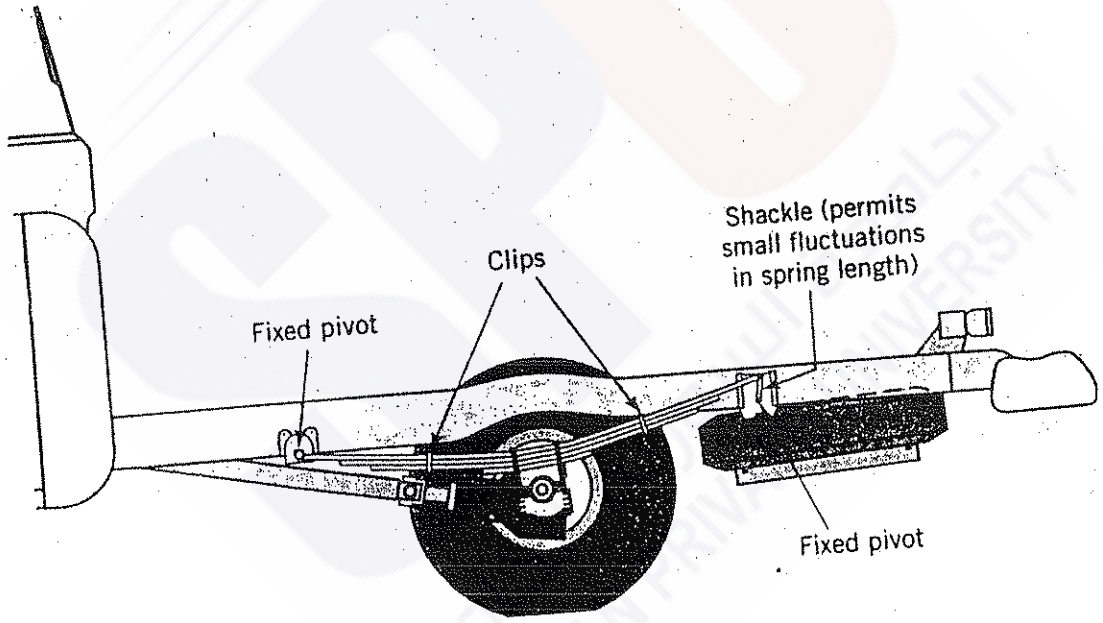
الفصل التاسع

النوابض

Springs



تـــؤدي الـــنوابض مجموعـــة متـــنوعة من الخدمات المفيدة في التصميم الميكانـــيكي، فهي تحول تأثير القوى الخارجية إلى عمل تشوه مرن بالنسبة للمادة المصـــنوع منها النابض . هذا التأثير الخارجي يسترجع بشكل كامل تقريباً عند اختفاء التشوه.

تستخدم النوابض في الآلات والأجهزة بمثابة:

١- عناصـــر للقـــوة توفـــر إجهادات معينة أو انفعالات مرنة (المكابح Brakes، القوابض Clutches، صمامات محركات الاحتراق الداخلي....إلخ)

٢-امتصـــاص (تخزين) الطاقة وتخفيف تأثير الصدمات (مخمدات) حيث تبعثر طاقة الصـــدم عـــلى صورة اهتزازات مرنة (نوابض السيارات، نوابض المصعد Buffer springs، نوابض ارتداد المدفعية، نوابض جهاز الحط للطائرات Landing gear).

٣-مصـــادر لإنـــتاج الحركة في الميكانيزمات مثل الزنبركات للساعات وأسلحة الرماية...إلخ.

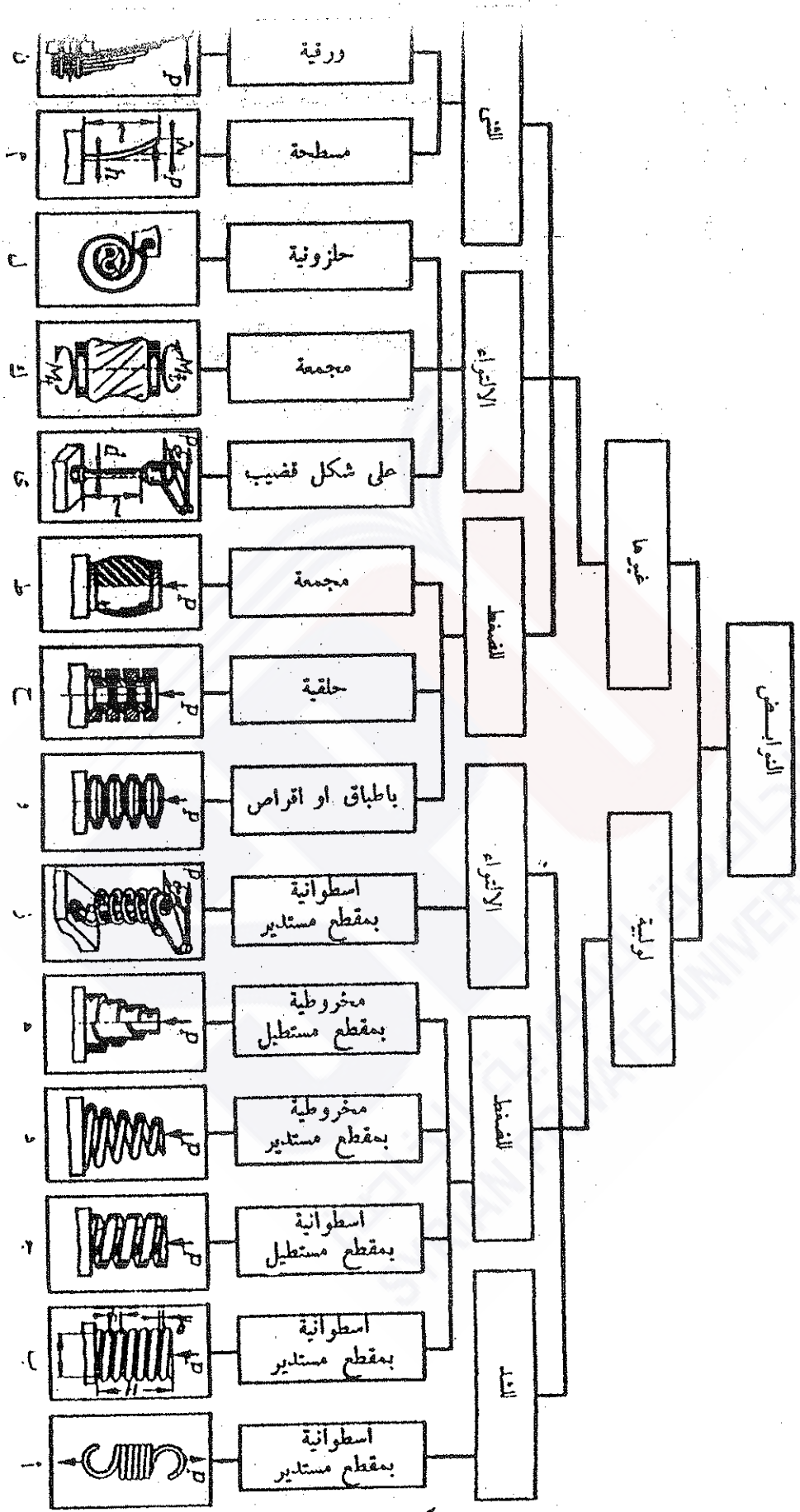
٤-عناصر حساسة في أجهزة قياس القوى (الربائع مثلاً Scales).

هـــذا وقد تؤدي النوابض عدداً من الوظائف السابقة في آن واحد وخاصة عندما تكون الخصائص الاهتزازية وخصائص الصدم ذات أهمية خاصة.

يمكن تصنيف النوابض حسب شكلها وتركيبها إلى نوابض لولبية Helical، وأسطوانية Cylindrical، ومخروطية Conical، ونوابض الأطباق Disk، والحلقات Ring، والقضـــبان Bars، وغيرها. كما يمكن أن تصنف حسب نوع التحميل إلى نوابـــض الشد Extension والضغط Compression والالتواء Torsional والثني Flexural. والشكل (1-9) يبين تصنيف النوابض حسب النقاط المذكورة.

النوابض اللولبية Helical springs:

تعتـــبر هذه النوابض من الأنواع السلكية، وقد تكون مربعة أو مستديرة المقطع، تهيأ نهايات النوابض حسب الاستعمال المعدة له. وقد تكون نوابض ضغطية أو شدية.


النوابض
خفيفة
ثقيلة
الشد
الانضغاط
الالتواء
الشد
الانضغاط
الالتواء
الشد
ورقية
مسطحة
حلزونية
مجمعة
على شكل قضيب
مجمعة
حلقية
باطباق او اقراص
اسطوانية بمقطع مستدير
مخروطية بمقطع مستطيل
مخروطية بمقطع مستدير
اسطوانية بمقطع مستطيل
اسطوانية بمقطع مستدير
اسطوانية بمقطع مستدير

شكل (1-9)

(أ): نابض شد أسطواني مستدير المقطع.

