تحديد نسبة الأوستينيت في الفولاذ 52100 بعد المعالجة الحرارية

د. سلامة أبو الشملات*

(تاريخ الإيداع 22 / 2 / 2021. قُبِل للنشر في 14 / 6 /2021)

ملخّص

تتناسب الشدة المنعرجة عن طور ما مع الثابت الهندسي K لمقياس الانعراج، وعامل التركيب R ، والامتصاصية A ، والكسر الحجمي للطور ما بين حجم الطور V_α وحجم وحدة الخلية V ، أي $v_\alpha = \frac{V_\alpha}{V}$

تم في هذا البحث حساب عامل البنية $|F|^2_{hkl}$، وحجم وحدة الخلية، والكسر الحجمي لكلا طوري الأوستينيت والمارتنسيت.

وتم تحديد النسبة بين شدتي خطي الانعراج لكلا الطورين $P = 1.05$ التي توافق عمقاً مقداره 0.25mm من سطح الشريحة الفولاذية.

أظهرت تغيرات شدة خط الانعراج لطور المارتنسيت $I_\alpha^{(200)}$ بدلالة العمق من سطح الشريحة قيمة عظمى قدرها 630 au عند العمق 0.4mm التي تشير إلى تشكل طور المارتنسيت.

الكلمات المفتاحية: طور الأوستينيت، طور المارتنسيت، الشدة المنعرجة، عامل البنية، الكسر الحجمي.

* أستاذ مساعد – قسم الفيزياء – كلية العلوم – جامعة تشرين – اللاذقية– سورية.

Determination of the Ratio Austenite Phase in 52100 Steel after the Thermal Treatment

Dr. Sallamah Abou Alshamlat*

(Received 22 / 2 / 2021. Accepted 14 / 6 /2021)

□ ABSTRACT □

The diffracted intensity from a phase depends on variety of factors such as structure factor, Lorentz polarization …etc.
In this research the above mentioned factors have been calculated for both $\gamma - phase$ and $\alpha - phase$.

In addition, the ratio between diffracted intensities is $P = \frac{I_{\gamma}^{(220)}}{I_{\alpha}^{(200)}}$ has been determined with value $P = 1.05$, which corresponds to a depth 0.25mm from the studied steel sheet.
The variation of $\alpha - phase$ diffracted intensity $I_{\alpha}^{(200)}$ as a function of depth of surface sheet reveals a peak at 630 au at depth 0.4 mm which indicated to site of martinsite formation.

Keywords: austenite phase, martinsite phase, diffracted intensity, structure factor, volume fraction.

***Associate Professor, Physics Department, Faculty of Science, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

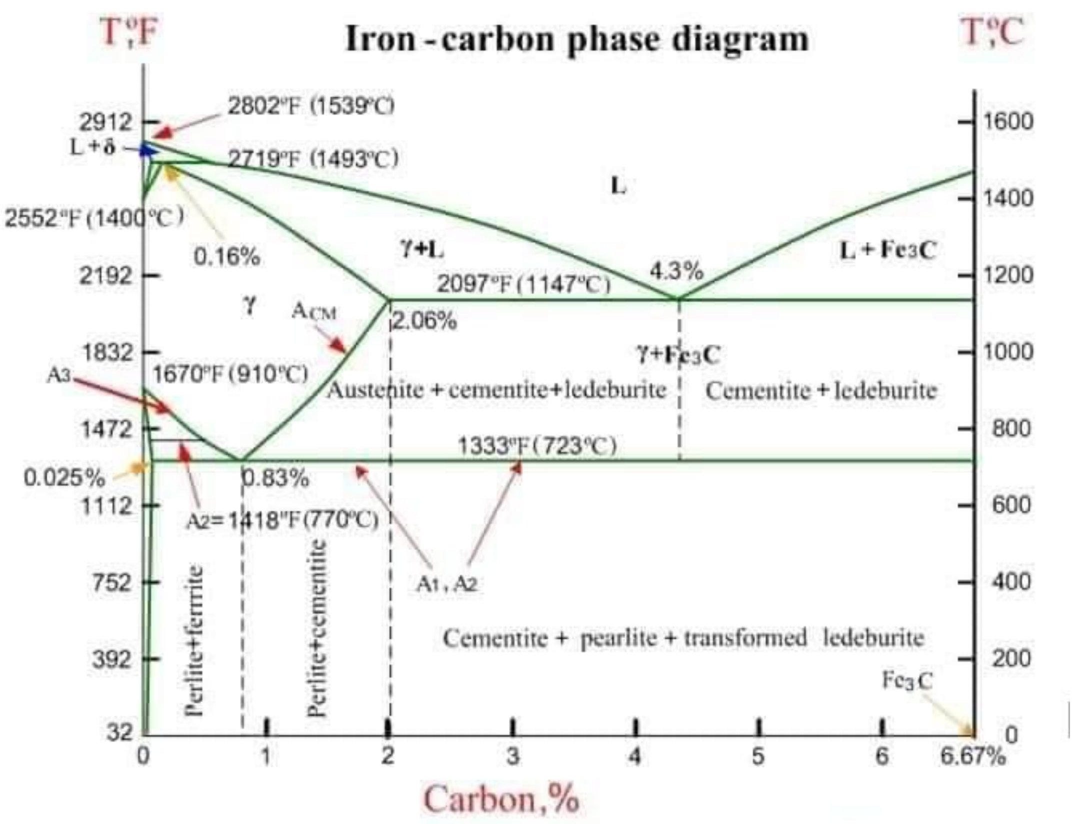
مقدمة:

يشكل الحديد مع كثير من العناصر محاليل صلبة، إذ يشكل مع المعادن محاليل صلبة تبادلية ومع الكربون والآزوت والهيدروجين محاليل صلبة تداخلية.

ويتعلق ذوبان الكربون في الحديد بشكل كبير بنوعية الشبكة البلورية، فذوبان الكربون في $\alpha - Fe$ قليل جداً حوالي 0.02% ، بينما ذوبانه في $\gamma - Fe$ حوالي 2% .

الأوستينيت عبارة عن محلول صلب من الطور $\gamma - Fe$ له بنية مكعبة متمركزة الجسم تحوي على الكربون إضافة إلى النيكل، الكروم، الكوبالت أو المنغنيز. عند تحضير الفولاذ منخفض الكربون بعملية التبريد من حالة الانصهار ينتج عنه طور الأوستينيت Austenite الطور ($\gamma - phase$) الذي بدوره ينتقل إلى طور المارتنسيت Martinsite الطور ($\alpha - phase$). لكن تبقى بعض الكميات من الأوستينيت معتمدة على معدل التبريد والتركيب الكيميائي الابتدائي. وهذه الكميات المتبقية لها آثار سلبية على الفولاذ المنتج [1].

يبين الشكل (1) مخطط توازن حديد– كربون المتمثل بنسب الكربون مقابل درجة الحرارة.



الشكل (1): مخطط توازن حديد– كربون [1]

تتناسب الشدة I_{α}^{hkl} للقمة (hkl) طرداً مع العوامل التالية [2,3,4]:

$$I^{hkl} = K.m_{hkl}.\left|F\right|_{hkl}^{2}.(LP)_{hkl}\exp(-2M)\cdot A(\Theta)\cdot(V/v^{2}) \qquad (1)$$

$$I_{\alpha}{}^{hkl} = K.R\cdot A(\Theta)\cdot v_{\alpha} \qquad ;v_{\alpha} = \frac{V_{\alpha}}{V} \qquad (2)$$

حيث أن: K معامل التناسب.

I_{α}^{hkl} – شدة الانعراج في الطور α.

v_{α} – الكسر الحجمي للطور α.

$\left|F\right|_{hkl}^{2}$ – عامل البنية.

m_{hkl} – عامل التعددية الذي يمثل عدد طرق تبديل مواقع $\pm h\ ;\ \pm k\ ;\ \pm l$ في البلورات المكعبة. وينشأ هذا العامل عن مجاميع المستويات والتي لها توجهات مختلفة في البلورة، ولكنها متماثلة فيما بينها من ناحية المسافة الفاصلة بين المستويات d_{hkl}.

$(LP)_{hkl}$ – عامل استقطاب لورانتس العادي.

$\exp(-2M)$ معامل Debye–Waller الحراري.

