

**PLAZMA BORLAMANIN KESİCİ TAKIMLARIN MİKROSERTLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**Süleyman BAŞTÜRK<sup>1</sup>, Muzaffer ERTEN<sup>2</sup><sup>1</sup> Altınbaş Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul<sup>2</sup> Beykent Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul

suleyman.basturk@altinbas.edu.tr , muzaffererten@beykent.edu.tr

**Özet**

Sinterlenmiş karbürler talaşlı imalatta kesici uç olarak uzun yıllardan beri çok geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Tungsten karbürler (WC) ise kesici uç imalinde en çok kullanılan malzemelerden biridir. Bu çalışmada, talaşlı imalatta oldukça yaygın bir şekilde kullanılan tungsten karbür kesme takımlarının plazma (iyon) borürlenmesi yapılarak bu işlemin kesici uçların yüzeyinde oluşturduğu tabakanın sertlik ölçümleri yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Plazma borlama işlemi, 700, 800, 900 ve 1000 °C'de, 1, 2 ve 4 saatlik sürelerle ve % 5 BF<sub>3</sub>, %45 Argon, %50 H<sub>2</sub>'den oluşan gaz karışım oranında yapılmıştır. Plazma borlama sonrasında kesici uç kenar bölgesinde borür tabakası oluşmuş ve bu bölgenin sertlik ölçümleri yapılmıştır. Borlanmamış kesici ucun sertlik değeri 1210 HV iken, sertlik ölçümleri sonucunda, 1000 °C sıcaklıkta 1 saat süreyle yapılan borlama işlemi sonucunda 2882 HV sertlik değeri elde edilmiş olup borlanmamış numuneye göre sertlik değerinde 2.38 kat artış elde edilmiştir Bölgesel sertlik değerlerinde ise 3754 HV sertlik değerine kadar çıkmış olup borlanmamış numuneye göre 3.1 kat artış elde edilmiştir Kesici ucun orta bölgesinde ise sertlik değerinin 600-1200 HV değeri aralığında değiştiği belirlenmiştir. Kesici ucun orta ve kenar bölgesindeki sertlik değerlerindeki bu farklılığın kırılma tokluğunu olumlu yönde arttıracakları değerlendirilmiştir. Optimum sıcaklık ve borlama süresi olarak 900 °C de 4 saatlik borlamanın optimum değer olabileceği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kesici uçlar, iyon (plazma) borlama, mikro sertlik.

**EFFECT OF PLAZMA BORIDING ON THE MICROHARDNESS OF CUTTING TOOLS****Abstract**

Sintered carbides have been used widely for long years in the manufacturing process as cutting tools. Tungsten Carbides (WC), one of the most used materials in the cutting tool manufacturing. In this study, tungsten carbides, used widely in the manufacturing process, have been ion (plasma) borided and the micro hardness measurements of the layer, made on the cutting tool surface by this process, have been done and the results are evaluated. Plasma boriding process has been done at the temperatures of 700, 800, 900 and 1000 °C, for 1, 2 and 4 hours of process times and, in the gas combination of 5% BF<sub>3</sub>, 45% Argon, 50% H<sub>2</sub>. After the plasma boriding, the boride layer has been obtained on the side region of the cutting tools and the micro hardness measurements of this region has been done. After the boriding process of 1 hour at 1000 °C, it has been obtained 2882 HV micro hardness value while the unborided cutting tool has the micro hardness of 1210 HV and comparing to the unborided cutting tool, it has been obtained 2.38 times increase on the micro hardness. On the regional micro hardness values, it has been increased to 3754 HV and has been obtained 3.1 times increase. It has been defined that the microhardness values of the central region of the cutting tool are changed between 600 and 1200 HV. It has been evaluated that this difference on the micro hardness values between the side and the central region of the cutting tool will improve the cracking toughness. It has been defined that the optimum boriding time and the temperature would be 4 hours at the 900 °C.

**Keywords:** Cutting tools, ion (plasma) boriding, micro hardness.

## 1. GİRİŞ

Bu çalışmada, talaşlı imalatta oldukça yaygın bir şekilde kullanılan kesme takımlarının iyon (plazma) borülmesi yapılarak, bunun kesme takımlarının yüzeyindeki sertlik değerine etkisi incelenmiştir.

Bor ve bileşiklerinden faydalanılarak üretilen ürünlerle günlük hayatımızın hemen her noktasında karşılaşmamız mümkün olmaktadır. Mutfak eşyalarından temizlik sektörüne, ilaç sanayisinden endüstrinin hemen hemen tüm dallarında bor ve bileşikleri kullanılmaktadır. Borun en yaygın kullanım alanlarından biri de metal endüstrisidir. Genel olarak bor ve bileşiklerinin en çok kullanıldığı tüketim alanları; cam yünü, diğer camlar, yalıtım ürünleri, ateşe dayanıklı eşya, borosilikat camlar, sabun ve deterjanlar, porselen, emaye, sır (glazür), uçak ve otomotiv endüstrisi, tarım, metalurji, nükleer uygulama, inşaat, tekstil, ilaç ve kozmetik, fotoğrafçılık, yüksek enerji yakıtları, aşındırıcılar, elektrik aygıtları, refrakter, elektro kaplama banyoları, boyalar ve daha birçok uygulamalarla ilgilidir. Bor'un en çok kullanım alanı metal endüstrisidir. Bor saf şekilde metalurjik reaksiyonlarda bir oksijen giderici ve gaz giderici olarak kullanılır. Bor'un diğer önemli uygulama şekilleri; bazı özel alaşımlarda, yarı iletkenlerin yapımında, kataliz aracı olarak, aşındırıcılarda (abrasiflerde), metaller ve seramiklerde kuvvetlendirici unsur, ayrıca nükleer reaktörlerin konstrüksiyonunda yüksek-yoğunluklu betona bir katkı maddesi olarak, uranyum-grafit pillerinde bir kontrol aracı olarak nötronları absorblamak (bor çeliği veya B<sub>4</sub>C) şeklindedir. Bor'un birçok önemli bileşikleri üretilmekte ve çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

Borlama işlemi, demir esaslı malzemelere, demir dışı malzemelere ve toz metalurjisi ile üretilen malzemelere çok geniş bir alanda uygulanabilen bir termo-kimyasal yüzey sertleştirme işlemidir.

