

الفصل السابع

دراسة طبغرافية سطح الألياف بالتداخل الضوئى

Interferometric Determination of Fibre Surface Topography

استخدمت طرق التداخل الضوئى لفحص أسطح المواد للتعرف على معالم وتفاصيل تضاريسها . وطلبت كل من طرق التداخل الضوئى الثنائى والمتعدد لإجراء هذا الفحص . وأجرى « تولانسكى Tolansky » ومجموعته (١٩٤٨ ، ١٩٥٢ ، ١٩٦٠) دراسة مكثفة لطبغرافية البلورات وكذلك أسطح المعادن . واستخدمت فى هذا المجال هذب التداخل الضوئى المتعدد محددة الموقع عند النفاذ وعند الانعكاس .

١/٧- تطبيق هذب التداخل الضوئى المتعدد محددة الموقع النافذة لدراسة طبغرافية الأسطح :

Multiple-beam localised interference systems in transmission applied to surface topography :

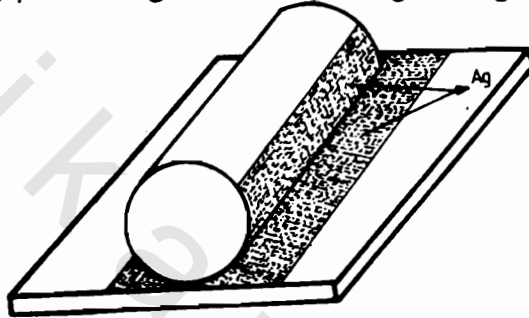
تم فى الفصل السادس شرح النظام البصرى المستخدم للحصول على هذب التداخل الضوئى المتعدد الذى طوره « تولانسكى Tolansky » لدراسة تضاريس أسطح الأجسام الشفافة وهو نفس النظام الذى استخدم لتعيين معامل انكسار الألياف باستخدام طريقة التداخل الضوئى المتعدد عند النفاذ فيما عدا طريقة تكوين مقياس التداخل الضوئى .

فى حالة فحص الخواص الضوئية للألياف تغمر الشعيرة فى سائل موضوع بين مسطحين ضوئيين مفضضين يميل أحدهما على الآخر ، بينما فى حالة دراسة طبغرافية سطح من مادة شفافة - كالألياف مثلا - فإن هذب فيزو للتداخل الضوئى المتعدد تتكون من الأشعة المنعكسة من السطح المراد فحصه ومن مسطح ضوئى يعتبر مرجعا .

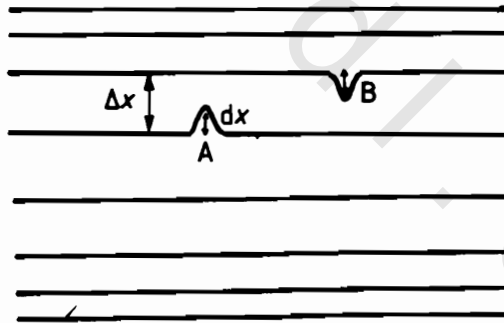
وتتكون مجموعة الهذب هذه فى مكان محدد فى الفراغ يقع بالقرب من مقياس التداخل الضوئى ، ويغطى السطحان بطبقة من الفضة لها انعكاسية كبيرة ونفاذيتها جزئية ، وذلك بالتبخير الحرارى للفضة عند ضغط منخفض (أقل من 10^{-5} تور) . وتوضع الشعيرة وكذلك

المسطح الضوئي بعد تغطيتها بطبقة من الفضة في حامل "Jig" لتكون مقياس التداخل الضوئي - شكل رقم (١/٧) - الذي يحصر شريحة من الهواء . وتتكون هدب فيزيو للتداخل الضوئي عند النفاذ . وتظهر هذه الهدب على هيئة خطوط مستقيمة حادة ومضيئة موازية لمحور الشعيرة . ويتناقص البعد بين كل هدبتين كلما بعدنا عن محور الشعيرة . وتظهر التفاصيل الدقيقة المكونة لطبغرافية سطح الشعيرة على شكل تعرجات في الهدب تنتج من الارتفاعات والانخفاضات الموجودة على سطح الشعيرة .

