eritir. Oldukça küçük kaynak profilleri yapılabilmesi, parça başı maliyetin düşük olması ve kaynak verimliliğinin yüksek olması en önemli avantajları arasındadır.

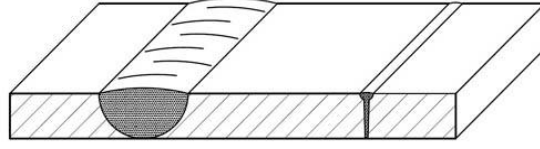
1.2 Kaynak Çeşitlerinin Karşılaştırılması

Şekil 1.1’de farklı tip kaynakların kaynak profilini nasıl etkilediği gösterilmiştir.



Şekil 1.1: Farklı kaynak yöntemleriyle oluşan kaynak profillerinin gösterimi [1].

TIG ve MIG kaynakları birer ark kaynağı çeşididir. Şekil 1.1’de de görüldüğü gibi yüzeyde en büyük alanda kaynak profili oluşturan kaynak tipleri TIG ve MIG kaynaklarıdır. Plazma kaynağı bu iki kaynak tipine göre daha küçük bir profil oluştururken, lazer demeti ve elektron demetiyle kaynak yöntemleri oldukça küçük ve derin bir kaynak profili oluşturur. Elektron demetiyle kaynak yöntemi kaynak profili boyutları açısından en verimli kaynak tipidir.

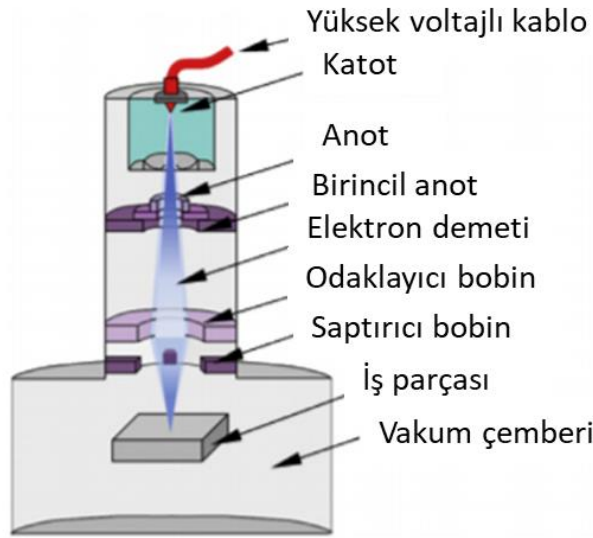


Şekil 1.2: Sıradan kaynak yöntemiyle (sol) ve elektron demetiyle kaynak yöntemiyle (sağ) yapılmış kaynakların gösterimi [2].

Ayrıca, Şekil 1.2’de de sıradan kaynak ve elektron demetiyle kaynak sonrası elde edilmiş kaynak profili gösterilmiştir. Elektron demetiyle kaynak yönteminde hem ince hem de derin bir kaynak profili elde etmek mümkündür.

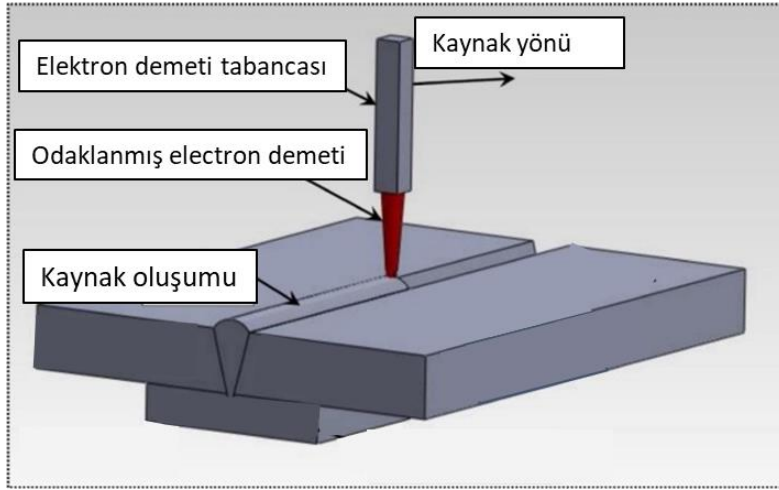
2. ELEKTRON DEMETİYLE KAYNAK YÖNTEMİ

Elektron demetiyle kaynak yönteminde yüksek hızlandırma voltajı altından anottan katoda doğru elektronlar hızlanır ve bir demet oluşturur. Oluşan demet elektronları odaklayan ve saptıran bobinler yardımıyla hedef bölgeye çarpar ve kazandığı kinetik enerjiyi çarpışma sonrasında ısıya çevirir. Isıyla birlikte hedef bölge erir ve eriyik kaynak için kullanılır.



Şekil 2.1: Elektron demetiyle kaynak yöntemi ve cihazın şematik gösterimi [3].

Şekil 2.1’de elektron demeti hızlandırıcısı ve kaynak yapılacak bölgesi gösterilmiştir. Cihaz anot, katot, odaklayan ve saptıran bobinler ve vakum çemberinin yanı sıra yüksek voltaj kablosundan oluşmaktadır.



Şekil 2.2: Elektron demetiyle kaynak yönteminin iş parçası üzerinde gösterimi [4].

Şekil 2.2’de ise kaynak anına dair bir illüstrasyon gösterilmiştir. Elektron demetinin hareketiyle veya numunenin hareketiyle kaynak yapılabilmektedir. İki parçanın birleşimi bu görseldeki şekilde mümkündür.

2.1 Elektron Demeti ile Kaynak Yönteminin Avantajları

Bu kaynak yöntemi birçok avantaja sahiptir ve bu avantajlar [5,6]:

- Yüksek güç yoğunluğu, demet odağında yaklaşık 10^7 W cm⁻² güç yoğunluğu.
- Kaynak bölgesi için hazırlık gerektirmez.
- Dolgu malzemesi gerektirmez.
- Kaynak yapma hızıyla ve güç yoğunluğuyla kaynak profili kontrol edilebilir (Şekil 2.3).
- Vakumda yapıldığı takdirde kaynak cürufundan kaçınmak için bir işlem yapılmaz.
- Makine kontrollü işlemdir, elektriksel ve mekanik parametreler kontrol edilebilir.
- Kaynak parametreleri tekrardan kullanılabilir ve süreklilik sağlanır.
- Otomotiv sektörü gibi sektörlerde büyük çaplı üretime uygun cihazlar vardır.
- 0.5 mm kalınlığa sahip malzemelerde bile kaynak yapılabilir.
- Farklı tip malzemeleri birbirine kaynaklayabilir.
- İş parçası başına maliyeti diğer yöntemlere kıyasla düşüktür.

şeklinde sıralanabilir.

2.2 Elektron Demeti ile Kaynak Yönteminin Dezavantajları

Yöntemin dezavantajları ise [7]:

- Vakum çemberinin boyutları iş parçasının boyutlarını sınırlandırır.
- Manyetik malzemelere kaynak yapılması güçtür.
- Başlangıç maliyeti yüksektir. Cihaz pahalıdır.
- Karmaşık bir ekipmanı olduğu için cihazın teknik kontrolleri yapılmalıdır.
- İşlem sırasında X-Ray ışınimleri ve radyasyon açığa çıkmaktadır.

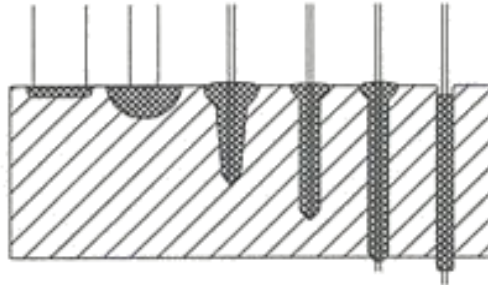
şeklinde sıralanabilir.

2.3 Kaynak Değişkenleri

Yüksek güç yoğunluğu ve voltaj ısıyı artırır ve dolayısıyla elektronların nüfuzunu artırır. Elektronlar daha fazla nüfuz ettiğindeyse kaynak profili derinleşir. Kaynak hızı arttığındaysa elektronların nüfuzu azalır ve daha sığ kaynak profilleri elde edilir. Demetin oluştuğı bölgeyle iş parçası arasındaki mesafe de kaynak profilini etkilemektedir. Bu mesafe arttıkça kaynak profili derinliği azalmaktadır [8].

Ayrıca kaynak profilinin genişliği de hem hızla hem de odaklayan bobinlerin yerleştirildiği yerle kontrol edilmektedir [8].

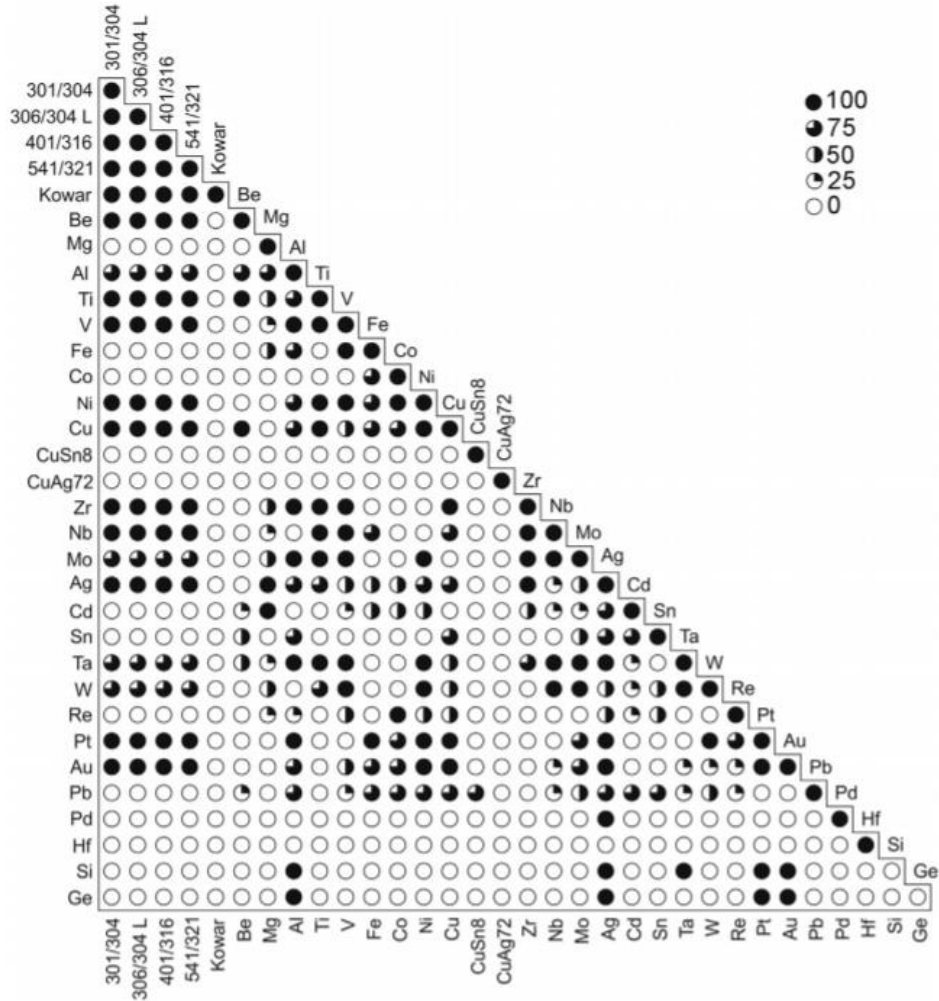
Sonuç olarak, hızlandırma voltajı, güç yoğunluğu, demet akımı, odaklayan bobinler, kaynak hızı, vakum seviyesi, demetin çıktığı bölge ve iş parçası arasındaki mesafe kaynak değişkenleridir. Kaynak profilini etkilediği gibi farklı malzemelerin kaynak sonrası dayanımlarını da farklı şekilde etkilemektedir ve yapılacak işleme göre uygun değişkenlerin seçilmesi önemlidir.



Şekil 2.3: Elektron demetiyle kaynaktan elde edilebilecek farklı kaynak profillerinin gösterimi.

2.4 Elektron Demeti ile Kaynak Yönteminin Uygulanabileceği Malzemeler

Bu yöntem ile birçok farklı malzemeye kaynak işlemi yapmak mümkündür. Alüminyum ve çelik arasında intermetalik fazlar oluştuğu için bu iki metal arasında dayanıklı kaynak yapmak geleneksel metotlarla mümkün değildir. Elektron demetiyle kaynak yöntemi bu iki çok kullanılan malzemeyi kaynaklamada kullanılabilir [9].



Şekil 2.4: Elektron demetiyle kaynak yöntemiyle birbirine kaynaklanabilecek malzemelerin gösterimi. 100) kaynak yapılabilir, 75) farklı erime noktalarına sahipler fakat katı çözünürlük var, 50) veri az fakat kaynak mümkün, 25) hiç veri yok ve kaynak yapılma ihtimali düşük, 0) kaynak yapılamaz [10].

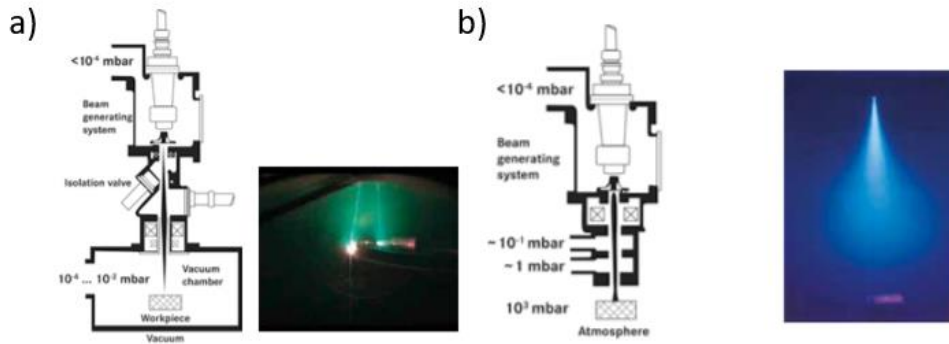
Şekil 2.4'te elektron demetiyle kaynak yöntemiyle birbirleriyle kaynak yapabilmeyen malzemelerin bir tablosu verilmiştir. Bu yöntem çoğu metalik malzeme arasında kaynak yapmayı mümkün kılmamasının yanı sıra bazı metallerle yarıiletken malzemelerin kaynak

yapmasını da mümkün kılmaktadır. Bu şekilde de otomotiv sektöründe yarıiletken teknolojinde kullanılabilir.

2.5 Elektron Demetiyle Kaynak Yönteminde Cihaz Özellikleri

Elektron demetiyle kaynak yöntemi için tasarlanmış cihazlar hızlandırıcı voltajına, vakum seviyesine ve iş çemberine göre değişiklikler göstermektedir.

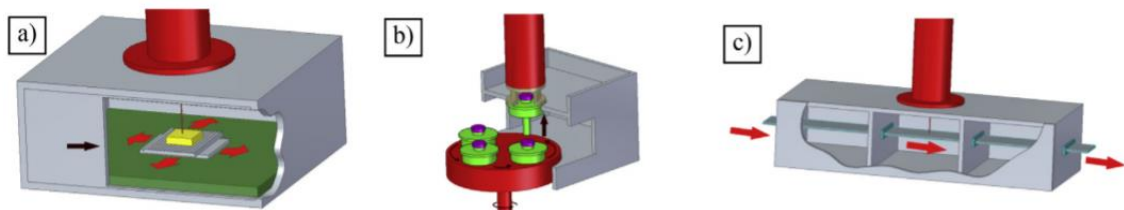
Cihazların genellikle hızlandırıcı voltajı 120-150 kV arasında değişmektedir. Fakat hızlandırıcı voltajı daha düşük olan cihazlar da uygulamaya göre tercih edilmektedir [11].



Şekil 2.5: a) vakum altında, b) atmosferde elektron demetinin görüntüsü [5].

Cihazda genellikle işlem vakum altında yapılmaktadır. Vakum, hem demetin yayılmasını engelleyerek küçük kaynak profillerinin elde edilmesini kolaylaştırır hem de kaynak bölgesinde empüritelerin oluşmasını engeller. Yapılacak işe göre seçilecek yüksek vakum, orta vakum ve vakumsuz cihazlar bulunmaktadır [11]. Şekil 2.5'te vakum ve vakum olmayan cihazlardan çıkan elektron demeti gösterilmiştir. Kaynak sırasında vakum kullanmak daha küçük parçaları kaynaklayabilme imkânı sunar: dişliler, türbin çarkı, şasi gibi [5]. Atmosferde gerçekleştirilecek kaynak işlemiyle ise büyük parçalara kaynak yapmayı mümkün kılar. Otomotiv sektöründe ise ana gövde parçalarına kaynak vakum kullanmayarak gerçekleştirilebilir [5].

Son olarak iş çemberi yani kaynak işleminin yapıldığı bölüm cihazdan cihaza farklılık göstermektedir. Şekil 2.6'da farklı iş çemberlerinin illüstrasyonu verilmiştir.



Şekil 2.6: farklı iş çemberlerinin gösterimi, a) standart, b) döngüsel, c) kilit iş çemberleri [1].

