

الباب الخامس عشر

القوى والاجهادات في السكة

شغلت القوى والاجهادات في القضبان وأربطتها وفي الفلنكات وكذا توزيع الضغوط من الفلنكات إلى أساس السكة بال مهندسى السكك الحديدية فبحثوها طويلا ولكن الموضوع بالغ من التعقيد مبلغا لم يتمكن المهندسون بعد من حله الحل الصحيح الذى يلقى الضوء على الاجهادات المعرضة لها السكة . والقوى المؤثرة على نوعين نوع إستاتيكي ونوع ديناميكي . وبديهي أن القوى الإستاتيكية معلومة المقدار والوضع ولكن القوى الديناميكية الناجمة عن انتقال الأحمال وغير ذلك من الأسباب ليست معلومة ولذا فهي تترك للتقدير .

القوى الإستاتيكية والاجهادات الناتجة عنها

ولو أن القوى الإستاتيكية معروفة من حيث مقدارها والمسافات التى تفصل بينها إلا أنه ليس من السهل حساب الاجهادات الناتجة عنها . فالموضوع معقد والقيم التى يمكن الحصول عليها بالحساب لا يميزها برهان لافتقارها إلى الدليل العملى بحيث أصبح من غير المفيد أن يكلف الإنسان نفسه مؤونة الاسترسال فى تفاصيل عملياتها الرياضية .

والقضيب فى الواقع عبارة عن عتب مستمر محمل على ركائز مرنة فاذا اعتبر الترخيم متناسب مع الأثقال الرأسية فإن الاجهادات تحت الفلنكات تربطها بالترخيم العلاقة الآتية :

$$M = A \cdot S$$

حيث M قيمة الجهد تحت ارتكاز الفلنكة .

A الترخيم عند نفس الموضع .

A ثابت يتوقف على نوع مادة التزليط تحت الفلنكة ودرجة الدك ونوع مادة الأساس .

ولا يمكن الجزم بقيمة M إلا إذا تحققت قيمة الثابت A وظلت قيمته ثابتة أيضاً . وتختلف قيمة

الثابت A من ٣ فى حالة التزليط الردىء إلى ٨ فى حالة التزليط الجيد . وهذا الاختلاف البين فى قيمة الثابت يوضح بجلاء أن ليس من المفيد الاسترسال فى حل المعادلة التفاضلية للأعتاب المستمرة المحملة على ركائز مرنة والتى تصبح فى هذه الحالة .

$$S = \frac{W}{E} \cdot E = \frac{W}{E} \cdot E$$

$$= A \cdot S$$

حيث $Y =$ معامل مرونة لمادة القضيب .

$E =$ عزم القصور الذاتي للقضيب .

$E =$ عرض الفلنكة .

وللسهولة يعتبر القضيب كعقب مستمر يحمل على ركائز ثابتة وهذا الاعتبار غير صحيح أيضاً إذ أنه لو تفكك الدك تحت فلنكة ما فإن القضيب قد يصبح مرتكزاً على فتحة تساوى ضعف مسافة الفلنكات وإذن فالفتحة المعتبرة في المعادلة تكون نصف الفتحة الواقعية .

القوى الديناميكية

القوى الديناميكية التي تؤثر على السكة متعددة المصادر وسنأتى على مفرداتها فيما يلى :

أولاً — القوى الديناميكية الناتجة من القاطرة :

حيث أن القاطرة بما فيها من قطع حركة تسبب أثناء سيرها قوى ديناميكية تعمل على طرق السكة واهتزازها وجب أن نستعرض ولو بطريق الإجمال الحركات التي تؤثر في أترانها لكي نصل إلى معرفة تأثيرها على السكة .

إن قوة البخار التي تسبب اندفاع المكابس فتطلقها وما يتصل بها من أذرع في حركة توافقية simple harmonic motion كما تسبب انطلاق بعض الكتل في الدوران حول محاورها . كل هذه الحركات تسبب قوى وازدواجات يتطلب بحثها دراسة موضوع موازنة الكتل الدائرة والكتل التوافقية . وليس المجال هنا مجال استنباط القوانين المختلفة فهذه يمكن الرجوع إليها في كتب نظريات الآلات . ولكن المجال يتسع إلى تلخيص ما تتطلبه الحركتان من أتران .