ويمكن تعيين نصف قطر الشعيرة عند المقاطع العرضية المختلفة ، وذلك من البعد بين الهدب المتتالية عند موقع كل مقطع عرضي كما هو موضح بالشكل رقم (٢/٧) .



شكل رقم (١/٧) : مقياس تداخل ضوئي لتعيين تضاريس سطح شعيرة باستخدام هدب التداخل الضوئي عند النفاذ



شكل رقم (٢/٧) : شكل هدب التداخل الضوئي المتعدد محددة الموقع ، تظهر على هيئة خطوط مستقيمة حادة مضيئة عند النفاذ وخطوط معتمة عند الانعكاس ، موازية لمحور الشعيرة . يتناقص البعد بين كل هدبتين متجاورتين كلما تحركنا بعيدا عن محور الشعيرة ، طبقا لانحناء سطح الشعيرة . تمثل الإزاحة A ارتفاعا على سطح الشعيرة إذ أنها في اتجاه زيادة فجوة مقياس التداخل g في حين أن الإزاحة B تنتج من انخفاض على سطح الشعيرة .

٢/٧- تطبيق هدب التداخل الضوئى محددة الموقع عند الانعكاس لدراسة طبغرافية الأسطح

Multiple-beam localised interference systems at reflection applied to surface topography :

طبق « تولانسكى Tolansky » ومجموعته هدب فيزو للتداخل الضوئى المتعدد عند الإنعكاس لفحص أسطح مجموعة متنوعة من البلورات التى تتضمن الميكا والسيلينيت والكوارتز للتعرف على معالم هذه الأسطح ومعالم النمو البلورى لبلورة كريد السيليكون بقياس ارتفاع كل درجة من درجاتها ، وكذلك قياس أبعاد الحفر الناتجة عند أسطح الأجسام لتقدير صلابتها . ويشابه النظام البصرى المستخدم فى هذه الحالة النظام البصرى الذى تم شرحه فى الفصل الرابع فيما عدا تركيب مقياس التداخل الضوئى .

وسندرس الآن تكون مقياس التداخل الضوئى وهو من السطح المراد فحصه ومسطح ضوئى مفضض بحيث يمكن - باستخدام ميكروسكوب - رؤية منطقة معينة من السطح وهى فى وضع أفقى بالنسبة للأشعة الساقطة على مقياس التداخل الضوئى . والمكون العلوى لمقياس التداخل الضوئى - كما ذكرنا - هو مسطح ضوئى يواجه الضوء الساقط ويغطى المكون الأول لهذا المقياس . أى المسطح المراد فحصه - بطبقة سميكة من الفضة ، بينما يغطى المكون الثانى - المسطح الضوئى - بطبقة رقيقة من الفضة انعكاسيتها $R \approx 70\%$ ونفاذيتها $T \approx 22\%$. ويضم المكونان مع بعضهما فى حامل Jig مناسب ليكونا مقياس تداخل ضوئى يحصر شريحة هواء ، كما فى الشكل رقم (٣/٧) .

ويستخدم ميكروسكوب لملاحظة هدب التداخل الضوئى المتكونة والمحددة الموقع وتكون شينية الميكروسكوب لها اتساع زاوى angular aperture مناسب لتجمع كل الأشعة المؤثرة الداخلة فى تكوين الهدب . فإذا كان طول موجة الضوء فى الهواء هو λ فإن الهدب المتكونة تظهر على شكل هدب حادة معتمة على خلفية مضيئة ترسم خريطة تضاريس السطح ، وهى نتيجة تقاطع مستويات توازى المسطح الضوئى الداخلى فى تكوين مقياس التداخل ، ويبعد كل مستوى عن مجاوره بمسافة تساوى $\lambda/2$ ، أى أن هدب التداخل التى تظهر هى فى الواقع منحنيات تساوى سمك شريحة الهواء المحصورة بين السطح المراد تسجيل تضاريسه والمسطح الضوئى . أى أنها تقع على مستوى وتتكون مجموعة الهدب المغلقة التى لاتتقاطع

