دراسة الانفعالات المرنة اللدنة للمواد
أثناء عمليات التحميل المركب بمسارات منحنية مغلقة

الملخص

يتلخص البرنامج الأساسي لهذا البحث في اختبار الاسطوانات الرقيقة الجدران من أجل إنشاء مخطط عملية التحميل المركب للمواد أثناء الانفعالات المرنة اللدنة بمسارات منحنية ثابتة التقوس.

سندرس في هذا البحث المنحنيات الاجهادية المنحنية والمغلقة ذات التقوس الثابت ($\chi = const$) ، والمنجزة في المستوي الانفعالي ($\vartheta_3 - \vartheta_1$) من فراغ تغير الشكل (Space- deviator) من خلال تحميل الاسطوانات رقيقة الجدران بقوى محورية وعزوم فتل.

يمكن تلخيص البرنامج التجريبي للمنحنيات الاجهادية موضوع البحث بتطبيق قوى محورية شادة على الاسطوانة حتى قيمة محددة للانفعال (ϑ_1'')، والتي تعتبر فيما بعد مركز عملية التحميل بمسار دائري مغلق بنصف قطر انحناء (R) ، شكل (1) أي أن مركز منحني التحميل الدائري منحرف عن مبدأ الاحداثيات بمقدار (ϑ_1'') باتجاه المحور (ϑ_1). بتغيير نصف قطر الانحناء نحصل على عدة دوائر نسمي كل منها لفة أو فتلة أو حلزون.

تعتبر نتائج هذا البحث استمراراً لأعمال الباحث (دعبول، ٢٠٠٨ و ٢٠٠٩) التي تتلخص في التحقق من صحة العلاقات المحددة لنظريات اللدونة المستخدمة في حل المسائل الحدية للمواد، ذات الانفعالات المرنة اللدنة بمسارات مختلفة ومتنوعة .

1 – المقدمـــة :

تعمل الغالبية العظمى من المنشآت الحديثة في ظروف تأثير عدة حمولات بنفس الوقت، والتي يمكن أن تتغير بشكل غير طردي بالنسبة لبعضها البعض. كما أن متطلبات الاقتصاد في المواد جعلت المصممين مجبرين على السماح بالتشوهات اللدنة في المنشآت الهندسية. هذا ما جعل موضوع إنشاء ودراسة العلاقات المحددة، التي تصف عمليات التحميل الحقيقية ذات الانفعالات المرنة اللدنة يحمل أهمية كبيرة في التصاميم الهندسية الحديثة.

على هذا الأساس فإنه بقدر ما يكون حل هذه المسألة دقيق بقدر ما تكون عناصر المنشآت الهندسية متينة ومستقرة. هناك عدة محاولات في نظريات اللدونة من أجل الحصول على علاقات رياضية عامة (Universal) نستطيع بموجبها دراسة عمليات التحميل المركبة المختلفة ذات الانفعالات المرنة – اللدنة. كذلك هناك محاولات للحصول على حالات خاصة من العلاقات الرياضية التي تصف صفوف معينة خاصة من منحنيات التحميل. إن جميع العلاقات الرياضية المحددة هذه تحتوي على توابع اللدونة، التي يمكن تحديدها وتوصيفها بالاعتماد على الدراسات التجريبية فقط. وبنفس الوقت فإن العلاقات الرياضية الموضوعة من أجل دراسة عمليات الانفعال المركبة في المجال المرن – اللدن تتطلب التحقق من صحتها الفيزيائية على صفوف واسعة من المواد والمنحنيات الإجهادية المختلفة .

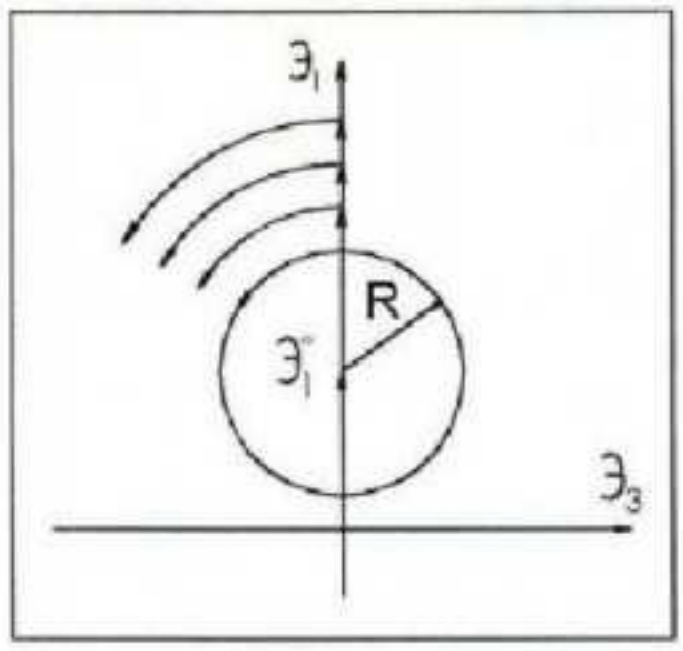
٢ – أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى :

– دراسة وتحليل طبيعة تغير الخواص الشعاعية والسلمية للمواد ، عندما تكون مسارات منحنيات التحميل منخنية ومستوية ومغلقة وثابتة التقوس (الانحناء) .

– دراسة تجريبية لتحديد خواص وطبيعة توابع اللدونة الداخلة في العلاقات الرياضية ضمن إطار فرضية تطابق الأشعة على المنحنيات الإجهادية بمسارات منحنية مستوية ومغلقة وثابتة التقوس .

– الوصول إلى صياغة توصيات للحسابات الهندسية عندما تكون مسارات عمليات التحميل المركب منحنية مستوية ومغلقة وثابتة التقوس.



الشكل (1)

المسارات الانفعالية المنحنية المستوية المغلقة والثابتة التقوس

٣ – التمثيل الرياضي لعملية الانفعال بمسارات منحنية مستوية ثابتة التقوس:

سنستخدم العلاقات الرياضية المحددة لتوابع اللدونة من أجل تمثيل عملية الانفعال المركب للمواد بمسارات منحنية مستوية ثابتة التقوس ضمن إطار فرضية تطابق الأشعة التي تعتبر كما أثبتت الأعمال (Zybchaninov, 1990 and 2990), ذات إمكانيات (Zybchaninov et al., 2003 and 2004), (Okhlobkv, 2000) جيدة في وصف العمليات الانفعالية المركبة بمسارات متعددة الانكسارات (Zybchaninov,1990) , (دعبول، ٢٠٠٨و٢٠٠٩) ومستوية منحنية (موضوع بحثنا الحالي) نعرف شعاع الإجهاد الواحدي)($\bar{\sigma}$)(في الفراغ الانفعالي ثلاثي الأبعاد ($\Im_1$, $\Im_2$, $\Im_3$) والمعرف بثلاثية فرينيه $\{\bar{P}_i\}$ المتعامد بالمعادلة (شكل 2):

$$\bar{\sigma} = COS\theta_1 \bar{P}_1 + Sin\theta_1 \bar{k} \qquad (1)$$

حيث

$$\bar{k} = -(\bar{P}_2 . COS\theta_2 + \bar{P}_3 . Sin\theta_2) \qquad (2)$$

باعتماد (2) تأخذ العلاقة (1) الشكل :

$$\bar{\sigma} = COS\theta_1 \bar{P}_1 - Sin\theta_1 (\bar{P}_2 . COS\theta_2 + \bar{P}_3 . Sin\theta_2) \qquad (3)$$