موازنة الكتل الدائرة :

تسبب الكتلة الدائرة حول محور ما قوة مركزية طاردة إلى الخارج يتناسب مقدارها مع وزن الكتلة وبعدها عن المركز . فإذا كانت هناك مجموعة من هذه الكتل تدور حول محور واحد فإنه يمكن تمثيلها بقوة واحدة تعمل في مستوى دوران مواز وازدواج يعمل في مستو متعامد مع هذا المستوى . وتوازن مجموعة الكتل هذه بكتلتين ترتبان بحيث تعطيان محصلة في اتجاه وازدواجاً في اتجاه آخر يتسبب عنهما قفل مضللى القوى والازدواج .

موازنة الكتل المتحركة في حركة توافقية :

يتحرك المكبس وعموده حركة توافقية في اتجاه محور المشوار . أما ذراع التوصيل فله حركتان حركة دائرية وحركة توافقية ويمكن الاستماضة عنه بكتلتين إحداها مركزية في الرأس Cross-head ولها حركة توافقية فقط والأخرى عند طرف الكرنك ولها حركة دائرية فقط . ويمكن الحصول على

قيمة هاتين الكتلتين إذا هما تساويان تقريباً ردى الفعلين عند ركيزتين توضعان تحت الذراع أسفل محوريه وتضم الكتلة الدائرة إلى الكتلة الدائرة الأخرى والكتلة التوافقية إلى الكتلة التوافقية الأخرى .
وبهنا الآن معرفة تأثير الكتلة التي تتحرك حركة توافقية وهذه إن عرف وزنها « و » ومجالتها في الاتجاه الأفقى « ع » وهى تساوى :

$$m \sin^2 \theta + \frac{m \cos^2 \theta}{n}$$

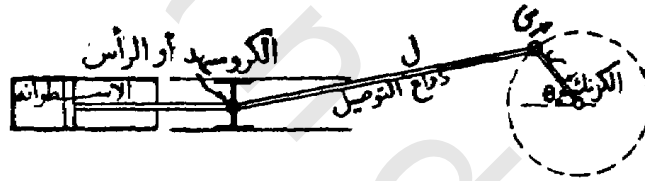
حيث m = نصف قطر الكرنك .

n = سرعة طرف الكرنك .

θ = زاوية انفراج الكرنك .

$$n = \frac{L}{r} \quad \text{أنظر شكل نمرة (٣٢٢) .}$$

(L طول ذراع التوصيل)



شكل نمرة (٣٢٢)

لأمكن استنتاج القوة الناتجة عنها إذا تساوى $\frac{u}{c}$. ع وهذه تارة تكون بالناقص وتارة تكون

بالزائد فتسبب رد فعل على جسم الآلة مساو لها ومضاد في الاتجاه . ونظراً لأن رد الفعل هذا يختلف باستمرار في القيمة والاتجاه فإنه يعمل على إثارة اهتزازات في جسم الآلة .

وتعمل هذه القوة بطبيعة الحال في اتجاه محور المشوار وحيث أن القاطرات الشائعة هى من ذات الأسطوانتين وهما توضعان في مستوى واحد فإن ذلك ينتج عنه ازدواجات تحاول إدارة الآلة حول محور متعامد مع مستوى الحركة التوافقية وإذن يتحتم موازنة هذه التأثيرات أولاً بموازنة القوتين الصادرتين من الحركة التوافقية في كل من الأسطوانتين وثانياً بموازنة الازدواج حول المحور الرأسى .

