

29241

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SEMENTASYON ÇELİKLERİNİN ISIL İŞLEMİ

Metalurji Müh. Sibel Gültekin ALKIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Müzeyyen MARŞOĞLU

İSTANBUL, 1993

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MÜHÜRÜ

İÇİNDEKİLER

I. Giriş ve Amaç.....	1
II. Sementasyon Çelikleri.....	1
II.1. Sementasyon Çeliklerinin Özellikleri	1
II.2. Sementasyon Çeliklerinin Uluslararası Standartları	2
II.3. Sementasyon Çeliklerinin Tamamen Su Verilmiş Çeliklere Göre Avantajları - Dezavantajları	9
II.3.1. Avantajlar.....	9
II.3.2. Dezavantajlar.....	9
III. Sementasyon İşlemi	9
III.1 Sementasyon Ortamları.....	11
III.1.1. Katı Sementasyon.....	11
III.1.2. Sıvı Sementasyon.....	13
III.1.3. Gaz Sementasyon.....	18
III.2. Ortamların Karşılaştırılması.....	23
IV. Demir - Karbon Denge Diyagramı.....	24
V. Termodinamik İnceleme.....	25
VI. Difüzyon	28
VI.1. Doğal Yaklaşım	29
VI.1.1. Karbürizasyon.....	35
VI.1.2. Yer Alan Difüzyon	40
VI.1.2.1. Difüzyonun İlerleme Kuvveti	43
VI.1.2.2. Hareket ve Difüzyon Katsayısı.....	45
VI.1.2.3. Sıcaklığa Bağımlılık	47
VI.1.3. Ara Yüzey Difüzyonu.....	49
VI.2. Atomsal Yaklaşım	50
VI.3. Difüzyon Mekanizmaları	52
VII. Sementasyon Çeliklerinin Isıl İşlemi.....	57
VII.1. Sementasyon Çelikleri	57
VII.2. Sementasyondan Önce Çeliklerin Isıl İşlemi	59
VII.3. Sementasyondan Sonraki Isıl İşlem	60
VIII. Sementasyonda Karbon Kontrolü.....	62
VIII.1. Sementasyon Derecesinin Ölçülmesi	62
VIII.2. Alaşım Elementlerinin Sementasyona Etkisi	63
VIII.3. Fırında Karbon Kontrolü	64
VIII.4. İşlenmiş Parçada Karbon Kontrolü.....	64
VIII.4.1. Sertlik Analizi	64
VIII.4.2. Mikroskopik Analiz.....	65
VIII.4.3. İnce Levha Analizi	65
VIII.5. Sementasyon Sıcaklığı ve İşlem süresi	66
IX. Sementasyon Hataları ve Önlenmesi	67
IX.1. Yetersiz Sertlik Ve Yumuşak Kısımlar	67
IX.2. Sıcaklığın Etkinliği Ve Su Verme Hataları	68
IX.3. Düşük Bir Yüzeysel Sertlik	69
IX.4. Sementasyon Tabakasının Dökülmesi	70
IX.5. Su Verilmiş Parçaların Kırıcılığı	71

IX.6. Deformasyon Ve Distorsiyon	71
IX.7. Pitting Hataları.....	72
IX.8. Siyanür Banyoları Sementasyonu Hataları	72
IX.9. Önemli Sementasyon Hataları Özeti	73
X. Sementasyonda Mekanik Mikroyapı İlişkisi.....	73
XI. Deneysel Çalışma.....	75
XI.1. Numunelerin Seçimi	75
XI.2. Numunelerin Kimyasal Bileşimi	75
XI.3. Numunelere Uygulanan Isıl İşlem.....	76
XI.4. Kullanılan Fırın Tipi.....	76
XI.5. Numunelere Uygulanan Sementasyon İşlemi Sonucu.	77
XII. Genel Sonuç.....	77
XIII. Grafikler ve Listeler	78
XIV. Kaynakça	122
XV. Teşekkür	123



I. GİRİŞ VE AMAÇ

Günümüzde bilim ve teknolojiadaki gelişmelere bağlı olarak endüstri dallarında yüksek mekanik özelliklere sahip olan kaliteli mamüllere gereksinim duyulmaktadır. Özellikle neredeyse her işletmede aşınma mekanizması iş ve zaman kaybına neden olduğundan aşınmaya karşı daha mukavim çeliklerin işlenmesi gittikçe ehemmiyet kazanmaktadır. Aşınmaya dayanıklı çeliklerin üretiminde kullanılan yüzey sertleştirme işlemleri 18.yüzyıldan günümüze epeyce yol katetmiştir.

Yüzey sertleştirme adı verilen işlem çeliğe sert ve aşınmaya karşı dayanımlı bir yüzey sağlamaktadır. Yüzeyi sertleştirilmiş olan çeliğin çekirdeğinin sathına göre yumuşak ve tok olması parçanın tüm olarak yüksek darbe mukavemeti göstermesini sağlamaktadır. Yüzey sertleştirme sırasında yüzey tabakalarında basma gerilmelerinin gelişmesi yüzünden çeliğin yorulma mukavemeti de artmaktadır.

Bu tez çalışmasında aşınmaya dayanıklı olan sementasyon çelikleri ele alınmakta olup ; sementasyon çeliklerinin dünya ülkelerinde kullanılan standartları , sıvı ortamda uygulanan ısıtma işlemi ve sementasyon işleminin teorisi araştırılıp , derlenmiştir. Deneysel olarak da sementasyon işleminde karbonun malzeme yüzeyinden içerisine doğru nüfuziyeti esnasında sıcaklık ve zaman faktörleri değiştirilerek sertliğin nasıl değiştiği ve bu sertlik değişiminin idealden ne kadar sapma gösterdiği incelenmiştir.

II. SEMENTASYON ÇELİKLERİ

II.1. SEMENTASYON ÇELİKLERİNİN ÖZELLİKLERİ

Bu çelikler alaşımsız veya düşük alaşımlıdır ; hem kütle halinde üretilen kaliteli çelik hem de asil çelik sınıfından olabilirler. Oksijen konverterlerinde ,Siemens Martin ocaklarında ve elektrik ocaklarında üretilerek sönük olarak dökülürler ve haddeleme , dövme ve presleme yoluyla sıcakta şekillendirilirler.

Sementasyon elikleri piyasaya sıcakta haddelenmiş veya dövülmüş olarak blum , slab , kütük , yuvarlak , dört köşe , altı köşe , lama şeklinde çubuk ;filmaşın , sıcak çekilmiş sa , band ve geniş lama ; dikişsiz boru , elde veya kalıpta dövülmüş parçalar halinde verilirler. Sıcakta şekillendiği gibi ; yumuşatma tavı görmüş ; belirli bir dayanım verecek biçimde su verilmiş veya belirli ferritik-perlitik yapı elde edecek biçimde tavlannış olarak teslim edilirler.

Yapıları esas olarak ferritik-perlitiktir.

Sementasyon elikleri , otomotiv sanayinde ve takım imalinde , yüzey sertliği ve gövdede yüksek dayanım gerektiren küçük dişli , dişli , mil , pres takımları vb. yapımında kullanılırlar.

II.2. SEMENTASYON ÇELİKLERİNİN ULUSLARARASI STANDARTLARI

Tablo I' e bakınız .

Sementasyon Çelikleri

Case hardening steels

Grup	Ülke	Çelik türleri		Kategori	Mekanik özellikler						Kıymasal analiz (döküm analizi)						Diğerleri	Diğerleri						
		Standard	İşareti		Malzeme No	Testim şekli	Boyut	Dimension	0.2 elastisite	0.2 Proof stress	Gekme daya.	Uzama	Büzülme	Darbe dayanımı	C	Si			Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
10.3	FAL	DIN 17 210 - 68	Ck 10	1.1121	H	11	380	380	380	640 - 780	13	40		0.07 - 0.13	0.15 - 0.25	0.30 - 0.60	0.035	Max						
	FRA	NF A 35-551 - 72	XC 10		H	30	295	295	295	490 - 640	16	50		0.06 - 0.12	0.05 - 0.20	0.30 - 0.60	0.035	0.035						
	ING	BS 970/2 - 73	045 M 10		H	19				430	16		60	0.07 - 0.13	0.10 - 0.40	0.30 - 0.60	0.035	0.035						
	ITA	UNI 5331 - 64	C 10		H	10	205	205	205	400 - 550	12		35	0.07 - 0.12	≤ 0.25	0.3 - 0.7	0.035	0.035				≤ 0.15		
	ISV	MNC 551 - 71	1255										42	0.07 - 0.13										
	ISP	UNE 38013 - 60	P-151		H		245	245	245	≥ 440	20		63	0.06 - 0.12	0.15 - 0.25	0.30 - 0.60	0.04	0.04						
	SSC	GOST 1050 - 60	10											0.07 - 0.14	0.17 - 0.37	0.25 - 0.65	0.035	0.040				≤ 0.25		
	ABD																							
	KAN																							
	JAP	JIS G 4051 - 65	S 10 C											0.06 - 0.13	0.15 - 0.25	0.30 - 0.60	0.030	0.035						
10.4	AVR	64 - 70	2 C 10		H	11	380	380	380	590 - 840	13		34	0.07 - 0.13	0.10 - 0.40	0.30 - 0.60	0.035	0.035						
	ISO	R 682/X1 - 70	Type 1		H	11	295	295	295	440 - 590	13		34	0.07 - 0.13	0.15 - 0.40	0.30 - 0.60	0.035	0.035						
	TÜRK																							
	FAL	DIN 17 210 - 68	Ck 15	1.1141	H	11	440	440	440	740 - 880	12	25		0.12 - 0.18	0.15 - 0.25	0.30 - 0.60	0.035	0.035						
	FRA	NF A 35-551 - 72	XC 12		H	30	355	355	355	590 - 790	14	45		0.10 - 0.16	0.05 - 0.30	0.30 - 0.60	0.035	0.035						
	ING	BS 970/2 - 73	080 M 15		H	19				730 - 1120	11		30	0.12 - 0.18	0.10 - 0.40	0.60 - 1.00	0.035	0.035				≤ 0.15		
	ITA	UNI 5331 - 64	C 16		H	10	440	440	440	680 - 1080	7		31	0.12 - 0.18	≤ 0.25	0.3 - 0.7	0.035	0.035				≤ 0.40		
	ISV	MNC 551 - 71	1370-04		H		345/590	345/590	345/590	≥ 690/890	7/14		22	0.12 - 0.18										
	ISP																							
	SSC	GOST 1050 - 60	15											0.12 - 0.19	0.17 - 0.37	0.35 - 0.65	0.040	0.040				≤ 0.25		
10.4	ABD																							
	KAN																							
	JAP	JIS G 4051 - 65	S 15 C											0.13 - 0.18	0.15 - 0.25	0.30 - 0.60	0.030	0.035						
	AVR	64 - 70	2 C 15		H	30	440	440	440	680 - 940	12		26	0.12 - 0.18	0.10 - 0.40	0.30 - 0.60	0.035	0.035						
	ISO	R 682/X1 - 70	Type 2		H	30	345	345	345	590 - 940	12		26	0.12 - 0.18	0.15 - 0.40	0.30 - 0.60	0.035	0.035						
TÜRK																								
Grup	Ülke	Standard	İşareti	Malzeme No	Kategori	Testim şekli	Boyut	Dimension	0.2 elastisite	0.2 Proof stress	Gekme daya.	Uzama	Büzülme	Darbe dayanımı	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Diğerleri	Diğerleri
10.3	Yüzey şartlığı isteyen fakat çekirdek mukavemeti yüksek olması gerekmeyen parçalar.														10.3 <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td>									
	10.3 Gibi, Fakat çekirdek mukavemeti daha yüksek parçalar.														10.4 <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td>									

Grup	Çelik türleri	Type of steel		Mekanik özellikler							Chemical composition												
		Standard	Isareti	Designation	Material No	Kategoriye	Teslim şekli	Boyut mm (kalınlık)	O ₂ elastikiyet R _p 0.2 N/mm ²	Gekme daya- nımı R _m N/mm ²	Uzama A ₅ %	Buzulme Reduction of area Z %	Darbe dayanımı KV J	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Digêrleri Others	
101	FAL	DIN 17 210 - 89	C 10		10 301	H	11	390 295	540 - 780 490 - 640	13	35		0.07 - 0.13	0.15 - 0.25	0.20 - 0.80	Max.	0.045						
	FRA	NF A 36-981 - 72	CC 10		3	H	16	345	540 - 1030	11	50		0.05 - 0.15	≤ 0.20	0.20 - 0.50	0.040	0.040						
	ING	BS 970/J - 73	045 M 10		3	H	19		> 430	16	35		0.07 - 0.13	0.10 - 0.40	0.20 - 0.80	0.050	0.050	≤ 0.20	≤ 0.15	≤ 0.40			
	ITA																						
	ISV																						
	ISP																						
	SSC																						
	ABD	ASTM A 576 - 74	1010		3									0.05 - 0.13	0.15 - 0.30	0.20 - 0.80	0.040	0.050					
	KAN																						
	JAP																						
102	FAL	DIN 17 210 - 89	C 15		10 101	H	11	440 355	740 - 980 690 - 790	12 14	30 40		0.12 - 0.18	0.15 - 0.25	0.20 - 0.80	0.045	0.045						
	FRA						30																
	ING	BS 970/J - 73	080 M 15		3	H	19		> 480	16	31		0.12 - 0.18	0.10 - 0.40	0.20 - 1.00	0.050	0.050	≤ 0.20	≤ 0.15	≤ 0.40			
	ITA																						
	ISV																						
	ISP																						
	SSC																						
	ABD	ASTM A 576 - 74	1015		3									0.13 - 0.18	0.15 - 0.30	0.20 - 0.80	0.040	0.050					
	KAN																						
	JAP																						
10.2	AVR																						
	ISO																						
TÜR	H x E	C 10 '0		3	H			350 - 350	550 - 800	13 - 17			0.5 - 0.74	0.10 - 0.30	0.030 - 0.60	0.040	0.040						
													Grup	Kullanım yerleri								Employment	
10.1	Yüksek plastisite istenen rande, çanta, mafsall gibi parçalar, sı mübadele cihazlarında boru blemeleri ve - 20' ile + 275'e kadar basınç altında çalışan parçalar için çıkış boruları, soğuk presleme ve derin çekme parçaları semantasyondan sonra hafif yükte fakat asındırıcı şartlarda çalışan burçlar, randelalar, destekler, pimler												10.1	Yüksek plastisite istenen rande, çanta, mafsall gibi parçalar, sı mübadele cihazlarında boru blemeleri ve - 20' ile + 275'e kadar basınç altında çalışan parçalar için çıkış boruları, soğuk presleme ve derin çekme parçaları semantasyondan sonra hafif yükte fakat asındırıcı şartlarda çalışan burçlar, randelalar, destekler, pimler									
10.2	Lewye mafsall bağlantıları, kaporta, civata, pim küçük makina parçaları, vinç kanalları, kavrırmalar, piston kolları, kablo barutları, semantisyondan sonra iç bünyesi mukavemetli parçalar, sürtünen diskler, pernelar, k - m milleri v.b.												10.2	Lewye mafsall bağlantıları, kaporta, civata, pim küçük makina parçaları, vinç kanalları, kavrırmalar, piston kolları, kablo barutları, semantisyondan sonra iç bünyesi mukavemetli parçalar, sürtünen diskler, pernelar, k - m milleri v.b.									

Grup	Çelik türleri	Type of steel	Kategori			Mekanik özellikler					Mechanical properties					Kımyasal analiz (doküman analizi)										Chemical composition																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
			Standard	İşaret	Designation	Malzeme No	Testim şekli	Boyut	0,2 elastik sınırlar	Eğme dayanımı	Tensile strength	Uzama	Elongation	Reduction of area	İmpact strength	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Diğerleri	Others																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Ç5	FAL	DIN 17 210 - 68	15 Ç 3	1.7015		11	30	510	780 - 1020	10	35				0,12 - 0,18	0,15 - 0,40	0,40 - 0,80	Max	0,035																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									

Semantasyon Çelikleri

Case hardening steels

[illegible]

Semantasyon Çelikleri

Grup	Ülke	Çelik türleri		Mekanik özellikler										Kimyasal analiz (döküm analizi)										Diğerleri
		Standard	İsaret	Malzeme No	Kategori	Testim şekli	Boyut	0.2 elastikiyet	0.2 Proof stress	Gekme daya.	Tensile strength	Uzama	Redüksiyon of area	Darbe dayanımı	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni		
		Standard	İsaret	Malzeme No	Kategori	Testim şekli	Boyut	0.2 elastikiyet	0.2 Proof stress	Gekme daya.	Tensile strength	Uzama	Redüksiyon of area	Darbe dayanımı	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni		
10.9	FAL	DIN 17 210 - 66	26 MoC 4	1.7325		M	11	235	235	1080 - 1350	7	30			0.23 - 0.26	0.15 - 0.40	0.60 - 0.80	Max	Max	0.40 - 0.60	0.40 - 0.60			
	FRA	NF A 36-561 - 72	16 CD 4			M	16	685	685	960 - 1200	6	35			0.18 - 0.22	0.10 - 0.40	0.60 - 0.80	0.035	0.035	0.55 - 1.15	0.15 - 0.20			
	ING	BS 970/3 - 71	80S H 25			M	18			1130 - 1520	8		25		0.22 - 0.26	0.10 - 0.25	0.60 - 0.85	0.035	0.035	0.25 - 0.65	0.15 - 0.25	0.25 - 0.75		
	ITA	UNI 5331 - 64	20 MC-Mo 2			M	10	930		1180 - 1880	7		22		0.18 - 0.22	≤ 0.25	0.7 - 0.9	0.035	0.035	0.4 - 0.5	0.15 - 0.25	0.4 - 0.7		
	ISV																							
	ISP																							
	SSC																							
	ABD	ASTM A 322 - 70	8025													0.23 - 0.26	0.20 - 0.25	0.70 - 0.80	0.035	0.040	0.40 - 0.60	0.15 - 0.25	0.40 - 0.70	
	KAN																							
	İAP																							
10.10	FAL	DIN 17 210 - 66	16 C-Mn 6	1.5719		M	11	685	685	960 - 1280	8	35			0.12 - 0.17	0.15 - 0.40	0.40 - 0.80	0.035	0.035	1.40 - 1.70		1.40 - 1.70		
	FRA	NF A 36-561 - 72	16 NC 6			M	16	630	630	1080 - 1370	9	40	20		0.12 - 0.17	0.10 - 0.40	0.60 - 0.80	0.035	0.035	0.55 - 1.15		1.20 - 1.60		
	ING	BS 970/3 - 71	81S M 17			M	19			> 1080	8		23		0.14 - 0.20	0.10 - 0.25	0.80 - 0.90	0.035	0.035	0.50 - 1.20	0.10 - 0.20	1.20 - 1.70		
	ITA	UNI 5331 - 64	16 MC 11			M	10	685		1120/1430	9		29		0.12 - 0.18	≤ 0.25	0.3 - 0.5	0.035	0.035	0.5 - 0.9		2.5 - 3.0		
	ISV	MNC 651 - 71	2512.03			M		460/725	> 740/1080	8/10					0.18 - 0.23					0.50 - 1.00	0.80 - 1.20			
	ISP	UNE 30013 - 60	F-159			M		785	> 980	8			26		0.12 - 0.16	0.10 - 0.25	0.55 - 0.85	0.04	0.04	0.80 - 1.20	0.15 - 0.25	0.80 - 1.20		
	SSC	GOST 4543 - 61	12 Ch N 3 A			M	15	685	> 930	11	55		32		0.09 - 0.16	0.17 - 0.37	0.30 - 0.80	0.075	0.075	0.50 - 0.90		2.75 - 3.15		
	ABD	ASTM A 322 - 70	4320			M									0.17 - 0.22	0.20 - 0.25	0.45 - 0.85	0.035	0.040	0.40 - 0.80	0.20 - 0.30	1.65 - 2.00		
	KAN																							
	İAP	JIS G 4102 - 66	SNC 22													0.12 - 0.18	0.15 - 0.25	0.25 - 0.65	0.030	0.030	0.70 - 1.00		3.00 - 3.50	
10.10	FAL	BA - 70	14 C-Mn 6			M	11	735	735	880 - 1260	8				0.11 - 0.17	0.15 - 0.40	0.25 - 0.65	0.035	0.035	1.40 - 1.70		1.40 - 1.70		
	AVR	R 687X1 - 70	Type 10			M	30	6	6	1030 - 1360	8		25		0.11 - 0.17	0.15 - 0.40	0.25 - 0.65	0.035	0.035	1.4 - 1.7		1.3 - 1.7		
	ISO	R 687X1 - 70	Type 10			M	30	6	6	930 - 1230	9		25		0.11 - 0.17	0.15 - 0.40	0.25 - 0.65	0.035	0.035	1.4 - 1.7		1.3 - 1.7		
	TÜRK	M K E	Ç 33:5			M		550	550	970 - 1200	16				0.10 - 0.17	0.15 - 0.35	0.50 - 0.90	0.040	0.040	0.60 - 0.80		3.25 - 3.75		
Tavlama işlemleri															Kullanım yerleri							Employment		
Şekil verme	Yumuşaltma	Normalizasyon	Gerilimsizleştirme	Su verme	Serileştirme	Meneviş									Grup									
Hot working	Soft annealing	Normalizing	Stress-free annealing	Hardening	Quenching	Tempering									10.9	Yüzeyi sert merkezi mukavim parçalar 18/8 Cr-Ni. karşıtı dişliler								
10.9	1100 - 850	650 - 700	850 - 880	-	-	Yağ									10.10	Otomobil konstrüksiyonlarında kullanılan dişli, çark, zincir dişlisi çentik direnci isteyen parçalar								

II.3. SEMENTASYON ÇELİKLERİNİN TAMAMEN SU VERİLMİŞ ÇELİKLERE GÖRE AVANTAJLARI -DEZAVANTAJLARI

II.3.1. AVANTAJLAR

- a) Semente edilmiş çeliklerin iç kısımları sonradan kolayca işlenebilir.
- b) Yumuşak ve akışkan çekirdek kısmı su verme işleminde şekil değiştirmelere , çatlamalara engel olur. Bu yüzden sementasyon , bilhassa işlendikten sonra şeklini koruması istenen parçalar için çok uygundur.
- c) Yüzeyin taşlanması dışında bu parçaların işlenmesi yumuşak parçalarda olduğu gibi kolay ve ucuz olur.
- d) Sementasyon çeliği , yüksek karbon çeliklerinden daha ucuzdur.

II.3.2. DEZAVANTAJLAR

- a) Çelik homojen olmayan karbon miktarının dışarıdan içeriye doğru azalmasıyla mikroyapısal değişiklik gösterir.
- b) Doğru ısı işlem hem çok tecrübe gerektirir hem daha pahalıdır.
- c) Taşlama sırasında sert tabakada pek az derinliğe gidilebileceğinden semente edilecek sertleştirilmiş çelikler , taşlanmadan önce gayet dikkatli olarak düzeltilmelidirler.

III. SEMENTASYON İŞLEMİ

Sementasyon işleminde , düşük karbonlu çelikten yapılmış, hemen hemen veya tamamen bitmiş bir halde olan parça karbon verici gereçler içinde tavlınır. Bu işleme sementit teşekkülü dolayısıyla "karbürizasyon" veya "sementasyon" denilir. Böylece parçanın yüzeyi karbon bakımından zenginleşerek akabinde yapılan su verme işlemi sonunda martenzitik dönüşüme uğrayarak sertleşir.

Sementasyon normal olarak 825 °C ve 925 °C sıcaklıkları arasında katı karbürizasyon ortamında , tuz banyolarında ve gazlar içinde uygulanır. Karbürize edici ortamdan karbonun iletimi daima bir gaz fazı yardımıyla gerçekleşir.

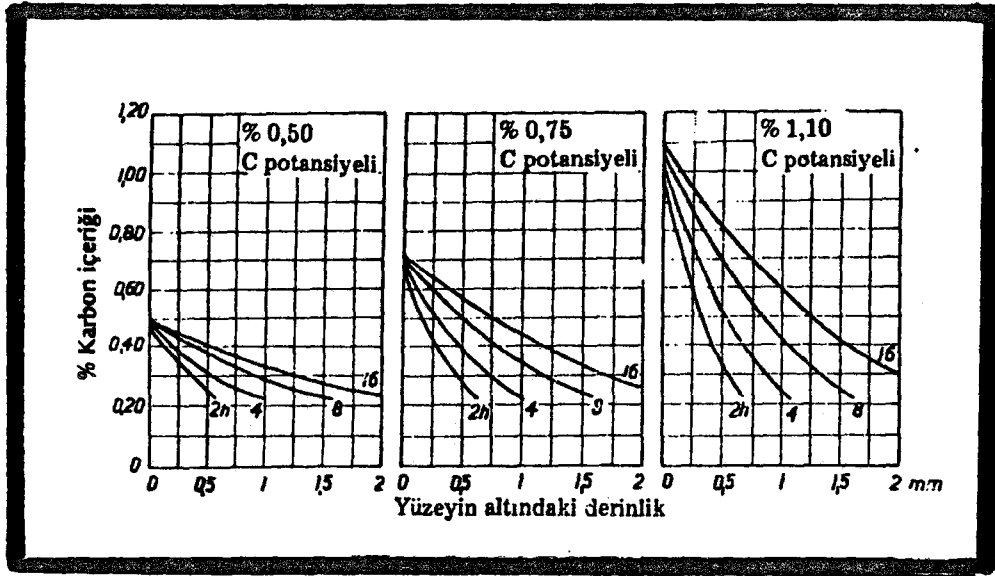
Sertleştirme işlemi aşağıdaki şekilde uygulanabilir :

- a) Doğrudan su verme : Karbürizasyon ortamından doğrudan su verme .
- b) Tek su verme : Parçaların karbürizasyon işleminden oda sıcaklığına kadar soğumasına izin verilmesi ve sonra ısıtılarak akabinde su verilmesi.

c) Çift su verme : Genellikle doğrudan su vermeyi ve sonra daha düşük sıcaklıkta tekrar su vermeyi kapsar. Çift su verme aynı zamanda karbürizasyon sonrası parçanın oda sıcaklığına soğutulması ve sonra 850-900 °C ' den ilk su verme ve normalize işlemine tabi tutulmasını da ifade eder.

İkinci su verme , tek su vermede olduğu gibi , doğrudan su verme sıcaklık aralığı olan 780-820 °C ' den uygulanır .

Karbürizasyon derinliği ya çeliğin yüzeyinin altında belirli bir karbon konsantrasyonuna olan mesafe veya karbonun yayınmış olduğu toplam derinlik olarak tanımlanır. Zaman ve sıcaklığın yanısıra karbürizasyon derinliğine etki eden faktörler karbürizasyon ortamının karbon potansiyeli ve çeliğin kimyasal bileşimidir. Ortamın karbon potansiyeli ne kadar yüksek ise yayınma sonrası denge haline ulaşıldığında karbürizasyon derinliği de o derece fazla olur. Sementasyon derinliğinin karbon potansiyeli ve karbürizasyon zamanına bağlı olarak değişimi *Şekil-III.1'* de gösterilmektedir.



Şekil III.1 Karbürizasyon işlemi uygulanan bir sade karbonlu çelikte karbürizasyon derinliğinin karbon potansiyeline ve karbürizasyon zamanına bağlı olarak değişimi.

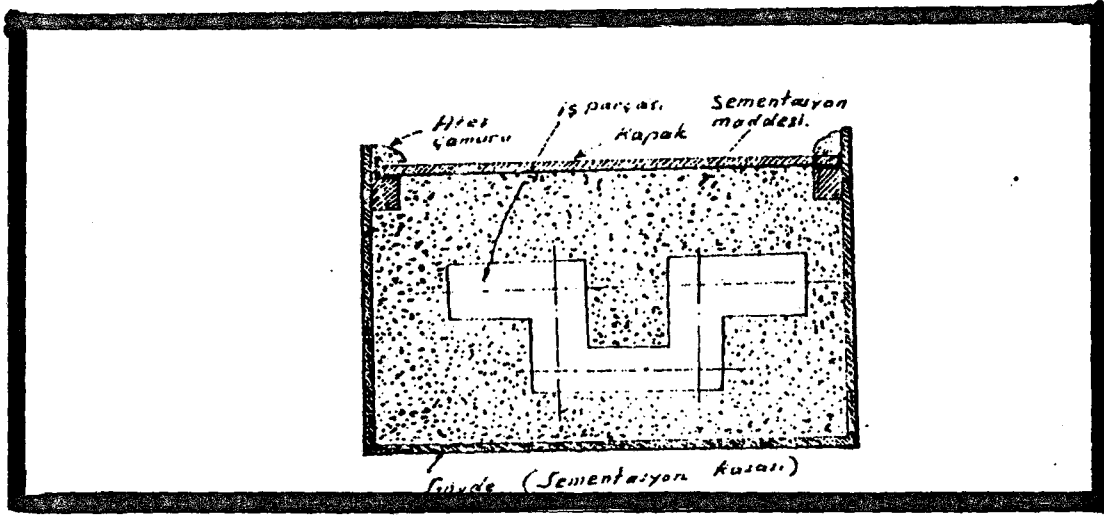
III.1. SEMENTASYON ORTAMLARI

Sementasyon katı , sıvı veya gaz halindeki gereçler içinde yapılır.

III.1.1. KATI SEMENTASYON :

Katı sementasyon , katı karbon verici maddeler kullanılarak yapılır. Karbon verici maddeler , meşe kömürü , kok ve linyit , kemik kömürü , deri , kösele , tırnak ve boynuz talaşlarıdır. Bu maddelerin daha etkili karbon verebilmeleri için Baryum karbonatla ($BaCO_3$) karıştırılmaları gerekir. Baryum karbonat sıvı halde iken bu maddeler içine atılır ve sonra kurutulurlar.

Katı sementasyon işlemi şöyle yapılır : Semente edilecek parçalar karbon verici maddelerle özel olarak hazırlanmış çelik kasalar içine konulur. Çelik parçaların etrafı en az 30 mm. kalınlığında sementasyon maddesi ile kaplanmış olmalıdır. Bundan sonra kasanın kapağı kapatılarak hava sızmamaları için refrakter bir çamurla sıvanır. Şekil III.2 bir sementasyon kasasına konularak ağzı refrakter çamur ile sıvanmış makina elemanının sementasyonunu göstermektedir.

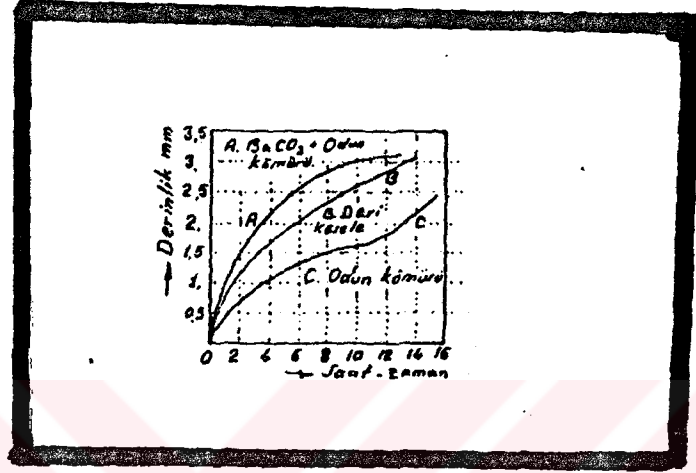


Şekil III.2 : Ağız kapatılmış bir kutuda parçanın sementasyonu

Karbon atomlarının çelik yüzeylerine girişi (difüzyonu) şöyle olur : Kasaya reaksiyon hızlandırıcı olarak sementasyon maddeleri ile karıştırılarak konulmuş olan BaCO_3 ve NaCO_3 'ın etkisi ile CO_2 ve CO oluşur. Reaksiyon süresince CO molekülleri çelik yüzeyinde absorbe olur ve iki molekül CO 'ten bir C atomunun çelik yüzeyine girmesi ile CO_2 molekülü oluşur. Sonra bu CO_2 molekülü de tekrar sementasyon maddesinden C atomu alarak CO moleküllerine dönüşür. Reaksiyon bu şekilde sementasyon tamamlanıncaya kadar devam eder.

Sementasyon kasasının fırında bekleme süresi 8-16 saattir. Bu sürede çelik yüzeyinde 1-3 mm. kalınlığında sementasyon tabakası oluşur. Tabakanın kalınlığı ve karbon yüzdesi (önceden söylendiği gibi) fırında bekleme süresine ve fırın sıcaklığına da bağlıdır.

Şekil III.3 'de 875 °C sıcaklıkta yapılan bir sementasyon işleminde sementasyon maddeleri ve zamana bağlı olarak elde edilebilecek kabuk kalınlığını göstermektedir.



Şekil III.3 : Kabuk kalınlığının sementasyon maddeleri ve zamana bağlı olarak değişimi.

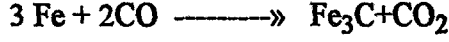
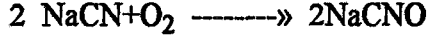
Katı sementasyonda en fazla meşe kömürü kullanılır. Meşe kömüründe çeliğe zararlı olan fosfor ve kükürt yoktur. En iyi sonuç veren karışım %60 meşe kömürü ile % 40 Baryum karbonattır. Baryum karbonat yerine aynı etkiyi yapabilen Sodyum karbonat da kullanılır. Çelikte sementasyona tabi tutmak istediğimiz yerleri su camı , asbest ile örtmek veya bakır sülfat ile kaplamak yeterlidir.

III.1.2. SIVI SEMENTASYON :

1860 yılından beri uygulanmakta olan bu yöntemde , çelik yüzeyine karbon verici sıvı maddeler , sodyum siyanür (NaCN) , potasyum siyanür (KCN) , kalsiyum siyanür { $\text{Ca}(\text{CN})_2$ } bileşiklerinden ibarettir. Sayılan bu bileşikler siyanür banyolarında kullanılmaktadır. Piyasada çeşitli siyanür bayoları kullanılmaktadır. Oranları değişmekle beraber genellikle NaCN , Na_2CO_3 , K_2CO_3 ve değişik oranlarda NaCl tuzlarından

ibarettir.

Bu yöntemde sementasyon işlemi aşağıdaki reaksiyonlara göre gaz fazında olur.



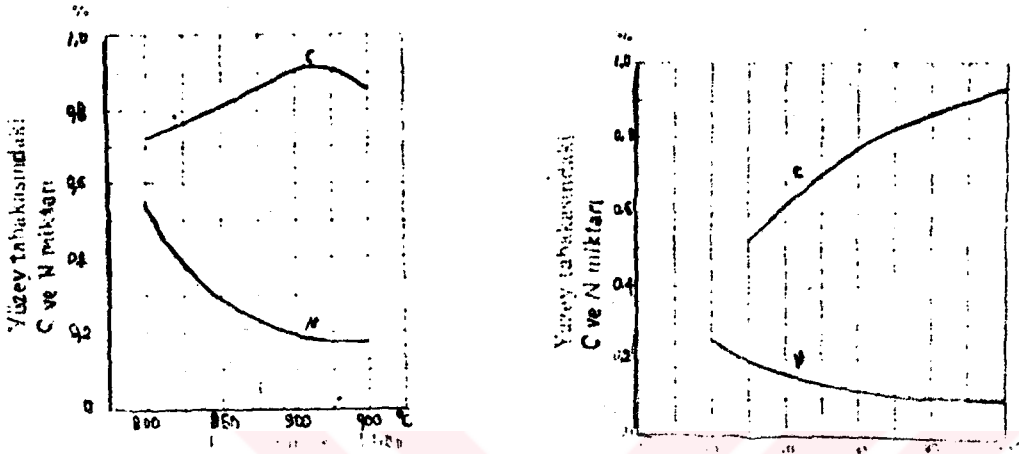
İlk reaksiyon siyanür tuzu ile havanın ara yüzeyinde , diğer iki reaksiyon ise tuz banyosu ile çelik arasında olur.

% 40-50 NaCN içeren siyanür tuzu banyoları 0,8 mm 'lik bir karbürizasyon derinliği verir. Yeni bir siyanür banyosu hazırlandığında adet olarak fırında ergitilmiş saf NaCN ile başlanır. NaCN işlemin hemen başında ayrılarak yukarıda belirtilen siyanür miktarına ulaşılmış olur.

İnce parçaların ısıl işleminde , % 20 NaCN içeren bir tuz banyosu kullanılabilir. Büyük bir banyo , eşit miktarda NaCN ile sudan arındırılmış sodyum karbonatın beraber eritilmesiyle hazırlanır.

Siyanür banyolarındaki NaCN içeriğinin günlük kontrolü yapılmalı ve gerekiyorsa yeni tuz ilavesi yapılmalıdır. NaCN miktarı , genel olarak taşınan kadar ilave edilmek suretiyle aynı miktarda tutulur.(Çelik parçalar siyanür banyosundan martemperleme banyosuna taşındığında bir miktar tuz da beraber taşınır.) Banyonun yüzeyine grafit tozu örtülerek radyasyon yoluyla ısı taşınımı ve banyodan gaz çıkışı önlenir.

Çelik tarafından çözünen karbon ve azot miktarı , başlıca banyonun sıcaklığına ve siyanür miktarına bağlıdır. *Şekil III.4* ve *Şekil III.5* 'de karbon ve azot miktarının sıcaklık ve siyanür miktarına bağlı olarak değişimi görülmektedir.

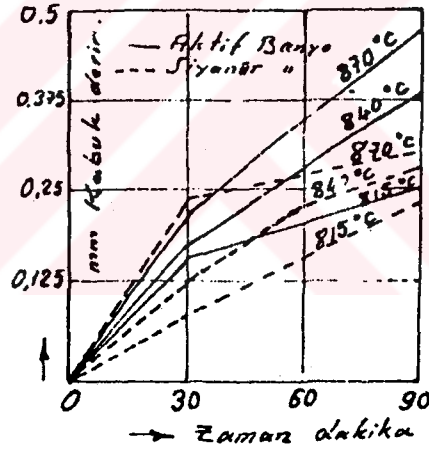
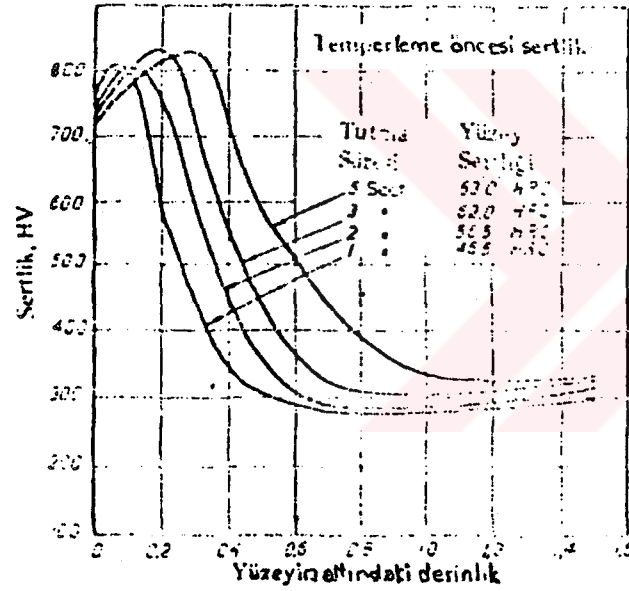


Şekil III.4 - 5 : Üzeri grafik ile örtülmüş bir sıvı karbürizasyon banyosunda 950 °C 'de 2,5 saat sement edilmiş alaşımsız bir çeliğin , NaCN içeriğinin ve sıcaklığının fonksiyonu olarak yüzeydeki karbon ve azot konsantrasyonu.

Her iki diyagram 950 °C ve % 50 NaCN 'de ortak koordinatlara sahiptirler. Tuz banyosunda sementasyon başlıca , sementasyon derinliği 0,5 mm 'den daha küçük parçaların sementasyonunda kullanılır. Kabuk derinliği ne kadar küçük ise , tuz banyosu kullanarak sağlanan tasarruf o kadar fazla olur. Çünkü ısıtma hızı katı sementasyona göre çok yüksektir. Parçalar tuz banyosuna daldırılmadan önce , 100 ila 400 °C arasında bir ön ısıtmaya tabi tutulmalıdır. Bundan amaç , kısmen parçaların nemini almak ve tuz banyosunun kapasitesini etkin bir şekilde kullanmaktır.