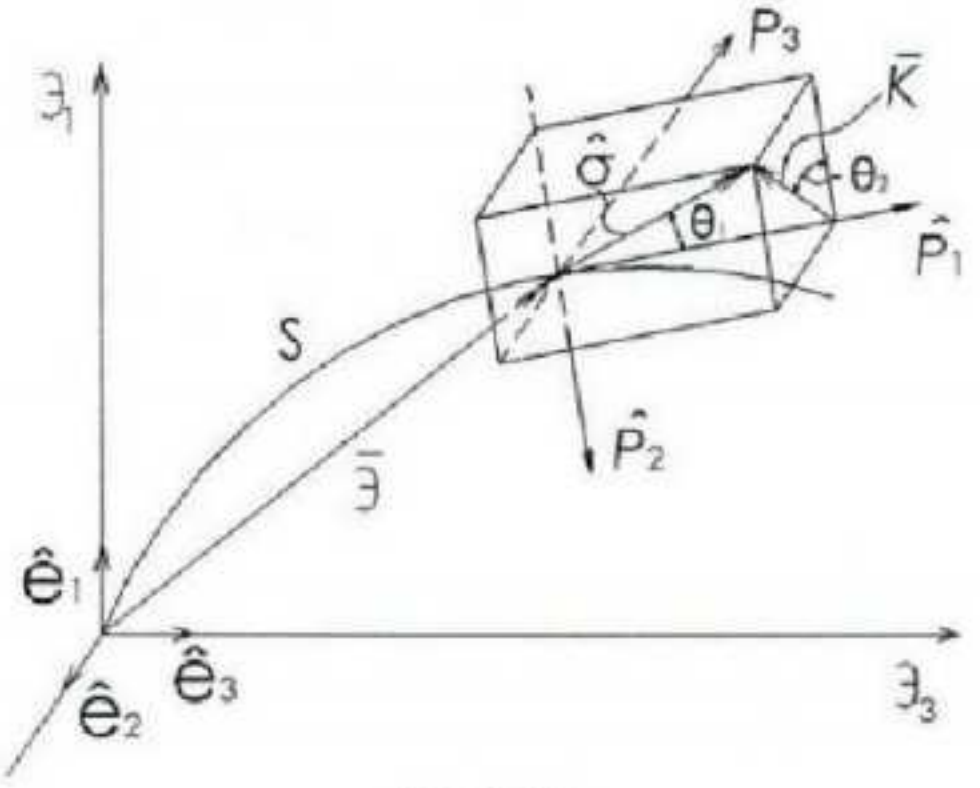
حيث :

θ_2, θ_1 تمثل الاحداثيات الكروية المحلية لشعاع الاجهاد $\bar{\sigma}$

$\bar{P}_1$ الشعاع الواحدي المماسي للمنحني الانفعالي.

$\bar{P}_2$ الشعاع الواحدي العمودي على الشعاع المماسي $\bar{P}_1$

$\bar{P}_3$ الشعاع الواحدي العمودي على المستوي الذي يحوي الشعاعين $\bar{P}_2$ و $\bar{P}_1$



الشكل (2)

مخطط عملية التحميل في المستوي الانفعالي

وحسب فرضية اليوشين (Elioshene, 1990) فإن شعاع الإجهاد في كل نقطة من نقاط منحني التحميل يمكن تعريفه بالشكل:

$$\bar{\sigma} = P_k.\hat{P}_k = \sigma.\hat{\sigma} \quad , \quad (k=1,2,\ldots 5) \qquad (4)$$

باعتماد العلاقة (4) نحصل على :

$$\bar{\sigma} = [COS\theta_1 \hat{P}_1 - Sin\theta_2 (\hat{P}_2.COS\theta_2 + \hat{P}_3.Sin\theta_2)]\sigma \qquad (5)$$

بعد سلسلة من العمليات الشعاعية ومفاضلة شعاع الإجهاد نحصل على: (Zybchaninov,1990 and 2009)

$$\frac{d\bar{\sigma}}{ds} = M_1 \hat{P}_1 + M\bar{\sigma} + M_3 \hat{P}_3 \qquad (6)$$

حيث :

$$M_1 = -[\sigma.(d\theta_1 / ds - \chi_1.COS\theta_2) + M_3.Sin\theta_2.COS\theta_1] / Sin\theta_1 \qquad (7)$$

$$M = d\sigma / ds - M_1.COS\theta_1 + M_3.Sin\theta_1.Sin\theta_2 \quad (8)$$

$$M_3 = -\sigma.[Sin\theta_1(d\theta_2 / ds + \chi_2.) + \chi_1.COS\theta_1.Sin\theta_2] / COS\theta_2 \quad (9)$$

في الحالة الخاصة عندما يقع شعاع الإجهاد $(\bar{\sigma})$ في المستوي المماسي للمنحني الانفعالي، فإن $(\theta_2 = O)$ والعلاقات (6) – (9) ستأخذ الشكل:

$$\frac{d\bar{\sigma}}{ds} = M_1\bar{P}_1 + (d\sigma / ds - M_1.COS\theta_1)\bar{\sigma} + M_3.\bar{P}_3 \quad (10)$$

$$\frac{d\theta_1}{ds} = -M_1.Sin\theta_1 / \sigma + \chi_1 \quad (11)$$

$$M_3 = -\sigma.\chi_2..Sin\theta_1 \quad (12)$$

تمثل المعادلات (10) – (12) العلاقات المحددة لنظرية المرونة التي تعتمد فرضية الفتل القليل (Zybchaninov,1990),(Garanikov et al., 2000). من هذه النظرية وكحالة خاصة يمكننا الحصول على العلاقات المحددة بفرضية تطابق الأشعة وذلك من أجل (χ_2=0).

$$\frac{d\bar{\sigma}}{ds} = M_1\bar{P}_1 + (d\sigma / ds - M_1.COS\theta_1)\bar{\sigma} \quad (13)$$

$$\frac{d\theta_1}{ds} = -M_1.Sin\theta_1 / \sigma + \chi_1 \quad (14)$$

نضرب العلاقة (13) سلمياً بالشعاع الواحدي $(\bar{\nu})$ العمودي على شعاع الإجهاد الواحدي $(\bar{\sigma})$ نحصل على العلاقة:

$$\frac{d\bar{\sigma}}{ds}.\bar{\nu} = M_1.\bar{P}_1.\bar{\nu} = M_1.\frac{d\bar{\varepsilon}}{ds}.\bar{\nu} \quad (15)$$

ومنه نحصل على :

$$M_1 = \frac{d\bar{\sigma}}{d\bar{\varepsilon}}.\frac{\bar{\nu}}{\bar{\nu}}$$

ولو ضربنا أيضاً الشعاع $(\bar{\sigma})$ بالعلاقة (13) سلمياً نحصل على :

$$\frac{d\bar{\sigma}}{ds}.\bar{\sigma} = M_1.\bar{P}_1.\bar{\sigma} + \frac{d\sigma}{ds} - M_1.COS\theta_1 = \frac{d\sigma}{ds} \quad (16)$$

نقسم طرفي هذه العلاقة على $(COS\,\theta_1)$ نحصل :

$$\frac{d\sigma}{ds}.\frac{1}{COS\theta_1} = \frac{d\sigma}{ds}.\frac{1}{\bar{P}_1.\bar{\sigma}} = \frac{d\sigma}{ds}.\frac{ds}{d\bar{\varepsilon}.\bar{\sigma}} = \frac{d\bar{\sigma}}{d\bar{\varepsilon}}.\frac{\bar{\sigma}}{\bar{\sigma}} \quad (17)$$

أو :

$$\frac{d\sigma}{ds}=\frac{d\bar{\sigma}}{d\,\bar{\varepsilon}}.\frac{\bar{\sigma}}{\bar{\sigma}}.COS\theta_1 \qquad (18)$$

ومن أجل زاوية الاقتراب نملك العلاقة:

$$COS\theta_1=\bar{\sigma}.\frac{d\,\bar{\varepsilon}}{ds}=\bar{\sigma}.\bar{P}_1 \qquad (19)$$

من أجل تحديد وتحليل القيم التجريبية لتوابع اللدونة (M_1) و $(d\sigma/ds)$ نستخدم التمثيل الشعاعي لعمليات التحميل والانفعال.