Bu işlem ile, yüzeyde bor ve demir atomlarının sıcaklığın etkisi ile kimyasal bileşik oluşturarak yüzeyde FeB ve Fe<sub>2</sub>B tabakalarının birinin veya her ikisinin aynı anda oluşması sağlanır. Oluşan bu tabakalar malzemeye dayanım ile birlikte korozyon ve aşınmaya karşı yüzeyde yaklaşık 2100 Vickers değerinde sertlik kazandırmaktadır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Sinterlenmiş karbürler talaşlı imalatta kesici uç olarak uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Tungsten karbürler (WC) ise kesici uç imalinde en çok kullanılan malzemelerden biridir. Bu çalışmada, talaşlı imalatta oldukça yaygın bir şekilde kullanılan tungsten karbür kesme takımlarının plazma (iyon) borlaması yapılarak, bunun mikro sertlik üzerine etkisi incelenmiştir.

Kesici uç olarak Şekil 1'de gösterilen BÖHLER SPKN 1203 ED-R tungsten karbür kesici kullanılmıştır. Bu ucun seçilmesinde, içerisindeki borül yapıcı elementler ve dört kenarının da kesme amaçlı olarak kullanılabilmesi belirleyici olmuştur. Bu kesici uç frezeleme ve tornalama işlemlerinde yaygın olarak kullanılan bir uçtur.



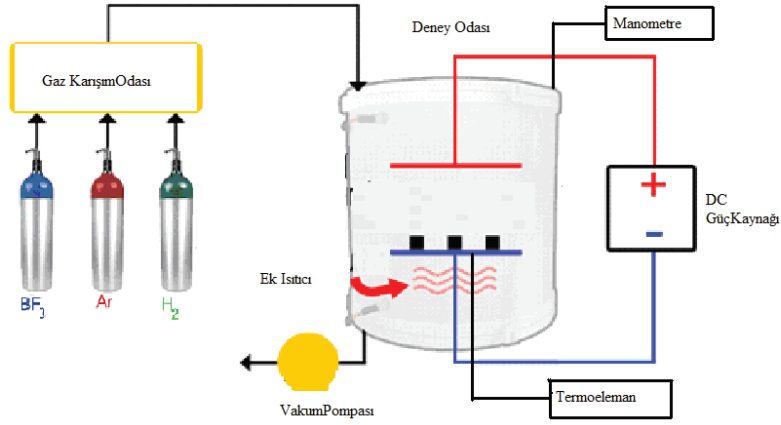
Şekil 1. BÖHLER SPKN 1203 ED-R tungsten karbür kesici uç

Plazma borlama işleminin yapılabilmesi amacıyla  $BF_3$  gazı kullanılmıştır. Bu gazın kullanılmasında, alternatif olan  $BCl_3$  gazının yüksek korozif etkiye sahip olması da rol almıştır.



Şekil 2. Plazma borlama deney odası

Şekil 2'de, imal ettirilen plazma borlama deney odasının kapalı haldeki resmi görülmektedir. Plazma borlama deney düzeneği Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. Plazma borlama deney düzeneği

Kesici uçlar deney odasına yerleştirilmeden önce trikloretilen ile iyice temizlenmekte ve ardından Şekil 4'de görüldüğü üzere alt tabla (katot) üzerine yerleştirilmektedir.



Şekil 4. Kesici uçların deney odasına yerleştirilmesi

Plazma borlama deneyleri için oluşturulan deney planı aşağıda verilen Tablo 1'de görülmektedir.

**Tablo 1.** Plazma borlama deney planı

S/N	Deney No	Sıcaklık (°C)	Süre (Saat)	Gaz Karışım Oranı
1	7-5-1		1	
2	7-5-2	700	2	
3	7-5-4		4	% 5 BF <sub>3</sub>
4	8-5-1	800	1	, %45
5	8-5-2		2	Argon,
6	9-5-1	900	1	%50 H <sub>2</sub>
7	9-5-2		2	
8	10-5-1	1000	1	

Bu plandan da görüleceği üzere, 700, 800, 900 ve 1000 °C'den oluşan dört değişik sıcaklıkta 1, 2 ve 4 saat sürelerle % 5 BF<sub>3</sub>, %45 Argon, %50 H<sub>2</sub>'den oluşan gaz karışım oranında plazma borlama yapılmıştır. Deney odasına toplam debisi 1200 ml/dk olacak şekilde % 5 BF<sub>3</sub>, %45 Argon, %50 H<sub>2</sub> oranlarında üç gaz karışımı gönderilmiştir.