Parçalar siyanür banyolarında sementasyona tabi tutulduklarında , yüzeydeki karbon miktarı çok yüksek olabilir. Bu durumda parçanın karbürizasyon sonrası su verilmesinden sonra düşük sertlikte olduğu görülür. Nedeni , yapıda çok fazla kalıntı ostenit bulunmasıdır. Parçaların karbürizasyon sıcaklığından doğrudan su verilmeleri

halinde , sementasyon sıcaklığı ne en yüksek nede düşük seçilir. Orta bir sıcaklık daima iyi bir sonuç verir. Sementasyon sıcaklığının seçimine ait bir örnek Şekil 6 'da verilmektedir. Bu şekilde gösterilen BS 655 M13(En36A) çeliğe ait eğrilerden yumuşak yüzey bölgesinin kalınlığının , işlem süresiyle nasıl değiştiği görülmektedir. Sertliğin 60 HRC 'yi aşması durumunda kabuk derinliğinin 0,2-0,3 mm olacağı görülmektedir. Parçanın 180 °C 'de temperlenmesiyle yüzey sertliği azalır , ancak sertleştirilmiş yüzey derinliği büyük ölçüde aynı kalır.



Şekil III.6 : Bofors HR 33 çeliği 870 °C'de çeşitli süreler siyanürleme sonrası su verilmiş halde sertlik

Şekil III.7 Siyanür banyolarında kabuk kalınlıklarının zamana bağlı olarak değişimi.

Sodyum siyanür insan vücudu için aşırı derece zehirlidir. Bu yüzden siyanür banyosunda çalışanlar için bazı özel kurallar getirilmiş olup , işçinin bunları çok iyi bilmesi gerekir.

Sıvı sementasyonda aktif banyolarda da kullanılır. Aktif banyolar $\text{Ca}(\text{CN})_2$ banyolarıdır. Banyoda sodyum siyanür yerine kalsiyum siyanür kullanılmaktadır. Bu banyolarda reaksiyon :



Aktif bayolarda elde edilen kabuk daha az kırılgan olur. Özellikle katı sementasyonla elde edilen kabuk özelliklerine yakındır. *Şekil III.7* 'de aktif banyolarda ve siyanür banyolarında elde edilebilecek kabuk kalınlıklarının zamana bağlı olarak değişimi görülmektedir. Sementasyon banyolarının önemli bir üstünlüğü sementasyon süresini azaltmasıdır. Yaklaşık 1 mm kalınlığında bir sementasyon tabakası için sadece iki saat gereklidir. Bu usulde denge değeri çok çabuk elde edildiğinden emniyetle çalışma ve banyonun rasyonel kullanılması banyo aktivitesinin (C değerinin) daimi kontrolü ile mümkün olacaktır. İkinci bir faktör de , tuz banyolarında hızlı ve düzgün bir ısınma neticesinde gerekli sementasyon süresinin oldukça küçülmesidir. Bu yüzden çelik tavlama işlemlerinde tav banyoları olarak da tercihen kullanılmaktadır.

Ekonomik durumlar rol oynamasa , tuz banyolarında sementasyon mükemmel bir usul olarak kabul edilebilir. Çelik çok kısa sürede tavlanamakta, bütün işlem süresince bu sıcaklıkta kalmakta ve genellikle sementasyon banyosundan çıkar çıkmaz sertleştirilmektedir. Bu esnada değişik iş parçaları için değişik işlem süreleri tatbik edilebilir.

Tuz banyolarının avantajları yanında dezavantajları da vardır :

1) Kimyevi malzeme fiyatı oldukça yüksektir. İş parçasının çıkarılması esnasında bir miktar tuz yüzeylere yapışır. Bilhassa aktivat edilmiş banyolarda bu mahzur daha çoktur. Bu faktör işçinin itinasına bağlıdır.

2) Enerji sarfiyatı yüksektir. Tuz banyo fırınları elektrikle ısıtılır ve banyo içine daldırılmış elektrotlar kullanılır. Kullanma bakımından ocakların üst kısmı açıktır. Buradan büyük ısı kaybı olur.

3) İş parçasının , işlemten sonra kaynatılması ve yıkanması gerekir.

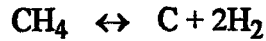
Bu ekonomik mahzurlar dolayısıyla kalın sementasyon tabakası icab ettiren iş parçalarının sementasyon işlemi için sementasyon banyoları diğer sementasyon usullerinden geride kalmaktadır. İnce sementasyon tabakalı iş parçalarının işlemi için bu usul elverişlidir. Bundan başka değişik parçaların ve küçük miktarların işlemi için ayrıca üstün bir durum arzeder.

III . 1 . 3 . GAZ SEMENTASYON :

Gaz ile sementasyon usulü de uzun zamandan beri kullanılmaktadır. Örneğin , Birinci Dünya Savaşından önce savaş gemilerinin kaplama levhaları , Krupp firması tarafından bir çok haftalar boyunca hava gazında tavlanarak semente edilmiştir. Bu usul uzun süre özel durumlarda kullanılmıştır. Ancak , sonraları arzuya uygun ve homojen değişimli gaz istihsalinin sağlanması ve işletmede muhafaza edilmesi mümkün olunca gaz ile sementasyon teknikte önem kazanmaya başladı. Gaz sementasyonu son on yıl içerisinde en popüler yüzey sertleştirme yöntemi haline gelmiştir. Kullanılan fırınlar çok güvenilir ve kullanılması çok kolaydır. İşleme hidrokarbon girdiği için aynı anda birkaç reaksiyon meydana gelir.



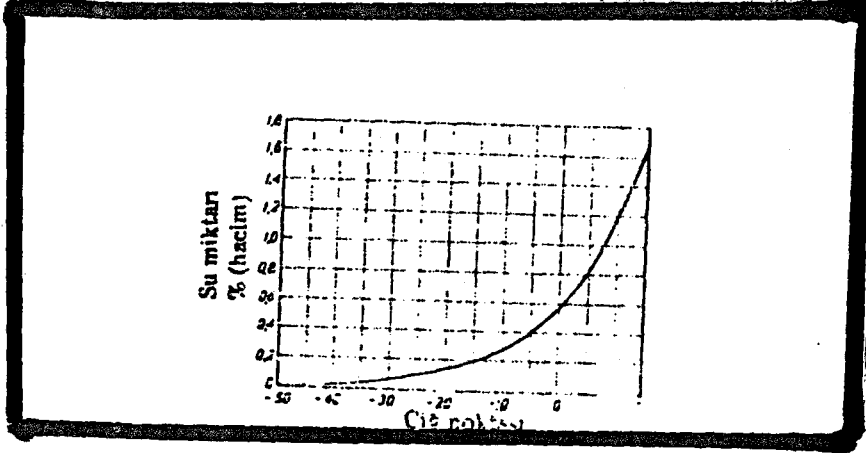
reaksiyona ek olarak aynı zamanda metanın ayrışma reaksiyonu :



ve su-gaz reaksiyonu :

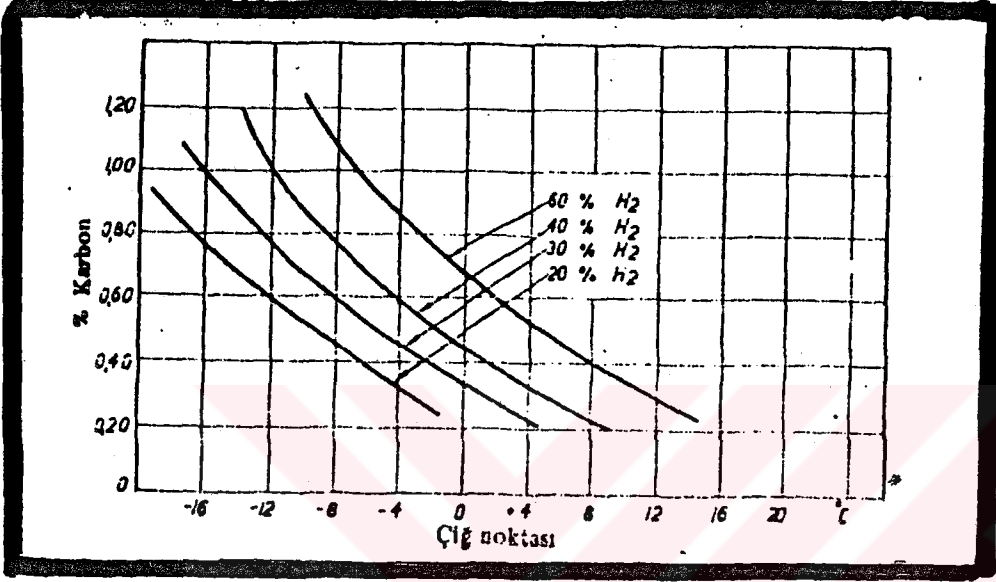


Su-gaz reaksiyonunda gösterildiği gibi , gazın nem miktarının karbon potansiyeli üzerinde büyük bir etkisi vardır. Nem miktarı , gazın çiğ noktasının tesbit edilmesiyle ölçülebilir. Çiğ noktası , su buharının yoğunlaşarak gazdan ayrıldığı sıcaklıktır. Nem miktarı ve çiğ noktası arasındaki ilişki *şekil III.8* 'de gösterilmektedir.



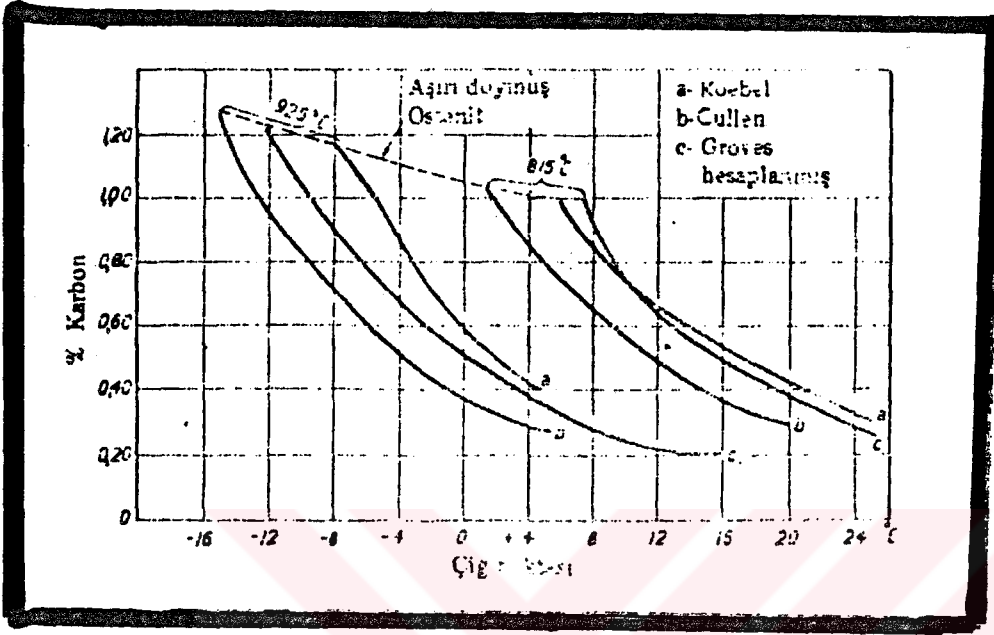
Şekil III.8 : Çiğ noktası ve nem miktarı arasındaki ilişki

F.E. Harris , karbon potansiyelinin gazın bileşiminden hesaplanabildiği bir yöntem tarif etmiştir. Aşağıdaki örnekler çiğ noktası kontrol edilerek , sıcaklık ve gaz bileşimini değiştirmek suretiyle , yüzeyde hangi karbon konsantrasyonunun elde edilebileceğini göstermektedir. (Şekil III.9) CO miktarı % 20 gibi sabit bir değerde tutulduğunda yüzeyin karbon konsantrasyonunun çiğ noktası ve 925 °C'deki % H₂ ile nasıl değiştiğini göstermektedir. Eğer %0,80 'lik bir karbon konsantrasyonu amaçlanırsa , çiğ noktası % 60 H₂ ile -3 °C veya % 20 H ile -17 °C olmalıdır.



Şekil III.9 : CO miktarı % 20 olduğundan yüzeyin karbon konsantrasyonunun çığ noktası ve 925 °C'deki % H₂ ile değişimi

Şekil III.10 , % 40 H₂ ve % 20 CO içeren bir gazın sıcaklığının ve çığ noktasının yüzeydeki karbon konsantrasyonuna etkisini göstermektedir. 815°C sıcaklığında % 0,8 C elde edebilmek için ortalama +7 °C civarında çığ noktası gerekir. Eğer sıcaklık 925 °C ise aynı karbon miktarı -6 °C civarında bir çığ noktası gerekir. Hesaplamalar saatlik sementasyondan sonra meydana gelir. Eğer bileşimi bilinen bir gaz kullanılmış ise , işlemin ilerleyişini çığ nokta tespitlerinden takip etmek mümkündür.



Şekil III. 10

Sürekli ölçümler ve karbon potansiyelini kontrol için çok sayıda yöntemler mevcuttur. Bunlardan biri , gaz içindeki CO konsantrasyonunu kaydetmek için kullanılan infrared (kızıl ötesi) ışınlarla dayalı olmalıdır. CO oranından CO miktarı ölçülür , bundan da özel ölçüm birimiyle karbon potansiyeli nümerik değer olarak hesaplanır. Kontrol , aynı zamanda farklı karbon konsantrasyonları için kalibre edilmiş bir çelik telin direncinin ölçülmesiyle de uygulanabilir. Ölçülen direnç karbon konsantrasyonuyla orantılıdır.

Gaz sementasyonu uygulandığında , ilk ihtiyaç duyulan husus hava sızdırmaz bir fırının hazır bulunmasıdır.

Prensip olarak 4 farklı gaz üretme yolu vardır :

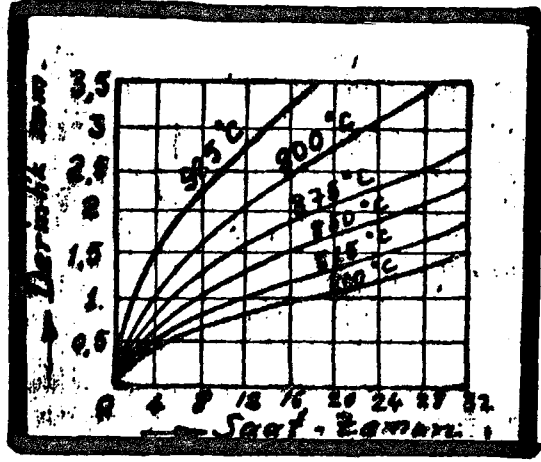
1) Sementasyon sıvısının fırının içinde damutulması : Bu sıvı genellikle etil alkol , beyaz ispirto ihtiva eder. Sıvı, fırın içinde dağılacağı ve buharlaşacağı bir plaka üzerine damlatılır. Bu yöntemle düşük karbon potansiyeli olan taşıyıcı bir gaz üretilir. Bu potansiyel , fırın içerisinde daha fazla aktif sıvı damlatarak ayarlanabilir. Pratikte sadece bir sıvı kullanılır ve karbon potansiyeli , ilave edilen sıvının hacminin ayarlanmasıyla kontrol edilir.

2) Gaz üreten bir cihazdan fırına gaz gönderilir : Gaz , ekzotermik yanma ile üretilir. Bu gaz genellikle , havaya dengeli bir şekilde karıştırılır ve gaz oluşturma ünitesinde % 0,35-0,50 karbon potansiyelli bir taşıyıcı gaz oluşturma için yakılır. Fırına girmeden önce taşıyıcı gaza % 0,8 civarında istenilen karbon potansiyelini ayarlamak amacıyla , ekstra bir propan ilavesi verilir.

3) Gaz ve havanın doğrudan girişi : Sementasyon izlemini gerçekleştirecek gaz dengeli miktarda fırına verilen hava ile gaz arasındaki reaksiyon sonucu oluşur.

4) Bir vakum fırınında sementasyon : Sadece hidrokarbonların havası alınmış fırına girmesine izin verilen bu yöntemde , oksijen herhangi bir reaksiyonda rol almadığı için , herhangi bir iç oksidasyonun oluşması söz konusu değildir. Bu proseste sıcaklık normalden daha yüksek kullanılır ve bu da sementasyon hızını artırır.

Gaz sementasyonu , civata , vida , pim ve benzeri küçük parçalara uygulanır. Bu usul uzun zaman alır , buna karşılık kabuk ince olur. Şekil 11 'de gaz sementasyonunda zaman ve sıcaklığa bağlı olarak oluşturulan kabuk kalınlığı gösterilmektedir.

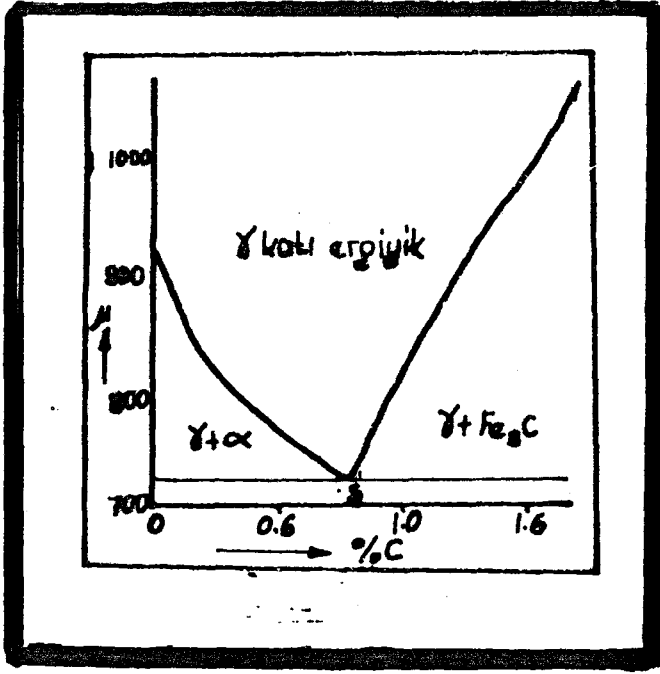


Şekil III.11 : Gaz sementasyonunda zaman ve sıcaklığa bağlı olarak kabuk kalınlığının oluşumu.

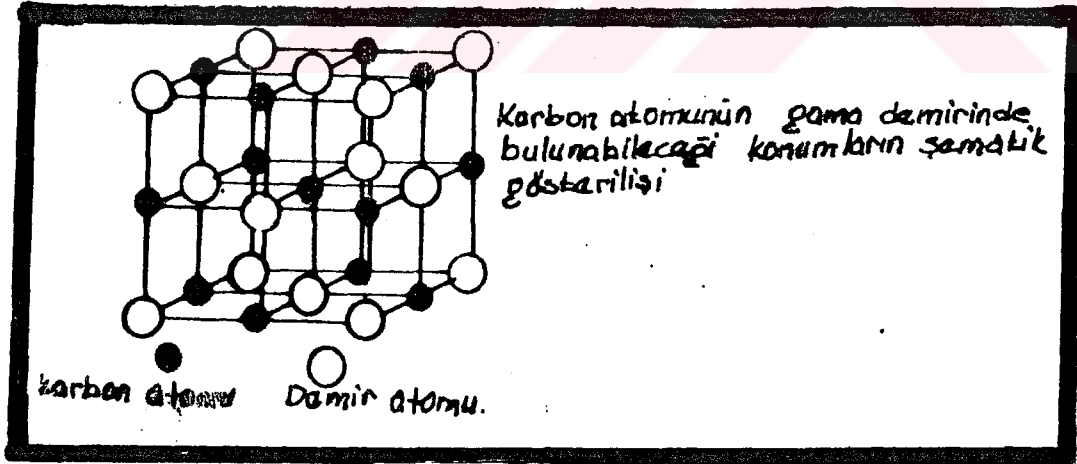
III . 2 . ORTAMLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

İmalatçı firmaların birtaraf olmaması ve pratikteki uygulamaların çok değişik olması yüzünden tam bir karara varmak mümkün olmadığından usuller arasında karşılaştırma yapmak kolay değildir. Bu yüzden duruma göre hangi usulün elverişli olduğunu iş sahibi kararlaştıracaktır. Gaz ile sementasyon için konvöyörlü tesisler oldukça yüksek bir yatırımı gerektirdiğinden ancak büyük seri imalatta ve kalın sementasyon tabakası işlemleri için elverişlidir. Böyle bir fırın daima lüzumlu ham gazın sağlanmasına ve tecrübeli personele ihtiyaç duymaktadır. İnce sementasyon tabakası için tuz bayoları en iyisi olacaktır.

Çok büyük parçaların sementasyonunda katı sementasyon usulü elverişlidir. Zira burada değişik iş parçaları söz konusudur .



Şekil IV . I



Şekil IV . II

IV. DEMİR-KARBON DENGİ DİYAGRAMI

Şekil IV.1 'de bu diyagramın sementasyonu ilgilendiren kısmı görülmektedir.

Çeliğin katılma noktası ile 910 °C arasında karbon atomları yüzey merkezleri kristal kafesinde demir atomlarının aralarındaki yerleri işgal ederler. Buna karbonun katı ergiyik hali denir. Karbon atomları tarafından işgal edilen yerlerin sayısı bileşimdeki karbon konsantrasyonu ile artar. Karbon ve demir atomlarının durumu şematik olarak *Şekil IV.2* 'de gösterilmiştir.

Demir-karbon denge diyagramında görüldüğü gibi östenitik saha aşağı doğru α demiri için GS. doyma eğrisi , sementit için SE doyma eğrisi ile sınırlanmıştır. Bu iki eğrinin kesiştiği nokta perlit noktasıdır. Bu nokta 723 °C 'de ve % 0,8 karbon miktarında bulunmaktadır.

Her iki eğri , çeliğin homojen östenit altında bulunması bakımından sementasyon sertleştirilmesi için çeliğin en az hangi sıcaklığa kadar ısıtılması gerekli olduğunu göstermektedir. Bu sıcaklığa erişilmediği takdirde % 0,8 'den düşük karbonlu çeliklerde α ve γ karışımı , % 0,8 'den yüksek karışımlarda γ ve sementit elde edilebilir.

Çeliğin sertleştirilmesinde oldukça kısa sürede bir ısıtma esnasında bütün ferritin kaybolması için GS eğrisinin geçilmesi gerekmektedir. Bu husus bilhassa östenit sahasını daraltan silisyum gibi alşım elementlerinin etkenliği için önemlidir.

Çelik , ($\alpha+\gamma$) sahasında semente edilecek ise çeliğin içindeki bütün α tanelerinin γ tanelerine dönüşmesi gerekmektedir. Çünkü α demiri çok az miktarda karbon eritebilmektedir. Bunun mahsurlu tarafı sementasyon hızının düşük ve semente edilen tabaka ile çekirdek arasında keskin bir sınırı oluşumu yönündedir. Bariz bir sementasyon tabakasının meydana gelmesine sebep , işlem esnasında tam östenit sahasına erişilmemiş olmasıdır. Sementasyonda mümkün olduğu kadar perlit değişiminin % 0,8 karbonu aşmasından kaçınılmalıdır. Bir tarafta en yüksek sertlik sayısına yaklaşık %0,7 ile % 0,8 karbon miktarında erişilirken, diğer tarafta γ katı ergiyik tanelerinin karbon miktarı arttıkça sertlik azalmaktadır. Bu husus çok kere dönüşme yapamayan östenite atfedilmektedir.

Karbon miktarı % 0,8 aşınca çeliğin içinde karbon sementit halinde bulunacaktır. Bu açıdan bakıldığında sementitin dağılışı büyük bir önem gösterir. Sementit taneli halde bulunacak olursa zararsızdır. Sementasyon çeliklerinde bu şekilde sementitin elde edilmesi ekonomik olarak tatbik edilebilecek bir ısıtma işlemi imkansız hale gelmektedir. Genellikle sementit tane sınırlarında yerleşir ve çeliğin sünekliğini şiddete düşürür.

V. TERMODİNAMİK İNCELEME

Kimyasal termodinamik , karbonun sementasyon gerecinden çeliğe geçebilmesi için , sementasyon gerecindeki karbon aktivitesinin $a_k(c)$, demirin karbon aktivitesinden $a(c)$ büyük olması gerektiğini göstermektedir. Öyleyse sementasyon olayı , sementasyon gerecindeki ve çelikteki karbon aktivitesinin birbirine eşit olması halinde sona erecektir. Bu doyma hali şöyle ifade edilebilir :

$$a_k(c) = a(c)$$

a : Aktivite

k : Sementasyon gereci

c : Karbon

İki sementasyon gazı için karbonun aktivitesi kolayca hesaplanabilir. Karbonmonoksit-Karbondioksit karışımındaki sementasyon reaksiyonu :



Bu reaksiyonla karbonun aktivitesi bulunabilir.

Östenitte karbonun aktivitesini , karbonun atom yüzdesi ve sıcaklığa bağlı olarak şöyle ifade edebiliriz . Östenitte eriyen karbon , eriten demir olduğuna göre karbonun aktivitesi Henry kanunu gereğince şöyle yazılabilir :

$$a_i = X_i \cdot \gamma_i$$

$$\text{Log } \gamma_i = (1 - X_i)^2 + 1$$

$$\gamma_i = \text{Aktivite katsayısı}$$

$$X_i = \text{Karbonun atom yüzdesi}$$

$$I = \text{Standart şartlarda faktör}$$

$$\alpha = 4350 / T (1 - 0,0004 (T - 1770))$$

$$I = -\alpha (1 - X_i) - \text{Log} X_i - 5$$

$$X_i = 0,0462 - 8,785 \cdot 10^{-5} \cdot T$$

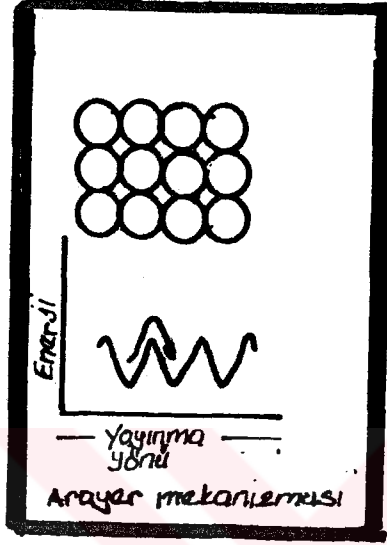
denklemleri ile karbonun aktiviteleri bulunabilir.

Karbonun aktivitesi aşağıdaki denklem ile hesap edildiğinde de esas aktiviteye oldukça yakın değerler verir. Bu denklem :

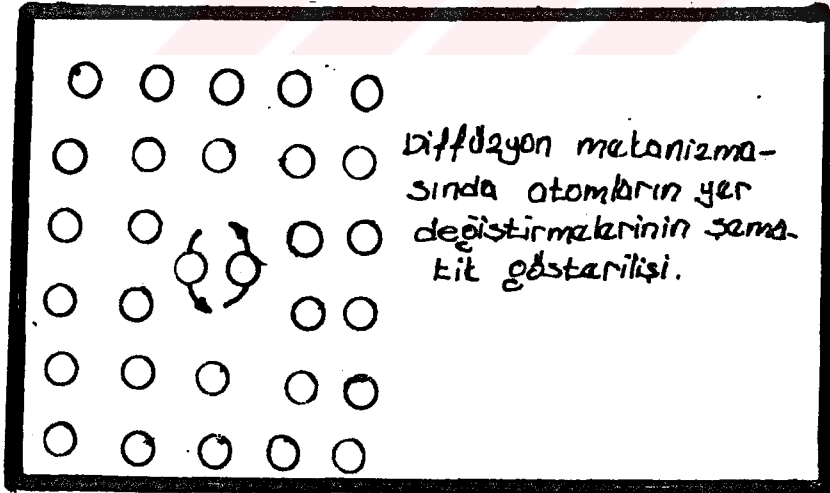
$$a(c) = (c / 1 - 6c) \gamma \cdot (c / 1 - 6c) \gamma c \quad \text{şeklindedir .}$$

Gazlarda aktivite değerleri belirli bir hassasiyetle derişmelerden hesaplanabildiği halde , tuz banyolarında ölçülmesi gerekir. Bunun için yaklaşık olarak 0,05 mm kalınlığında saf demir folyalar kullanılır. Bu folyalar banyo içine daldırılır ve arkasından karbon miktarı tayin edilir. Endüstride,karbon aktivitesi yerine işlem sonunda folyanın aldığı karbon miktarı bildirilir. Yüzde ağırlık olarak bildirilen bu karbon miktarı sementasyon gerecinin karbon değeri olarak kabul edilir.

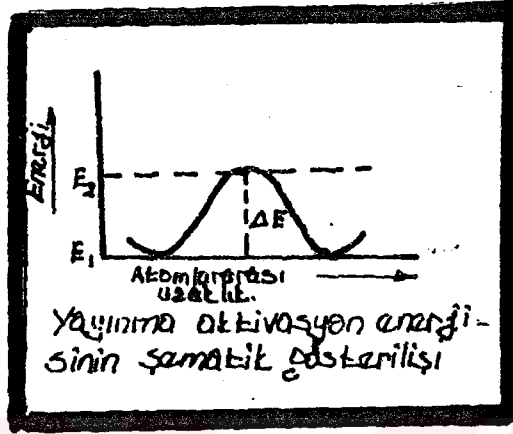
Sementasyon işleminde , östenitdeki karbon aktivitesinin bilinmesi şu yönden gereklidir : İşlemden karbon verici gazın parçalanmasıyla meydana gelen denge durumunun , gaz bileşenleri vasıtasıyla tayin edilebilmesidir.



Şekil V.1. Aray mekanizması

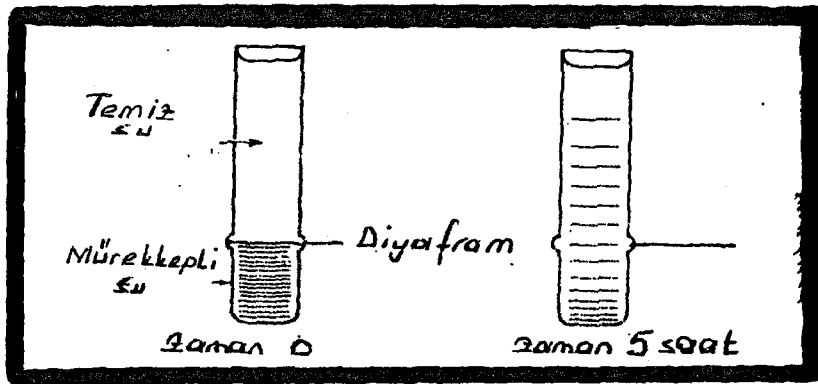


Şekil V.2. Diffüzyon mekanizmasında atomların yer değiştirmelerinin şematik gösterilişi



Şekil V.3. Yayınma aktivasyon enerjisinin şematik gösterilişi

VI. DİFFÜZYON



Şekil VI.1. Suda mürekkebin difüzyonu

Şekil VI.1 'deki basit devreyi düşünelim. Bir cam tüpte ince bir diyafram ile ayrılan , mürekkepli saf suyu ele alalım. Suyu hareketlendirmeden diyaframı çekelim. Mürekkepin rengi , yavaş yavaş yukarı doğru yayılır ve 5 saat sonra tüpteki bütün su mürekkepli olur. Su durgun kaldığına göre bu olayın molekül göçünüm neticesi olduğu anlaşılır. Bu kitle hareketine diffüzyon denir. Gaz ve sıvılarda kitle hareketi , umimiyetle konveksiyon ve diffüzyon kombinasyonu ile olur. Katı cisimlerde konveksiyon olmaz. Kitle hareketi umumiyetle diffüzyon neticesi ile olur.

Genellikle diffüzyonu , iki yoldan ele alabiliriz :

1) Doğal Yaklaşım :

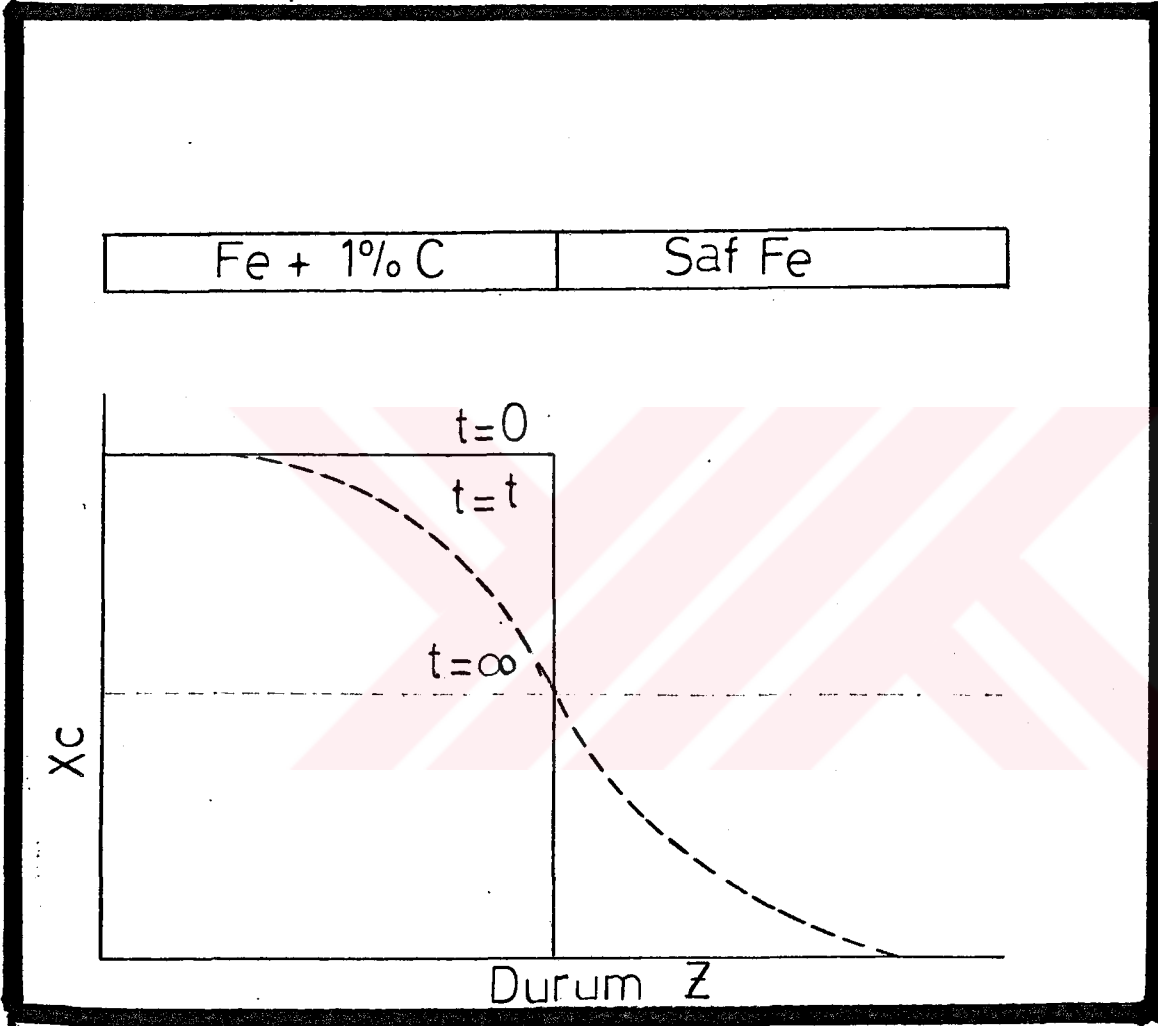
Ölçebileceğimiz parameterler ile kitle hareketinin derecesi ve miktarını nasıl izah edebiliriz? Karbürleme , nitürleme , temperleme , homojenleştirme ve ona benzer proseslerin kontrol kabiliyetimize olan yaklaşım ehemmiyetlidir.

2) Atomsal Yaklaşım :

Burada atomun hareketinde atomsal mekanizma nedir diye kendimize sorarız. Diffüzyon mekanizmasının çökeltme sertleşmesi gibi paraseslerde ne gibi tesiri vardır.

VI. 1. DOĞAL YAKLAŞIM

% 1 Karbon ihtiva eden çelik çubuk , saf demir bir çubuk ile 700°C 'ye kadar ısıtılır. Bu sıcaklıkta bir müddet bırakıldıktan sonra bu diffüzyon iklisi odanın sıcaklık derecesine soğutulur ve çubukta karbon oluşumu kimyasal usulle araştırılır. Karbon birleşim profili **Şekil VI.2** 'teki çizgili eğri ($t = t$ ile gösterilen) şeklinde görülebilir. Bu birleşim uzun bir zaman sonra paralel bir şekil alır. Asıl problemimiz , karbon atomlarının sağa hareketinin derecesini izah etmektir. Bu diffüzyon problemi Adolf Fick tarafından 1855 'te keşfettiği yazıda mütalea edilmiştir.



Şekil VI.2. Zaman ve duruma bağlı olarak difüzyon çiftinin birleşimle değişimi.

Atomların akımı , gradient konsantrasyonun hacmi ile orantılıdır. Öyle ki , bunu aşağıdaki denklem ile gösterebiliriz :

$$6.1 \quad J_1 = -D_1 (dC_1 / dZ)$$

Bu denkleme de Fick 'in ilk diffüzyon kanunu denir. Burada :

J_1 = Madde 1 'de atomların akımını gösterir. Birimi g/cm²-saniye veya atomlar / cm² - saniye 'dir.

D_1 = Orantı sabitidir ve diffüzyon katsayısı denir. Birimi cm²/saniye

C_1 = Madde 1 'in hacim yoğunluğunu gösterir ve birimi g/cm³ veya atomlar / cm³ 'dür.

Bir kimyager hacim konsantrasyonu yerine umumiyetle karbon ağırlığının yüzdesini ölçer , ki fraksiyonel konsantrasyondur ve ona Y denir. Bu iki konsantrasyon arasındaki ilgi $C_1 = Y_1$ (yoğunluk) . Burada yoğunluk , kitle yoğunluğu veya atom yoğunluğu kullanılan hacim konsantrasyonuna bağlıdır.

(-) = Eksi işareti gereklidir , çünkü atomlar daha alçak yoğunluğa akar.

