



UKK

7
th

**ULUSLARARASI KIRILMA KONFERANSI
BİLDİRİLER KİTABI**

**INTERNATIONAL FRACTURE CONFERENCE
PROCEEDINGS**

**EDİTÖR / EDITOR
ŞADİ KARAGÖZ**

**CİLT 1
VOLUME 1**

**19 - 21 EKİM 2005
19 - 21 OCTOBER 2005**

KAYNAK DİKİŞİNİN KİMYASAL BİLEŞİMİ İLE KIRILMA TOKLUĞU ARASINDAKİ İLİŞKİ

Kahraman ŞİRİN*, **Şule Yıldız ŞİRİN****, **Erdinç KALUÇ*****

* Noksel Çelik Boru San. A.Ş., Hendek-Sakarya 54300

E-mail: ksirin@noksel.com.tr

** Asım Kocabıyık MYO, Kocaeli Üniversitesi, Hereke-Kocaeli 41800

E-mail: sysirin@yahoo.com

*** Mühendislik Fakültesi, Makina Müh. Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, İzmit-Kocaeli 41040

E-mail: ekaluç@kou.com.tr

ÖZET

Bu çalışmada, tozaltı kaynak yöntemi ile üretilen spiral dikişli doğal gaz hat borularında, kaynak metalinin kimyasal bileşiminin kaynak dikişinin tokluk özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiş ve bu amaçla çeşitli deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışmada, aynı kaynak koşullarında, farklı kimyasal bileşime sahip kaynak telleri kullanılmıştır. Böylelikle, farklı alaşımlanma sonucunda kaynak metalinin kimyasal bileşiminin değişimine olanak sağlanmış ve daha sonra yapılan çentik darbe deneyleri yardımı ile çentik darbe mukavemeti ile kaynak metalinin kimyasal bileşimi arasındaki ilişki irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaynak dikişi kimyasal bileşimi, tokluk, spiral boru

THE RELATIONSHIP BETWEEN WELD METAL CHEMICAL COMPOSITION AND TOUGHNESS BEHAVIOUR

ABSTRACT

In this study, the effect of weld metal chemical composition on the toughness behaviour in submerged arc welded spiral pipes, is analyzed by making some industrial experiments. For this reason, initially different weld metal composition are obtained by using different kind of welding wires while all the parameters are kept as same. Finally, relationship between charpy V-notch impact test results and chemical composition of the weld metal is investigated.

Keywords: weld metal chemical composition, toughness, spiral pipe

1. GİRİŞ

Stratejik önemi bulunan petrol ve doğal gazın buldukları kaynaklardan çıkarılarak ayırma istasyonlarına, ayırma işleminden çıkan ürünlerin ise kullanım yerlerine taşınmaları gereklidir. Yüksek basınçlarla gerçekleştirilen bu taşıma işlemi ise çoğunlukla tozaltı kaynak yöntemi ile üretilen büyük çaplı çelik borular ile yapılmaktadır. Enerjinin maliyetinin önemli bir oranda nakil maliyetine bağlı olması, boru hatlarında aynı çaplarda daha fazla gaz akışı sağlanması gereksinimini ortaya çıkarmaktadır. Bu ise, borunun gerek gövdesinde gerekse kaynak dikişinde, düşük sıcaklıklarda yüksek tokluk özelliklerini kaçınamaz hale getirmektedir.