وحيث أنه لضمان إمكان بدء الحركة من أى وضع يعمل وضع المكبس في أحدهما متعامداً مع وضع المكبس الآخر أى أنه إذا كان المكبس في أحدهما في منتصف المشوار فيكون المكبس الآخر في بداية المشوار فإن القوة المراد وزنها تصبح تساوى :

$$\pm \sqrt{\frac{u}{c}} m \sin^2 \theta$$

ويصبح الازدواج الناتج عنها والذي يعمل في مستوى الأسطوانتين وحول المحور الرأسى يسبب دوران القاطرة في حركة تموجية swaying motion مرة إلى اليمين ومرة إلى اليسار وهكذا . وهذا الازدواج

$$\text{التموجى يساوى } \sqrt{\frac{2}{\rho}} \text{ من } \frac{2}{\rho} \text{ من } \frac{2}{\rho} \text{ من } \frac{2}{\rho}$$

حيث ρ البعد الأفقى بين وضع الكرنك والمحور الطولى للقاطرة .

فإذا لم توازن القوة $\pm \sqrt{\frac{2}{\rho}}$ من $\frac{2}{\rho}$ من $\frac{2}{\rho}$ من $\frac{2}{\rho}$ فإن جر القاطرة يزداد وينقص بمقدارها . هذا إلى أن هذه القوة قد تسبب ازدواجاً في مستوى رأسى إذا كان خط عملها يرتفع أو ينخفض عن مستوى عامود الجر فيتأثر بذلك مقدار الضغط على القضيب .

وتوازن القوة والازدواج التموجى السالى الذكر بواسطة كتل توضع عند أطواق مجلات الجر وهذه علاوة على الكتل السابقة التى توضع لموازنة مجموعة الكتل الدائرة .

غير أن موازنة الحركة التوافقية بكتل دائرة بينما هى تسبب الاتزان فى خط المشوار وكذلك اتزان الازدواج التموجى حول المحور الرأسى تسبب أيضاً عند بلوغ الكتل فى الوضع الرأسى قوة مساوية تارة لأعلى عند ما تكون كتلة الاتزان فى أعلا المجلة وتارة لأسفل عند ما تكون كتلة الاتزان فى أسفل المجلة ينتج عنهما اختلاف فى الضغوط على القضبان يتسبب عنه فى الحالات القصوى زيادة ضغط المجلة على القضيب إلى الضعف فى لحظة ورفع المجلة عن القضيب كلية فى اللحظة التالية وهو ما لا يجب أن يحصل بأى حال من الأحوال .

من أجل ذلك فإن الكتل التوافقية توازن بثلى مقدارها فقط وهذا بطبيعة الحال يترك جزءاً من الازدواج التموجى غير متزن غير أنه يحسن الاختلاف فى ضغط المجلة على القضيب بالقدر الذى يضمن سلامة السير وهذه الحالة لا مناص من قبولها ويجب على السكة أن تقوى على احتمالها . إذن فالسكة تتعرض لصدمات جانبية من الازدواج الغير متزن ولصدمات رأسية من اختلاف ضغط المجلة على القضيب .

ثانياً — القوى الديناميكية الناشئة من تعرجات السكة :

هذه تنشأ من أن :

(١) مقاومة الترخيم للقضيب ليست بالدرجة المطلوبة .

(٢) نقط ارتكاز القضيب ليست دائماً على أبعاد متساوية أو فى منسوب واحد .

وهذه الحالة تسبب تعرجات فى سطح القضيب تجعله يأخذ شكل الموجة . وعلى ذلك فالمجلات التى تقع فى بطن الموجة تسبب قوة مركزية طاردة إلى أسفل . فإذا فرض مثلاً أن البعد بين الفلنكات هو ٧٥ سنتيمتراً وأن الترخيم بلغ ١/١٠ ملليمتراً مثلاً فإن نصف قطر انحناء القضيب يبلغ سبعمائة متراً .

وإذا كان الثقل الواقع على العجلة يساوى ٩,٥ طنًا مثلاً وكانت سرعة القطار مائة كيلومتر في الساعة فإن القوة المركزية الطاردة تبلغ نحو الطن .

وعلى ذلك فالتمرجات الرأسية في السكة تزيد من الإجهادات التي يتعرض لها القضيب وهي تقدر بنحو ١٣ ٪ مما تحدده الضغوط الاستاتيكية .