إذا كان $(\bar{e}_k)$ (k=1, 2, 3) هو عبارة عن الشعاع الواحدي لجملة المحاور الديكارتية المتعامدة والثابتة، عندئذ يمكن تمثيل أشعة الانفعال والإجهاد بالشكل (Zybchaninov,1990),(Elioshene, 1990).

$$\bar{\varepsilon}=\varepsilon_k\,.\bar{e}_k \qquad (k=1,2,3) \qquad (20)$$

$$\bar{\sigma}=S_k\,.\bar{e}_k \qquad (k=1,2,3) \qquad (21)$$

نفرض أن الشعاع $(\bar{\nu})$ العمودي على شعاع الإجهاد الواحدي $(\bar{\sigma})$ يقع في مستوي الشعاعين $(\bar{\sigma}$ و $\bar{e}_1)$.

عندئذ:

$$\bar{\sigma}\times\bar{e}_1=Sin\varphi_1.\bar{\mu} \qquad (22)$$

حيث: φ – الزاوية بين الشعاعين $\bar{\sigma}$ و $\bar{e}$ $(COS\varphi_1=\bar{\sigma}.\bar{e})$

$$\bar{\mu}=\frac{1}{\sigma Sin\varphi_1}\begin{vmatrix}\bar{e}_1 & \bar{e}_2 & \bar{e}_3\\ S_1 & S_2 & S_3\\ 1 & 0 & 0\end{vmatrix}=\frac{1}{\sigma Sin\varphi_1}(S_3\bar{e}_2-S_2\bar{e}_3) \qquad (23)$$

وبالتالي فإن الشعاع الواحدي $(\bar{\nu})$ باعتماد (23) سيأخذ الشكل:

$$\bar{\nu}=\bar{\sigma}\times\bar{\mu}=\frac{1}{\sigma^2 Sin\varphi_1}\begin{vmatrix}\bar{e}_1 & \bar{e}_2 & \bar{e}_3\\ S_1 & S_2 & S_3\\ 0 & S_3 & -S_2\end{vmatrix} \qquad (24)$$

$$=\frac{1}{\sigma^2 Sin\varphi_1}[-(S_2^2+S_3^2)\bar{e}_1+S_1S_2\bar{e}_2+S_1S_3\bar{e}_3]$$

لو استعضنا عن تفاضل الشعاعين $\overline{\sigma}$ و $\overline{\varepsilon}$ بمقدار التغير، عندئذ فإن توابع العملية الاجهادية وباعتماد العلاقات (20) و (21) و (24) ستأخذ الشكل:

$$M_1 = \frac{-\Delta S_1(S_2^2 + S_3^2) + \Delta S_2 S_1 S_2 + \Delta S_3 S_1 S_3}{-\Delta \varepsilon_1 (S_2^2 + S_3^2) + \Delta \varepsilon_2 S_1 S_2 + \Delta \varepsilon_3 S_1 S_3} \quad (25)$$

$$\frac{d\sigma}{ds} = COS\theta_1 \frac{\Delta S_1 S_1 + \Delta S_2 S_2 + \Delta S_3 S_3}{\Delta \varepsilon_1 S_1 + \Delta \varepsilon_2 S_2 + \Delta \varepsilon_3 S_3} \quad (26)$$

ومن أجل زاوية الاقتراب (θ1) من (19) وباعتماد (21) لدينا العلاقة:

$$COS\theta_1 = \frac{1}{\Delta S \sigma}(\Delta \varepsilon_1 S_1 + \Delta \varepsilon_2 S_2 + \Delta \varepsilon_3 S_3) \quad (27)$$

حيث قيمة (مودول) شعاع الاجهاد تعطى بدلالة تغير طول المنحني الانفعالي بالعلاقة:

$$\Delta S = \sqrt{\Delta \varepsilon_1^2 \Delta \varepsilon_2^2 + \Delta \varepsilon_3^2} \quad (28)$$

٤ – دراسة طبيعة تغيرات الخواص الشعاعية والسلمية للمواد:

تمت معالجة النتائج التجريبية بالاعتماد على العلاقات الرياضية السابقة في الفقرة (٣) وذلك بهدف إظهار إمكانية تأثير متحولات الإجهاد الثلاثية لتانسورات تغير الشكل (Tensor- deviator) للاجهادات I_3^σ والانفعالات I_3^ε

حيث :

$$I_3^\sigma = |Sij| \approx \sigma_o \sigma^2 - \sigma_o^3 \quad (29)$$

$$I_3^\varepsilon = |\varepsilon_{ij}| \approx |e_{ij}| \quad (30)$$

بالنسبة لعمليات الانفعال المركب للمواد، نحدد قيمة زوايا الشكل للحالة الإجهادية (ψ_σ) والحالة الانفعالية (ψ_ε) (Zybchaninov et al.,2003) بالعلاقات:

$$COS_3\psi_\sigma = \frac{3\sqrt{6}I_{S_{ij}}}{\sigma^3} \quad (31)$$

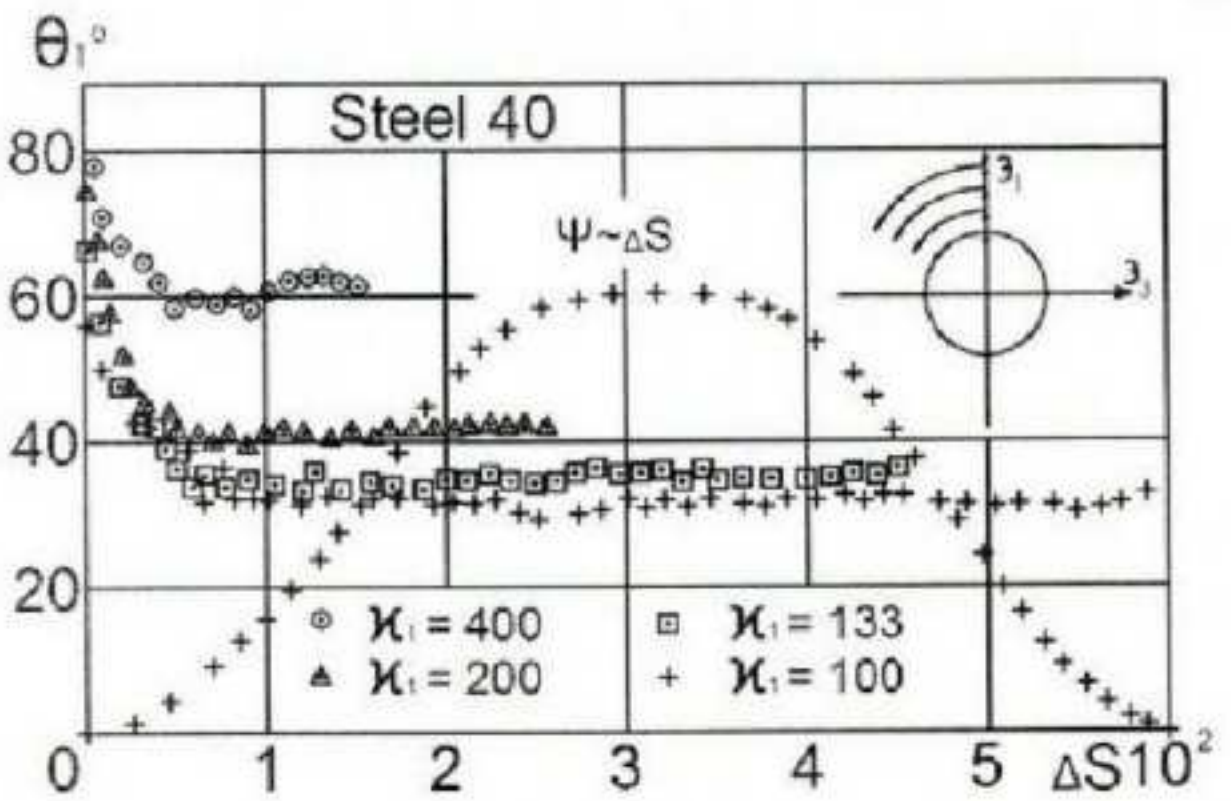
$$COS_3\psi_\varepsilon = \frac{3\sqrt{6}I_{\varepsilon_{ij}}}{\varepsilon^3} \quad (32)$$