Kaynak işlemi sırasında, ısının yerel olarak uygulanması ile malzemede ve özellikle kaynak dikişi civarında oluşan büyük sıcaklık farklılıklarından dolayı iç gerilmeler meydana gelir. Kaynaktan sonra ortaya çıkan iç gerilmelerin, çalışma koşullarındaki zorlanmalar ve kaynak banyosundan yayılan hidrojenin olumsuz etkileri ile birleşmesi ve sertleşen bölgenin plastik şekil değiştirme özelliğinin olmaması nedeni ile kılcal çatlaklar oluşmaktadır. Genellikle gözle görülmeyen bu kılcal çatlaklar zamanla belirli bir büyüklüğe erişince gevrek kırılmaya yol açabilir. Çentik darbe deneyi kırılma davranışının incelenmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Vurma değerinin büyük olduğu üst bölgede sünek, alt bölgede gevrek, geçiş bölgesinde ise çoğunlukla karışık kırılma görülür. Sünek kırılmayı sağlayan tavan enerjisi yüksek ve geçiş sıcaklığı düşük olunca tokluk özelliği iyileşir; tavan enerjisi düşük ve geçiş sıcaklığı yüksek olunca da tokluk düşer ve çelik gevrekleşir. Sünek halden gevrek hale geçiş belirli bir sıcaklık aralığında olur ve çelik bu sıcaklık aralığında gevrek hale gelir. Bir çeliğin geçiş sıcaklığı malzemenin kimyasal bileşimi, uygulanan mekanik ve ısı işlemler ve iç yapı gibi bir çok faktörün etkisi altındadır.


İnce kesitlerde yüksek mukavemet özelliklerine sahip olan ve kaynak edilebilirliği oldukça iyi olan ince taneli yapı çelikleri, gaz ve petrol iletim hatlarında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Gaz iletim boru hatlarında “sweet gas” ve “sour gas” olmak üzere iki tür çelik kullanımı söz konusudur. Sweet gazlar için, genellikle %0,09 C ve %1,6 ‘ya kadar Mn içeren ve karbon eşdeğeri IIW ‘ye göre 0,32 ‘ye kadar çıkabilen çelikler kullanılmaktadır. Bunlar çoğunlukla, Nb ve gerekiyorsa Ti ya da V eklenmesiyle alaşımlandırılmış olup, -20 °C ‘de ki tokluk değerleri 200 J civarında olan çeliklerdir. NACE sınıflamasına göre işlenen ürünün basıncı 0,4 MPa ve daha yüksek ise ve ürün içindeki hidrojen sülfürün (H₂S) kısmi basıncı 0,0003 MPa ‘dan daha yüksek ise bu tür ortamlar “sour“ ortam olarak nitelendirilmektedir. CO₂ ve H₂S ‘nin her ikisi de nemin bulunmasıyla korozif hale gelir ve doğal gazın korozifliği bu değerlerin kontrolüyle belirlenir. Sour gaz için üretilen çelikler, tokluk özelliği yüksek ve HIC direnci oldukça fazla olan çelikler olarak karakterize edilebilir. Bu özellikler ise, pota kimyası ve yüksek düzeyde temizlik ile sağlanabilir. Böylelikle, sertleşebilme özelliği düşük ve HIC açısından oldukça zararlı olan kalıntı ve çökelti içermeyen çelik eldesi söz konusudur. HIC ‘e karşı dirençli çeliklerin karakteristik özellikleri; düşük miktarda C, Mn ve S içeriği, Ca ya da benzer etkiyi verecek elementler ile sülfid kalıntılarının küreselleştirilmesi, düşük oranda oksit kalıntıları içermesi olarak özetlenebilir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışmalar, tozaltı kaynak yöntemi ile üretilen spiral dikişli boru üzerinde yapılmıştır. Boru dış çapı 864 mm ve kalınlığı 8,74 mm olup, ilgili kaynak parametreleri ile elde edilen kaynak dikişi Tablo 1 ‘de, deneylerde kullanılan kaynak tellerinin kimyasal bileşimi Tablo 2 ‘de, kaynak tozunun özellikleri ise Tablo 3 ‘de verilmiştir.

Çentik darbe deneyleri, mak. darbe işi 300 J ve çarpma hızı 5,42 m/s olan cihaz ile yapılmış olup, deney numuneleri DIN 50115 'e göre sivri çentikli ISO-V şeklinde hazırlanmıştır (Şekil 1). Numune soğutması sıvı banyo içinde yapılmış olup, hassasiyet $\pm 0,5$ °C, tutma süresi ise yedi dakikadır. Numuneler cihaza, çentik eksenini mesnet açıklığının tam ortasında ve çentikli yüzün çekicinin vuracağı yüzün ters tarafında olacak şekilde yerleştirilmiştir.