(ب): نابض ضغط أسطواني مستدير المقطع.

(جـ): نابض ضغط أسطواني مستطيل المقطع.

(د): نابض ضغط مخروطي مستدير المقطع.

(هـ): نابض ضغط مخروطي مستطيل المقطع.

(ز): نابض للالتواء أسطواني مستدير المقطع.

} نوابض لولبية

(و): نابض للضغط بأقراص.

(ح): نابض للضغط بحلقات.

(ط): نابض للضغط (ذو عناصر مرنة مطاطية).

(ى): نابض للالتواء على شكل قضيب.

(ك): نابض للالتواء (ذو عناصر مرنة مطاطية).

(ل): نابض حلزوني للالتواء.

(م): نابض مسطح للانحناء.

(ن): نابض صفائحي للانحناء.

يبين الشكل (2-9) نابض لولبي انضغاطي Helical compression spring مصنوع من الأسلاك المستديرة في ثلاث حالات:

١-حراً دون تحميل (a).

٢- معرضاً للحمولة P. (b).

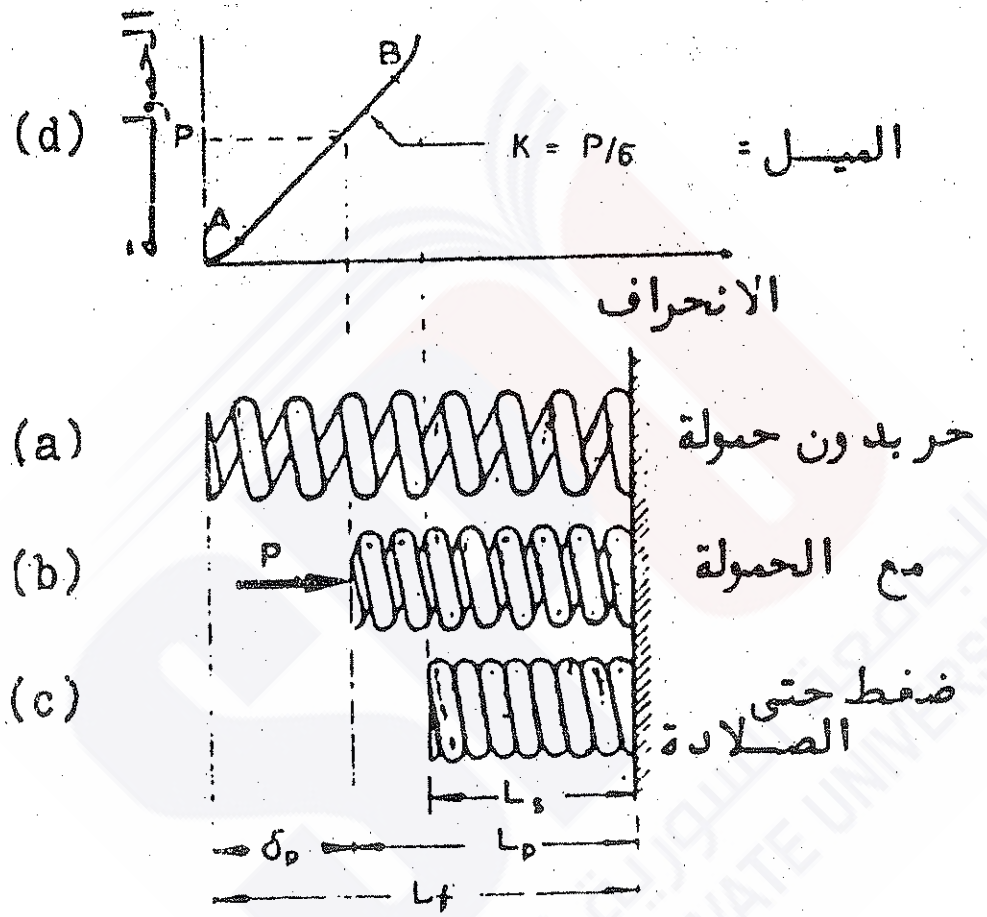
٣- مضغوطاً حتى الحالة الصلدة (حتى الطول المصمت) (c).

ونلاحظ في الحالة (b) أن النابض انحرف بتأثير الحمل المحوري ويزداد هذا الانحراف عند ضغط النابض حتى الطول المصمت (c) والشكل (d) يبين مخطط الانحراف δ كتابع للحمولة.

عند تصميم أي نابض فيجب أن يتحقق الشرطان التاليان:

١-يجـــب أن يحمل النابض الحمولة دون أن يزيد الإجهاد عن القيمة المسموح بها، كما يجب أن لا ينضغط النابض حتى طوله المصمت.

٢-يجـــب أن تكـــون العلاقة بين القوة (P) والانحراف (δ) (أي معدل النابض أو ثابت النابض P/δ) مناسبة بحالة الاستعمال.



الشكل (2-9)

L_f:الطول الحر. Free length ، L_p: الطول المضغوط Compressed length ،

L_s: الطول الصلد (المصمت). Solid length

إذا اعتـــبرنا جزءاً من نابض لولبي مستدير المقطع كما بالشكل (3-9) فإننا نلاحـــظ أن هـــذا الجزء يتوازن تحت تأثير القوة (P) والعزم المقاوم للالتواء (M_t) حيث:

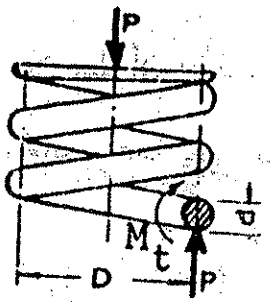
$$M_t = \frac{P.D}{2} \qquad (1\text{-}9)$$

وحيث أن إجهاد القص الناجم عن العزم (M_t) هو إجهاد القص الالتوائي ويساوي إلى : $M_t = \tau.Z_p$

وحيث أن : $Z_p = \frac{\pi.d^3}{16}$

فيمكن أن نكتب :

$$\tau = \frac{8.P.D}{\pi.d^3} \qquad (2\text{-}9)$$



الشكل (3-9)

إذا أضـــفنا إجهاد القص الالتوائي الناجم عن العزم (M_t) إلى الإجهاد المسبب عن القوة المباشرة (P) والمساوي إلى (P/A) فتكون معادلة محصلة إجهاد القص (بإهمال تركز الإجهاد الناجم عن التقوس) كمايلي:

$$\tau = \frac{8.P.D}{\pi.d^3} \pm \frac{4.P}{\pi.d^2} \ (kg/cm^2) \qquad (3\text{-}9)$$

تســـتعمل إشارة (+) عند الألياف الداخلية وإشارة (−) عند الألياف الخارجية لأن الإجهـــاد عند الألياف الداخلية أكبر منه في الخارج نظراً لقصر الألياف في الداخل بالنسبة للألياف في الخارج.

وبفـــرض أن $C = \frac{D}{d}$ حيث (C) دليل النابض Spring index فيمكن أن تكتب العلاقة (3-9) على النحو التالي:

$$\tau = \frac{8.P.D}{\pi.d^3}\left(1 + \frac{1}{2C}\right) \ (kg/cm^2) \qquad (4\text{-}9)$$

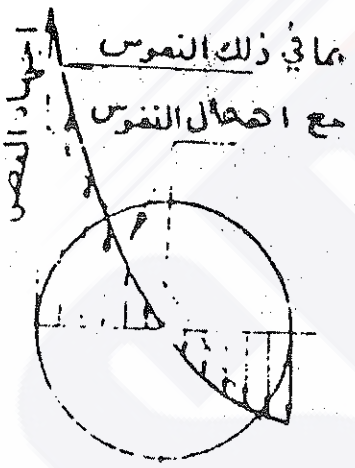
ملاحظة:

في معظم الحالات نلاحظ أن الحد الثاني داخل القوس بالمعادلة (9-4) أقل بكثير من الوحـــدة ويمكن إهماله وهذا يعني أننا نهمل تأثير القص المباشر بالنسبة لتأثير إجهاد الالتواء أي:

$$\tau \approx \frac{8.P.D}{\pi.d^3} \qquad (5\text{-}9)$$

وجدنـــا أن التقوس يؤثر على توزع الإجهاد (يزداد الإجهاد عند السطح الداخلي) كما يبين ذلك الشكل (9-4).