A(θ) معامل الامتصاص ، ويأخذ نفس القيمة لكلا الطورين.

V_{α} – الحجم النسبي للطور المدروس، أي حجم الطور الى الحجم الكلي.

V – حجم الخلية الأساسية للمكوّن الذي يعطي الانعكاس (hkl)

1–العوامل المؤثرة في الشدة المنعرجة [5,6,7]:

معامل التناسب K: ثابت يعتمد على هندسة الجهاز، والإشعاع وهو مستقل عن طبيعة العينة، ويعطى بالعلاقة التالية:

$$K = \left(\frac{I_0 e^4}{m^2 c^4}\right)\left(\frac{\lambda^3 S}{32\pi r}\right) \qquad (3)$$

I_0 – شدة حزمة الأشعة السينية الواردة على الشريحة الفولاذية.

e,m – كتلة وشحنة الالكترون.

r – نصف قطر مقياس الانعراج.

c – سرعة الضوء في الخلاء.

λ – طول موجة الأشعة السينية الواردة.

S– مساحة مقطع حزمة الأشعة السينية الواردة.

2-عامل استقطاب Lorentz:

$$(LP)_{hkl}=\frac{1+\cos^2 2\theta}{\sin^2\theta\cos\theta} \qquad (4)$$

θ – زاوية براغ.

ونميّز الصيغتين التاليتين من عامل استقطاب لورانتس:

a- عامل الاستقطاب (موحّد اللون والعينة في نفس المستوي):

$$(LP)_{hkl}=\frac{1+\cos^2 2\alpha\cos^2 2\theta}{(\sin^2\theta\cos\theta)(1+\cos^2 2\alpha)} \qquad (5)$$

b- عامل الاستقطاب (موحّد اللون متعامد مع مستوى توضع العينة):

$$(LP)_{hkl}=\frac{\cos^2 2\alpha+\cos^2 2\theta}{(\sin^2\theta\cos\theta)(1+\cos^2 2\alpha)} \qquad (6)$$

حيث أن:

2α – ضعفي زاوية انعراج لبلورة موّحد اللون (monochromator).

2θ – ضعفي زاوية الإنعراج عن سطح العينة.

3-العامل الحراري (Debye – Waller) e^{-2M} [8]:

وهذا العامل يتبع زاوية الانعراج:

$$M=B(\frac{\sin\theta}{\lambda})^2;\quad B=8\pi^2\left\langle u^2\right\rangle \qquad (7)$$

حيث $\left\langle u^2\right\rangle$ متوسط مربع إزاحة الذرات عن مواضعها في الاتزان بالاتجاه العمودي على مستوى الانعراج أو متوسط مربع سعة اهتزازات الذرات المتعامدة مع مستويات الشبكة،

B معامل يعتمد على سعة الاهتزاز.

4-معامل الامتصاص A(θ):

V/v^2 حجم الطور النسبي إلى حجم وحدة الخلية.

$$V_\alpha+V_\gamma=1 \qquad (8)$$

$$P=\frac{I_\gamma^{(220)}}{I_\alpha^{(200)}}=\frac{|F|_\gamma^2.m_{(220)}.(LP)_{(220)}\cdot\exp(-2M)\cdot(V_\gamma/v_\gamma^2)}{|F|_\alpha^2.m_{(200)}.(LP)_{(200)}\cdot\exp(-2M)\cdot(V_\alpha/v_\alpha^2)} \qquad (9)$$

حيث أن:

P – يمثل العامل النسبي بين شدتي خطين من الطورين المدروسين.

نموذج الحيود:

يحدد حجم وشكل وحدة الخلية المواقع النسبية لقمم خطوط الانعراج السينية، لكن تحدد المواضع الذرية في وحدة الخلية بوساطة الشدات النسبية للخطوط من خلال عامل البنية.

في الأنظمة أو الجمل المكعبية يرتبط الخط السيني الأول مع الحيود عن المستويات التي تتميّز بأخفض قرائن ملر كما في الجدول (1)، حيث أن سعة البنية تعطى بدلالة العامل الذري f_j وإحداثيات الذرة j وهي (u_j, v_j, w_j) ، و قرائن ملر لمستوى الانعراج بالعلاقة:

$$F = \sum_j f_j e^{i2\pi(hu_j + kv_j + lw_j)} \qquad (10)$$

الجدول(1): يتضمن شبكة بلورية مكعبية متمركزة الوجوه FCC ، ومتمركزة الحجم BCC، ومكعبية بسيطة SC .