Tablo 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan kaynak parametreleri.

		Akım şiddeti (A)	Ark gerilimi (V)	Tel çapı (mm)	Kaynak hızı (m/dk)	
İç kaynak	DC	775	29	3,2	2,20	
	AC	550	29	3,2		
Dış kaynak	DC	725	29	3,2		
	AC	450	29	3,2		

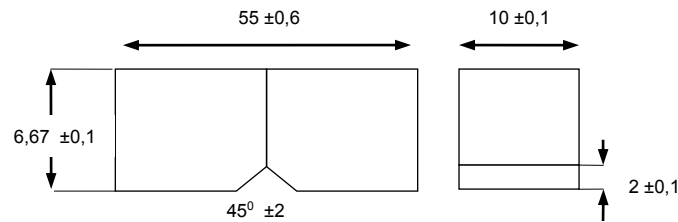
Tablo 2. Deneysel çalışmalarda kullanılan kaynak tellerinin kimyasal bileşimi.

	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	V	Ti	B
S2Mo	0,11	0,89	0,16	0,04	0,04	0,50	0,02	0,010	0,01		
S3Mo	0,10	1,62	0,15	0,05	0,04	0,49	0,04	0,006	0,01		
S3MoTiB	0,07	1,27	0,29	0,04	0,03	0,51	0,03	0,004	0,01	0,15	0,013

* Tüm teller için P<%0,010 ve S<%0,010

Tablo 3. Deneysel çalışmalarda kullanılan kaynak tozunun özellikleri.

Euronorm Gösterimi	Bazıklık Derecesi (Boniszewski)	Tane büyüklüğü	Yoğunluk (kg/dm ³)
EN 760 – A AB 1 55 AC H5	1,6	2 - 20	1,2



Şekil 1. Çentik darbe deney numunesinin boyutları

2.1. Deneysel Çalışmanın Yürütülmesi

Deney 1. Deneysel çalışmanın ilk aşamasında, termomekanik haddelemeye tabi tutulmuş ve hidrojen kırılma hızına karşı mukavemeti yüksek bir X-65 çeliği kullanılmıştır (Tablo 4). Çelik malzemede mikroalaşım elementi olarak Nb ve V 'un yanısıra Ti 'da kullanılmıştır. Söz konusu malzemenin -20 °C 'de ki çentik darbe mukavemeti 187 J 'dur (Tablo 5). Tozaltı kaynak yöntemi ile spiral dikişli boru üretim aşamasında, Tablo 1 'de verilen elektriksel kaynak parametrelerine uygun olarak tüm kaynak kafalarında S2Mo teli kullanılmıştır. Elde edilen kaynak dikişinin kimyasal bileşimi Tablo 6 'da verilmiştir. Kullanılan tel ve tozun etkisi ile kaynak metalindeki C ve Si içeriğinde belirgin bir artışın olduğu görülmektedir. Bunun dışında, kaynak telindeki yüksek Mo içeriği kaynak metalindeki Mo miktarında oldukça yüksek bir artışa yol açmıştır. Mangan 'da ise bir değişimin olmadığı görülmektedir. Kaynak dikişinin -20 °C 'de ki çentik darbe deneyi sonuçları Tablo 7 'de görülmektedir.

Tablo 4. Deney 1 'de kullanılan X-65 çeliğinin kimyasal bileşimi.

C	Si	Mn	P	S	Cu-Ni Cr-Al	Mo	N	Nb	Ti	V
0,021	0,23	1,34	0,003	0,001	0,350	0,057	0,002	0,053	0,0140	0,060

Tablo 5. Deney 1 'de kullanılan X-65 çeliğinin -20 °C 'de ki çentik darbe sonuçları.

parça no	Deney sonucu (J)	parça no	Deney sonucu (J)
1	196	11	176
2	211	12	174
3	185	13	183
4	180	14	182
5	214	15	182
6	184	16	178
7	197	17	190
8	196	18	188
9	182	19	168
10	189	20	184

Tablo 6. S2Mo kaynak teli ile elde edilen kaynak dikişinin kimyasal bileşimi (Deney 1).