عند الارتفاعات والانخفاضات ويختلف البعد بين كل هدبة وأخرى . وتعتمد المسافة بين كل هدبتين متتاليتين fringe spacing على زاوية ميل مكوى مقياس التداخل الضوئى . وتعين طبغرافية السطح المجهولة كحيا بقياس مقدار الإزاحة الجانبية للهدبة dx المقابلة للارتفاع h أو الانخفاض على سطح الشعيرة من المعادلة :

$$h = \Delta m \left(\frac{\lambda}{2} \right) \quad (7.1)$$

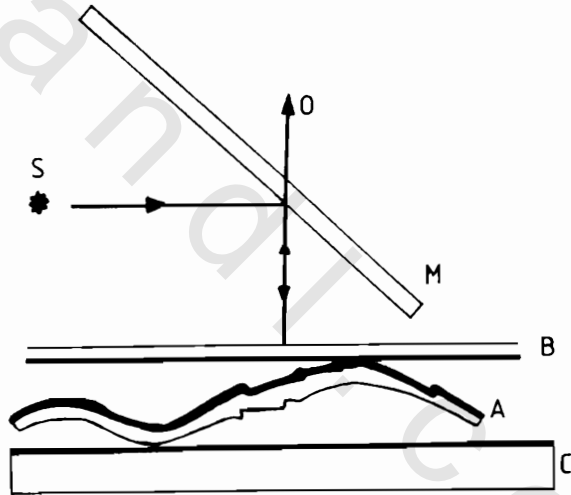
حيث :

$$\Delta m = \left(\frac{dx}{\Delta x} \right)$$

و Δx هى المسافة بين هدبتين متتاليتين ، كما فى الشكل رقم (٢/٧) .
وبذلك يمكن تعيين قيمة h بمعرفة Δm .

وإذا كانت الانعكاسية عالية فإنه يمكن قياس تضاريس السطح ذات الارتفاعات الصغيرة جدا . وإزاحة الهدبة التى تساوى نصف عرضها يمكن قياسها بسهولة وهى تقابل

$$h = \lambda / 2 F$$



شكل رقم (٢/٧) : مقياس التداخل لتعيين طبغرافية سطح بلوزة الميكا وفيه تظهر شريحة من الميكا تم انفلاقها حديثا ومفضض أحد سطحيها بطبقة سميكة ويمثله فى الشكل A فى حين أن المسطح الضوئى ويمثله B قد غطى بطبقة من الفضة نافذة جزئيا للضوء . وضعا بحيث يحصران شريحة رقيقة من الهواء ، وعند إضاءة المقياس تتكون هدب التداخل المتعدد عند الانعكاس . S يمثل حزمة متوازية من الأشعة وحيدة الطول الموجى و M مجزى للأشعة ، C دعامة ، O فى اتجاه شينية الميكروسكوب والكاميرا .

واقيمة λ تساوى ٥٥٠٠ أنجستروم وال $F = \text{finesse}$ ، ϵ_0 ، h تساوى ٧٠ أنجستروم تقريبا - Born and Wolf, ١٩٨٠ - ويتحدد شكل السطح ومايميزه من ارتفاعات وانخفاضات بملاحظة اتجاه حركة الهدب عند تغيير المسافة بين مكونى مقياس التداخل الضوئى . وينطبق هذا على النظام البصرى لتكوين هدب التداخل الضوئى عند النفاذ وعند الانعكاس . ففى الحالة الأولى يمكن التفريق بين مرتفع hill ومنخفض valley على السطح باستخدام أكثر من طول موجى . وتعتمد درجة القياسات على جودة quality هدب التداخل الضوئى .