Bu izahlardan anlaşılıyor ki bir metalde madde konsantrasyonu varsa, diffüzyon akımı olacaktır. Umumiyetle bu olmaktadır , fakat bazen olmayabilir de . Şimdi problemimiz D 'yi nasıl tayin edeceğimiz. *Şekil VI.2* 'te görüldüğü gibi doğrudan J_1 ve D_1 ölçemeyiz. Muhtelif zamanlardan sonra karışımın profilini ölçebiliriz ki Z ve t 'nin fonksiyonu olarak ölçülür. Denklem 6.1 'deki gradyant konsantrasyonu zaman ve pozisyonla değişir. Aynı zamanda değişir. Onun için bu diffüzyon prosesi için diferansiyel denklemi düşünmemiz gerekir. Elementin üzerindeki karbon yer değişimi için bunları yazabiliriz.

$$6.2 \quad \text{Kütle (içeride)} - \text{Kütle (dışında)} = \text{Akumulasyon}$$

$$6.3 \quad \text{Oran (içeride)} - \text{Oran (dışında)} = \text{Oran akumulasyonu}$$

$$6.4 \quad \text{Kitle (içeride) Oranı} = (JA)_1$$

dZ diferansiyel uzunluk olduğuna göre elementin hacminden , oranda ?????? ?????? değişikliği elementin hacmine toplamakla elde ederiz.

$$6.5 \quad \text{Kitle (out) Oranı} = (JA)_1 + [\partial (JA) / \partial Z] dZ$$

Akumulasyon oranı hacim konsantrasyonu terimi bu şekilde

$$6.6 \quad \text{Akumulasyon Oranı} = \partial [CA \cdot dZ] / \partial t = A dZ [\partial C / \partial t]$$

6.3 denkleminde faydalananak 6.4 , 6.5 ve 6.6 denklemlerinin yerine 6.7 denklemini koyabiliriz.

$$6.7 \quad \partial J / \partial t = \partial C / \partial t$$

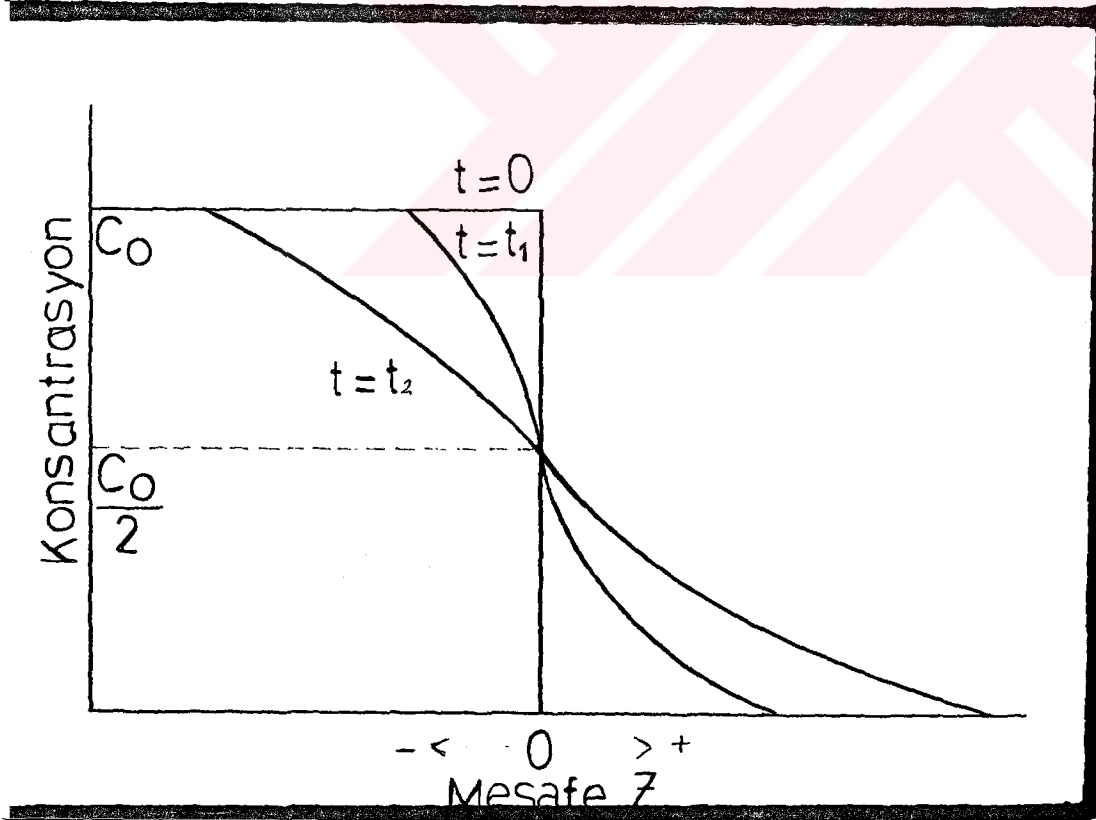
Burada Z yönüne alan A sabit olarak kabul ederiz. Buna devamlılık denklemi denir ve çok önemlidir. Buradaki işlemde taşınma bir tek yöne doğrudur.

Genel üçlü yöndeki olayda derivasyon buna benzer ve 6.7 'deki $\partial/\partial Z$ yerine ikame ederiz. Elementin içine geçen ısı , nötron , elektron v.s. gibi şeyler için bu denklem geçer.

İşlenmemiş kütleli diffüzyondur ve tek yön diffüzyon için 6.1. denkleminin yerine

$$6.8 \quad \partial [D_1 \partial C_1 / \partial Z] / \partial Z = \partial C_1 / \partial t$$

Bu denkleme bazan Fick 'in ikinci kanunu da deniyor. (C_1) bağımlı değişken ve (Z) ile (t) bağımsız değişkenli bir kısmi diferansiyel denklemdir. Dolayısıyla bu denklemin çözümleri (C_1) 'yi (Z), (t) ve (D_1) Z'nin bir fonksiyonu olduğunu verir. Mademki deneysel datamız $C_1 = (Z,t)$ fonksiyonu verir, *Şekil VI.2* 'de görüldüğü gibi bu datayı 6.8 ' in matematiksel çözümü için kullanarak D_1 bulunabilir. Bu tekniği göstermek için bir tecrübe takdim edelim. Daha evvelce bahsedilen Fe - C tecrübesini ele alalım ve bileşim profillerini *Şekil VI.3* 'da tekrar çizelim. Hacim konsantrasyonu C 'nin muhtelif zamanlarındaki uzaklığa bağlı çizilir. D 'yi ise sabit olarak kabul edelim ki 6.8 denklem düz , kısım diferansiyel eşitlik olur.



Şekil VI.3. Demir -çelik difüzyon çiftinde birleşim profilleri.

$$6.9 \quad D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial Z^2} \right) = \frac{\partial C}{\partial t}$$

Laplace transformasyonu ile bu problemi de kolayca çözebiliriz.

Farz edelim :

1) Her zaman $t > 0$, iki cisim arasındaki yüzeydeki konsantrasyon, $Z=0$, C %2 'de kalır. Bu teori ister ki atomların hızı konsantrasyona bağlı olmasın ki soldaki eksilme , sağdaki fazlalıkla simetrik olsun.

2) Çubuk oldukça uzun olmalı ki ucundaki konsantrasyonlar diffüzyon prosesinden müteessir olmasın.

Pproblemi çözmek için çubuğun $Z > 0$ olan parçasını ele alırsak aşağıdakini yazabiliriz :

6 . 10	Sınır durumları	$C (Z = 0 , t) = C_0 / 2$
		$C (Z = \infty , t) = 0$
	başlangıç durumları	$C (Z , t) = 0$

t bağımsız değişken olarak gösterilmiştir.

6.1 denklemine Laplace dönüşümünü tatbik edrsek farklı denklem elde ederek sınır durumları kolaylıkla çözeriz.

Netice olarak :

$$6.11 \quad C (Z , s) = C_0 / 2 \left[1/s e^{-Z \sqrt{s/D}} \right]$$

Bu ters dönüşümlü olarak 6.10 'un tesiri altındadır. 6.9 denkleminin çözümü şöyle olur :

$$6.12 \quad C(Z, t) = C_0/2 \left[1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{Z/2\sqrt{Dt}} e^{-y^2} dy \right]$$

e^{-y^2} hızla birden sıfıra azalacağına göre bu denklem ilk görüldüğü gibi karışık görülmez. Kısmi fonksiyona hata fonksiyonu denir ki

$$6.13 \quad \beta \text{ hata fonksiyonu} = \text{Erf}[\beta] = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^\beta e^{-y^2} dy$$

ve netice olarak çözümü şöyle yazabiliriz :

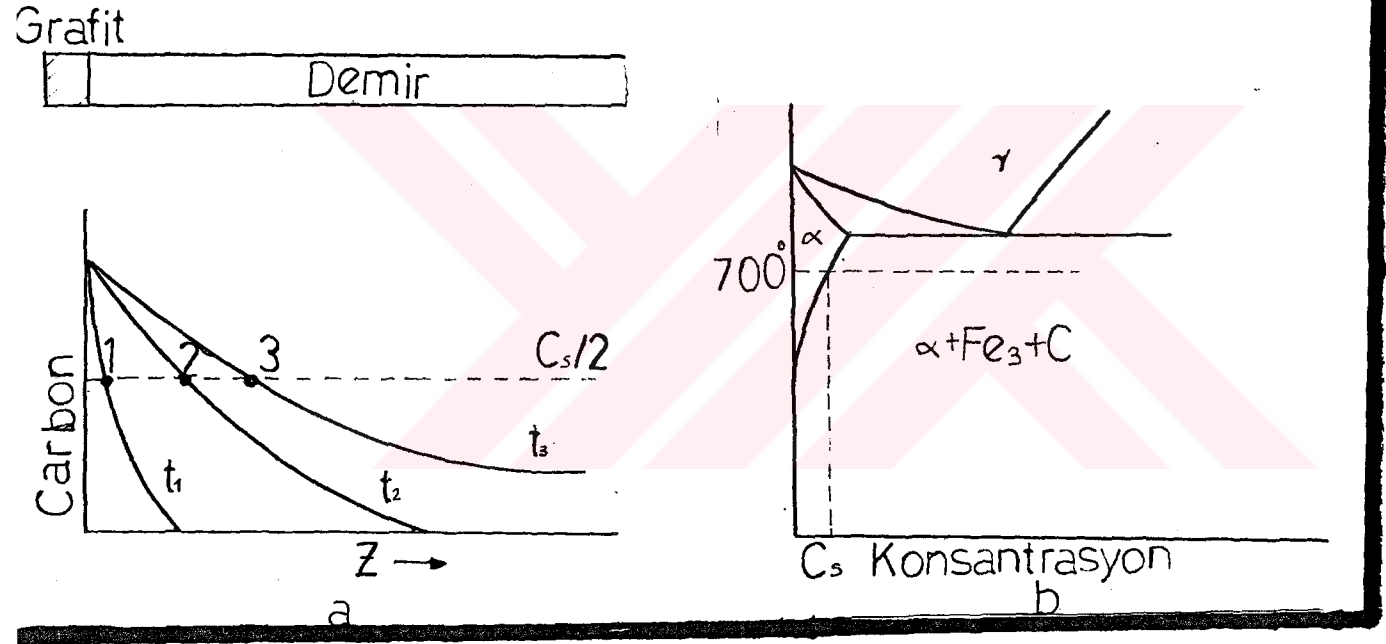
$$6.14 \quad C(Z, t) = C_0/2 [1 - \text{erf } Z/2\sqrt{Dt}]$$

Hata dereceleri (fonksiyonu) 2. çizgide gösterilmektedir ve böylece 6.14 gibi bir denklemin çözümü sinüs, kosinüslü bir denklemin çözümü kadar kolay olmaktadır. Birinci teoride $Z = 0$ hakkında simetri istenmiyor dolayısıyla $Z < 0$ gözden geçirilip $C(Z, t) = C_0 - [1 + \text{erf } Z/2\sqrt{Dt}] C_0/2$ olarak basitleştirildiğinde 6.14 denkleminde denk çıkar. (erf işaretinin önündeki (+) , burada gerekli çünkü $\text{erf}(-\beta) = -\text{erf}(\beta)$ ve $Z < 0$ için β negatiftir) 6.14 denkleminde Grube çözümü denir. Çözümümüzde çubuğun sağ tarafındaki karbon bileşiminin sıfır ile özdeş olduğunu kabul ettik. Bu bileşimde C_0 'dan C_1 'e sınırlı bir değer alınır Grube çözümü :

$$6.15 \quad C(Z, t) = C_1 + (C_0 - C_1)/2 [1 - \text{erf } Z/2\sqrt{Dt}] \text{ olur.}$$

VI. 1. 1. KARBÜRİZASYON :

Çeliğin karbürizasyon metalurjisinde belki de en önemli tatbikatı difüzyon kaideleri teşkil eder. *Şekil VI.4* 'de görüldüğü gibi bir saf demir çubuğun bir ucu grafitte batırılmış ve 700 °C 'ye ısıtılmıştır. Birkaç dakika sonra grafit ile demirin temas yüzeylerinde bölgesel bir denge teşekkül eder. Temas eden yüzeylerin birleşimleri Fe - C denge diyagramında 700 °C 'de verilmiştir. *Şekil VI.4 (B)* de 700 derecede α - Fe karbür fazı ile dengededir. Buna sementit [Fe_3C] denir. Bölgesel dengeyi ortaya çıkarmak için grafitte bir katalizör ilave edilir veya gaz atmosferi kullanılır. Bölgesel denge neticesi devir yüzeyinde bir karbür tabakası teşekkül eder ve bu safhada karbon bileşimi denge diyagramında Cs olarak tayin edilir.



Şekil VI.4 (A) Sementasyon işlemine tabi (B) Fe-C denge diyagramının tutulan birleşim profilleri. perlit kısmı.

Fiziksel olarak demir çubuğun sol yüzeyinde birleşim sıfır zamanda C_s değerine yükselir ve orada kalır. Bunun neticesi demir çubuğun sol ucunda büyük bir karbon bileşimi teşekkül eder ki karbon demir çubuğun içine yüksek miktarda yayılır ve muhtelif zamanlarda **şekil VI.4(a)**'da görüldüğü gibi birleşim profilleri teşekkül eder. Bu birleşim profilleri göstermesi için Fick'in ikinci kanununun sınır durumlarını çözeriz. Bunları aşağıdaki şekilde yazabiliriz.

6 . 16	Sınır durumları	$C(Z = 0, t) = C_s$
		$C(Z = \infty, t) = 0$
	İlk durum	$C(Z, 0) = 0$

700 °C 'deki tavlamada sağ tarafta karbon yayılması olmaz. Elde edilecek olan denklem 6 .10 daki gibi olup $C_0/2$ ' nin yerine C_s almakta ve aşağıdaki gibi yazılmaktadır.

$$6 . 17 \quad C(Z, t) = C_s [1 - \text{erf} \times Z / 2Dt^{1/2}] \text{ olur.}$$

Yukarıdaki denklem karbon ihtiva etmeyen çubuk içindir. Şayet çubuk C_1 ' den az karbon ihtiva ediyorsa kullanacağımız denklem ;

$$6 . 18 \quad C(Z, t) = C_s [1 - (1 - C_1 / C_s) \times \text{erf} \times Z / 2 Dt^{1/2}] \text{ olur.}$$

C_c değerinden daha fazla olan karbon konsantrasyonunu durum derinliği diye kabul edelim . Farz edelim ki $C_c = C_s / 2$ çubukta muayyen bir zamanda ne kadar ilerler ? Çubuğun karbon ihtiva etmediğini göz önünde tutarsak 6.17 denklemini aşağıdaki gibi yazalım.

$$6 . 19 \quad C_s / 2 = C_s [1 - \text{erf} (Z_{0.5} / 2Dt^{1/2})]$$

$C_c = 0.5 C_s$ 'nin durum derinliği $Z_{0.5}$ olarak tekrar düzeltirsek ,

$$6 . 20 \quad Y_2 = \text{erf} (Z_{0.5} / 2Dt^{1/2}) \text{ olur.}$$

Z tablosundan $\text{erf } 0.477 = 0.5$ olarak buluruz. ve

$$6.21 \quad Z_{0.5} = 0.954Dt^{1/2} \text{ olur.}$$

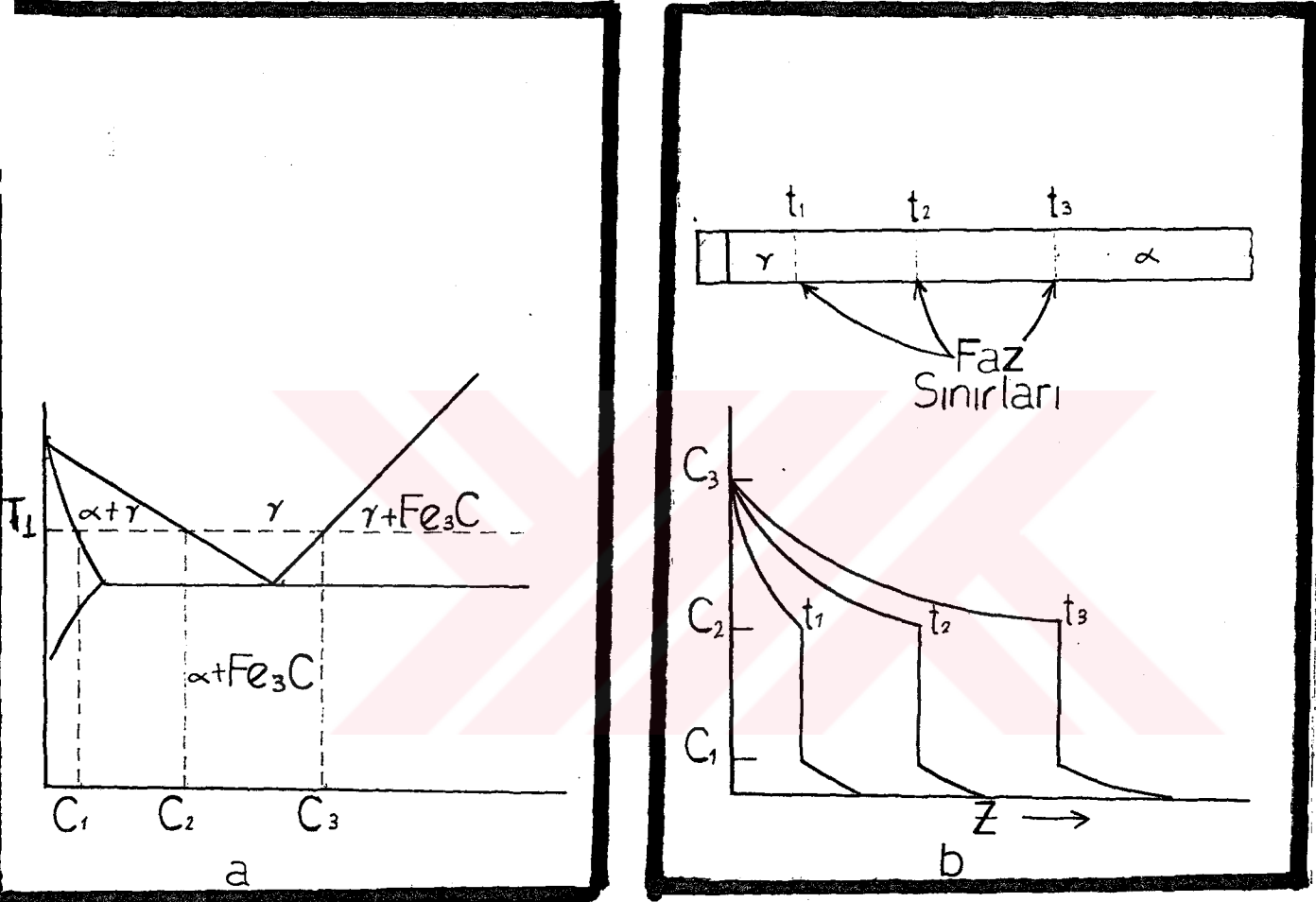
$C_c = 0.25 C_s$ alındığında

$$6 . 22 \quad Z_c = \text{sabit } Dt^{1/2} \text{ yazılabilir.}$$

Bu çok önemli bir neticedir. Bize durum derinliğindeki kalınlığın $Dt^{1/2}$ ile orantılı olduğunu gösterir.

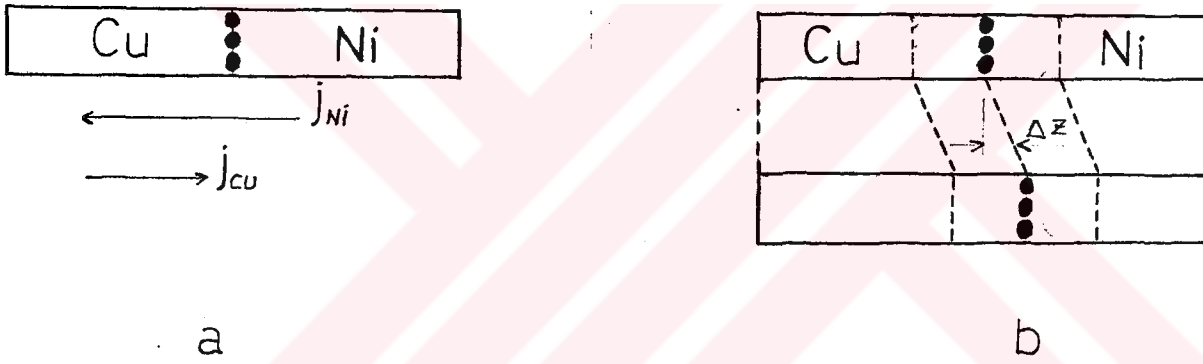
Şekil VI.5 'deki demir çubuğu *şekil VI.6 (a)* 'da görüldüğü gibi ötektik sıcaklık üzerine ısıtılırsa çubuk tetkik edildiğinde enteresan bir durumla karşılaşılır. Difüzyon ilerledikçe keskin bir sınır fazın çubuğun içerisinde hareket ettiği görülür. Grafit ile demirin temas ettiği yüzeydeki orantı çubuğun sol ucundaki bölgesel bileşimi C_3 te tespit eder.

T_1 sıcaklıkta C_3 ile C_2 arasındaki karbon içeriğinde demir . gama demir ve $C < C_1$ de demir alfa - Fe olur. Karbon miktarı yüzeyde C_3 tespit edilmiş ve demir - grafit yüzeyinde gama demiri ve $C < C_1$ olduğu hallerde yüzeyde alfa demiri elde edilir. Faz diyagramında dikkat ederseniz T_1 sıcaklıkta C_1 ve C_2 arasında birleşimli demir elde etmek kabul değildir. Alfa demirinin alabileceği karbon miktarının maksimumu C_1 dir ve gama demirinin alabileceği minimum miktar C_2 dir. Şayet çubukta gama demir ($C = C_2$) ve alfa demir ($C = C_1$) karışımı varsa C_1 ve C_2 arasında vasati bir birleşim olabilir. Birleşim ile mesafenin arasındaki alakayı gösteren *şekil VI.6 (b)*de görüldüğü gibi iki fazlı karışım olacağına göre ancak C_1 ile C_2 arasında birleşim elde edilir. Halbuki iki fazlı bölgeler difüzyon çiftleri arasında asla teşekkül etmez. Dolayısıyla difüzyon çiftleri arasında her zaman keskin sınır vardır. Bu *şekil VI.7* de gösterilmiştir. Zira deneme sıcaklıkta iki yüzey birbirleri ile dengededir. Faz sınırı çubuğun üzerinde hareket eder ve Fick'in ikinci denklemi ile hareket derecesi tayin edilecektir.



Şekil VI.5 (A) Fe-C denge diyagramının perlit kısmı.

(B) Ötektoid sıcaklık üzerinde sementasyon işlerine tabi tutulan demirin birleşim profilleri.



(A)

(B)

Şekil VI.6 Kindendall yer değişimi.

VI.1.2 YER ALAN DİFÜZYON

Şekil VI.2 ve **VI.4**da karbonun demire difüzyonunu gözden geçirdik. Bu örneklerde demir atomların difüzyon hareketinden bahsetmedik, çünkü bu hareket karbon atomlarına nazaran önemsizdir.

*Şekil VI.6(a)*da olduğu gibi bakır - nikel ikilisini kullansaydık bu atomlar aşağı yukarı aynı büyüklükte ve birbirlerine rahatça karışırlar. Netice olarak bakır sağa ve nikel sola doğru yayılacağını düşünelim. Nikel atomlarının sola doğru difüze hızı bakır atomlarının sağa difüze hızından daha fazla olursa sağdan sola doğru net bir atom nakli elde ederiz (Ni - Cu atomlarını ayırmak için Mo veya Ta teli araya koyarak işlemi yapıyoruz). Sola gelen ekstra atomlar tel kafesin sola yayılmasına sebep olur ve sağdaki atomların kaymalarından dolayı kafes büzülür. Netice olarak difüzyon, atomları sağdan sola aktardığı için *şekil VI.6(b)*de görüldüğü gibi çubuğun ortası sağa meyil eder. Bahsedilen harekete Kirkendall İşlevi denir. Bu meylin olması bütün kristal kafeslerin difüzyon esnesinde hareket ettiğini gösterir. Hacim hareketi sıvılardaki konvektif harekete benzer ve difüzyon parçasının analizinde bunu göz önünde tutmalıyız. Böyle bir analiz ilk defa alaşımlarda 1948'de Darken tarafından yapılmıştır.

$$V_B \text{ (kafesin hacim hızı)} = \text{işaretin hızı} = V_M$$

$$V_D \text{ (difüzyon hızı)} = \text{işarete nazaran atomların hızı}$$

$$\text{Bu işaretlerle } V_{\text{toplamlam}} = V_B + V_D = V_M + V_D$$

Santimetrekareye düşen atomların hareket hızı (i) , hacim konsantrasyonu C_i ve hızlarını V ile gösterirsek ; akımı $x C_i V$ olarak yazılabilir . Atomların akımı (1) olursa , denklem $C_1 [V_M + (V_D)_1]$ olur. $C_1 (V_D)_1$ difüzyona iştirak eden atomlardır ve böylece sonuç olarak $- D_1 dC_1 / dZ$ yazabiliriz.

İki birleşen için aşağıdaki denklemi ortaya atabiliriz.

$$\begin{aligned} 6.23 \quad (J_1)_T &= C_1 V_M - D_1 dC_1 / dZ \\ (J_2)_T &= C_2 V_M - D_2 dC_2 / dZ \\ (J_1)_T &= (J_2)_T \quad (\text{cm}^3 \text{ e düşen atomlar sabit}) \end{aligned}$$

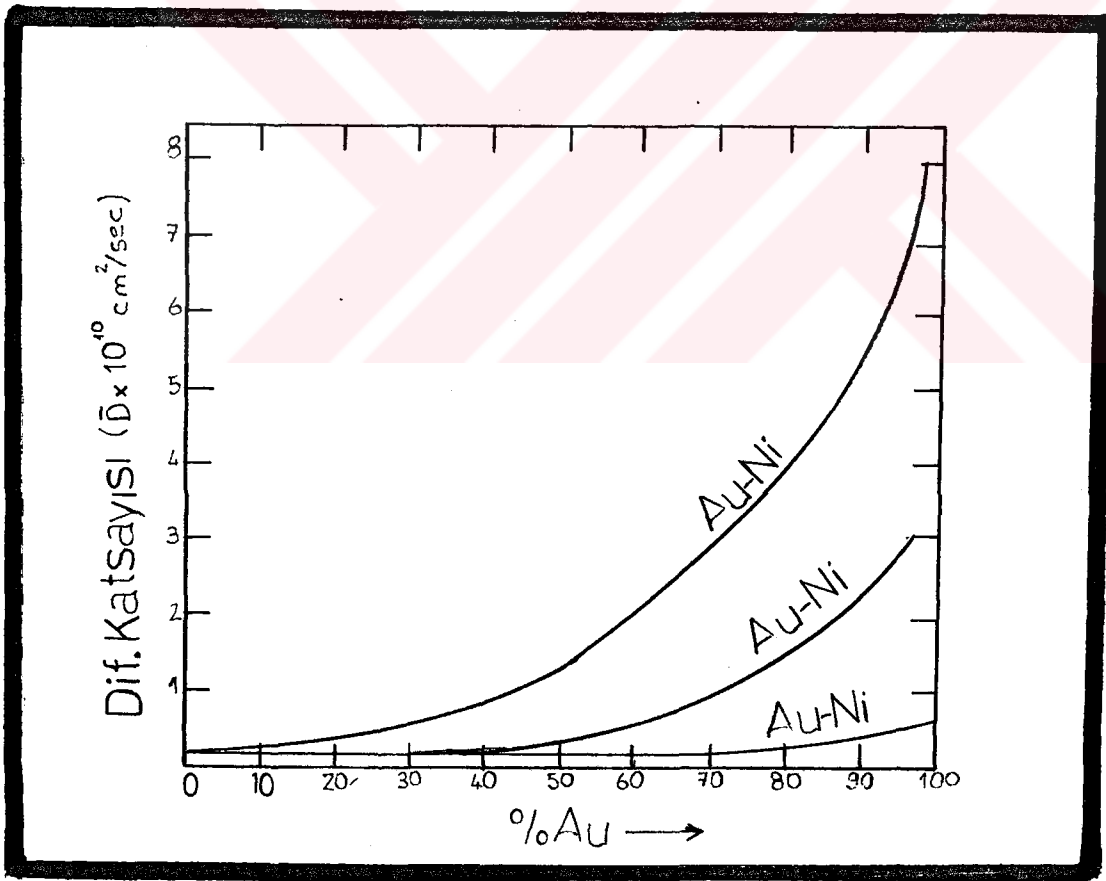
$$\begin{aligned} 6.24 \quad V_M &= (D_1 - D_2) dX_1 / dZ \quad \text{elde ederiz} \\ X_1 &: \text{atom fraksiyonu} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 6.25 \quad (J_1)_T &= - (D_1 X_2 + D_2 X_1) dC_1 / dZ = - D dC_1 / dZ \\ (J_2)_T &= - (D_1 X_2 + D_2 X_1) dC_2 / dZ = - D dC_2 / dZ \end{aligned}$$

D: karşılıklı difüzyon katsayısı

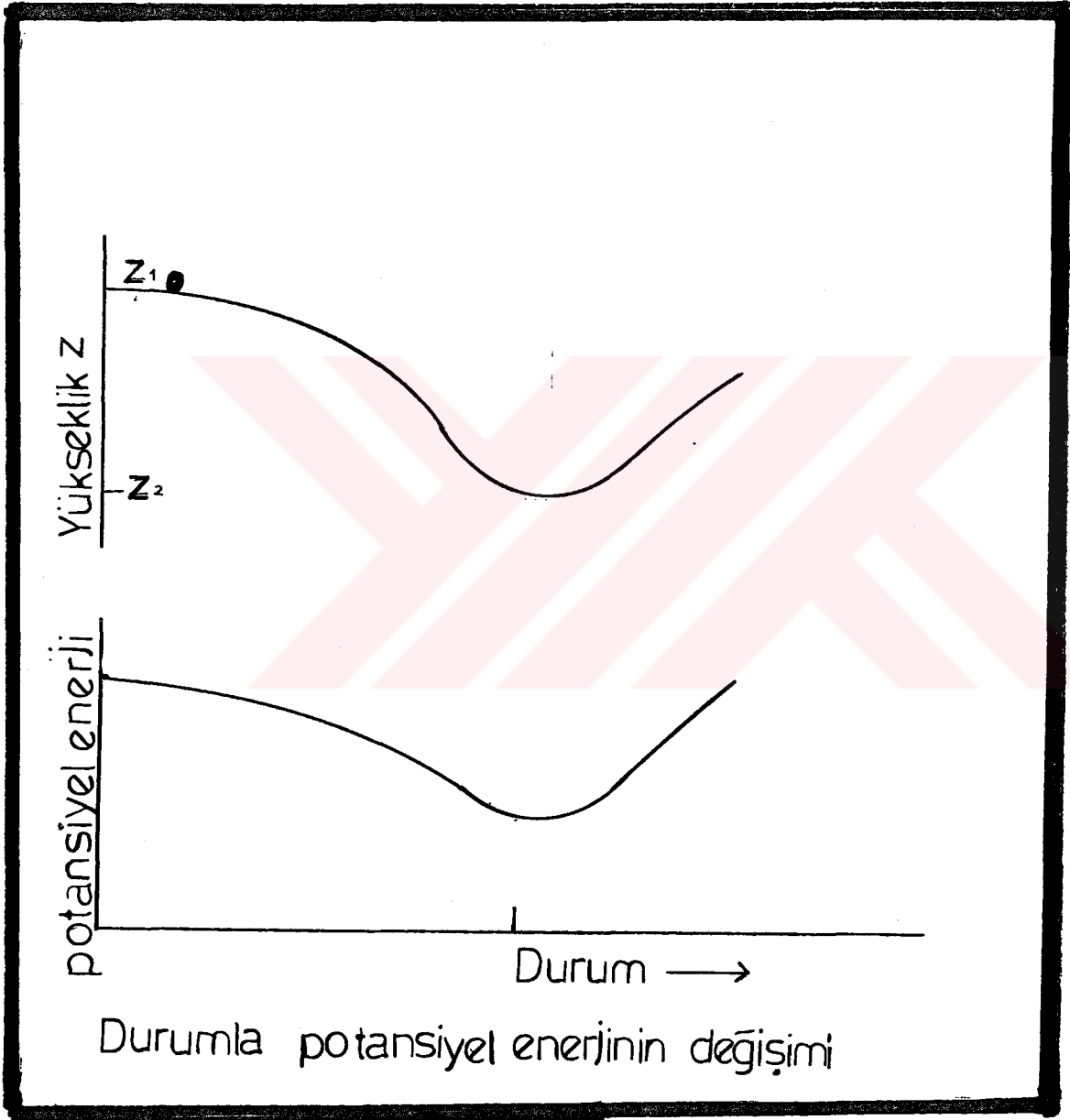
D'yi ölçmekle hakiki difüzyon katsayılarını D_1 ve D_2 hesap edebiliriz.

İkame difüzyonu üzerinde Grube analizi yapıldığı zaman ölçülen gerçek difüzyon katsayısı D 'dir. İkame difüzyon çalışmalarında genellikle D 'yi metona yüzey tekniği denilen bir metod ile ölçebiliriz. *Şekil VI.8*'da konsantrasyona bağımlı D 'nin değişikliğin tipik neticesi görülmektedir. Bu neticeler gösterir ki difüzyon geniş bir konsantrasyon sahasında oluşurken Fick'in ikinci kanununda D sabit olarak mutala edilmektedir.



Şekil VI.8 Altın alaşımlarında difüzyon katsayısının konsantrasyona olan bağımlılığı.

VI. 1 . 2 . 1 DİFÜZYONUN İLERLEME KUVVETİ



Şekil VI.9 Durumla potansiyel enerjinin değişimi

Fick'in birinci difüzyon kanunu ampirik temele dayandırılmıştır.

Şekil VI.9'de üst kısımda görülen diyagramda tepede bir top gösterilmiştir. Bu topa tesir eden kuvvet ;

$$6.26 \quad F_{\text{aşağı}} = (KM_{\text{yer}} \times M_{\text{top}}) / Z^2 = \text{sabit} / Z^2$$

$$6.27 \quad \text{Potansiyel enerji} = \int F_{\text{aşağı}} dZ = \text{sabit} / Z$$

Top üzerindeki kuvvet ;

$$6.28 \quad F_{\text{aşağı}} = d(\text{potansiyel enerji}) / dZ$$

Sistemin serbest enerjisini bulmak için Gibbs'in serbest enerjisini kullanır ve buna kimyasal potansiyel deriz.

$$6.29 \quad \text{Bir elementin kimyasal potansiyeli} - i = (\partial G / \partial n_i)_{T,P,n_j} = \mu_i$$

G = serbest enerji

n_i = i atomları adedi

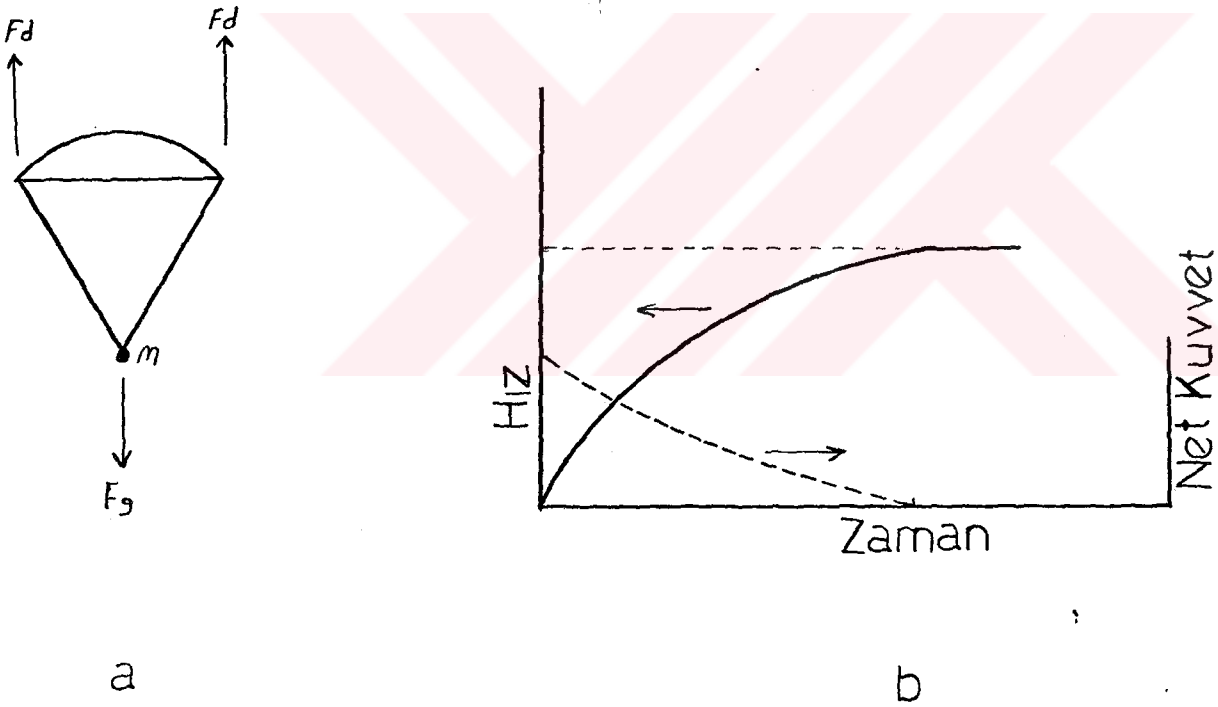
n_j = diğer atomların adedi

μ_i = bir alaşımdaki Gibbs serbest enerjisi

$$6.30 \quad Z \text{ yönünde } i \text{ atoma düşen kimyasal kuvvet} = \partial \mu / \partial Z$$

Bir alaşımda i atomları kimyasal potansiyeli varsa bu potansiyel onları hareket ettirecek bir kuvvet olur.

VI.1.2.2 HAREKET VE DİFÜZYON KATSAYISI



Şekil VI.10 Terminal hızın elde edilmesi.

Difüzyondan bahsederken hareketi ortaya atmak faydalıdır. *Şekil VI.10 (a)* da gösterilen paraşüte tesir eden kuvvet dengesini düşünelim . İnsan aşağı atlarken kütlesi ile orantılı bir çekim kuvveti (F_g) etkisi altındadır. $F_g = mg$

Atlayınca onu yukarıda tutacak kuvvet sıfırdır. Aşağı doğru hızı artınca paraşütüne çarpan hava yukarıya doğru orantılı itici bir kuvvet ortaya çıkarır .

$$F_d = kv$$

$$\text{Böylece net kuvvet ; } F_{\text{net}} = F_g - F_d = mg - kv = ma$$

Yeterli miktardaki yüksek hızda , itici güç çekim kuvvetine eşit olur ve bu noktada net güç sıfırdır , dolayısıyla burada hız da sıfırdır. *Şekil VI.10 (b)* de gösterildiği gibi bu güç dengesinde terminal bir hıza varılır. Hareket kabiliyeti aşağıdaki gibi gösterilir ;

$$\text{Hareket kabiliyeti} = \text{sonuç hız} / \text{kullanılan güç ünitesi} = B$$

Örnek olarak elektrik sahasındaki metal içinde hareket eden elektronu düşünün. Elektrik sahasında kullanılan güçle , kafesteki itici güç eşitlenirse elektron terminal bir hız ile hareket eder.

$$6.33 \quad B = 1/pn_e^2$$

n : elektronların hacim konsantrasyonu

Bu 6.33 denklemi elektron hareketinin mukavemet ile münasebetini gösterir.

$$J_i = C_i V_i \quad \text{ve} \quad V_i = B_i F_i \quad \text{denklemlerini ve de 6.30 denklemini kullanırsak}$$

$$6.34 \quad J_i = -C_i B_i \left(\partial \mu_i / \partial Z \right) \quad \text{elde ederiz}$$

6.34 yerine ve Fick'in birinci kanununu kullanarak

$$6.35 \quad J_i = -C_i B_i kT \left(\partial \ln a_i / \partial Z \right) = -D_i \left(\partial C_i / \partial Z \right)$$

$$6.36 \quad D_i = B_i kT \left(\partial \ln a_i / \partial C_i \right)$$

Yukarıdaki denklem hareket kabiliyeti ve difüzyon katsayısı arasındaki ilişkiyi vermektedir.

