دراسة تأثير زمن التشعيع بالالكترونات على صلادة سبائك (كاربيد التنكستن – كوبلت 6%)

Effect of Irradiation Time by Electrons on the Hardness for (Tungsten Carbide – 6% Cobalt) Alloys

نجم عبد عسكوري علي عبد ابوجاسم حيدر حمزة حسين حسام محسن هويل
قسم الفيزياء / كلية العلوم / جامعة الكوفة

الخلاصة :

تم في هذه الدراسة حساب أزواج فرنكل المتولدة نتيجة لتشعيع سبائك (كاربيد التنكستن – كوبلت 6%) بالالكترونات إذ كان مقدار الجرعة لإشعاعية (6.25×10^{18} particles / cm^2) وبأزمنة تشعيع مختلفة تراوحت بين (60- 420) ثانية , تم التشعيع الافتراضي بالجسيمات المشحونة الخفيفة (الالكترونات بطاقة 25 kev) , وقد استحصلت جميع النتائج النظرية من بناء برنامج حسابي بلغة (Q-basic) خاص بذلك.

وبموجب هذه الدراسة وجد إن زيادة زمن التشعيع يؤدي إلى زيادة أزواج فرنكل (فراغ – ذرة بينية) المتولدة نتيجة التشعيع بالجسيمات المشحونة الخفيفة , وهذه الزيادة في أزواج فرنكل تولد انخلاعات وتشوهات في الشبيكة البلورية تؤدي بالنتيجة إلى زيادة الصلادة لهذه السبائك .

Abstract:

In this study, The calculation of Frenkel pairs generated as a result of irradiation of (Tungsten Carbide – Cobalt 6%) alloys by 25 keV, The value of radiation dose was (6.25×10^{18} particle / cm^2) and the range of the irradiation time between (60-420) sec .The hypothetical irradiation was made using light charge particle electrons .A special program was written in "Q-Basic" to obtain the theoretical results. A ccording to this study, it was found that the increasing of the irradiation time causes increase of Frenkel pairs (Interstitial – Vacancy) generated by light charged particles. These Frenkel pairs are generating dislocations and deformations in crystal lattice which in turn lead to an increase the hardness of the alloys.

المقدمة :

إن دراسة تأثير الأشعة النووية على المواد الصلبة من المواضيع المهمة , إذ تؤثر هذه الأشعة النووية على خواص المواد الصلبة وهذا التأثير قد يكون سلبيا أو ايجابيا , وفي بحثنا هذا سوف نتطرق إلى الجانب الايجابي إذ تتضمن الدراسة تأثير الجسيمات النووية المشحونة الخفيفة (الالكترونات) على صلادة سبيكة كاربيد التنكستن .

و تعد الصلادة من الخصائص الميكانيكية المهمة التي يصعب تفسيرها بمصطلح بسيط ولغرض الحصول على نتائج جيدة عند قياسها يجب اختيار الحمل (load) المناسب وأداة البعج (indenter) ذات الشكل الملائم بما ينسجم مع نوع العينة المفحوصة ودرجة صلادتها [1]. فموضوع تصليد المعادن بالتشعيع مازال مثار جدل ودراسة لعدد كبير من الباحثين , وتعتبر هذه التقنية من التقنيات الحديثة نسبيا في مجال تصليد المعادن , وتتم بقذف المعدن بأحد أنواع الجسيمات النووية ذات الطاقة العالية مثل النيوترونات أو الالكترونات أو جسيمات ألفا أو البروتونات أو الديترونات وغيرها .

ومن المعادن التي تم تصليدها بالتشعيع هي سبائك (WC-Co) نظرا لأهمية هذه السبائك في مختلف المجالات الصناعية , ويمكن أن نشير هنا إلى عدد من الدراسات السابقة التي تضمنت تصليد مختلف السبائك بالتشعيع عمليا ونظريا :

أول من طرح هذه الفكرة الباحث نجم عبد عسكوري في السنوات 1974 و 1975 [4,3,2] من خلال تقديم أبحاث عملية تضمنت زيادة صلادة سبائك التنكستن – كوبلت بنسب مختلفة باستخدام جرعات متزايدة من الجسيمات الثقيلة المشحونة (البروتونات بطاقة 10 MeV, وايونات الهليوم -3 بطاقة (30 MeV) من المعجل السايكلتروني حيث بلغت الزيادة في صلادة لغاية 30%. وتوالت الدراسات حول هذا الموضوع ولكثرتها سنعرض احدث هذه الدراسات التي تمكنا من الحصول عليها. ففي عام (1997)[5] قامت الباحثة تغريد الساعدي بنشر دراسة نظرية تتضمن دراسة تصليد سبائك كاربيد التنكستن –كوبلت نتيجة التشعيع بأربع جسيمات ثقيلة مشحونة وهي جسيمات ألفا وايونات الهليوم والديترونات والبروتونات , وبجرع إشعاعية افتراضية تراوحت بين (10^{15}-10^{18} particles / cm^2) ولمختلف الطاقات وذلك من خلال ربط علاقة بين أزواج فرنكل المتكونة نتيجة التشعيع مع صلادة فيكرز , وأثبتت هذه الدراسة إن صلادة فيكرز تزداد مع زيادة أزواج فرنكل . وفي عام (2000) قام كل من K.Farrell [6] وجماعته بدراسة إجهاد الشد بتشعيع نماذج الحديد النقي التجاري وسبيكة (الحديد – نحاس) ونموذجين من الفولاذ الحديدي عند درجة الحرارة (288 C^o) بالكترونات ذات طاقة (2.5 MeV) بجرعات (2.82×10^{23} , 9.35×10^{23}) (إلكترون /المتر المربع) والتي تقابل جرعات إزاحات