وقد درس "Holden" (١٩٤٩) بعض البارامترات التى تحكم هدب فيزىو للتداخل الضوئى عند الانعكاس ، وبذلك جعل هذه الطريقة مفيدة فى كثير من التطبيقات . وأفاد أنه باستخدام تغطية بطبقة من الفضة انعكاسيتها عالية بينما درجة امتصاصها للضوء قليلة تكون هدب التداخل الضوئى عند الانعكاس أكثر حدة من الهدب المماثلة لها والناجئة من نفاذ الأشعة . لكن الحد الأدنى للشدة الضوئية عند الانعكاس وتعتمد على امتصاص الطبقة الموجودة على مدخل مقياس التداخل الضوئى التى تواجه الشعاع الساقط . وفى الحقيقة فإن الخصائص الطورية الضوئية optical phase لهذه الطبقة أى قيمة F لها ، حيث :

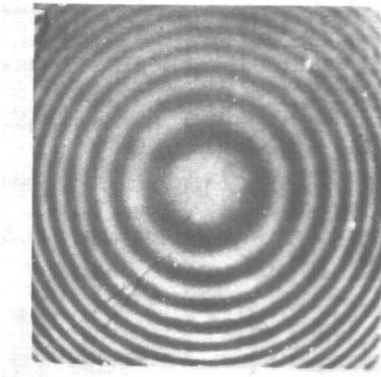
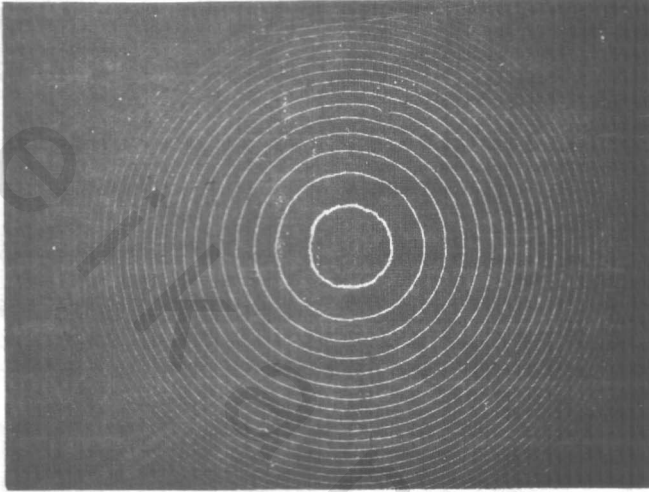
$$F = 2 \gamma - (\beta_1 + \beta_2)$$

هى التى تحكم توزيع الشدة الضوئية فى حالة هدب فيزىو للتداخل الضوئى عند الانعكاس - حيث γ هى التغير فى الطور عند نفاذ الأشعة من الطبقة ، β_1 ، β_2 هما التغير فى الطور للأشعة المنعكسة عند السطح الفاصل (الهواء - الطبقة) air-layer ومادة الدعامة أى الخلفية - الطبقة substrate-layer ، كما هو موضح فى الفصل الرابع .

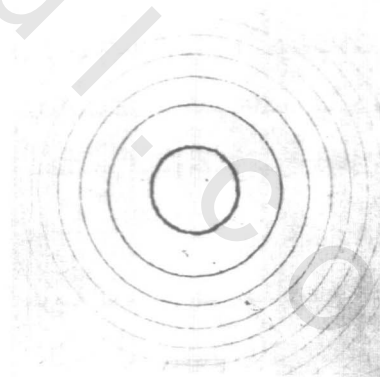
وقد استخدمت هدب التداخل الضوئى المتعدد متساوية الرتبة اللونية multiple-beam fringes of equal chromatic order لفحص طبغرافية أسطح البلورات - ١٩٦٠ - Tolansky ، وتم فى الفصل السادس شرح النظام البصرى المستخدم .