Sabit kütle yoğunluğunu düşünürsek 6.36 aşağıdaki şeklini alır.

$$6.37 \quad D_i = B_i kT [(1 + \partial \ln V_i) / \partial \ln X_i]$$

İdeal veya sulandırılmış çözeltilerde V_i sabittir ve böylece

$$6.38 \quad [D_i = B_i kT] \text{ olur.}$$

Yukarıdaki denklem gösterir ki difüzyon katsayısı ile hareket kabiliyeti arasında bir bağ vardır. Bir atomun yüksek hareket kabiliyeti varsa yüksek difüzyon katsayısı var demektir.

VI.1.2.3 SICAKLIĞA BAĞIMLILIK

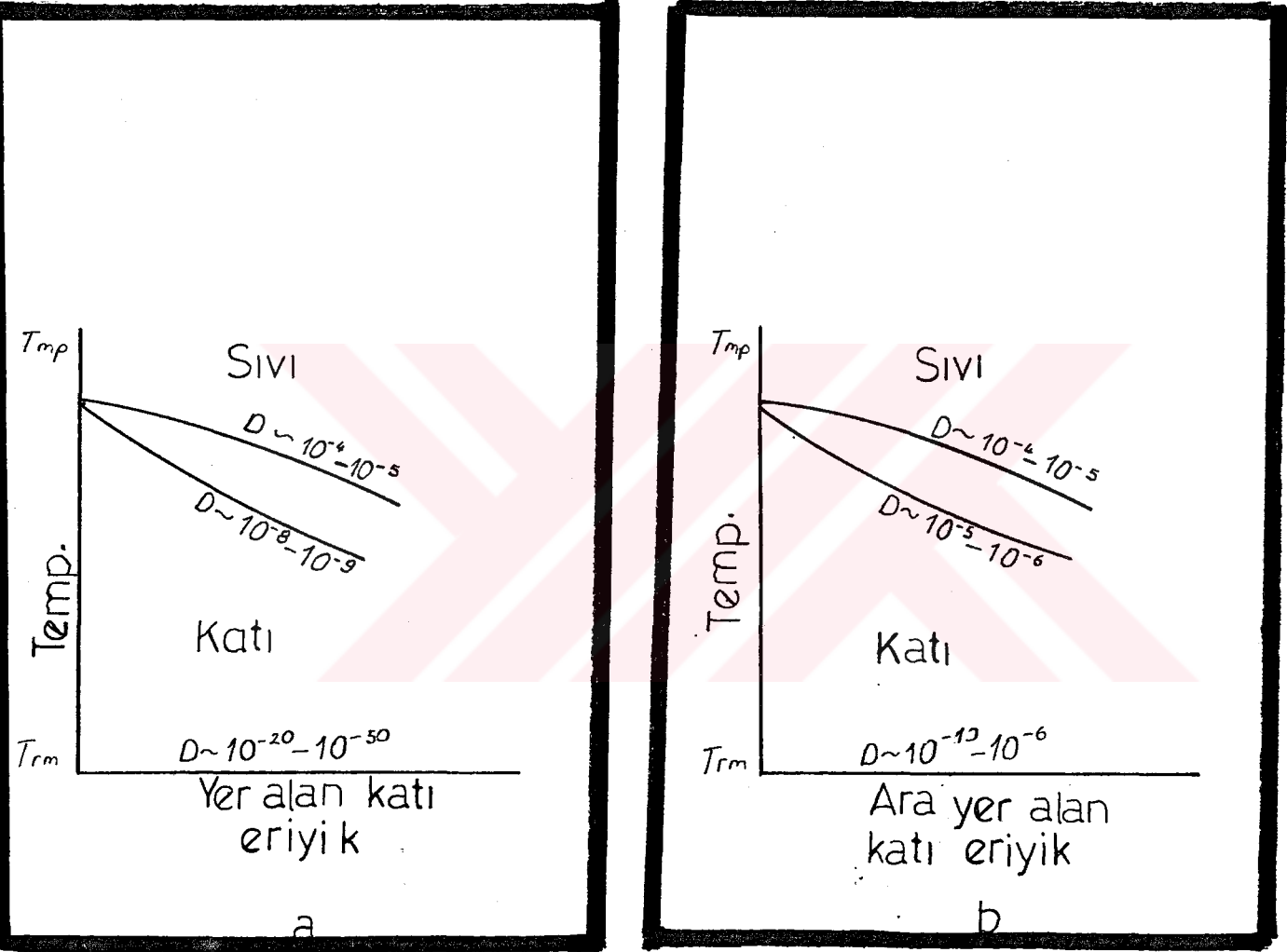
Difüzyon katsayısı sıcaklığın çok kuvvetli bir fonksiyonudur. Bu aşağıdaki gibi gösterilebilir ;

$$6.39 \quad D = D_0 \exp[- Q / RT]$$

D_0 : sabit

Q : aktivasyon enerjisi

D'nin sıcaklığa bağımlılık değerleri *şekil VI.11*'te gösterilmiştir. Önemli bazı açıklamalara geçelim ;



Şekil VI.11 Likudus, solidus ve oda sıcaklıklarına yakın sıcaklıklarda difüzyon katsayısının görünümü.

1 . Arayer maddenin difüzyon katsayısı , yeralan maddenin difüzyon katsayısından daha yüksektir.

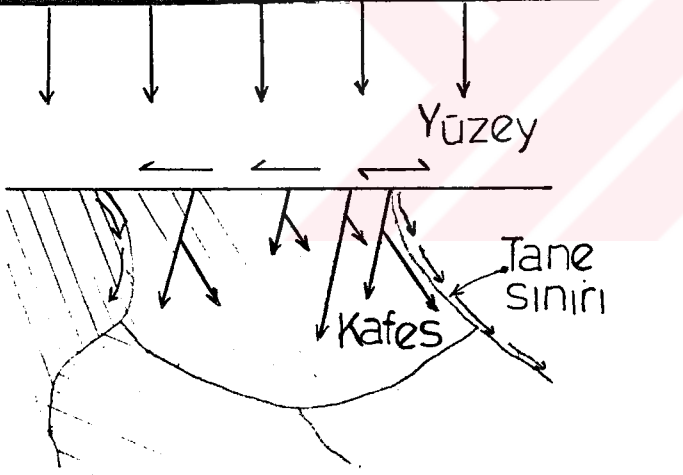
2 . Erime noktasında katıların difüzyon katsayıları muhtelif alaşımlar için takriben aynıdır. Keza sıvılarda donma noktasındaki difüzyon katsayısı değişik alaşımlar için yaklaşık aynı olmaktadır .

3 . Sıcaklığa bağımlılık şekilde görüldüğü gibi çok kuvvetlidir.

VI. 1. 3 ARAYÜZEY DİFÜZYONU

Şekil VI.12(a) gösteriyor ki çok kristalli metallerde difüzyon tane sınırları ve yüzeyde olduğu gibi taneler arasında da olabilmektedir. Tane sınırı veya yüzeyde atomların hareket kabiliyeti . tane içerisine göre daha yüksektir. Dolayısıyla ana yüzey difüzyon katsayısı hacim difüzyon katsayısından daha yüksek olmalıdır.

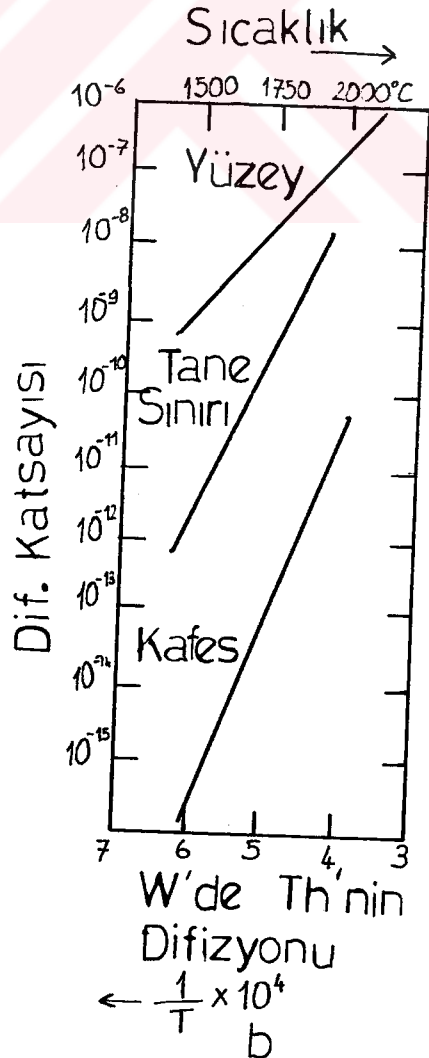
Tane - sınır difüzyonu ancak tane hacmi çok küçük olduğunda toplam difüzyona önemli bir katkıda bulunur.



Kafes tane sınır
yüzey difüzyonu

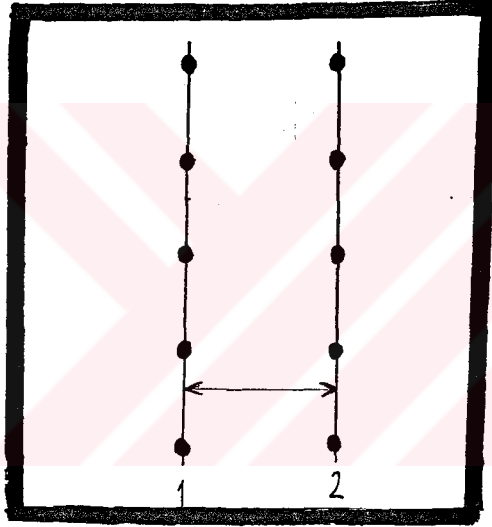
a

Şekil VI.12 (A) Kafes, tane sınırı ve yüzey difüzyonu.



VI . 2 ATOMSAL YAKLAŞIM

Bir metalde atomlar sabit değil , sürekli bir hareket halindedirler. Dolayısıyla bir malzemenin difüzyon katsayısını kristaldeki atom sıçramasının özelliklerine bağlayabiliriz.



Şekil VI.13 Difüzyon model için kafes meselesi.

Şekil VI.13'te görüldüğü gibi iki düzlem alalım. İki düzlem arası mesafe (a) olsun . Şimdi aşağıdaki terimleri tarif edelim :

- (a) r = sıçrama sıklığı
- (b) p = bir atomun bir düzlemden diğer düzleme taşınma ihtimali .
- (c) n_1 , n_2 = düzlemlerin bir cm^2 sine düşen atomların adedi

Bir tek atom saniyede bir düzlemden diğer düzleme $2pr$ defa sıçrayacaktır .
Netice olarak aşağıdakileri söyleyebiliriz ;

$$1. \delta t = n_1 (p - r) \delta t$$

δt zamanda 1 düzlemde 2. düzleme bir cm^2 de sıçrayan atomların adedi

$$2. \delta t = n_2 (pr) \delta t$$

δt zamanda 2. düzlemde 1. düzleme bir cm^2 de sıçrayan atomların adedi

3. 1 ve 2 den net sıçrayan atomların adedi

$$\delta t = (n_1 - n_2) (pr) \delta t$$

$$6.41 \quad J = \delta t = (n_1 - n_2) pr \delta t$$

J : atom akımı (atom / saniye. cm^2)

Düzlem 2 nin hacim konsantrasyonu C_2 şöyle yazılır

$$6.42 \quad C_2 = C_1 + (\partial C / \partial Z) a$$

z : iki düzlem arası mesafe

$$6.43 \quad n_2 - n_1 = C_1^2 (\partial C / \partial Z)$$

6.41 ve 6.43 denklemleri toplarsak akım için aşağıdaki denklemi elde ederiz

:

$$6.44 \quad J = a^2 pr (\partial C / \partial Z)$$

Yukarıdaki denklemi birinci Fickkanunu ile mukayese edersek bu son netice elde edilir.

$$6.45 \quad D = a^2 pr$$

Karbonun Fe kafesindeki difüzyon katsayısı ,

$$6.46 \quad D = a^2 r / 12$$

a : kafes parametresi

$$r_{925\text{ C}} = 1,7 \times 10^9 \text{ sıçrama / saniye}$$

$$r_{20\text{ C}} = 2,1 \times 10^{-9} \text{ sıçrama / saniye}$$

Bu sonuç enteresan neticeyi gösterir

1. Yüksek sıcaklıkta arayer karbon atomları kafeste milyar defa/saniyede gibi olağanüstü bir hızla yer değiştirir .

2. Sıçrama frekansı sıcaklığa çok hassastır. Bundan öyle anlaşıyor ki difüzyonun asal mekanizması atomların sıçrama özelliğine bağlıdır. Bir atomun hareketi ile sıçrama özelliği arasındaki bağıntı istatistiki analizi yapılırsa difüzyon problemi daha iyi anlaşılır.

Bir kristal kafes üzerinde sıfır pozisyonda bir atomu ele alalım ;

- 1 . Atomun sıçrama mesafe uzunluğu r olsun
- 2 .Sıçramalar her tarafa olabildiği gibi birbirinden bağımsız olsun
- 3 . Sıfır pozisyonundaki n sıçramalarından sonra net yer değiştirmesi R_n olsun.

Sıçramalar gelişigüzel olduğuna göre n kafi miktarda büyürse R_n 'nin sıfıra yaklaşmasını bekleriz.

$R_n^2 = nr^2$ olduğunu buluruz.

$(R_n^2)^{1/2}$ yer değiştirme kareköküdür. Bahsi geçen probleme gelişigüzel hareket problemi denir.

Gama demir çubukta karbon atomlarının difüzyonunu düşünelim. Sıçrama mesafesi r , a ile ilgisi $r^2 = 2a^2$ ve $p = 1/3$ ile gösterilirse 6.45 ve 6.47 denklemlerinden

$$6.48 \quad r^2 = 6D / r = R_m^2 / n$$

$$6.49 \quad R_m^2 = 6Dt$$

$$(R_n)_{R_m} = 2.45 (Dt)^{1/2} \quad \text{gibi yazabiliriz}$$

Bu netice gösterir ki yer değiştirme karekökü $Dt^{1/2}$ ile orantılıdır. Daha sonra gama demirde karbonun yer değiştirmesi incelenirse oda sıcaklığında ve 925°C de tablo te bulabiliriz.

VI . 3 DİFÜZYON MEKANİZMALARI

Birçok değişik difüzyon mekanizmaları ortaya atılmıştır. Burada arayer ve boşluk mekanizmalarından söz edilecektir.

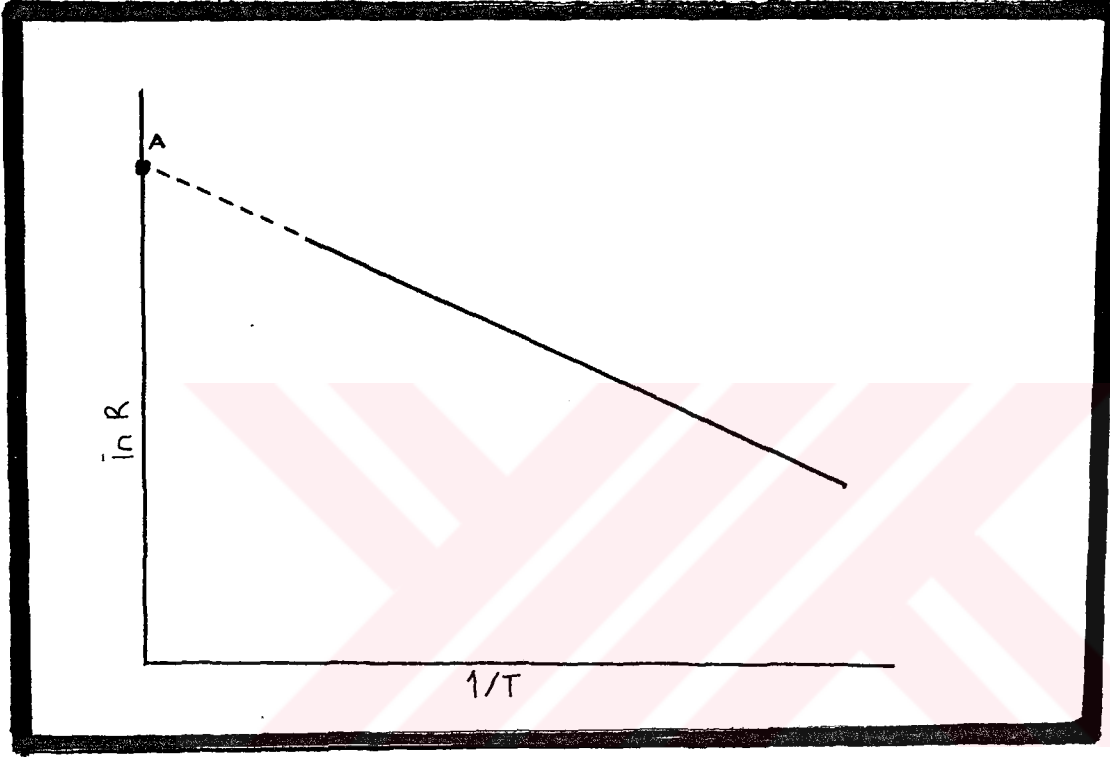
Ara yer difüzyonda atomlar kafesteki arayer boşluklara sıçrarlar. Bu mekanizma umumiyetle küçük atom içeren metallerde husule gelir , mesela C , O , N , H gibi

Boşluk mekanizmasında atomlar komşu boşluklara sıçrayarak yer değiştirir. Bu mekanizma en çok yer alan ve self difüzyonda husule gelir. Metal A'nın self difüzyonu kristal metal A'da metal A elementinin izotopunun göçünü gözlemekle ölçülür. Boşluk difüzyonunda karşılıklı ve eşit iki akım vardır.

Atom ve boşluk akımları : İki yer alan madde aralarında akımlar eşit değil ise Kirkendall değişimi husule gelir. Bu akımlar boşluk mekanizması ile husule geldiğine göre atom akımının karşı tarafında net bir boşluk olması lazımdır. Mesela *şekil VI.7(a)*da sağda Nikele doğru bir boşluk akımı olur. Bunun için devamlı solda bakırda boşluklar husule gelir ve sağda nikelde tükenme olur. Bu çok mühim bir neticedir. Devamlı boşlukları meydana getirmek için teklif edilen mekanizmalardan biri Frank Read'in kenar dislokasyonlar devamlı yükselerek hareket eder.

B. Arrhenius Denklemi ve Data Oranı

Fiziksel metalurjide sık olarak bir alaşımda bir prosesin oranını izah etmek için sıcaklık fonksiyonundan bahsedilir. Mesela bir ısıtma operasyonunda sıcaklık fonksiyonu olarak tanenin büyüme oranını bilmek lazım ki tanenin fazladan büyümesine sebep olunmasın ; yüksek sıcaklıkta türbin kanatlarında kullanılan metalde genişleme oranı işe yarar alaşımların yapılmasında kritik bir vasıftır. Sıcaklık fonksiyonunda difüzyon oranı kritik bir faktördür. *Şekil VI.14*te görüldüğü gibi çizilirse düz bir hat elde edilir. Bu düz hat fonksiyon denklemine Arrhenius Denklemi denir ve şu şekilde yazılır:



Şekil VI.14 Arrhenius Taslağı

6 . 50

$$R = Ae^{-Q/RT}$$

A : kesen çizgi

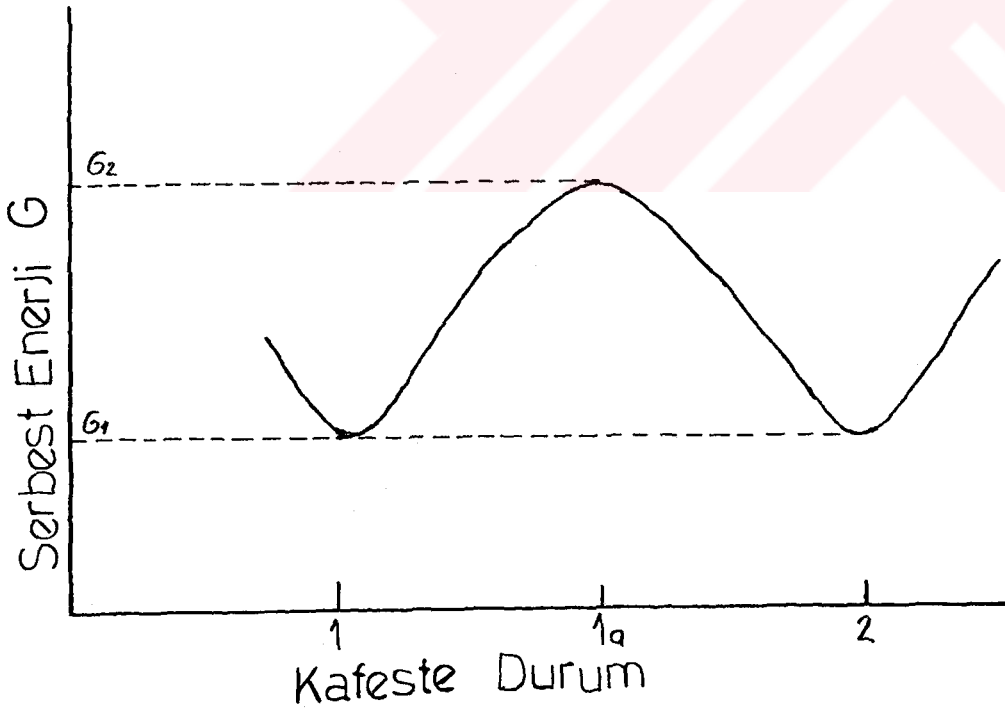
Q : aktivasyon enerjisi

6 . 40 ile 6 . 50 arasında mukayese yapılırsa görülür ki difüzyon katsayısı Arrhenius denklemini takip eder. Difüzyon prosesini izah etmek için atomsal model kullanılırsa aktivasyon enerjisinin fiziksel bir yorumuna varılır ve bu da Arrhenius planı ile tayin edilir.

Difüze atomlar ara yer mi ? yoksa yer alan mı ? ona bağı iki vaziyeti gözden geçireceğiz :

C. Ara Yer Difüzyon

Bu durumda madde ara yer boşluklarda sıçrayarak göç eden bir ara yer atomdur. Mesela demir kafeste karbondur. Kendimize ilk soracağımız soru da kafeste bir atomun yer değiştirme oranı r 'yi nasıl izah edebiliriz ? *Şekil VI.15* 'deki diyagramda atomun serbest enerjisi ve pozisyon fonksiyonu işlenmiştir. İki kafes pozisyonlar 1 ve 2 olarak gösterilmiştir ve serbest enerji minimumdur. Şimdi bu terimleri izah edelim :



Şekil VI.15 Kafesteki atomun serbest enerji değişimi.

1 - F: Herhangi bir zamanda yer değiştirmek için enerjisi olan atomların fonksiyonu ve bu da $G > G_2$

2 - Z: Atomun etrafında olan ara yer boşlukların adedi ve bunların boş olduklarını kabul edeceğiz.

3 - V = Z boşluklarda vibrasyon sıklığı.

Herhangi titreşimde atom yer değiştirirse $r = VZ$ elde ederiz. Halbuki bir atom ancak sıçramak için kafi enerjisi varsa yer değiştirebilir. Atomun sıçraması için kafi enerjisi var farzedelim. $G > G_2$ ve bunu f ile gösterirsek aşağıdaki denklemi elde ederiz :

$$6.51 \quad F = V \times Z \times f$$

Atomların üzerindeki serbest enerji , Maxwell - Boltzman kanununa göre dağıldığını gösterir . Ona göre serbest enerjili atomların fonksiyonu için $G > G_2$

$$n (G > G_1) / N = e^{-G_1 / kT}$$

N = atomların miktarı

$$6.52 \quad n[G > G_2 / G > G_1] = e^{-(G_2 - G_1) / kT}$$

Burada G_2 ve G_1 *şekil VI.15*'de gösterilmiştir. G_1 , kafes üzerindeki atomun serbest enerji olur. Onun için bütün atomlarda serbest enerjisi vardır. $G > G_1$ bundan sonra 6.52 deklemini bize f değerini verir.

$$6.53 \quad f = n(G > G_2) / N = e^{-\text{fark } G / kT}$$

Şimdi 6.45 , 6.51 ve 6.53 denklemlerini biraraya getirirsek , D için ;

$$6.54 \quad D = a^2 p (Z V e^{\text{fark } S / k}) e^{-E / kT}$$

Burada $\text{fark } G \cong \text{fark } E - T \times \text{fark } S$ 'dir.

Genellikle farkS , sıcaklığa pek bağımlı değildir , onun için 6.54 denklemindeki sıcaklığa hassas terim , nihai terimdir. 6.54 denklemi ile 6.50 denklemini mukayese edersek aktivasyon enerjisi Q ile farkE'nin aynı olduğu görülür. Bu analiz gösteriyor ki 1a ve 1 yerlerindeki atomların enerji farkı *şekil VI.15*'de gösterildiği farkE'dir. 1 mevkiinden 2 mevkiine geçmek için bir atomun 1a'daki azami enerji mevkiinden

geçmesi lazımdır. Atomun bu mevkiye geçmesi için istenilen enerjideki artışa enerji aktivasyonu (farkE) denir.

D. Yer Alan Difüzyonu

Bu olayda eriyebilecek atom yer alan atomdur ve bundan dolayı kafes içerisinde hareket etmek zorundadır. Şimdi kafes civarındaki yerleşim miktarını Z ile gösterelim. Bu olayda çok değişiklik olur, çünkü bir sıçrama için civar yerin boş olması lazım ve bu boş yerlerin bütününe fraksiyonu Z ile gösterelim.

$$6.55 \quad r = V \times Z \times e^{-\text{fark}(E_v)/kT} \times e^{-\text{fark}(S_v)/kT}$$

fark(E_v) : her boşluğun enerjisi
fark(S_v) : her boşluğun titreşim entropisi

Bu olayda difüzyon katsayısı için açıklama aşağıdaki gibi olur ;

$$6.56 \quad D = a^2 p (Z V e^{\text{fark}S} + (\text{fark}S/k)) e^{-(\text{fark}E + \text{fark}E_v)/kT}$$

Netice olarak $Q = \text{fark}E + \text{fark}E_v$ elde ederiz. Burada Q yalnız aktivasyon enerjisi değil hem hakiki aktivasyon enerjisi hem de her boşluğa düşen enerjinin tutarındır. Q , her basit proses için hakiki aktivasyon enerjisidir ve umumiyetle empirik sabit olarak düşünölmelidir.

Bu izahlardan anlaşılıyor ki difüzyon prosesinin istatistiki yorumu bize difüzyonun kitle nakline sebebiyet veren atomik prosesinin fiziksel tesirini izah eder.

VII . SEMENTASYON ÇELİKLERİNİN ISIL İŞLEMLERİ

VII . 1 SEMENTASYON ÇELİKLERİ

Sementasyon çelikleri esas itibarı ile alaşım elementleri oluşturmayan düşük karbonlu çeliklerdir. Öyle olmakla beraber alaşım elementleri içerikli sementasyon çelikleri de endüstride genişçe kullanılmaktadır.

Sementasyon çeliklerinde karbon oranı % 0,10 - % 0,25 kadardır. Fakat günümüzde daha zengin % 0,35 C'li çelikler , bilhassa geniş kesitli parçalarda iyi iç özelliklerinin sağlanabilmesi için kullanılmaktadır. Sementasyon çelikleri alaşımlı ve alaşımsız diye iki gruba ayrılabilir.

-Saf karbon çeliği :

Yüzey sertleştirme çeliklerinde karbon miktarı % 0,20 altında olmasına rağmen , daha yüksek içerikli özellikleri için alaşımlı çeliklerde kullanılabilir.

Saf karbonlu çeliklerin kompozisyonu genellikle şöyledir :

% C	% Mn
0,06 - 0,14	0,8
0,12 - 0,20	0,6
0,20 - 0,30	0,5

-Alaşımlı çelikler :

Genellikle alaşımlı çeliklerin % 0,75 - 6,00'ı sementasyon ile sertleştirilmektedir . Yüzey sertleştirme çeliklerinin alaşım elementlerini genellikle nikel ve krom oluşturur. Nikel çeliklerinde nikel miktarı % 3 - 3,5 veya daha fazla olabilir.

Nikel çeliklerine krom ilave ederek yüzeyin aşınma durumunda çekirdeğin mukavemeti artırılabilir. Bu yumuşaklığı önemli miktarda azaltır. Bu fazla kullanılan krom çeliği 0,14 Ni , 1,1 Cr , 0,20 - 0,30 Mo teşkil eder.

Krom - Molibden sementasyon tabakalarının aşınma mukavemetine ısı işlem neticeleri özellikleri , 100mm çaplara kadar krom - nikel çeliklerinin aynıdır. Krom - Molibden, Mangan, Mangan - Krom çelikleri siyanür banyolarında sementasyona tabi tutulduklarında , krom - nikel çeliklere nazaran daha hızlı karbon ve azot emerler.

Amerikalılar gren büyüklüğü kontrol altına alınmış, orta karbonlu az alaşımlı çelikleri kullanmayı tercih etmektedirler. Böylece bunların ucuz olması , fabrikasyon zamanı ve iç dayanıklılığın fazla oluşu gibi avantajlarından faydalanılmaktadır. *Tablo 2'*de bazı alaşımlı çelikler gösterilmektedir :

Tablo 2

İsim	Kompozisyon			
	Mo	Mn	Ni	Cr
%3 Nikel	0,14	0,5	3	—
%3 Nikel	0,14	0,05	3	—
%5 Nikel	0,14	0,13	5	0,1
%3,5 Ni - Cr	0,12	0,4	3,5	0,8
%4,2 Ni - Cr	0,16	0,4	4,2	1,2

Saf karbon çelikleri ile alaşımlı çelikler mukayese edilirse bu çeliğin ana karakteri şunlardır.

- Daha yüksek akma mukavemeti ve süneklik verir.
- Kritik sertleştirme hızı daha düşüktür. Bu nedenle yağda su verme ile istenilen sertlik elde edilebilir.
- Sementasyon sıcaklığındaki tane büyümesi çok yavaştır. Bundan dolayı 900°C'deki ilkısı işleminden vazgeçilebilir.
- Alaşımlarda tek su verme işlemi genellikle hafif yüzeyli parçalara tatbik edilir. Çünkü bunlarda daha az sementit yayınma ihtimali vardır.

VII. 2 SEMENTASYONDAN ÖNCE ÇELİKLERİN ISIL İŞLEMLERİ :

Çelik üretiminde hammadde konusu, ergitmenin idaresi ve oksidasyonların heterojen oluşumu nedeniyle, sementasyon ayrılımı olabilir. Yani karbon gradyanı aniden ve çok farklı bir şekildedir. Sementasyon iç yapısındaki açık fark bilhassa ergitme nedenine bağlı bulunmaktadır.

Sementasyondan önce çelikten istenen birinci kalite imalatı esnasında verilen özelliklerin bu işleme uygun oluşudur. Bu açıdan bakıldığında genellikle 1000°C'deki bir işlemi takiben havada soğutularak grenleri irileştirilmiş çelikler tercih edilir.

Alaşım elementlerin zengin olan sementasyon elikleri 700°C'nin altındaki bir su verme işlemine müteakip 650°C'ye gelince havada soğutulabilirler. İmalatları neticesinde i gerilimleri fazla olan parçalar, sementasyon sıcaklığının 50°C'nin üstünde stabilize edilebilirler. Su verme ve sementasyon işlemleri esnasındaki çeşitli deformasyonlar göz önüne alınırsa parçaya belli bir tolerans verilmesi gerektiği kanısına varılır. Bu tolerans büyük parçalar için 0,25 mm'ye kadar çıkabilir.

Su verme deformasyonları sadece reaktifasyonla veya hafif bir dresaj ile giderilebilir ki , minimum şekil değiştirmeler dahi burada önem kazanır.

Tecrübeler göstermiştir ki DİN 17210 standardına göre n ısı işlemine tabi tutulmuş sementasyon çelikleri, sertleştirmedeki çekme yönünde hiç bir n ısıl işlemi girmemiş çeliklere nazaran daha iyi neticeler vermektedir. Bu ısıl işlemlere çeliğe daha iyi mekaniksel işlenebilirlik kabiliyeti kazandırmaktadır.

VII.3 SEMENTASYONDAN SONRAKİ ISIL İşLEMLER

Sementasyona tabi tutulmuş parçaların istenen mekanik özellikleri sağlayabilmesi için sertleştirme işlemlerinin uygulanması gerekir.

Sementasyon operasyonundaki yüksek sıcaklıklardan dolayı , parçaların hem yüzeyi hem de çekirdeği fazla ısıtılmış bir yapı arzeder. Bu yapının gereği olarak kabalaşmış tanelerin inceltilmesi gerekmektedir. Yüzeydeki tanelerin inceltilmesi ve yüzeyin sertleştirilmesi için 770 - 880°C'ler arasındaki sıcaklık kafi gelir. Bu sıcaklıkta karbonu düşük olan çekirdek karbon miktarı %0,2 oluncaya kadar Gamma demirindeki artık bırakmaksızın dönüşmez , aksine gene ferrit ihtiva eder. Bu ferrit su verildikten sonra da mevcuttur. Çekirdeğin inceltilmesi kritik sıcaklığın üzerinde yapılan ısıtmayla sağlanabilir.

İş parçası sementasyon sıcaklığından alınıp doğrudan doğruya suya veya yağa batırılırsa, yüzey çok sert olmasına rağmen uygun işlemlerle sertleştirilmiş elik yüzeyi ince taneli Martenzitik yapıdır. Kabalaşmış iç yapının normal hale getirilmesi için sementasyon neticesinde basit su verme işlemlerinden ayrılan özel ısıl işlemlerin uygulanması gerekmektedir. Yüzeyin ve çekirdeğin uygun mekanik özelliklere sahip olmasını sağlamak için iki şartın yerine getirilmesi lazımdır.

İç yapı kabalığının giderilmesi ve aşırı kızdırmaya mahal vermeden sertleştirme : Genel olarak düşük karbonlu çekirdek kısmına karşı gele sıcaklıklardan doğru yapılan bir sertleştirme işlemi veya bir tavlama iç yapıyı incelten aynı tesirleri gösterdiğinden, aynı hedefe götüren çeşitli ısı işlemleri vardır. Bu işlemleri ayrı ayrı incelersek :

Sementasyon sıcaklığından itibaren direkt sertleştirme veya bu sıcaklıktan uygun su verme sıcaklığına kadar soğutup su versek. Her iki durumda da büyük grenli bir yapının meydana geleceği muhakkaktır, ancak bu işlemler basit ve ucuzdur . Bilhassa alaşımsız çeliklerde yavaş yavaş soğuma neticesinde yeterli bir tane incelmeye elde edilemez. Buna mukabil karbonlaşmış tabaka için en uygun sıcaklıklarda yapılan sertleştirme işlemi sonunda bu tabaka iyi sertleşir.

Yavaş yavaş soğutmak , 620 - 680°C civarında bir ara tavlama yapmak ve su verme sıcaklığından itibaren su vermek. Ara tavlama neticesinde parçanın sertleşmesinden evvel işlenmesi kolaylaştırılır. Tavlama gaye iç gerilmeleri azaltmak ve dış tabakada bulunabilecek sementiti kısmen taneli iç yapıya dönüştürmektedir.

Kutu sementasyonuna tabi tutulmuş bir parçanın böyle bir sertleştirme işlemleri neticesinde iri taneli bir örtü ve ince taneli bir çekirdek meydana gelir.

Yavaş yavaş soğutmak , 880 - 920°C dereceden yağda su vermek daha sonra 620-680°C 'de yapılan bir ara ısıtma ile veya ısıtmadan su verme sıcaklığından itibaren su vermek . Bu şekilde çift su verme işlemleri ile çekirdek kısmen iyi mukavemet ve akışkanlığa , dış tabaka en yüksek sıcaklığa ulaşır. İlk su verme ile taneler inceltir, tane aralarındaki sementit giderilir. Daha düşük sıcaklıklarda yapılan su verme ile dış tabakanın sertleşmesi sağlanır. Eğer bir ara tavlama yapılıyor ise bu mekanik işlemleri kolaylaştırmak içindir.

Kutu sementasyonu neticesinde çift su verme işlemine tabi tutulmuş parçaların dış tabakaların mukavemetli ve ince bir yapıya sahiptirler.

Bu ısı işlemlerinin birkaçı muhakkak ki çok verimli fakat pahalı metodlardır. Sonuç olarak her zaman 160 - 200°C'de gerilmeleri giderici meneviş işleminin tatbiki tavsiye edilir. Bütün çelikler ve bilhassa krom - nikelli çelikler için, sertleştirmeden sonra yapılan bir tavlama işlemi iyi neticeler verir.

VIII. SEMENTASYONDA KARBON KONTROLÜ

VIII.1 SEMENTASYON DERECEİNİN ÖLÇÜLMESİ

Sementasyon derecesini , özellikle sementa tabakanın derinliğini ölçmek için çeşitli ketodlar kullanılmaktadır. Bu metodlardan en çok ve en fazla kullanılanı , sementa edilmiş parçaya su verildikten sonra alkol ve nitrik asit karışımı solisyonundan etkilendirerek sementa tabakanın derinliğinin ölçülmesidir. Bu solisyonda karbonca zengin çelikler , zayıf çeliklere nazaran daha hızlı reaksiyona girerler. Karbonca zengin karbür tabakası merkezden daha hızlı dağılır ve merkez ise pek etkilenmez. Parça kırıldıktan sonra ısıtılırsa renkleme meydana gelir ve dıştabaka daha önce renklenir. Bu işlem için parçayı bir kurşun banyosunda 650°C veya az üstünde ısıtmak bunu müteakiben havada soğutmak yeterlidir.

Sementasyon derecesinin ölçülmesi daha kesin neticeler veren metodlar vardır. Genellikle bu metodlar ısıl işlemden sonrazengin karbonlu çeliklerin dekarbürasyon derecesini ölçmek için kullanılan metodların aynısıdır. Bu metodlar sementasyon ve su vermeden sonra köşeleri düzeltilmiş çelik parçalar üzerindeki sertlik deneyleri , metalografik incelemeler, ağırlık artışı ölçüleri ve analizleri kapsar. , ayrıca çok kesin sonuçlar veren, çeşitli sementasyon metodlarının izafi etkilerini neticelendiren, verilen bir karbüran ortamdaki işlem sırasında numunenin yüzeyi temiz, oksitsiz ve kurumsuz olmak şartıyla çeşitli çeliklerin gidişatını tayin eden ağırlık değişimi metodutatbik edilebilir. Ancak bu metodun sementasyon derinliğini veremeyeceğini de unutmamak gerekir.

Endüstride en çok kullanılan metod numuneler üzerinde köşelerden veya hazırlanmış belli bölgelerden sertlik değerlerinin alınması ile yüzey altı ve yüzeyin sertlik değişiminin eğrileri çizilmektedir. Bu büyük parçalardan alınan numuneler için yukarıdaki metod tatbik edildiğinde , sementasyon derinliği aynı olmasına rağmen farklı sertlik değerleri meydana gelebilir. Çünkü su vermeden sonraki soğuma şiddetleri farklıdır.

VIII.2 ALAŞIM ELEMENTLERİNİN SEMENTASYON ETKİSİ

Sementasyon çeliklerinde alaşım elementlerinin bulunuşu karbonun aktivite katsayısına etki etmektedir. Manganezin çelikte bulunması sertleştirme çatlamasına engel olması ve sertleştirme derinliğinin muhteviyatının artması bakımından yararlıdır. Silisyum gratitizasyona sebep olduğundan sementasyonu geciktirir. Bu nedenle silisyum %0,3aşağısında olması gerekmektedir.

Nikel ve kurşunun gerek beraber gerekse ayrı ayrı bulunması halinde karbürirasyon hafifçe gecikir.

Selenyumlu sementasyon çeliklerinde sementasyon kontrolü oldukça kompleks olup, bazı bilim adamları selenyumlu çeliğin sementasyonunda karbon absorbsiyonunun daha az olduğundan bahsederler. Ancak kabul etmek gerekir ki , östenitte karbonun difüzyonu Manganez sülfoselenür tarafından frenlenir.