لـــذا فقد بين وال Wahl.A أن معادلة إجهاد الالتواء (9-5) يمكن أن تستخدم مـــع عـــامل تركيز للإجهادات بحيث تصـــبح هذه المعادلة صالحة لأخذ تأثير الالـــتواء والقص المباشر والتقوس بعين الاعتبار:



الشكل (9-4)

$$\tau = K.\frac{8.P.D}{\pi.d^3} \qquad (6\text{-}9)$$

حيـــث K: عامل تركيز الإجهادات أو عامل تصحيح (وال) Wahl correction factor ويعطى من العلاقة التالية:

$$K = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C} \qquad (7\text{-}9)$$

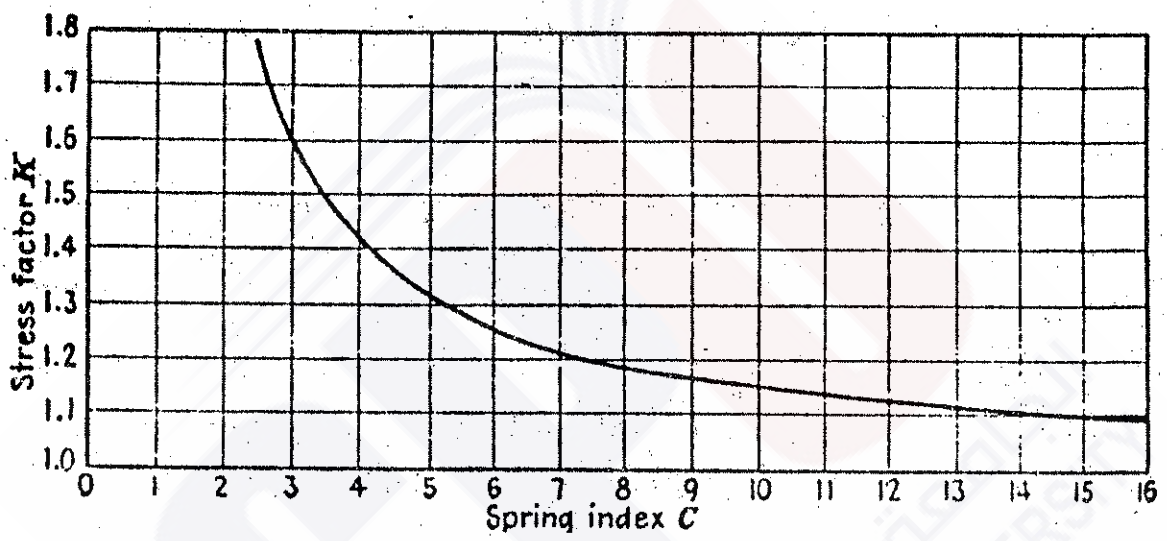
ويعطي المخطط المبين بالشكل (9-4) قيمة K كتابع لقيم مختلفة لدليل النابض C.

يمكن أن تكتب المعادلة (9-4) على النحو التالي:

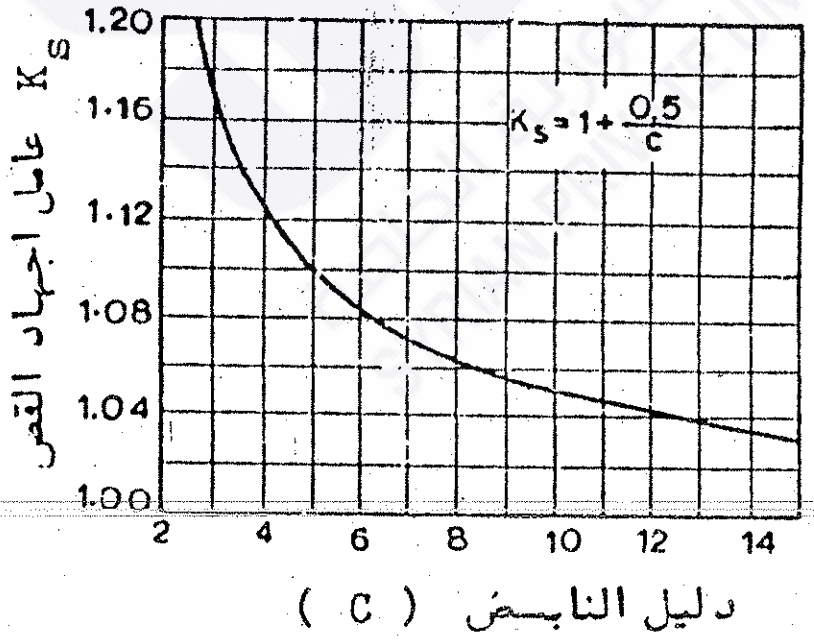
$$\tau = K_S.\frac{8.P.D}{\pi.d^3} \qquad (8\text{-}9)$$

حيـــث $K_s = (1 + \frac{1}{2C})$: هو عامل إجهاد القص الذي يأخذ إجهاد القص المباشر بعين الاعتبار (مع إهمال تأثير التقوس خاصة عندما تتعرض النوابض لأحمال ساكنة ويكون النابض مصنوعاً من مادة مطيلة Ductile تخفف من تركيز الإجهادات).

يعطـــي المخطط المبين بالشكل (9-5) قيمة (K_S) كتابع لقيم مختلفة لدليل النابض (C).



الشكل (9-5)



الشكل (9-6)

في الحالـــة الـــتي نعتـــبر فيها تأثير التقوس فإن عامل تركيز الإجهادات الناجم عن التقوس (K_c) يساوي:

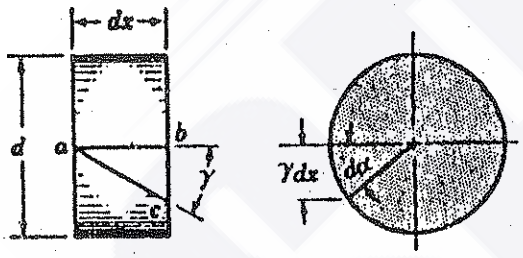
$$K_c = \frac{K}{K_s} \qquad (9\text{-}9)$$

مـــن الأشـــكال (9-5) و (9-6) يمكن إيجاد قيمة K_c لأن جداء K_s و K_c يجب أن يساوي K.

انحراف النوابض اللولبية Deflection of helical springs:

يمكـــن إيجـــاد معامل انحراف النابض اللولبي من خلال دراسة عنصر من سلك هذا النابض المحصور بين مقطعين متجاورين كما بالشكل (7-9):

حيـــث (dx) طول العنصر و (d) قطر السلك.



الشكل (7-9)

يدور الخط ab الواقع على سطح السلك والمـــوازي لمحـــوره بعد الانحراف زاوية مقدارها γ ويصبح بالموقع الجديد ac.

ووفقاً لقانون هوك في الالتواء يمكن أن نكتب :

$$\gamma = \frac{\tau}{G} = \frac{8.P.D}{\pi.d^3.G} \qquad (10\text{-}9)$$

وذلك باستخدام المعادلة (6-9) واعتبار أن معامل وال يساوي الواحد (بيّن وال تجريبياً أن اعتبار K=1 عند حساب الانحراف يعطي نتائج دقيقة جداً).

من الشكل (7-9) نلاحظ أنه :

$$ac = \gamma.dx$$

$$d\alpha = \frac{\gamma.dx}{d/2} = \frac{2.\gamma.dx}{d} \qquad (11\text{-}9)$$

حيث $d\alpha$: هي الزاوية التي يدور بها المقطع بالنسبة للمقطع الآخر.

إذا كـــان عـــدد اللفات الفعالة يساوي (N) فإن الطول الإجمالي للسلك يســـاوي $\pi.D.N$ ، إذا عوضنا (γ) من المعادلة (9-10) في المعادلة (9-11) وكاملنا فإننا نجد أن الإنحراف الزاوي لأحد طرفي السلك بالنسبة للطرف الآخر يساوي:

$$\alpha = \int_0^{\pi.DN} \frac{2\gamma}{d} dx = \int_o^{\pi.DN} \frac{16.P.D}{\pi.d^4.G} dx$$

$$\alpha = \frac{16.P.D^2.N}{d^4.G} \qquad (12\text{-}9)$$

وحيث أن ذراع عزم القوة (P) يساوي إلى ($\frac{D}{2}$) لذا فإن الانحراف الكلي يساوي إلى :

$$\delta = \alpha \frac{D}{2} = \frac{8.P.D^3.N}{d^4.G} \qquad (13\text{-}9)$$

إن ثابـــت النابض أو معدل النابض (K_l) هو بالتعريف يساوي إلى (ضمن حدود المرونة):

$$K_l = \frac{P}{\delta} \quad (kg/cm) \qquad (14\text{-}9)$$

وهذه العلاقة صحيحة لجميع أنواع النوابض.