Cubic systems	SC	BCC	FCC
planes	(100)	(110)	(111)
$h^2+k^2+l^2$	1	2	3
F_{hkl}	f	$2f \quad for \quad h+k+l=even$ $0 \quad for \quad h+k+l=odd$	$4f \quad for \quad h,k,l \quad all \quad even \quad or \quad all \quad odd$ $0 \quad for \quad h,k,l \quad mixed$

التحول المارتنسيتي:

المارتنسيت عبارة عن محلول صلب انتقالي بين مركبات الأوستينيت ذي البنية FCC ، والفرايت ذي البنية BCC دون أن تتمكن ذرات الكربون من الخروج من أماكنها عند عملية التبريد السريع للأوستينيت، بمعنى تغير في شكل الهياكل الشبكية من γ إلى α.

توصف بنية المارتنسيت بالموشورية، أي $\frac{c}{a} \rangle 1$ نتيجة الإجهادات التي تسببها ذرات الكربون المشبعة.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى تحديد العامل الحراري (Debye – Waller) e^{-2M} الذي يدخل في صيغة شدة خط الانعراج السيني، وكذلك ثابت التناسب (الثابت الهندسي) لمطياف XRD الذي أخذ منه الطيف.

علاوة على ذلك إيجاد البارامترين: درجة حرارة ديباي، ومقطع حزمة الأشعة السينية S المشتقين من البارامترين السابقين.

بعد ذلك، نحدد الكسر الحجمي للطورين γ,α أي V_γ,V_α كتحليل كمي.

طرائق البحث ومواده:

يصف عامل ديباي – وولر تأثير اهتزازات الشبكة على شدات خطوط الأشعة السينية ويرمز له بالرمز e^{-2M} ، وتابع ديباي $\phi(x)$:

$$\phi(x)=\phi(x=\frac{\theta_D}{T}) \qquad (11)$$

حيث يعطى متوسط مربع سعة الاهتزاز الكلية $\left\langle u^2\right\rangle_{tot}$ بدلالة متوسط مربع سعة الاهتزاز المتعامد مع مستويات الشبكة.

$$\left\langle u^2\right\rangle_{tot}=3\left\langle u_s^2\right\rangle \qquad (12)$$

ويرتبط العامل الحراري B مع درجة حرارة ديباي θ_D بالعلاقة:

$$B=(\frac{6h^2}{mk_B})(\frac{T}{{\theta_D}^2})[\ \phi(x)+\frac{x}{4}\ ] \qquad (13)$$

حيث أن:

h – ثابت بلانك.

k_B – ثابت بولتزمان.

T – درجة حرارة الغرفة.

θ_D – درجة حرارة ديباي، $x=\frac{\theta_D}{T}$.

$\phi(x)$ – تابع ديباي.

m – كتلة العينة المدروسة.

توجد طرائق تجريبية عديدة لتحديد العوامل الحرارية للمركبات مثل: الحرارة النوعية، الأنتروبية، ثوابت المرونة، المقاومة النوعية، مفعول الجهد الحرج في حالة حيود الالكترونات ذات الجهد العالي.

حيود الأشعة السينية، وحيود النترونات، مسباور، والتشتت اللامرن للالكترونات من الجسم الصلب.