والمقارنة بين نتيجة استخدام هدب التداخل الضوئى المتعدد وهدب التداخل الضوئى الثنائى لتعيين التفاصيل الدقيقة لتضاريس الأسطح يبين الشكلان (٧/٤/أ ، ب) خريطتين

لهذب التداخل الضوئي لسطح كروي من مادة شفافة باستخدام هذب التداخل الضوئي المتعدد النافذة وعند الانعكاس على الترتيب ، بينما يوضح الشكل رقم (٤/٧/ج) الخريطة باستخدام هذب التداخل الضوئي الثنائي . ويتضح من هذه المقارنة أن هذب التداخل الضوئي المتعدد حادة جدا ودقيقة وتكشف عن التفاصيل الدقيقة على سطح الأشياء التي تفقد تماما في حالة استخدام هذب التداخل الضوئي الثنائي .



ج



ب

شكل رقم (٤/٧) : (أ) هذب التداخل الضوئي المتعدد عند النفاذ ، (ب) هذب التداخل الضوئي المتعدد عند الانعكاس ، (ج) هذب التداخل الضوئي الثنائي لنفس السطح الكروي المستخدم في (أ) ، (ب) .

٣/٧- استخدام ميكروسكوب التداخل الضوئى لدراسة طبغرافية أسطح الألياف

The application of interference microscopy to the study of surface topography.

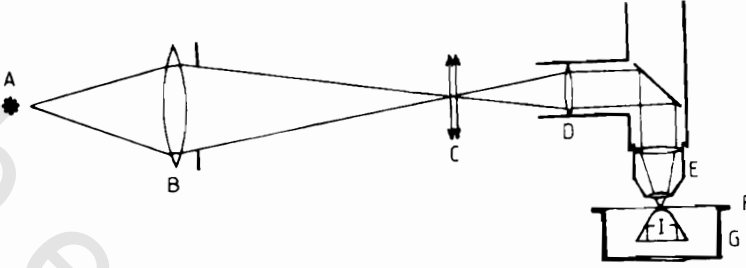
تم استخدام ميكروسكوب التداخل الضوئى فى دراسة طبغرافية أسطح الألياف النسيجية - Skretchly 1954, Howell and Mazur 1953, Simmens 1954 - وكذلك الألياف البصرية - Barakat et al. 1986 . وفى أحد هذه الدراسات طبق "Skretchly" (١٩٥٤) الطريقة التى طورها تولانسكى Tolansky (١٩٥٢) لدراسة معالم النمو البلورى وذلك لدراسة طبغرافية سطح بعض ألياف الكيراتين Keratin fibres وفى هذه الطريقة الأخيرة تعالج الشعيرات أولاً بمحلول كندابلسم Canda balsam . المذاب فى البنزين وبعد تجفيف الشعيرات يكون هذا المحلول طبقة رقيقة من هذه المادة . سمكها حوالى ٢ ميكرومتر - على الشعيرات ، ويتبع السطح الداخلى لهذه الطبقة تفاصيل الشكل الخارجى للشعيرة .

وتوضع شعيرة من هذه الألياف على شريحة زجاجية وتثبت من طرفيها بمادة لاصقة . ويستخدم ميكروسكوب وتوضع العينة فى مكانها وتضاء باستخدام ضوء أحادى طول الموجة، وتظهر فى مجال رؤية الميكروسكوب هدب التداخل الضوئى المتكونة بالانعكاس . وتتكون هذه الهدب بالتداخل الضوئى بين الأشعة المنعكسة عند سطحى الكندابلسم ، ويعمل السطح الزجاجى كسطح مرجع . وفى هذه الحالة يستخدم الضوء المنعكس ولا يكون لتأثير الشعيرة كعدسة أثر على التداخل الضوئى .

واستخدم " Howell and Mazur " (١٩٥٢) طريقة للحصول على حلقات نيوتن لدراسة مواقع الالتقاء contact areas وتهدف هذه الطريقة إلى دراسة الاحتكاك فى الألياف .