Kesici uçlar Şekil 4'te görüldüğü gibi deney odasına yerleştirildikten sonra deney odası kapatılmakta ve vakum pompası çalıştırılarak deney odasının vakuma alınması sağlanmaktadır. Deney odası yaklaşık 3-5 mmHg (Torr) basınca geldikten sonra güç kaynağı açılmakta ve Şekil 5'de görülen plazma (glow discharge) oluşması sağlanmaktadır. Plazma oluşumu sağlandıktan sonra sisteme Ar ve H<sub>2</sub> gazları verilerek hem kesici uçların sıcaklıklarının artması, hem de yüzeylerinin temizlenmesi sağlanmaktadır. Kesici uçların sıcaklığı proses sıcaklığına eriştiğinde ise sisteme BF<sub>3</sub> gazı da verilerek plazma borlama işleminin başlatılmaktadır. Deney planında belirlenen süre tamamlandıktan sonra güç kaynağı ile BF<sub>3</sub> ve H<sub>2</sub> gazı kapatılmakta, deney odasına sadece Ar gazı gönderilerek kesici uçların Argon gazı ortamında soğuması sağlanmaktadır. Kesici uçlar oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra vakum pompası ve Argon gazı da kapatılarak deney odasının basıncının oda ortamına açık bir valfin açılması suretiyle yavaş yavaş atmosfer basıncına gelmesi sağlanmaktadır. Daha sonra deney odası açılarak kesici uçlar deney odasından alınmaktadır. Böylece plazma borlama işlemi tamamlanmış olmaktadır.

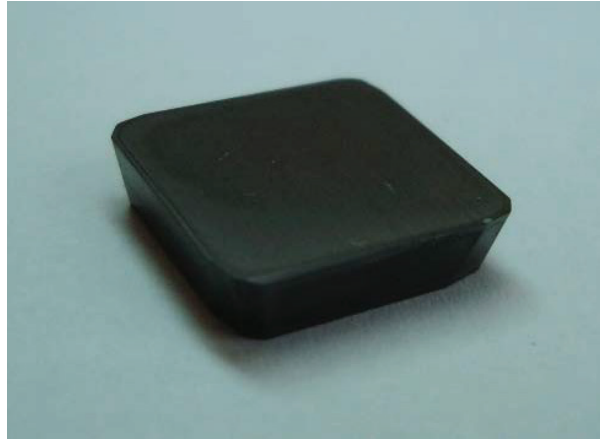
**Şekil 5.** Plazma oluşumu

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

Tablo1'de verilen deney planına uygun olarak yapılan plazma borlama işleminden sonra, SHIMADZU Vickers Mikro Sertlik ölçüm cihazı kullanılarak kesici uçların sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik ölçümünde Vickers yöntemi kullanılmış olup, 50 g (490.3 mN) yük 20 sn süresince uygulanmıştır.

### 4. SERTLİK ÖLÇÜMÜ SONUÇLARI

Plazma borlama işlemi tamamlanan kesici uçların üst yüzeylerine bakıldığında, kesici ucun kenar bölgesinde beyaz renkte bir şerit oluştuğu görülmektedir (Şekil 6). Bunun sebebi, plazma borlama esnasında kesici uç üzerinde oluşan elektromanyetik alanın kesici ucun kenar bölgelerinde daha yoğun olmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla, sertlik ölçümü yapılırken bu husus da dikkate alınmış ve orta bölge ile kenar bölgelerin sertlik ölçümleri ayrı ayrı yapılmıştır. Tablo1'de verilen deney planındaki her bir deneyde 2 adet kesici uç borlanmış ve sertlik ölçümü bu iki uç için ayrı ayrı orta ve kenar bölgede 5'er defa yapılarak bunların ortalaması alınmıştır.



Şekil 6. Borlanmış kesici uç (Deney No:7-5-2)

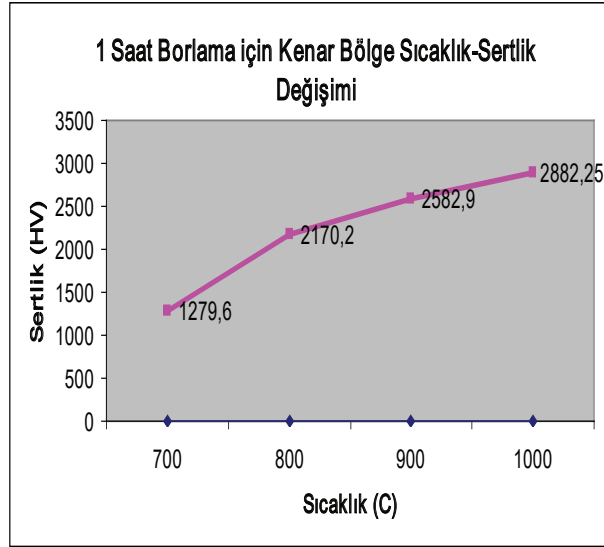
Tablo 2'de Plazma borlaması tamamlanan kesici uçlara ait Vickers sertlik ölçüm değerleri toplu halde verilmektedir. Borlanmamış kesici uçların orta bölgesindeki sertlik değeri 965 HV, kenar bölgedeki sertlik değeri ise 1210 HV olarak ölçülmüştür.