ثالثاً — الصدمات عند الوصلة :

تبلغ الفجوة بين أطراف القضبان عدة ملليمترات وهذه المسافة تكفى لهبوط بعض العجلات لمسافة قد تبلغ ١/٢٥ ملليمترًا . وهي بالنسبة لثقل العجلة تحدث صدمة عنيفة تعمل على طرق أطراف القضبان خصوصاً إذا كان أحد الطرفين يعلو ولو بمقدار يسير عن الطرف الآخر . وتعمل هذه الصدمات الطارئة على سيولة المعدن في سطح القضيب وتُدفعه إلى داخل الفجوة فيزيد الهبوط عندها . ويمتد أثر الصدمة إلى



شكل نمرة (٣٢٣)

مسافة يسيرة على جانبي الفجوة فيبدو سطح القضيب عند طرفه مشطوفاً انظر شكل نمرة (٣٢٣) . وتأثر القضبان جميعاً على هذا النحو في ظرف شهرين من ابتداء وضعها في السكة . هذا من جهة ومن جهة أخرى فلا يجب أن يغيب عن البال ما للوصلة من أثر هدام في أطواق العجلات نفسها ولا سبيل إلى تلافى هذه الحالة أو إلى التخفيف من حدتها إلا باستعمال القضبان الطويلة أو وصل عدة أطوال متعاقبة باللحام كما سبق شرحه في باب السكة .

رابعاً — الصدمات التي يتعرض لها الزلط تحت الفلنكة واندفاع القضيب إلى الأمام :

بيناً في باب السكة أن القضيب عبارة عن عتب مستمر يحمل على فلنكات وبالنسبة إلى مرونة القضيب فإن العجلة عندما تقع أثناء سيرها في المسافة بين فلنكتين يتقوس القضيب إلى أسفل بينهما وإلى أعلا خارجهما فترتفع الفلنكات على الجانبين من مرقدتها ثم تهبط مرة أخرى عند مرور العجلة فوقها . وهكذا تتعرض الفلنكات إلى حركة رأسية متعاقبة تعمل على دق الزلط تحتها وخلخلته .

هذا من جهة ومن جهة أخرى فإن العجلات في أثناء سيرها تسير على سطح متموج ظهوره فوق الفلنكات وبطونه بينهما فتدفع العجلات الظهور إلى الأمام مسببة تقدم القضيب في اتجاه السير . وعلى ذلك فمن المفيد استعمال القضبان الثقيلة الموضوعة على فلنكات متقاربة فإن ذلك يقلل من تقوس الموجة .

خامساً — القوى الناشئة من عدم استقامة القضيب :

يجب أن تظل السكة مستقيمة والا فإن أى تمرج فيها — نتيجة انحراف أجزائها لسوء تركيبها أو إهمال صيانتها أو لاثثناء بعض قضبانها — يواجه شفة العجلة فيدفعها إلى الجانب الآخر وهذا يردّها ثانية إلى الجانب الأول وهكذا يتعرض القطار إلى حركة تموجية عرضية في الاتجاه الطولى .

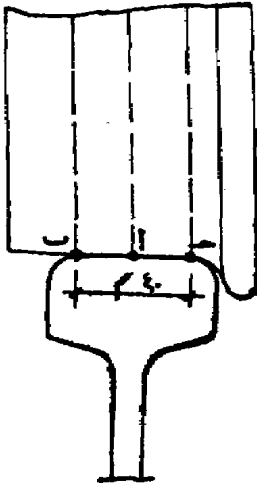
سادساً — القوى المركزية الطاردة في المنحنيات :

ولو أننا نعمل على كبح جماح القوة المركزية الطاردة في المنحنيات بعملية قضيب الظهر عن البطن إلا أن هذه العملية لا تناسب إلا السرعة التي حسبت منها . وعلى ذلك فالقطارات التي تمر على المنحنيات بسرعة أكبر تسبب قوة مركزية طاردة تعمل على زحزحة المنحني إلى الخارج وتلك التي تمر على المنحنيات بسرعة أقل تسبب قوة مركزية طاردة تعمل على زحزحة المنحني إلى الداخل . هذا إلى ما يمتري حافات السير من التأكل الشديد .