ندرس المسارات الإجهادية المنحنية المغلقة ذات الانحناء الثابت (χ_1 = comst) المحققة (المنجزة) في المستوي ($\varepsilon_3 - \varepsilon_1$)من فراغ تغير الشكل الانفعالي

(deviator space strain) من خلال تحميل الاسطوانات رقيقة الجدران (نماذج الاختبار) بقوى محورية وعزوم فتل.

٥- النتائج والمناقشة:

يبين الشكل (3) منحني تغير زاوية الاقتراب (θ_1°) بالنسبة لتغير طول مسار المنحني الانفعالي وذلك من أجل أربعة لفات (فتلات) لمنحني التحميل بأنصاف أقطار انحناء (تقوس) مقدارها على التوالي: , 0.75 ,0.5% , 0.25%) 1.0%)



الشكل (3)

منحني تغير زاوية الاقتراب بالنسبة لتغير طول مسار المنحني الانفعالي

تتم عملية الانتقال من لفة إلى لفة تليها عن طريق التحميل المسبق وفق المحور (ϑ_1).

أي أن :

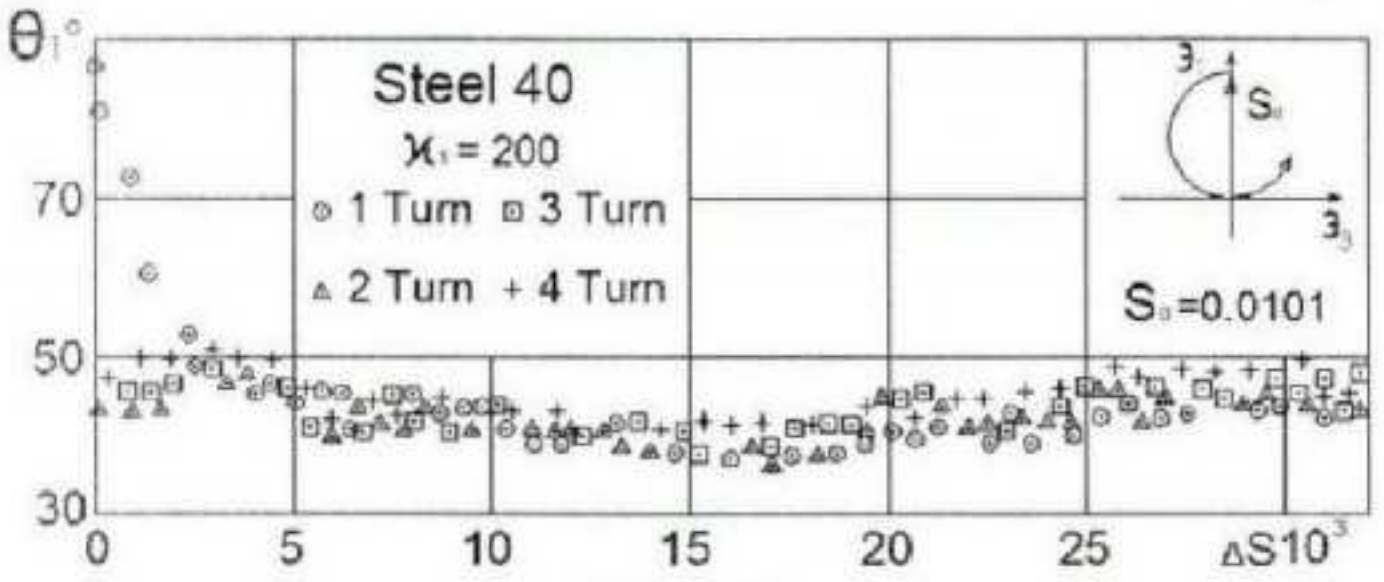
$$(\vartheta_1^{(1)}=0.0025\ ,\ \vartheta_1^{(2)}=0.005\ ,\ \vartheta_1^{(3)}=0.0075)\ ,\ (\vartheta_1^{(4)}=0.01)$$

حيث أن الرقم ضمن القوسين يشير إلى رقم اللفة. مركز منحني التحميل يكون منزاحاً عن مبدأ الاحداثيات، هذا يعني أنه على طول مسار اللفة حافظنا على الشرط ($\vartheta=const$) . نلاحظ من الشكل (3) أنه مع تلاشي بعض من أثر تخلف (تأخر) الخواص الشعاعية للمادة ($\lambda_\sigma=\Delta S$) على المسارات المنحنية ومع الأخذ

بعين الاعتبار إهمال بعض النقاط التجريبية الشاذة (الذي يعتبر من الأمور الطبيعية) فإن زاوية الاقتراب تستقر (تثبت)، عند ذلك فإن القيمة الوسطية لزاوية الاقتراب (θ_1) على اللفة تتبع تقوس (انحناء) المنحني الاجهادي وتزداد مع زيادة قيمة التقوس .

نبين على الشكل (4) منحني تغير العلاقة بين زاوية الاقتراب (θ_1) وتغير طول مسار اللفة الواحدة (ΔS). في هذه التجربة تم تعريض الاسطوانة رقيقة الجدران لشد محوري حتى القيمة ($\vartheta_1 = 0.01$) ومن ثم تم إنجاز أربعة لفات بتقوس مقداره ($\chi_1 = 200$) .

على هذا النحو فإن مركز منحني التحميل يكون منزاحاً عن مبدأ الاحداثيات على طول المحور (ϑ_1) بالمقدار (0.005) ، وعلاقة زاوية الاقتراب لا تشكل في هذه الحالة علاقة ثابتة ($\theta_1 \neq const$) حتى ولو أخذنا بعين الاعتبار مقدار التفاوت المسموح به للقيم التجريبية. نلاحظ تغير في قيمة (θ_1) على طول مسار منحني التحميل .



الشكل (4)

منحني تغير زاوية الاقتراب بالنسبة لتغير طول مسار اللفة

تظهر معطيات الشكل (3) أنه بالرغم من كون مجال تغير قيمة التقوس ملموسة على لفات المنحنيات الإجهادية المحققة وكون مجال تغير قيمة شعاع الانفعال (ϑ) أيضاً ملموسة في النقاط البدائية للفات $0.01 \geq \vartheta' \geq 0.0025$. $400 \geq \chi_1 \geq 100$، فإن الوصول إلى الوضع ($\theta_1 = const$) يحدث عندما

($\Delta S \approx 0.005$) حيث (ΔS) تحسب اعتباراً من نقطة الانكسار وهذه القيمة ($\lambda_0 = \Delta S \approx 0.005$) كما هو واضح يمكن اعتبارها أثر استقرار الخواص الهندسية للمادة.