Standart iş çemberinde kaynak yapılacak parça ileri-geri ve sağ-sol yönlerinde hareket ettirilir. Döngüsel iş çemberinde ise farklı parçalara sırayla kaynak yapmak mümkündür. Bu yöntem seri üretime daha uygundur. Son olarak kilit (lock) iş çemberlerinde numune şekilde görüldüğü gibi hareket ettirilerek kaynak işlemi yapılır.

2.6 Elektron Demetiyle Kaynak Cihazıyla Yapılabilecek Diğer İşlemler

Elektron demetiyle kaynak cihazıyla kaynak dışında farklı işlemler yapılabilmektedir. Yüzey modifikasyonu, tavlama, sertleştirme, tekrar eritme ve alaşımlama ve desenleme/yapılama gibi işlemler bu cihaz yardımıyla yapılabilmektedir [1,5].

Dişliler, türbin çarkları, şasi gibi otomobil elemanlarının parçalarını kaynakla birleştirirken hedeflenen yüzey modifikasyonlarını da yapmak mümkündür.

3 ELEKTRON DEMETİYLE KAYNAK YÖNTEMİNİN OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANIMI

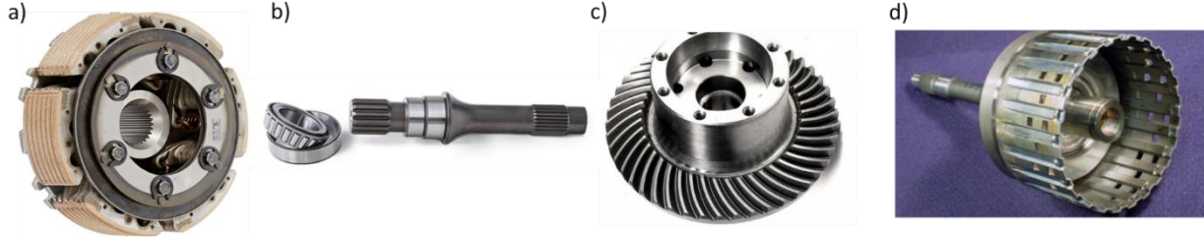
Günümüzde elektron demetiyle kaynak yöntemi çoğu sektörde üretim için kullanılmaktadır ve bunlardan birisi otomotiv sektörüdür. Otomotiv sektöründe motor ve ana aksam içinde birçok parça elektron demetiyle kaynak yöntemiyle kaynaklanabilmektedir ve büyük firmaların çoğu bu yöntemi kullanmaya başlamış ve hatta seri üretime bile geçmişlerdir.

Şekil 3.1’de farklı otomobil parçaları gösterilmiştir. Bu parçalar elektron demetiyle kaynak yöntemiyle kaynaklanmış veya modifiye edilmiştir. Elektron demetiyle kaynak yöntemiyle en çok dişliler ve türbin çarklarında kaynak yapılmaktadır.

Kaynaktan ziyade desenleme/yapılama açısından bakıldığında debriyaj taşıyıcısı, şanzıman bileşenleri ve şaft montaj grubu elemanlarını elektron demetiyle kaynak yöntemiyle desenlendirmek mümkündür.

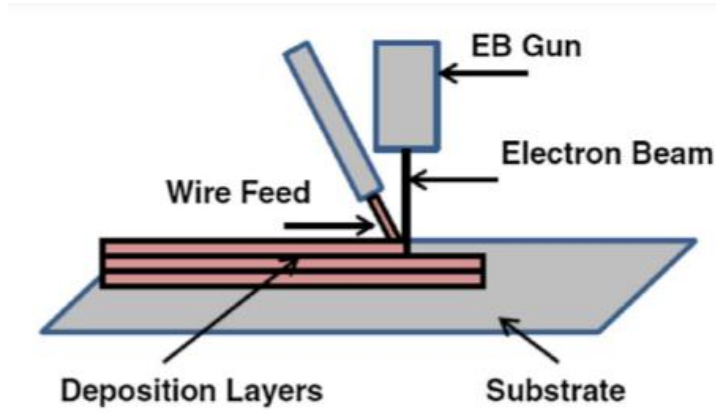


Şekil 3.1: Elektron demetiyle kaynak yöntemiyle kaynaklanmış otomobil parçaları [5].



Şekil 3.2: a) debriyaj taşıyıcısı, b) şaft montaj grubu elemanları, c) ve d) şanzıman bileşenleri.

Desenleme işlemi Şekil 3.3'teki gibi yapılır. Desen oluşturulacak malzeme bir kablo şeklinde sisteme verilir ve elektron demetiyle eritilerek yüzeye depozisyonu sağlanır.



Şekil 3.3: Elektron demetiyle bir yüzey modifikasyonu olan desenleme işleminin gösterimi [12].

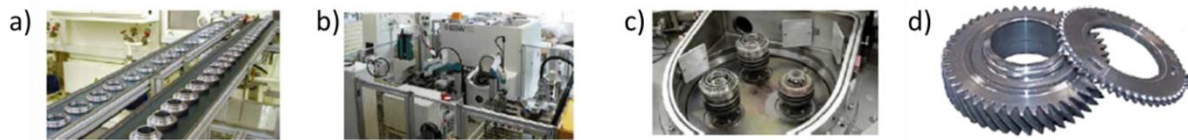


Şekil 3.4: Farklı otomobil parçaları ve elektron demetiyle kaynak yapıldığı bölgelerin görüntüsü.

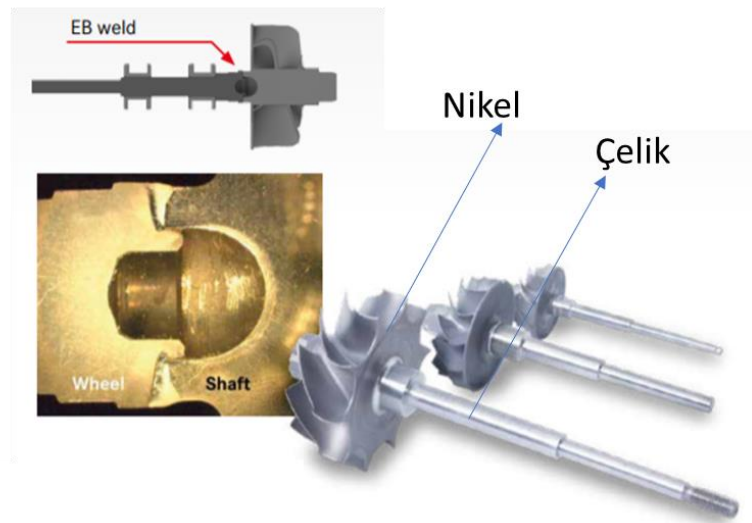
Şekil 3.4'te ise farklı otomobil parçaları ve elektron demetiyle kaynak yapıldığı bölgelerin fotoğrafları verilmiştir. Bu fotoğraflarda elektron demetiyle kaynak yöntemiyle yapılan kaynağın ince ve derin bir profile sahip olduğu ve parçaları yekpareymiş gibi bir görüntüyle birleştirdiği görülmektedir.

Günümüzde seri üretimle elektron demetiyle kaynak yapan otomobil ve otomobil parçaları üreten firmalar Volkswagen ve BorgWarner Turbo&Emissions Systems firmalarıdır [5].

Volkswagen tüm araçlarındaki senkromeç halka dişlisi ve iletim dişlilerini elektron demetiyle kaynak yöntemiyle kaynaklamaktadır ve bunun için seri üretim hattı kurmuşlardır [5]. Şekil 3.5'te bu hat, döngüsel iş çemberine sahip cihaz ve birleştirilen parçalar verilmiştir.



Şekil 3.5: Volkswagen firmasına ait a) üretim hattı, b) elektron demetiyle kaynak cihazı, c) döngüsel iş alanı ve d) senkromeç halka dişlisi ve iletim dişlisi [5].



Şekil 3.6: BrogWarner Turbo&Emissions Systems tarafından kaynaklanmış türbin çarkı [5].

BrogWarner Turbo&Emissions Systems firması nikel türbin çarkı pervanesiyle çelik şaftı elektron demetiyle kaynak yöntemiyle başarılı bir şekilde kaynaklamışlardır. Bu kaynağın görüntüsü ise Şekil 3.6'da verilmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] M. St. Weglowski, S. Blacha, A. Philips, Electron beam welding – Techniques and trends – Review, 2016, Vacuum, 130, 72-92.
- [2] Electron Beam Welding, Beamalloy Inc., <https://beamalloy.com/electron-beam-welding/>
- [3] Technical Scheets, Electron beam welding, EWF Mater., 2007.
- [4] J. Singh, A. S. Shahi, Metallurgical and corrosion characterization of electron beam welded duplex stainless steel joints, 2020, J. Manuf. Proc., 50, 581-595.
- [5] PTR Strahltechnik, Solutions for the Automotive Industry, Brochure, sst-ebeam.com
- [6] H. Schultz, Electron Beam Welding, Abington Publishing, Cambridge, 1993.
- [7] A. H. Meleka, Electron Beam Welding, McGRAW -HILL, London, 1971.
- [8] B. Bauer, M. Basic, High Energy Density Welding Processes, UNESCO-EOLSS.
- [9] K. R. Schulze, Electron beam Technologies, vol. 1e compact knowledge, DVS Media GmbH, Düsseldorf, 2012.
- [10] Promotional materials of Focus GmbH, Electron Beam Welding with the Focus MEBW-60, 2013.
- [11] M. St. Weglowski, S. Blacha, J. Dworak, Electron beam welding – equipment and accessories, Inst. Weld. Bull. 58, 22-30, 2014.
- [12] W. E. Frazier, Metal additive manufacturing: a review, J. Mater. Eng. Perform, 23, 1917-1928, 2014.

Elektron Demeti ile Yüzey Sertleştirme

Arda ÜÇOK

1. GİRİŞ

Doğal kaynakların azalması ve modern endüstrinin sürekli büyümesi nedeniyle, malzemelerin yapılarının ve özelliklerinin değiştirilmesi için yeni teknolojilerin dahil edilmesi son yıllarda büyük önem taşımaktadır. Elektron demeti ile sertleştirme yöntemleri uzay gemileri, tren, uçak ve otomotiv endüstrisi gibi birçok endüstriyel alanda büyük ilgi görmeye başladı. Yapılan literatür taramasına göre, elektron demeti işleme teknolojilerinin sertleştirilmiş malzemelerin gerekli olduğu çok sayıda uygulamaya sahip olduğu ve geleneksel yöntemlere kıyasla birçok faydaya sahip olduğu açıktır [4].



Şekil 1.1: Otomotiv Parçaları.

1.1 Mekanik Hasarlar ve Yorulma Kırınımı

Gevrek malzemelerin içinde mikro çatlaklar vardır. Mikro çatlağın ucunda oluşan gerilme yığılması çatlağı ilerletebilecek seviyede ise çatlak ilerler ve kırılma meydana gelir. Malzemelerin yüzeyindeki pürüzler çentik gibi etki ederek gerilme yığılması oluşturur. Sünek metallerin içinde çentik etkisi yaratacak geometrik şekil olmamasına ve yüzeyinde hiç pürüzlülük olmayacak kadar parlak olmalarına rağmen malzemede yorulma gözlenir. Uygulanan gerilme dolayısıyla metalin yüzey tanelerinde dislokasyon hareketleri ile kaymalar meydana gelir. Bu kaymadan dolayı malzemede pürüzlülük oluşur ve yine bu pürüzlülükler çentik etkisi yapar. Çatlak ilerlemesi ile küçülen kesit uygulanan gerilmeyi taşıyamayacak hale gelince ani olarak malzeme kırılır.

Yorulma kırılması olmadan önce, malzemede herhangi bir değişiklik gözlenemediği ve çatlakların varlığı da anlaşılmadığı için yorulma kırılması büyük hasarlara neden olabilir. Meydana gelen mekanik hasarların %80 sebebi yorulma hasarıdır. Yorulma kırılımını, otomotiv sektörü içerisinde üretilen parçaların genel problemi olarak gösterilebilir [2].

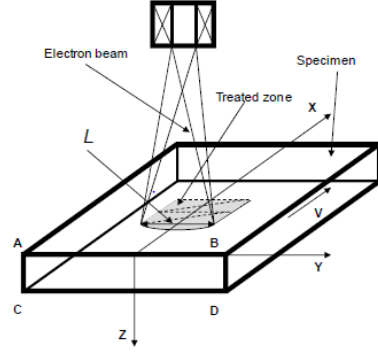
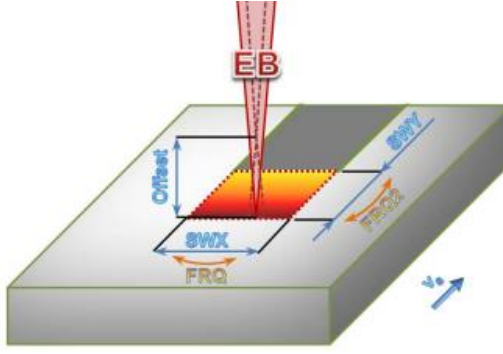


Şekil 1.1.1: Yorulma Kırılımını Gösterimi [2].

Bu durum yüzey koşullarından etkilendiğinden, yüzey haddeleme, bilyeli çekiçleme, yüksek frekanslı indüksiyonla sertleştirme, lazer ışını sertleştirme ve elektron demeti sertleştirme teknikleri kullanılarak yorulma özelliklerini iyileştirmek hedeflenmiştir. Geleneksel olarak kullanılan yüksek frekanslı indüksiyonla sertleştirme tekniğinde, özellikle karmaşık şekillere sahip parçalarda, yüzey koşullarına bağlı olarak homojen olmayan ısınmalar gözlemlenmiştir. Ayrıca parça boyutunun sınırlandırılması ve soğutma sıvısı gereksinimi gibi eksiklikleri de vardır. Bu problemleri çözmek için karmaşık şekillere sahip ve belirli mekanik özellik gerektiren parçaların yüzey işlemleri elektron demeti sertleştirme tekniği ile yapılmaktadır.

2. ELEKTRON DEMETİ İLE YÜZEY SERTLEŞTİRME

Elektron demeti ile yüzey sertleştirme, enerji kaynağı olarak organize bir elektron demeti kullanılan bir malzeme sertleştirme işlemidir. Elektron demetinin malzemenin yüzeyindeki bombardımanı, malzemenin yüzey sertliğinin arttığı bir sıcaklığa ulaşana kadar artan ısı yaratır. Bu, bir malzemenin çekirdeğindeki sünekliliği ve tokluğu korurken mükemmel yüzey aşınma direncine sahip olmasını sağlar. Elektron demeti sertleştirme tipik olarak bir nesnenin çok ince bir yüzey katmanını belirli bir sıcaklığa yükselterek ve ardından hızla soğumasına izin vererek sertleştirmek için kullanılır [6].



Şekil 2.1: Elektron Demeti ile Yüzey Modifikasyonu şematik gösterimi [6].

Elektron demeti ile sertleştirme, tipik olarak bir tungsten veya bir tungsten alaşımından yapılmış bir elektrottan yayılan elektronları içerir. Serbest elektronlar için filament boyunca binlerce volt hareket ettirilir ve daha sonra elektron yayını başlatılır [6].

Tungsten Filament;

- Sıcaklık: 2500-3000 C°
- Akım : 25-100 mA
- Yoğunluk : 5-15 cm⁻²
- Voltaj: 150 kV

Elektron demeti sertleştirme işlemi sırasında, yayılan elektronlar manyetik alan kullanılarak organize edilir ve odaklanır. Bu odaklanma, elektron demeti sertleştirme sürecine, işin yapıldığı malzemeyi ısıtmak için gereken enerji yoğunluğunu verir [6].



*Elektron Demeti Yarıçap Aralığı:

10-200 mikrometre

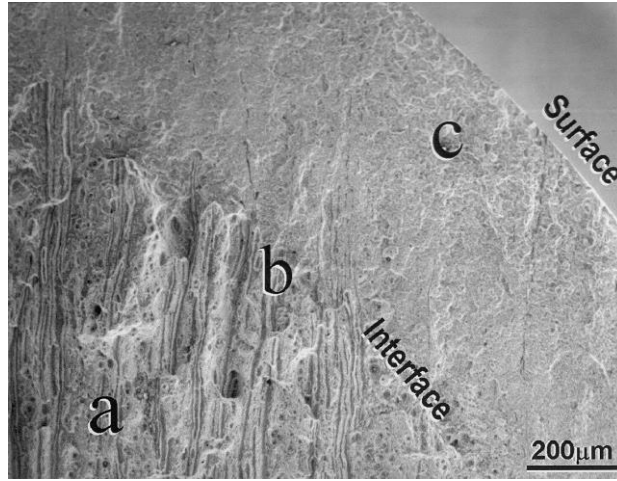
*Yoğunluk : 6500 GW/mm² (Max)

Elektron demeti sertleştirme işlemi gerçekleştirilirken demetin parça boyunca yönlendirilmesi gerekir ve bu, elektron demeti tabancasının ve manyetik alanın hareket ettirilmesiyle yapılır. Hem filamentin hem de elektron demeti sertleştirme işleminden geçen malzemenin kirlenmesini önlemek için yapılan tüm iş bir vakumda yapılır.