Tablo 2. Plazma Borlama Sertlik Ölçüm Tablosu

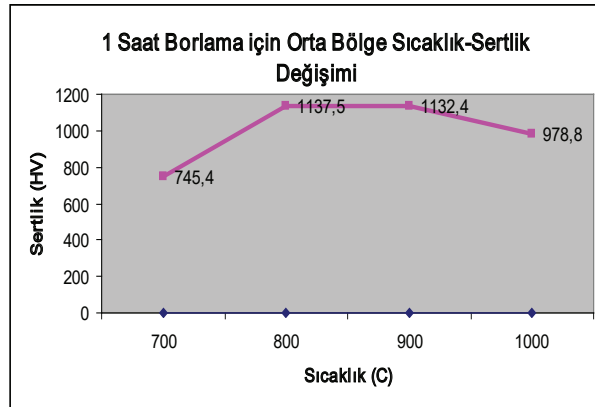
S/N	Deney No	SERTLİK (HV 0,05kg-20s)										
		Orta Bölge					Kenar Bölge					
1	7-5-1	1nci Numune	700	577	933	727	854	1690	1193	1393	1314	1216
		2nci Numune	463	637	928	864	771	1085	1006	1060	1376	1463
		<b>Ortalama</b>	<b>745.4</b>					<b>1279.6</b>				
2	7-5-2	1nci Numune	800	898	912	946	1105	3022	1969	1550	1644	1771
		2nci Numune	922	1112	1056	1088	790	1525	1421	2041	1873	1839
		<b>Ortalama</b>	<b>962.9</b>					<b>1865.5</b>				
3	7-5-4	1nci Numune	1195	1018	852	715	800	2301	1588	1604	1518	1782
		2nci Numune	720	994	855	597	912	1985	1766	2521	2105	2103
		<b>Ortalama</b>	<b>865.8</b>					<b>1927.3</b>				
4	8-5-1	1nci Numune	991	1542	790	1265	1098	1878	1849	1624	2304	2200
		2nci Numune	949	975	1140	1370	1255	2886	2012	2519	1922	2508
		<b>Ortalama</b>	<b>1137.5</b>					<b>2170.2</b>				
5	8-5-2	1nci Numune	1282	1070	1223	1596	1251	2850	3011	1492	2202	3053
		2nci Numune	1464	883	1293	1233	866	3754	2111	1956	2002	2959
		<b>Ortalama</b>	<b>1216.1</b>					<b>2539</b>				
6	9-5-1	1nci Numune	1197	955	1032	1381	1304	2134	2341	2976	3175	2990
		2nci Numune	797	875	877	1163	1743	2578	2666	2831	2000	2138
		<b>Ortalama</b>	<b>1132.4</b>					<b>2582.9</b>				
7	9-5-2	1nci Numune	370	460	684	501	788	2353	2609	2505		
		2nci Numune	526	799	473	642	744			2863	3500	3197
		<b>Ortalama</b>	<b>598.7</b>					<b>2837.83</b>				
8	10-5-1	1nci Numune	1066	804	916	1035	1073	2508	3410	2837		2774
		<b>Ortalama</b>	<b>978.8</b>					<b>2882.25</b>				

## 5. SERTLİK ÖLÇÜMLERİNİN İNCELENMESİ

Tablo 2'de verilen sertlik ölçümlerini daha iyi analiz edebilmek amacıyla değişik parametrelere bağlı grafikler incelenmiştir. Bu amaçla öncelikle borlama süresi sabit tutulduğu zaman sıcaklık-sertlik değişiminin nasıl olduğunu incelediğimizde kesici uçların kenar bölgesinden alınan değerler için Şekil 7'de gösterilen grafik elde edilmektedir. Bu grafik incelendiğinde, 1 saatlik borlama süresinde sıcaklığın 700, 800, 900 ve 1000 °C değerleri için sıcaklığın artmasıyla sertliğin de arttığı görülmektedir. 1000 °C ve üzerindeki sıcaklıklarda sertlik değerinin 3000 HV civarında sabit kalma eğiliminde olduğu da görülmektedir. Aynı incelemeyi Şekil 1'de gösterilen kesici ucun orta bölgesi için yaptığımızda ise Şekil 8'de gösterilen grafik elde edilmektedir. Bu grafik incelendiğinde, kesici ucun orta bölge sertliğinin sıcaklıkla birlikte arttığı, ancak 800 °C'den sonra ise azalmaya başladığı görülmektedir. Kesici uçların orta ve kenar bölgelerinin sertlik değerlerinin farklı olması kırılma tokluğunun artmasına da katkı sağlamaktadır.



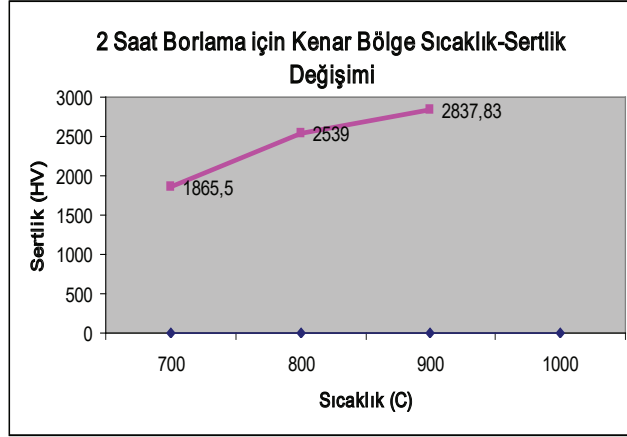
Şekil 7. Saat borlama için kenar bölgede sıcaklık-sertlik değişimi



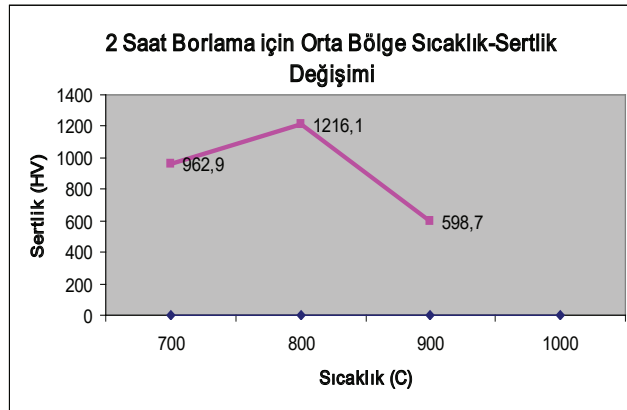
Şekil 8. Saat borlama için orta bölgede sıcaklık-sertlik değişimi

Plazma borlama süresini 2 saat için sabit tutarak yine sıcaklığı arttırdığımızda ise kesici uçların kenar bölgesi için Şekil 9'da verilen grafik elde edilmektedir. Burada 1000 °C'de 2 saat süreyle borlama işlemi yapılamadığı için bu değer girilmemiştir. 2 saatlik borlama süresince de sıcaklığın artmasıyla, sertlik değerinin arttığı görülmektedir. Kesici uçların orta bölgesi için aynı inceleme yapıldığında Şekil 10'da verilen grafik elde edilmektedir. 2 satlik borlama süresince orta bölgenin sertliğinin 800 °C'den sonra ani olarak düştüğü görülmektedir.