كما وصف " Simmens " (١٩٥٤) طريقة مبسطة تقوم على التداخل الضوئى لفحص تضاريس سطح الألياف والفتائل filaments ، ويبين الشكل رقم (٥/٧) النظام البصرى المستخدم وهو مماثل النظام البصرى المستخدم للحصول على حلقات نيوتن . وفى

طريقة Simmens يكون التداخل بين الأشعة المنعكسة من الشعيرة ومن سطح مرجع reference plate ، وتظهر الشعيرة محاطة بمجموعة من هدب التداخل الضوئي وهي تمثل منحنيات تساوى الارتفاع مقاسة من المستوى المرجع .



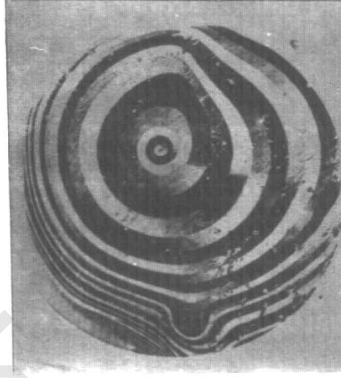
شكل رقم (٥/٧) : النظام البصرى المستخدم لفحص طبغرافية أسطح الألياف (Simmens 1954), A, مصدر ضوئى أحادى طول الموجة ، B فتحة دائرية وعدسة مجمعة تكون صورة للمصدر على فتحة مستطيلة C, D مجموعة ضوئية تشمل عدسة وسطا عاكسا وعدسة مجمعة ، E شبيثة ميكروسكوب ، F دعامة ، I الشعيرة .

ويلاحظ أنه فى جميع النظم البصرية التى تم شرحها فى هذا الصدد تتكون هدب تداخل ضوئى محددة الموقع localised fringes قريبة من مقياس التداخل الضوئى - سواء كانت عند النفاذ أو عند الانعكاس أو باستخدام التداخل الضوئى الثانى أو المتعدد - وتكبر هذه الهدب وتسجل على فيلم حساس وتستخدم شبيثة الميكروسكوب ذات قوة تكبير صغيرة حتى يكون العمق البؤرى depth of focus كافيا لتكون الهدب محددة المعالم على امتداد مساحة مناسبة .

واستخدم ميكروسكوب التداخل الضوئى زايس - لنيك Zeiss-Linnik interference microscope (ZLIM) لتعيين تضاريس سطح الأجسام . وقد أعطيت فى الفصل التاسع فكرة تفصيلية عن تركيب هذا الميكروسكوب ومسار الضوء فيه وطريقة تشغيله للحصول على هدب تداخل ضوئى ثانى ذات درجة تكبير عالية .

واستخدم « بركات Barakat » (١٩٦١) ميكروسكوب ZLIM لفحص معالم النمو البلورى لسطح بلورة كربيد السيليكون silicon carbide ، وبين الشكل رقم (٦/٧) خريطة هدب التداخل الضوئى لمعالم النمو البلورى الحزونى لأحد أسطح بلورة كربيد السيليكون -

١٩٥٨ Mitchell et al. - وقد تم فى النظام البصري المستخدم الحصول على هدب التداخل على هيئة منحنيات يرسمها الضوء تظهر معالم الحلزون ويعطى الفرق بين الشدة الضوئية عند طبقتى حلزون متتابعتى البعد الفراغى بينهما .



شكل رقم (٦/٧) : هدب التداخل الضوئى الثانى التى تحيط بمعالم النمو البلورى التى تظهر على سطح بلورة كربيد السيليكون فى شكل حلزون وذلك باستخدام مقياس التداخل لزايس - لينيك .