Genellikle çeşitli alaşım elementleri içeren çelikler için şu özellikleri söyleyebiliriz :

- Karbon potansiyelinin artması ile karbürasyon desteklenir. Şekil 4.1. Bu destekleme Molibden , Mangan , Bor içerikli çelikler için belirgin değerdedir. Titan ve Silisyum bu desteklemeye daha zayıf bir şekilde yardımcı olmaları ile beraber Nikel ve Wolfram için önemsenmeyecek değerdedir.

- Karbürasyon çelikteki alaşım elementleri tenörünün bir fonksiyonu olarak değişir.

- Kuvvetli karbon potansiyelinin karbürasyon üstündeki etkisini çelikte Bor elementinin bulunması ile daha etkin haldedir.

VIII.3 FIRINDA KARBON KONTROLÜ

Atmosfer içindeki karbon kontrolünün yapılabilmesi için ilk adım bir gaz numunesi almaktır. Bu gaz numunesini mümkün olduğu kadar iç parçasına yakın ve fırın girişinden uzakta alınmalıdır. Gaz alınacak numune sondaları , atmosfer bileşenleri ile reaksiyona girmeyecek cinsten olmalıdır. Demir - krom alaşımından yapılan sondalar , yüksek nikelli sondalara nazaran daha iyi sonuçlar verir. Çünkü CO'dir. CO₂ ve kuruma parçalanmasında nikel katalizör rol oynar. Karbon-dioksit ve su buharı ölçüldüğünde gazın numune sondasından geçiş hızı 70m/dak olmalıdır. Çünkü gaz numunesinin çıkışı esnasında muhtemel reaksiyonların önüne geçilir. Atmosfer karışım oranı ve karbon potansiyelinin el ile kontrolündeki netice daha çok teknisyenin maharetine bağlı olduğundan , kontrol güvenliğini arttırmak amacıyla otomatik sistemler kullanılır.

Uzunluk ve çalışma prensibi bakımından basit olan kontrol sistemleri vardır. Fakat bu kontrol sistemleri ile elde edilen analiz neticeleri tam güvenlik sağlamamakta ve analiz uzun zaman almaktadır. Sementasyon atmosferlerinin kontrolünde kabul edilmiş sistem, taşıyıcı gazın akışını sabit tutup zenginleştirici gazın akışını kontrol etmektedir.

VIII.4 İŞLENMİŞ PARÇADA KARBON KONTROLÜ

Sementa edilmiş parçalarda karbon kontrolünün değerlendirilmesinde çeşitli metodlar vardır. Ancak bu metodlar uygulanırken dikkatli hareket edilmelidir.

VIII.4.1 SERTLİK ANALİZİ

İşlenmiş parçaya öyle bir sertlik analizi uygulanmalıdır ki , sertliği ölçülebildiği metal derinliği , karbon kontrolünün yapılması gereken derinliği ile bağdaşsın. Bu analizlerin uygulanmasında doğan endüstriyel tatbikat hataları bir araştırma neticesinde aşağıdakilerden biri kabul edilebilir.

- Rockwell sertlik uygulamaları en az iki yükleme şartıyla yapılmalı.
- Yüzeysel Rockwell 15-W testi yüzeyden itibaren belli derinlikte taşlanmış kademelere uygulanmalı.
- Karbon kontrolü bölgesinden alınan bir kesitte mikrosertlik testleri uygulanır.

- Rockwell analizinde ölçülebilen nüfuziyet derinliği en az 0,075 mm olmalıdır. Böyle bir şart bu derinliğe kadar mikrosertlik testinin uygulanmasını gerektirmektedir.

Yüzey karbonu bilyayı taşıyabilecek bir tabaka verememişse gene hatalı değerlendirmeler yapılabilir. Yüzeyden itibaren 0,025 veya 0,375 mm derinliklerdeki daha yüksek ve daha düşük karbon yüzeyleri de hatalı neticeler verebilir. Karbon kontrolü için kullanılan sertlik metodlarının en hassası , karbonun kontrol bölgesinden alınan bir numune kesitindeki mikrosertlik ölçme usulüdür. Bu metodun dezavantajı olarak kesidin iyi hazırlanmış ve donatımı iyi laboratuvarların gerekliliğidir. Sertlik ölçme metodları ideal olarak sementa edilmiş bir parça için iyi neticeler verebilir . Fakat endüstriyel olarak böyle bir ideallik genellikle düşünülemez. Bunun için daha başka metodların kullanılması gerekmektedir.

VIII.4.2 MİKROSKOBİK ANALİZ

Mikroskobik analiz metodu karbürleşme yapısal değişimlerini gösteren tek yüzey karbonunda değişim tayin metodudur. Mikroskobik inceleme ile ferrit, sementit, östenit, ve tane iriliği tayin edilebilir.

Yüzeyde bulunan ferrit tabakası altında kısmen ve bu tabakada da tam karbonsuzlaşma görülür. Sementit miktarının artması bir karbonsuzlaşmaya karşı gelir. Bu karbonsuzlaşmayı en hassas bir şekilde tayin edebilmek için en ideal numune , tavllanmış numunedir. Karbürleşme bazı çeliklerde , ısıt işlemlerden sonra aşırı östenit tutulmalarına sebep olur. Östeniti diğer fazlardan ayırmak için an uygun erigiklerle reaksiyona tabi tutmak gerekir.

VIII.4.3 İNCE LEVHA ANALİZİ

Bu analizin avantajı , atmosferin değerlendirilmesinde karbon difüzyonunun bir değişken olarak ortadan kaldırılmasıdır. Atmosferin karbon potansiyelinin tayinindeki hassasiyet güvenilir bir değerdedir. Endüstride % 0,10C'lu 30×70×0,10 veya 0,15mm kalınlığındaki tavllanmış levha hassas olarak tartılır ve bir saat fırın atmosferinde bekletildikten sonra tekrar tartılarak aşağıdaki formülle karbon potansiyeli hesaplanır.

Karbon Potansiyeli = (ağırlık farkı / son ağırlık) $\times$ 100 + %Ci

Ci = orjinal karbon

Karbon potansiyeli tayininde kullanılan levhanın temiz ve parlak olması lazımdır.

VIII. 5 SEMENTASYON SICAKLIĞI VE İŞLEM SÜRESİ

Sementa tabakanın kalınlığı sementasyon sıcaklığı ve işlem süresiyle artar. Sementasyon sıcaklığının grenler arası aşırı büyütme yapmaksızın , karbonun demirde maksimum difüzyonunu sağlayacak şekilde seçilmelidir . Düşük sementasyon sıcaklığı mahzurlu olduğu gibi , yüksek sıcaklık da mahzurludur. Çünkü uzun sementasyon zamanı ve çok yüksek sıcaklıklar iç yapıyı kabalaştırdıklarından, sementasyonu müteakiben yapılan ısı işlemleri zorlaştırmaktadırlar. Bu nedenle istenen sementasyonu sağlayabilmek için gerekli en kısa zaman ve en fazla sıcaklıktan daha fazlası kullanılmalıdır.

Karbon miktarı ne kadar az olursa, gerekli sementasyon sıcaklığı da o derece fazladır. Sementasyon zamanı buna orantılı olarak uzayacağı için , genellikle çeliğin östenitik dönüşüm sıcaklığının 25-50°C üzerindeki bir sıcaklıktan faydalanılır. Zamanı önemli derecede azaltmak amacıyla sıcaklığın da buna paralel olarak yükseltilmesi hiçbir şekilde tavsiye edilmez. Herhangi bir çelik östenitik veya ferritik halde iken karbüre edilebilirler. Fakat difüzyon hızı çok yavaş olduğundan , yüzey ile iç kısım arasında yüksek bir karbon gradyanı meydana gelir. İşlem sıcaklığı istenilen maksimum yüzey karbon konsantrasyonunun bir fonksiyonudur. Bu yüzey konsantrasyonu , işlem sıcaklığında östenitin doygunluğuna tekabül eder.

Mc Cuaid 800°C %3,1C ve 875°C'de %1,8 C yüzey tenörlü karbon konsantrasyonu gerçekleştirilmiştir. Yüzeyin bu kadar yüksek karbon konsantrasyonuna sahip olması , oksidan atmosferlerdeki oksit filmine benzer bir şekilde yüzeysel bir sementit filminin teşekkülü ile izah edilebilir.

Şunu da hatırlamak gerekir ki , bakır levhayla kaplanan veya bakır esaslı boyayla kısımlardaki kaplananlar, kaplanmamış yüzeye yayılarak karbürleştirmeye tesir eder ve yayılan alanlarda karbürleşme meydana gelmez. Bu durumlarda odun kömürü esaslı veya özel olarak imal edilmiş kok esaslı karbürleştirme maddesi kullanılmalıdır.

IX . SEMENTASYON HATALARI VE ÖNLENMESİ

Sementasyonun endüstride genişçe kullanılmasına karşılık işlem sonucunda görülen hataların bazılarının tamamen önlenmesi ekonomik olmaktadır. İyi bir sementasyon işlemi için ;

- Homojen bir çelik ,
- Homojen bir sementasyon gereci ,
- Homojen bir çalışma tarzı ,
- Mükemmel bir sertleştirme tarzı gerekmektedir.

IX . 1 YETERSİZ SERTLİK VE YUMUŞAK KISIMLAR :

Sementasyon işlemlerinin ana prensibi yumuşak çeliğin yüzeysel sertleştirilmesi olduğuna göre sertleştirmenin yetersiz olması önemli bir hatadır. Bu hatanın başlıca sebebi kabul toleranslarını aşan emprüteleri içeren çelik kullanmaktır. Çelikte bulunması gereken kükürt miktarı max. % 0,035 olmalı ve çelikte oksidasyon ve segragasyon görülmelidir. Eğer böyle çelikler kullanılacak olursa ne kadar dikkat edilecek olursa olsun , genede yumuşak lekeler oluşur. Bu nedenle sementasyon çeliklerinin ciddi bir şekilde seçilmiş olması gerekir. Mangan ve kromun oluşu karbonun nüfuziyetini arttırdığı, silisyum ile alüminyum ise az azalttığı ve hatta mani olduğu söylenebilir. Nikel çeliğin nüfuz süratini ve sertliğini arttırmaz , buna rağmen yumuşak noktaların kusurlarını izole eder.

Yetersiz sertlik ile yumuşak noktalara iyi cins sementasyon çeliklerinde de rastlanabilir. En basit sebep parçanın yetersiz sementasyonu veya su verdikten sonra karbonun kötü bir şekilde dağılışıdır.

Yetersiz karbon nüfuziyetinin nedenlerini şöyle özetleyebiliriz :

q Sementasyon kutusu için parçanın çökmesi ve aktif gaz verecek ortamın zayıflığı.

q Sementasyon vasıtasının çok fakir , kötü kaliteden olması.

q Sementasyon kutularının iyi olmaması nedeniyle ortamdaki sementa gazlarının kaçması ve azalması.

q Sementasyon işlemi sona ermeden ortamın karbonun bitmesi nedeniyle metalik yüzeyin karbon nüfuziyetine doymayışı.

Senelerin verdiği tecrübelerle dayanılarak sementasyon ortamı ile parça ağırlığı arasındaki oranın A/S 'nin 0,240 kg , sementasyon ortamına göre parça ağırlığı 1 kg olmalıdır. Sementasyonu önlemek için parçanın üzerinde yağ , gaz, tutkal ... v.b gibi pislikler bulunmamalıdır.

IX . 2 SICAKLIĞIN ETKENLİĞİ VE SU VERME HATALARI :

Karbonun dağılımı düzgün ve doğru olduğu halde sıcaklığın etkenliğine bağlı olarak karbonlaştırılmış yüzeyin sertliği üzerinde arzu edilmeyen hatalar meydana çıkar.

Isıtmanın oksitleyici bir ocakta yapılması ve parçanın uzun müddet kalması sonucunda metal yüzeyinin dekarbonizasyona uğrayışı böyle bir hatanın nedenidir. Sementasyon işlemi esnasında fazla ısıtma yapılmışsa dokuda büyük kristaller oluşumu nedeniyle parça kırılgan olur. Fazla tavlama sonucunda yüzey oksitlenir. Bunun sonucunda su verme doğrudan doğruya yapılırsa sertlik yeterli derecede temin edilmez. Su verme derecesinin çok düşük olduğu hallerde sementasyon , rejenerasyon bir ve çift su verme gibi işlemlerin hiç bir faydası yoktur. Ötektoid bir çeliğin sertleştirilmesi için tav derecesi olan 780 - 800 dereceye kadar ısıtılması gerekmektedir. Bundan sonra yapılan su verme sementasyon doğru olarak yapılsa bile yeterli bir sertlik temin etmez. Tav fırınının durumu hassasiyetle tanzim edilmiş olmalıdır. Parçaların yüzeyini fazla miktarda kükürt oluşturan bazı yakıtların etkisinden korumak için ocağın içinde nötr bir bölge meydana getirilmelidir. Aksi takdirde sülfür oluşumu nedeniyle lekeler oluşur.

IX . 3 DÜŞÜK BİR YÜZEYSEL SERTLİK :

Küçük parçalara su verirken kısaçla tutulan bölgede yumuşak bir yüzey meydana gelir. Bu parçalara su verilirken banyonun içine yüzeyin muhtelif noktalarına dağılacak şekilde sertleştirilmelidir. Büyük parçalara su verilirken , parçaların banyodaki hareketi hızlı olmamalıdır. Çünkü parçanın arkasında süratli hareketinden dolayı bir boşluk oluşur. Bu boşluktan dolayı sıvı ile temas edemeyen yüzey yumuşak kalır. Soğutma sıvısının sıcaklığına dikkat edilmelidir. Bu sıcaklık yağ için 30 °C , su için ise 20 °C civarında olmalıdır. Banyo hacminin küçük sıvının sürekli olarak hareketi sonucundan dolayı parçanın hareket ettirilerek soğutulmasına gerek duyulmaz.

İyi bir termometre ile atelye hazırlanmış olmalıdır. Krom - Nikel veya Krom - Mobilden sementasyon çeliklerinde soğutma yağının 60 °C 'ye kadar ısıtılmış olması bir tehlike yaratmaz. Fakat yumuşak sementasyon çeliklerinde su verilmesinde ortam sıcaklığının yükselmesi arzu edilmeyen bir durumdur. Çünkü 30 °C 'de bile kabul edilebilir bir sertlik elde etmek mümkün değildir. Bu nedenle banyolarında Frem -12 ile çalışan bir soğutma sistemi bulunmalı ve soğutma banyosu sıcaklığı her su verme esnasında başlangıç noktasında tutulmalıdır.

Sementasyon çeliklerine su vermede banyonun yağlı ve sabunlu olmamasına dikkat edilmelidir. Atelyede çalışan elemanların banyoda ellerini yıkamaları önlenmelidir.

Bütün bu faktörlere dikkat edildiği halde sementasyon yapılmış ve su verilmiş parçalar kaba bir rektifiye dolayısıyla sertlik oluşturmayabilir. Bu gibi parçalar yüzeysel olark eğe ile tesviye edilirken kuvvetli tazyik sonucunda eğenin sert dişlerinden bazıları , söz konusu yüzeye saplanarak aldatıcı bir sertlik meydana getirebilir. Bu nedenle parçalar sertlik muayenesi yapılmadan önce yumuşak bir polisaja tabi tutulmalıdır.

IX . 4 SEMENTASYON TABAKASININ DÖKÜLMESİ (Ecaillage) :

Sementasyon tabakasının dökülmesi bazen su verme esnasında da olabilir. Bu hatanın başlıca sebepleri : Çok ani bir sementasyon veya yüksek sıcaklıklarda yapılmış çok derin bir sementasyondur. Bu işlem neticelerinde yüzeyde serbest sementit meydana gelir. Sementasyon çeliklerinde çok yüksek Mangan yüzdesinin zararlı tesirleri vardır. Mangan oranı % 0,60 'ı aştığı takdirde , kırılıcılık ile su verme esnasında sementasyon tabakasının dökülmesi tehlikesi de fazlalaşmış olur.

Sementa edilen parçanın sementasyon tabakası ile derin kısımları arasında iyi bir geçit teşkil etmeye çalışılmalıdır. Bazı sementasyon gereçleri ile bu iki kısım arasında çok net bir sınır ve karbonlaşmış kısım ile çekirdek arasında da çok bariz bir fark meydana gelebilir.

Sementasyon tabakasının dökülmesine mani olmak için , parçanın en dışından içine doğru muntazam bir şekilde azalan karbon tenörünü sağlayabilecek bir gerecin ve ortam şartlarının kullanılması gerekir. Böylelikle ayrı bir hata olan fazla karbonlaşma gibi bir mahzur ortadan kaldırılabilir.

Sementasyondan sonra parça Kriges(Crigues) , Tapures sementasyon tabakasının dökülmesi ve deformasyondan korunması isteniyorsa ani ve şiddetli ısıtımlardan kaçınılmalıdır. Su verme işlemini hemen takiben en az 15 dakika 180 °C 'de tavanarak gerginliklerin giderilmesi gerekir. Bu işlem aynı zamanda birçok hallerde sementasyon tabakasının dökülmesini temin eden bir engellemedir. Sementasyon tabakası yüksek hızlardaki taşlamada fazla ilerleme süratinde ve yetersiz soğutma nedeniyle de kalkabilir. Bu durum genellikle mesamatı dolmuş taşlarda meydana gelebilir. Taşın masematı , kopardığı metalik parçalarla dolduğundan cam gibi kayganlaşır. Sonuçta kuvvetli bir hararet oluşur , ki bu da Crigue meydana getirir. Bu nedenle taşlama şartları da büyük bir önem kazanır. Bu gibi mahzurların önüne geçmek için parça , yumuşak taşlarla taşlanmalı , iyice soğutulmalı ve taşın ilerleme sürati az olmalıdır.

IX . 5 SU VERİLMİŞ PARÇALARIN KIRILICILIĞI :

Yüksek sıcaklıklardan ve uzun süren sementasyondan oluşan kırılıcılığı önlemek için yumuşak karbon çeliği cinsinden olan parçalar çift su verme (910 °C ve 790 °C) işlemine tabi tutulmalıdır. İlk su verme tanelerinin incelenmesi için 910 °C 'lik bir tavlama sonrası 200 °C 'ye kadar soğutulur. Aynı soğutma bir fayda sağlamaz. Çünkü sertlik temini için bir su verme işlemi zaten yapılacaktır.

İlk su verme işlemi ise en az 10 °C 'lik suyla yapılmalıdır. 790 derecedeki tavlama ve bunu takip edecek su verme işlemi çok dikkatle yapılmalıdır. Kırılıcılık hemen hemen genellikle parçanın gereğinden fazla tavlamanmasıyla meydana gelir. Bilhassa bu mahzurları ortadan kaldırmak için , komplike şekilli çok değişik parçalara su vermede , banyoya % 15 nisbetinde tuz (NaCl) ilavesi tavsiye edilir. Bu suretle suyun sıcaklığı yükseltilerek soğutma şiddeti düşürülür ve sonuçta su verme işlemlerinin daha düzgün yapılması sağlanır.

Düzgün olmayan parçaların tavlama sırasında , ince kısımların fazla tavlama önlemek için , bu parçaların her tarafına homojen bir tavlamanın tatbik edilmesini sağlamak amacıyla bazı özel tedbirlerin alınması gerekir. Bu amaç için en iyi çare çeşitli kontrol imkanları mevcut olan tuz banyoları kullanmaktır. Kademeli bir şekilde su verme işleminde çok iyi bir çaredir. Çünkü ıslah edilmemiş extra-yumuşak sementasyon çeliklerinde pratik olarak böyle izotermik bir su vermeden pek sonuç alınamaz.

IX . 6 DEFARMASYON VE DİSTORSİYON :

Uzun ve komplike parçalara su verilmesi için özel su verme makinaları yapılmıştır. Deformasyon genellikle yüksek derecelerde (900-950 °C) , aynı zamanda uzun süren bir ısıtma ve 910 °C 'de rejenerasyon için su vermekten dolayı meydana gelir. Bu işlemler esnasında tavlama ve soğutma dolayısıyla parçanın en ince tarafında , satıhta soğutma hızı daha yüksek olduğundan hacim değişikliği sonucunda deformasyon meydana gelir. Tav ocağının parçaları iyi tertiplenmemiş olması nedeniyle bu gibi deformasyonlar meydana gelebilir.

Yukarıda nedenleri açıklanmış olan bu ve buna benzer deformasyonların doğrultulması gerekmektedir. Çok derin sementa edilmiş parçaların doğrultulması zor olacağından 180 - 200 °C 'ye kadar ısıtılması gerekir. Fakat en ideal veri , mümkün olduğu kadar doğrultma işlemini ortadan kaldırıcı tedbirler aramaktır. Simetri eksenini olan bazı parçalar için en az deformasyon veren bir su verme yönü mevcuttur. Fakat bunu tesbit edebime , çalışan elemanların tecrübe ve görüşüne bağlıdır.

Önemli ve seri imalatı yapılması gereken parçalar için Gleason makineleri cinsinden su verme tertibatı kullanılır. Bu tip makinelerin parçaları merkezleşmiş olarak kalıplar içinde , muntazam bir şekilde , işçiye gerek olmaksızın soğutulmuş olarak deformasyondan kurtarılır.

IX . 7 PITTING HATALARI :

Genellikle kutu sementasyonunda görülen bir hatadır. Karbürleştirme esnasında çelik parçaların Pittinglenmesi , karbürleştirme maddesinin nemli olmasından ileri gelir. Pratik olarak karbürleştirme maddesi yeni iken bir miktar nem içerir. Pittinglenmeyi önlemek için en iyi çare , karbürleştirme maddesinin temiz olmasına dikkat etmek ve kullanmadan evvel kurutmaktır. Sülfürlü kesme yağları , silis ve diğeryabancı maddeler , bazen karbürleştirme maddesiyle reaksiyona girerek çelik parçasının Pittinglenmesine yol açar.

IX . 8 SİYANÜR BANYOLARI SEMENTASYONU HATALARI :

Önce siyanür banyolarının zehirleyicilik tehlikesini belirtmekte fayda vardır. Doğrudan doğruya teneffüz edildiği zaman siyanürün çok kuvvetli bir zehir olduğu bilinmektedir. Fakat gerekli önlemler alındığı takdirde bu etki önlenir. Yeni bir siyanür banyosunun tenörü hava ile temas sonucunda yüzeysel oksidasyonla süratle azalır. Bu nedenle bazen siyanürü korumak ve ısı kaçışını önlemek amacıyla banyo üzerine ince kömür veya saf pulcuklar halinde grafit tabakası oluşturulur.

Siyanür banyolarının sıcaklıkları doğru olarak kullanılmalıdır. Prensipsel gereklilik yönünden kabul edilen banyo sıcaklığı üstünde (Prensipsel sıcaklık 780-910 derecedir.) siyanür uçarak banyonun terkiibini bozar ki , bu da sementa edilen parçanın kalitesini etkiler.

Banyoların bakımındaki ihmal , çamur , pislik birikmesi , kil ,kum v.s gibi toprak ve klörürlerin banyoya girmesi halinde banyo terkibi bozularak yanlış neticeler doğmasına sebebiyet verir. Bu düşünceler ile , parçaları siyanür banyosuna daldırmadan önce üzerinde bulunabilecek çeşitli kirliliklerin giderilmesi gerekir. Banyonun dibinde birikecek olan çamur ise her gün alınmalıdır.

Siyanür banyosundan çıkan parçaların yüzeyinde delik ve aralıklarda tuz kalabileceğinden bunlar temizlenmelidir. Aksi takdirde metalik parçalarda derhal korozyon başlar. Prensipsel yönden suda soğutulurken siyanür tuzları erir. Yağda su verme de yapılabilir ki bundan sonra tuzlar çok yapışkan olduklarından , içinde yağ çıkartıcı maddeler bulunan kaynar suda çıkartılır. Ticari eşyalar ise dekapaj yapılmak suretiyle temizlenerek daha sonra fosfatlanır. Isıl işlemleri tamamlanmış parçaların atelyeden uzaklaştırılmalarında fayda vardır.

IX . 9 ÖNEMLİ SEMENTASYON HATALARI ÖZETİ :

Endüstride yapılan sementasyon işlemlerinde meydana gelen en önemli hataları sebep ve önleyebilme yöntemiyle beraber özet halinde vermek , teorisinin pratiğe uygulanışı bakımından faydalıdır. Bu fayda göz önünde tutularak hataların sebeplerini ve önlenebilmelerini kısaca izah eden bir özetin işlem yapan organizatörün elinde bulunması endüstride geniş bir tatbikata yönelmenin bir başlangıcı olarak nitelendirilir.

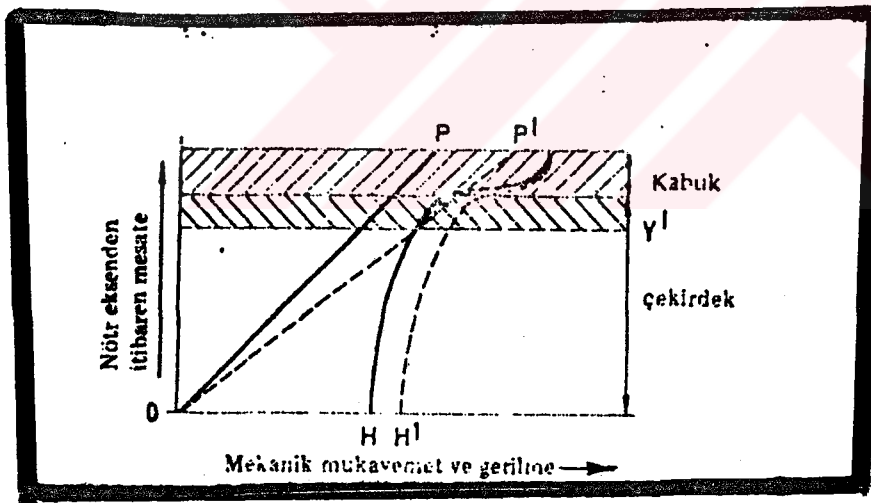
X . SEMENTASYONDA MEKANİK-MİKROYAPI İLİŞKİSİ :

Çeliğe yüzey sertleştirme işlemi uygulandığında , çeliğin yüzey sertliğinde orantılı aşınma direnci , esneklik (elastik landaki gerilme), burma ve yorulma mukavemeti artış gösterir. Bu özellikler için sertleştirme derinliği önemli bir etkidir.

Sertleştirilmiş yüzeye uygulanan basınç , malzemenin içine doğru ilerlerken , oluşturulan kayma gerilme en tehlikeli gerilmeler olarak düşünülür. Gerilmeli bir yüzeydeki kesit içinde en büyük kayma gerilmeleri yüzeyin kenarlarından uygulanan yüke doğru çıkış yapan bir yarım daire boyunca hareket ederler. Eğer aynı birim gerilme uygulanırsa yük altındaki alanın yüzeyi artacağı için , en büyük kayma gerilmeleri olan uzaklıkta artar. Eğer sertleştirilmiş tabakanın tam altındaki kayma gerilmesi artarsa, malzemenin kayma durumunda akma mukavemeti , plastik deformasyona neden olur ve sertleştirilmiş tabaka çatlamaya neden olabilecek büyük bir

yükü desteklemek zorunda kalır. Dolayısıyla yapılacak seçim sertleşme derinliğini artırma veya çeliğin merkez (çekirdek) mukavemetini artırma arasında olacaktır.

Derinliğin seçimi , çoğu kez bir deneyim meselesi olup , teorik düşüncelerin bir sonucu olarak nadiren gerçekleşir. Pratikte yükün iki kütle yüzeyi arasındaki ara yüzey kesitinde ender olarak muntazam dağılım göstermesi , yapılan hesaplamaları iyice karışık hale sokar. Çentiksiz , çok iyi parlatılmış numunelerden oluşan yorulma kırılmalarının ilk başlangıç yeri yüzey değil , çekirdek ve sertleştirilmiş tabaka arasındaki bölgedir. Bu olay *şekil X.1* 'de görülen şematik gerilme diyagramı sayesinde açıklanabilir. Bu şekil , yüzey düzlemi ve nötr eksen arasındaki enine kesiti temsil etmektedir. H , merkez ve sertleştirilmiş tabakanın malzemelerin mukavemetini temsil eder. Eğer OP , parça içinde dış yükleme gerilmesini temsil ederse , çeliğin mukavemeti H, aşılmamış olur. Daha büyük gerilme olduğunda (OP) geçiş bölgesinde malzemenin mukavemeti aşılır ve dolayısıyla burada bir çatlak oluşur. Bundan kaçınmak için daha yüksek mukavemetli merkez (H^2) veya daha büyük sertleşme derinliği seçilmelidir.



Şekil X.1 Yüzey ve nötr eksen arasındaki yüzey için şematik gerilme diyagramı.

Sınır bölgesinde başlayan yorulma çatlağı , merkezde çabuk ilerleyerek sertleşmiş tabakaya geçtiğinde parçanın ani kırılması kaçınılmazdır.Bu olayda merkez mukavemetinin yorulma sınırı üzerinde önemli bir etkisi olduğu açıkça görülebilir. Çünkü çatlaklar , genellikle yorulma sınırı sementle olmuş tabakadan daha düşük olan merkezde başlar.

Bununla beraber , optimum bir merkez mukavemetinin varlığı söz konusudur. Bu değerin artırılması ile yorulma yavaşlatılır. Merkezin mukavemeti alaşım elemanı ilavesiyle (özellikle karbonla) artırılır. Ancak merkezde dönüşüm başlamadan önce geçen süre ne kadar uzun olursa, sementasyon tabakasındaki basma gerilimleri o denli düşük olur. Yorulma kırılmasına karşı max. direnç için , merkezin yüzey sertleşmesine sonrası optimum çekme mukavemeti genellikle 100 ila 150 kg / mm² arasındadır.

XI DENEYSEL ÇALIŞMA

XI. 1 NUMUNERİN SEÇİMİ :

Numuneler Pankurt San. A.Ş. firmasının üretimi olan diferansiyel kilit kaplin adlı parçadan 20 × 20 ölçülerinde kesilerek hazırlanmıştır.

XI. 2 NUMUNELERİN KİMYASAL BİLEŞİMİ :

25 MoCr4 Kimyasal Analizi

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
0,18	0,25	0,7	0,04	0,04	0,4	0,2	0,5

XI . 3 NUMUNELERE UYGULANAN ISIL İŞLEM :

Sıcaklık(°C)	Zaman(saat)	Yapılan İşlem
880	1/2	Sementasyon+Martemperleme
	1	Sementasyon+Martemperleme
	2	Sementasyon+Martemperleme
	4	Sementasyon+Martemperleme
	6	Sementasyon+Martemperleme
930	1/2	Sementasyon+Martemperleme
	1	Sementasyon+Martemperleme
	2	Sementasyon+Martemperleme
	4	Sementasyon+Martemperleme
	6	Sementasyon+Martemperleme
980	1/2	Sementasyon+Martemperleme
	1	Sementasyon+Martemperleme
	2	Sementasyon+Martemperleme
	4	Sementasyon+Martemperleme
	6	Sementasyon+Martemperleme

XI . 4 KULLANILAN FIRIN TİPİ :

Çift brülörlü 300 kg kapasiteli sıvı yakıtla çalışan 2 adet termokuplu siyanürlü tuz banyosudur.

XI . 5 NUMUNELERE UYGULANAN SEMENTASYON İŞLEMİ SONUCU :

Sayfa(76-122)daki diyagramlardan gözlemlendiği gibi süre ve sıcaklığın artmasıyla karbonun difüzyon miktarı artmakta ve buna bağlı olarak da sertlik artmaktadır. Sayfa daki diyagramlarda standart sapmalardan çıkarılan hata eğrileridir. Bu diyagramların çıkarılmasında yararlandığımız formül aşağıdaki gibidir :

$$Tx = [\text{toplam} F(x - x_{\text{ortalama}})^2 / n]^{1/2}$$

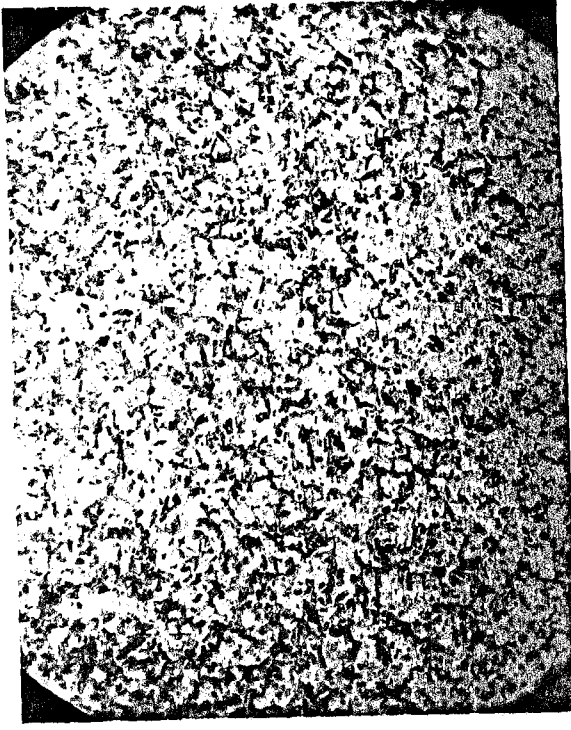
XII . Genel Sonuç :

Bu tez çalışmasında önce sementasyon çeliklerinin ; tanımı , standartları, sementasyon işlemi ve amacı teorik olarak araştırılmış , daha sonra elde edilen teorik bilgilerden deneysel çalışmalara geçilmiştir.

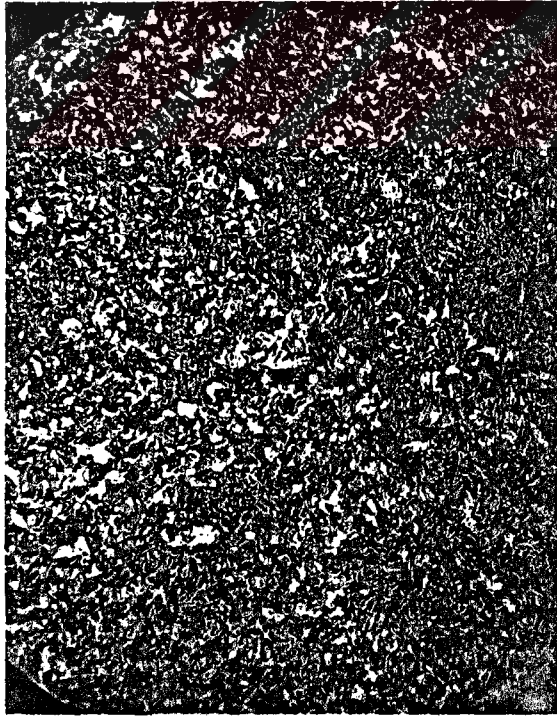
Deneysel çalışmanın amacı sementasyon çeliklerinin ısı işlemi için istediğimiz sertliğe göre ideal sıcaklık ve zaman değerlerini bulmak , aynı zamanda yaptığımız deneylere paralel olarak ölçümlerimizin idealden ne kadar sapmış olabileceğini hesap etmektir.

Pankurt San. A.Ş. 'de yaptığımız deneylerin sonuçları aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

- 1) Karbonun difüze olmasının sıcaklık ve zamana bağlı olduğu bir kez daha ispatlanmaktadır.
- 2) Sabit sıcaklıkta zamanı artırdığımız takdirde zamana bağlı olarak daha çok karbon difüze olmaktadır.
- 3) Sabit zamanda sıcaklığı artırdığımız takdirde sıcaklığa bağlı olarak daha çok karbon difüze olmaktadır.
- 4) 880 °C - 930 °C ve 980 °C 'lerde yapılan sementasyon işlemi sonrası standart sapma diyagramlarını incelediğimizde malzeme yüzeyinde ölçülen sertlik değerlerinin , malzemenin iç kısmında ölçülen sertlik değerlerine göre , ideal değerden daha fazla sapma gösterdiği görülmektedir.