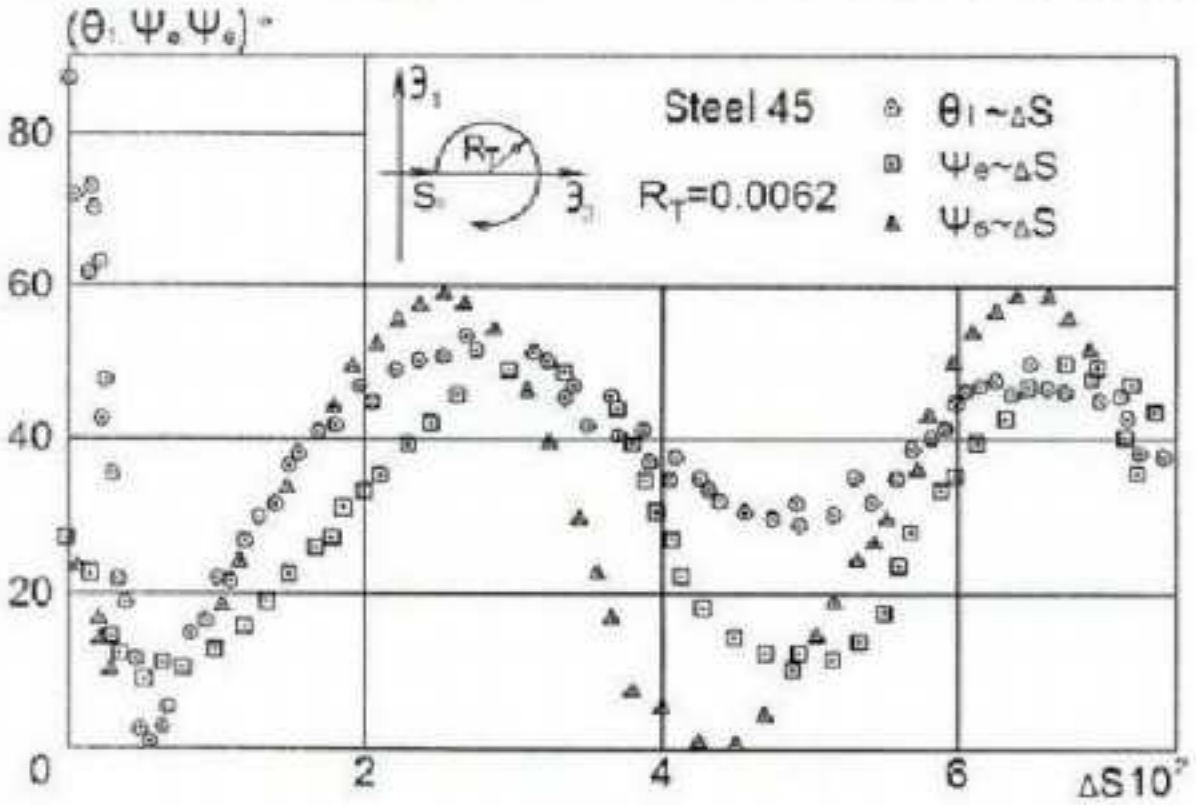
في الحالات الأكثر عمومية عندما ($\theta_1 = const$) ومن أجل النظام التجريبي الذي تم اعتماده ، نقبل قيمة أثر استقرار الخواص الشعاعية للمادة ($\lambda = \Delta S$) تلك القيمة التي من أجلها يصل منحني العلاقة ($\theta_1 \sim \Delta S$) إلى نظام التغير الدوري (المتكرر).

عند اعتماد هذه المعايير، فإن قيمة (λ_0) المحددة في منحني العلاقة ($\theta_1 \sim \Delta S$) على الشكل (٤) أيضاً تكون قريبة من القيمة (0.005).

هذه النتائج تدل على ما يلي: إن قيمة أثر تخلف (تأخر) الخواص الشعاعية للمادة على المنحنيات الإجهادية المتعددة الانكسارات (h) (دعبول، ٢٠٠٨ و ٢٠٠٩) تختلف عن قيمة البارامتر المقابل له على المسارات المنحنية ثابتة التقوس (λ_0)، كما أن التقوس (χ_1) (في مجال التغير المدروس) يؤثر بشكل طفيف على قيمة أثر استقرار الخواص الشعاعية للمادة (λ_0) بمسارات تحميل منحنية ثابتة التقوس .

يبين الشكل (5) العلاقة ($\theta_1 \sim \Delta S$) من أجل منحنيات التحميل المنحنية بمسار ذو لفتين وتقوس مقداره ($\chi_1 = 162$) .

يبين الخط المنقط على الشكل حدود اللفات. مقدار انزياح مركز المسار المنحني على طول المحور (ϑ_3) بالنسبة لمبدأ الاحداثيات سجل القيمة (0.012). يتضح من الشكل أنه بعد زوال أثر الاستقرار الهندسي ($\lambda_0 = 0.012$ القيمة التي حددت عند مطابقة منحني تغير العلاقة ($\theta_1 \sim \Delta S$) في الحقل المشترك مع طول اللفة الواحدة) فإن التابع(θ_1) يدخل في نظام التغير الدوري المستقر بسعة مقدارها حوالي (10°) بالنسبة لقيمة زاوية الاقتراب الوسطية ($\theta_1^{\infty} \approx 40°$). زد على ذلك فإن هذه القيمة الوسطية لزاوية الاقتراب (θ_1^{∞}) ومن أجل التقوس الحالي تطابق النتائج التي توصلنا إليها في الشكلين (3) ، (4) .



الشكل (5)

منحني تغير زاوية الاقتراب ($\theta_1^{'}$)، زاوية شكل الحالة الانفعالية (ψ_ε) والاجهادية(ψ_σ)

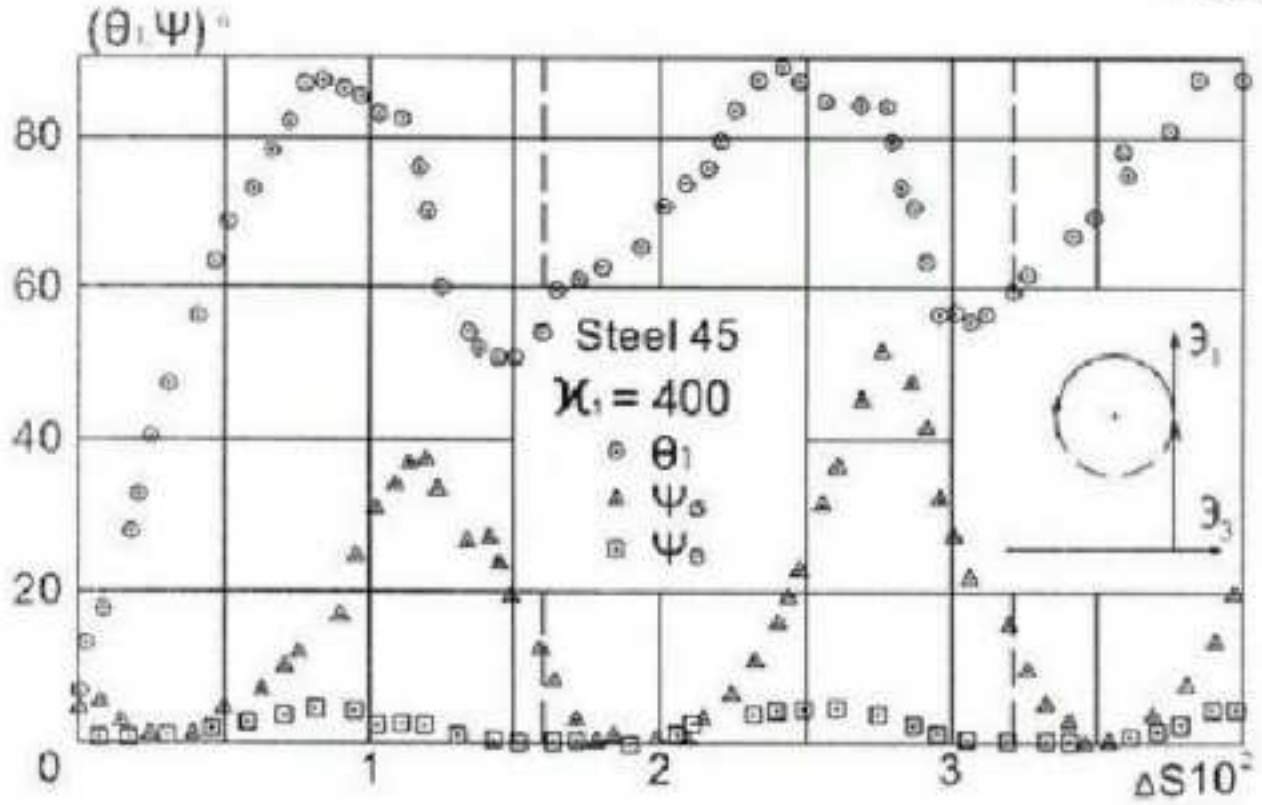
نبين على الشكل (6) منحني العلاقة (θ_1~ΔS) من أجل منحنيات التحميل المنحنية بمسار ذو ثلاث لفات وتقوس مقداره (χ=400). يبين الخط المنقط على الشكل حدود اللفات أيضاً.