من المعادلتين (9-13) و (9-14) يمكن أن نكتب:

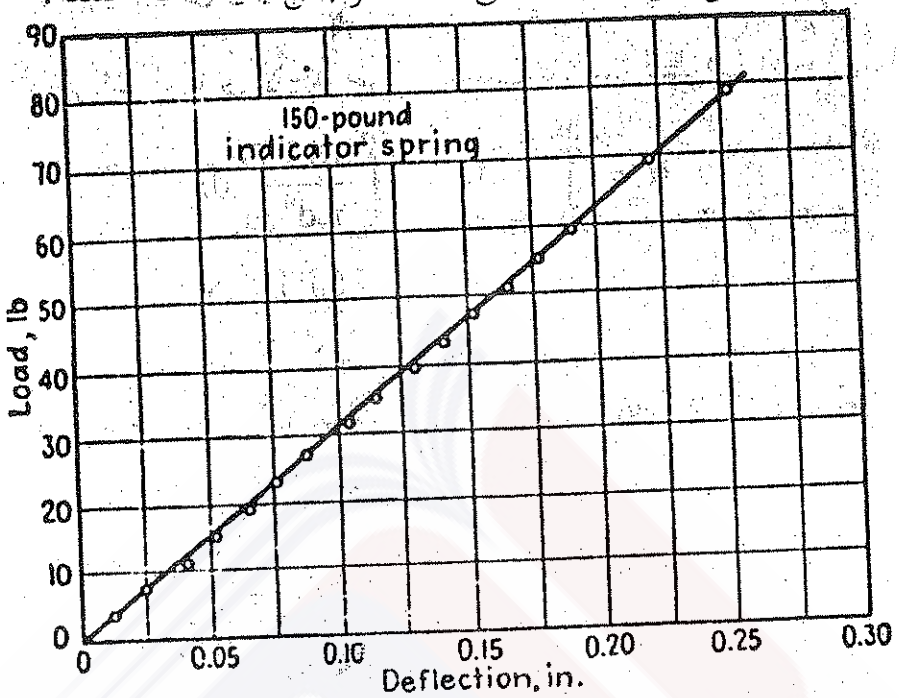
$$K_l = \frac{G.d^4}{8.D^3.N} = \frac{G.d}{8.c^3.N} \qquad (15\text{-}9)$$

نلاحـــظ أن الطرف الأيمن من هذه المعادلة ثابت لنابض معين وبالتالي فإن المقدار (K_l) هـــو ثابـــت كذلك ويمثل عدد الكيلوغرامات اللازمة لكي ينحرف النابض مقـــدار (1cm) ويسمى أحياناً بمقياس النابض Spring rate وهو ميل الخط الممثل للحمل – الانحراف كما بالشكل (9-2) والشكل (9-8).

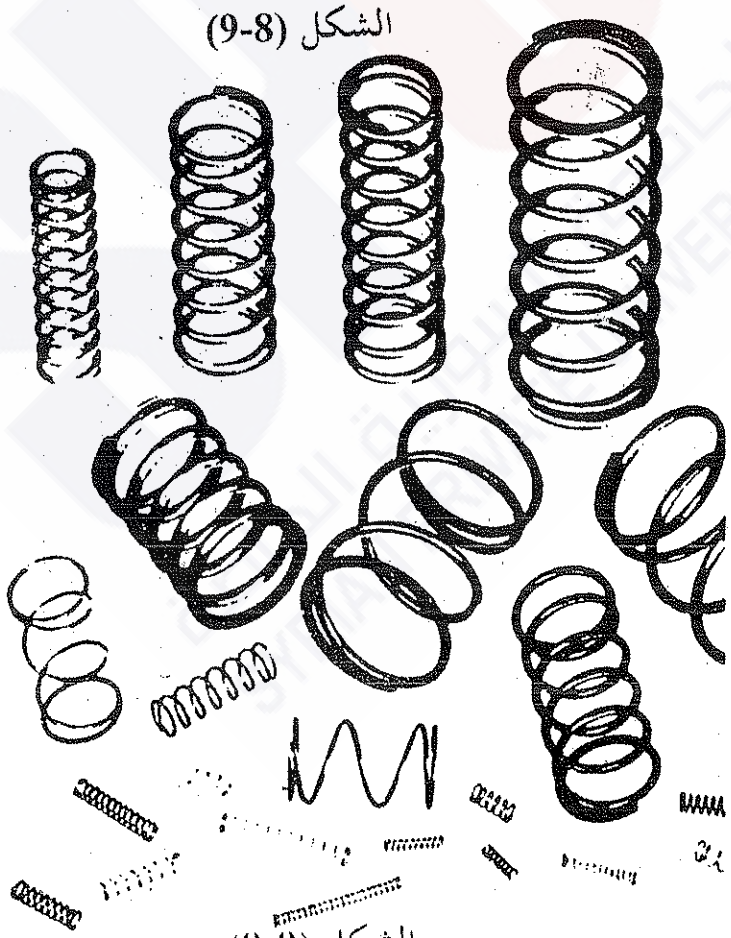
إن المعـــادلات الـــواردة في هـــذا البند صالحة لكل من نوابض الانضغاط ونوابض الشد.

نوابض الانضغاط اللولبية Helical compression springs :

ويبين الشكل (9-9) عدداً من هذه النوابض بقياسات مختلفة.



الشكل (8-9)



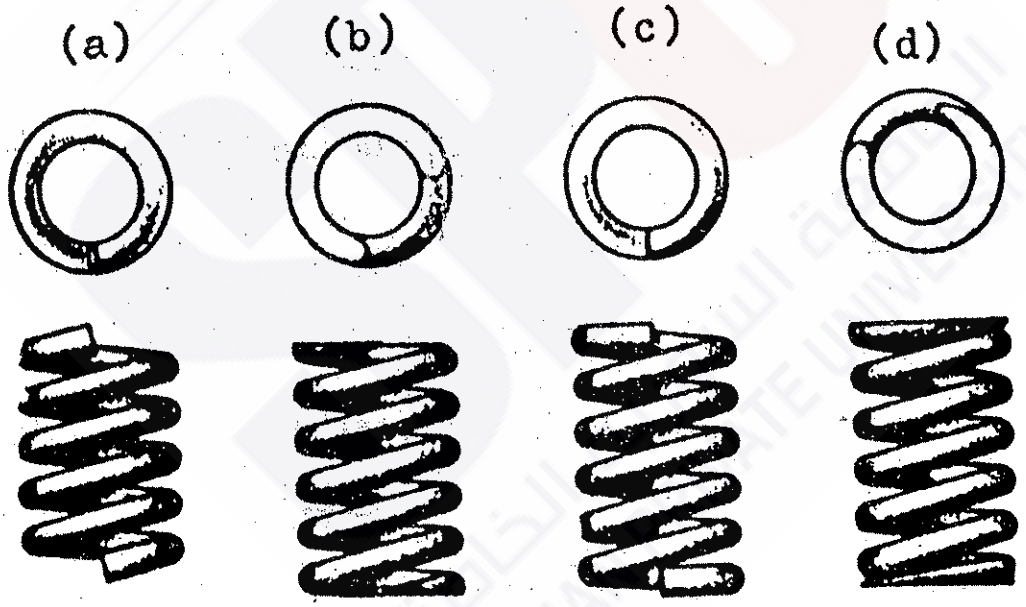
الشكل (9-9)

١- عدد اللفات الفعالة (N):

يمكن التعبير عن عدد اللفات الفعالة (N) بدلالة الحمولة والانحراف وقياسات أسلاك النابض استناداً إلى المعادلة (9-13) كالتالي:

$$N = \frac{\delta.G.d^4}{8.P.D^3} = \frac{\delta.G.d}{8.P.c^3} \qquad (16\text{-}9)$$

أما عدد اللفات الإجمالي N_t فيساوي إلى عدد اللفات الفعالة مضافاً إليه عدد اللفات غير الفعالة التي تنجم عن التعديلات التي تجري على طرفي النابض لتمكينه من الارتكاز بصورة مستقيمة على أجزاء الآلات، والشكل (9-10) يبين أنواع نهايات النوابض الانضغاطية الأكثر شيوعاً وهي:



الشكل (9-10)

أ-النهايات العادية (الخام) (Plain ends)-(a) حيث عدد اللفات غير الفعالة يساوي (2-1) ويجب تجنب استخدام النهايات العادية أو المجلوخة لأنها تشتبك بسهولة.

ب-النهايات العادية أو المجلوخة (Plain ends ground) (b) حيث عدد اللفات غير الفعالة يساوي (1) ويستخدم عندما يكون طول النابض محدوداً ونحتاج إلى أكبر عدد من اللفات الفعالة.

جـ-النهايات المتعامدة أو المقفلة (Square ends)-(c) حيث عدد اللفات غير الفعالة يساوي (2) وتستخدم عندما تكون القيود الخاصة بالتعامد ليست شديدة.

د-النهايات المتعامدة أو المجلوخة (Square ends, ground) (d) حيث عدد اللفات غير الفعالة يساوي (2) وتستخدم في الحالات التي تتطلب دقة وكذلك عندما يكون النابض طويلاً ونحيفاً ومعرضاً للتحدب buckling تحت الحمولة، ويجب تفادي عملية الجلخ كلما كان ذلك ممكناً لأنها تزيد من تكاليف النوابض.