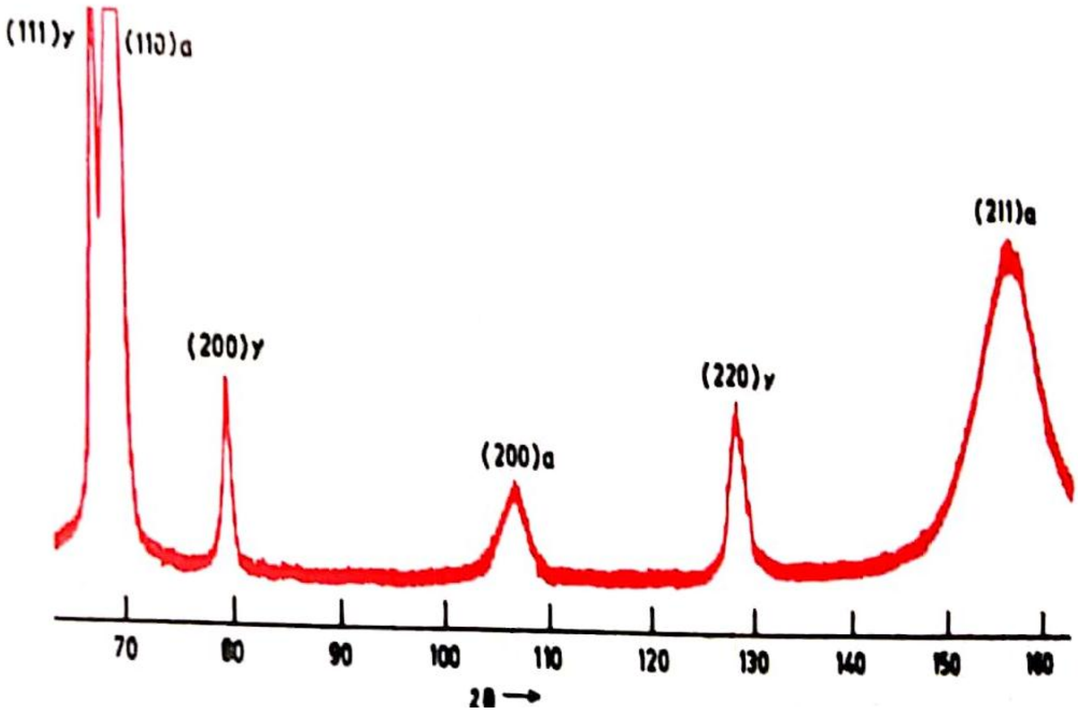
لكن هنا في هذا البحث سنعتمد حيود أشعة – X.

النتائج والمناقشة:

تم الحصول على الشدة للأطوار الموجودة في مخطط الانعراج كتعبير عن المساحة الواقعة تحت كل خط انعراج سيني (عدد المربعات المليمترية تحت كل قيمة) الشكل(2).

يبين الشكل (2) مخطط الانعراج لشريحة من الفولاذ سمكها $2mm$ باستخدام الإشعاع السيني لمصعد الكروم $Cr_{k\alpha}(\lambda=2.29092A^{\text{O}})$ [9].

نلاحظ من المخطط أن الخطين $\alpha(200)$ و $\gamma(220)$ يظهران في مخطط الانعراج بشكل واضح.



الشكل (2): مخطط انعراج للفولاذ 52100 باستخدام إشعاع $Cr_{K\alpha}$

أما العوامل الداخلة في المعادلة (1) مقام الطرف الأيمن فقد تم حساب البعض منها، ولكن قيم m_{hkl} تم أخذها من جداول الأشعة السينية [10,11].

من العلاقتين (8) و (9) وقيم الجدول (2) نجد أن:

$$P = 2.40\frac{V_\alpha}{V_\gamma} \qquad (14)$$

$$V_\gamma = \frac{P}{P+2.40} \qquad (15)$$

الجدول(2): يحتوي على القيم العددية للعوامل الداخلة في علاقة الشدة مأخوذة بطاقة إشعاع Cr_α

Cr_α radiation	γ-austenite phase	α-martinsite phase
$FF^* = \|F\|^2_{hkl}$	$(53.6)^2$	$(28.8)^2$
$(LP)_{hkl}$	39	28
exp(-2M)	0.80	0.84
$m_{(hkl)}$	12	6
$V = a^3$	$(3.58)^3$	$(2.86)^3$

وتم نزع الطبقات السطحية باستخدام حزمة من أيونات غاز الأرغون المسرعة بجهد Ar^{+} 40 kV بجرعة 10^{17} ions/cm^{2} لمدة عشر ثوان، ثم أخذ مخطط أشعة X– عند كل عمق والشدات كما في الجدول (3):