ينزاح في هذه التجربة مركز المسار المنحني على طول المحور (ϑ_1) بالنسبة لمبدأ الإحداثيات بالمقدار (0.0093).

هنا أيضاً وكما هو الحال في التجارب السابقة نلاحظ أن تابع الزاوية (θ_1) هو تابع دوري، بالإضافة إلى أنه في هذه الحالة تكون قيمة سعة التابع الدوري بالنسبة لزاوية الاقتراب الوسطية ($\theta_1^{''} \approx 70$) أكبر منها في الحالات السابقة.

يمكننا أيضاً أن نستنتج من الشكل (٦) أن قيمة زاوية الاقتراب الأعظمية تبقى مستقرة نسبياً على اللفة، بينما القيمة الأصغرية لـ (θ_1) تكبر مع زيادة عدد اللفات. كما أن قيمة أثر الاستقرار الهندسي بلغت أيضاً نفس قيمة الحالة السابقة(λ_σ=0.012) ، وهذا ما يسمح لنا أن نستنتج أن قيمة أثر الاستقرار الهندسي

لا تتعلق بقيمة التقوس (χ_1) بالنسبة لمسارات التحميل المنحنية ثابتة التقوس موضوع البحث .



الشكل (6)

منحني تغير زاوية الاقتراب (ψ_ε) ، زاوية شكل (ψ_σ)

مما تقدم يمكننا أن ننوه إلى أن طبيعة سلوك زاوية الاقتراب على مسارات التحميل المنحنية ذات التقوس الثابت تتعلق بموقع مركز انحناء منحني التحميل بالنسبة لمبدأ الاحداثيات. كلما كان مقدار انزياح مركز الانحناء عن مبدأ الاحداثيات أكبر كلما كانت إمكانية ظهور دورية تغير زاوية الاقتراب أكبر، وقيمة زاوية الاقتراب الوسطية وسعة التابع الدوري على اللفة تزداد بزيادة قيمة التقوس.

بالإضافة لذلك، فإن قيمة زاوية الاقتراب الوسطية على اللفة (θ_1) تتطابق بشكل نوعي عند الظروف الأخرى المشابهة لنفس المواد المدروسة .

على الشكلين (5) و (6) ومن أجل نفس المنحنيات الإجهادية المبينة أعلاه، تم إنشاء منحني تغير العلاقة بين زاوية شكل العملية الانفعالية وتغير طول منحني التحميل (ψ_σ~Δ_S) من جهة أولى، وبين زاوية شكل العملية الإجهادية وتغير طول منحني التحميل (ψ_σ~Δ_S) من جهة ثانية .

هنا يمكننا أن نشير إلى أن طبيعة تغير (θ_1) الدوري ، هناك حيث تظهر (في المكان الذي تظهر فيه) تتطابق بشكل نوعي مع زاوية شكل العملية الانفعالية.

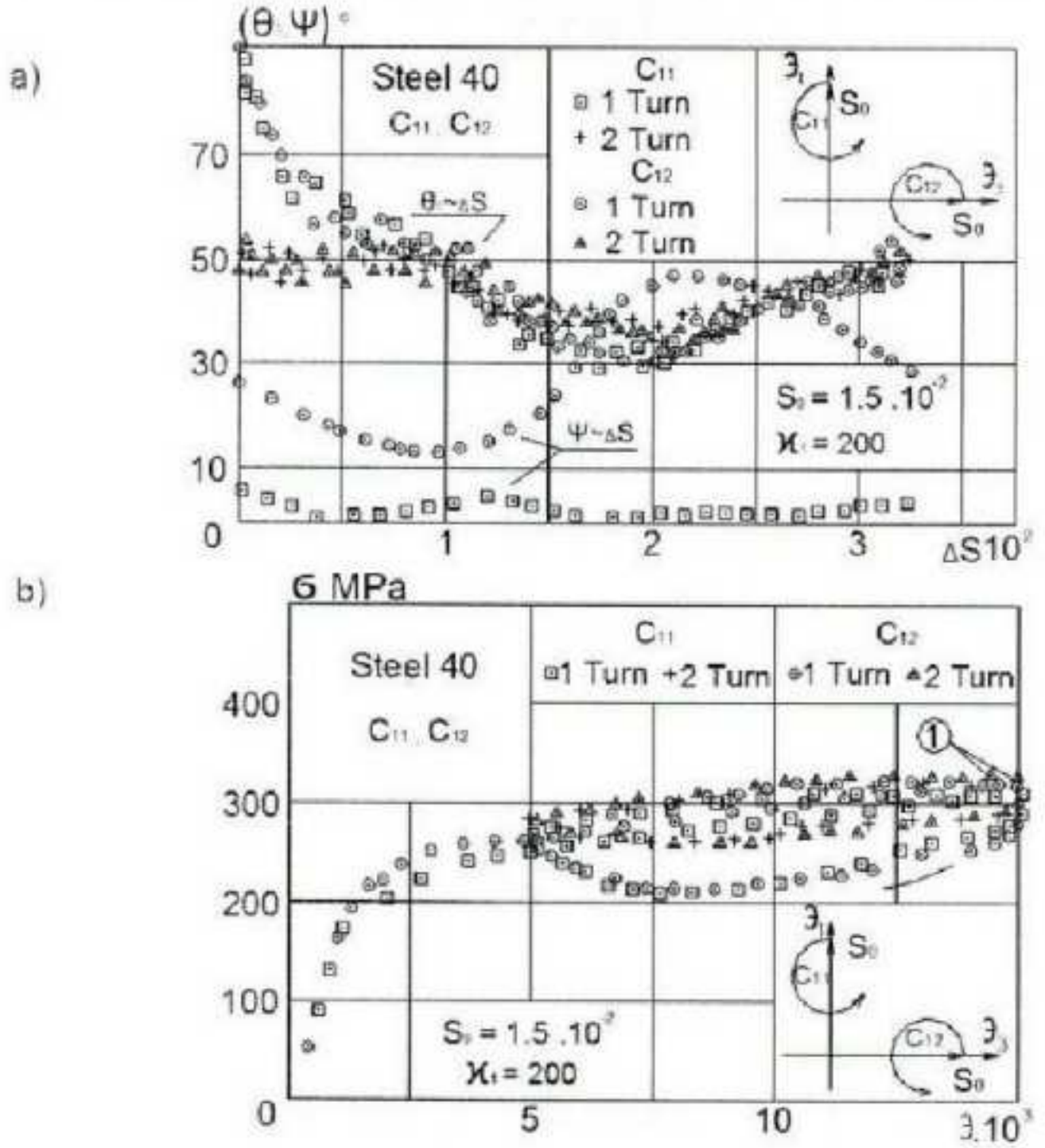
بهدف إيضاح كيفية تأثير زاوية شكل العملية الانفعالية (تأثير متحول الإجهاد الثالث من تانسور تغير الشكل الانفعالي) على عمليات التحميل المدروسة، تم تجريب الاسطوانات الرقيقة الجدران بالاجهادات المركبة عن طريق تعريض الاسطوانة الرقيقة لشد محوري مسبق حتى القيمة ($\varepsilon_1'' = 0.015$) ، بعد ذلك تم إنجاز لفتين من منحني التحميل بتقوس مقداره ($\chi_1 = 200$) ، مركز الانحناء يقع على المحور (a_1) . مسار التحميل (C_{12}) ينتج عن طريق تدوير مسار التحميل (C_{11}) بزاوية مقدارها ($\frac{\pi}{2}$) في المستوي ($a_1 - a_3$) شكل (7) .