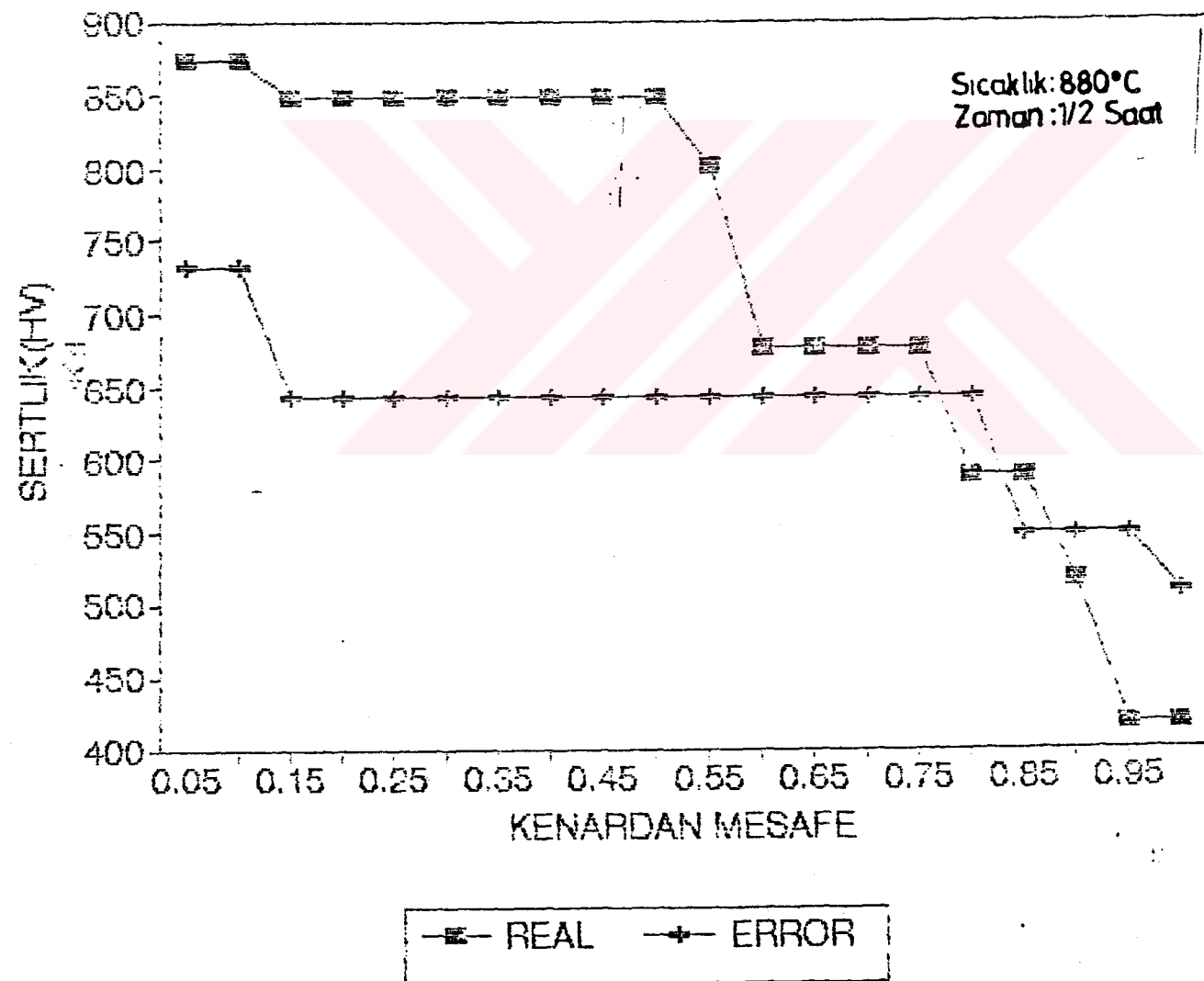
Sakıl II.1 'L6 Yayı



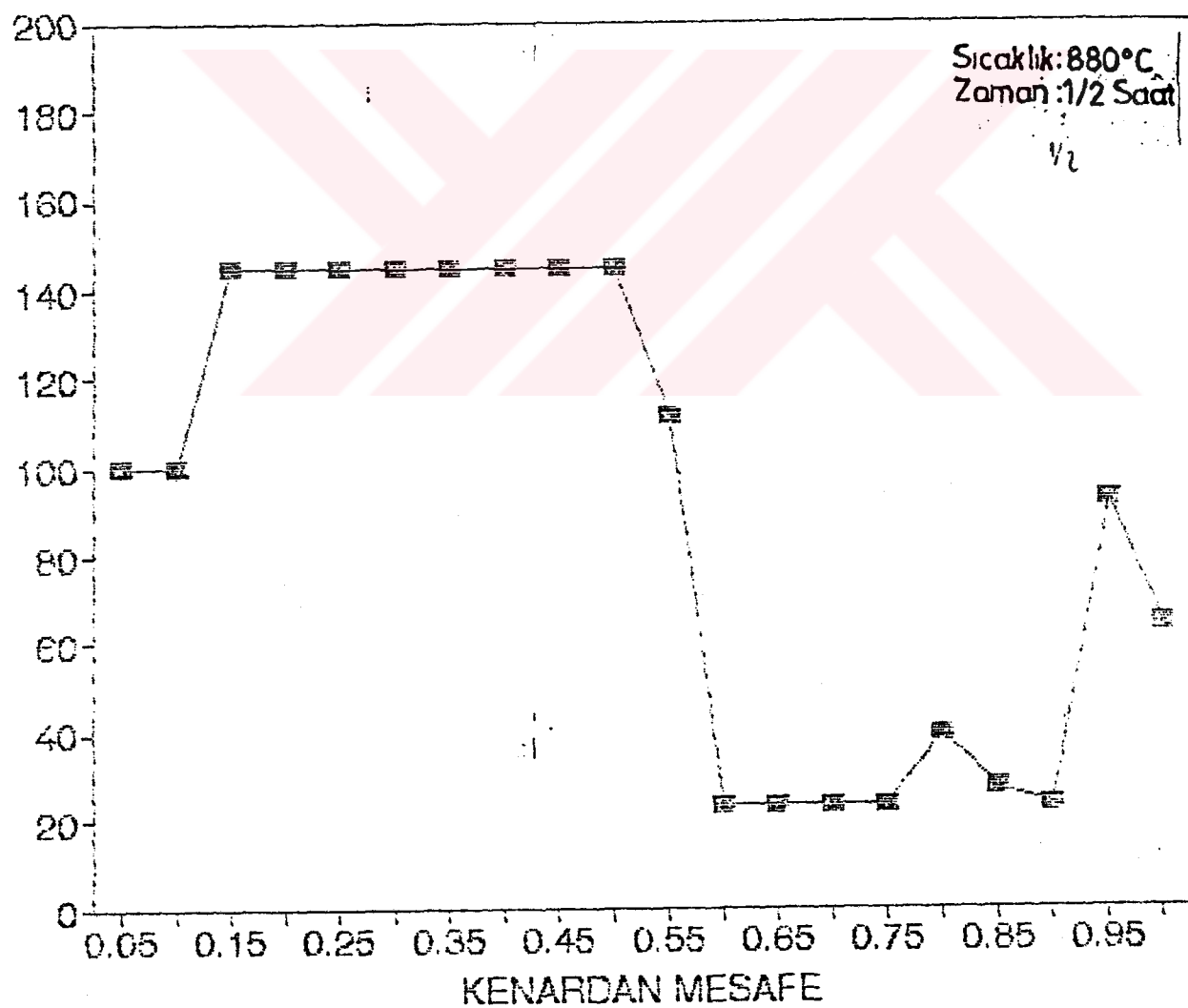
Sakıl II.2 Sementasyon Bölgesi

No : 1
Sic. 880 °C
Süre : ½ saat

<i>Kenardan mesafe(mm)</i>	<i>(Okul) Sertlik (HV)</i>	<i>(Uzel) Sertlik (HV)</i>
0,05	874	733
0,10	874	733
0,15	849	644
0,20	849	644
0,25	849	644
0,30	849	644
0,35	849	644
0,40	849	644
0,45	849	644
0,50	849	644
0,55	802	644
0,60	677	644
0,65	677	644
0,70	677	644
0,75	677	644
0,80	588	644
0,85	588	549
0,90	516	549
0,95	418	549
1,00	418	509



STANDART SAPMAH

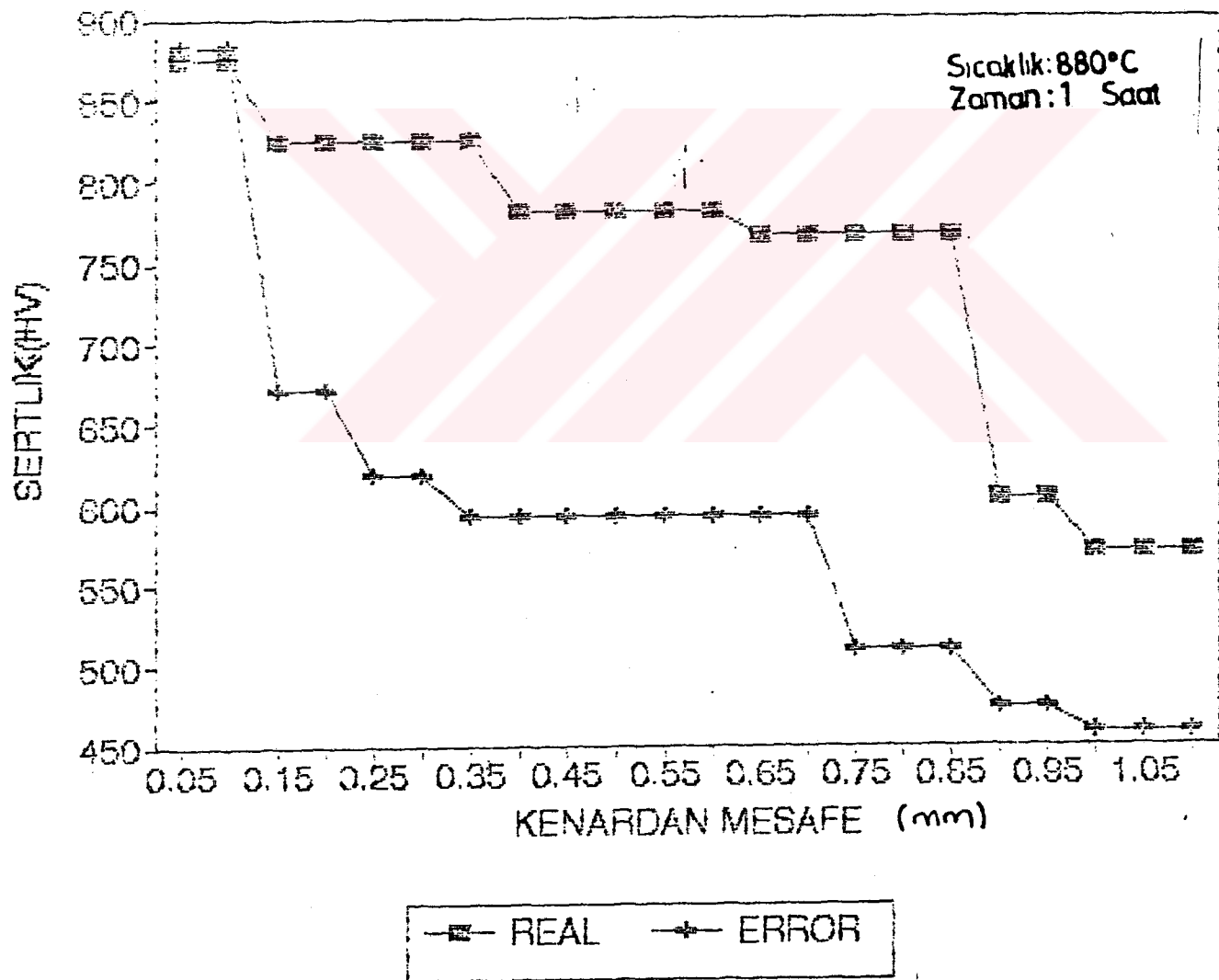


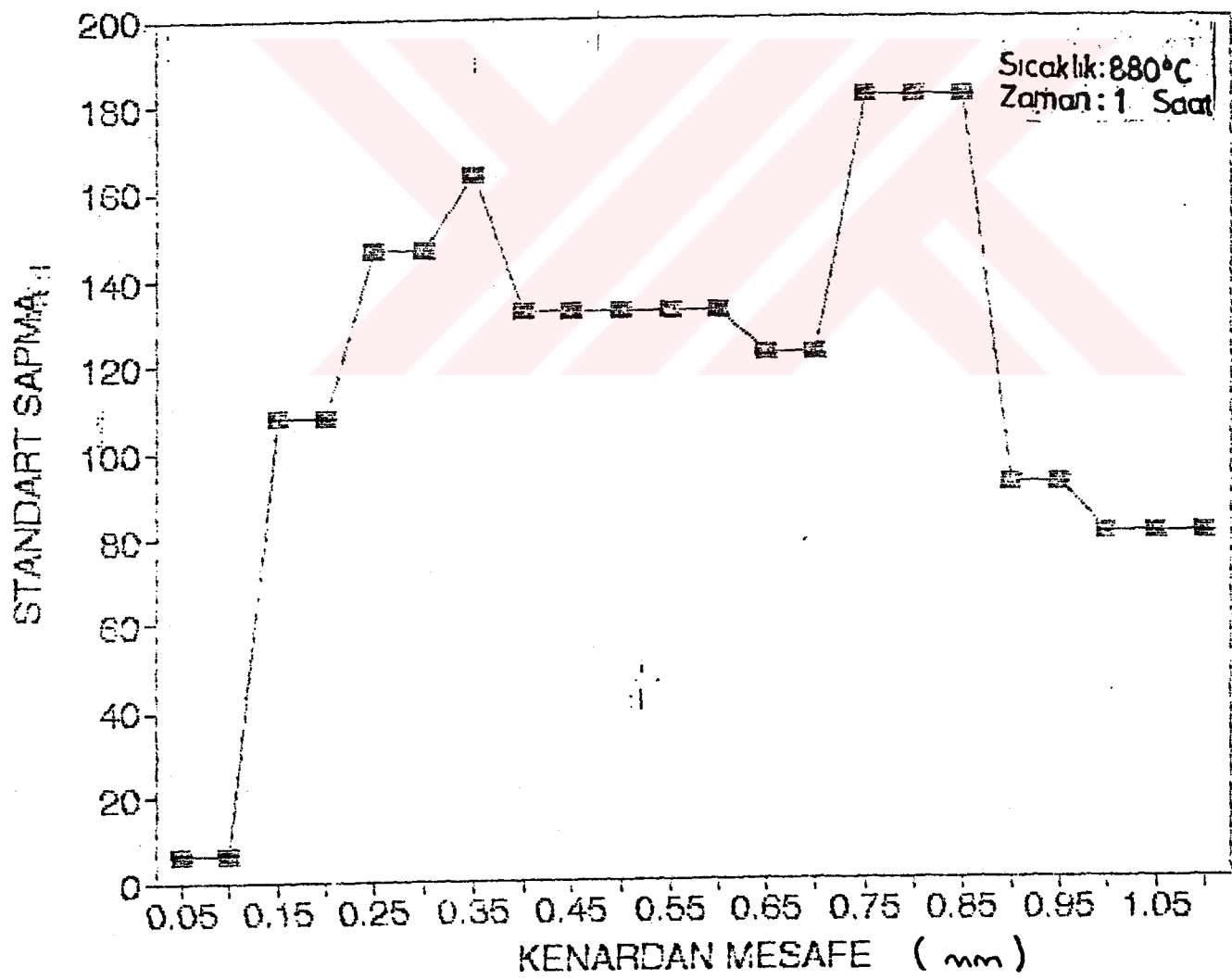
No :2

Sıc. 880 °C

Süre : 1 saat

<i>Kenardan mesafe(mm)</i>	<i>(Okul) Sertlik (HV)</i>	<i>(Uzel) Sertlik (HV)</i>
0,05	874	883
0,10	874	883
0,15	825	672
0,20	825	672
0,25	825	618
0,30	825	618
0,35	825	593
0,40	780	593
0,45	780	593
0,50	780	593
0,55	780	593
0,60	780	593
0,65	766	593
0,70	766	593
0,75	766	509
0,80	766	509
0,85	766	509
0,90	603	473
0,95	603	473
1,00	571	457
1,05	571	457
1,10	571	457



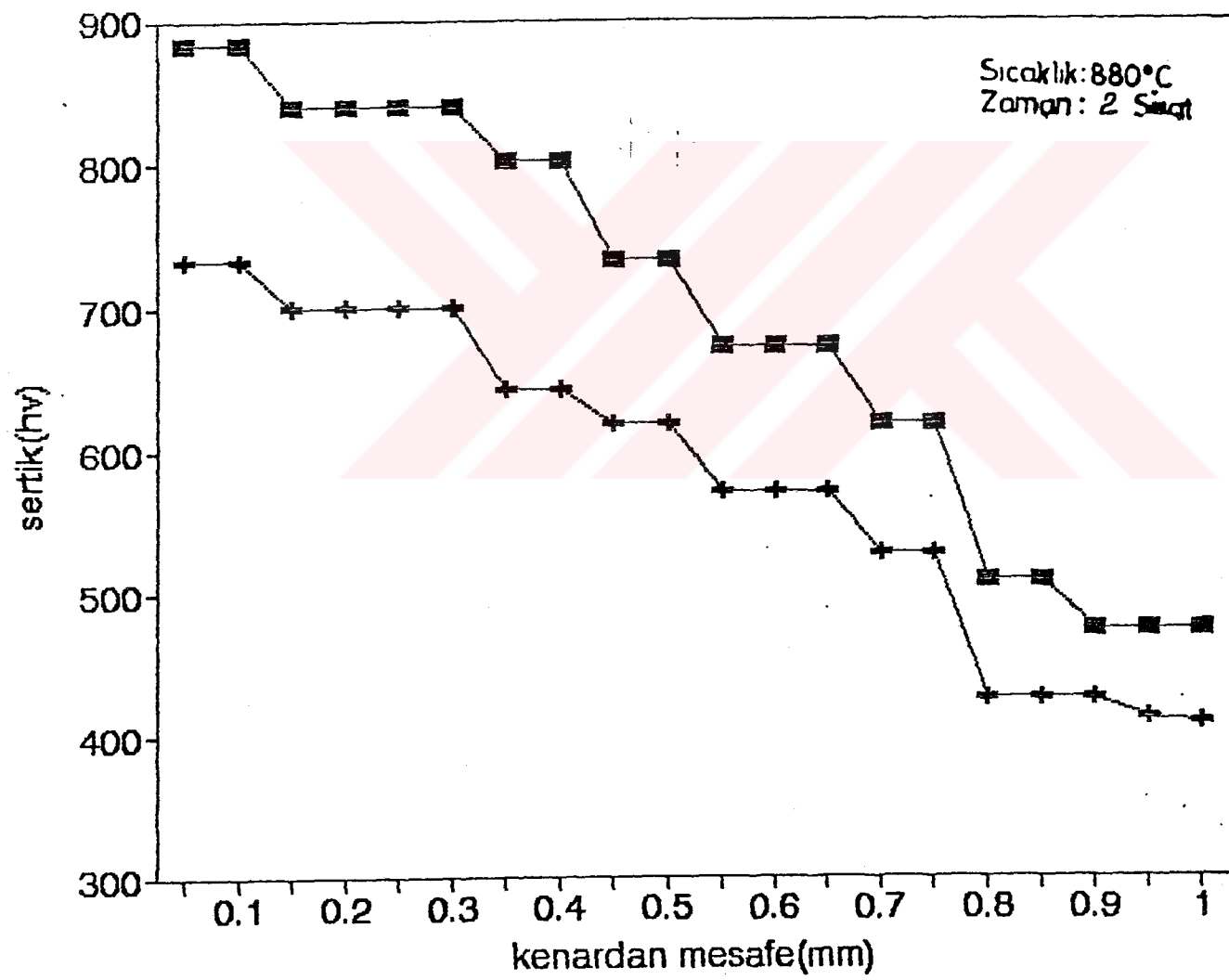


No : 3

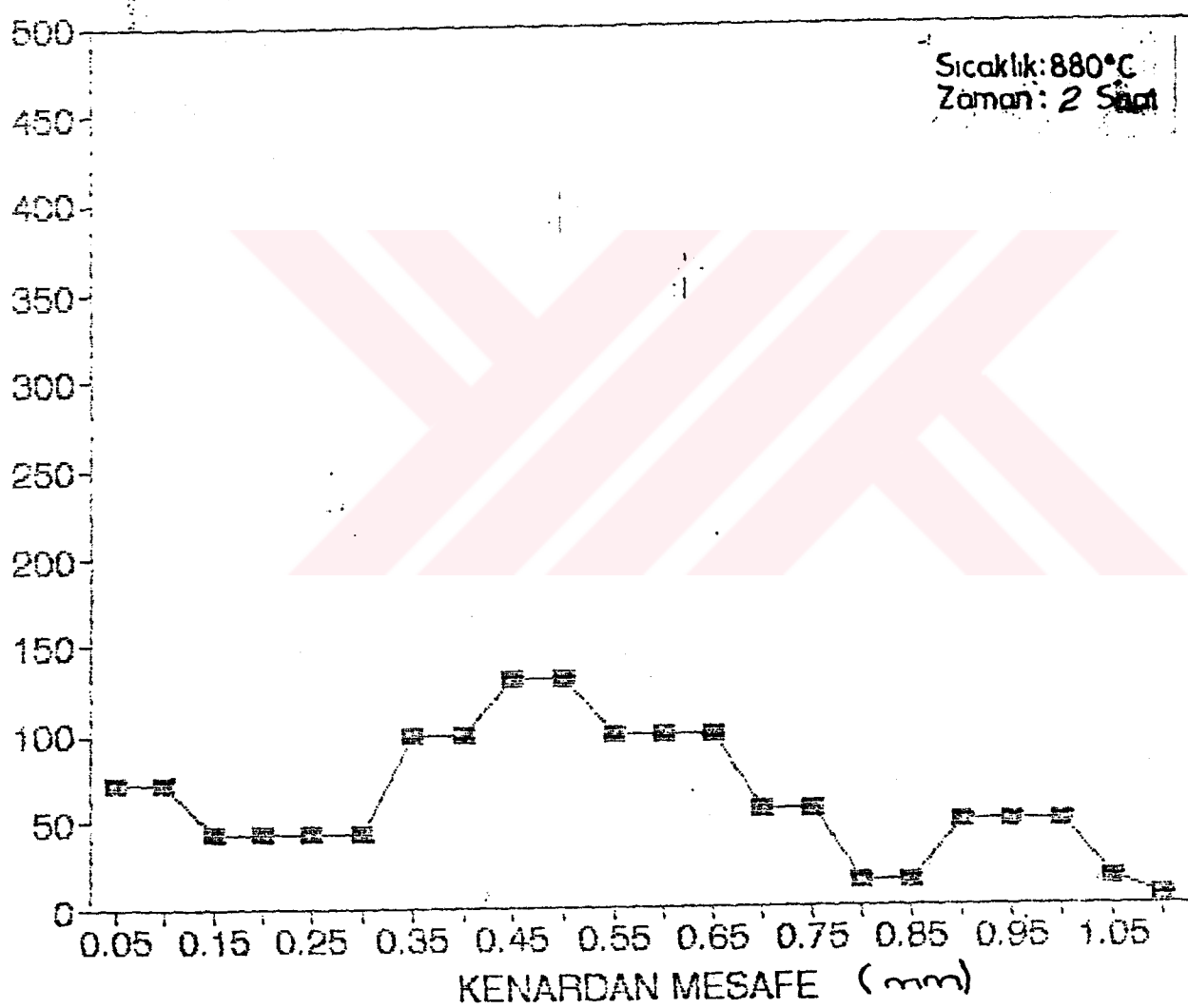
Sıc. 880 °C

Süre : 2 saat

Kenardan mesafe(mm)	(Okul) Sertlik (HV)	(Uzel) Sertlik (HV)
0,05	883	773
0,10	883	773
0,15	841	701
0,20	841	701
0,25	841	701
0,30	841	701
0,35	802	644
0,40	802	644
0,45	733	618
0,50	733	618
0,55	672	571
0,60	672	571
0,65	672	571
0,70	618	528
0,75	618	528
0,80	509	426
0,85	509	426
0,90	473	426
0,95	473	412
1,00	473	409



STANDART SAPMA

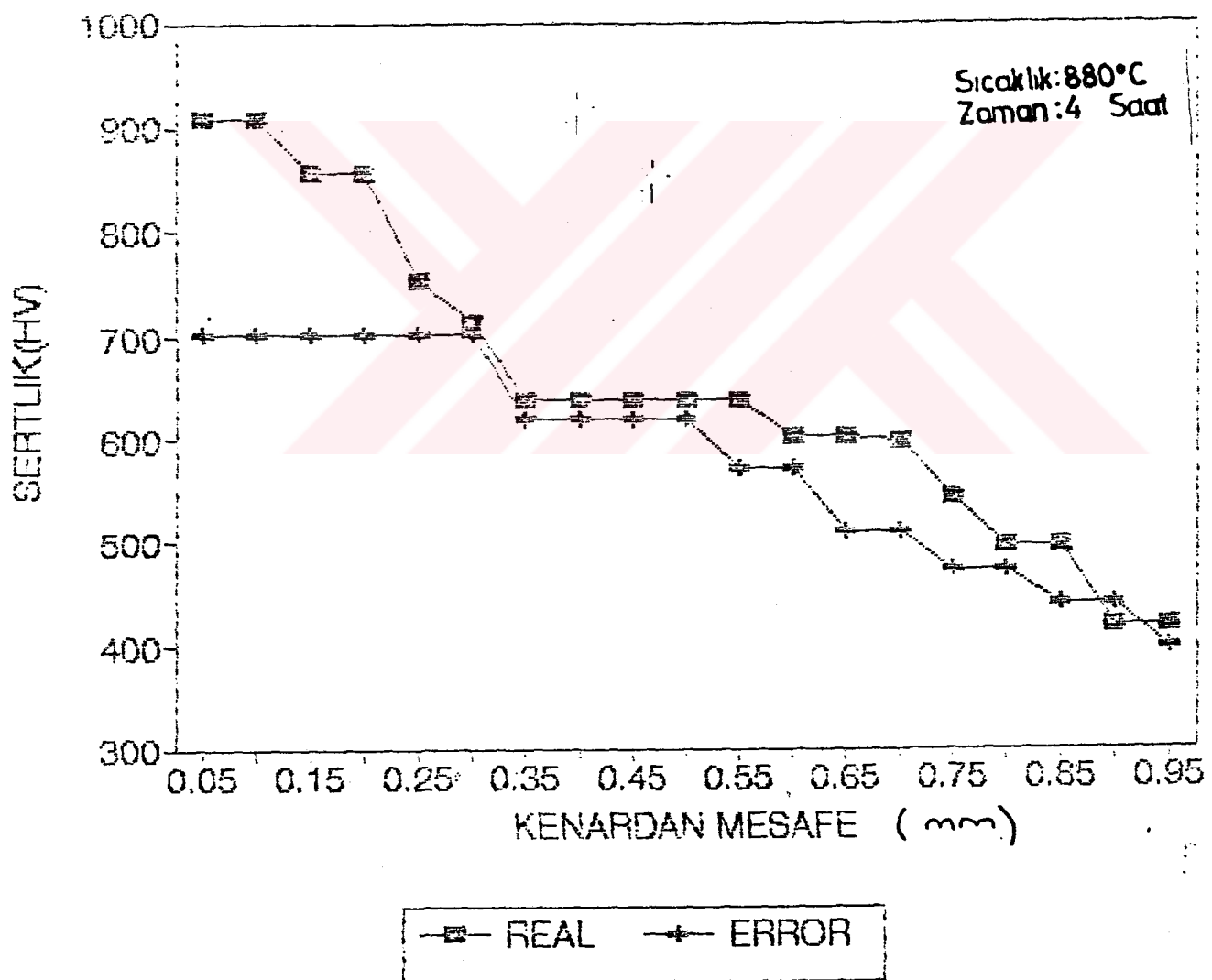


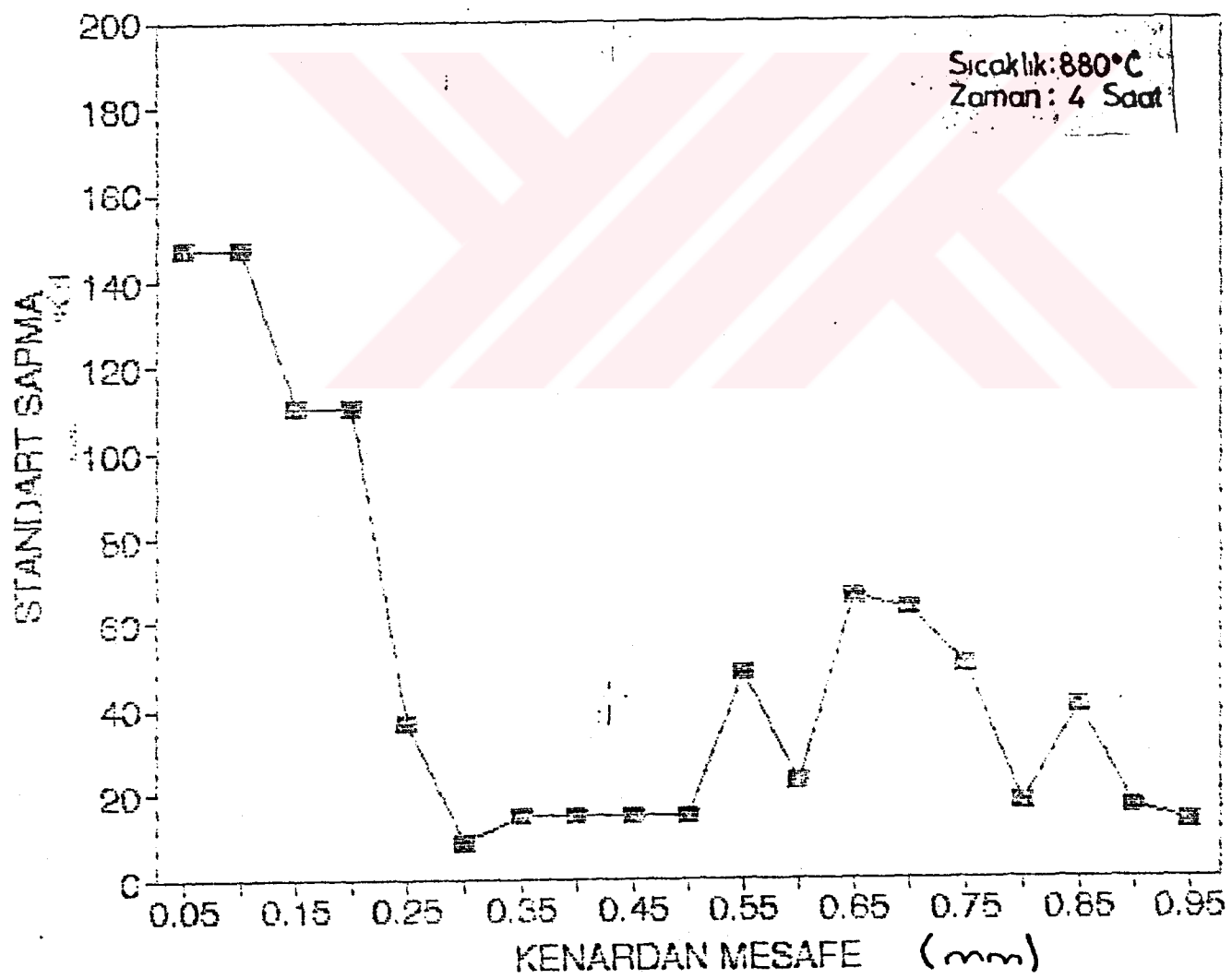
No : 4

Sic. 880 °C

Süre : 4 saat

<i>Kenardan mesafe(mm)</i>	<i>(Okul) Sertlik (HV)</i>	<i>(Uzel) Sertlik (HV)</i>
0,05	909	701
0,10	909	701
0,15	857	701
0,20	857	701
0,25	753	701
0,30	713	701
0,35	639	618
0,40	639	618
0,45	639	618
0,50	639	618
0,55	639	571
0,60	603	571
0,65	603	509
0,70	598	509
0,75	544	473
0,80	498	473
0,85	498	441
0,90	418	441
0,95	418	399



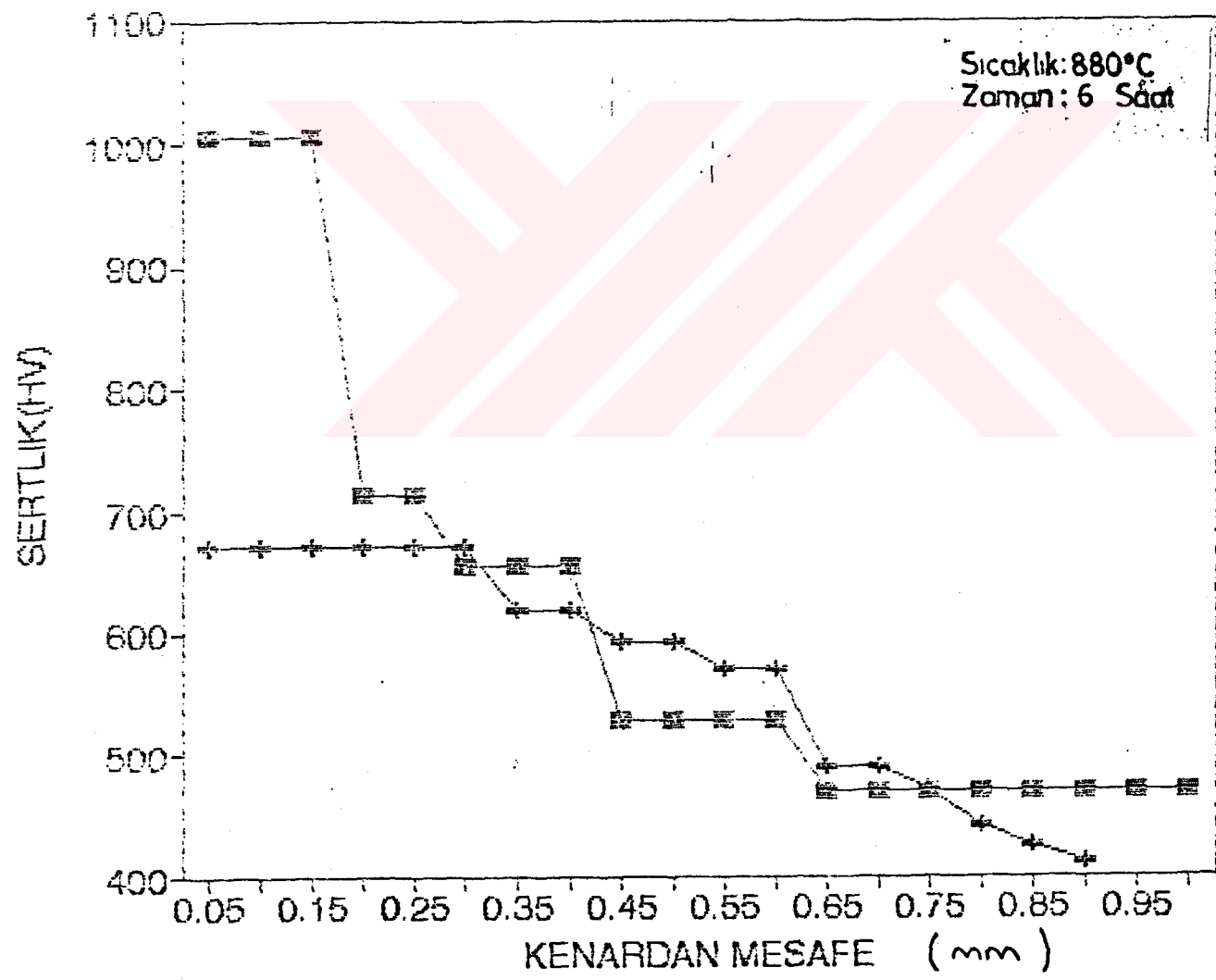


No : 5

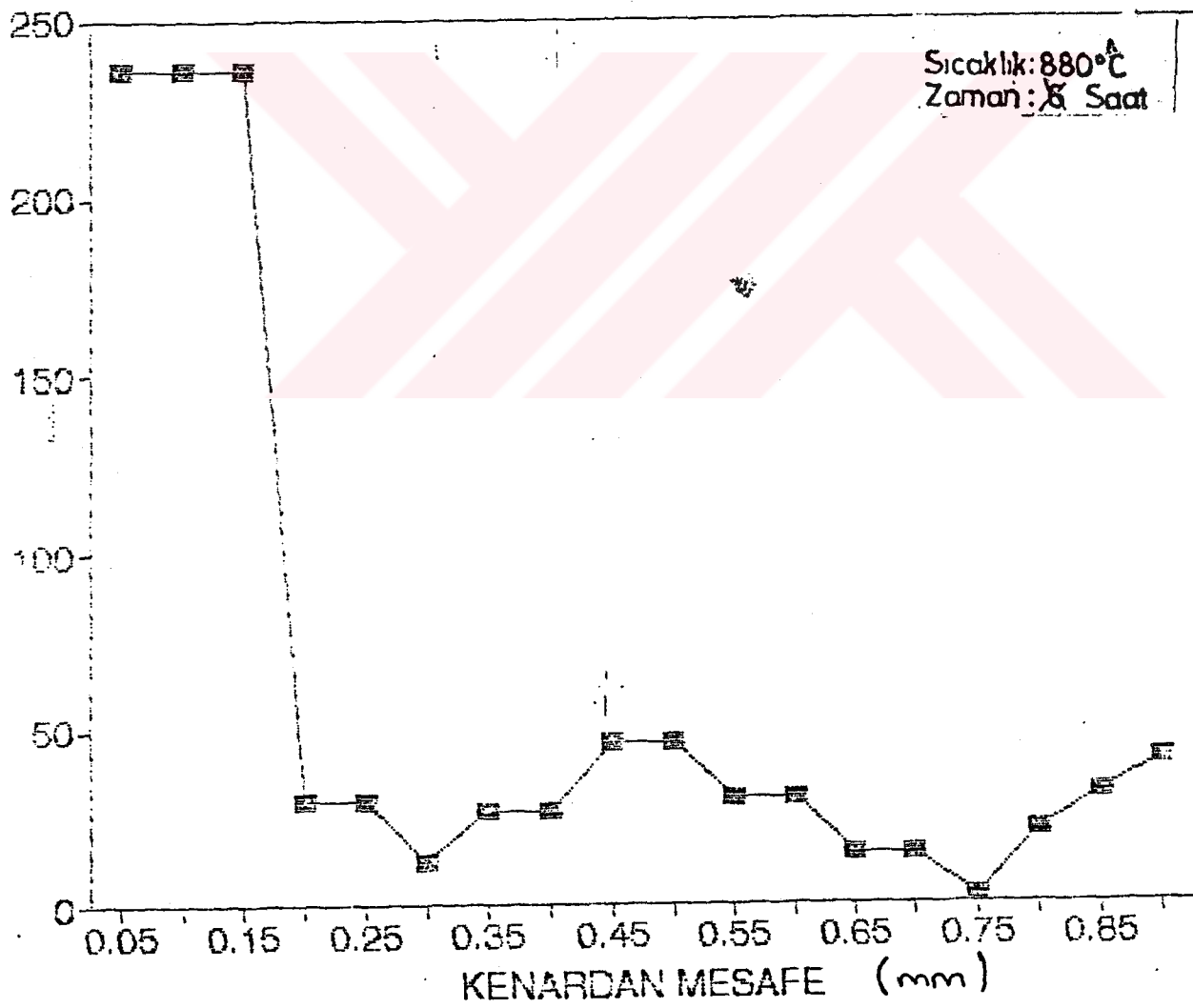
Sic. 880 °C

Süre : 6 saat

<i>Kenardan mesafe(mm)</i>	<i>(Okul) Sertlik (HV)</i>	<i>(Uzel) Sertlik (HV)</i>
0,05	1006	672
0,10	1006	672
0,15	1006	672
0,20	713	672
0,25	713	672
0,30	655	672
0,35	655	618
0,40	655	618
0,45	528	593
0,50	528	593
0,55	528	571
0,60	528	571
0,65	470	490
0,70	470	490
0,75	470	473
0,80	470	441
0,85	470	426
0,90	470	412