الجدول(3): يحتوي على شدة خطي الطورين، والنسبة بينهما P

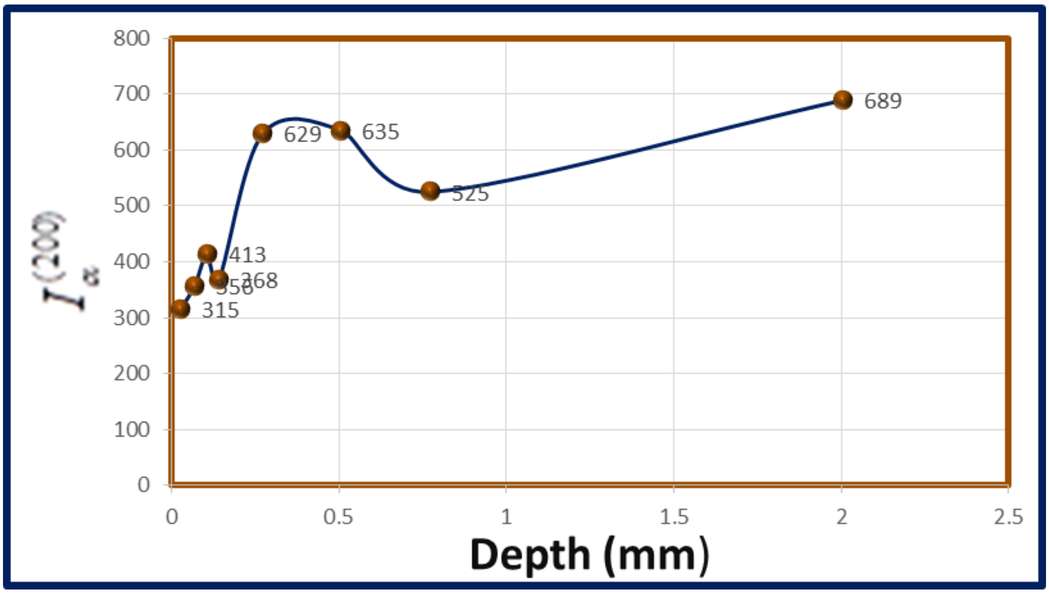
Depth (mm)	$I_{\alpha}^{(200)}$	$I_{\gamma}^{(220)}$	P
0.026	315	898	2.851
0.068	356	995	2.795
0.106	413	884	2.140
0.141	368	758	2.060
0.272	629	589	0.905
0.506	635	434	0.683
0.773	525	217	0.413
2.004	689	65	0.094

بناء على العلاقتين (8) و (10) نجد الكسر الحجمي من كل طور وفق الجدول (4):

الجدول(4): يحتوي على حجوم الطورين عند كل عمق من سطح الشريحة.

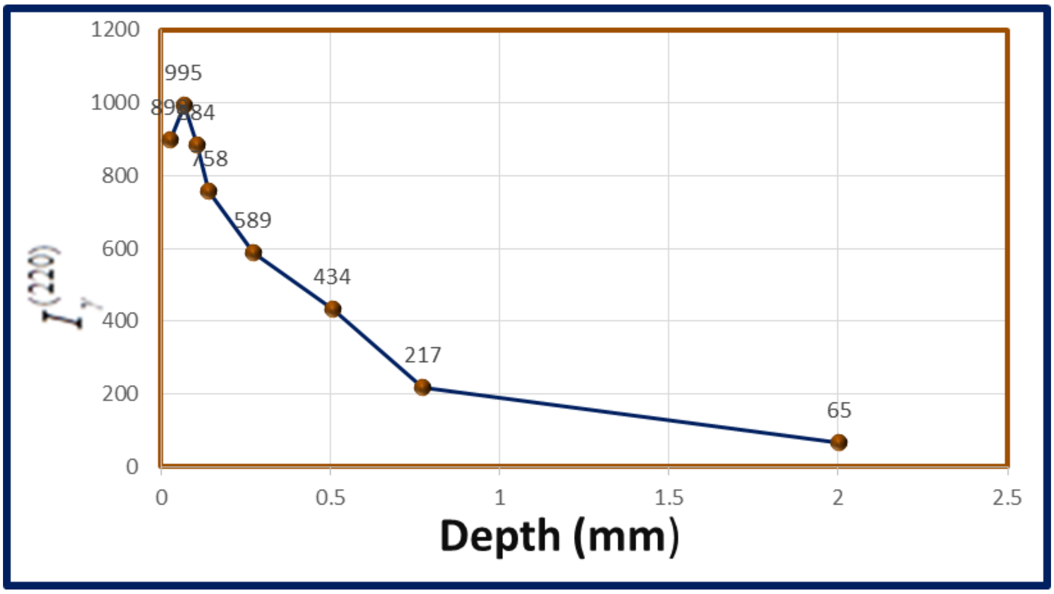
Depth (mm)	$V_{\alpha}\times 100$	$V_{\gamma}\times 100$
0.026	54.29442	45.70558
0.068	53.80173	46.19827
0.106	47.13656	52.86344
0.141	46.18834	53.81166
0.272	27.38275	72.61725
0.506	22.15375	77.84625
0.773	14.68183	85.31817
2.004	3.769046	96.23095