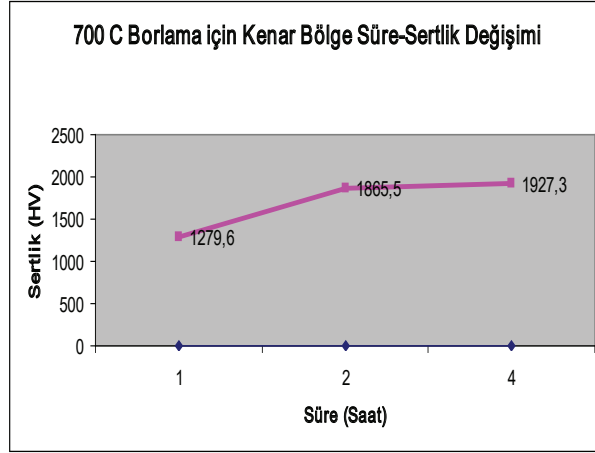


Şekil 9. Saat borlama için kenar bölgede sıcaklık-sertlik değişimi

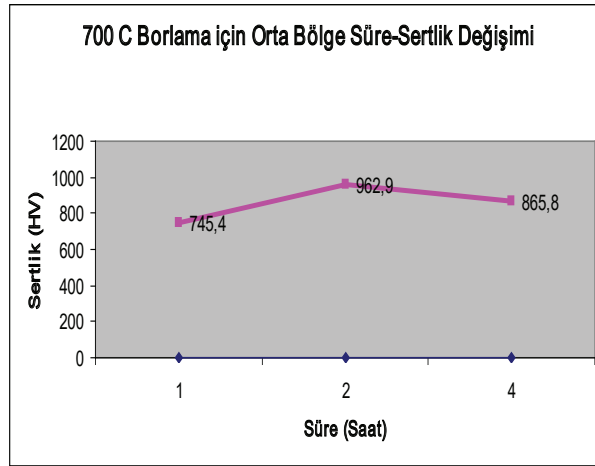


Şekil 10. Saat borlama için orta bölgede sıcaklık-sertlik değişimi

Plazma borlama işlemine sürenin etkisini görmek amacıyla, sıcaklığı sabit tutarak sertlik değişimi incelendiğinde 700 °C'deki borlama işlemi için kenar bölge süre-sıcaklık değişimi Şekil 11'de görülmektedir. 700 °C'deki borlama işleminde sertliğin 2 saate kadar arttığı, 4 saatlik sürede ise çok az bir miktarda artış gösterdiği ve bu süreden sonra sabit kalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Şekil 12'de verilen orta bölgedeki değişim incelendiğinde ise, 2 saate kadar orta bölgenin sertliğinin arttığı, daha uzun sürelerde ise bu bölgenin sertliğinin azaldığı görülmektedir.

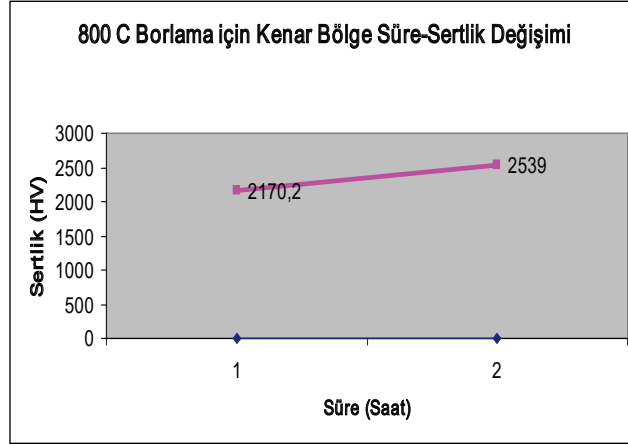


Şekil 11. 700 °C'de borlama için kenar bölge süre-sertlik değişimi

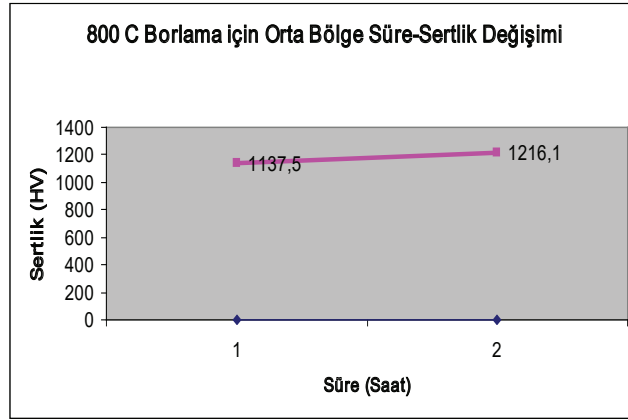


Şekil 12. 700 °C'de borlama için orta bölge süre-sertlik değişimi

800 °C'de değişik sürelerle yapılan plazma borlama işlemi sonunda kesici ucun kenar bölgesinde elde edilen sertlik değişimi Şekil 13'de görülmektedir. Bu grafiğin incelenmesi sonucunda sürenin artmasıyla sertliğin de arttığı görülmektedir. Aynı sıcaklık değeri için kesici ucun orta bölgesinin sertlik değişimi Şekil 14'de görülmektedir. Bu grafikte, orta bölgenin sertliğinin zamanla birlikte çok az bir miktarda artış gösterdiği görülmektedir.