Elektronların kinetik enerjisi ısıya dönüştürülerek yüzeyden kütleyle termal dağılımın oluşmasına yol açar. Isıtma ve soğutma oranları oldukça yüksektir. Yapılan işlem sonucu malzemenin mikroyapısında, kimyasal bileşiminde ve yüzey performansında değişiklikler gözlenir. Isıl işlem parametreleri hassas bir şekilde kontrol edilebilir, bu da işlenen malzemelerin yapısı ve özelliklerinin hassas kontrolüne olanak sağlar. Geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında elektron demeti sertleştirme işleminin avantajlarını sıralamak gerekirse [3];

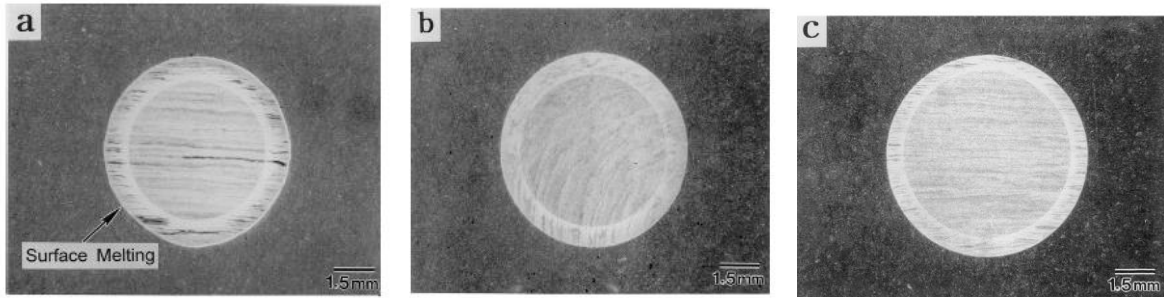
- Geleneksel teknolojilere kıyasla düşük maliyetli
- Geleneksel teknolojilere kıyasla düşük işlem süresi
- Homojen ısı dağılımı
- Parametrelerle tanımlanan koşullar tekrarlanabilir.
- Alaşımlama, katkılama ve sertleştirme işlemleri opsiyonel olarak birlikte uygulanabilir.

Elektron demeti ile sertleştirmenin diğer sertleştirme işlemlerine göre benzersiz olan yanı, bir malzemenin yalnızca en dış katmanını sertleştirebilmesi ve malzemenin çekirdeğini orijinal mekanik ve kimyasal özellikleriyle bırakmasıdır. 0,004 inçten (0,1 mm) daha az kalınlıklar, elektron demeti sertleştirme işlemi kullanılarak sertleştirilebilir.



Şekil 2.2: Sertleştirme işlemi sonrası malzemenin SEM görüntüsü. [2].

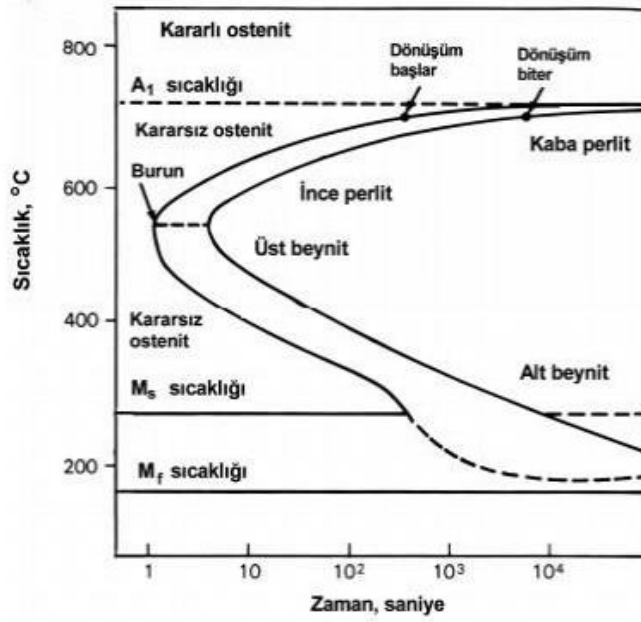
İşlenen malzemenin yüzeyindeki sıcaklık, malzemenin erime noktasından daha düşük bir değere ulaştığında, işlenen bölge katı halde kalır, ancak bazı yapısal değişiklikler ve faz dönüşümleri meydana gelir. Bu yöntem çoğunlukla sertleştirme için kullanılabilir. Numunenin erime noktasına ulaşılması durumunda, muamele edilen yüzey alanı, bazı alaşım elementlerinin eklenebileceği sıvı hale gelir. Bu teknik yüzey alaşımlama, kaynak, sertleştirme ve tekstüre işlemlerinde kullanılır. Ek olarak, elde edilen yüzey sıcaklığı önemli bir miktarın buharlaştığı (veya süblimleştiği) noktaya ulaştığında buharlaşma ve ince film biriktirme için kullanılabilir [5] [2].



Şekil 2.3: a) Yüksek Frekanslı İndüksiyon ile Sertleştirme b) Lazer ışını ile Sertleştirme c) Elektron Demeti ile Sertleştirme [2].

2.1 Sertleşme ve Martenzit Yapı

Sertleşmeyi sağlayan mekanizma, östenitleme sıcaklığında beklenmesiyle oluşan östenitin soğuma sonrası hacim merkezli tetragonal (HMT) kristal kafes yapısına sahip martenzite dönüşmesidir. Martenzit Fe-C denge diyagramında olmayan bir fazdır. Çeliğin hızlı soğuması sonucunda oluşan martenzitik dönüşüm TTT (Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm) diyagramı ile gösterilebilir. Sertleştirme işlemi sırasında, elektron demeti parametreleri ve teknolojik koşullar tam olarak optimize edilmelidir [3]

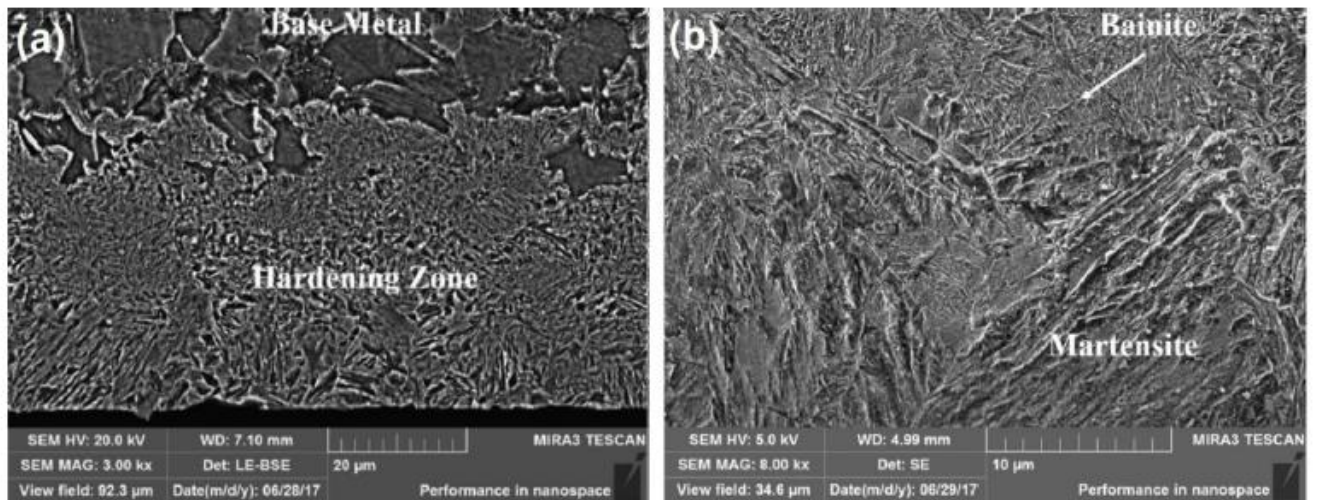


Şekil 2.1.1: TTT (Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm) diyagramı [3].

İşlenen parça, martenzit dönüşüm sıcaklığının üzerinde, ancak aynı zamanda erime noktasından daha düşük bir sıcaklığa kadar ısıtılmalıdır. Çok yüksek soğutma hızının bir sonucu olarak, numune yüzeyinde, temel (işlenmemiş) malzemeye kıyasla önemli ölçüde daha yüksek sertlik ile karakterize edilebilen ince mikro yapı oluşur.

Aynı zamanda, bir numunenin yüzeyinin erimeden elektron demeti ile sertleşmesi, işlem öncesi ile aynı yüzey pürüzlülüğünü sağlarken ihmal edilebilen değişiklikler gözlemlenebilir.

Öte yandan elektron demeti ile sertleştirme sırasında yüzeyin erimesi, yüzey pürüzlülüğünde önemli bir artışa neden olur. Bu nedenle, elektron demeti işlem parametrelerinin ve teknolojik koşulların seçimi ve optimizasyonu, malzemelerin yüzeylerinin amaçlarına ve gereksinimlerine büyük ölçüde bağlıdır [5]. Martenzit yapının yüzey kalitesi Şekil 8'de gösterildiği gibidir.

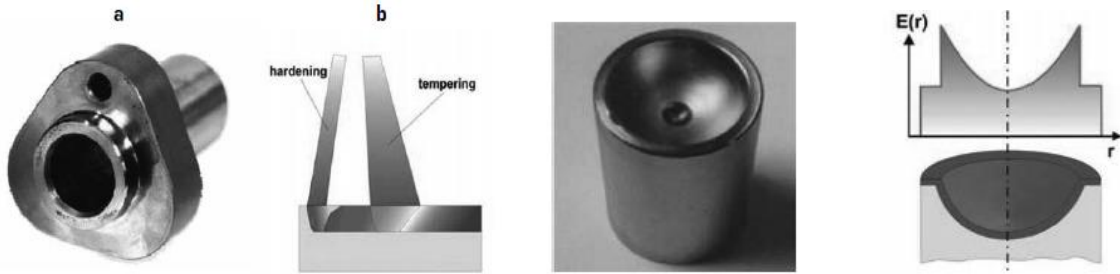


Şekil 2.1.2: Sertleştirme işlemi sonrası SEM görüntüsü [5].

3. ENDÜSTRİYEL ÜRÜNLER

4140 çeliği kimyasal bileşimleri karbon miktarı bakımından sertleştirmeye elverişli olan ve ıslah işlemi sonunda belirli yükler altında yüksek tokluk özelliği gösteren alaşımlı yapı çelikleridir. Otomobil ve uçak yapımında, krank mili, aks mili ve kovani, yivli mil ve benzeri sünekliği yüksek parçalar, ayrıca dişli ve çark yapımında kullanılır.

4140 çeliğin yüksek enerjili elektron demeti ile elektron bombardımanına tabi tutulması üzerine yüzeyde homojen kalınlıkta sertleşmiş bir tabaka oluşur [11]. Demetin gücü, yüzey tabakasının tepe sıcaklığını, sertliği ve sertleştirilmiş derinliği belirler. Çok düşük elektron demeti gücünde, sıcaklık artışından kaynaklanan mikroyapısal modifikasyon yeterli değildir, oysa çok yüksek elektron demeti gücü ile yüzeyde erime meydana gelir. Bu nedenle, uygun seviyede ısı girdisi kullanmak önemlidir. Yüzey sertleştirme ile birlikte yorulma özelliklerini iyileştirmek için, elektron demetine tabi tutulmuş yüzey katmanının termal geçmiş verilerine dayalı olarak optimum ısı girdisi koşulları çıkarılmalıdır. 4140 çeliğinin termal transfer ve faz dönüşüm süreçlerinin anlaşılması, optimum mikro yapı ve ışınlama parametrelerini tanımlamak için de gereklidir [11].



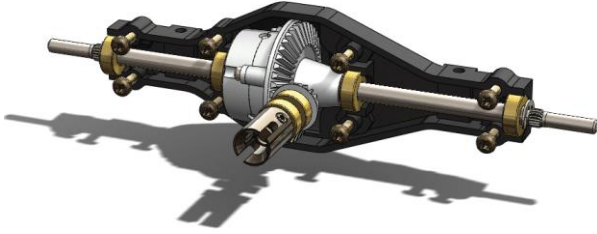
Şekil 3.1: Yüzey modifikasyonu sonrası malzeme örnekleri a) güç aktarma sistemi bileşeni b) Taşıyıcı kapak [3].



Şekil 3.2: Yüzey modifikasyonu sonrası malzeme örnekleri (Dişli Çark) [3].

3.1 Kam Mili

- Kam mili, silikon, manganez, krom, nikel, bakır, molibden ve vanadyum elementlerinden alaşımlanmış, ısıl işlem görmüş bir dizi kam lobuna sahip bir eksantrik mildir.
- Döküm kam mili, karbür yapısını korurken işlenebilirliği iyileştirmek için ısıl işleme tabi tutulur frezelenir ve kam loblarında yüzey sertleştirilir.
- Kam milinin belirli bir sıcaklığa ısıtılması (1550 ila 1700 ° F (843-927 ° C) elektron demetinin malzemenin yüzeyine bombardımanı ile iki saatten daha kısa bir sürede gerçekleşir. Karbürlerin bozulmadan ve kontamine olmadan tavlanması için bir ila dört saatlik bir süre boyunca sabit sıcaklıkta tutularak östenit fazına ulaşır, bir ila dört saat içinde en az 400 ° F (204 ° C) 'ye soğutulması işlemi ile süreç tamamlanır [11].



KAYNAKÇA

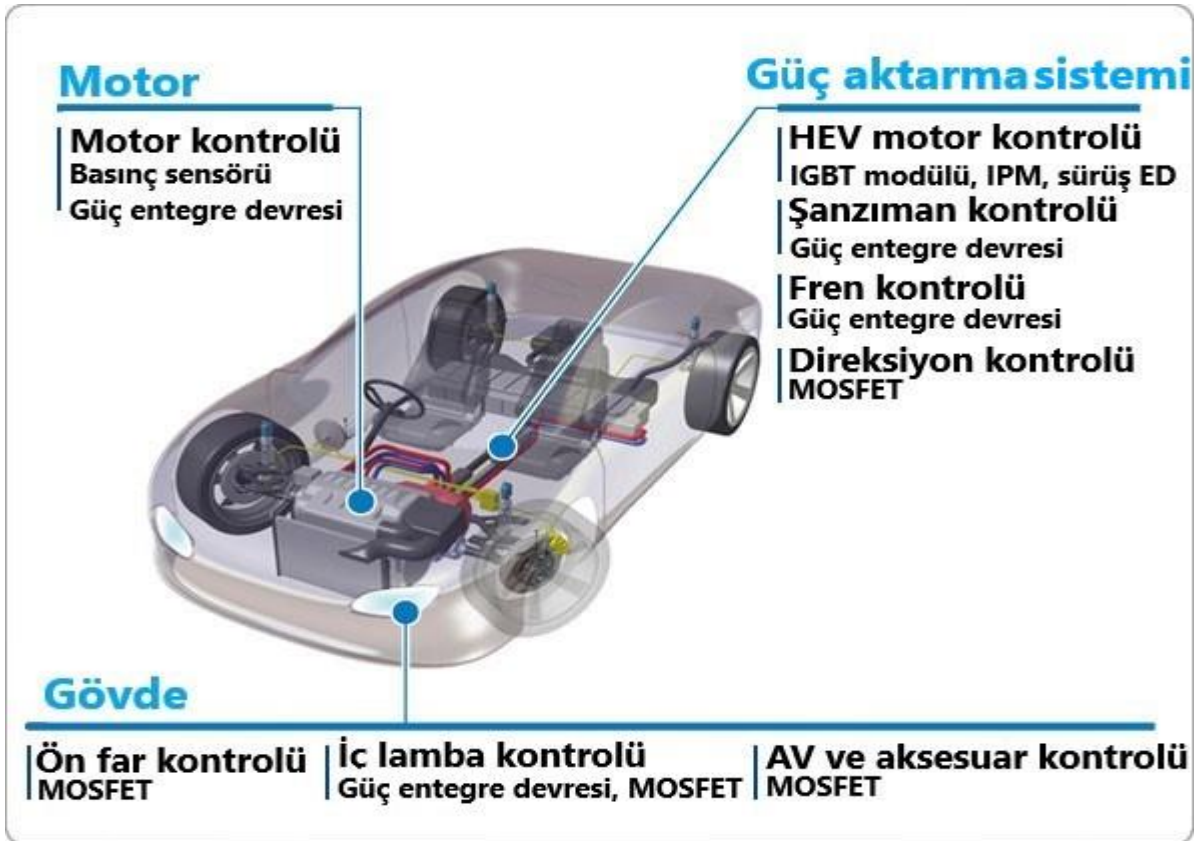
- [1] K P Friedel, J Felba, I Pobolb and A Wymysiowski,” A systematic method for optimizing the electron beam hardening process” *Technica! Institute, Belarus Academy of Science, 4 Zhodinskaya St., 220730 Minsk, Befarus*
- [2] Seong-Hun Choo a,* , Sunghak Lee a, Mikhail G. Golkovski “Effects of accelerated electron beam irradiation on surface hardening and fatigue properties in an AISI 4140 steel used for automotive crankshaft.” *Materials Science and Engineering A293 (2000) 56–70*
- [3] SCHILLER, S.; PANZER, S.: Thermal surface modification by HF-deflected electron beams. In: Proceedings of the Conference on the Laser VS the Electron Beam in Welding, Cutting and Surface Treatment: State of the Art, Reno, 1985, part 2, pp. 16-32
- [3] ZENKER, R.; WAGNER, E.; FURCHHEIM, B.: Electron beam – a modern energy source for surface treatment. In: 6th International Seminar of IFHT: Advanced Heat Treatment Techniques Towards the 21st Century: 15.-18.10.1997, Kyongju, 1997
- [4]ZENKER, R.: Structure and properties of electron beam surface treatment. In: *Advanced Engineering Materials* 6(2004), 7, pp. 581-588
- [5] Stefan Valkov * , Maria Ormanova and Peter Petrov “Electron-Beam Surface Treatment of Metals and Alloys: Techniques and Trends” Institute of Electronics, Bulgarian Academy of Sciences, 72 Tzarigradsko Chaussee blvd., 1784 Sofia, Bulgaria
- [6] P Petrov ”Optimization of carbon steel electron-beam hardening” 16th International Summer School on Vacuum, Electron, and Ion Technologies (VEIT 2009)
- [7] Petrov P and Dimitrov D 1998 A computer modeling of surface electron beam transformation hardening *Proc. 6th Int. Conf. Welding and Melting by Electron and Laser Beams* (Toulon France June 1998) pp 101-8
- [8] Schiller S and Pancer S, 1988 *Annual Review of Materials Science* 18 121
- [9]Weglowski, M. Electron beam rapid prototyping using wires and modification of the surface. In *Manufacturing Techniques for Materials: Engineering and Engineered*, 1st ed.; Srivatsan, T., Sudarshan, T., Manigandan, K., Eds.; Taylor and Francis Group: Boca Raton, FL, USA, 2018; pp. 133–160.
- [10] Zou, J.; Qin, Y.; Dong, C.; Wang, X.; Wu, A.; Hao, S. Numerical simulation of the thermal-mechanical process of high current pulsed electron beam treatment. *J. Vac. Sci. Technol. A* 2004, 22, 545–552.
- [11] Mehmet Emin TAŞDELEN 1,* , Hasan YEŞİLYURT 2 “AISI 4140 Çeliğinin Çeşitli Çift Fazlı Mikro yapılarında Mekanik Özellikleri İle Sürtünme Davranışı İlişkisinin İncelenmesi” *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi Cilt 4(1) 88-96 2015*