STANDART SAPMA

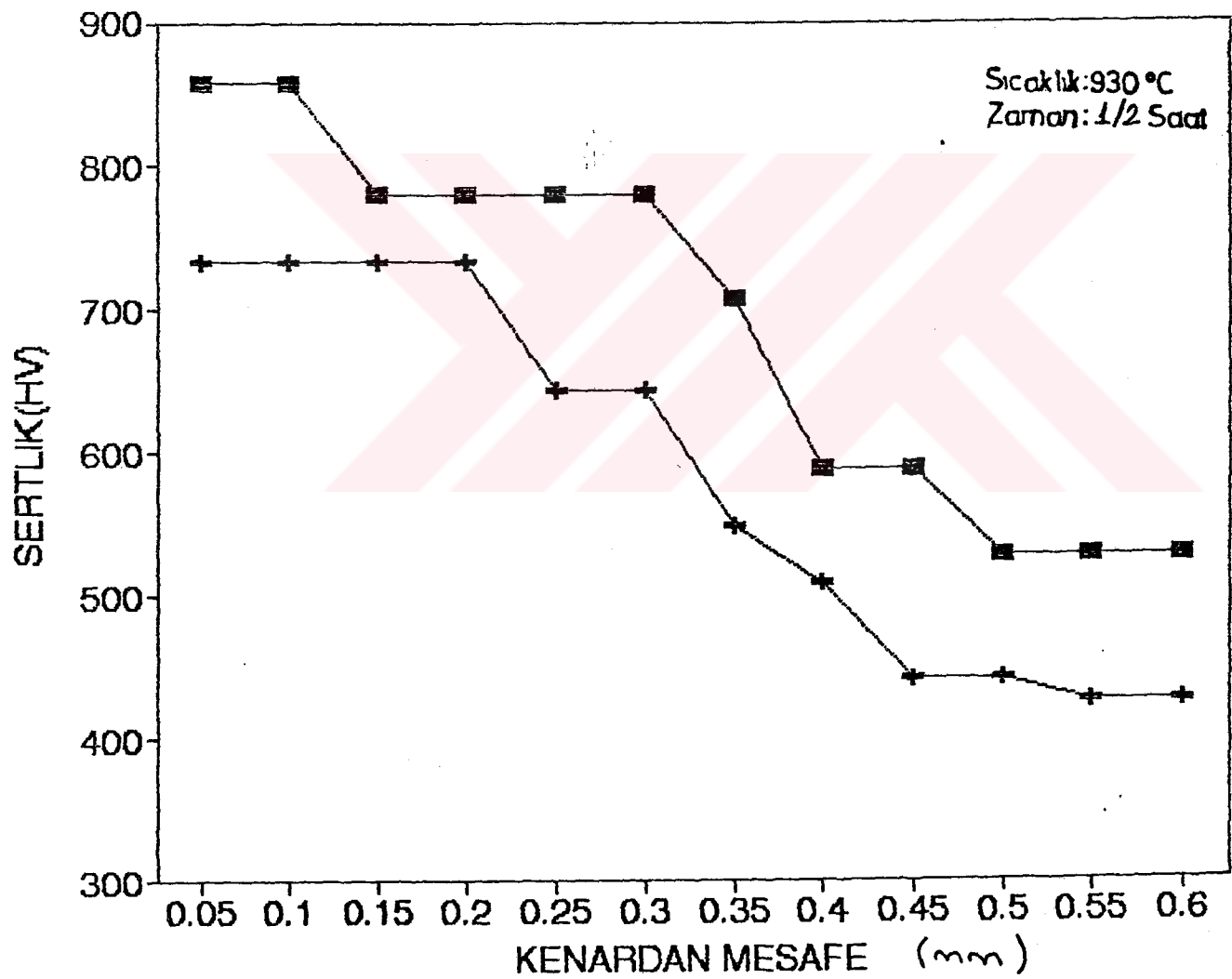


No : 6

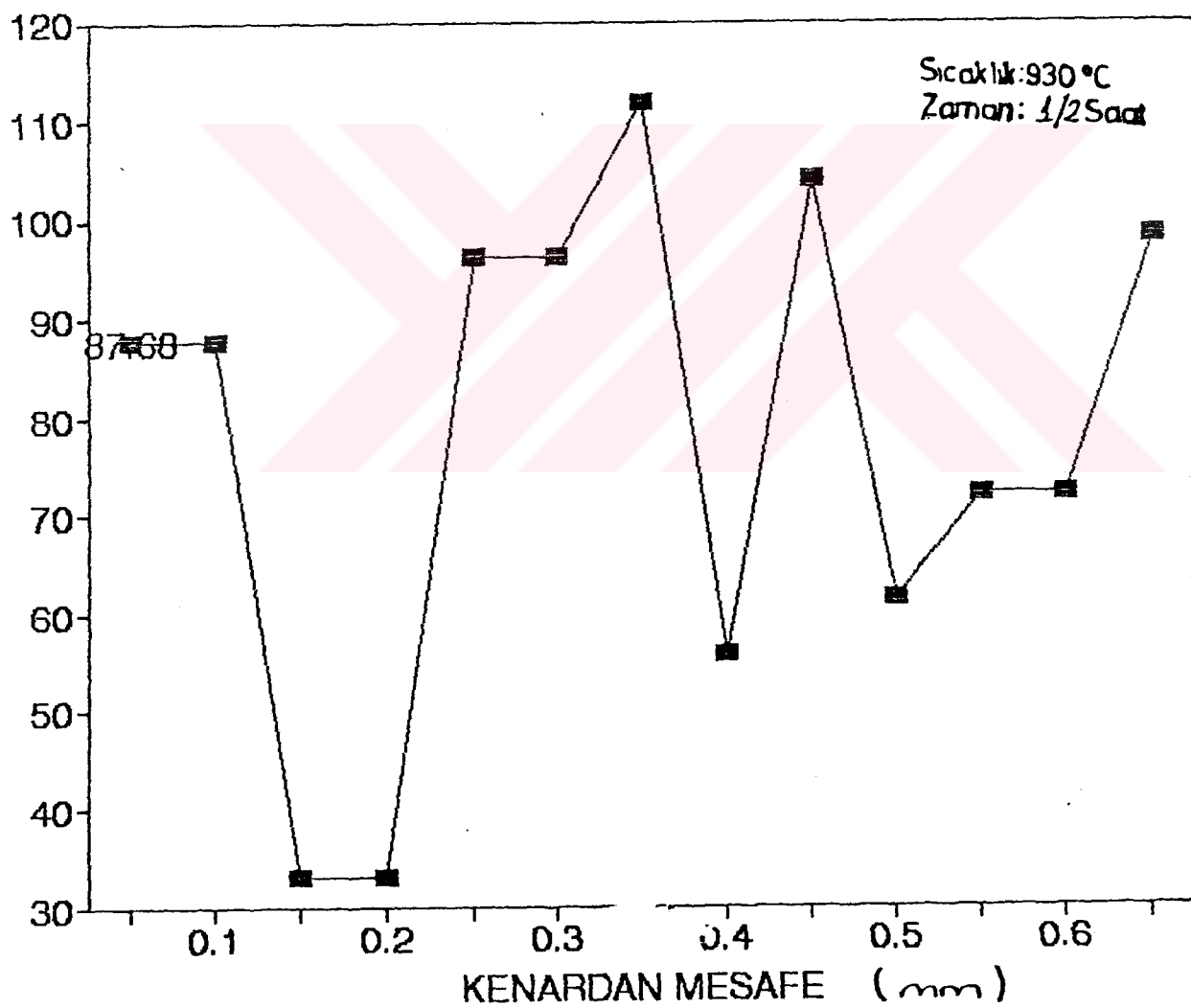
Sic. 930 °C

Süre : ½ saat

<i>Kenardan mesafe(mm)</i>	<i>(Okul) Sertlik (HV)</i>	<i>(Uzel) Sertlik (HV)</i>
0,05	857	733
0,10	857	733
0,15	780	733
0,20	780	733
0,25	780	644
0,30	780	644
0,35	707	549
0,40	588	509
0,45	588	441
0,50	528	441
0,55	528	426
0,60	528	426
0,65	505	
0,70	498	
0,75	498	
0,80	409	
0,85	407	
0,90	407	

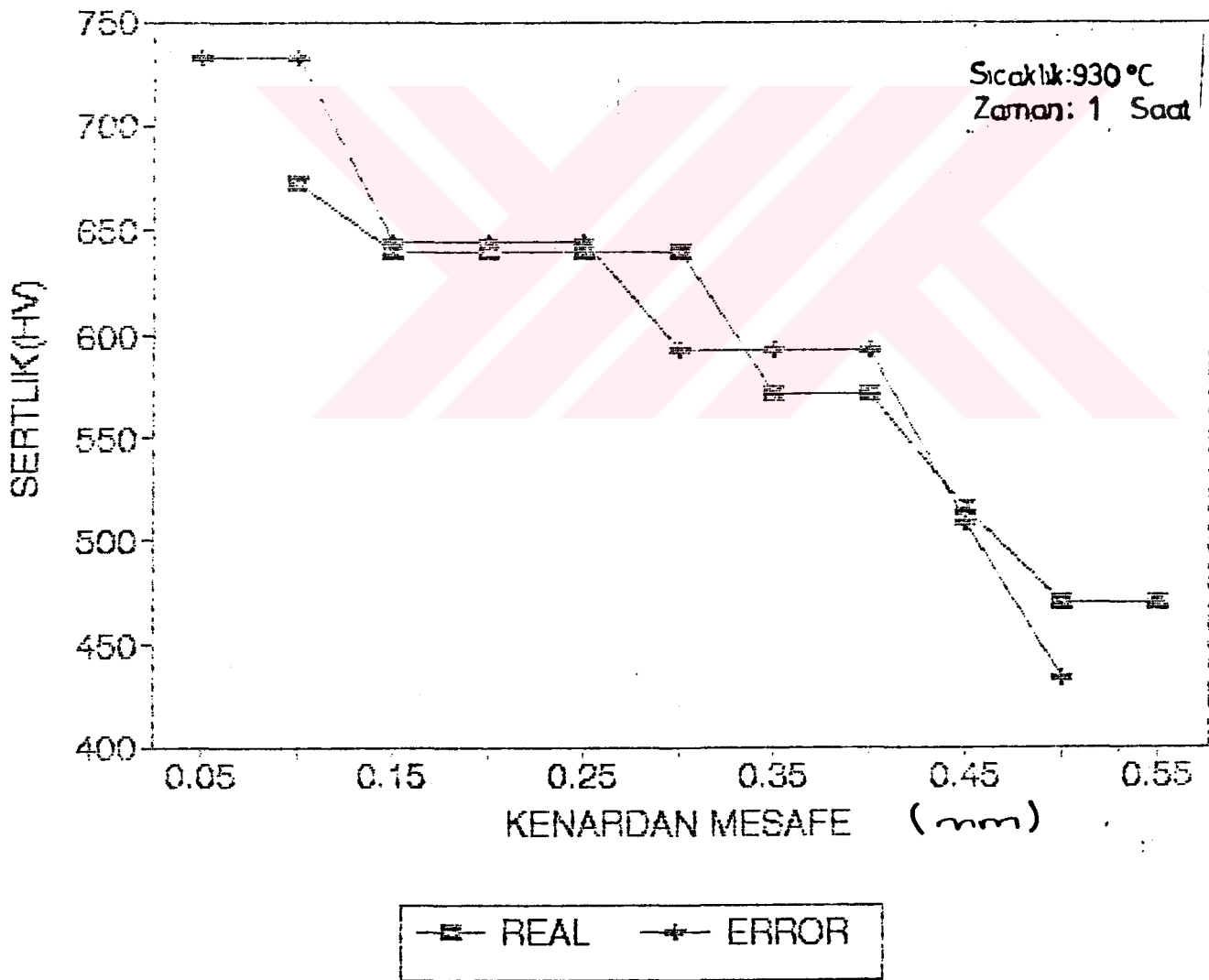


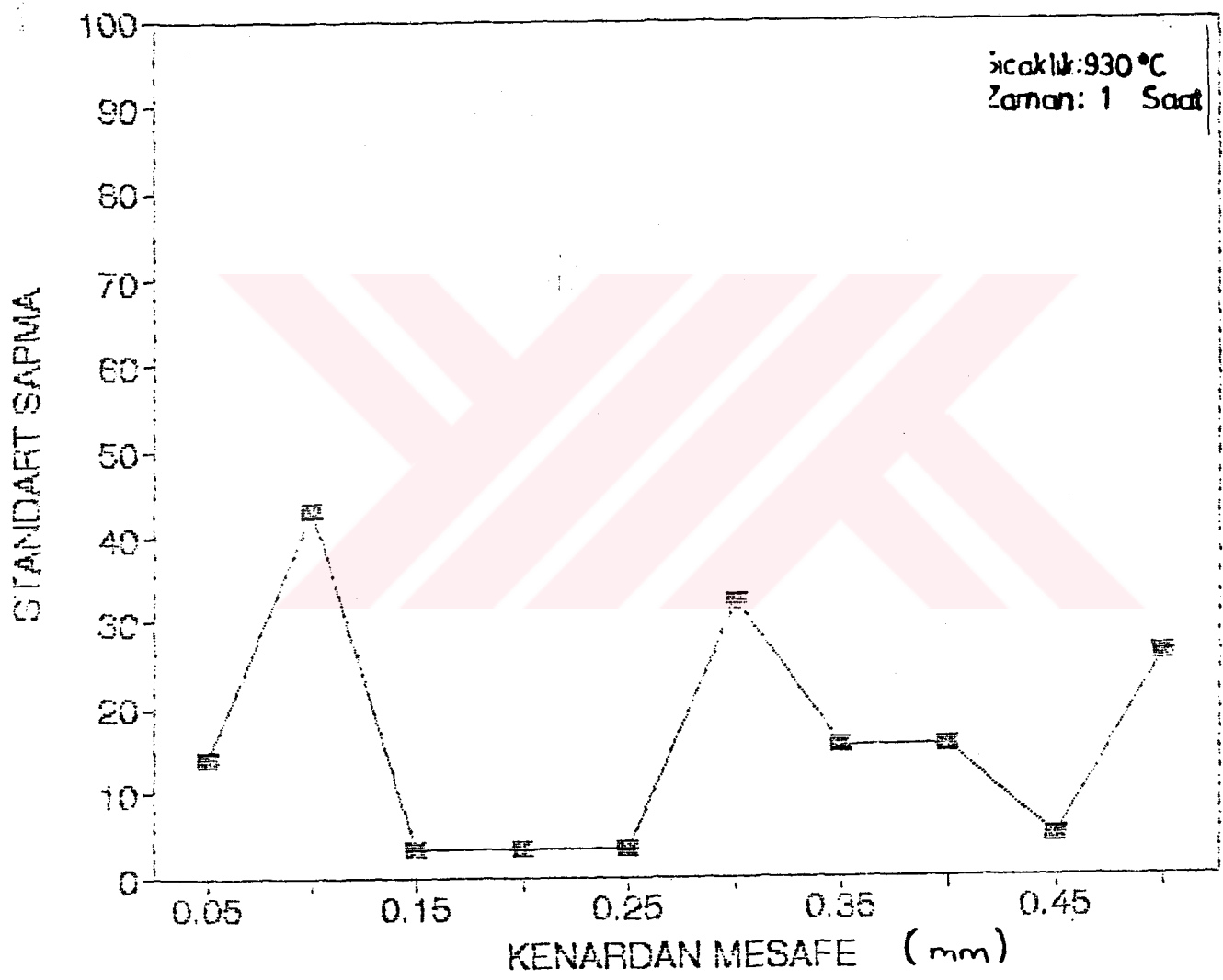
STANDART SAPMA



No : 7
Sic. 930 °C
Süre : 1 saat

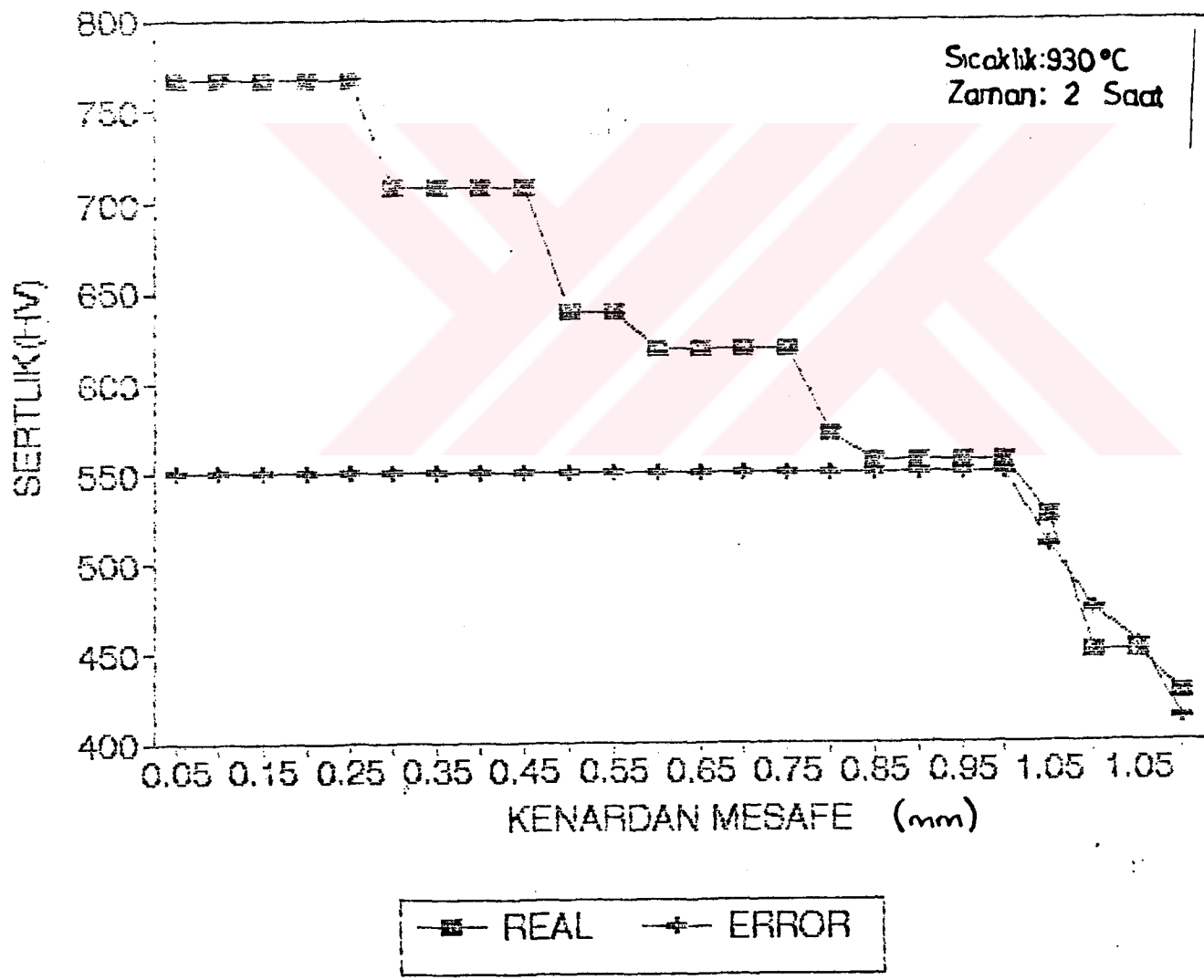
<i>Kenardan mesafe(mm)</i>	<i>(Okul) Sertlik (HV)</i>	<i>(Uzel) Sertlik (HV)</i>
0,05	713	733
0,10	713	733
0,15	672	733
0,20	639	644
0,25	639	644
0,30	639	644
0,35	639	593
0,40	571	593
0,45	571	593
0,50	516	593
0,55	470	509
0,60	470	433
0,65	401	
0,70	401	



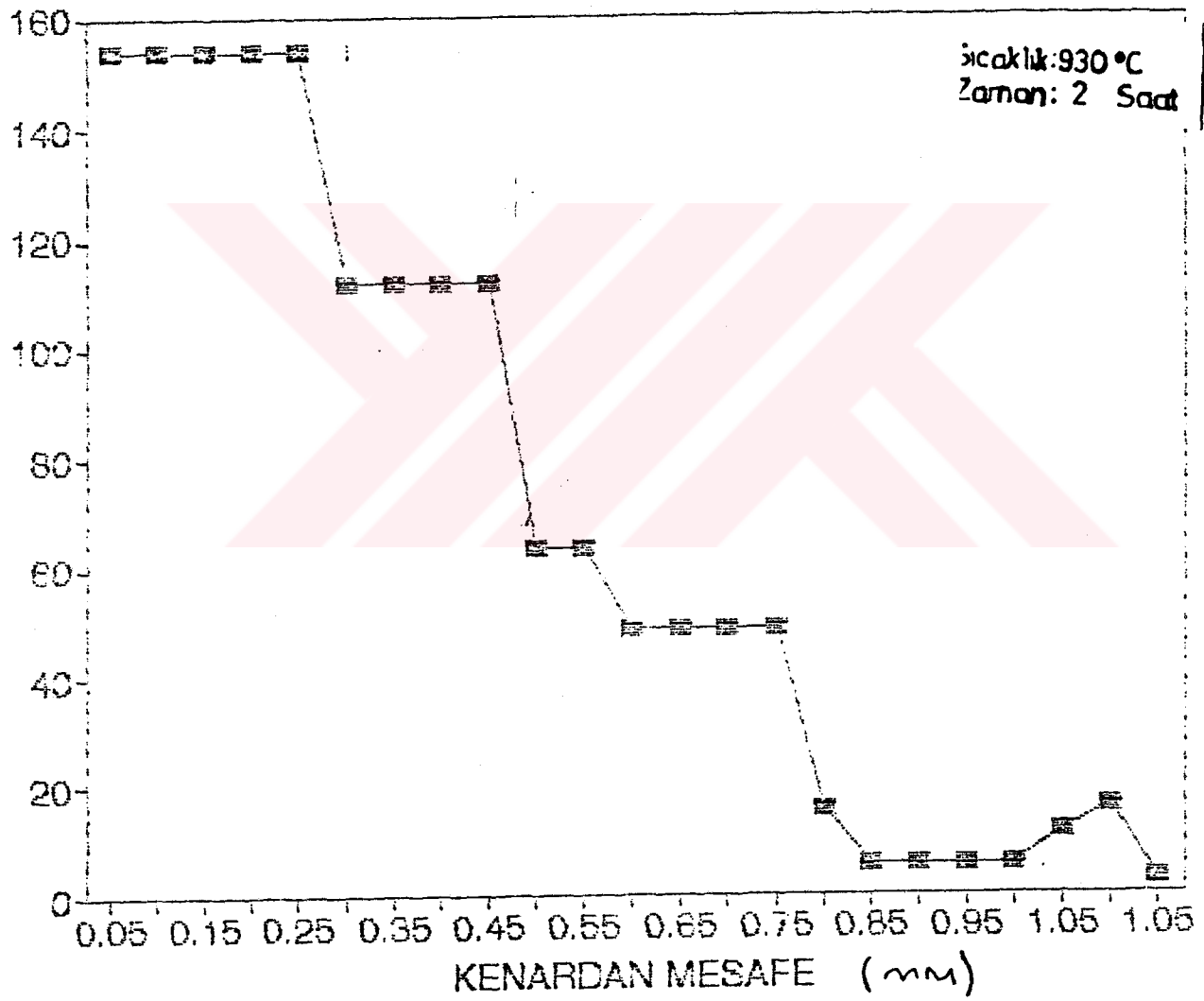


No : 8
Sic. 930 °C
Süre : 2 saat

<i>Kenardan mesafe(mm)</i>	<i>(Okul) Sertlik (HV)</i>	<i>(Uzel) Sertlik (HV)</i>
0,05	766	549
0,10	766	549
0,15	766	549
0,20	766	549
0,25	766	549
0,30	707	549
0,35	707	549
0,40	707	549
0,45	707	549
0,50	639	549
0,55	639	549
0,60	618	549
0,65	618	549
0,70	618	549
0,75	618	549
0,80	571	549
0,85	557	549
0,90	557	549
0,95	557	549
1,00	557	549
1,05	525	509
1,10	450	473
1,15	450	454
1,20	426	412



STANDART SAPMA

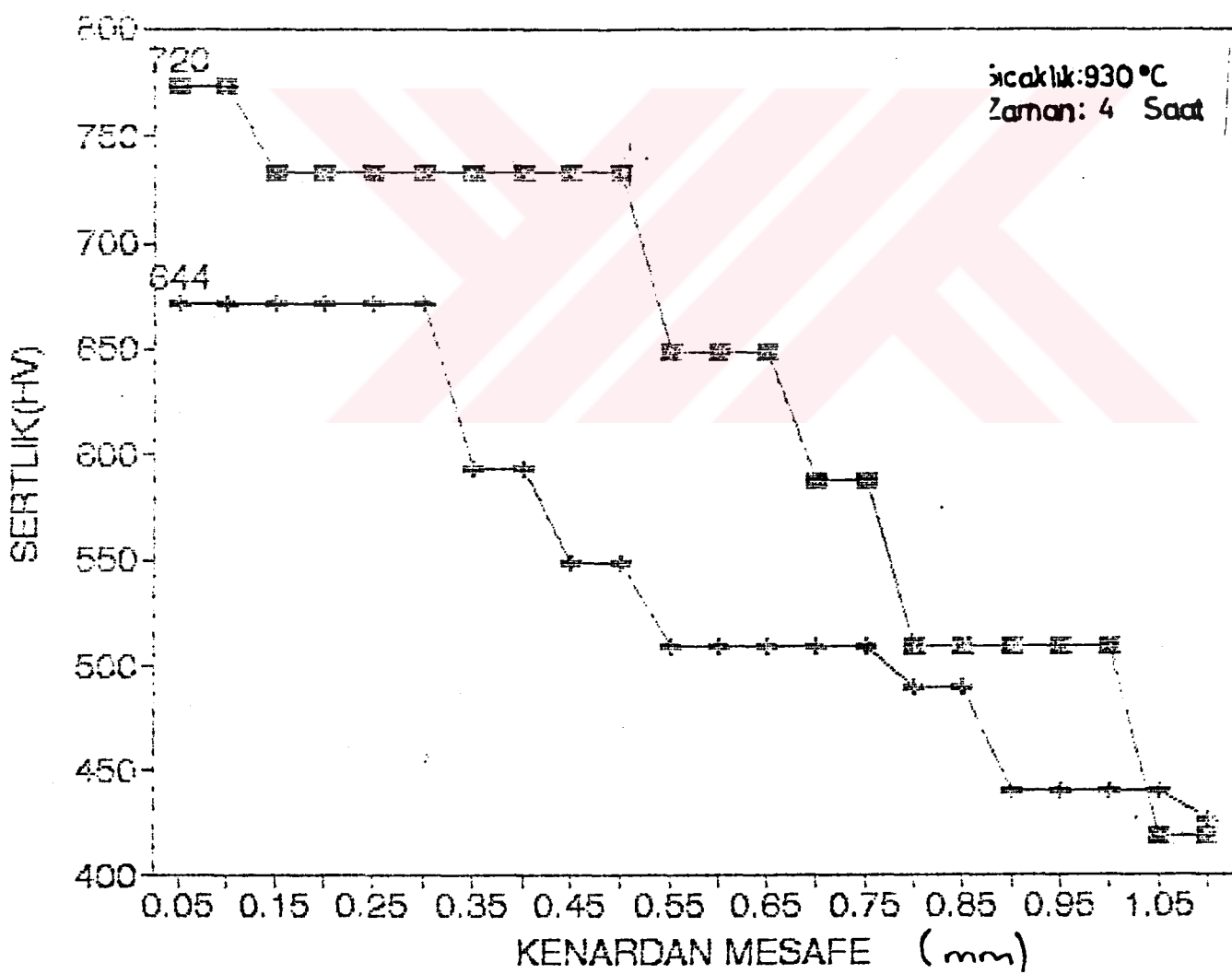


No : 9

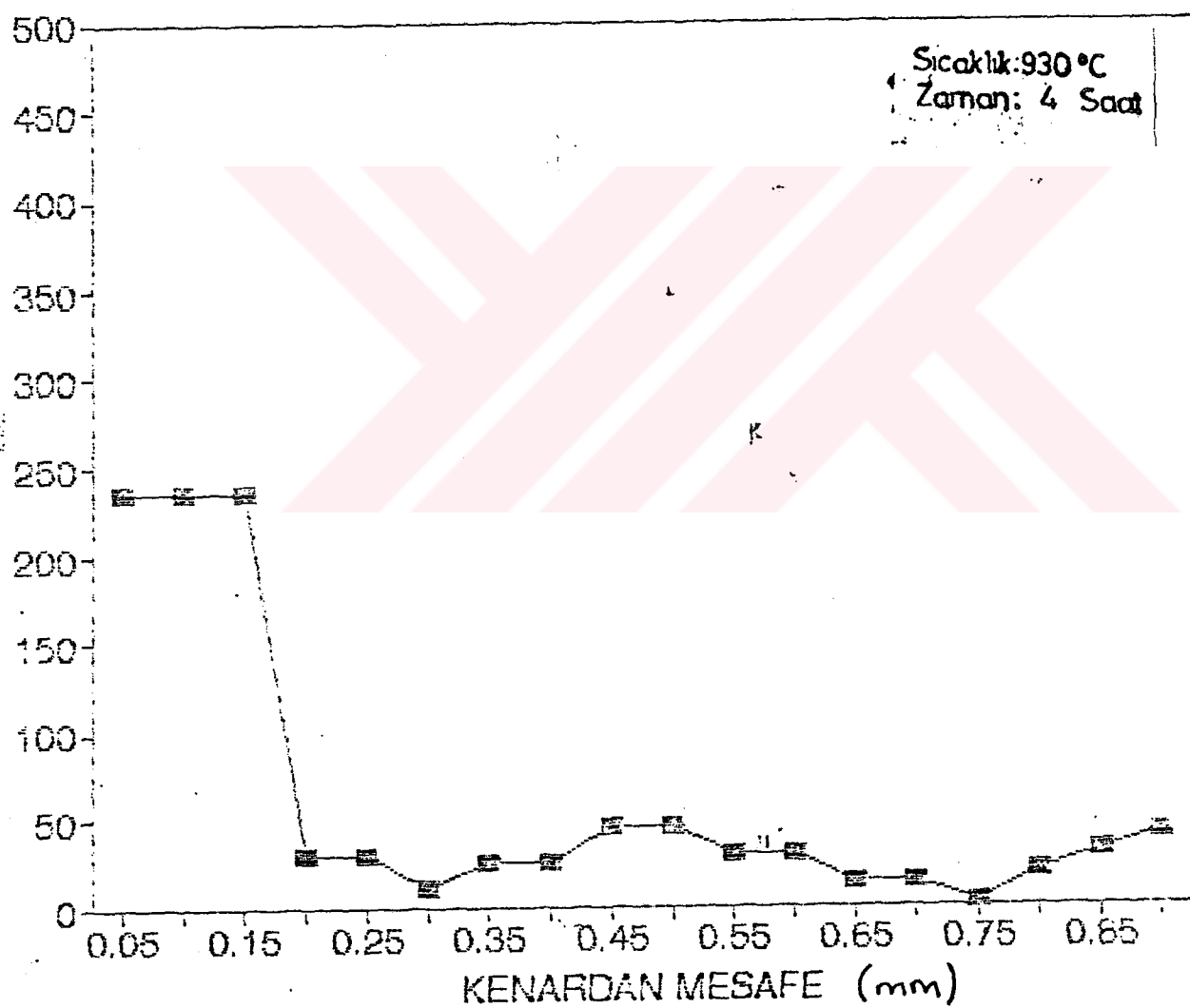
Sic. 930 °C

Süre : 4 saat

<i>Kenardan mesafe(mm)</i>	<i>(Okul) Sertlik (HV)</i>	<i>(Uzel) Sertlik (HV)</i>
0,05	773	672
0,10	773	672
0,15	733	672
0,20	733	672
0,25	733	672
0,30	733	672
0,35	733	593
0,40	733	593
0,45	733	549
0,50	733	549
0,55	649	509
0,60	649	509
0,65	649	509
0,70	588	509
0,75	588	509
0,80	509	490
0,85	509	490
0,90	509	441
0,95	509	441
1,00	509	441
1,05	418	441
1,10	418	426

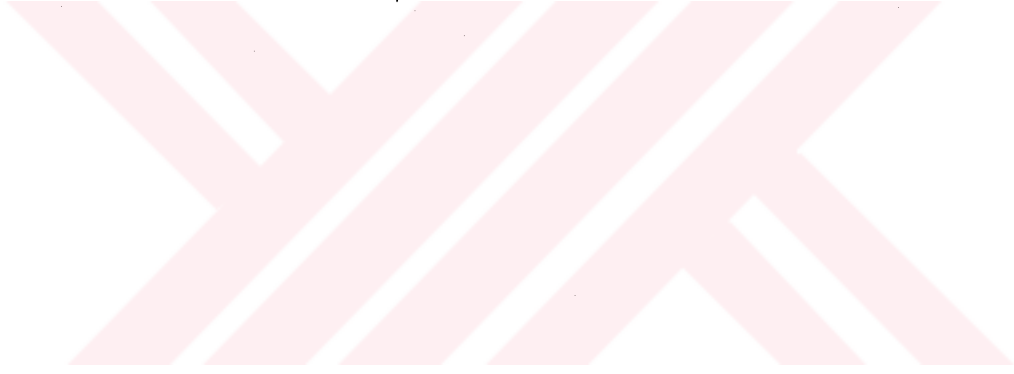


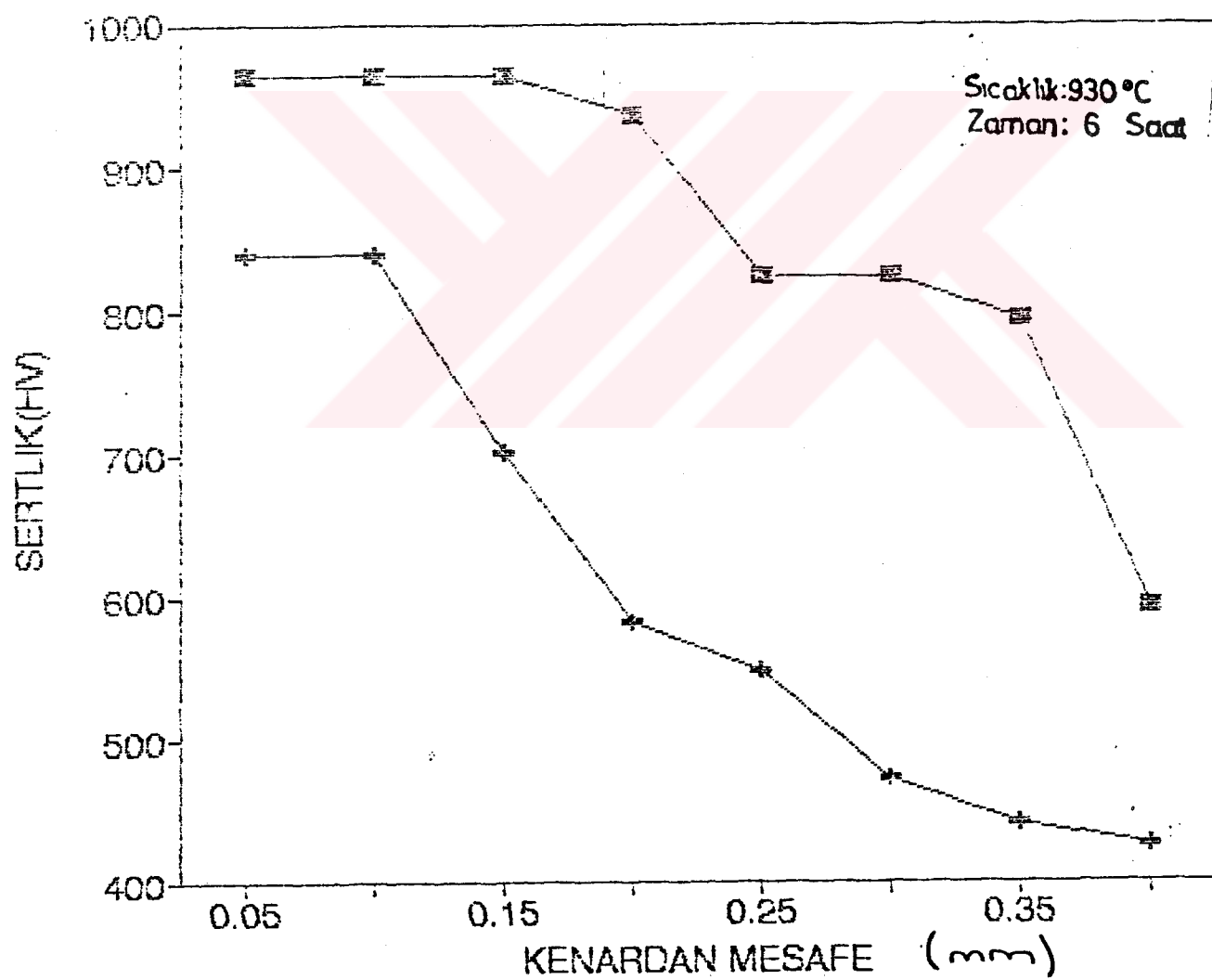
STANDART SAPMA

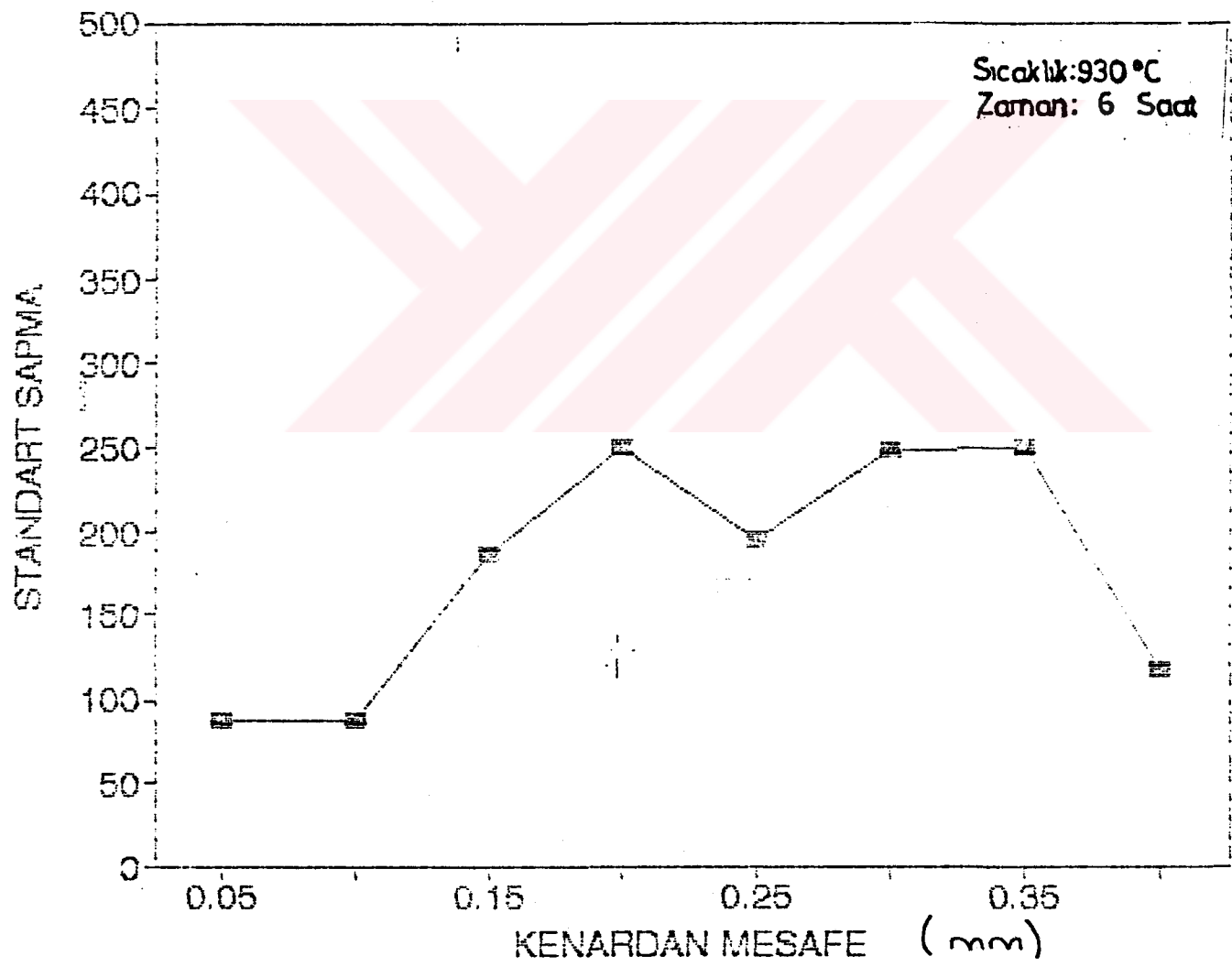


No : 10
Sic. 930 °C
Süre : 6 saat

<i>Kenardan mesafe(mm)</i>	<i>(Okul) Sertlik (HV)</i>	<i>(Uzel) Sertlik (HV)</i>
0,05	972	841
0,10	972	841
0,15	972	701
0,20	925	568
0,25	825	544
0,30	825	473
0,35	802	426
0,40	618	412