لنرى كيفية تغير الشدات لكلا الطورين مع العمق كما في الأشكال (3 , 4 , 5).



الشكل (3): تغيرات الشدة التكاملية $I_{\alpha}^{(200)}$ مع العمق من سطح الشريحة.

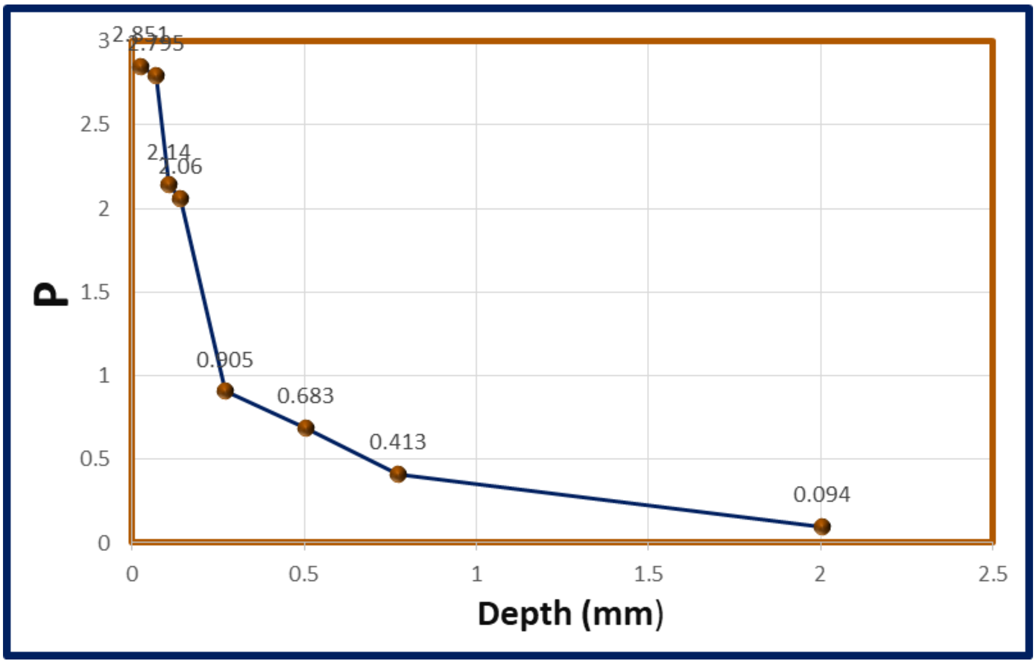
نلاحظ من الشكل(3) أن شدة طور المارتنسيت لها قيمة عظمي 630 au عند العمق 0.4 mm، بينما يكون طور الأوستينيت في حالة التناقص كما يبينه الشكل (4).



الشكل (4): تغيرات الشدة التكاملية $I_{\gamma}^{(220)}$ مع العمق من سطح الشريحة.

ويبيّن الشكل (5) التناقص الأسي للشدة النسبية مع العمق من سطح الشريحة.

نلاحظ من الشكل (5) تناقص شدة خط الأوستينيت $I_{\gamma}^{(220)}$ مع العمق من سطح الشريحة.