Yarı İletkenlerde İyon Aşılması

Mehmet KARAHAN

1. GİRİŞ

İyon aşılması, bir elementin iyonlarının hızlandırıldığı ve katı bir hedefe yönlendirildiği, böylece hedefin fiziksel, kimyasal veya elektriksel özelliklerini değiştiren düşük sıcaklıklı bir işlemdir. İyon aşılması, yarı iletken cihaz imalatında, metal kaplamada ve ayrıca malzeme bilimi araştırmalarında kullanılır. İyonlar, hedef malzemenin üzerinde kalırsa, hedefin temel bileşimini değiştirebilir (iyonların bileşimi hedeften farklıysa). İyon aşılması, iyonlar hedefe yüksek enerjide çarptığında kimyasal ve fiziksel değişikliklere de neden olur. Bu raporda yarı iletkenlerde iyon aşılması ve otomotivde kullanımı işlenmiştir. İyon aşılması sayesinde elektrikli ve hibrit araçlarda kullanılan yarı iletkenler daha yüksek voltajda çalışabilmekte, iletkenliği artırılabilir, boyutları küçültülmekte ve verimliliği artırılabilir. İyon aşılması sayesinde elektrikli araçlarda batarya boyutu ve ağırlığı azaltılabilir, maliyet düşürülmektedir. Elektrikli ve Hibrit araçlarda kullanılan yarı iletkenlerin şematik gösterimi Şekil 1’de verilmektedir.



Şekil 1.1: Elektrikli ve Hibrit araçlarda kullanılan yarı iletkenlerin şematik gösterimi.

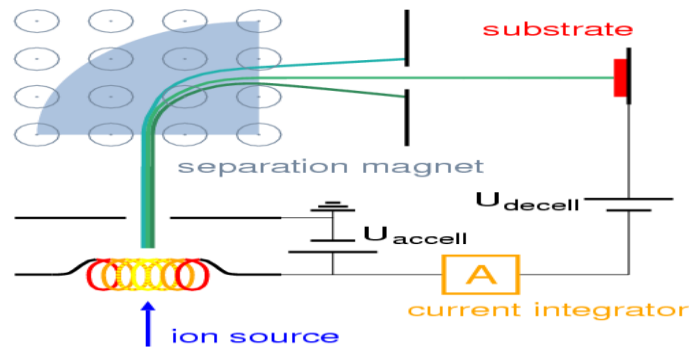
Raporda kullanılan kısaltmalar ve terimler Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1.1: Kısaltmalar ve terimler

Terimler	Karşılıkları
1 eV (elektron Volt)	0.16 aJ (attoJoules)
1 attoJoules	10^{-18} Joule
Annealing	Tavlama, gerilim giderme, talaşlı işlem, soğuk şekillendirme ve kaynak gibi ön imalat işlemleriyle meydana gelen iç kalıcı gerilimleri gidermek amacıyla kullanılan yöntemdir.
AV (Audio Visual) and Accessory control	Ses Görüntü ve Aksesuar kontrolü
HEV	Hibrit Elektrikli Araç
IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)	İzole edilmiş kapılı, iki kutuplu transistör
IPM (Intelligent Power Module)	Akıllı güç modülü
İyon implantation	İyon aşılması
MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)	Metal Oksit Yarıiletkenli Alan Etkili Transistör
Wafer	Bir hammaddenin, disk plaka şeklinde hazırlanmış halidir.

2. İYON AŞILAMASI EKİPMANI

İyon aşılması ekipmanı, istenen elementin iyonlarının üretildiği bir iyon kaynağı, iyonların elektrostatik olarak yüksek bir enerjiye hızlandırıldığı bir hızlandırıcı ve iyonların malzeme olan bir hedefe çarptığı bir hedef odadan oluşur. Tipik iyon enerjileri 10 ila 500 keV (1.600 ila 80.000 aJ) aralığındadır. İyon aşılmasında genellikle 5 MeV gücündeki hızlandırıcılar kullanılır. İyon aşılmasının şeması aşağıda görülmektedir [1].



Şekil 2.1: İyon aşılması ekipmanı [2].

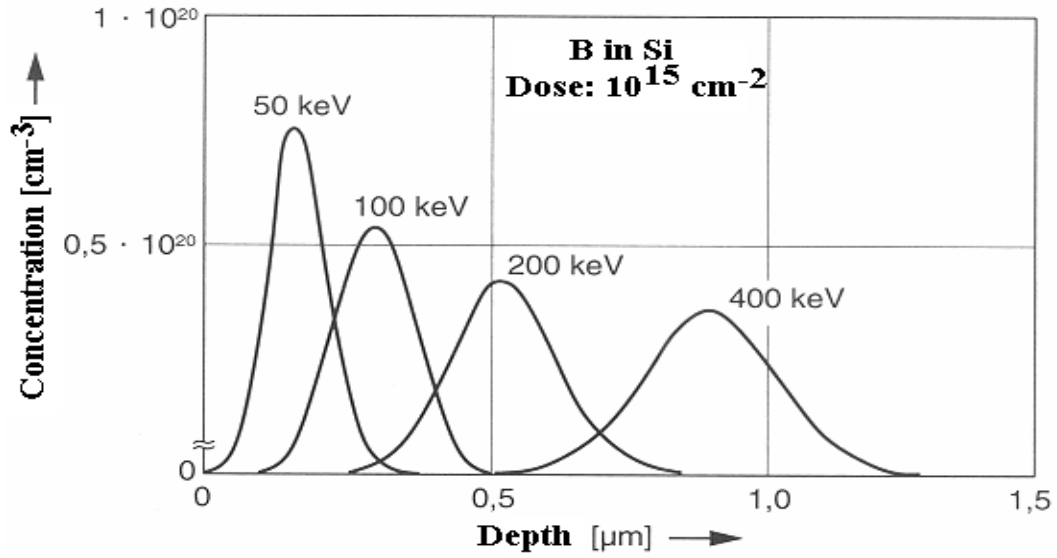
Toulouse Fransa’da Ulusal Bilimler Araştırma Merkezi’nde yer alan iyon aşılama sistemi Şekil 3’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2: İyon aşılama sistemi [3].

3. İYON ENERJİSİ-DERİNLİK İLİŞKİSİ

Silisyum (Si) üzerine aşılama Bor (B) iyonlarının enerjiye bağlı olarak ne kadar derine nüfuz edebildiğini gösteren grafik aşağıdaki gibidir [4]:



Şekil 3.1: Silisyum üzerindeki B iyonlarının enerjiye bağlı olarak nüfuz edebildiği derinlik [4].

4. İYON AŞILAMASININ YARI İLETKEN CİHAZ İMALATINDAKİ UYGULAMALARI

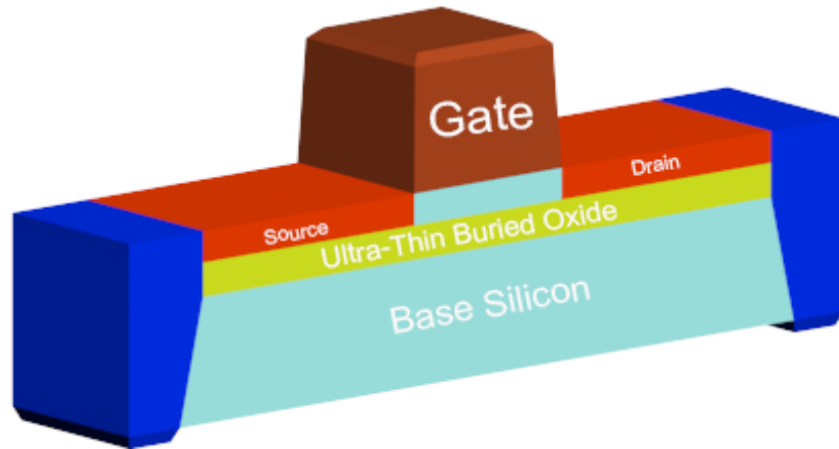
İyon aşılamaının yarı iletkenler üzerindeki uygulamaları doping, yalıtkan üzerindeki silisyum (silicon on insulator) ve mesotaxy yöntemleri kullanılarak yapılmaktadır. Her yöntem ilgili alt başlıklarda anlatılmıştır.

4.1 Doping

Bor, fosfor veya arsenik ile yarı iletken katkılama, iyon aşılamaının yaygın bir uygulamasıdır. Bir yarı iletkenin içine aşılandığında, her bir katkı atomu tavlama (annealing) sonra yarı iletkende bir yük taşıyıcı oluşturabilir. Bir p-tipi katkı maddesi (dopant) için bir delik ve bir n-tipi katkı maddesi için bir elektron oluşturulabilir. Bu katkılama, yarı iletkenin iletkenliğini değiştirir. 3A grubu elementleri Bor, Galyum ve İndiyum p tipi katkılayıcı, Fosfor ve Arsenik gibi 5A grubu elementler n tipi katkılayıcı olarak kullanılır [5]. Bu katkılama tekniği bir MOSFET'in eşik değerini (threshold) ayarlamak için kullanılabilir. İyon aşılamaı, 1970'lerin sonlarında ve 1980'lerin başlarında fotovoltaiik cihazların pn birleşimini üretmek için bir yöntem olarak geliştirilmiştir. Hızlı tavlama (annealing) için darbeli elektron ışını kullanılabilir [6].

4.2 Yalıtkan üzerindeki silisyum

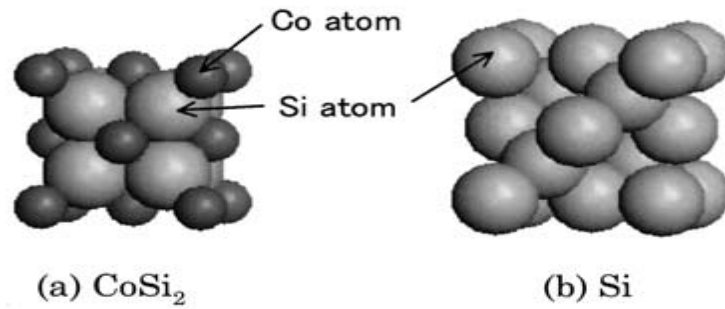
Normal silisyum substratlarından yalıtkan üzerinde silisyum (silicon on insulator) substratının elde edilebilmesi için (SOI) oksijen aşılamaı ile ayırma yöntemi kullanılır. Yüksek doz oksijen aşılamaı, yüksek sıcaklıkta bir tavlama işlemiyle silisyum okside dönüştürülür. Bu işlemde 100 nm silisyum tabanı kullanılır. Aşağıdaki şekilde yalıtkan üzerindeki silisyum uygulaması gösterilmiştir [7], [8].



Şekil 4.1: Yalıtkan üzerindeki silisyum [7].

4.3 Mesotaxy

Yüksek dozda metal iyonlarının silisyumun içine yerleştirilmesi ve ardından tavlama ile (annealing) tekli kristal yapısında disilisit tabakalar (disilicide layers) oluşturulabilir. Bu tekniğe mezotaksi denir. Kübik kafes yapısına sahip olan ve kafes yapısı Silisyum ile uyumlu olan CoSi_2 ve NiSi_2 'de bu teknik kullanılır. 200 keV Co iyonlarının yüksek dozda aşılması ve ardından tavlama ile CoSi_2 katmanı oluşturulur. $3 \cdot 10^{17} / \text{cm}^2$ 200 keV dozunda Co iyonları 350 C'deki Silisyuma aşılanır. 1 saat boyunca 600 C'de ve 30 dakika boyunca 1000 C'de ısıtılır. Ortaya çıkan CoSi_2 katmanı yüksek iletkenliğe ve iyi bir kristal yapısına sahiptir. Oluşan CoSi_2 , MOSFET yarı iletkenlerin üretiminde kullanılır [9], [10], [11].



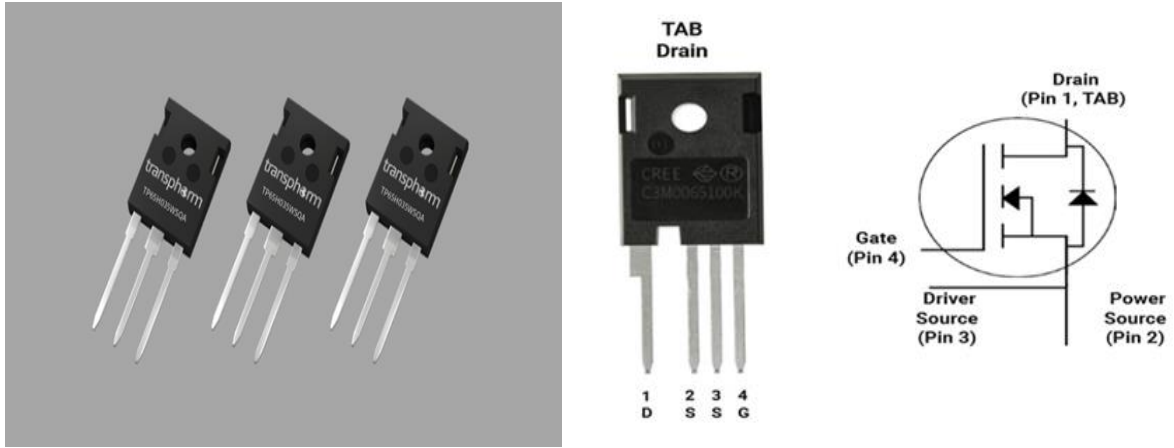
Şekil 4.2: Kobalt silisyumun yapısı [12].

5. OTOMOTİV SEKTÖRÜNDEKİ YARI İLETKENLER

Otomotiv sektöründeki yarı iletkenlerin pazar payı 75 milyar dolardır. Yıllık %8 'lik bir büyüme gerçekleşmektedir. Yarı iletkenlerin bir otomobilin maliyetindeki payı %9'dur. Elektrikli otomobillerin üretilmesiyle bu pay artacaktır. Yarı iletkenler navigasyon uygulamalarında, araç içi haberleşme platformlarında, grafik işleme ünitelerinde, sürücü uyarı sistemlerinde kullanılmaktadır [13], [14].

5.1 Elektrikli ve hibrit araçlarda kullanılan yarı iletkenler

Galyum nitrit (GaN) ve silisyum karbür (SiC) elektrikli araçların bataryalarında kullanılan yarı iletkenlerdir. İyon aşılmasıyla daha verimli yarı iletkenler üretilmektedir. Bu şekilde üretilen silisyum wafer'lar daha yüksek voltajlarda çalışabilmektedir. Tesla Model 3'te SiC transistörleri kullanmıştır [15].



Şekil 5.1: Galyum nitrit transistör (solda) ve Silisyum karbür transistör (sağda) [16], [17].



Şekil 5.2: Tesla Model 3 [18].

Renault-Nissan-Mitsubishi ortaklığı 2021 yılından itibaren SiC transistörler kullanmayı planlamaktadır. Yeni SiC transistörler sayesinde bataryanın ağırlığının azaltılması, boyutunun küçültülmesi ve verimliliğinin artırılması planlanmaktadır. Yeni SiC transistörler Renault'un elektrikli modeli Renault Zoe'da kullanılacaktır [19].



Şekil 5.3: 2021 Renault Zoe elektrikli araç [20].