وقد سبق أن ذكرنا عند الكلام عن عملية قضيب الظهر عن البطن أن البروفسر بيترسن وجد بعد بحث احصائيات الصيانة في شبكة السكك الحديد الألمانية أنه إذا كانت ϕ — $\beta \geq \pm 0.03$ فإنه لا يحدث هناك تأكل يذكر في القضبان في المنحنيات . وهذه العلاقة تمكن من استنتاج السرعتين القصوى والصغرى اللتان تحددان السرعة المسموح بها على المنحنيات .

سابعاً — دفع العجلات السايبة للقضبان :

إن العجلات السايبة وهي التي تأثر تثبيتها في دناجلها تدفع القضبان إلى الخارج بفعل شكل أطواقها المخروطية إذ أن نقط تماسها الداخلية مع القضيب تسير مسافة أطول من نقط تماسها الخارجية انظر شكل نمرة (٣٢٤) والمجلة في هذا تكون أشبه شيء بأصبع العلباشر إذا دفع إلى الأمام اتخذ خط سيره طريقاً منحنياً . وهذه العجلات السايبة تصدم القضيب إلى الخارج فتعمل على زحزحته كما تسبب تأكلاً لا مبرر له في حافة سيره وفي سطحه العلوي .



شكل نمرة (٣٢٤)

ثامناً — تأثير العجلات القديمة :

إن العجلات إذا ماتت كالت أطواقها نتيجة طول الاستعمال تصبح اسطوانية بعد أن كانت مخروطية وبذلك إذا تعرضت العجلة إلى حركة عرضية فإنها تحتفظ بهذه الحركة ولمدة طويلة إذ هي تكون قد فقدت ميزتها التي كانت تعمل على تقويض هذه الحركة وإسكانها وبذلك تتعرض السكة إلى دفع عرضي يعمل على تموجها في الاتجاه الطولي . ولهذا فإن العجلات القديمة يعاد خرطها لإكسابها الميل المطلوب .

تاسعاً — القوى الناشئة من زيادة سرعة القطارات أو تهديتها :

عند قيام القطارات أو عند إكسابها سرعاً تفوق سرعتها السائرة بها تعمل القاطرة على دفع القضيب إلى الخلف كما تدفعه إلى الأمام في حالة التهديات يساعدها في ذلك العربات المجهزة بالفرامل . ويحصل هذا في العادة عند مداخل المحطات ومخارجها .

عاشرًا — القوى الناشئة من الانحدارات :

تعرض السكة في الانحدارات إلى قوة تعمل على دفعها إلى أسفل وهذه القوة تساوى مركبة الوزن في اتجاه الانحدار .

حادى عشر — القوى الناشئة من اختلاف درجة الحرارة :

يسبب اختلاف الحرارة جهوداً في اتجاه طول القضيب تساوى معامل التمدد للصلب مضروباً في معامل المرونة لكل درجة حرارة واحدة وهذه تساوى .

$0,0000118 \times 2 \times 10 = 23,6$ كجم للسنتيمتر المربع فإذا بلغ اختلاف درجة الحرارة « ٦٥ » درجة مثلاً (في مصر) لمسنا مبلغ الإجهاد الشديد الذى تتعرض له القضبان .

ثانى عشر — القوى الناشئة من الشكل المخروطى للمعجلات :

إذا فرضنا أن مستوى السير في تاج القضيب يبلغ ٤٠ ملليمتر عرضاً وأن قطر طوق العجلة عند منتصفها يساوى متراً فإن القطر عند ح يزيد عن القطر عند ا بمقدار ٢ ملليمتر شكل نمرة (٣٢٤) . وبالمثل ينقص القطر عند ب بمقدار ٢ ملليمتر أيضاً . وعلى ذلك فالفرق بين القطرين عند نهايتى سطح التماس ب و ح يبلغ أربعة ملليمترات . وحيث أن النقط الثلاث تظل معا وحيث أن تركيز الضغط عند نقطة الوسط ا أكبر منه عند النقطتين ب و ح فإن النقطة ب تنزلق إلى الأمام ب ٦ إلى الخلف كل منهما بمقدار ٢ ملليمتر . وإذن فالأطواق الجديدة تعرض القضيب على الدوام لقوى الانزلاق هذه .