ذرية محسوبة (3.16×10^{-3},9.53×10^{-4}) إزاحة للذرة الواحدة على التعاقب. تم الاستنتاج إن كفاءة التصليد للتشعيعات الالكترونية لوحدات (dpa) عند درجة حرارة (288 Co) هي مماثلة لتلك التشعيعات النيوترونية المنشورة في الدراسات السابقة. وفي عام (2002) قام كل من [7] Iwase.وجماعته بنشر دراسة تضمنت تشعيع نموذجين من السبائك (Fe-0.6wt% Cu) و (Fe -1.2wt % Cu) بايونات ثقيلة بطاقة (GeV) عند درجة حرارة (250 C^o) وعند درجة حرارة الغرفة . بينت صلادة فيكرز المجهرية عند درجة حرارة الغرفة إن التغير بالصلادة بسبب التشعيع يعتمد بقوة على درجة حرارة التشعيع وعلى محتويات النحاس. وفي عام (2004) قام كل من [8] T.Kitao وجماعته بنشر دراسة تتضمن التصليد التشعيعي وتطوير التركيب المجهري نتيجة للتشعيع بالنيوترونات والالكترونات للحديد النقي ولسبائك (Fe –Cu) النموذجية , فالتشعيعات بالنيوترونات من مفاعل فحص المواد الياباني (JMTR) وبالالكترونات من معجل فودترون الالكتروني عند درجة حرارة C^o(240 , 300) بالتعاقب. كان التصليد التشعيعي لـ (Fe) وسبائك (Fe-Cu) النموذجية حوالي (dpa 10×1) في كل من التشعيع النيوتروني والالكتروني. لقد بينت الدراسة إن التصليد بالتشعيعات يبدأ بالتناقص في مديات مختلفة من درجات الحرارة , ففي درجات الحرارة الواطئة يعتمد على تركيز النحاس وجرعة التشعيع بالالكترونات , بينما في درجات الحرارة العالية لايظهر سلوك التصليد التشعيعي مما يقترح بصورة غير مباشرة إن ذرات النحاس تعيق تكوين التجمعات البينية .

النظرية:

يتألف التركيب ألمجهري لسبائك (WC-Co) من حبيبات (WC) المرتبطة مع بعضها بمعدن الكوبلت . حيث يكون (WC) عبارة عن جسيمات مغمورة في محيط مستمر من طور الكوبلت الرابط [9] .

تمتاز حبيبات (WC) بأنها صلدة (hard) وهشة (brittle) نسبيا , , أما الطور الرابط فتمتاز حبيباته بكونها لينة (soft) ومطولية (Ductile) [10] , وتتألف كل حبيبة من حبيبات (WC) و (Co) من عدد هائل من وحدة الخلايا ويختلف هذا العدد باختلاف حجم الحبيبات . ويمتلك كاربيد التنكستن الأحادي (WC) من تركيبين بلوريين هما سداسي محكم الرص (hcp) وهو الشائع وتركيبا مكعبا محكم الرص (ccp) الاقل انتشارا [11,10] .أما معدن الكوبلت , تكون وحدة الخلية له ذات تركيب سداسي محكم الرص (hcp) . ولسبائك كاربيد التنكستن خواص فيزيائية فمنها الخصائص الكهربائية والحرارية والميكانيكية وخواص كيمياوية, إذ يكون خليط كاربيد التنكستن – كوبلت بعد تلبيده عبارة عن سبيكة ذات لون رصاصي (gray) [12] , وهي تمتلك خصائص مغناطيسية حيث تبدي انجذابا قويا نحو المغناطيس , وتمتلك وزنا جزيئيا مقداره (195.30 g/mol) وحجما جزيئيا مقداره (12.51 cm^3/mol) [12] وهي ذات كثافة ودرجة انصهار عاليتين نسبيا و هذه الخصائص تختلف باختلاف نسبة تركيز الكوبلت في السبيكة .

ولسبائك (WC-Co) عدة استخدامات صناعية , حيث تستخدم في عدد القطع (cutting tools) وقوالب سحب الأسلاك (wire drawing dies) ومثاقب الصخور (rocks drills) المستخدمة في التنقيب عن البترول وتستخدم أيضا في الأجزاء المقاومة للتآكل الكيميائي وللبلى (wear) نتيجة الاستعمال ولاجزاء المقاومة للصهر(Refractory) وغيرها [13]. لقد كانت الزيادة المسجلة في صلادة سبائك (WC-Co) لأصناف مختلفة (H , N , CXT grades) من إنتاج شركة (Wickman – Wimet) تتراوح بين (% 33.2 – 11.1) من قيمتها الأصلية اعتمادا على صنف السبيكة والجرعة الإشعاعية المستلمة وطاقة الجسيمات المشحونة وزمن التعرض ومساحة العينة المتعرضة للإشعاع ودرجة حرارة العينة عند التشعيع وعوامل أخرى [13,4,3,2] وفي مايلي النموذج الرياضي لحساب أزواج فرنكل:

إذا سقطت جسيمات ذات طاقة عالية , فيضها الإشعاعي(Particle /cm^2 Sec) φ على هدف معين كثافة ذراته (N_o (atoms/cm^3), فان عدد الذرات المزاحة عن موقعها للضربة الابتدائية التي تتلقاها الذرات (Primary (Knock on atoms) (PKAs) نتيجة لتصادمها مع الجسيمات المقذوفة يرمز لهn_p (atom/cm^3) ويعبر عنه رياضيا بالعلاقة آلاتية : [17,18 16,15]

$$n_p = \varphi.t.N_o\sigma_d .....(1)$$

حيث إن :

t: زمن التعرض الإشعاعي بالثانية .

σ_d: المقطع العرضي للإزاحة. (displacement cross – section) ويقاس بوحدات (cm^2) أو (barn).

وعلى افتراض إن الذرات (PKAs) سوف ترتد وتعمل سلسلة من الإزاحات الثانوية والثلاثية مكونة ما يسمى سنبلة الإزاحة (displacement spike) حتى تفقد طاقتها وتستقر . لذلك فان عدد الذرات المزاحة لهذه السلسلة نتيجة الضربة الابتدائية التي تتلقاها الذرات والتي تمثل عدد أزواج فرنكل المتولدة

n_d (Frenkel pairs /cm^3) تعطى في العلاقة الآتية :[21,20 , 17 , 16]

$$n_d = n_p\bar{\nu} = \varphi t N_o\sigma_d\bar{\nu} .....(2)$$

حيث إن :

$\bar{\nu}$: معدل عدد الذرات المزاحة من قبل الذرة (PKAs) الواحدة نتيجة لسلسلة الإزاحات التي تحصل فيما بعد,

ويمكن حسابها من العلاقة الآتية : [14,13]

$$\bar{v} = \frac{1}{2}\left[\frac{T_{\max}}{T_{\max} - E_d}\right]\left[1 + Ln\left[\frac{T_{\max}}{2E_d}\right]\right] \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3)$$

وتعتمد على معدل الطاقة المنتقلة إلى الذرة المضروبة $E_{p(ave)}$.

حيث إن :

E_d : طاقة حد العتبة اللازمة لازاحة الذرة عن موقعها الشبيكي وهي ثابته وقيمتها المتوسطة تقريبا" (25 eV).

T_{max} : أعظم طاقة منتقلة لذرة الشبيكة نتيجة التصادم الرأسي المرن ((Maximum energy transferred.

ويمكن حساب ($E_{p(ave)}$) نتيجة لتصادم الذرة مع جسيم مشحون ساقط والذي يحمل طاقة مقدارها (E) (تمثل طاقة الجسيم المشحون الساقط) من المعادلة الآتية : [14 , 15]

$$E_{p(ave)} = \left[\frac{E_d T_{\max}}{T_{\max} - E_d}\right] Ln\left[\frac{T_{\max}}{E_d}\right] \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4)$$

وعلاقة المقطع العرضي للإزاحة الذرية وهي احتمالية حدوث عملية الإزاحة لذرة معينة واحدة ويمكن حسابها عند التشعيع بالجسيمات المشحونة من العلاقة الآتية : [13]

$$\sigma_d = 4\pi a_o^2 \left[\frac{M_1}{M_2}\right] Z_1^2 Z_2^2 \left[\frac{E_r^2}{E}\right]\left[\frac{1}{E_d} - \frac{1}{T_{\max}}\right] \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(5)$$

ويكن حسب T_{max} بعد تطبيق قانون حفظ الزخم الخطي للجسيمين المتصادمين وكما في العلاقة الآتية :

$$T_{\max} = \frac{4M_1M_2}{(M_1 + M_2)^2} E \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(7)$$

حيث : (E_r =13.6 Ev) : وهو يمثل طاقة رايدبيرك.

(a_o =5.29×10^{-9}cm) : وهو يمثل مدار بور الاول لذرة الهايدروجين.

M_1 : تمثل كتلة الجسيم المقذوف .

M_2: تمثل كتلة ذرة الشبيكة الساكنة.

(ويمكن الاستعاضة عنها بالعدد الكتلي Atomic mass number بدلا من كتلة الجسيمات المقذوفة والذرات)

ويمكن إعطاء المعادلة الشبه تجريبية والتي تربط أزواج فرنكل مع صلادة فيكرز بالعلاقة الآتية: [4]

$$H.V(Kg \setminus mm^2) = 194.23\ln(n_d) - 7670.9 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(8)$$

الحسابات:

تم احتساب أزواج فرنكل المتولدة لكل سنتمتر مكعب (Fp/cm^3) نتيجة التشعيع , وذلك بالاعتماد على المعادلات والعلاقات الرياضية المتعلقة بحساب أزواج فرنكل المتولدة نتيجة التشعيع بجرعة إشعاعية من الجسيمات المشحونة الخفيفة (سيل من الالكترونات بجرعة مقدارها(6.25×10^{18}electrons / cm^3) وبمختلف أزمنة التشيع لنوع واحد من السبائك (WC-Co 6%) من النوع (N) [4,3,2].