الشكل (5): تغيرات الشدة النسبية $P=\frac{I_{\gamma}^{(220)}}{I_{\alpha}^{(200)}}$ **مع العمق.**

ويبين هذا الشكل سيطرة سلوك طور الأوستينيت من الطبقة السطحية ولكن يتناقص هذا العامل مع العمق من سطح الشريحة.

الاستنتاجات والتوصيات:

نستنتج من هذا البحث النقاط الآتية:

1- يظهر مخطط الانعراج أن خطي الانعراج لطور الأوستينيت $\gamma(220)$ وطور المارتنسيت $\alpha(200)$ يظهران بقدرة فصل جيدة.

2- عامل البنية لطور الأوستينيت أكبر من عامل البنية لطور المارتينسيت بمقدار 1.86 ، بينما حجم وحدة الخلية لطور الأوستينيت أكبر بمقدار 1.25 من حجم وحدة الخلية لطور المارتينسيت.

3- تبدي شدة خط انعراج الطور α قيمة عظمى $I_{\alpha}^{(200)}=630au$ عند العمق 0.4 mm بينما تكون شدة خط انعراج الطور γ في حالة انحدار من سطح الشريحة الفولاذية.

4- تبين الشدة النسبية بين خطي الانعراج لكلا الطورين انحداراً مع العمق مما يدل تناقص نسبة الأوستينيت من سطح الشريحة، وتبلغ هذه النسبة عند تناقصها بمقدار $\frac{1}{e}$ من قيمتها عند السطح بمقدار $P=1.05$ التي توافق عمقاً قدره 0.25 mm .

نوصي بتحديد بعض البارامترات الفيزيائية مثل: ثوابت المرونة، درجة الحرارة النوعية، الأنتروبية، ...الخ.

References:

[1] PETER RENNERT, HERBERT SCHMIEDEL, CHRISTIAN, WEISSMANTEL, *Kleine Enzyklopaedie Physik*, VEB Bibliographisches Institute, Leipzig, 1988.

[2] MADAN SINGH, BENEDICT MOLIBELI TAELE and GHANSHYAM PATEL, *Effect of Shape and Size on Curie Temperature, Debye Frequency, Melting Entropy and Enthalpy of Nanosolids.* ORIENTAL JOURNAL OF CHEMISTRY, Vol. 34, No. 5, 2018, 2282-2291.

[3] A. E. Dubinov and A. A. Dubinova, *Exact Integral-Free Expressions for the Integral Debye Functions*, Pleiades Publishing, Ltd., 2008, Vol. 34, No.12, 999–1001.

[4] B. D. Hall, *Debye function analysis of structure in diffraction from nanometer-sized particles*. JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, VOL.87, No.4, 2000, 1666-1675.

[5] M. N. Magomedov, *On the Determination of the Debye Temperature from Experimental Data. Nauka/Interperiodica, Vol. 45, No. 1, 2003, 32–35.*

[6] R. N. Mariammal, V. M. Susila, and K. Ramachandran, *On the Debye-Waller factor and Debye temperature of CdO nanoparticles*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Vol.46, No.9,2011,979–985.

[7] N. A. Masyukov and A. V. Dmitriev, *Approximation Formulas in the Debye Theory of the Low-Temperature Specific Heat of Solids.* Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Fizicheskaya, Vol.71, No.8, 2007,1111–1113.

[8] G. V. Paradezhenko, N. B. Melnikov, and B. I. Reser, *DEBYE WALLER FACTOR IN NEUTRON SCATTERING BY FERROMAGNETIC METALS.* Pleiades Publishing, Ltd. Vol. 195, No. 1, 2018,91-104.

[9] Paul F. Fewster, *Estimating the structure factors in X-ray diffraction.* Acta Cryst, 2018, 481–498.

[10] Erhan Eser · I. M. Askerov · B. A. Mamedov, *Calculation of the Debye–Waller factor of crystals using the n-dimensional Debye function involving binomial coefficients and incomplete gamma functions.* Hyperfine Interact, Vol.194, 2009,381–389.

[11] E. Purushotham, *Effect of Particle Size and Lattice Strain on the Debye-Waller Factors of Copper (Cu) Powder Using High Energed Ball Mill*, Journal of Engineering Science and Technology Review, Vol.6, No.1, 2013, 83 -86.