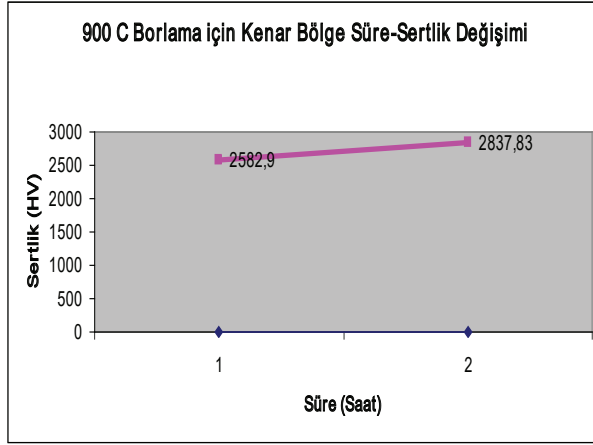
Şekil 13. 800 °C'de borlama için kenar bölge süre-sertlik değişimi



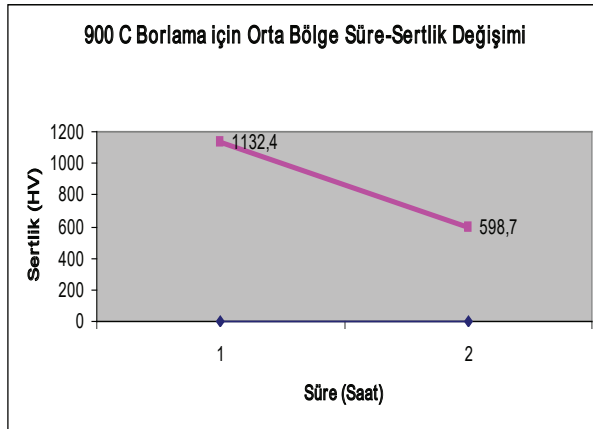
Şekil 14. 800 °C'de borlama için orta bölge süre-sertlik değişimi

900 °C'de değişik sürelerle yapılan plazma borlama işlemi sonunda kesici ucun kenar bölgesinde elde edilen sertlik değişimi Şekil 15'de görülmektedir. Bu grafiğin incelenmesi sonucunda sürenin artmasıyla sertliğin de arttığı görülmektedir. Aynı sıcaklık değeri için kesici ucun orta bölgesinin sertlik değişimi ise Şekil 16'da görülmektedir. Bu grafikte, orta bölgenin sertliğinin zamanla birlikte düştüğü görülmektedir.

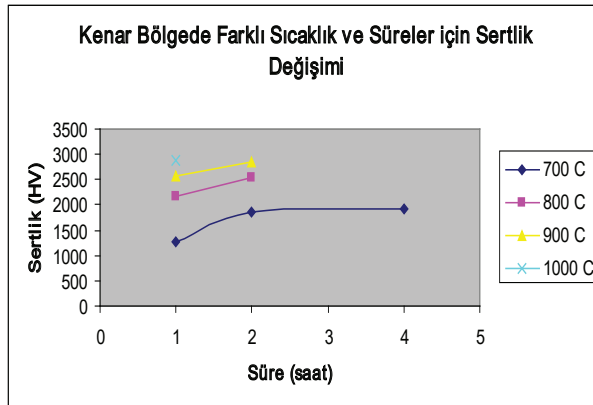
Dört farklı sıcaklık değeri için zamana bağlı olarak kesici uçların kenar bölgesinin sertlik değerindeki değişim Şekil 17'de görülmektedir. Bu grafikten de anlaşılacağı üzere genel olarak sıcaklık ve borlama süresi arttıkça sertlik değerinin de arttığı, ancak 4 saat civarında sabit kalma eğilimi olduğu görülmektedir.



Şekil 15. 900 °C'de borlama için kenar bölge süre-sertlik değişimi



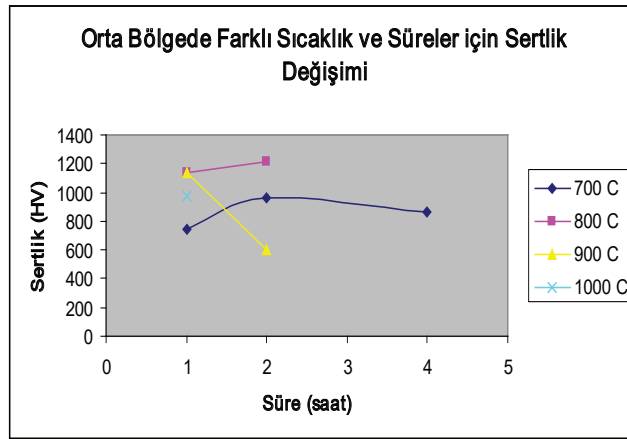
Şekil 16. 900 °C'de borlama için orta bölge süre-sertlik değişimi



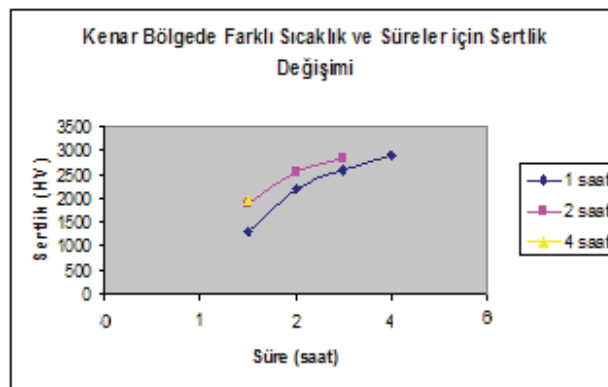
Şekil 17. Kenar bölgede farklı sıcaklık ve süreler için sertlik değeri değişimi

Orta bölgede değişik sıcaklık ve süreler için oluşan sertlik değeri değişimi Şekil 18'de görülmektedir. Orta bölgedeki sertliğin, 900 °C'deki borlama hariç, 2 saatlik borlama süresine kadar artma eğiliminde olduğu, daha uzun süreler için ise azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. 900 °C'deki borlamada ise borlama süresi arttıkça orta bölgenin sertliğinin azaldığı görülmektedir.