وبعد احتسا ب أزواج فرنكل تم الاعتماد على معادلة شبه تجريبية تربط هذه الأزواج مع صلادة فيكرز وذلك من خلال بناء برنامج حسابي بلغة Q Basic خاص بذلك يعتمد أساسه العلاقات الرياضية المذكورة في أعلاه .

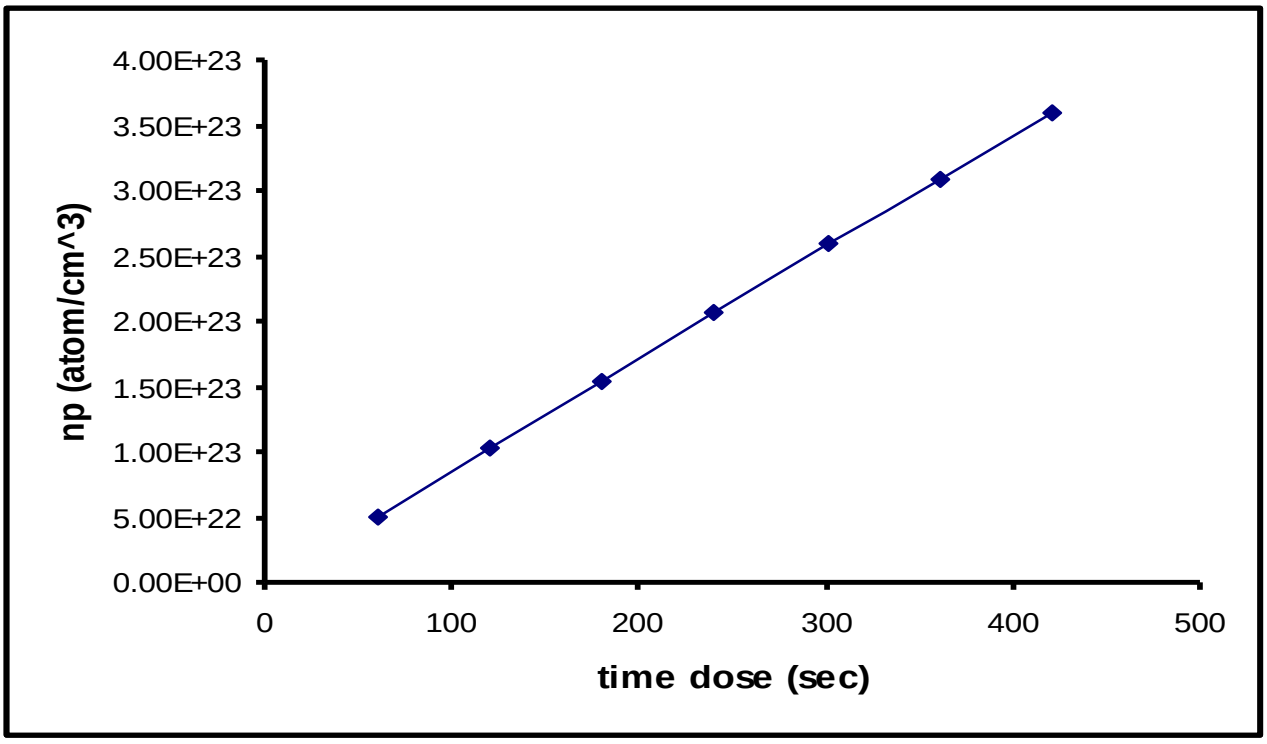
النتائج والمناقشة :

إن جميع النتائج في هذه الدراسة استحصلت باستعمال البرنامج الحسابي المنظور.حيث إن الشكل البياني (1) يوضح العلاقة بين الفترة الزمنية للتشعيع مع عدد الذرات المزاحة عن موقعها للضربة الابتدائية و يبين إن عدد الذرات الابتدائية المزاحة عن مواقعها تزداد بزيادة الفترة الزمنية للتشعيع (أي الجرعة الإشعاعية). والشكل (2) يبين زيادة عدد أزواج فرنكل مع زمن التشعيع , أما الشكل (3) فيشير إلى زيادة عدد أزواج فرنكل مع زيادة زمن التشعيع لنوعين من سبائك كاربيد التنكسن – كوبلت و أيضا يوضح زيادة السبيكة من النوع (N) اكبر من زيادة السبيكة من النوع (CXT) وهو يتفق مع ماورد في القياسات العملية [4,3,2] والشكل (4) يبين زيادة أزواج فرنكل كلما زادت عدد الذرات الابتدائية المزاحة . أما الأشكال (5) و(6) فتوضح علاقة صلادة فيكرز لمختلف أزمنة التشعيع و لكلا نوعي السبائك المستخدمة في هذه الدراسة من عدد الذرات الابتدائية المزاحة و عدد أزواج فرنكل , وتبين أيضا زيادة الصلادة مع زيادة كل من عدد الذرات الابتدائية المزاحة و عدد أزواج فرنكل.