C	Si	Mn	P	S	Cu-Ni Cr-Al	Mo	N	Nb	Ti	V
0,039	0,28	1,33	0,003	0,002	0,266	0,215	0,005	0,034	0,0070	0,040

Tablo 7. Kaynak dikişinin -20 °C 'de ki çentik darbe sonuçları (Deney 1).

parça no	Deney sonucu (J)	parça no	Deney sonucu (J)	parça no	Deney sonucu (J)
1	128	9	87	17	96
2	64	10	104	18	102
3	106	11	144	19	117
4	128	12	43	20	115
5	127	13	105	21	107
6	115	14	57	22	104
7	49	15	108	23	124
8	71	16	95	24	47

Deney 2. Çalışmanın ikinci aşamasında, diğer tüm parametreler aynı kalırken daha farklı bir kimyasal bileşime sahip bir X-65 çeliği kullanılmıştır (Tablo 8). Daha önce kullanılan malzemenin farklı olarak, bu deneyde kullanılan çelik malzemenin C içeriği daha fazla, buna karşın Mn içeriği daha düşüktür. Mikroalaşımlama elementi olarak sadece Nb ve V kullanılmış buna karşın Ti kullanılmamıştır. Söz konusu malzemenin -20 °C 'de ki çentik darbe dayanımı 170 J 'dur (Tablo 9). Tablo 10 ve Şekil 2 'de ise malzemenin değişik sıcaklıklardaki çentik darbe deney sonuçları görülmektedir. Tablo 1 'de verilen elektriksel kaynak parametrelerine uygun olarak tüm kaynak kafalarında S2Mo teli kullanılmıştır. Bu şartlar altında elde edilen kaynak dikişinin kimyasal bileşimi Tablo 11 'de, -20 °C 'de ki çentik darbe sonuçları ise Tablo 12 'de verilmiştir.

Tablo 8. Deney 2 'de kullanılan X-65 çeliğinin kimyasal bileşimi.

C	Si	Mn	P	S	Cu-Ni Cr-Al	Mo	N	Nb	Ti	V
0,035	0,18	1,10	0,008	0,001	0,296	0,004	0,003	0,057	0,0025	0,064

Tablo 9. Deney 2 'de kullanılan X-65 çeliğinin -20 °C 'de ki çentik darbe sonuçları.

Parça no	Deney sonucu (J)	Parça no	Deney sonucu (J)
1	160	11	169
2	170	12	168
3	175	13	169
4	176	14	176
5	169	15	166
6	165	16	159
7	169	17	144
8	171	18	171
9	167	19	182
10	160	20	182

Tablo 10. Deney 2 'de kullanılan çeliğin değişik sıcaklıklardaki çentik darbe sonuçları.

Parça no	20 °C	0 °C	-40 °C	-60 °C
1	179	177	161	157
2	168	174	171	163
3	174	175	157	177

Tablo 11. Deney 2 'de S2Mo kaynak teli ile elde edilen kaynak dikişinin kimyasal bileşimi.

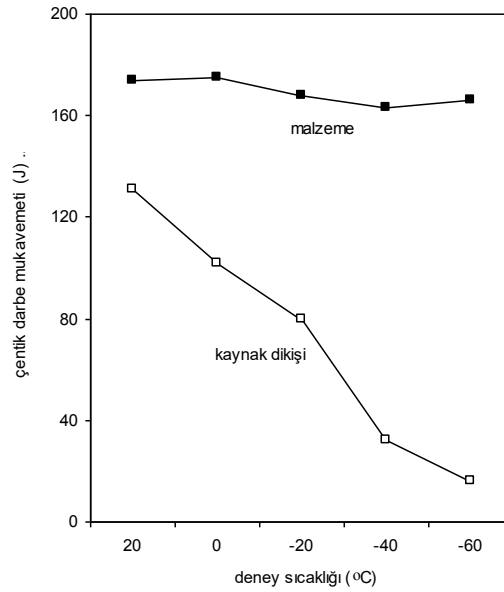
C	Si	Mn	P	S	Cu-Ni Cr-Al	Mo	N	Nb	Ti	V
0,046	0,25	1,16	0,008	0,002	0,240	0,165	0,005	0,037	0,0028	0,044