إن الفرق بين تكاليف النوابض ذات النهايات العادية والنهايات المتعامدة (المقفلة) صغير لأن كلاً منهما يتشكل بصورة أتوماتيكية على آلات لف النوابض.

٢- دليل النابض spring index :

يتم تحديد قياسات النوابض اللولبية أحياناً بدلالة دليل النابض $(C = \frac{D}{d})$

حيث:

D: متوسط قطر الملف (وليس القطر الخارجي للملف).

D(C+1): القطر الخارجي للملف.

D(C-1) : القطر الداخلي للملف.

ومعرفة القطر الخارجي والداخلي للملف ضرورية لأننا نحتاج أحياناً كثيرة إلى تركيب النابض داخل ثقب محدود القطر أو فوق قضيب محدود القطر كذلك.

تتراوح قيمة الدليل (C) للنوابض ذات الأبعاد المتناسبة بين (9-6)، أما النوابض ذات الدليل الذي يزيد عن (C>13) فتكون طرية وتحتاج إلى تسامحات أكثر دقة من التسامحات النظامية.

النوابض التي دليلها أقل من (C<5) فهي صلبة أو قاسية ومن الصعب لفها على آلات اللف الاتوماتيكية.

مثال محلول :

نابض ضغط سلكي حلزوني مغلق، يتألف من (16) حلقة. معدل النابض 10 kg/mm قسم هذا النابض إلى نابضين أحدهما (4) حلقات والآخر (12) حلقة.

أوجد معدل النابض للنابضين الناتجين.

إذا قسم النابض إلى قسمين متساويين، ماذا سيصبح عليه معدل النابض الجديد.

الحل :

بما أن : $\delta = \frac{8PD^3n}{Gd^4}$ الانحراف الكلي

معدل النابض $K = \frac{P}{\delta} = \frac{P}{\frac{8PD^3n}{Gd^4}} = \frac{Gd^4}{8D^3.n} = \frac{K`}{n}$

حيث : $K` = \frac{Gd^4}{8D^3}$ يكون مقدار ثابت لبعض النوابض.

للنابض الأصلي $10 = \frac{K`}{16} \rightarrow K` = 160$

عند تقسيم النابض إلى نابضين (12,4 حلقة) فيكون معدل النابض للأول (4 حلقات) هو :

$$= \frac{K`}{4} = \frac{160}{4} = 40 \ \text{kg/mm}$$

وللنابض الثاني (12 حلقة) هو:

$$= \frac{160}{12} = 13.3 \ \text{kg/mm}$$

بشكل مشابه عند تقسيم النابض إلى قسمين كل منهما (8) حلقات فيكون معدل النابض لكل منهما:

$$= \frac{160}{8} = 20 \text{ kg/mm}$$

٣- طول النابض Spring Length :

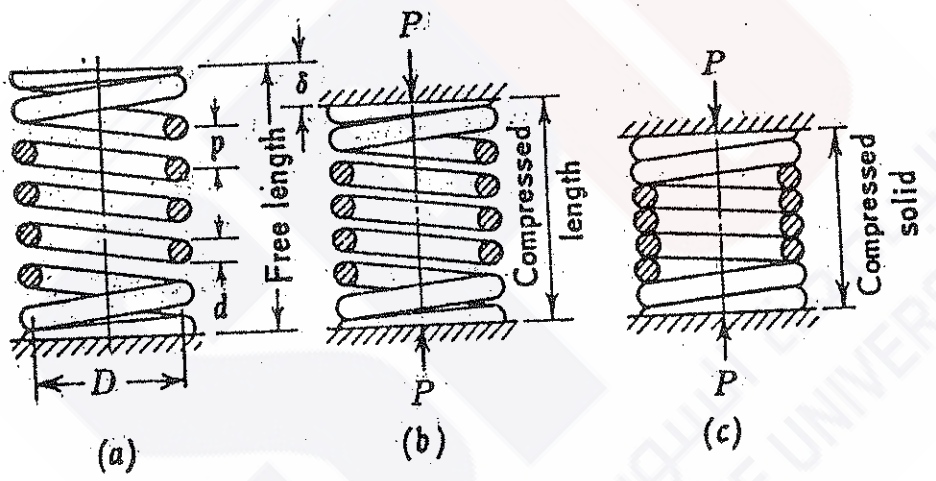
عـــند تصـــميم النوابض الانضغاطية اللولبية نحتاج إلى تحديد طول النابض (L_p) تحـــت تأثير الحمولة (P) والعلاقات التالية تفيد المهندس في التصميم، استعن بالشكل (2-9) والشكل (11-9)

أ-الطول الصلد (المصمت) Solid length (L_S):

$$L_S = N_t.d \qquad \text{(a) (17-9)}$$

حيث: N_t : عدد اللفات الإجمالي.

D: قطر السلك.



الشكل (11-9)

ب-الطول الحر Free length (L_f) :

$$L_f = L_p + \delta_p \qquad \text{(b) (17-9)}$$

حيث: L_p: طول النابض تحت الحمولة (P).

δp : انحراف النابض بتأثير الحمولة (P).

جـــ-خطوة الملف الحرة coil pitch (p)

$$p = \frac{L_f - L_S}{N} + d \qquad \text{(c) (17-9)}$$

حيث: N : عدد اللفات الفعالة.

ويمكـــن الاعـــتماد كذلك على الجدول المبين بالشكل (12-9) الذي يعطينا عدد اللفات والأطوال استناداً إلى أنواع النهايات التي رأيناها.

نوع النهايات	عدد اللفات الكلي N_t	الطول الصلد L_s	الطول الحر L_s
العادية	N	(N+1).d	N.P+d
عادية مجلوخة	N	N.d	N.p
متعامدة، مقفلة	N+2	(N+3).d	N.p+3d
متعامدة مجلوخة	N+2	(N+2).d	N.p+2d

الشكل (12-9)

مثال محلول :

صـــمم نابض ضغط حلزوني ليحمل حمل مقداره (1500 N) بانحراف (40mm)، باعتـــبار دلـــيل الـــنابض 5 . وكذلـــك إجهاد القص لسلك النابض لا يتجاوز ($400\ MN/m^2$) ومعامل الصلابة لمادة النابض ($80000\ MN/m^2$).

الحل:

إن تصميم النابض يعني إيجاد قطر سلك النابض d وقطر النابض D وعدد الحلقات n وخطوة الحلقات.

$$[\tau] = K\frac{8PD}{\pi d^3} = \frac{8kPC}{\pi d^2} = 400\times10^6 \quad N/m^2$$

حيث:

$$c = \frac{D}{d} = 5 \qquad \text{معامل وال } k = \frac{4c-1}{4c-4} + \frac{0.615}{c}$$

$$= \frac{4\times5-1}{4\times5-4} + \frac{0.615}{5} = 1.31$$

وبالتالي يكون:

$$d = \sqrt{\frac{8KPC}{\pi[\tau]}} = \sqrt{\frac{8\times1.31\times1500\times5}{\pi\times400\times10^6}}$$

$$d = 7.92 \approx 8mm$$

$$D = 5d = 5\times8 = 40mm$$

ولحساب عدد الحلقات (n):

$$\delta = \frac{8PD^3n}{Gd^4} = \frac{8PC^3.n}{G.d}$$

$$n = \frac{\delta.d.G}{8PC^3} = \frac{0.04\times0.008\times80\times10^5}{8\times1500\times125}$$

$$n \approx 17$$

ويكون العدد الكلي (مع اعتبار النهايات):

$$17 + 2 = 19$$

باعتبار أن الخلوص بين الحلقات هو 1mm فيكون الطول الحر للنابض يساوي إلى:

الطول الحر = الطول الصلد + الضغط + الخلوص

$$= 19\times d + \delta + (19-1)\times1$$

$$= 19\times8 + 40 + 18$$

$$= 162 + 58 = 220mm$$

$$\text{خطوة الحلقة} = \frac{\text{الطول الحر}}{19-1} = \frac{220}{18}$$

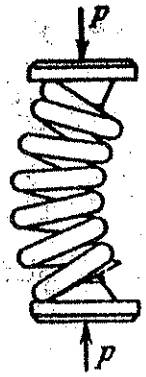
$$= 12.2\ mm$$

تحدب نوابض الانضغاط اللولبية: Buckling in compression springs

عندما يكون نابض الانضغاط طويلاً بالنسبة لقطره المتوسط فإنه يتحدب (ينهار) تحت تأثير الحمولة كما بالشكل (13-9)

حيث يعبر عن انحراف النابض الذي يحدث عنده التحدب بدلالة الطول الحر للنابض ومتوسط قطر الملف وطريقة تثبيت النهايات.