وإذا فرضنا أن الدنجل اندفع ناحية اليمين مثلاً فإن مسار العجلة اليسرى يصبح أقل من مسار العجلة اليمى وإذن تنزلق المعجلتان اليسرى دافعة القضيب تحتها للأمام واليمى للخلف . ويحصل العكس إذا اندفع الدنجل إلى الناحية اليسرى .

ثالث عشر — القوى الناشئة عن السير في المنحنيات :

إن طول القضيب الداخلى في المنحنيات أقصر من طول القضيب الخارجى وعلى ذلك فالمعجلات الخارجية تنزلق إلى الأمام طاردة القضيب الخارجى أمامها والداخلية تنزلق إلى الخلف دافعة القضيب الداخلى وراءها .

تأثير القوى السالفة

إن القوى التى أتينا على شرح تأثيراتها فيما سبق تعمل على هدم السكة في ثلاثة اتجاهات الاتجاه الرأسى والاتجاه العرضى والاتجاه الطولى .

الاتجاه الرأسى :

يقدر البعض زيادة الضغط نتيجة القوى الديناميكية بنحو ٦٠٪ من القوى الاستاتيكية . ولكي تستطيع السكة أن تقاوم هذه القوى الرأسية يجب أن يعتنى جيداً بذلك الزلط تحت فلتسكاتها والتأكد من أنها تحتفظ دائماً بمنسوبها الأول وخصوصاً فلتسكات الوصلة . هذا إلى ضرورة التأكد من أن البلنجات تقوم بوظيفتها وأن قلووظاتها محكمة دائماً . وسنأتى على شرح هذه العمليات فى باب الصيانة والتجديدات .

الاتجاه العرضى :

وجد بالتجربة العملية أن الصدمة العرضية التى تنتاب القضيب من عجلة الجر تقدر بنحو ١٣٢٠٠ رطلاً أى ٩٠٠ طناً . وتعمل القوى العرضية على اختلاف مصادرها على السكة فتزحزحها فى بعض المواضع عن محورها ويجب إعادة السكة فى هذه المواضع إلى مكانها ويتم ذلك بعملية يطلق عليها اسم تدريس السكة . وتتلخص هذه العملية فى استبدال الأطوال المعوجة بواسطة العتلة فيغرس العمال عتلاتهم فى الزلط خارج الطول المعوج بحيث تلمس العتلات قاعدة القضيب وهى مائلة إلى الخارج فإذا ما ضغطت العتلات جميعاً على دفعات يعتدل القضيب بالتدريج إلى أن يعود إلى مكانه . ولا يفوتنا هنا أن ننوه إلى ضرورة استبدال القضبان المعوجة قبل وضعها فى السكة وذلك باستعمال آلة الاستبدال الخاصة .

الاتجاه الطولى (الزحف Creep) :

إن القوى الطولية التى ذكرنا مفرداتها فيما سبق تؤثر على السكة فى اتجاه طولها وتسبب بحملتها زحف القضبان إلى الأمام أى تقدمها فى اتجاه السير . وقد استرعت هذه الظاهرة نظر ستيفنسن منذ عام ١٨١٦ . ويعتبر هذا التقدم من أكبر العيوب المصنعية التى تنتاب السكة والتى إذا لم يكبح جماحها فهى أخطر الأمور التى يواجهها مهندس السكك الحديدية . وتتقدم القضبان فى الخط المزدوج كل سكة فى اتجاه الحركة فوقها أما فى الخط المفرد فإن التقدم يحصل فى الاتجاه الذى تزداد فوقه الحركة .