واستخدم "Barakat et al" (١٩٨٦) ميكروسكوب التداخل الضوئى زايس - لينيك (ZLIM) لدراسة تضاريس سطح الألياف البصرية الملمومة بالانصهار fusion-spliced optical fibres . وتهدف هذه الطريقة إلى مراقبة وفحص جودة عملية اللحام حيث يحتاج نظام التراسل الضوئى إلى استخدام طرق للحام ووصل الألياف وتعتبر كمية الفقد فى الشدة الضوئية الناتجة من عملية اللحام والوصل عاملا هاما فى تكوين والحفاظ على كفاءة نظام التراسل الضوئى بالألياف البصرية ، حيث إن هذه العملية يمكن أن تؤثر تأثيرا ملحوظا فى الفقد فى وصلات التراسل متعددة الكيلومترات .

وقد اختيرت شعيرة من الألياف البصرية متدرجة معامل الانكسار GRIN قطر لها ٥٠ ميكرومتر وقطر قشرتها ١٢٥ ميكرومتر ، واستخدم جهاز اللحام بالانصهار Siecor M67 fusion splicer . وتم فصل الطبقة البلاستيكية الخارجية عند نهايتى الشعيرتين المطلوب لحامهما ، ثم نظفت هاتان النهايتان ، واستخدم قاطع للألياف fibre cutter لإجراء قطع مثالى لهاتين النهايتين . وأجرى انصهار مبدئى لهاتين النهايتين لإزالة الشوائب ثم تقرب من

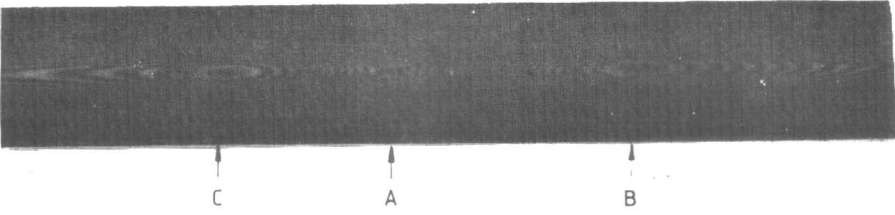
بعضهما وتلمح . واستخدم ميكروسكوب التداخل الضوئي ZLIM لتعيين تضاريس سطح الألياف بعد لحامها . ويتم التداخل بين الشعاعين المنعكسين أحدهما من مرآة مستوية تستخدم كمرجع reference plane mirror والشعاع الآخر منعكس من سطح الشعيرة المراد فحصها .

وتختار انعكاسية المرآة المرجع بحيث تكون مقارنة لانعكاسية الشعيرة واستخدم مصباح الثاليوم كمصدر ضوئي أحادي اللون ذي طول موجة λ تساوى ٥٣٥ نانومتر . ويوجد أيضا مصباح ضوئي أبيض ليحل محل المصدر أحادي طول الموجة وذلك لتكوين هدب تداخل ضوئي بيضاء ذات رتبة منخفضة low-order white light fringes وتوضع الشعيرة الملحومة في حامل "Jig" بحيث يكون الجزء المراد فحصه عموديا على الضوء الساقط

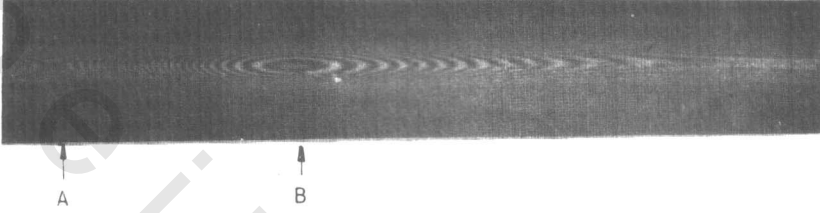
ويبين الشكل رقم (٧/٧) خريطة هدب التداخل الضوئي للجزء الملحوم من شعيرة متدرجة معامل الانكسار GRIN وتم الحصول على هذه الخريطة باستخدام ميكروسكوب التداخل الضوئي ZLIM عند الطول الموجي ٥٣٥ نانومتر .