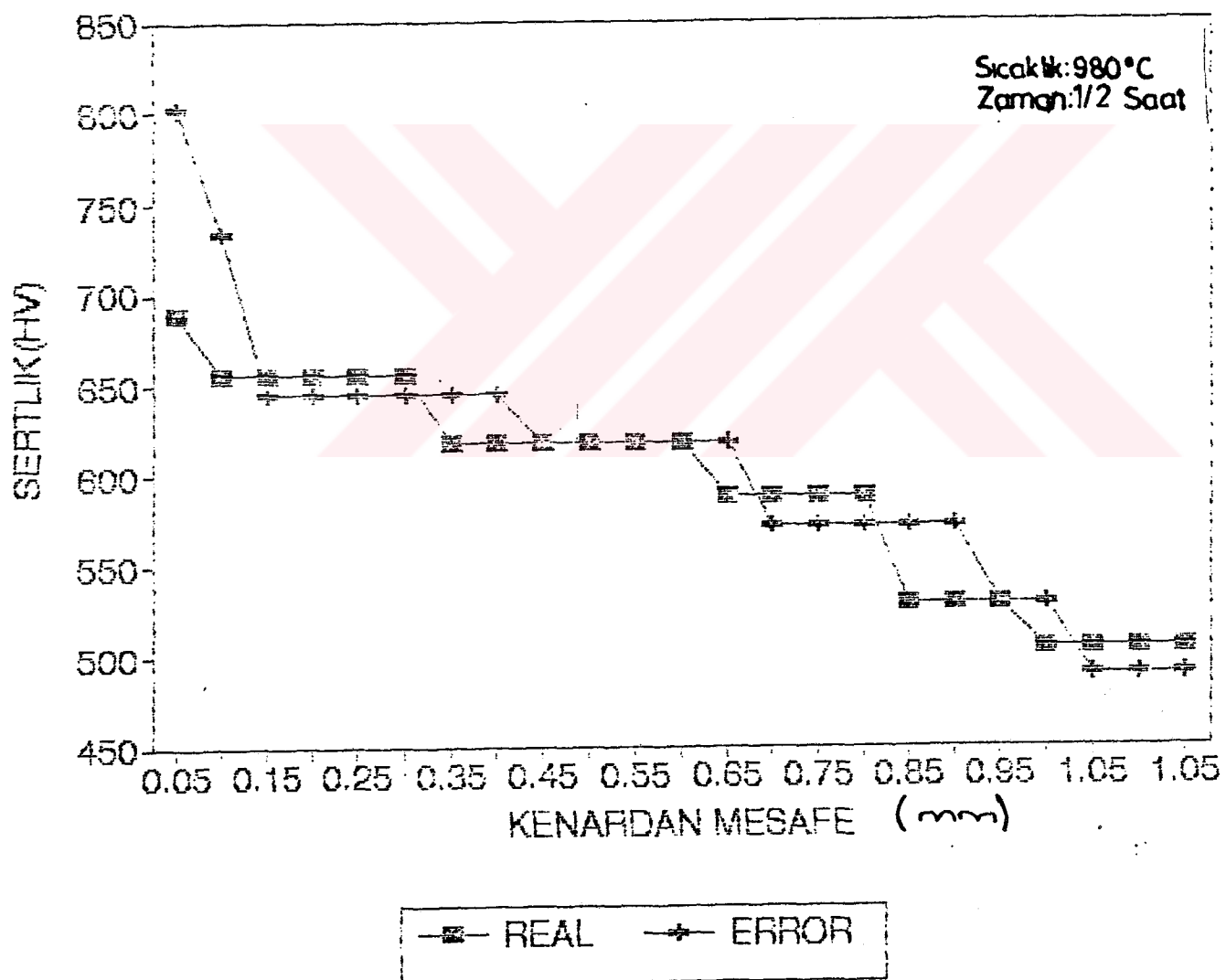


No : 11

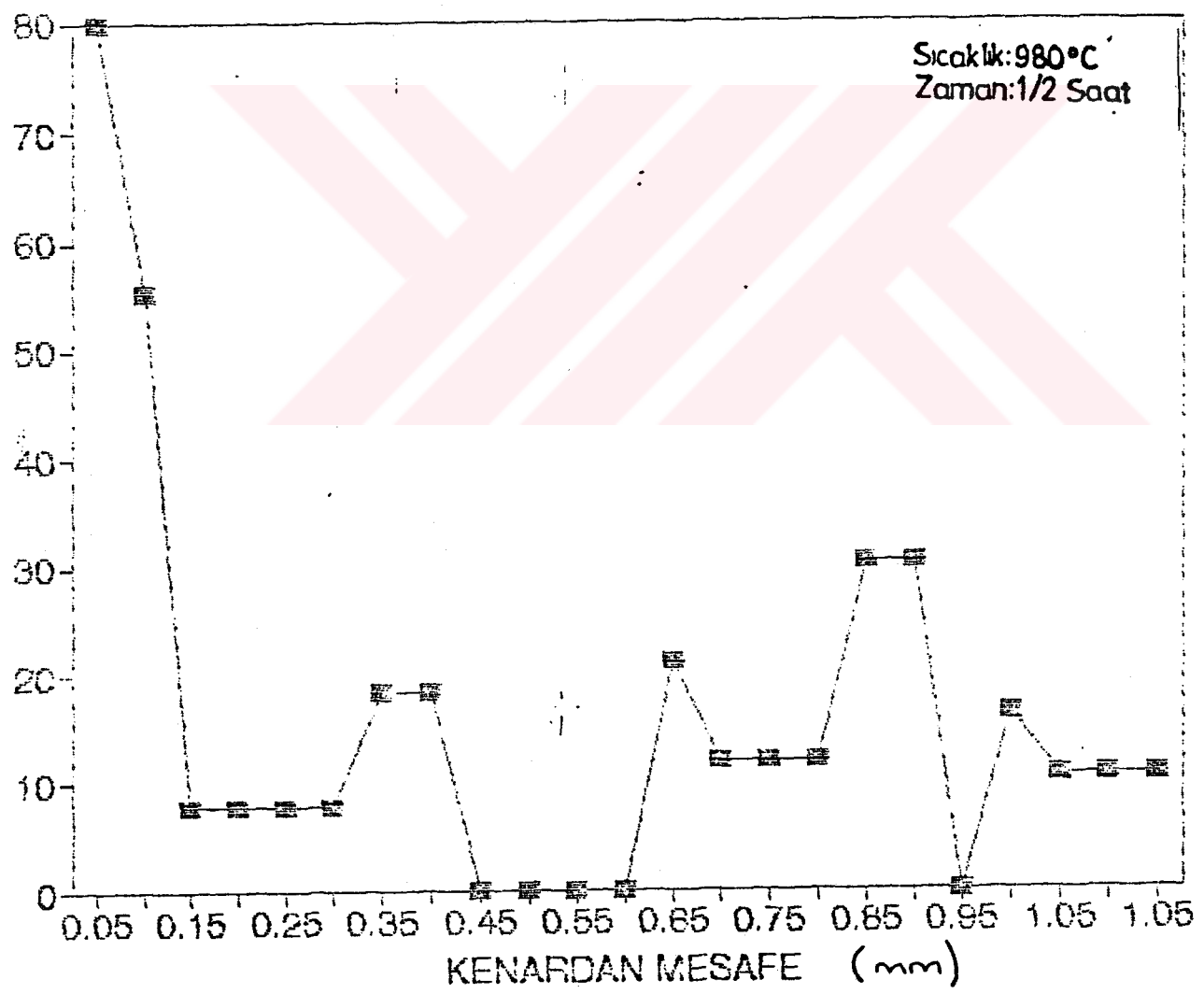
Sic. 980 °C

Süre : ½ saat

<i>Kenardan mesafe(mm)</i>	<i>(Okul) Sertlik (HV)</i>	<i>(Uzel) Sertlik (HV)</i>
0,05	689	802
0,10	655	733
0,15	655	644
0,20	655	644
0,25	655	644
0,30	655	644
0,35	618	644
0,40	618	644
0,45	618	618
0,50	618	618
0,55	618	618
0,60	618	618
0,65	588	618
0,70	588	571
0,75	588	571
0,80	588	571
0,85	528	571
0,90	528	571
0,95	528	528
1,00	505	528
1,05	505	490
1,10	505	490
1,15	505	490
1,20	505	490
1,25	505	473
1,30	505	473
1,35	498	473
1,40	409	473
1,45	409	426
1,50	409	426



STANDART SAPMA

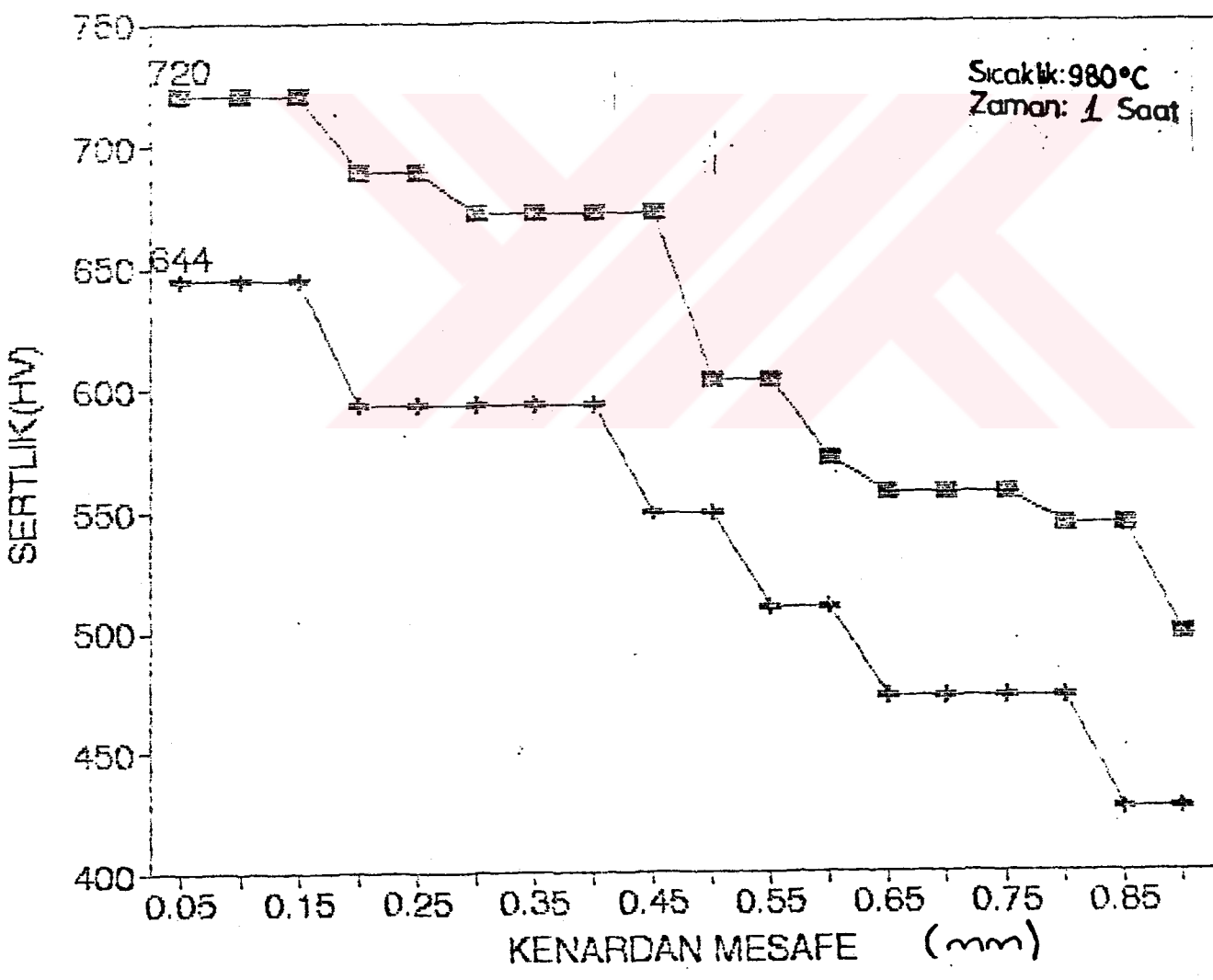


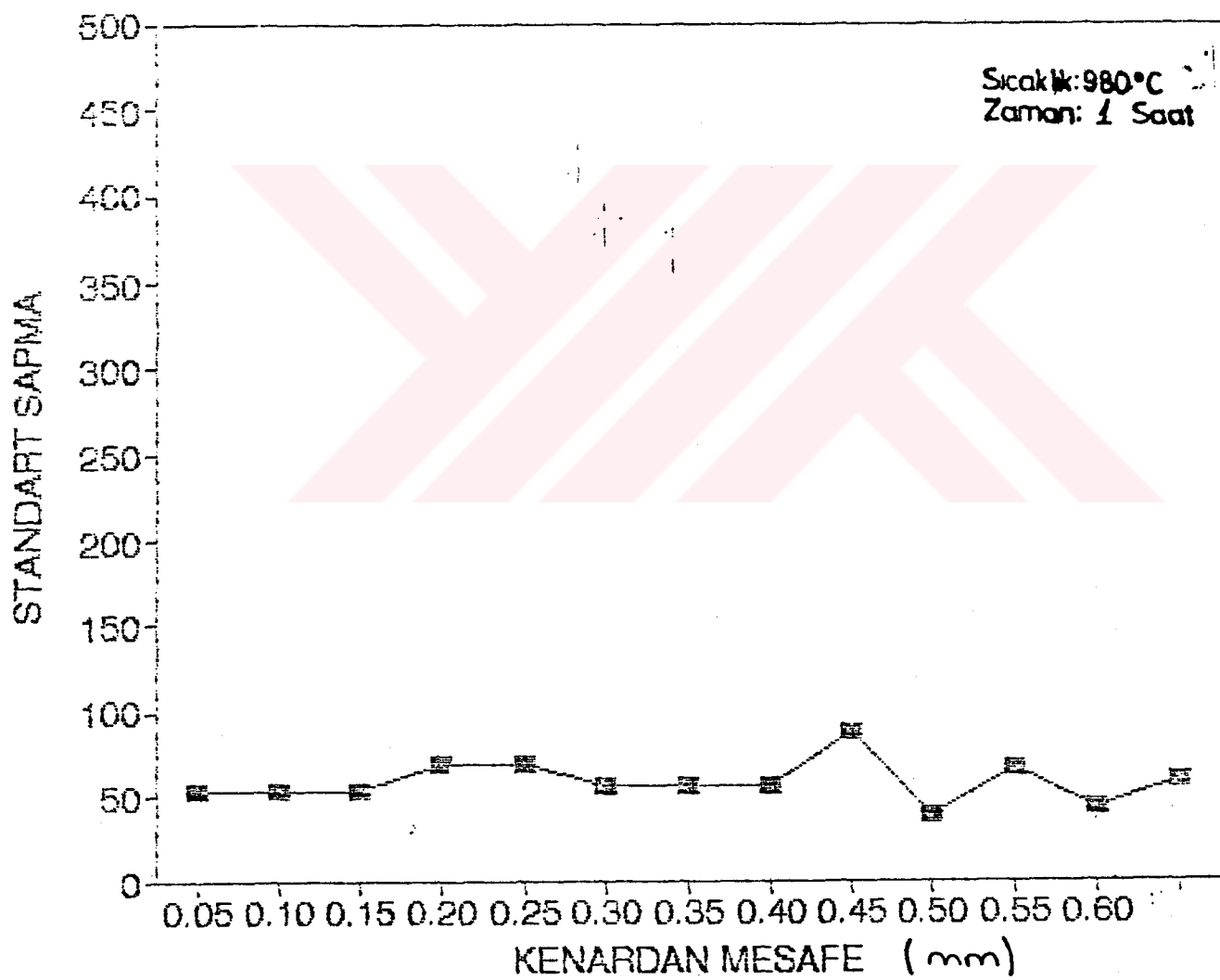
No : 12

Sic. 980 °C

Süre : 1 saat

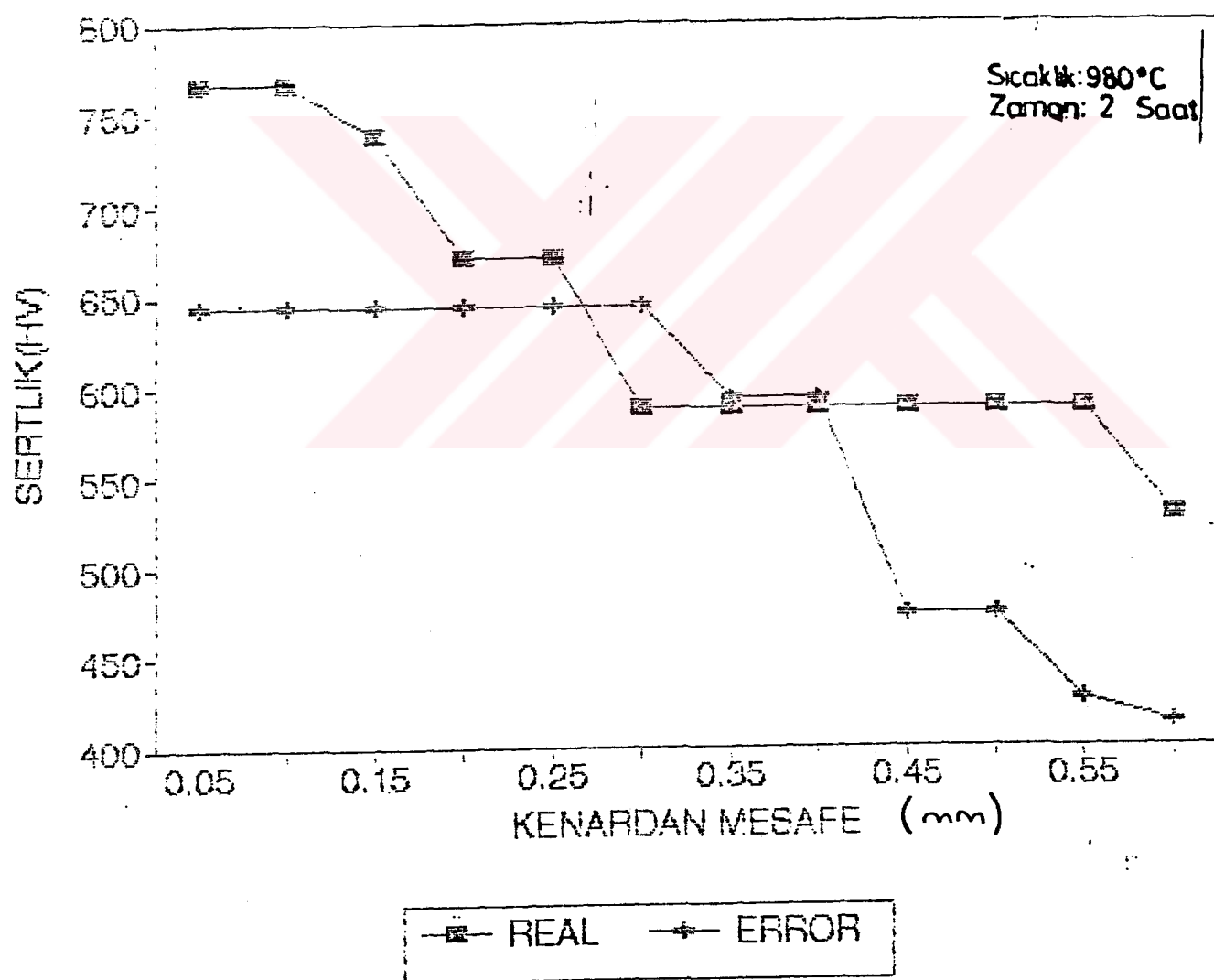
<i>Kenardan mesafe(mm)</i>	<i>(Okul) Sertlik (HV)</i>	<i>(Uzel) Sertlik (HV)</i>
0,05	720	644
0,10	720	644
0,15	720	644
0,20	689	593
0,25	689	593
0,30	672	593
0,35	672	593
0,40	672	593
0,45	672	549
0,50	618	549
0,55	575	509
0,60	571	509
0,65	571	473
0,70	571	473
0,75	544	473
0,80	544	473
0,85	509	426
0,90	509	426



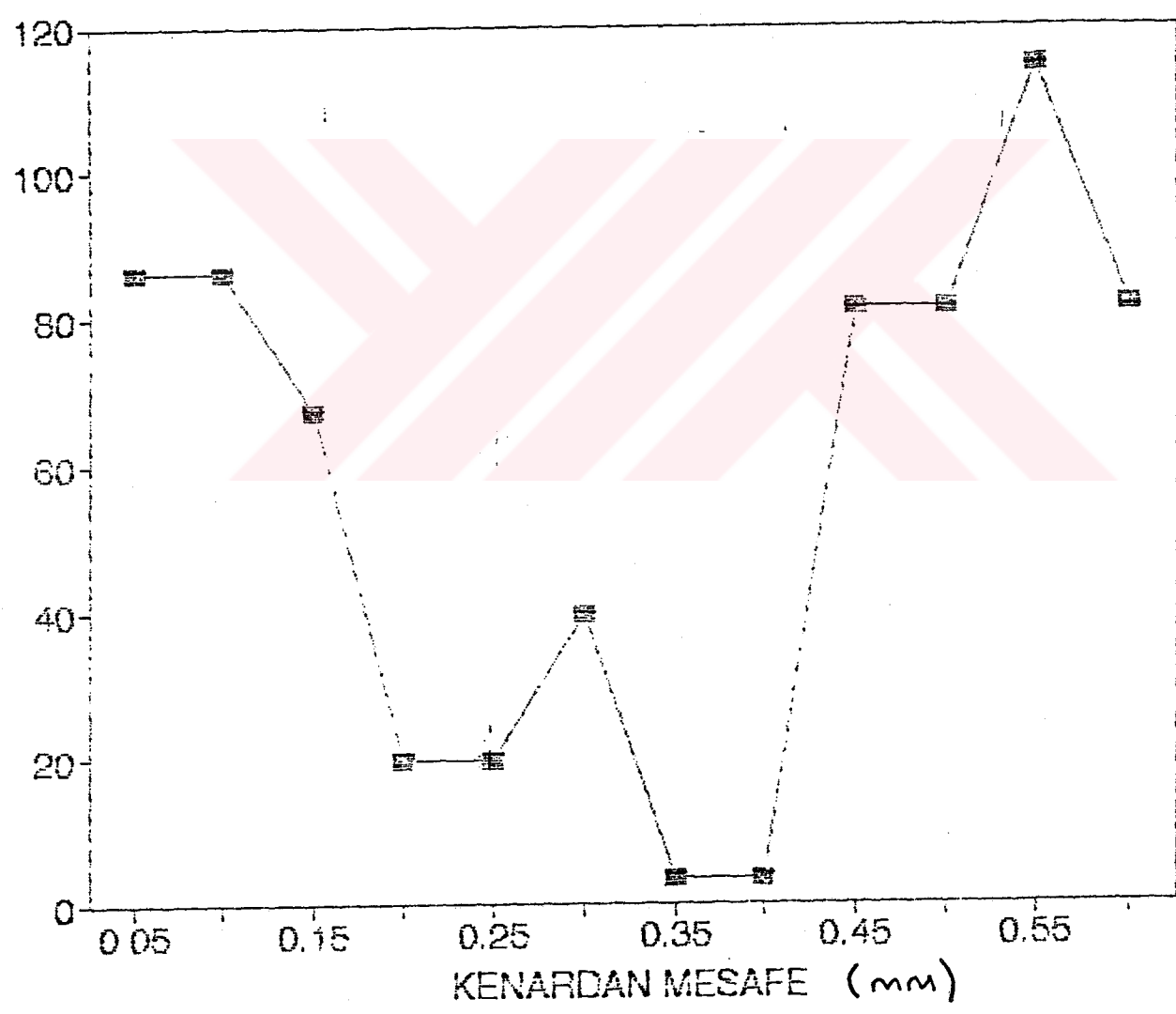


No : 13
Sic. 980 °C
Süre : 2 saat

<i>Kenardan mesafe(mm)</i>	<i>(Okul) Sertlik (HV)</i>	<i>(Uzel) Sertlik (HV)</i>
0,05	701	849
0,10	701	849
0,15	701	849
0,20	701	849
0,25	701	802
0,30	701	802
0,35	618	802
0,40	618	672
0,45	618	672
0,50	618	672
0,55	571	588
0,60	571	588
0,65	509	588
0,70	509	549
0,75	473	549
0,80	473	528
0,85	441	528
0,90	441	426
0,95	399	426
1,00	399	412

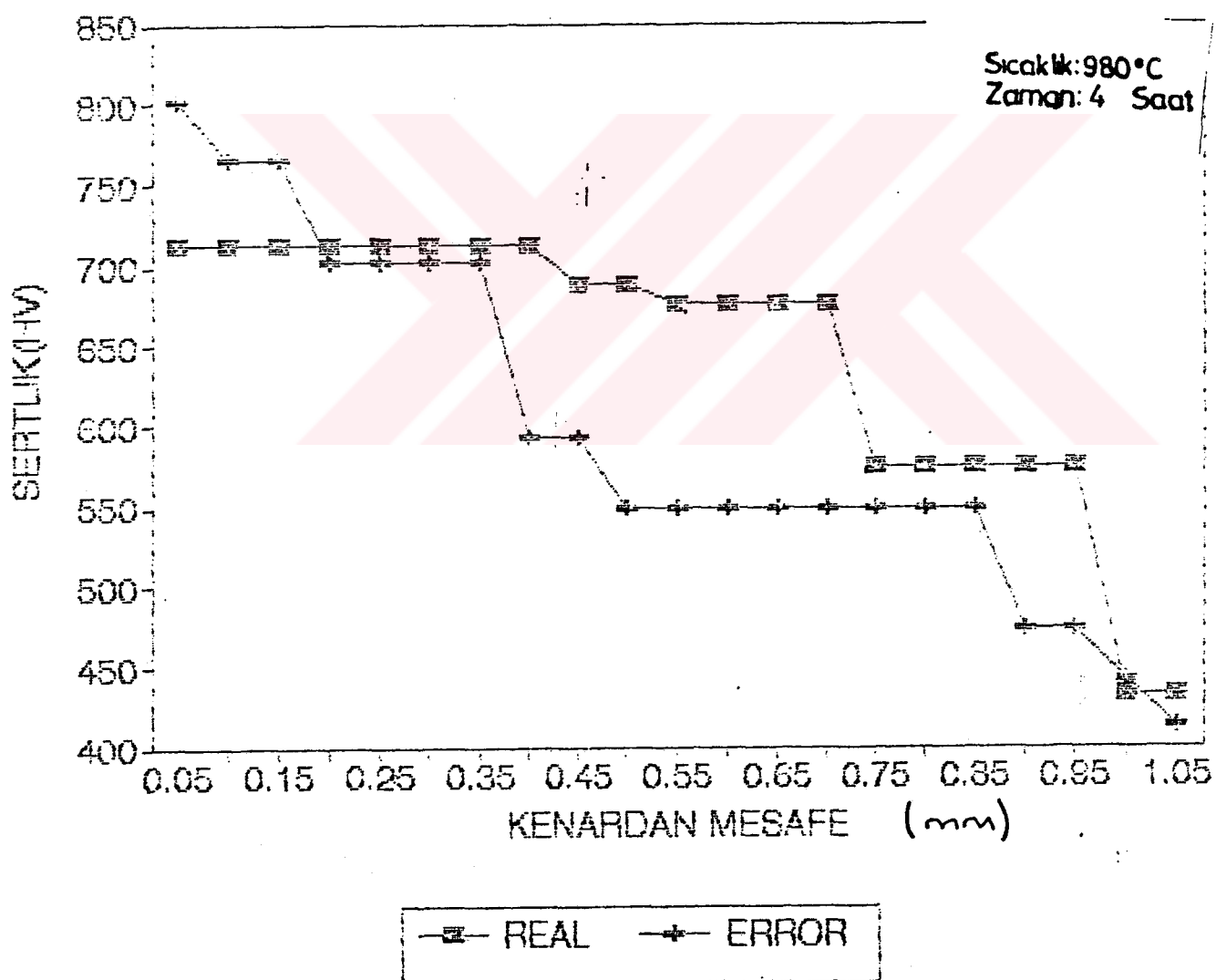


STANDART SAPMA

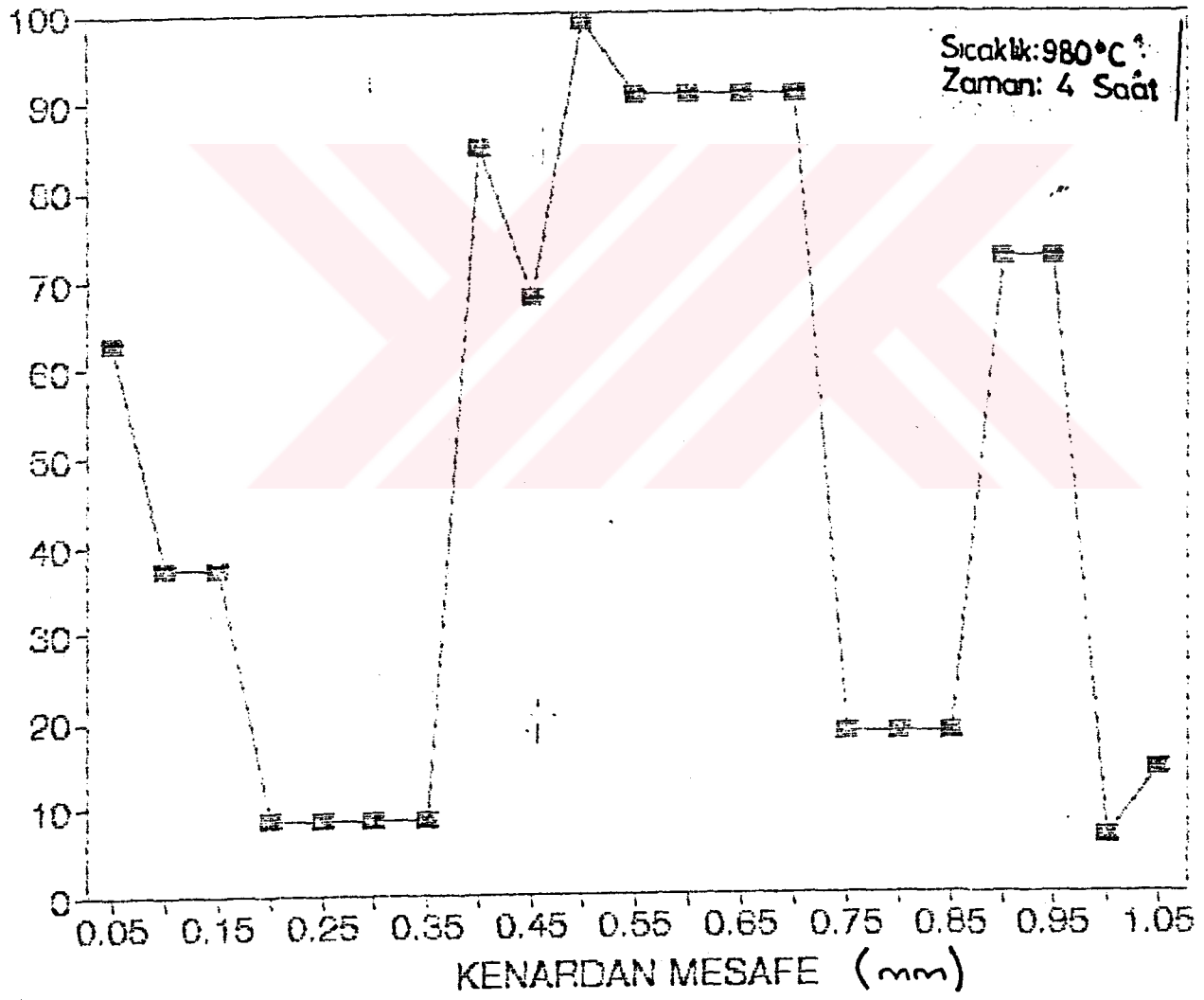


No : 14
Sic. 980 °C
Süre : 4 saat

<i>Kenardan mesafe(mm)</i>	<i>(Okul) Sertlik (HV)</i>	<i>(Uzel) Sertlik (HV)</i>
0,05	713	802
0,10	713	802
0,15	713	766
0,20	713	766
0,25	713	701
0,30	713	701
0,35	713	701
0,40	713	701
0,45	713	593
0,50	689	593
0,55	689	549
0,60	677	549
0,65	677	549
0,70	677	549
0,75	677	549
0,80	575	549
0,85	575	549
0,90	575	549
0,95	575	473
1,00	575	473
1,05	432	441
1,10	432	412



STANDART SAPMA



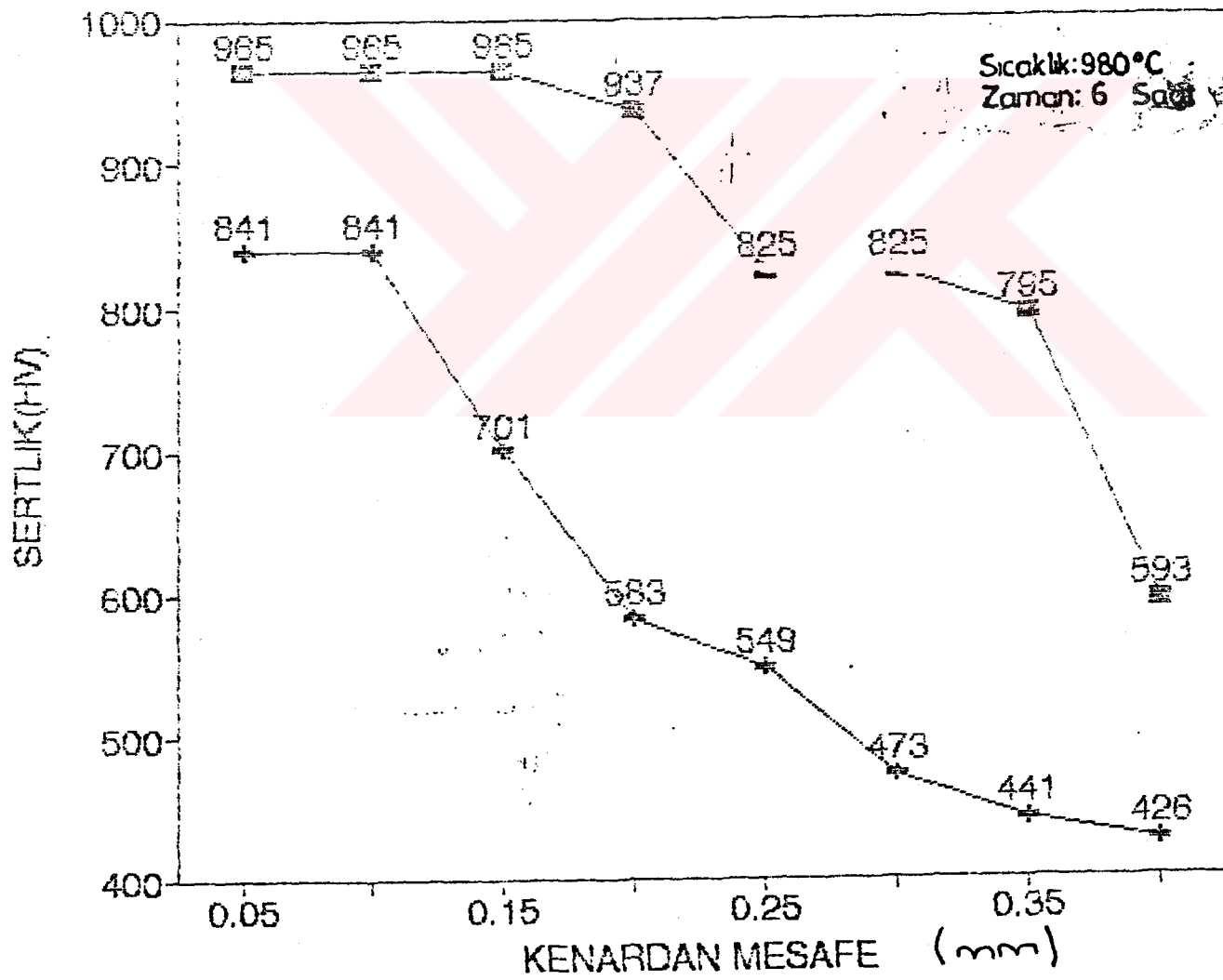
No : 15

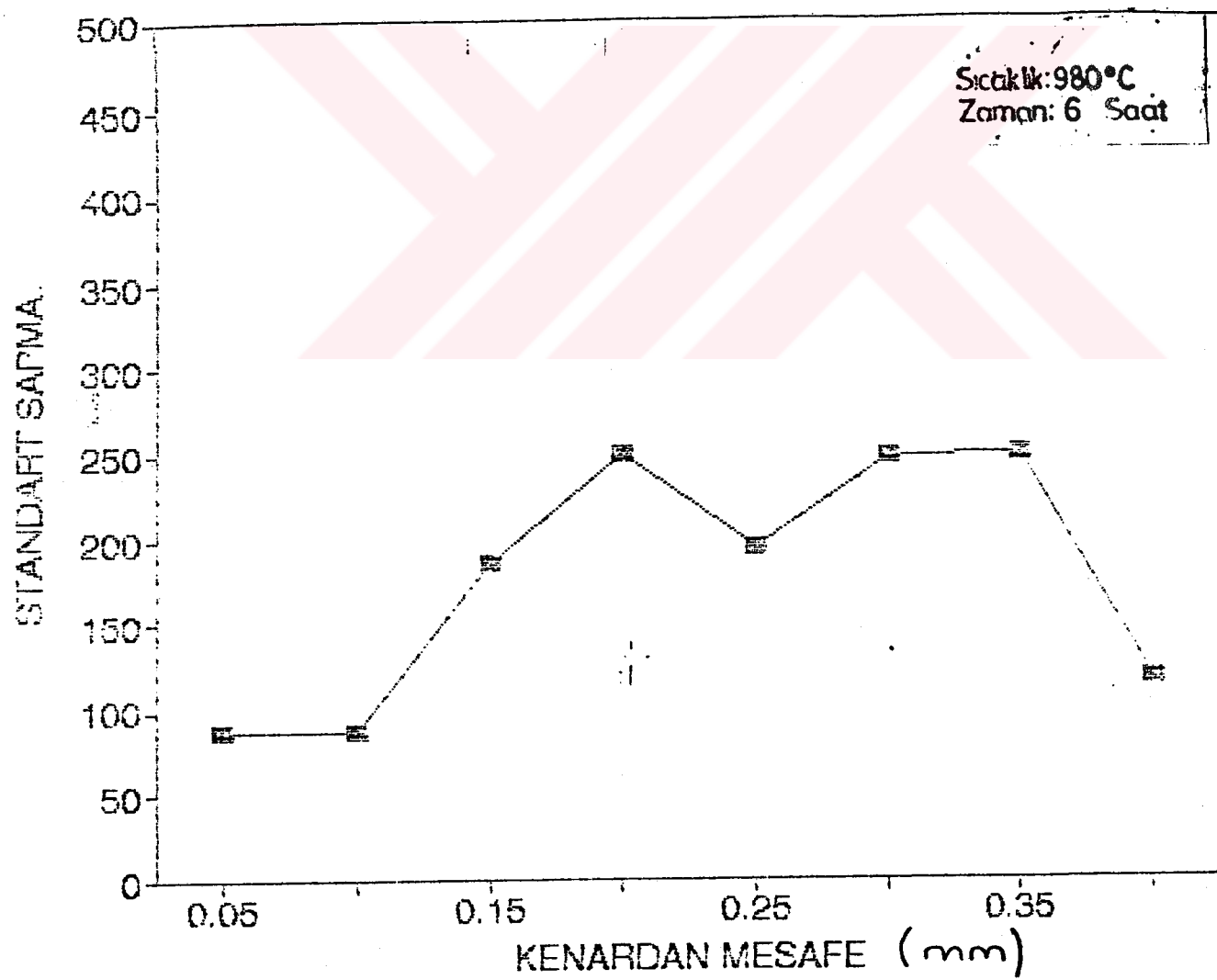
Sic. 980 °C

Süre : 6 saat

<i>Kenardan mesafe(mm)</i>	<i>(Okul) Sertlik (HV)</i>	<i>(Uzel) Sertlik (HV)</i>
0,05	965	841
0,10	965	841
0,15	965	701
0,20	937	583
0,25	825	549
0,30	825	473
0,35	795	441
0,40	593	426







K A Y N A K Ç A

1. VARHOFEEVEN 1., Fundamentals of physical metallurgy, sayfa 137 - 167
2. HORGER O.J., Metals Engineering Desing, ASME Handbook, Mc Graw-Hill Book COMPANY; New York 1965, sayfa 284 - 287
3. BAIR E.C.and GROSSMANN M.A, Principls of Heat Treatmant, A.B.M.Metals Park, Ohio 1964, 236 - 241
4. CAHN.R.W, Physical Metallurgy, American Elscvier Publishing Company-Inc-New-York 1970, sayfa 383 - 397
5. THELNING K-E,Çeviren Doç.Dr.ADNAN TEKİN, Çelik ve Isıl İşlem, Bofors El Kitabı, 1984

ARŞİVLENDİ
T.C. KÜLTÜR VE TURİZM BAKANLIĞI
NİĞNİT KÜTÜPHANESİ

Teşekkür

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında bilgi hazinesini ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım sayın Prof. Dr. Şadi Karagöz , sayın Prof. Dr. Müzeyyen Marşoğlu ve sayın Prof. Dr. Ahmet Topuz 'a , standart sapmalarımı hesaplarken yardımcı olan Matematik bölümünden sayın Dr.Zerrin Öztürk ve arş. görevlisi sayın İnci Hanım 'a , bana her zaman destek olan eşime ve aileme , tezimi yazan sayın Özcan Bey ve sayın Dilek Hanım 'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

YÜCE İKTİSADİ VE İŞLETİM BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
İKTİSADİ İSTATİSTİK ANABİLİM DALI
DÖNÜŞÜMÜZ 2023