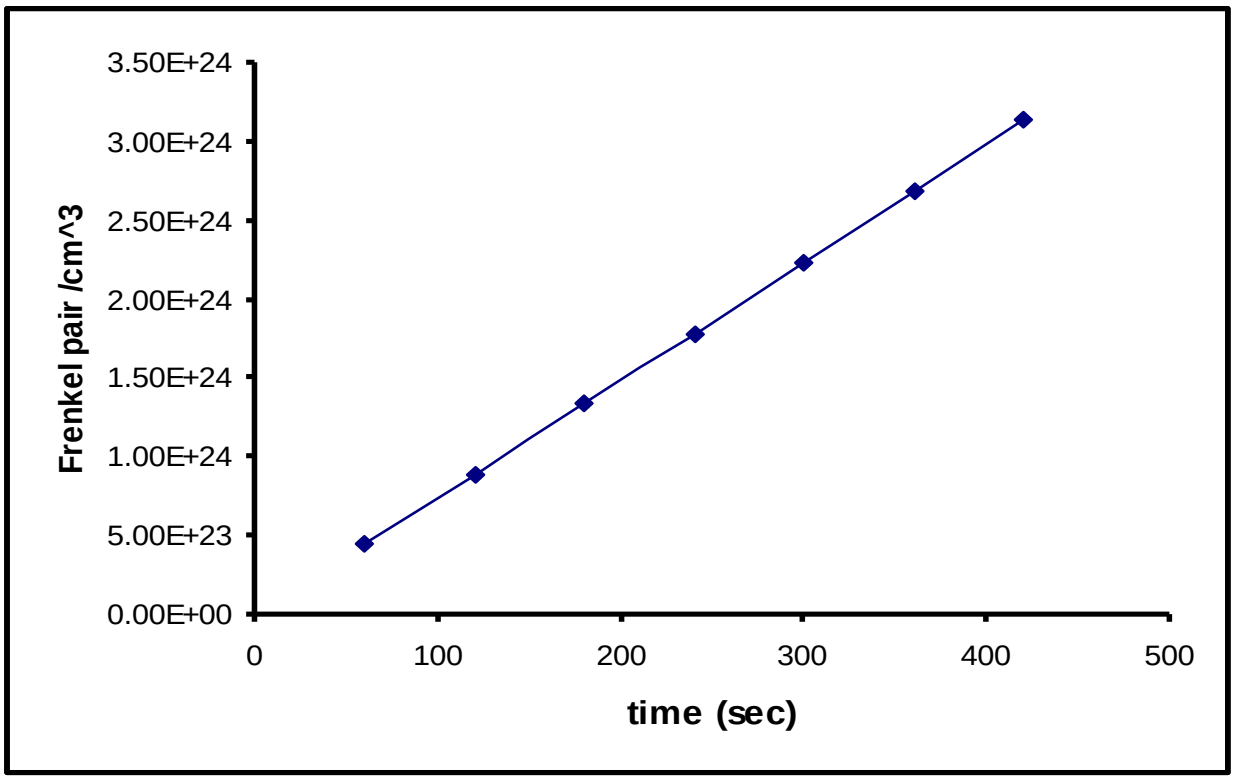
يمكن تفسير زيادة الصلادة بالتشعيع على النحو الأتي :

إن الزيادة الحاصلة في الصلادة بعد التشعيع تكون نتيجة مباشرة للإزاحات الذرية التي تحصل للذرات المستقرة في مواضعها مما يسبب تشوه (Distort) الشبيكة البلورية الذي يؤدي بدوره إلى إعاقة انزلاق (Slippage) السطوح البلورية بعضها فوق البعض الأخر . وان تأثير الإشعاع يكون مشابها إلى حد ما لتأثير التشكيل على البارد للمعادن والسبائك [2].
كما تفسر الزيادة الحاصلة في الصلادة على إنها نتيجة قلة تحركيه الانخلاعات , حيث يفسر (Pratt) التصليد بالتشعيع بأنه ناتج بسبب تسلق (Climb) الانخلاعات الحافية (Edge Dislocation) خارج مستوي الانزلاق كنتيجة لتوليد أزواج فرنكل (فراغ – ذرة بينية) , أما حسب (Seitz) فان تسلق الانخلاعات الحافية يؤدي إلى قلة اهتزازها وبالتالي إلى قلة حركتها [13].
وهناك تفسير أخر يشير إلى إن الإشعاع له تأثير مباشر على بعض الخصائص الفيزياوية للمعادن الثقيلة منها الصلادة.[14], ومن تأثيرات الإشعاع التي تزيد الصلادة هو توليد أزواج فرنكل وحلقات الانخلاع. [18,17,16,15].
وبهذا نجد إن كل المصادر العلمية المشار إليها تعزي زيادة الصلادة بالدرجة الأساس إلى زيادة أزواج فرنكل المتولدة نتيجة التشعيع والتي تقود إلى تأثيرات أخرى تؤدي إلى زيادة الصلادة وهو مايتطابق مع النتائج التي توصلنا إليها.
الاستنتاجات:

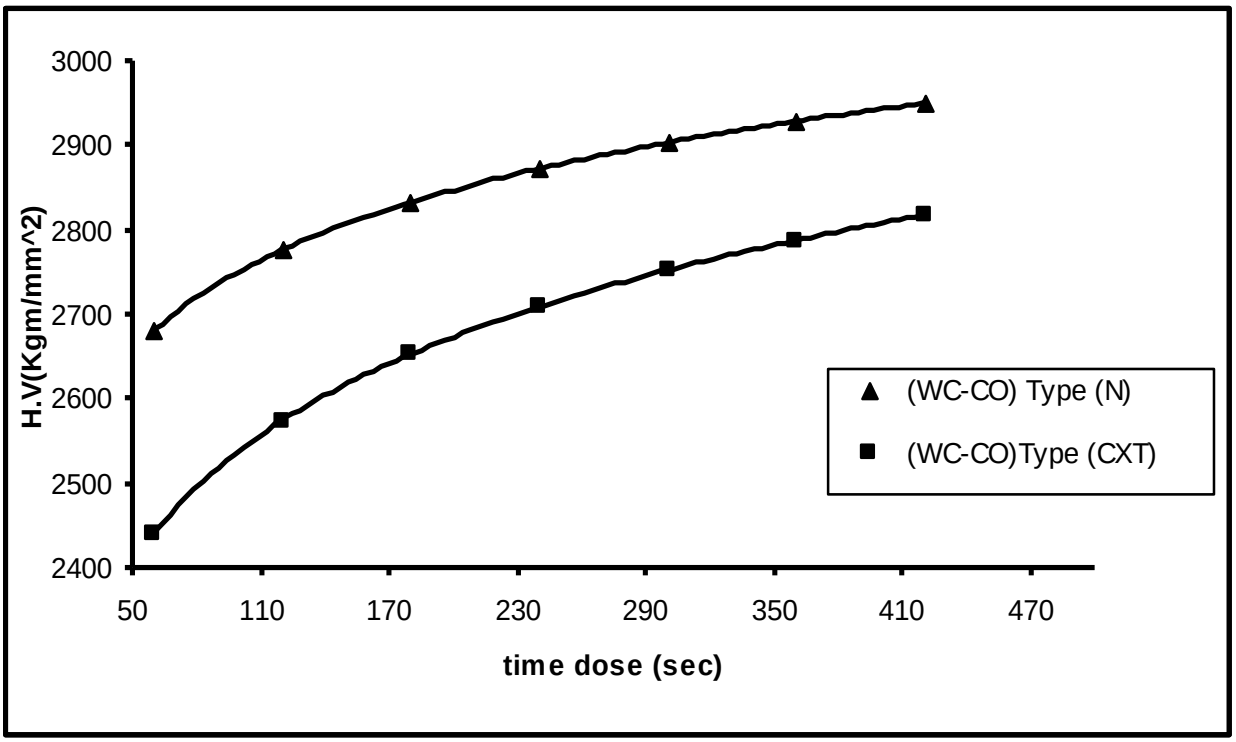
1. إن عدد الذرات الابتدائية المزاحة عن موقعها تزداد بزيادة الفترة الزمنية للتشعيع (الجرعة الإشعاعية).
2. إن أزواج فرنكل تزداد بزيادة زمن التشعيع.
3. إن صلادة فيكرز لسبائك (WC-6%CO) ولنوعين (N & CXT) تزداد بزيادة الجرعة الإشعاعية إلى حد معين ويمثل الجرعة الأنسب بسبب حصول عملية إعادة اتحاد أزواج فرنكل (فراغ – ذرة بينية) ويختلف هذا الحد باختلاف صنف السبيكة ونوع الجسيمات الساقطة وطاقتها وظروف التشعيع , وهذا مايتفق تماما مع البحوث السابقة [22,21,20,19,13,4,3,2].
4. إن الصلادة تزداد بزيادة زمن التشعيع.



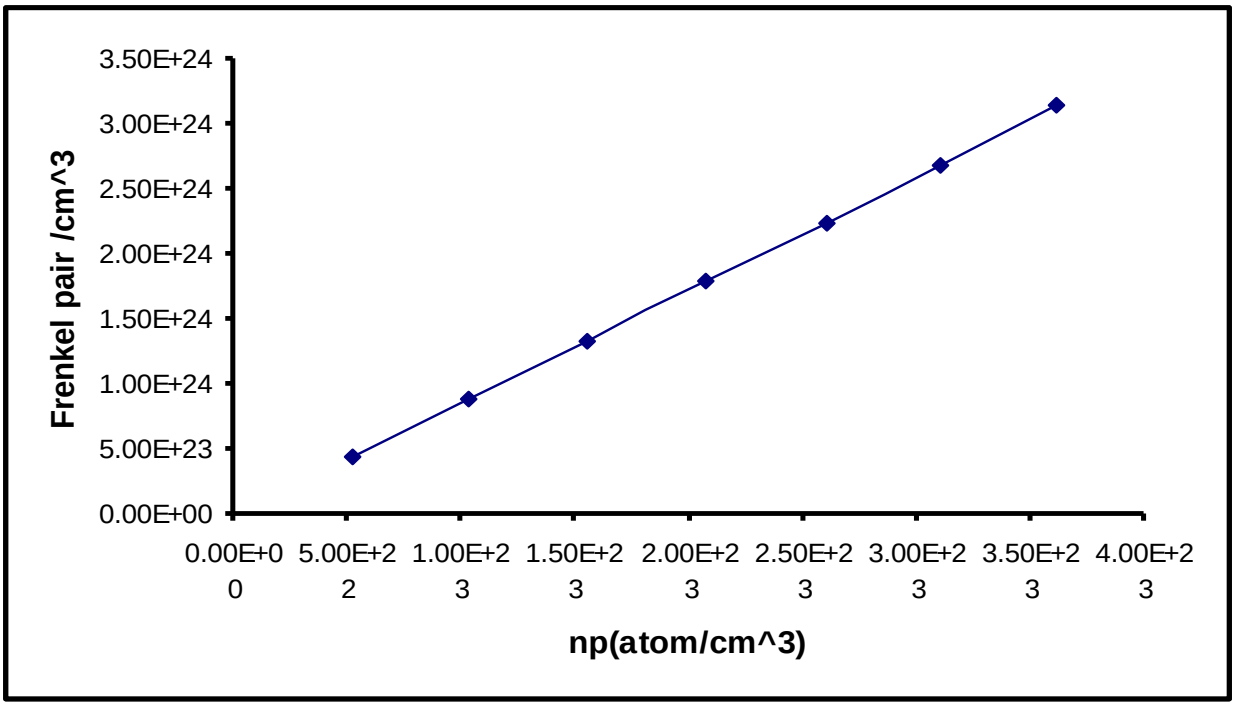
شكل (1) الفترة الزمنية للتشعيع مع عدد الذرات المزاحة عن موقعها للضربة الابتدائية.