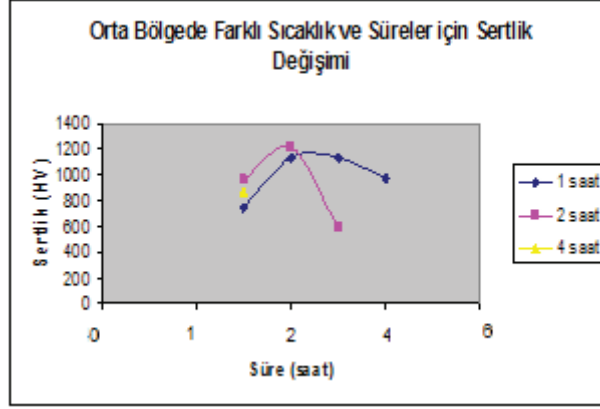
1, 2 ve 4'er saatlik borlama sürelerinde sıcaklığa bağlı olarak kenar bölgedeki sertlik değişimleri de Şekil 19'da görülmektedir. Buradan da belirli süreler için sıcaklık arttığında sertlik değerinin de arttığı görülmektedir. Benzer grafik orta bölge için Şekil 20'de verilmekte ve 800 °C'den sonra orta bölgenin sertliğinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 18. Orta bölgede farklı sıcaklık ve süreler için sertlik değeri değişimi



Şekil 19. Kenar bölgede farklı sıcaklık ve süreler için sertlik değeri değişimi



Şekil 20. Orta bölgede farklı sıcaklık ve süreler için sertlik değeri değişimi

Yukarıdaki grafikler ve değerlendirmeler çerçevesinde optimum sıcaklık ve borlama süresi olarak 900 °C de 4 saatlik borlamanın optimum değer olabileceği değerlendirilmektedir.

## 6. SONUÇLAR

Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Plazma borlama işleminin tungsten karbür kesme takımlarına başarıyla uygulanabilirliği gösterilmiştir.
- Borlama sonrasında kesme uçlarının kenar ve orta bölgesinde sertlik farklılığı olduğu, kenar bölgede sertliğin yüksek olduğu, orta bölgede ise sertliğin çok daha düşük olduğu, bunun da plazma borlama işlemi esnasında oluşan elektromanyetik alanın kenar bölgede yoğunlaşmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.
- Kenar ve orta bölgede oluşan bu sertlik farklılığının kesme ucunun kırılma tokluğunu arttıracakı değerlendirilmektedir.
- Borlanmamış kesme uçlarının kenar bölgesindeki sertlik değeri 1210 HV değerinde iken borlama sonrasında ortalama 2882 HV sertlik değerine kadar çıktığı görülmüştür. Bazı numunelerde bölge olarak 3700 HV sertlik değerine kadar çıkılabildiği görülmüştür.
- Borlanmamış kesme uçlarının orta bölgesindeki sertlik değeri 965 HV değerinde iken borlama sonrasında bu sertliğin 600-1210 HV değerleri arasında değiştiği belirlenmiştir.

- Sabit borlama sürelerinde sıcaklığın artmasıyla birlikte kenar bölgelerdeki sertlik değerinin de arttığı ve 1 saatlik borlamada maksimum sertlik değerinin 1000 °C'de 2882 HV olarak ölçüldüğü belirlenmiştir. 2 saatlik borlama süresinde de maksimum sertlik 900 °C'de 2837 HV olarak elde edilmiştir.
- Sabit borlama sürelerinde orta bölgedeki sertlik değeri incelendiğinde ise 800 °C'ye kadar sertlik değerinin arttığı, bu sıcaklık değerinden sonra ise sertlik değerinin azaldığı görülmüştür. Borlanmamış kesici ucun orta bölge sertliği 965 HV olarak elde edilmiş olup 700 °C'de 1 ve 2 saatlik borlama sürelerinde bu sertlikten daha düşük bir sertlik değeri elde edildiği görülmüştür. 800 °C'de 2 saatlik borlamada ise orta bölge sertliği minimum değerine inmekte ve yaklaşık 600 HV değerine gelmektedir.
- Plazma borlama işlemine sürenin etkisini görmek amacıyla, sıcaklığı sabit tutarak sertlik değişimi incelendiğinde, 700 °C'deki borlama işleminde sertliğin 2 saate kadar arttığı, 4 saatlik sürede ise çok az bir miktarda artış gösterdiği ve bu süreden sonra sabit kalma eğiliminde olduğu görülmüştür.
- 700 °C'de orta bölgedeki değişim incelendiğinde ise, 2 saate kadar orta bölgenin sertliğinin arttığı, daha uzun sürelerde ise bu bölgenin sertliğinin azaldığı belirlenmiştir.
- 800 °C'de değişik sürelerle yapılan plazma borlama işlemi sonunda kesici ucun kenar bölgesinde elde edilen sertlik değişiminin incelenmesi sonucunda sürenin artmasıyla sertliğin de arttığı ve 2539 HV değerine çıktığı görülmüştür.
- 800 °C sıcaklık değeri için kesici ucun orta bölgesinin sertlik değişimi incelendiğinde, orta bölgenin sertliğinin zamanla birlikte çok az bir miktarda artış gösterdiği görülmüştür.
- 900 °C'de değişik sürelerle yapılan plazma borlama işlemi sonunda kesici ucun kenar bölgesinde elde edilen sertlik değişiminin incelenmesi sonucunda sürenin artmasıyla sertliğin de arttığı ve 2837 HV değerine kadar çıktığı görülmektedir. Aynı sıcaklık değeri için kesici ucun orta bölgesinin sertliğinin zamanla birlikte düştüğü belirlenmiştir.
- 1000 °C sıcaklıkta 1 saat süreyle yapılan borlama sonucunda 2882 HV sertlik değeri elde edilmiş olup borlanmamış numuneye göre sertlik değerinde 2.38 kat artış elde edilmiştir.
- Bölgesel sertlik değerlerinde 3754 HV sertlik değerine kadar çıkmış olup borlanmamış numuneye göre 3.1 kat artış elde edilmiştir.
- Dört farklı sıcaklık değeri için zamana bağlı olarak kesici uçların kenar bölgesinin sertlik değerindeki değişim incelendiğinde, genel olarak sıcaklık ve borlama süresi arttıkça sertlik değerinin de arttığı, ancak 4 saat civarında sertliğin sabit kalma eğiliminde olduğu belirlenmiştir.
- Orta bölgede değişik sıcaklık ve süreler için oluşan sertlik değeri değişimi incelendiğinde, 900 °C'deki borlama hariç, 2 saatlik borlama süresine kadar artma eğiliminde olduğu, daha uzun süreler için ise azalma eğiliminde olduğu belirlenmiştir. 900 °C'deki borlamada ise borlama süresi arttıkça orta bölgenin sertliğinin azaldığı görülmüştür.