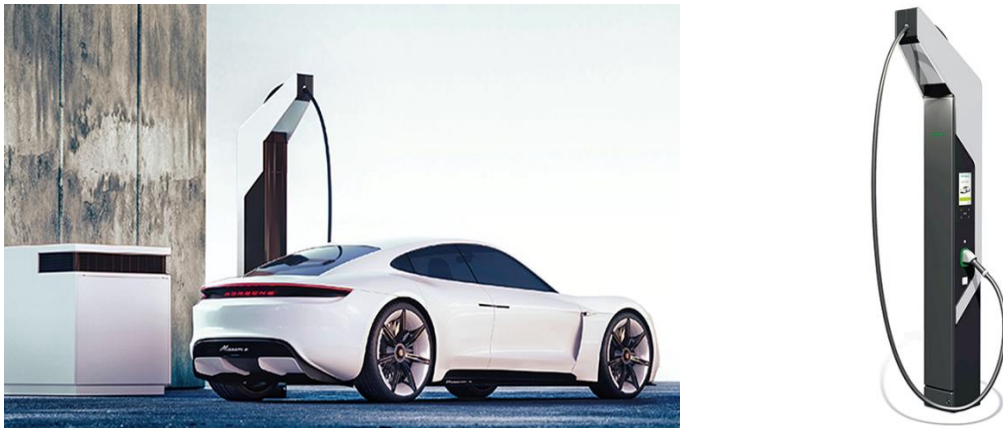


Şekil 5.4: 2021 Nissan Ariya elektrikli araç [21].



Şekil 5.5: 2021 Mitsubishi Outlander hibrit elektrikli araç [22].

Porsche elektrikli Taycan modelinin hızlı şarj edilmesi için Powerbox adını verdiği bir sistem geliştirmiştir. Bu sistemde SiC modülleri kullanılmıştır. İyon aşılması yapılmış SiC transistörler sayesinde daha az yer kaplayan ve yarı iletkenin anahtarlama kayıplarının azaldığı bir sistem geliştirilmiştir [23].



Şekil 5.6: Porsche Taycan ve Porsche PowerBox [23].

Energileri 200 – 680 keV arasında değişen Al ve N iyonlarının SiC'e aşılanmasıyla JFET transistörler üretilir. Bu şekilde üretilen transistörlerin iletkenliği 3 kat daha fazla ve elektriksel kırılım dayanıklılıkları 10 kat daha yüksektir. Elektriksel kırılım ya da dielektrik çökümü, uygulanan voltaj çöküm gerilimini geçtiğinde yalıtkan maddenin direncindeki ani azalmadır [24], [25].

GaN üretimindeki göze çarpan startup firmalar, Kanada Ottawa'da faaliyet gösteren GaN Systems ve Kaliforniya'da faaliyet gösteren Navitas Semiconductor, New York merkezli Odyssey Semiconductor ve İsrail'de faaliyet gösteren VisIC Technologies firmalarıdır [24], [25].

SiC üretiminde faaliyet gösteren şirketler ise North Carolina merkezli Cree, Virginia merkezli GeneSiC Semiconductor, New Jersey merkezli United Silicon Carbide ve New Hampshire merkezli GT Advanced Technologies'dir. Panasonic, ON Semiconductor, Texas Instruments ve SanKen Electric firmaları da GaN transistör üretimine başlamıştır [25], [25].

5.2 IGBT performansını iyileştirmek için gelişmiş arka taraf işlem üretim yöntemi

IGBT ön taraf işlemi tamamlandıktan sonra, wafer'ın arka tarafı inceltilir ve ardından donör safsızlık iyonları wafer'ın arka tarafına aşılanır. Arka tarafa aşılanan donör safsızlık iyonlarını etkinleştirmek için wafer'ın arka tarafına lazer tavlama gerçekleştirilir, böylece bir alan durdurma görevi gören bir N tipi tampon katmanı oluşturulur Alıcı safsızlık iyonları wafer'ın arka tarafına aşılanır. Arka tarafa aşılanan alıcı safsızlık iyonlarını etkinleştirmek için wafer'ın arka tarafına lazer tavlama yapılır, böylece toplayıcı görevi gören P tipi bir toplayıcı katman oluşur. Bu yöntem sayesinde, IGBT'nin basınç dayanımı artar. IGBT'nin elektrik akımı yoğunluğunun artması nedeniyle IGBT'nin cihaz boyutu azaltılabilir ve IGBT'nin maliyetinin düşürülmesi sağlanır [26].

5.3 Hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan yarı iletken ürünleri

Hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan yarı iletken ürünleri, motor kontrolünde kullanılan yarı iletken ürünleri, araç gövdesinde kullanılan yarı iletken ürünleri ve güç aktarma parçalarında kullanılan yarı iletken ürünleri olarak 3 ana kategoriye ayrılmıştır [27].

Motor kontrolünde kullanılan yarı iletken ürünleri aşağıdaki gibidir:

Basınç sensörü

Güç entegre devreleri

Araç gövdesinde kullanılan yarı iletken ürünleri aşağıdaki gibidir:

a) Far kontrolünde kullanılan yarı iletken ürünleri

MOSFET

b) Araç içi aydınlatma kontrolünde kullanılan yarı iletken ürünleri

Güç entegre devreleri

MOSFET

c) Görüntü-Ses (Audio visual control) ve Aksesuar kontrolünde kullanılan yarı iletken ürünleri

MOSFET

Güç aktarma parçalarında kullanılan yarı iletkenler aşağıdaki gibidir:

a) Hibrit ve elektrikli araç kontrolünde kullanılan yarı iletken ürünleri

IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) modülleri: İzole edilmiş kapılı, iki kutuplu transistör

İyon aşılmasıyla IGBT'lerin elektrik akım yoğunluğunun artırılması, fiyatının düşürülmesi sağlanır.

IGBT IPM (Intelligent Power Module)

Sürüş kontrol entegre devreleri

b) Transmisyon kontrolünde kullanılan yarı iletken ürünleri

Güç entegre devreleri

c) Fren kontrolünde kullanılan yarı iletken ürünleri

Güç entegre devreleri

d) Direksiyon kontrolünde kullanılan yarı iletken ürünleri

MOSFET'ler

Hibrit ve elektrikli otomobillerde kullanılan yarı iletken ürünlerine ilişkin fotoğraflar aşağıdaki gibidir:



Şekil 5.7: Basınç Sensörü [27].



Şekil 5.8: Bosch motor güç entegre devresi [27].



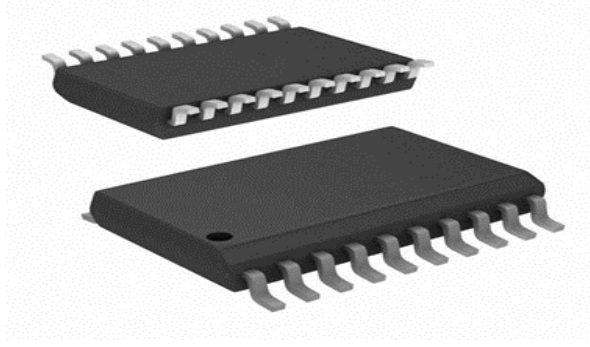
Şekil 5.9: MOSFET'ler [27].



Şekil 5.10: IGBT Modülü (İzole edilmiş kapılı iki kutuplu transistör) [27].



Şekil 5.11: IPM (Akıllı Güç Modülü) [27].



Şekil 5.12: Ekran sürücü entegresi [27].

6. SONUÇ

Bu çalışmada, yarı iletkenlerde iyon aşılması ve otomotiv sektöründe kullanımı ele alınmıştır. Öncelikle iyon aşılmasının tanımı verilmiş ve iyon aşılama ekipmanı anlatılmıştır. İyon enerjisi-derinlik ilişkisi ve iyonların yarı iletken cihaz imalatındaki uygulamaları anlatılmıştır. Otomotiv sektöründe kullanılan yarı iletkenler ayrıntılı bir şekilde anlatılmış, şematik olarak gösterilmiş ve liste olarak da verilmiştir. İyon aşılmasının yarı iletkenlerin performansını arttırdığı görülmüştür. İyon aşılması sayesinde yarı iletkenler daha yüksek voltajda çalışabilmekte, iletkenliği arttırılabilmekte, boyutları küçültülmekte ve verimliliği artmaktadır. İyon aşılması sayesinde elektrikli araçlarda batarya boyutu ve ağırlığı azaltılabilmekte, maliyet düşürülmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] R. W. Hamm, "Review of Industrial Accelerators and Their Applications, International Topical Meeting on Nuclear Research Applications and Utilization of Accelerators", IAEA Vienna, May 4-8, 2009.
- [2] D. Schwen, "Ion implantation setup with mass separator", Idaho National Laboratory, 2005,
https://en.wikipedia.org/wiki/Ion_implantation#/media/File:Ion_implanter_schematic.png
- [3] E. Imbernon, J. C. Marrot, "Ion Implantation", Laboratory for Analysis and Architecture of Systems, <https://www.laas.fr/public/en/ion-implantation>
- [4] Ion Implantation Basics, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, https://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/elmat_en/kap_6/backbone/r6_4_2.html
- [5] E. Demenev, "Evolution of Arsenic nanometric distributions in Silicon under advanced ion implantation and annealing processes", University Of Trento, Doctoral School in Physics, PhD Thesis, pp. 9, 2013, <https://core.ac.uk/download/pdf/35317145.pdf>
- [6] A. J. Armini, S. N. Bunker and M. B. Spitzer, "Non-mass-analyzed Ion Implantation Equipment for high Volume Solar Cell Production," Proc. 16th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 27-30 Sep 1982, San Diego California, pp. 895-899.
- [7] Fully Depleted Silicon-on-insulator (FD-SOI) Technology Market Size, Status and Forecast 2019-2025, A2Z Press Release, Akshay D, 2019,
<https://www.a2zpressrelease.com/semiconductor-and-electronics/fully-depleted-silicon-on-insulator-fd-soi-technology-market-size-status-and-forecast-2019-2025/>
- [8] Rahul Kr. Singh, Amit Saxena, Mayur Rastogi, On Insulator Technology Review, International Journal of Engineering Sciences & Emerging Technologies, May 2011, Volume 1, Issue 1, pp: 1-16.
- [9] Patent No: US4816421A, 1986, <https://patents.google.com/patent/US4816421>
- [10] Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, ISSN: 0168-583X, Vol: 39, Issue: 1, Page: 253-258

[11] White, A., Short, K., Dynes, R., Garno, J., & Gibson, J. (1986). Mesotaxy: Formation of Buried Single-Crystal CoSi₂ Layers by Implantation. MRS Proceedings, 74, 481.

doi:10.1557/PROC-74-481

[12] H. Shimazu, T. Iwasaki, H. Ohta, H. Miura, “Improvements in Thermal Stability of Cobalt-Silicide Films by Adding Nickel”, Journal of the Society of Materials Science Japan, 2008, vol. 57(9):929-935

[13] Automotive Semiconductor Market by Component (Processor, Analog IC, Discrete Power, Sensor, and Memory), Vehicle Type (Passenger, LCV, and HCV), Fuel Type (Gasoline, Diesel, and Electric and Hybrid), Application, and Geography - Global Forecast to 2022, Markets and Markets, 2016, <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/automotive-semiconductor-195.html>

[14] Erika Granath, Automotive Semiconductors: Where we are and where we are headed, mes insights the network for mobility electronic suppliers, <https://www.mes-insights.com/automotive-semiconductors-where-we-are-and-where-we-are-headed-a-893735/>

[15] Davide Di Gesualdo, SiC and GaN: Let’s Take Stock of the Situation, 2020, EE Times Europe, <https://www.eetimes.eu/sic-and-gan-lets-take-stock-of-the-situation/>

[16] M. Alba, “Transphorm’s latest GaN transistor passes automotive qualification”, Charged Electric Vehicles Magazine, 2019.

[17] R. Keim, “Exploring the Pros and Cons of Silicon Carbide (SiC) FETs: A New MOSFET from Cree”, All About Circuits, 2017, <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/pros-cons-silicon-carbide-sic-fets-c3m0075120K-MOSFET-Cree/>

[18] C. Randall, “Chinese Model 3 subject to a few upgrades”, electrive.com, 2020, <https://www.electrive.com/2020/09/15/chinese-model-3-subject-to-a-few-upgrades/>

[19] Michael Markowitz, STMicroelectronics to Supply Advanced Silicon-Carbide Power Electronics to Renault-Nissan-Mitsubishi for High-Speed Battery Charging in Next-Generation Electric Vehicles, STMicroelectronics Technical Media Relations, 2019, https://www.st.com/content/st_com/en/about/media-center/press-item.html/t3971.html

[20] W. Dron, “2020 Renault Zoe: prices, electric range, specs and release date”, The Sunday Times Driving, 2019, <https://www.driving.co.uk/news/new-cars/2020-renault-zoe-prices-electric-range-specs-release-date/>.

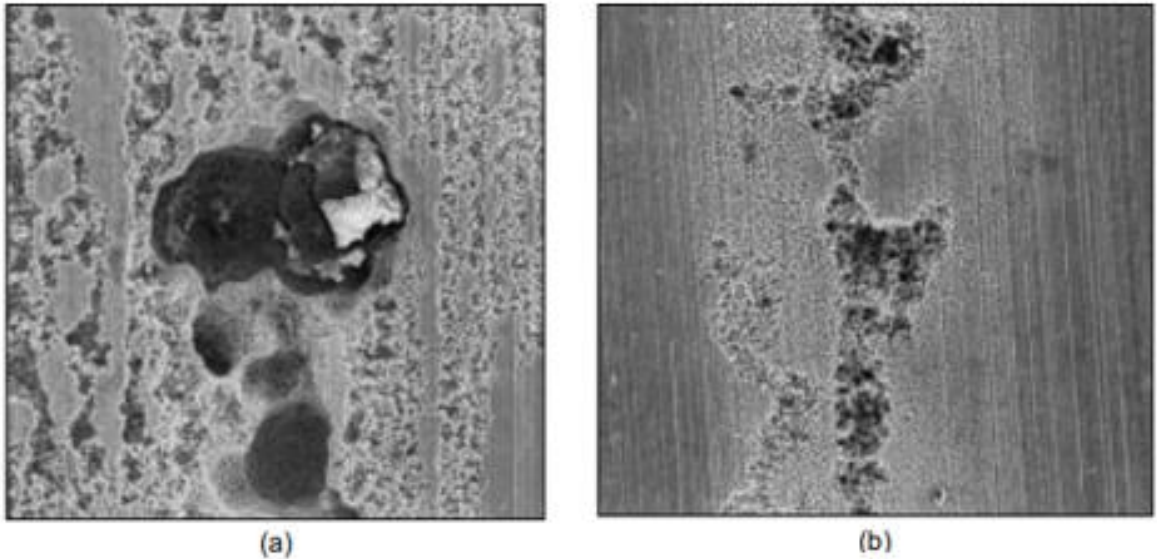
- [21] P. Myles, “Nissan’s First ‘Stress-Free’ Coupé Crossover BEV Unveiled”, TU Automotive, 2020, <https://www.tu-auto.com/nissans-first-stress-free-coupe-crossover-bev-unveiled/>
- [22] S. Edelstein, “Mitsubishi plans to embrace plug-in hybrids in a big way this decade”, Green Car Reports, 2020, https://www.greencarreports.com/news/1130178_mitsubishi-plans-to-embrace-plug-in-hybrids-in-a-big-way-this-decade
- [23] Porsche unveils new modular concept for fast charging stations, İstanbul Kalkınma Ajansı, <http://www.e-hike.net/tr/content/porsche-unveils-new-modular-concept-fast-charging-stations>
- [24] Mihai Lazar, Farah Laariedh, Pierre Cremillieu, Dominique Planson, Jean-Louis Leclercq. The channeling effect of Al and N ion implantation in 4H-SiC during JFET integrated device processing. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, Elsevier, 2015, 365, pp.256 – 259, DOI, 10.1016/j.nimb.2015.07.033. hal-01391844.
- [25] Hana Askren and Mark Andress, New Semiconductor Technologies Driving Down Cost Of Electric Vehicle Batteries, Forbes, Jan. 2020, <https://www.forbes.com/sites/mergermarket/2020/01/08/new-semiconductor-technologies-driving-down-cost-of-electric-vehicle-batteries/?sh=4a7d27b72f0a>
- [26] Patent No: CN104716039A, 2013, <https://patents.google.com/patent/CN104716039A/en>
- [27] Automotive Semiconductor Products, Fuji Electric Global, <https://www.fujielectric.com/products/semiconductor/usage/automotive.html>

İyon Aşılama ile Yüzey Sertleştirme

Tuluhan Olcayto ÇOLAK – Didem ÖZKAYA

1. GİRİŞ

İyon aşılama yoluyla bir metali katkılamanın temel mekanizmasında, katkı atomları iyonize edilir, böylece her biri pozitif yüke sahip olur. Elektrik ve manyetik alanların kullanımıyla iyonlar iyi tanımlanmış bir ışına odaklanır ve vakumda enerji ile hızlanır. Ardından ışın, yüzeyde taranır. Bu sayede iyonların alttaş yüzeyine dağılımı düzgün hale getirilir. Hızlanma voltajı nedeniyle, iyonlar, sonunda temel hale dönene kadar kristal atomları veya elektronları ile çarpışarak alttaş içine nüfuz etmek için yeterli enerjiye sahiptirler. Bir iyon hareket etmeyi bıraktığında, temas ettiği bir elektronla birleşir ve tekrar bir katkı atomu haline gelir. Daha sonra katkı atomu alttaş içine yerleşmektedir. Her çarpışmada bir iyon saptırılabilir, bu nedenle belirli bir iyonun durmadan önce yaptığı gerçek yol ve çarpışma sayısı rastgele ve tahmin edilemezdir. Aşılınmış atomlar, tavlama yoluyla kristal bölgelerine taşındığında difüzyonla eklenen katkılar gibi, duruma göre bağışçı veya alıcı olarak davranacaklardır. Akavipat vd. ilk olarak azot iyonlarını AZ91C magnezyum alaşımı ve saf magnezyum metali yüzeyine iyon yerleştirme tekniği ile yerleştirmişlerdir (Şekil 1.1). Bu sayede metallerde gelişen bir korozyon direnci elde etmişlerdir[1].