Tablo 12. Kaynak dikişinin -20 °C 'de ki çentik darbe sonuçları (Deney 2).

Parça no	Deney sonucu (J)	Parça no	Deney sonucu (J)	Parça no	Deney sonucu (J)	Parça no	Deney sonucu (J)
1	111	9	50	17	53	25	40
2	158	10	80	18	102	26	56
3	125	11	43	19	129	27	116
4	38	12	110	20	46	28	47
5	86	13	63	21	95	29	75
6	59	14	38	22	75	30	135
7	84	15	136	23	43		
8	30	16	40	24	116		

Tablo 13. Kaynak dikişinin değişik sıcaklıklardaki çentik darbe sonuçları (Deney 2).

Parça no	20 °C	0 °C	-40 °C	-60 °C
1	130	90	44	14
2	135	102	25	17
3	127	114	27	18



Şekil 2. Kaynak dikişinin çentik darbe mukavemetinin sıcaklığa bağlı olarak değişimi.

Deney 3. Deneylerin üçüncü aşamasında tüm diğer parametreler aynı tutulurken sadece kaynak tellerinin cinsi değiştirilerek, tüm kafalara S2Mo yerine Mn içeriği daha fazla olan S3Mo teli takılmıştır. S3Mo tel kullanımı ile kaynak metalindeki Mn miktarının artırılması ve artan Mn içeriği ile çentik darbe tokluğunda artış sağlanması hedeflenmiştir. Bu koşullar altında elde edilen kaynak dikişinin kimyasal bileşimi Tablo 14 'de verilmiştir. S3Mo tel kullanımı ile kaynak dikişindeki Mn miktarındaki artış net bir şekilde görülmektedir. -20 °C 'de ki kaynak dikişi çentik darbe test sonuçları Tablo 15 'de verilmiştir.

Tablo 14. Deney 3 'de S3Mo kaynak teli ile elde edilen kaynak dikişinin kimyasal bileşimi.

C	Si	Mn	P	S	Cu-Ni Cr-Al	Mo	N	Nb	Ti	V
0,048	0,24	1,31	0,008	0,002	0,258	0,162	0,006	0,037	0,0029	0,044

Tablo 15. Kaynak dikişinin -20 °C 'de ki çentik darbe sonuçları (Deney 3).

Parça no	Deney sonucu (J)	Parça no	Deney sonucu (J)	Parça no	Deney sonucu (J)	Parça no	Deney sonucu (J)
1	98	9	137	17	104	25	110
2	142	10	148	18	144	26	51
3	151	11	138	19	138	27	113
4	146	12	82	20	78	28	118
5	141	13	138	21	144	29	152
6	135	14	148	22	116	30	115
7	128	15	107	23	166		
8	133	16	142	24	95		

Deney 4. Deneylerin dördüncü ve son aşamasında kaynak telleri bir kez daha değiştirilmiş, DC kafalara S3MoTiB tipi tel takılırken AC kafalarda ise S2Mo cinsi tel kullanılmıştır. Bu koşullar altında elde edilen kaynak dikişinin kimyasal bileşimi Tablo 16 'da verilmiştir. S3MoTiB tel kullanımı ile çentik darbe dayanımının arttığı görülmektedir (Tablo 17).

Tablo 16. S3MoTiB kaynak teli ile elde edilen kaynak dikişinin kimyasal bileşimi (Deney 4).