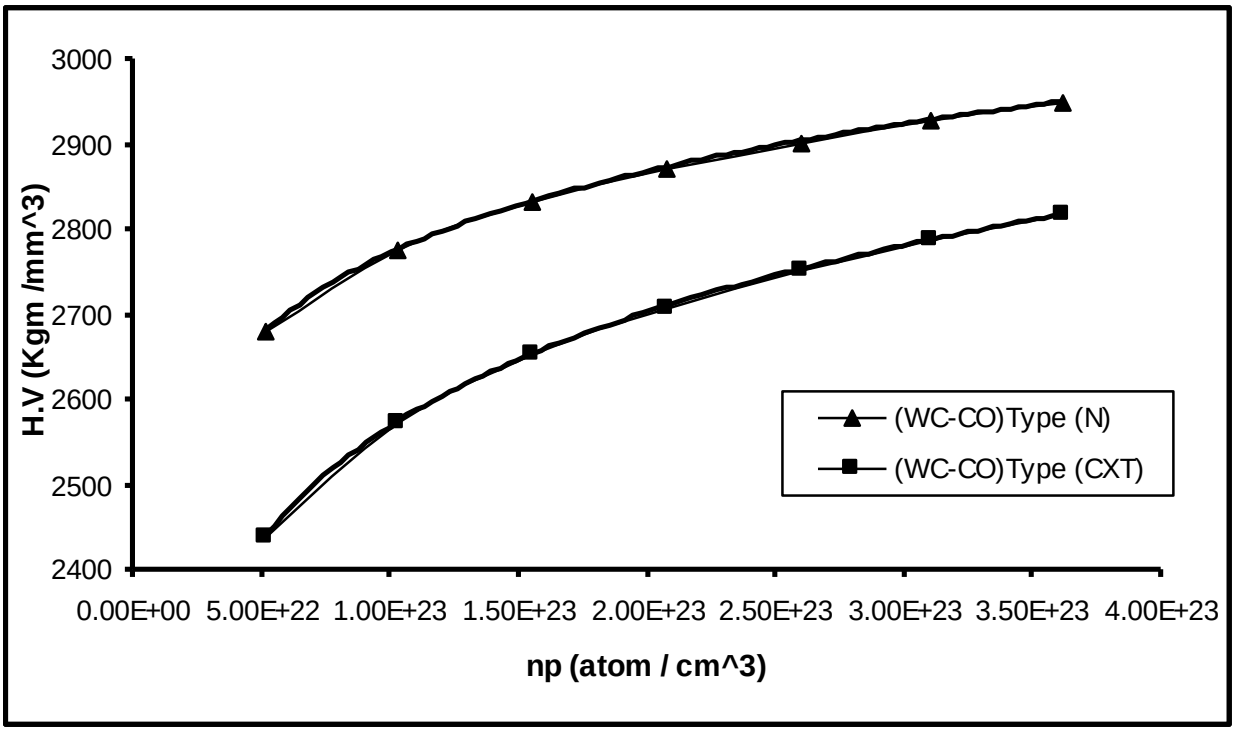
شكل (2) الفترة الزمنية للتشعيع مع عدد أزواج فرنكل