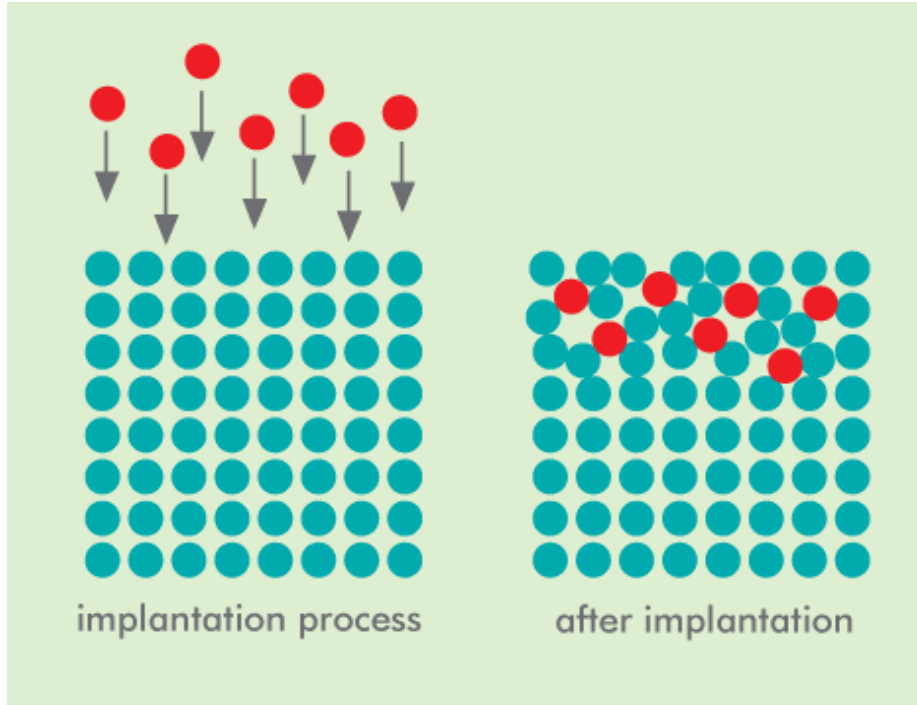


Şekil 1.1: Akavipat vd. bulduğu geliştirilmiş korozyon direncinin bir gösterimi a) Magnezyum alaşımının iyon (azot) yerleştirilmesi yapılmadan önceki hali b) iyon yerleştirilmesi yapıldıktan sonraki hali[1].

1.1 İyon Aşılama Konsepti

İyon aşılamanın genel işleyişinde, aşılama için kullanılan iyonlar alttaş üzerine doğru hızlandırılır ve alttaş yüzeyine çarptırılır. İyon aşılması, endüstriyel olarak 1 ila 200 keV arasında değişen bir enerjiye sahip parçacık demeti ile bir malzemenin yüzeyine vakum odasında ($<10^{-4}$ mbar), seçilen iyonların bombardımanı işlemidir. İyonlar, maddenin yüzeyine şiddetli bir şekilde nüfuz eder ve ardından, atomlarla art arda gelen çarpışmaların ardından yavaşlayarak enerjilerini kaybederler ve sonunda dururlar. Şekil 1.2’de bu genel konseptin şematik gösterimi mevcuttur.

İyon aşılamanın avantajları arasında doz ve derinliğin kontrolü, düşük sıcaklıkta yapılabilen bir işlem olması, yüzey temizlemeye diğer metotlar ile karşılaştırıldığında daha az ihtiyaç duyulması ve düzgün yüzey elde edilmesi sayılabilir. İyon aşılamanın bazı dezavantajları da vardır. Örnek olarak aşılama yapılacak iyonlar sadece mikron seviyelerde metallere aşılabilirler. Bu aşamada farklı iyonların kullanılması araştırılmaktadır. İyon aşılamanın ikinci negatif özelliği ise kullanıldığı makinelerin (Şekil 4) pahalı makineler olmasıdır.



Şekil 1.2: İyon aşılama şematik gösterimi (<https://matenggroup.wordpress.com/ion-implantation/>).

1.2 İyon Aşılmasının Kullanım Alanları

Metaller üzerine ilk kez iyon yerleştirmesi konusu 1970’te akademide yer almıştır. Bu konuyu ele alan ilk makalede konu, aletlerde aşınma direncinin iyileştirilmesi olmuştur ve nispeten hafif aşınmaya maruz kalan bileşenler ele alınmıştır. Örnek olarak plastik kalıplamada kullanılan araçlar verilebilir. Ele alınan diğer bir konu ise paslanmaya karşı koruma sağlanmasıdır [2]. şekil 1.3.’te iyon aşılamanın kullanım alanına dair bir örnek verilmiştir.



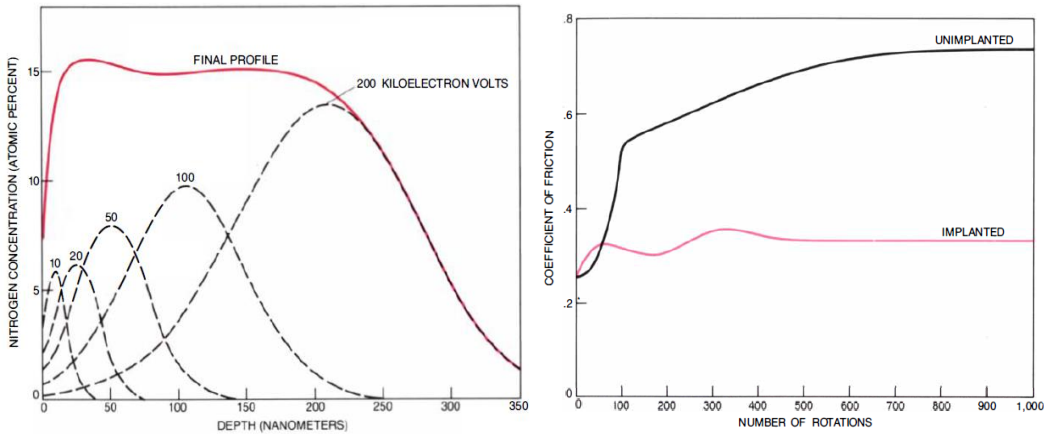
şekil 1.3: İyon aşılamanın kullanılabildiği otomobil krank mili[3]. Aynı zamanda iyon aşılama alet eklerinde, makara sistemlerinde, polimer kalıplarında kullanılmaktadır.



şekil 1.4: İyon aşılama cihazı (Plasma Physics Research Center web sitesinden alınmıştır)[4].

1.3 Enerjinin Etkisi

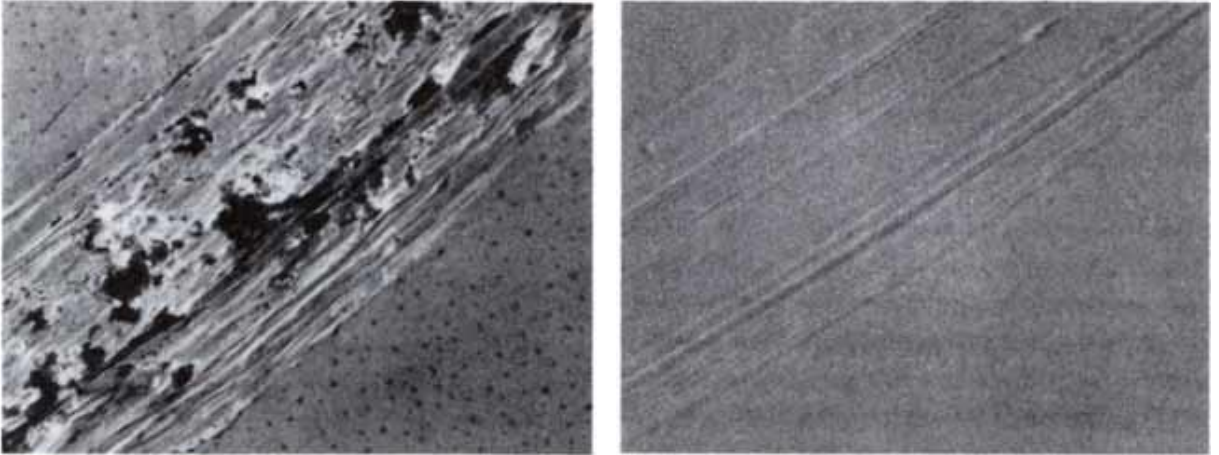
Picraux ve Peercy [5] çelik ile olan çalışmalarında, metal yüzeylerine işlenen iyonların enerjiye bağlı derinliklerine ve aşınmaya olan etkilerine bakmışlardır. Araştırmaları göstermiştir ki enerji ile iyonların geçebildikleri derinlik artmakta ve aşılama ile dış etkenlere bağlı aşınma azalmaktadır. İyonlar hedef maddeye işlediklerinde, elektronlar ve çekirdeklerle çarpışarak enerji kaybederler ve hızla dururlar. Öngörülen aralık olarak adlandırılan en olası işleme derinliği, iyonların türü ve enerjisi ile malzemenin özelliklerinden hesaplanabilir; 10 ila 500 kilo elektron voltluk tipik iyon ışını enerjileri için, öngörülen aralıklar, iyonun türüne ve ana malzemeye bağlı olarak 10 ila 1.000 nanometre arasında değişir. Elbette bireysel iyonlar, tam olarak öngörülen aralıkta durmazlar. Bunun yerine derinlikleri, öngörülen menzil üzerinde merkezlenmiş bir çan eğrisi olarak temsil edilebilen bir dağılıma düşer. Öngörülen aralık etrafındaki derinliklerin standart sapması ile karakterize edilen eğrinin genişliği, menzil yayılması olarak bilinir. Sadece aşılansmış atomların derinlik dağılımını değil, aynı zamanda konakçı materyalde ürettikleri kompozisyondaki değişikliği de tahmin etmek ve dolayısıyla kontrol etmek mümkündür. Hesaplama, ışının iyon akışını, hedefteki hacim birimi başına düşen atom sayısını ve maruz kalma süresini hesaba katar. Santimetre küp başına 5×10^{22} atom içeren 100 nanometre kalınlığındaki bir yüzey bölgesinin bileşiminin milyonda 10 parça değiştirileceğini varsayıldığında; Saniyede santimetre kare başına 10^{14} iyonluk bir iyon ışını akışında, alan birimi başına saniyenin yirmide biri olan bir dozlamaya yeterlidir. Bileşimdeki yüzde 20'lik bir değişiklik, her alan birimi için yaklaşık 20 dakika dozlamaya gerektirecektir. Aşılansmış atomların işlem görmüş bölgenin kalınlığı boyunca düzgün bir dağılımını elde etmek için, iyon ışınının enerjisi, bireysel dağılım eğrilerinin neredeyse sabit bir dağılım profili ekleyeceği şekilde değiştirilebilir.



Şekil 1.5: Çeliğin içine işlenen azotun enerji derinlik profili (sol). Aşılansmış ve kontrol örneklerinin sürtünme davranışlarının karakteristikleri(sağ)[5].

Bir yüzey katmanındaki iyonların tek düzey derişimi, hem aşılایıcı ışının enerjisi hem de her demetin enerjisinde iletilen iyonların sayısı değıştirilerek elde edilebilir(Şekil 5 (sol)). Her kesik çizgi eğrisi, tek bir ışın enerjisinde çeliğe aşılانan edilen nitrojen iyonlarının derinlik dağılımını temsil eder. Ardışık tedavilerde hem ışın enerjisi hem de aşılانan iyon sayısı arttı. Tek tek derişim profillerinin toplamını temsil eden katı eğri, aşamalı işlemin, yüzeyin hemen altından yaklaşık 200 nanometre derinliğe kadar homojen bir derişim verdiğini göstermektedir.

Çalışma aynı zamanda iyon aşılانmanın aşınma ve sürtünme üzerine olan etkisine de değinmiştir. Azaltılmış sürtünme, iyon aşılانması ile ilişkilidir. Şekil 1.5(sağ), yağlama olmadan paslanmaz çelik bir pim altında döndürülen iki paslanmaz çelik plaka için sürtünme katsayısını (bir yüzeyi başka bir yüzey boyunca kaydırmak için gereken kuvvetin yüzeylerin birbirine bastırıldığı kuvvetle bölünmesi) gösterir. Grafiklerden ilki (siyah eğri) işleme tabi tutulmayan; diğeri (kırmızı eğri) karbon ve titanyum iyonlarıyla bombardımana tutulmuş, çelik yüzeyi kristal düzenden amorf veya camsı bir duruma dönüştürmüştür. Yaklaşık 100 rotasyondan sonra, aşılانan yüzeyin sürtünme katsayısı, muamele edilmemiş yüzeyin değerinin yarısından daha azında sabitlenmiştir. Düşük sürtünme, aşılانmış çelik üzerindeki aşınmayı yavaşlattı. Şekil 1.6'daki taramalı elektron mikrografında (solda) 500 kat büyütülmüş, aşılانmış yüzey, benzer bir elektron mikrografındaki (sağda) işlenmemiş çeliğin pürüzlü yönünün aksine, 1.000 dönüşten sonra pürüzsüz görünür.



Şekil 1.6: Aşılانmamış (sol) ve aşılانmış çelik parçaların taramalı elektron mikrografları.

Yorulma testinde 100 döngü sonrası aşılانmış parça çok daha iyi durumda.

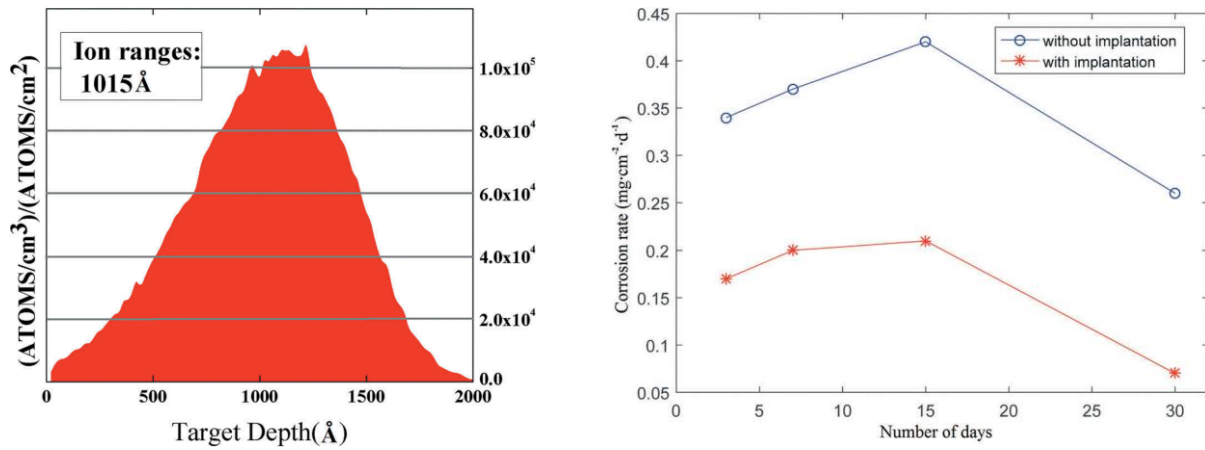
2. AŞILAMA ÇALIŞMALARI

2.1 Magnezyum-Alüminyum Alaşımları

Hafiflik, yüksek özgül mukavemet ve rahat döküm yapılabilmesi, magnezyum alaşımlarını otomotiv ve havacılık endüstrileri için gelecek vaat eden bir mühendislik malzemesi haline getirmiştir. Mg-Al temelli alaşımlar, özellikle AZ ve AM serisi, endüstriyel düzeyde arzulanan mukavemet, iyi korozyon direnci ve rahat şekil verilebilirlik sunar[6][7]. Araç ağırlığının azaltılması, otomotiv yakıt verimliliğini iyileştirmenin en önemli yollarından biridir[8][9]. Ağırlığı önemli ölçüde azaltmak için yüksek mukavemetli çelikler, alüminyum (Al) ve polimerler hâlihazırda kullanılmaktadır, ancak düşük yoğunluklu magnezyum (Mg) ve alaşımlarının daha fazla kullanılmasıyla önemli ek ağırlık azaltmaları elde edilebilir. Magnezyum alaşımları otomobil parçaları için birçok yerde kullanılmaktadır. Binek otomobiller için genel durum, üretim anından, kullanılmama veya kaza anına kadar toplam yaşam süresi içinde enerji kullanımının büyük kısmını kendi ağırlıklarını ile etrafındaki kişileri taşımaya harcamasıdır. Magnezyum, özellikle hafif olması nedeniyle otomotiv kullanımı için çekici bir malzemedir. Otomotiv uygulamaları aynı zamanda birçok bileşen için iyi esneklik gerektirir, özellikle bir kaza durumunda emilen enerji çok önemli bir konudur. Dövme alaşımları için alaşım ve işlem geliştirmedeki bir konu da malzemenin enerji emilimini optimize etmektir. Bununla birlikte, diğer bileşenler, tercihen daha yüksek mukavemet gerektirir.