نبين على الشكل (7-a) في القطاع المشترك لطول مسار لفة واحدة، علاقة منحني تغير زاوية الاقتراب وزاوية شكل العملية الانفعالية لكلا المسارين.

بالرغم من أن مقادر زوايا شكل العملية الانفعالية على النقاط المتقابلة من مساري التحميل المحققين تكون مختلفة ، فإن منحنيات تغير زاوية الاقتراب (θ_1)، مع الأخذ بعين الاعتبار التفاوت الطبيعي لتباعد بعض النقاط التجريبية، تكون بشكل عملي متطابقة.

على الشكل (7 –b) ومن أجل نفس العمليتين السابقتين (C_{11}, C_{12}) ، تم إنشاء المنحني البياني لانفعال المادة.

يشير الرقم على الشكل إلى نقطة انكسار منحني التحميل. اختلاف قيمة الإجهاد(σ) في النقاط المتقابلة على المنحنيات الإجهادية لا يزيد عن (5%) ، هذا التفاوت في قيمة شعاع الاجهاد يمكن اعتباره ضمن التفاوت المسموح به للعمليات البسيطة أثناء الشد والضغط لنفس المادة.



الشكل (7)

منحني تغير الخواص الشعاعية (a) والسلمية (b) للمادة

من هنا يمكننا القول أن الخواص الشعاعية كما هي الخواص السلمية للمادة على المسارات المنحنية المستوية ، تعتبر غير تابعة لعملية الدوران ، وهذا ما يفسر اعتبار بديهية الايزوتروبية أثناء الانفعالات المركبة محققة.

يعتبر تأثير متحول الاجهاد الثالث لتانسور تغير الشكل الانفعالي غير جوهري ويظهر فقط بشكل غير مباشر، وهذا ما يفسر التشابه النوعي للتغير الدوري للتابعين (θ_1 - ψ_σ). تحدد الخواص المذكورة أعلاه للتابع (θ_1) سلوك

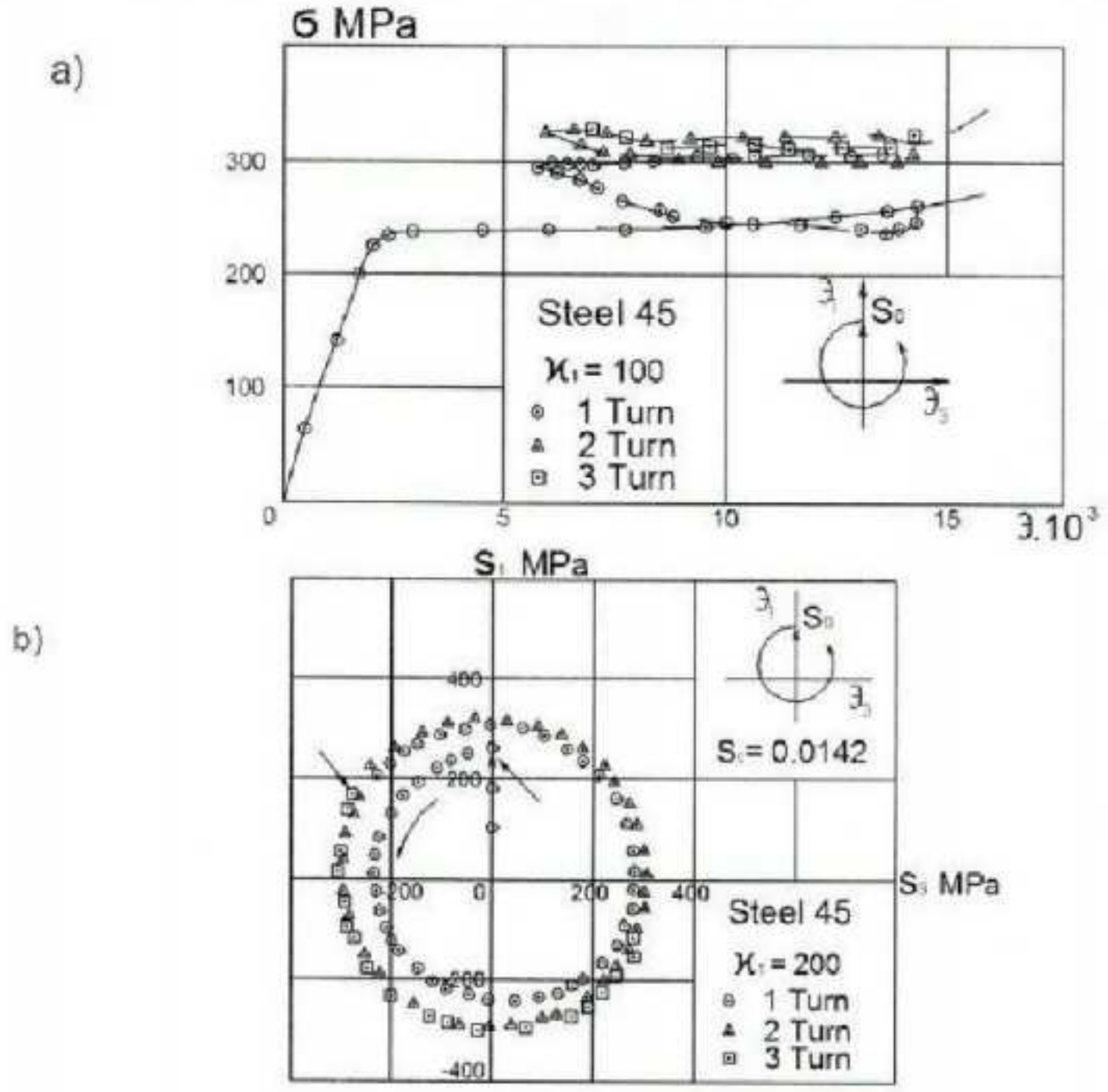
العلاقات المحددة لتوابع اللدونة : $(d\sigma/ds)$ و $N(M_1)$ على مسارات التحميل المركب للمواد بمسارات منحنية ومستوية ومغلقة .