C	Si	Mn	P	S	Cu-Ni Cr-Al	Mo	N	Nb	Ti	V
0,044	0,28	1,26	0,010	0,002	0,250	0,171	0,006	0,037	0,0265	0,045

Tablo 17. Kaynak dikişinin -20 °C 'de ki çentik darbe sonuçları (Deney 4).

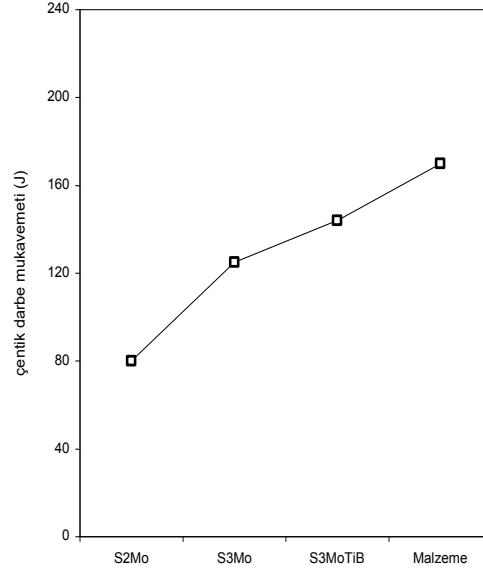
Parça no	Deney sonucu (J)	Parça no	Deney sonucu (J)	Parça no	Deney sonucu (J)
1	160	11	151	21	128
2	130	12	162	22	119
3	174	13	160	23	128
4	158	14	163	24	134
5	144	15	174	25	139
6	142	16	139	26	130
7	110	17	163	27	134
8	142	18	153	28	129
9	142	19	149	29	152
10	132	20	157	30	159

3. SONUÇLAR

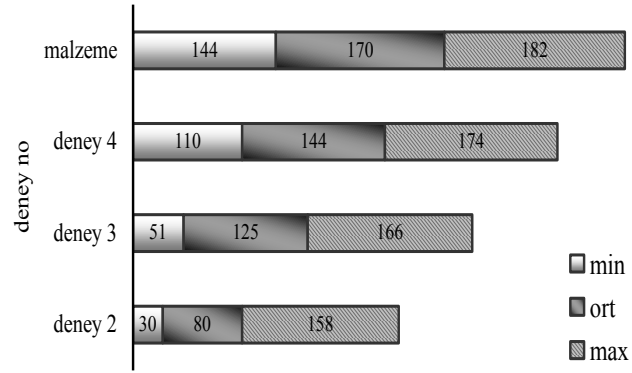
Tozaltı kaynağında, kaynak metali genel olarak büyük bir oranda ana metalden oluşmaktadır. Bu nedenle, ana metalin kimyasal bileşiminin kaynak bağlantısının kimyasal bileşimi, mikroyapısı, tokluk özellikleri ve çatlak hassasiyeti üzerindeki etkisi çok fazladır. IEB bölgesinin tokluk özelliklerini artırma yönündeki olanakların kısıtlı olmasına karşın, kaynak metalinde uygun tel ve toz kullanımı ile istenilen kimyasal bileşimi sağlama ve dolayısıyla kaynak metalinin tokluk özelliklerini iyileştirme olanağı oldukça fazladır.

Bilindiği gibi, kaynak metalinin mikroyapısındaki iğnemsî ferrit (acicular ferrite-AF) miktarı arttıkça kaynak metalinin tokluk özellikleri de iyileşmektedir. Mangan, Mo ve Ni gibi iğnemsî ferrit oluşumunu artırarak kaynak metalinin tokluk özelliklerine olumlu katkı sağlamaktadır. Yapılan deneysel çalışmalar göstermiştir ki; kaynak dikişindeki Mn miktarının artması ile tokluk değerlerinde de artış olmaktadır. S2Mo tel yerine daha yüksek Mn içerikli S3Mo tel kullanımı ile kaynak metalindeki Mn miktarı %1,16 'dan %1,31 'e çıkmıştır. Bunun sonucunda, -20 °C 'de ki çentik darbe mukavemeti 80 J değerinden yaklaşık %56 'lık bir artışla 125 J değerine yükselmiştir (Şekil 2).