Volkswagen, araçlarında uzun yıllar magnezyum motor blokları ve krank kutuları kullandı. Magnezyum alaşımları, motor bloğu uygulamalarında iyi çalıştığı için kullanıldı çünkü soğutma sıvısı ve yağlama geçişlerini barındırmak için belirli bir hacimde malzeme gerekir ve blok çok fazla yüklenmez. BMW, magnezyum motor bloğu kullanan ilk su soğutmalı motor olan BMW N52'yi üretti. BMW motorunda, magnezyumun eksikliklerini telafi eden alüminyum alaşımlı iç blok silindir gömlekleri vardı. Alüminyum gömlekler, daha yüksek mekanik zorlamalar ve aşırı sıcaklıklar altında korozyon direnci ve stabilite sağlarken, soğutucu su yalnızca alüminyum içinde dolaşıyordu. Chevrolet Corvette Z06, magnezyum motor kızıağına ve tavan çerçevesine sahipti. Z06 kızıağı, alüminyum beşikten daha hafifti ve alüminyuma kıyasla motor titreşimleri ve gürültü için üstün sönümlenme yapabiliyordu. Spor arabaları ve lüks araçlar, performansa ek olarak pazarlama amaçlı olarak genellikle magnezyum ve karbon fiber gibi egzotik hafif malzemeler kullanır. Bu üst düzey uygulamalarda maliyet bir faktör değildir[10].

Li vd.[11], N^+ iyonlarını magnezyum – alüminyum alaşımı üzerine aşılıyarak aşınmayı geciktirme etkisini incelemiştir. N^+ iyon aşılmasının işlenmesi, iyon kaynağı olarak N_2 gazı ile bir iyon aşılama cihazı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ardından, hedef numuneler üzerindeki yüksek voltaj nedeniyle N^+ iyonları hızlandırılmıştır. İyon aşılama deneyinde N^+ iyonları 30 keV enerjide 10^{15} iyon/cm² dozunda aşılanmıştır. Şekil 2.1’de derinlik, maksimum derinliğin yaklaşık 2000 Å olduğu, numunedeki tepe N^+ konsantrasyonunun konumlarını gösterir. Aşılama profili, 1015 angstrom (Å) derinlikte ortalanmıştır.



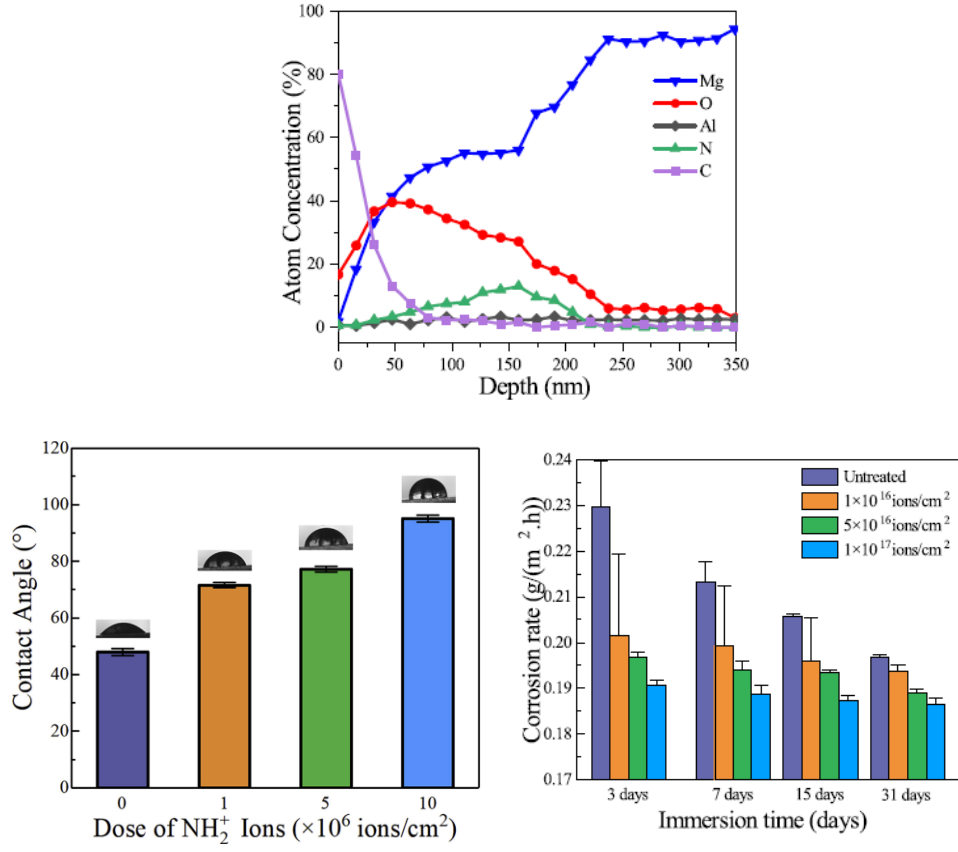
Şekil 2.1: AZ31'e 30 keV'de aşılanan N^+ iyonlarının derinlik profilinin simülasyonu. İmplant profili, merkezi 1015 Å olan Gauss tipi bir dağılıma benzer(sol). Farklı numuneler için zamanın bir fonksiyonu olarak korozyon eğrileri. Mavi çizgi ve yeşil çizgi, sırasıyla 10^{15} iyon / cm²'lik bir dozla aşılanmış numunelerin ve aşılanmamış numunelerin korozyon oranını ifade eder(sağ) [11].

Dağılım Gauss tipidir. Şekil 7 AZ31'e 30 keV'de aşılanan N^+ iyonlarının derinlik profilinin hesaplamaya bağlı bir çıkarımıdır. Aşılama profili, merkezi 1015 Å olan Gauss tipi bir dağılıma sahiptir. Örneklerin korozyon dirençlerini doğrulamak için yapılan daldırma testinde Hank çözeltisine, örnekler 3, 7, 15 ve 30 gün boyunca daldırılmıştır. Aşınma testinden sonra numuneler (10^{15} iyon/cm²) tartılmıştır. Deneyi izleyen 3, 7, 15 ve 30 günlerde korozyon oranını hesaplanmış ve korozyon oranının zamana karşı değişiminin, korozyon oranının 15 günde en yüksek ve 30 günde en düşük olduğunu ve değişimin şeklinin N^+ aşılması yapılan ve kontrol örnekleri için benzer olduklarını gözlemlenmiştir. En önemli özellik, N^+ aşılanmış numunelerin, her sette ve verilen her zaman aralığı ya da aşınma süresi için N^+ iyon aşılması olmayan numunelere göre daha küçük korozyon oranına sahip olmasıdır. Bu sonuç, N^+ iyon

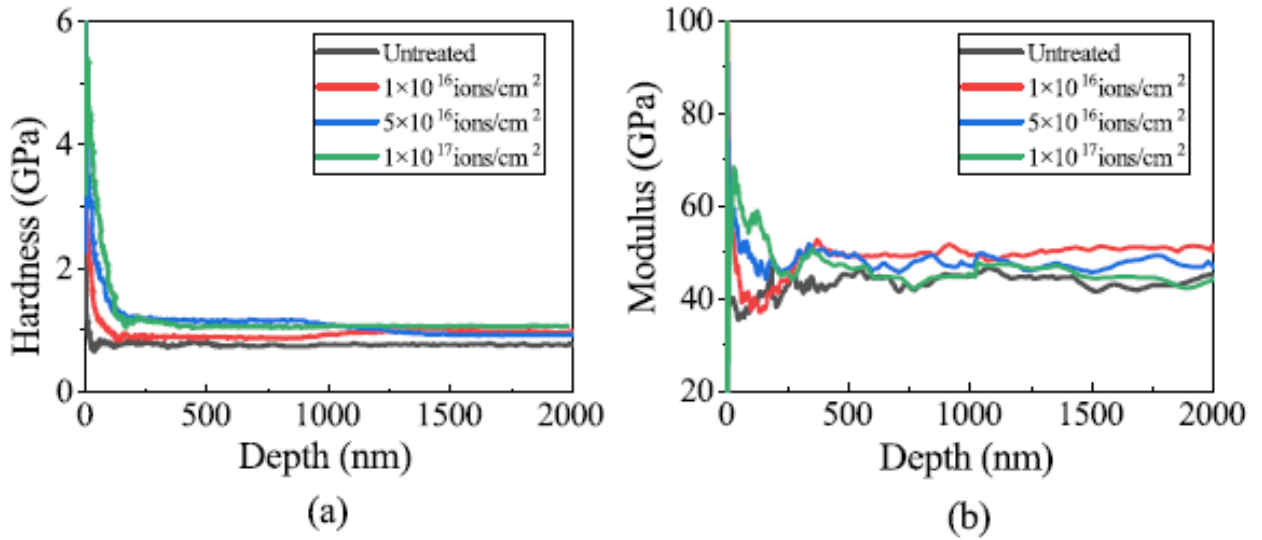
aşılmasının Mg-Al alaşımlı malzemenin korozyon oranını önemli ölçüde azaltabileceğini göstermektedir.

Zhao vd. Mg-Al alaşımı üzerinde, NH_2^+ aşılama çalışmaları yapmıştır ve bu yöntemler ile aşılamanın korozyon direncinin arttığını gözlemlemiştir[12]. AZ31 Mg-Al alaşımı 10 mm x10 mm x2 mm boyutlarında bloklar halinde kesilip. NH_2^+ iyon aşılması iyon kaynağı olarak NH_3 gazı ile donatılmış bir iyon aşılama cihazında gerçekleştirilmiştir ve iyon ışımının mevcut yoğunluğu 0.01 A / cm^2 değerinin altında idi. Kütle spektrometresi ile belirlenen NH_2^+ iyonları hızlandırılmış ve 50 keV enerjide 10^{16} , 5×10^{16} ve 10^{17} iyon/ cm^2 dozlarda hedef örnekler üzerine uygulanmıştır. 10^{17} $\text{NH}_2^+/\text{cm}^2$ dozu ile aşılamanın XPS derinlik profili şekil 8'de gösterilmektedir. Gösterildiği gibi, karbon derişimi 63 nm'lik bir püskürtme derinliğinde % 80'den % 7'ye önemli ölçüde düşer ve daha sonra % 0'a düşer, bu da en üst katmandaki karbon varlığının yüzey kirleticileri yüzünden kaynaklandığını gösterir. N atomunun derişimi önce derinlikle artar ve ardından yavaşça % 0'a düşer, bu da yaklaşık 158 nm derinlikte maksimum yaklaşık % 13 derişime sahip ince bir NH_2^+ içeren katman oluşumunu gösterir.

Oksijenin varlığı, yüzey kirleticilerinden ve yüksek vakum dışı koşulun ortaya çıkmasından kaynaklanmaktadır. 220 nm'yi aşan derinlikte oksijen ve nitrojen derişimleri çok düşük seviyelere düşer. Sertlik ve elastik testlerin sonuçları şekilde gösterilmektedir. Girinti derinliği, XPS derinlik profili sonuçlarında ortaya çıkan aşılama derinliğinden çok daha büyüktür. İşlem görmüş numunelerin hem sertliği hem de elastik modülü, artan girinti derinliğine sahip alttaştan değerleri olan sabit değerlere kademeli olarak azalır. Bu nedenle, aşılamanın mekanik performansı alttaştan daha iyidir veya en azından ikincisiyle karşılaştırılabilir. Şekil 9'da gösterildiği gibi, işleme tabi tutulan örneğin daha büyük bir su teması açısına sahip olmaları, NH_2^+ iyonlarının aşılama sonrası hidrofobik bir yüzeyin elde edildiğini gösterir. Hidrofobikliğe sahip pürüzsüz yüzey, AZ31 Mg alaşımının korozyon direncini önemli ölçüde geliştirir; bu, elektrokimyasal testler ve 37 ° C sıcaklıkta Hank solüsyonundaki daldırma testi ile kanıtlanabilir. Bozunma sürecine genellikle elektrokimyasal reaksiyonlar eşlik eder. İşlem görmemiş örneğin yüzey tabakası, kolayca saldırıya uğrar ve bu da malzemenin korozyon direncini zayıflatır. Bununla birlikte, NH_2^+ ile aşılamanın örnekler için, dengeli ürünler, alttaştan korozyona karşı güçlü bariyerler olarak oluşturulur. Bu nedenle NH_2^+ iyon aşılması sonrası korozyon oranı azalır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2: 10^{17} dozunda aşılınmış numunenin XPS derinlik profilleri(Üstte) ve aşılınmış magnezyumun kontakt açısının (sol alt) ve korozyon hızının değişimleri(sağ alt) [12].



Şekil 2.3: Aşılınmış magnezyumun sertlik ve modülüsün derinliğe göre değişimleri[12].

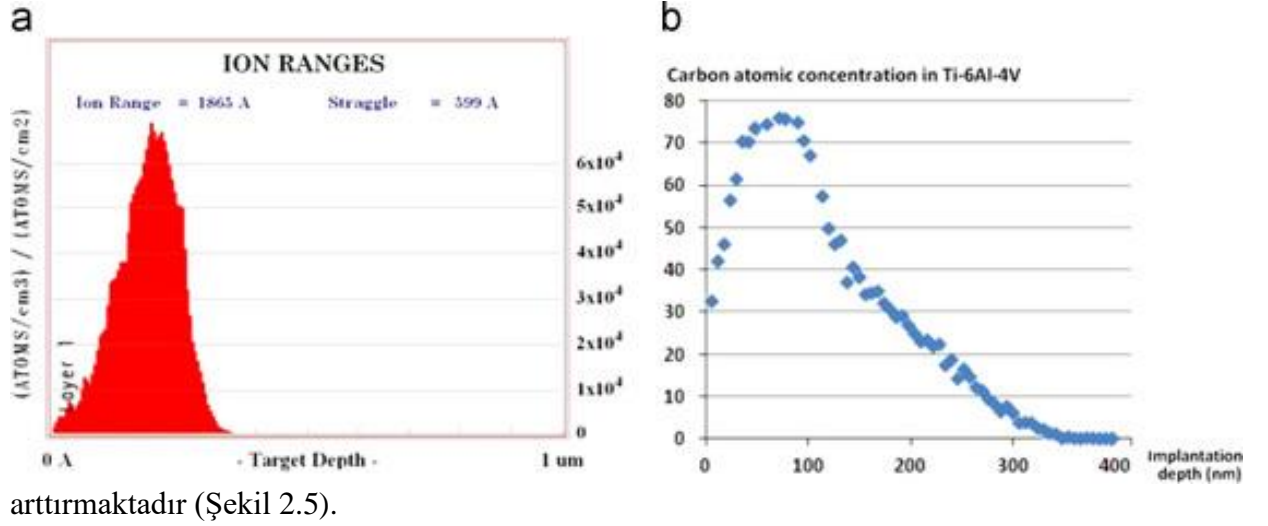
2.2 Titanyum-Alüminyum-Vanadyum Alaşımları

Titanyum, düşük yoğunluk, yüksek özgül mukavemet ve iyi korozyon direnci gibi avantajlara sahiptir. Otomobillerde kullanılan titanyum, gövde kalitesini büyük ölçüde düşürebilir, yakıt tüketimini azaltabilir, motorun çalışma verimliliğini artırabilir ve gürültüyü azaltabilir[9][8]. Bununla birlikte, otomotiv endüstrisindeki titanyum alaşımının yüksek fiyatı nedeniyle, sadece lüks otomobillerde ve spor arabalarda ancak nadiren sıradan arabalarda kullanılan bazı uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu nedenle, pazarın ihtiyaçlarını karşılamak için düşük maliyetli titanyum alaşımının araştırılması ve geliştirilmesi gerekmektedir. Titanyum alaşımlı parçalar şu anda aşağıdaki kullanımlara sahiptir[13][14][15]:

Motor rot çubuğu; Titanyum, bağlantı çubukları için idealdir. Titanyum alaşımlı bağlantı çubuğu motor kalitesini etkili bir şekilde arttırabilir, yakıt verimliliğini artırabilir ve emisyonları azaltabilir. Çelik bilyeli kol ile karşılaştırıldığında titanyum bağlantı, kaliteyi arttırabilir. Titanyum alaşım bağlantısının uygulaması ilk olarak yeni İtalyan Ferrari sedan 3.5LV8 ve Acura(Honda) NSX motorda gösterildi. Ti-6Al-4V, Ti-10V-2Fe-3Al, Ti-3Al-2V ve Ti-4Al-4Mo-Sn-0.5Si, titanyum alaşımlı bağlantı rotu için kullanılan ana malzemelerdi. *Supap Yayı Yuvası*; Valf yayı yuvası, yüksek mukavemet ve yorulma direnci gibi performansa sahip olmalıdır, titanyum alaşımı ile yüksek mukavemet elde edilebilir. Mitsubishi Motors, orijinal çelik kilide kıyasla kütleyi azaltmak için büyük ölçekli üretim araçlarında Ti-22V-4Al titanyum alaşımlı valf yaylı koltuk kullanır, valf mekanizması atalet kütlesini azaltır ve maksimum motor devir hızı artar. *Titanyum Yay*; Titanyum ve alaşımları, çelik malzemeye göre esnektir. Çelik otomobil yayı ile karşılaştırıldığında, aynı elastik işin öncülüğünde, titanyum yayın yüksekliği çelik yayının yarısı kadardır. Kütle açısından, uygun olan çelik yayına göre daha az malzeme gerekmektedir. Kasa tasarımı için, ek olarak, titanyum alaşımı daha iyi yorulma özellikleri ve korozyon direnci ile servis ömrünü uzatabilir. *Gövde Çerçeve Parçası*; Araçların emniyetini ve güvenilirliğini arttırmak için, tasarım ve imalat, özellikle de malzeme imalatına dikkat edilmelidir. Titanyum, yalnızca yüksek mukavemete sahip olmakla kalmayıp aynı zamanda iyi tokluğa sahip olan üstyapı şasileri yapmak için çok iyi bir malzemedir.