أثناء معالجة القيم التجريبية استخدمنا العلاقات (26 – 25) لتحديد قيم توابع اللدونة على المنحنيات الاجهادية ، وذلك باعتبار أن $(s=const)$ وباعتماد التناظر بالنسبة لمبدأ الاحداثيات ، فإن دورية التابع (θ_1) لا تظهر عملياً. توابع اللدونة ، بعد زوال أثر التأخر (التخلف) الشعاعي (λ_*) ، وباعتماد التفاوت المسموح به للنقاط التجريبية ، تقترب من قيمة محددة.

بناءً على النتائج التي تم الحصول عليها يمكننا القول، أنه على منحنيات التحميل المغلقة والمستوية بمسارات منحنية ثابتة التقوس، تتغير زاوية الاقتراب وتوابع اللدونة بعد زوال أثر استقرار الخواص الشعاعية للمادة بشكل دوري، وتكون تابعة لوضعية مسار التحميل بالنسبة لمبدأ إحداثيات مستوي تغير الشكل الانفعالي .

إذاً إن استخدام العلاقات المحددة لتوابع اللدونة (26 – 25) عند حل المسائل الحدية للمواد أثناء الانفعالات المركبة بمسارات منحنية، مستوية ومغلقة، يضمن الحصول على نتائج جيدة عند الأخذ بعين الاعتبار طبيعة تغير هذه التوابع .

ندرس طبيعة تغير الخواص السلمية للمواد أثناء الانفعالات المركبة بمنحنيات إجهادية منحنية مغلقة ومستوية. نوضح على الشكل (8) المنحنى البياني لعملية الانفعال ومسار عملية التحميل للفولاذ (45) الموافقة لعملية الانفعال المركب المدروسة، ذات التقوس الثابت $(\chi_1 = 100)$ ، وبمركز انحناء منحرف عن مبدأ الاحداثيات باتجاه المحور (s_1). تم إنجاز ثلاث لفات، تشير الأسهم على الشكل إلى بداية كل لفة. نلاحظ من الشكل أن مسار عملية التحميل على اللفة الثالثة ينطبق مع مثيله على اللفة الثانية شكل (b– 8) كما أن مقدار زيادة شدة (مودول) شعاع الاجهاد في بداية اللفة الثالثة بالمقارنة مع قيمته في نقطة الانكسار شكل (a– 8) بلغ حوالي (22%) .



الشكل (٨)

المخطط البياني لعملية الانفعال (a) ومسار عملية التحميل (b)

بناءً على النتائج التجريبية السابقة يمكننا أن نلاحظ ،أنه في نهاية اللفة الثانية لمسار التحميل، تستقر بارامترات الحالة الاجهادية، وأن استمرار عملية التحميل لا يؤدي إلى تغير ملموس في قيمها. كما أن عملية الانفعال المركب تسهم في الحصول على تصلب للمادة ، والذي قيمته لا تزيد عن (25%) ، وذلك ضمن شروط التجارب السابقة.

قيمة التصلب (25%) التي حصلنا عليها هنا للمنحنيات الاجهادية المنحنية والمغلقة قريبة جداً من قيمة التصلب التي حصلنا عليها من أجل المنحنيات متعددة الانكسارات (دعبول، ٢٠٠٩) .

أثبتت النتائج التجريبية أيضاً أن درجة تصلب المادة على اللفة الأولى تتعلق بشكل ملموس بقيمة تقوس مسار التحميل وبلغت زيادة قيمة مودول شعاع الاجهاد (σ) على اللفة الأولى حوالي (31%). تجدر الإشارة هنا إلى أن أحد الأسباب الرئيسية التي تؤدي إلى تصلب المادة أثناء الانفعالات المركبة هو التغيرات البنيوية، التي تحدث لذرات المادة نتيجة للتحميل المركب.حيث أن تحميل المادة باجهادات مركبة يؤدي إلى تحطيم ذراتها بشكل كبير، ونتيجة لذلك تصبح البنية البللورية للمادة متراصة، وأكثر كثافة وتجانسا.

٦- الاستنتاجات والتوصيات:

١ - تشير النتائج التي تم الحصول عليها، أن العلاقات المحددة لفرضية تطابق الأشعة وعند استخدام المعادلات (25) و (26) لتحديد توابع اللدونة (M_1 . $d\sigma/ds$) تمكننا فيزيائياً من توصيف العمليات الحقيقية للانفعالات المركبة للمواد القليلة والعالية التصلب ، عندما تكون مسارات التحميل منحنية ، مستوية ، ثابتة التقوس ومغلقة متعددة اللفات .

٢ - تعتبر فرضية تطابق الأشعة محققة على المسارات الاجهادية المنحنية، المغلقة والثابتة التقوس.

٣ - يمكن اعتبار التحميل المركب للمواد بمسارات تحميل منحنية ومغلقة وثابتة التقوس أحد الحلول الفعالة عند القيام بعملية تصلب المواد الإنشائية ، وأن قيمة التصلب لا تعتمد فقط على بارامترات العملية الاجهادية وإنما على صفات المادة نفسها أيضاً .

References

1 – ELIOSHENE A., 1990 - **Mechanics of Continuous Medium**. Moscow State University, Moscow, 310.

2 – GARNIKOV V.; ZYBCHANINOV V; OKHLOBKOV N; 2000- *Applied Mechanics*, **7**, 130-136.

3 – OKHLOBKOV N., 2000 - **Regulating of Process of Elastic – Plastic Deformation of Metals under complex loading**. Tvere University, Tver, 40.

4 – ZYBCHANINOV V.; OKHLOBKOV N.; GARNIKOV V.; 2003- **Experimental Plasticity under complex deformation- State**. Tvere University, Tvere, 170.

5 – ZYBCHANINOV V.; OKHLOBKOV N.; GARNIKOV V.; 2004- **Experimental Plasticity under complex deformation- State**. Tvere University, Tvere, 184.

6 – ZYBCHANINOV V., 1990 - **Fundamentals Theorise of Plasticity and Plastic**. Moscow State University, Moscow, 368.

7– ZYBCHANINOV V., 2009 - **Theory of variable flow, mathematical modules for plastic strains processes**. *Problems of rilifrness and plasticity, 71, 5-19.*

المراجع العربية:

١- **دعبول وحيد** ، ٢٠٠٨ – دراسة عمليات الانفعال المركب للمعادن ذات منحنيات الاجهاد متعددة الانكسارات – مجلة بحوث جامعة حلب – سلسلة العلوم الهندسية، العدد ٦٣.

٢ – دعبول وحيد، ٢٠٠٩ – دراسة تأثير تحميل المواد على الانفعالات المركبة في حالة المنحنيات متعددة الانكسارات والمغلقة – مجلة بحوث جامعة حلب – سلسلة العلوم الهندسية، العدد ٦٧ .

Abstract

Study of The Elastoplastic Straining for Materials during the Combined Loading Processes on slosed Curvilines

The main program of this paper is summarized by testing thin cylinders in order to create the diagram of combined loading for materials during the elastoplastic Straining on constant curviture curvilines

We shell study the closed curviline stress curves that have constant curviture (χ_1=Constant) and created in straim plane ($\vartheta_1 - \vartheta_3$) in space deviator under the effect of loading thin cylinders by axial forces and moments of torsion

The experimental program for stress curves can be summarized by the application of a tensile force on the cylinder that creates a defined value for the strain (ϑ_1'') this value will be considered as the center of the loading closed circuler curve of radius of curviture (R) fig (1)

The center of the loading ciculer curves is deviated by a distance (χ_1) in the direction of the axe (ϑ_1) from the center of coordinates

While changing the radius of curvature we get new cercles which are called turns or twists.

The results of this paper are a continuity of the papers of the author [Daboul, 2008 and 2990].

Keywords: 1 Stress, 2- Strain, 3- Combined , 4- Space deviator .