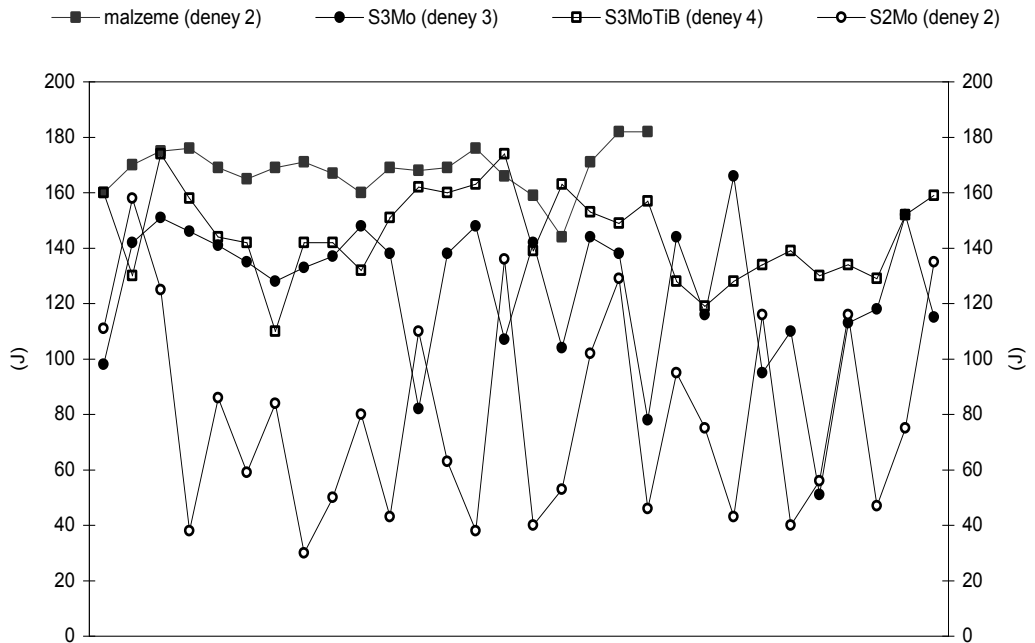
Titanyum, tokluğu düşürücü yönde etkisi olan zararlı elementler grubunda ki serbest oksijen ve azotu TiO ve TiN olarak bağlar ve dolaylı olarak tokluğu iyileştirir. Tokluk özelliklerini düşürücü yönde etkiye sahip olan serbest azotu bağlamak için Ti içerikli tel kullanımı oldukça yüksek tokluk değerlerinin elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu durum, deneysel çalışmada da görülmüş olup Mn artışının yanında kaynak metalindeki Ti miktarının artması ile tokluk özellikleri daha da artarak, -20 °C 'de ki çentik darbe mukavemeti 80 J değerinden 144 J değerine yükselmiştir (Şekil 2). Ayrıca, Ti artışı ile çentik darbe deney sonuçları daha homojen bir duruma gelmiştir (Şekil 3 ve Şekil 4). Sonuç olarak, kaynak metalinde uygun tokluk özelliklerinin elde edilebilmesi için, kaynak metalinde C, Mn ve Mo arasında uygun bir dengenin kurulması ve Ti-B içerikli kaynak teli ile alaşımlandırılması oldukça önemlidir. Ancak, Ti ve B ile alaşımlandırılmış kaynak telleri mutlaka düşük oksijen içerikli bazik esaslı tozlar ile eşlendirilmelidir.



Şekil 2. - 20 °C 'de ki çentik darbe mukavemetinin değişimi (864x8,74 mm).



Şekil 3. Çentik darbe deney sonuçlarının min, maks ve ort. değerlerinin gösterimi.



Şekil 4. Kullanılan tel bileşimine bağlı olarak çentik darbe mukavemetindeki değişim.