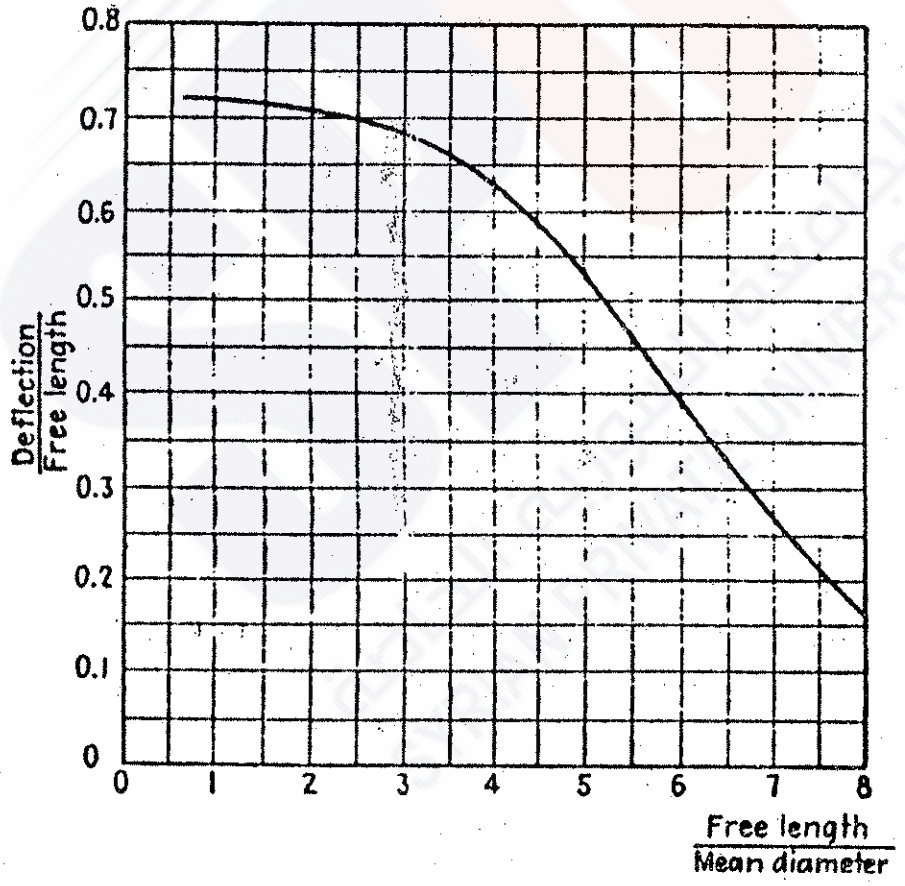
المنحني المبين بالشكل (14-9) يحدد إمكانية التحدب في نوابض الانضغاط اللولبية ذات النهايات العادية والمجلخة التي تتحرك بشكل محوري.



أ

الشكل (13-9)

من المهم جداً أن يحدث التحدب فقط للنقاط التي فوق المنحني.



الشكل (14-9)

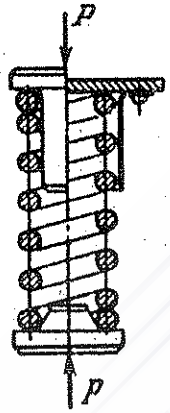
لقد بين وال Wahl أنه عندما تكون نسبة الطول الحر إلى متوسط قطر الملف (L_f/D) اقل من (2.7) للنابض المرتكز بصورة مفصلية فإن التحدب لا يحدث

إطلاقاً حتى ولو انضغط النابض حتى الصلادة. كما بين وال أن النوابض المثبتة من الطرفين بشكل جيد لا تتحدب إذا كان ($L_f / D < 5.7$).

إذا كـــان للـــنابض (L_f / D) قيم كبيرة فلابد للمصمم من تأمين نوع من وسائل الاستناد كوضع قضيب داخلي أو أسطوانة خارجية كما بالشكل (15-9).

يمكـــن تحديد الحمل الحرج Critical load المحوري الذي يسبب التحدب من العلاقة التقريبية التالية:

$$P_{cr} = L_l . L_f . K_L \qquad (18\text{-}9)$$



الشكل (15-9)

حيث :

P_{cr} (kg) : الحمل المحوري الذي يسبب التحدب.

K_l (kg/cm) : ثابت أو معدل النابض.

L_f (cm) : الطول الحر للنابض.

K_L: معامل يعتمد على النسبة بين طول النابض الحر (L_f) ومتوسط قطر اللفة.

والجدول المبين بالشكل (16-9) يعطي قيم هذا المعامل كتابع للنسبة (L_f / D).

مثبت النهايات		مفصلي النهايات	
K_L	L_f / D	K_L	L_f / D
0.72	1	0.72	1
0.71	2	0.63	2
0.68	3	0.38	3
0.63	4	0.20	4
0.53	5	0.11	5
0.38	6	0.07	6
0.26	7	0.05	7
0.19	8	0.04	8

الشكل (16-9)

نوابض الشد اللولبية Helical tension springs:

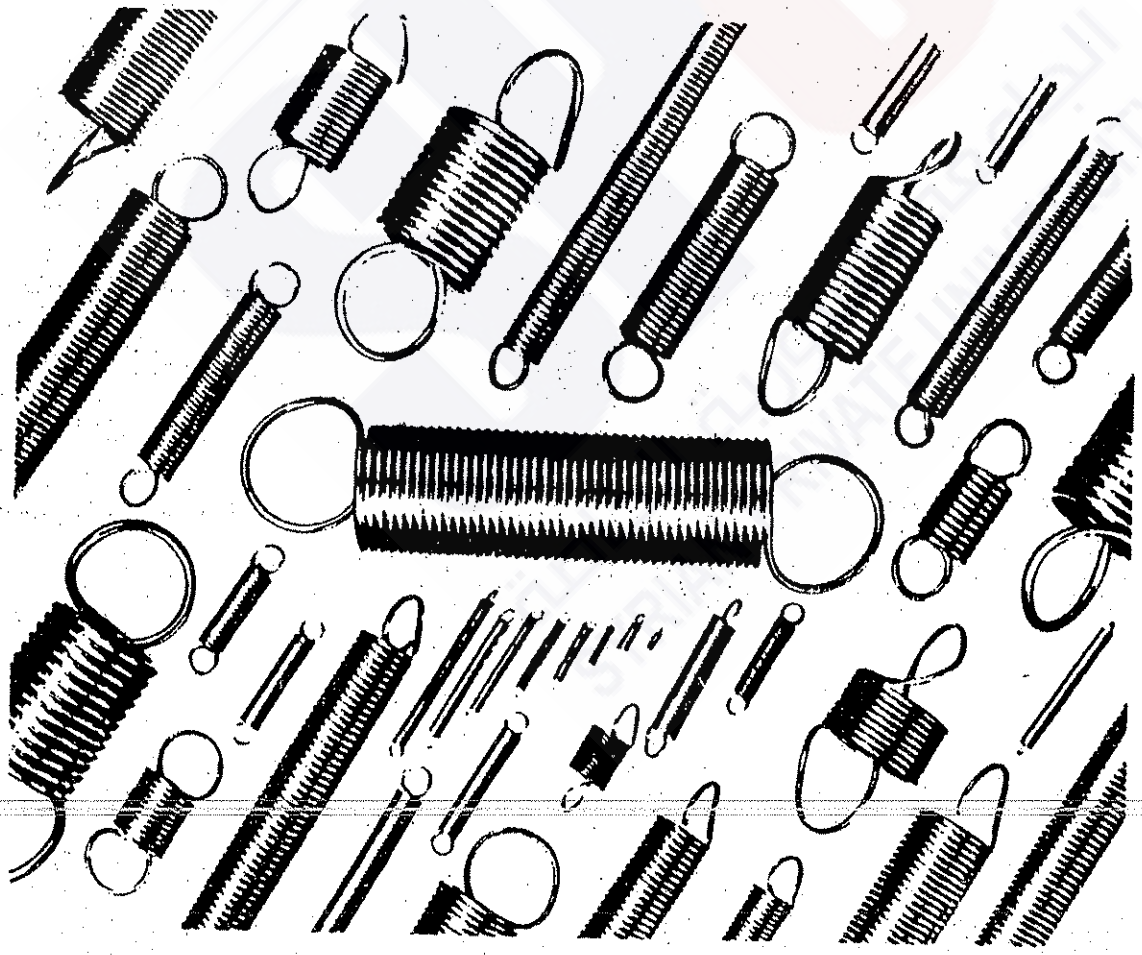
ويبين الشكل (17-9) عدداً من هذه النوابض بقياسات مختلفة. تتشابه نوابض الشد اللولبية مع نوابض الانضغاط اللولبية من عدة وجوه، فمعادلات الإجهادات والانحراف مثلاً واحدة لكلا النوعين ويختلف تصميم نوابض الشد في النقاط التالية:

١-نوع النهايات.