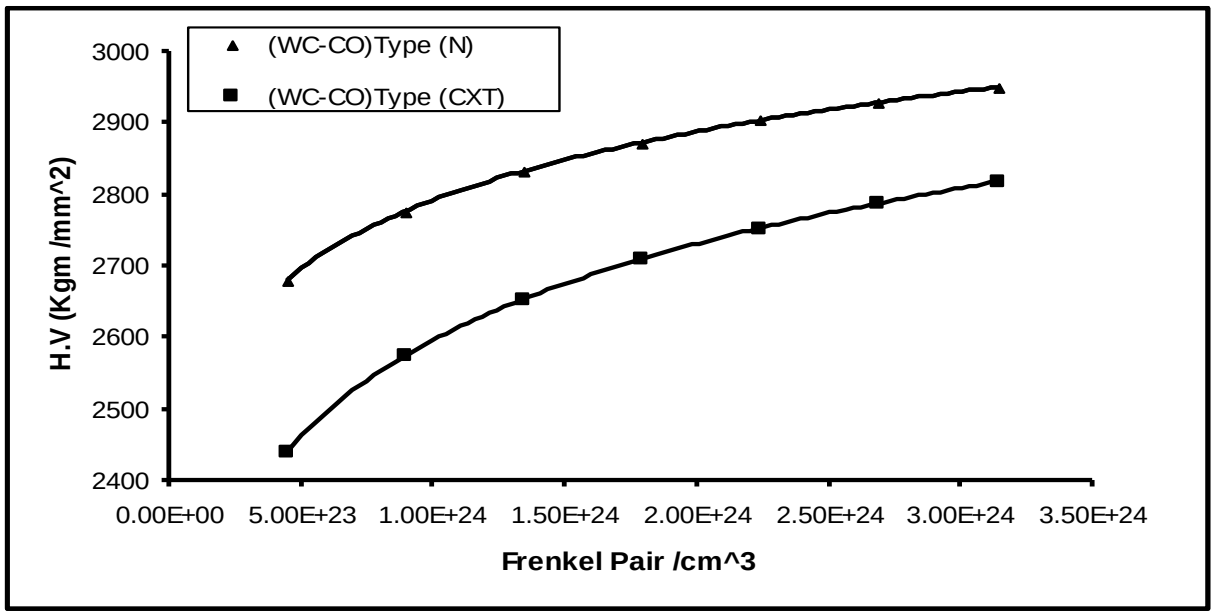
شكل (3) يوضح علاقة صلادة فيكرز مع الفترة الزمنية للتشعيع ولكلا نوعي السبائك



شكل (4) يوضح العلاقة بين عدد أزواج فرنكل مع عدد الذرات المزاحة عن موقعها للضربة الابتدائية



شكل (5) يوضح علاقة صلادة فيكرز مع عدد الذرات المزاحة عن موقعها للضربة الابتدائية



شكل (6) يوضح علاقة صلادة فيكرز مع أزواج فرنكل المتولدة في سبيكة (WC-Co6%) من النوع (N) نتيجة التشعيع بسيل من الالكترونات بجرعة قدرها (6.25×10^{18}).

References:

[1]ف. بيلي, ترجمة د. حسين باقر,"مبادئ هندسة المعادن والمواد", الجامعة التكنلوجية (1985), العراق..

[2] N.A.Askouri, ph, D., thesis, univ. of Birmingham, U.K,(1974).

[3] J.H.Fremlin & N.A.Askouri , Nature , Vol.249 , No.5453 , P.137,(1974).

[4] N.A.Askouri & J.H.Fremlin, Metals Technology , No.1975 , P.538,(1975).

[5] تغريد مسلم, "تصليد سبائك كاربيد التنكستن – كوبلت بالتشعيع بجسيمات مشحونة ثقيلة", أطروحة ماجستير, (1997).

[6] K.Farrell,R.E.Stoller , P.Jung , Journal of Nucl.Materials, Vol.179, P. 77, (2000)

[7] A.Iwase, T.Hasegawa , Y.Chimi , Nucl.instr.and methods in phy.resear.section B, Vol.195, P.309, (2002).

[8] T.Kitao, R.Kasada , A.Kimura .Digital Library /stp/stp1447-eb/stp11240s , p.11 , (2004)

[9] H.C.Lee, and J.Gurland, Meter .sci.and Eng, Vol.33, P.125, (1978).

[10] E.L.Toth, "Transition metal carbides and nitrides" new york , Academic press ,(1977).

[11] P.T.Lyman," Metals hand book " 8 th ed. , American society for metals , Ohio , (1961).

[12] W.Betteridge,"Cobalt and its alloys", 1 th ed., John wiley and sons, (1982).

[13] N.A.Askouri , International Journal Applied Radiation Isotopes , Vol. 26, P.61,(1975).

[14] T.B.Shaffer, "High temperature materials", No.1, plenum, press , new york , (1964).

[15] L.T.Chadderton, "Radiation damage in crystals" , new yourk , and sons INC, 1 th ed. ,(1965).

[16] G.J.Dienes and G.H.Vineyard,"Radiation effects in solids" , Inter science publisher , INC,(1957).

[17] D.S.Billington," Radiation damage in solids', Academic press new yourk, and London, (1962).

[18] J.N.Anuo, "Notion Radiation effects on materials", (1984).

[19] D.S.Billington and J.H.Crawford," Radiation damage in solids', Oxford univ. Press, (1961).

[20] J.A.Brinkman, J.App.Phys.Vol.25, P.901, (1954).

[21] G.Dearnaley and F.J.Minter, Nucl.Inst. And Meth.in Phys.Research B7/8, P.188, (1985).

[22] L.Guzman and E.Voetoline, Mater. Sci. and Eng, A ,Vol.166 , P.183 , (1989).