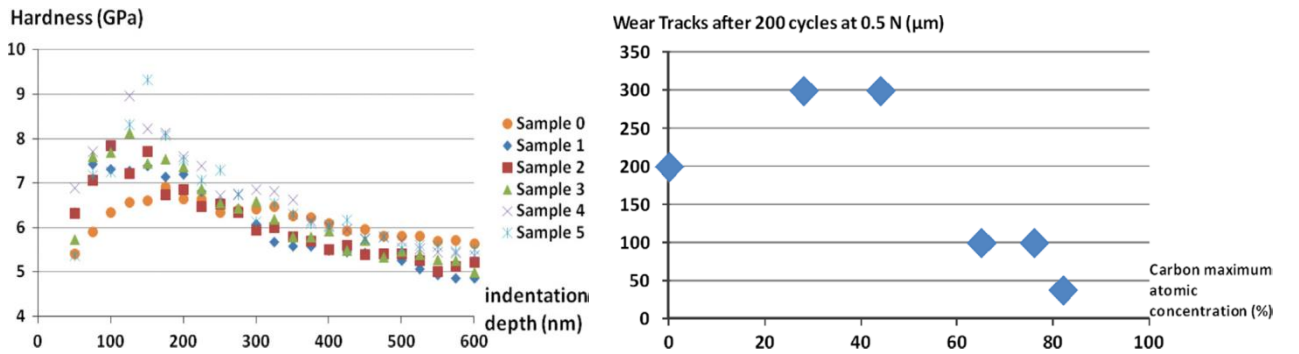
Höche vd.'nin çalışmış olduğu [16], titanyuma karbon aşılmasının, aşınma davranışı, mekanik sertlik veya sürtünme katsayısı gibi bazı yüzey özelliklerini geliştirdiği bilinmektedir. Bu nedenle yöntem, titanyum alaşımları için güçlü bir yüzey mühendisliği aracı olarak uygulanmaya adaydır. Bu işleme teknolojisi sayesinde Ti-6Al-4V'nin yüzey modifikasyonları, yüzey performansını arttırmaktadır. Aşılama için 2 MeV gücünde $10^{17} - 10^{18}$ iyon/cm² akışında

hızlandırılmış parçacık demeti kullanılmıştır. Aşılana karbonun derinliği tahmin edilen seviyelere yakındır (Şekil 2.4). Karbon aşılması, mikro yapısal değişikliklere ve Ti – 6Al – 4V'nin mekanik özelliklerinde değişikliklere yol açar. Sertlik ölçümleri göstermiştir ki, yaklaşık 100 nm'de katkılanmış olan karbon atomları sertliği ve aşınmaya karşı dayanıklılığı

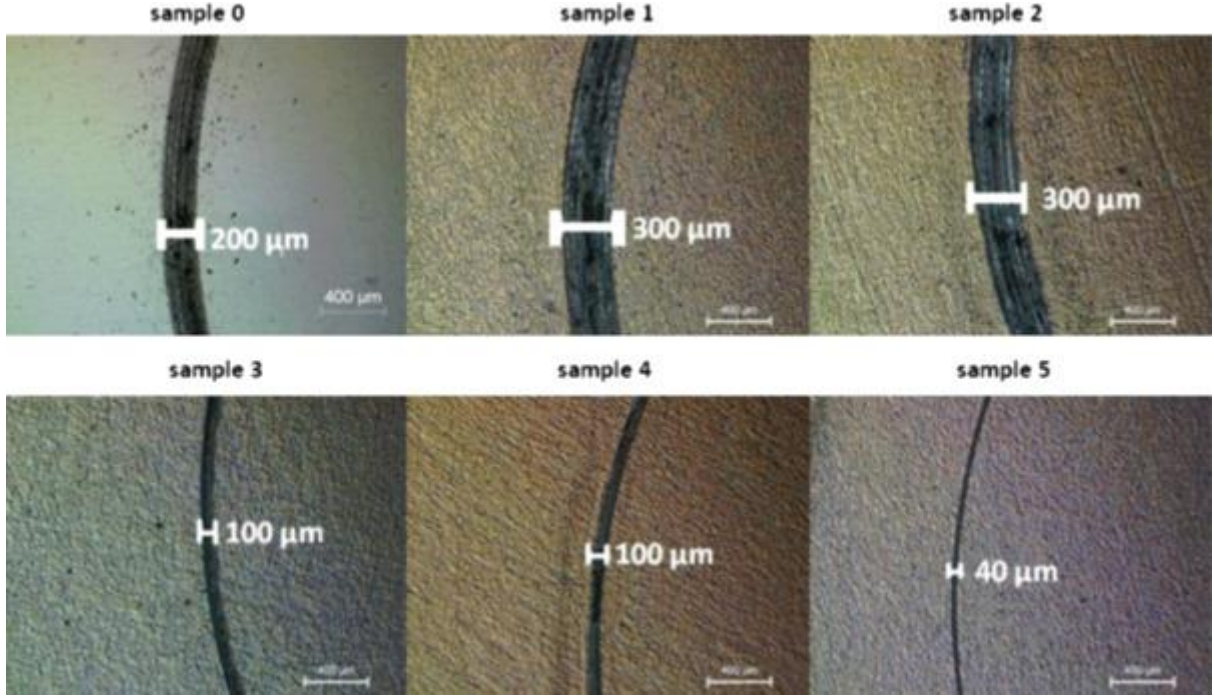


arttırmaktadır (Şekil 2.5).

Şekil 2.4: Höche'nin çalışmasından elde edilen. Ti-Al-V'nin aşılama ve karbon derinliği (a) ve derişim (b) karakteristikleri[16].



Şekil 2.5: Höche'nin çalışmasından elde edilen yüzey sertliği çalışmaları (sol), alaşım içine işlenmiş karbonun sertliği bulunduğu derinliğin çevresinde arttırdığını göstermekte. Derişime bağlı yorulma deneylerinde de (sağ), yüksek performans için optimum karbon miktarı belirlenmiştir [16].

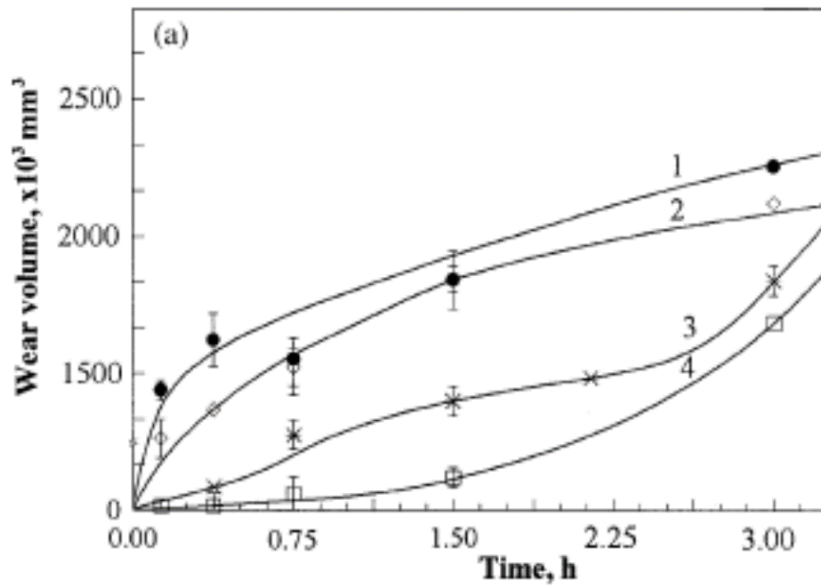


Şekil 2.6: Yüzeylerin optik mikrografları, aşınma izleri ve 0,5 N'luk uygulanan bir yük ile 200 döngüden sonra ölçülen iz genişliği [16].

Şekil 2.6, 0,5 N'lık bir yükte 200 döngü sürtünme testinden sonra aşınma izlerini göstermektedir. Örnekler 1 ve 2, işlenmemiş olana kıyasla daha büyük aşınma izlerine sahiptir. Şaşırtıcı bir şekilde, örnekler 3 ve 4, genişliği iki kat azaltılmış aşınma izlerine sahiptir. Ayrıca, örnek 5 için aşınma beş kat azaltılır. Dolayısıyla, aşınmanın aşılama sırasında düşük karbon akıcılığı için artırıldığı, ancak örnek 3'ün işlenmesi sırasında kullanılabilecek veya daha yüksek uygulanan akışkanlıklarda azaldığı söylenebilir. Bu sonuçlarının özeti, özellikle örnek 1 ve 2'de gerçekleştirilen ve düşen aşınma performansı ortaya koymaktadır. 3. örnekte durum değişmiştir ve önemli bir gelişme sağlanmıştır. Tüm örnekler için ölçülen sertlik gelişimi bağlamında (aşılana en düşük doz için bile), sürtünme davranışı farklıdır. Şekil 10'da gösterildiği gibi, % 44 ile % 67 arasındaki kritik karbon içeriklerine karşılık gelen belirli bir eşik dozundan sonra bir gelişme görülür.

Bazyl vd. [17], farklı iyonların titanyum üzerine etkisini çalışmıştır. Bakır 60 keV gücünde ve nikel 40 keV gücü ile hızlandırılmıştır. Yüksek enerjili elektron demeti işlemi ile aşılana bakır ve nikel iyonları titanyumun mekanik özelliklerini geliştirmiştir. Yapılan çalışma, Cu ve Ni'nin çift aşılama sürecinin, kayma(dislocation) altyapılı taneler, plakalı taneler ve paketlenmiş martensitli taneler gibi çeşitli tanecik yapılarını oluşturan bir Ti41-V41-Al18 yüzey tabakasını değiştirdiğini göstermiştir. Yüzeyin katmanlı yapısı, parçaların servis özelliklerini iyileştirir.

Yüksek dozlu elektron demeti (HCEB) işlemi, tane yapısında bir değişikliğe ve Ti_2Cu ve Ti_2Ni parçacıklarının oluşumuna neden olur, bu da ince parçanın mekanik özelliklerini büyük ölçüde değiştirir. Yüksek dozlu aşılama (HDI) ve HCEB işleminden kaynaklanan yüzeye yakın katmanların bu tür yapısı, küçük bir dispersiyon veya nano kristal yapı oluşturur. Bu, kaymaların hareket etmesine bir engel görevi görerek, yorulmanın [13, 14] başladığı yüzeydeki malzemede kayma şeritleri oluşumunu yavaşlatır (Şekil 2.7). Bu işlem (çift aşılama artı eritme rejimi altında HCEB kütleme) numunelerde C ve O dağılımı ve dört temelde iyileşme ile sonuçlanır.



Şekil 2.7: (Sol, üst(a)) 1.Kontrol malzemesi, 2. 5×10^{16} Cu/Ni aşılansız malzeme, 3. 2×10^{17} Cu ve 5×10^{16} Ni aşılansız malzeme, 4. 5×10^{16} Cu ve 2×10^{17} Ni aşılansız malzeme [17].

Bu çalışma sonucunda sadece artan aşılansız iyon derişimi ile değil belli iyonların artan derişimi ile malzemenin mekanik karakteristiklerinin nasıl değişebileceği gösterilmiştir. Nikelin fazla olduğu 4. örnek en iyi performansı ve aşılansız örnek en zayıf performansı göstermiştir.

3. SONUÇ

İyon aşılama sistemleri mevcut ve metaller üzerinde aşınma ve korozyonu engelleyebilecek kapasiteye sahipler. Elektrikli araçların sahip olması gereken dayanıklı ve hafif malzemeler hızlandırıcılar aracılığı ile iyon aşılama yöntemi ile daha iyi performans gösterebilirler. Magnezyum üzerine kaplanabilecek N^+ veya NH_2^+ iyonları, titanyum üzerine kaplanabilecek karbon, bakır veya nikel bu malzemelerin aşınmaya karşı dirençlerini arttırmakta ve servis ömürlerini uzatarak zaman bağı maliyetlerini düşürmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] I. Nakatsugawa, R. Martin, and E. J. Knystautas, “Improving Corrosion Resistance of AZ91D Magnesium Alloy by Nitrogen Ion Implantation,” *Mater. und Org.*, vol. 52, no. 12, pp. 921–926, 1996.
- [2] G. Dearnaley, “Applications of ion implantation in metals & alloys,” *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 28, no. 2, pp. 1808–1811, 1981, doi: 10.1109/TNS.1981.4331526.
- [3] C. A. Straede, “Ion Beam Processing” *Naval Research Laboratory*, no. 1–83, pp, 1987, doi: 10.13140/RG.2.2.11402.16326
- [4] J. S. William and J. M. Poate, Eds., *Ion Implantation and Beam Processing*, 1st ed. New York: Academic Press, 1984.
- [5] S. T. Picraux and P. S. Peercy, “Ion Implantation of Surfaces.,” *Sci. Am.*, vol. 252, no. 3, pp. 102–113, 1985, doi: 10.1038/scientificamerican0385-102.
- [6] J. Hirsch and T. Al-Samman, “Superior light metals by texture engineering: Optimized aluminum and magnesium alloys for automotive applications,” *Acta Mater.*, vol. 61, no. 3, pp. 818–843, 2013, doi: 10.1016/j.actamat.2012.10.044.
- [7] M. K. Kulekci, “Magnesium and its alloys applications in automotive industry,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 39, no. 9–10, pp. 851–865, 2008, doi: 10.1007/s00170-007-1279-2.
- [8] L. Schipper, “Automobile use, fuel economy and CO2 emissions in industrialized countries: Encouraging trends through 2008?,” *Transp. Policy*, vol. 18, no. 2, pp. 358–372, 2011, doi: 10.1016/j.tranpol.2010.10.011.
- [9] L. W. Cheah, A. P. Bandivadekar, K. M. Bodek, E. P. Kasseris, and J. B. Heywood, “The trade-off between automobile acceleration performance, weight, and fuel consumption,” *SAE Int. J. Fuels Lubr.*, vol. 1, no. 1, pp. 771–777, 2009, doi: 10.4271/2008-01-1524.
- [10] Gary Kardys, “No TitleMagnesium Car Parts: A Far Reach for Manufacturers? Part 1,” *insights.globalspec.com/*, 2020.
<https://insights.globalspec.com/article/7243/magnesium-car-parts-a-far-reach-for->

- manufacturers-part-1 (accessed Dec. 02, 2020).
- [11] Z. Li, Z. Shang, X. Wei, and Q. Zhao, "Corrosion resistance and cytotoxicity of AZ31 magnesium alloy with N⁺ ion implantation," *Mater. Technol.*, vol. 34, no. 12, pp. 730–736, 2019, doi: 10.1080/10667857.2019.1623529.
- [12] X. Wei *et al.*, "Improvement in corrosion resistance and biocompatibility of AZ31 magnesium alloy by NH₂⁺ ions," *J. Alloys Compd.*, vol. 824, p. 153832, 2020, doi: 10.1016/j.jallcom.2020.153832.
- [13] A. K. Sachdev, K. Kulkarni, Z. Z. A. K. Fang, R. U. I. Yang, and V. Girshov, "Titanium for Automotive Applications : Challenges and Opportunities in Materials and Processing," vol. 64, no. 5, pp. 553–565, 2012, doi: 10.1007/s11837-012-0310-8.
- [14] A. A. M. Sherman, J. E. Allison, A. M. Sherman, and J. E. Allison, "Potential for Automotive Applications of Titanium Alloys Potential for Automotive Applications of Titanium Alloys," vol. 95, pp. 806–817, 1986.
- [15] AZoM, "Titanium for Automotive Applications," *azom.com*, 2020. [https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=553#:~:text=The automotive applications of titanium,%2C retainers%2C and connecting rods. \(accessed Dec. 02, 2020\).](https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=553#:~:text=The automotive applications of titanium,%2C retainers%2C and connecting rods. (accessed Dec. 02, 2020).)
- [16] C. Pierret *et al.*, "Friction and wear properties modification of Ti-6Al-4V alloy surfaces by implantation of multi-charged carbon ions," *Wear*, vol. 319, no. 1–2, pp. 19–26, 2014, doi: 10.1016/j.wear.2014.07.001.
- [17] A. D. Pogrebnyak and E. A. Bazyl, "Modification of wear and fatigue characteristics of Ti-V-Al alloy by Cu and Ni ion implantation and high-current electron beam treatment," *Vacuum*, vol. 64, no. 1, pp. 1–7, 2001, doi: 10.1016/S0042-207X(01)00160-9.