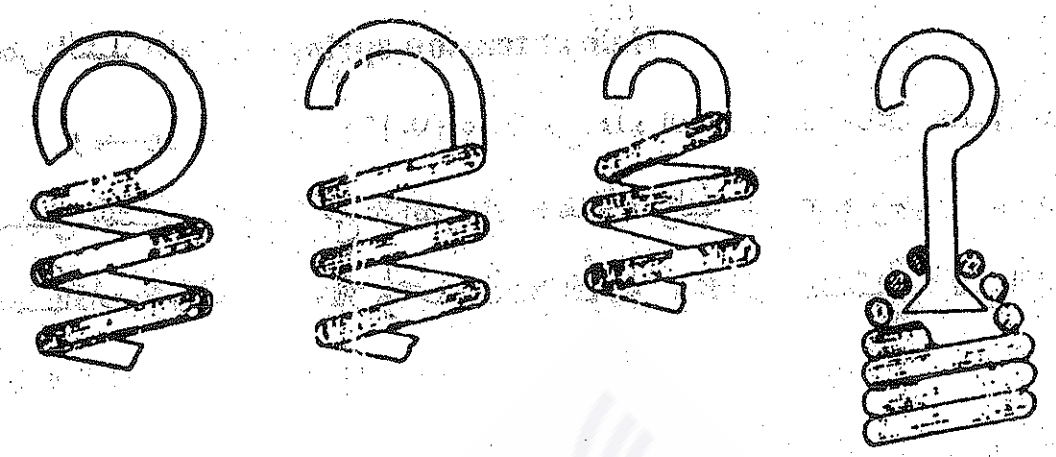
٢-إجهادات الانعطاف.

٣-الشد الابتدائي.

٤-عدم وجود حماية داخلية عند انهيار النابض.



الشكل (17-9)



(a) خطاف كامل مقفل

(b) نصف خطاف مفتوح

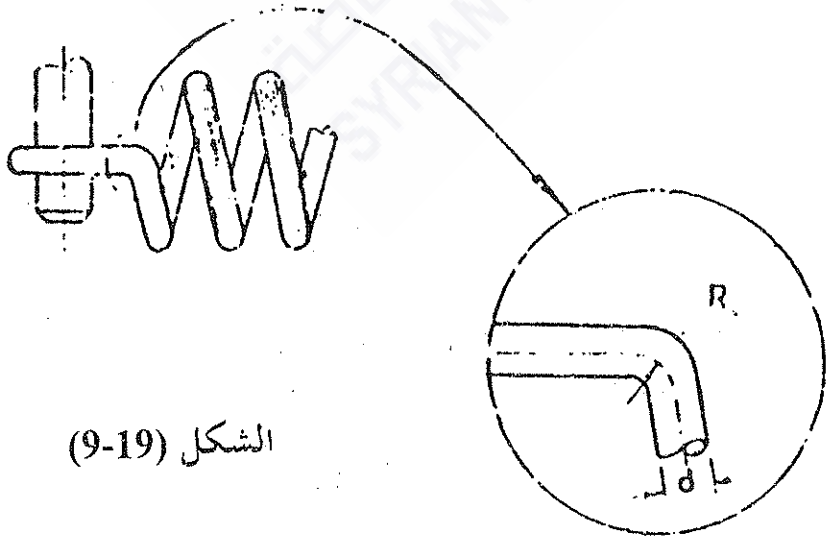
(c) خطاف متدرج بالتناقص

(d) خطاف متحرك

الشكل (18-9)

يبين الشكل (18-9) عدة أنواع من الخطافات Hooks المستخدمة في نوابض الشد التي تساعد على تثبيت هذه النوابض بأجزاء الآلات. ومن الضروري تبسيط شكل الخطاف ما أمكن لأن الخطاف المعقد الشكل يحتاج إلى وسائل لف خاصة.

عـــندما يكون النابض معرضاً لحمولات عالية فمن الضروري الإقلال من الإجهـــادات المتســـببة عن منعطف الخطاف وعند المقطع الذي يلتقي فيه الخطاف باللفـــة الأولى من النابض. نلاحظ كما بالشكل (19-9) أنه كلما كان نصف قطر المـــنعطف (R) صغيراً كلما زاد تركيز الإجهادات وهذا بدوره يؤدي إلى الانهيار السريع، لذا يمكن التغلب على ذلك بجعل نصف قطر المنعطف أكبر ما يمكن.

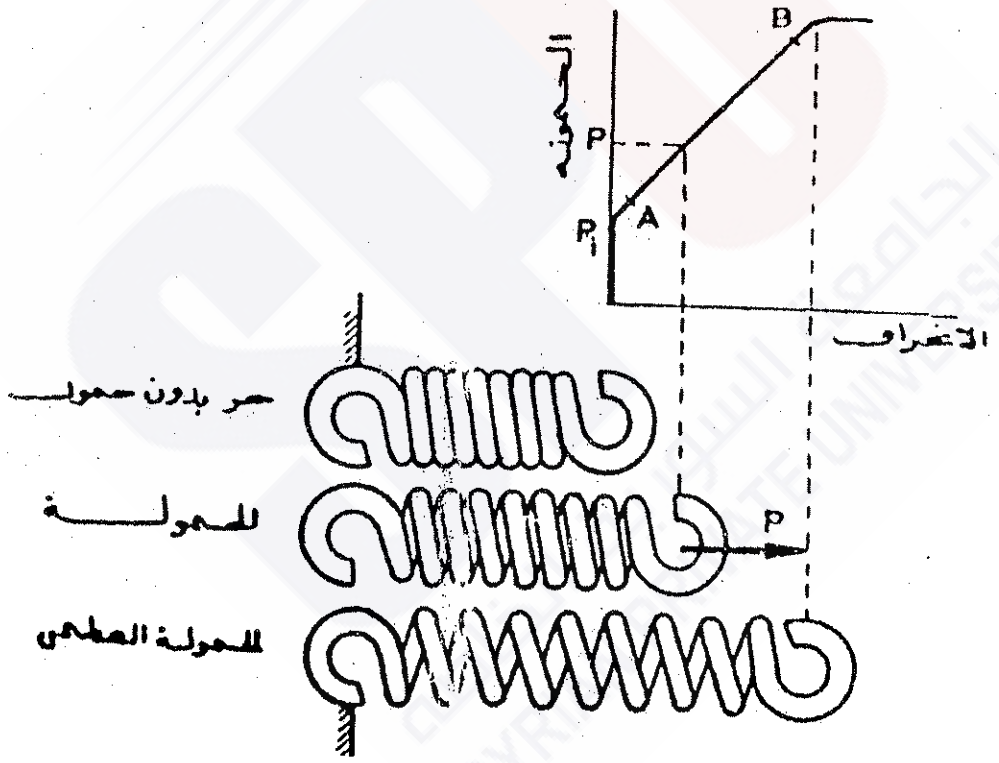


الشكل (19-9)

تصـــنع معظم نوابض الشد مع شد ابتدائي Initial tension كاف (حمولة مسبقة) وذلك لإبقاء لفات النابض مقفلة عندما يكون دون تحميل، والنوابض تكون ملفوفة بدقة أكبر بهذه الحالة.

يبين الشكل (20-9) نابض شد لولبي تحت تأثير مختلف حالات التحميل، وكذلك منحني الحمولة- الانحراف بهذا النابض .

نلاحـــظ أنه لابد من تطبيق قوة ابتدائية مقدارها (P_i) على النابض قبل أن تبدأ لفات النابض بالافتراق، كما نلاحظ أن منحني ($P-\delta$) لا يتأثر بمقدار القوة الابتدائية (P_i) هذه .



الشكل (20-9)

الإجهادات المسموحة Allowable stresses :

تـــتوقف الإجهادات المسموحة للنوابض اللولبية على نوع الأحمال المؤثرة عليها، وهنا نميز حالتين:

١- التحميل الساكن Static loading :

في هذه الحالة يمكن اعتبار حد المرونة في الالتواء Elastic limit in torsion كإجهاد أساسي وذلك لإيجاد إجهاد التشغيل، ويقترح أن يكون معامل الأمن (1,5) عندما تتعرض النوابض لخدمة خفيفة. يمكن الحصول على إجهاد التشغيل بقسمة إجهاد خضوع المادة على معامل الأمن.

إن إحدى طرق تصميم أكبر إجهاد في النوابض هي استخدام جزء من معامل (وال) Wahl الذي يصحح تأثير إجهاد القص العرضاني (المباشر) Transverse shear وليس الجزء الذي يصحح التقوس Curvature (هذا الجزء يتعلق بتركيز الإجهاد وليس مهماً في المواد المطيلة والمتأثرة بأحمال ساكنة) من المعادلة (9-7) وجدنا:

$$K = \underbrace{\frac{4C-1}{4C-4}}_{\text{عن التقوس}} + \underbrace{\frac{0.615}{C}}_{\text{عن القص العرضاني}}$$

إذا استخدمنا الحدين فيكون التصميم أفضل.