- 1, 2 ve 4'er saatlik borlama sürelerinde sıcaklığa bağlı olarak kenar bölgedeki sertlik değişimleri incelendiğinde, belirli süreler için sıcaklık arttığında sertlik değerinin de arttığı, ancak 900 °C civarından sonra sertlik değerinin sabit kalma eğiliminde olduğu görülmüştür.
- Orta bölgenin sertlik değerinin 800 °C'ye kadar arttığı, bu sıcaklıktan daha yüksek sıcaklık değerleri için ise azaldığı belirlenmiştir.
- Optimum sıcaklık ve borlama süresi olarak 900 °C de 4 saatlik borlamanın optimum değer olabileceği belirlenmiştir.

Yukarıda belirtilen sonuçlar itibarıyla plazma borlama işleminin tungsten karbürler üzerine uygulanması sonucunda yüzey sertliğinde oldukça iyi bir artış elde edildiği görülmüştür. Yüzey sertliğinde elde edilen bu artışın kesici takımın takım ömrüne de olumlu katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

## 7. KAYNAKLAR

**Badini, C., Gianoglio, C., and Paradelli, G.** "The Effects of Carbon, Chromium and Nickel on the Hardness of Borided Layers" *Surfaces and Coatings Tech.*, 30: 157-170, 1987

**Balçık, H.**, "İyon nitrürleşmiş H13 sıcak iş çeliğinin sıcaklık ve zaman ile sertlik değerlerinin değişimi", İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü *Doktora Tezi*, 90s., 1998.

**Bozkurt, N.**, "Bor Yayınımla Çeliklerde Yüzey Sertleştirme" *Doktora Tezi*, İ.T.Ü., Fen Bil. Enst., İstanbul, 1984

**Epik, A.P.**, VI. "Borid Coatings, Protective Coatings on Metals" Vol.2, Consultants Bureau, New York, 1970

**Knotek, O., Lugscheider, E., and Leuschen, K.**, "Surface Layers on Cobalt Base Alloys by Boron Diffusion", *Thin Solid Film*" Vol 45 331 – 339 p., 1977

**Matuschka, A.G.**, "Boronizing" Carl Hanser Verlag München, 1980

**O'Brien, J.M.**, "Plasma (Ion) Nitriding", *ASM Handbook. Heat Treatment Volume 4.* 420-425, 1997.

**Özsoy, A.**, "Çeliğin borlanması borür tabakası, geçiş zonu ve ana matriksin özelliklerinin iyileştirilmesi" *Doktora Tezi*, Anadolu Üniversitesi, Fen Bil. Enst., Eskişehir, 1996

**Pye, D.**, "Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing", *ASM International*, 253s. USA, 2003.

**Sarper, S.S.**, "Borlamanın Demir Esaslı T/M Parçaların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi", *Doktora Tezi*, CBÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, Aralık 2004.

**Singhal, S.C.**, "A Hard Diffüzyon Boride Coating for Ferro Materials", *Thin Solid Films* Vol 45 321 – 329p., 1977

**Tamer, O.M.**, "İyon nitrürleme ile sıcak dövme kalıplarının ömrünün arttırılması", İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü *Doktora Tezi*. 95s, 1996.



**Vasilieva, E.V., Yukov, I.I., Uralpov, A.M., and Melnichuk, G.A.,** "Structure and Properties of Borided Chromium Stainless Steel" *Materials Science Heat Treatment*, Vol 27 391 – 394 p., 1985

**Venkatasubramanian, S.R., and Iyer, K.J.L.,** "Boronizing of Steel", *Tool Alloy Steel* Vol 11 453 – 455 p., 1977

**Yakhina, V.D., Kozlov, A.M., and Lukyanitsa, A.Ö.,** "Physicochemical Characteristics of Powder Boronizing" *Sov. Powder Metall. Met. Ceram.*, Vol18 237 – 240 p., 1979