وتظهر مجموعتان من الهدب المغلقة Two-closed fringe systems عند C, B على جانبي نقطة اللحام A نتيجة لتحديد buckling مادة الشعيرة الناتج من عملية اللحام ، ويستنتج ارتفاع هذا التحديد h من المعادلة رقم (١/٧) بمعلومية Δn (عدد هدب التداخل الضوئي المحصورة بين A, B أو المحصورة بين C, A) ويضاف جزء آخر عند مركز الهدب . وكان ارتفاع التحديد عند C, B هما ٦,٧ ، ٢,٩ ميكرومتر على الترتيب بينما تبعد النقطتان C, B عن بعضهما مسافة ٣٠٠ ميكرومتر .

ويبين الشكل رقم (٨/٧) خريطة هدب التداخل الضوئي لجزء من شعيرة ملحوم بدما بنقطة اللحام A مرورا بنقطة التحديد عند B وتستمر الخريطة لتغطي الجزء البعيد عن نقطة اللحام unperturbed من الشعيرة ، حيث تظهر الهدب على هيئة خطوط مستقيمة موازية لمحور الشعيرة .



شكل رقم (٧/٧) : هدب التداخل الضوئي لموقع اللحام في شعيرة ضوئية متدرجة معامل انكسار لها
(من Barakat et al. 1986)



شكل رقم (٨/٧) : هدب التداخل الضوئي لموقع اللحام لشعيرة ضوئية عند النقطة A ، وتظهر مجموعة
من الهدب المغلقة عند النقطة B دلالة على وجود انتفاخ أو تحديب لمادة الشعيرة عند موقع اللحام
(من Barakat et al. 1986)

وقدم " Barakat et al. " (١٩٨٦) في هذا البحث مقارنة بين متوسط الارتفاعات المكونة للتحديبات التي نتجت من عملية اللحام والفقد في شدة الأشعة النافذة المقابل لهذه التحديبات . ونتج عن هذه الدراسة أنه كلما زاد ارتفاع التحديب يزيد الفقد في شدة هذه الأشعة ، مع الأخذ في الاعتبار أن حجم التحديب لابد أن يكون في حدود ميكرومتر واحد . وتسمح هدب التداخل الضوئي المستقيمة والموازية لمحور الشعيرة - والمتكونة بواسطة الجزء الإسطوانى البعيد عن مناطق اللحام من الشعيرة - تسمح بتعيين قطر الشعيرة (d) على امتداد محور الشعيرة باستخدام المعادلة :

$$d = (D_m^2 / m) \left(\frac{1}{2\lambda} \right) \quad (7.2)$$

حيث D_m هي المسافة بين كل هدبتين مستقيمتين لهما نفس الرتبة m ومقسومة على تكبير الصورة وعين قطر الشعيرة من ميل الخط المستقيم الناتج من رسم العلاقة بين m ، D_m^2 . وأعطت قيم قطر الشعيرة المحسوبة بهذه الطريقة درجة دقة تساوى ± 1 ميكرومتر عندما كان قطر الشعيرة حوالي ١٢٦ ميكرومتر .

References

Barakat N 1961 *Zeiss-Mitteilungen (Heft. FRG.)* **6** 325

Barakat N, El-Hennawi H A, Medhat M, Sobie M A and El-Diasti F 1986
Appl. Opt. **25** 3466

Born M and Wolf E 1980 *Principles of Optics* (Oxford : Pergamon) p357

Holden J 1949 *Proc. Phys. Soc. B* **62** 405

Howell H G and Mazur J 1953 *J. Textile Inst.* **44** T59

Mitchell P, Barakat N and El-Shazly E 1958 *Z. Kristallogr.* **III** 1

Simmens S C 1954 *J. Textile Inst.* **45** T 569

Skretchly A 1954 *J. Textile Inst.* **45** T 78

Tolansky S 1984 *Multiple-Beam Interferometry of Surfaces and Films*
(Oxford : Clarendon)

——— 1952 *Nature* **170** 4315

——— 1960 *Surface Microtopography* (London : Longmans, Green)