من المعادلة (9-9) وجدنا أن :

$$K = K_S \cdot K_C$$

فإذا كان توزيع إجهاد القص العرضاني منتظماً، فتكون معادلات التصميم كالتالي:

$$\frac{\tau_y}{1.5} = KS\frac{8.P.D}{\pi.d^3} \qquad (19\text{-}9)$$

أو باعتبار معامل (وال) بحديه لضمانة التصميم فيكون:

$$\frac{\tau_y}{1.5} = K.\frac{8.P.D}{\pi.d^3} \qquad (20\text{-}9)$$

أ- تحميل التعب Fatigue loading :

في معظم الأحيان تتعرض النوابض لحمولات التعب وذلك حسب نوع الاستعمال فقد يكون عدد الهزات المطلوبة خلال حياة النابض قليلاً بحيث لا يزيد

عـــن بضـــعة آلاف من المرات (نوابض الأقفال مثلاً) وقد يكون المطلوب ملايين الهزات دون انهيار (نابض محرك السيارة) حيث يجب أن يصمم لحياة لانهائية.

تعتمد الإجهادات المسموح بها للنوابض اللولبية على متانة الاحتمال لمادة الـــنابض Endurance strength (وهو الإجهاد الأعظمي الذي يمكن عكسه عدداً كبيراً مطلقاً من المرات دون أن يحدث كسر في العينة)، وبعض الإجهادات الأخرى الـــتي يجـــب اعتبارها مثل تركيز الإجهاد، معدل الإجهاد، طبيعة السطح المشغل، الصدأ...إلخ.

تـــتعرض أجـــزاء الآلات كالأعمدة مثلاً إلى حمولات التعب على شكل إجهادات معكوسة تماماً Reversed stresses.

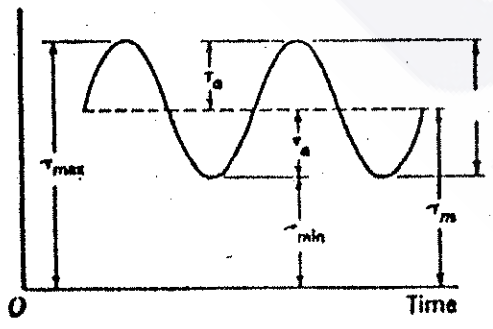
النوابض اللولبية لا تستعمل مطلقاً كنوابض شد وانضغاط في نفس الوقت (لا تـــتعرض لأحمال معكوسة) بل إنها في الواقع تخضع لحمولة مسبقة عند تركيبها وتكـــون الحمولـــة العاملـــة إضافية. يبين الشكل (21-9) ظروف تحميل النوابض الطبيعـــية ويكون أسوأ ظرف تتعرض له النوابض هو عندما لا تكون هناك حمولة مسبقة Initial loading أو عندما يكون:

$$\tau_{min} = 0$$

والإجهاد المتوسط:

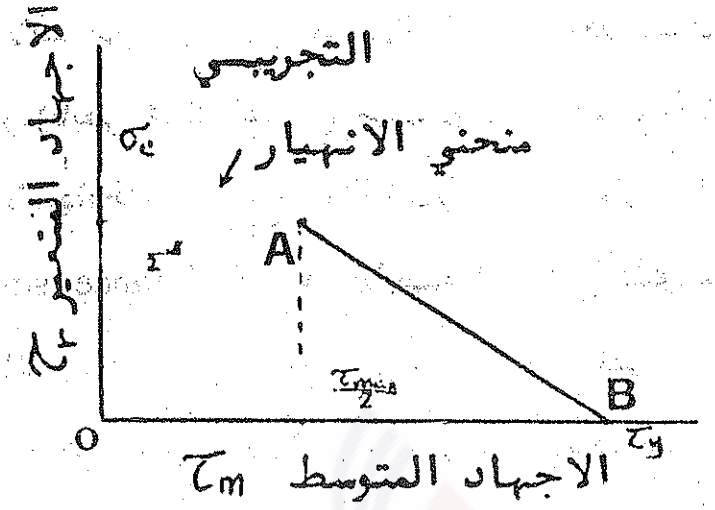
$$\tau_m = \frac{\tau_{max}}{2}$$

وهـــذا يعني أننا سنعتبر النقاط التي على يمـــين الـــنقطة (A) من منحني التعب-الإجهاد المبين بالشكل (22-9).



الشكل (21-9)

ولقـــد اقترح وال (Wahl) طريقتين لمعالجة الإجهادات المتغيرة في النوابض اللولبية وهي كالتالي:



الشكل (22-9)

الطريقة الأولى :

وتعتمد على منحني الإجهاد –التعب كما بالشكل (22-9) حيث عينت مركبة الإجهاد المتغير τ_r باستخدام قيمة منخفضة لمعامل وال لأن بعض المواد لها حساسية قليلة لتركز الإجهاد عند حمولات التعب.

تطبق هذه الطريقة لحسب معامل التقوس (K_C) واستناداً إلى المنحني المبين بالشكل (23-9)نوجد قيمة K_f (معامل تركيز إجهاد التعب وهو القيمة المخفضة لـ (K_c) وعندئذ نحصل على الإجهاد المتغير كالتالي:

$$\tau_r = K_f.K_s \frac{8.D}{\pi.d^3}\left(\frac{P_{max} - P_{min}}{2}\right) \qquad (21\text{-}9)$$

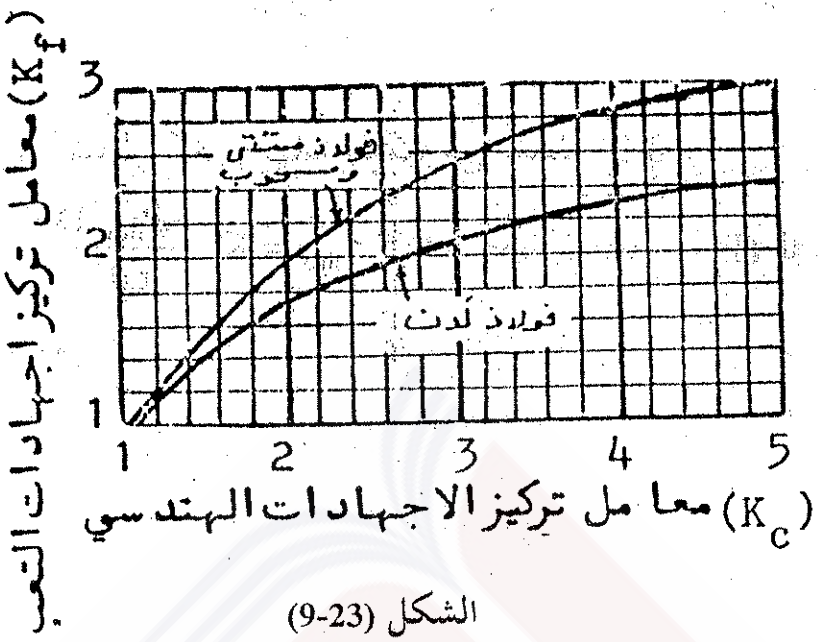
متوسط الإجهاد τ_m يمكن حسابه من العلاقة (9-8) لأنه يمثل المركبة الساكنة:

$$\tau_m = K_S.\frac{8.D}{\pi.d^3}\left(\frac{P_{max} + P_{min}}{2}\right) \qquad (22\text{-}9)$$

ويمكننا معرفة مدى الاحتمال للإجهاد من العلاقة:

$$R = \tau_{max} - \tau_{min} \qquad (23\text{-}9)$$

والجدول رقم (25) في الفصل الرابع عشر يعطي القيم التجريبية لمدى الاحتمال (R) للنوابض اللولبية باعتبار $(\tau_{min} = o)$



الشكل (23-9)

بفرض: $\frac{\tau_{max}}{2} = \frac{R}{2}$

يمكن أن نضع النقطة (A) على الشكل (22-9) واستخدام الطرف الأيمن من الشكل لإيجاد (τ_r) (τ_m).

الطريقة الثانية:

ولهذه الطريقة حالتان:

١-الحالة الأولى: وفيها يحسب مدى الإجهاد باستخدام القيمة الكلية لمعامل (وال) مع استخدام معامل أمن مناسب، أي :

$$\tau_{max} - \tau_{min} = \frac{R}{n}$$

$$\tau_{max} - \tau_{min} = K\frac{8.D}{\pi.d^3}\left(\frac{P_{max} - P_{min}}{2}\right) = \frac{R}{n} \qquad (24\text{-}9)$$

حيث: R: إجهاد الاحتمال المحدد للمادة ويعطى من الجدول (25).

n, (f.S) : معامل أمن مناسب ويكون بحدود (1,8).

٢-الحالة الثانية: وفيها يجب أن لا يزيد الإجهاد τ_d وهو المحسوب باستعمال K_S