وهناك عامل آخر يؤثر فى مقدار الزحف لم نأت على ذكره فيما سبق وهو نوع مادة أساس السكة فى الأسس الصخرية يقل مقدار الزحف عنه فى الأسس الأخرى كالجسور الترابية وما مائلها التى لها من المرونة ما يساعدها على إظهار تموجات فى القضبان تزيد من دفع العجلات لها وبالتالي مقدار تقدمها . وقد لوحظ أن أسوأ حالات الزحف تظهر فى السكك القائمة عبر مناطق المستنقعات فى كندا بلغ الزحف عشرين متراً وثلاثين .

وقد تبين للمهندسين الأمريكيين حوالى سنة ١٨٩٠ - نتيجة المعاينات التى قاموا بها فى جملة مواضع - أن القضبان الديسمترية أكثر زحفاً من قضبان الفنيول . ولعل السبب فى ذلك أن الذبذبة التى

تعرض لها السكة تعمل على خلخلة الخوايير من مكانها وهذا يعزز ما اتجه إليه الرأي في إنجلترا منذ حين من استعمال الكراسي ذات الخوايير المستقيمة بدل الكراسي ذات المجاري المشطوفة حتى تقل قابلية الخاور للتخلخل بالاهتزازات وبهذه الطريقة يتسنى دق الخاور من أى الجهتين .

وربما كانت الإجهادات الناتجة عن اختلاف درجات الحرارة أكثر الإجهادات تأثيراً في خلخلة القضبان من مواضعها وهذه يكون تأثيرها أظهر في بلاد الجو الحار مثل بلادنا . وبأخذ الزحف الناتج عن الحرارة حركته في الصباح الباكر والمساء المتأخر وفي بداية فصلي الصيف والشتاء حيث يبلغ التراوح في درجات الحرارة أشده . وقد يبلغ الإجهاد في بعض الحالات درجة تكفي لكسر البلمنجات ومساميرها .

وتقف أربطة القضبان في الفلنكات في سكة الفنيول حائلاً
دون تقدم القضبان ولكن القضبان مع ذلك تتقدم وهي في
هذا تعمل على فك الأربطة وعلى ذلك فمن المهم جداً أن يعتنى
ربط المسامير الخشبي ومسامير البلنجات .

وقد عمد إلى زيادة المقاومة ضد الزحف باستعمال بلنجات طويلة تثبت من الجهتين في فلنكتي الوصلة كما هو الحال في بلنجة سكة الفنيول ٤٧ كجم القديمة شكل نمرة (٥٦) د صفحة (٦٧) وكذلك باستعمال حازرتين تربطان القضيب بالفلنكة الوسطى شكل نمرة (٣٢٥) قطاعهما هو نفس قطاع البلنجة وبذلك تزداد المقاومة ضد الزحف . غير أن هذا العلاج لم يف بالغرض إذ أن الزحف كانت تصحبه ظاهرة غريبة لم تعمل بعد التعليل الموافق وهي أن القضيب الأيسر يزحف بمقدار أكبر من القضيب الأيمن وبالأخص في سكة الفنيول . وتبلغ هذه الزيادة

في بعض الأحيان نحواً من خمس وعشرين سنتيمترا بعد مضي ثلاثة سنوات أو أربعة من بداية الحركة على الخط .

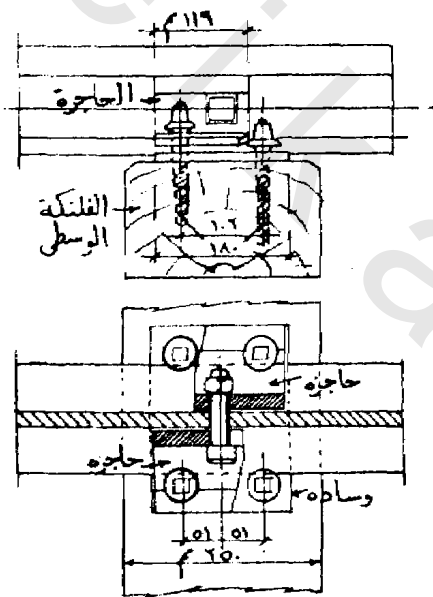
وتتأثر السكة بالزحف على النحو الآتي :

أولا - تميل فلنكتا الوصلة بعد أن كانتا متتامتين على محور السكة فيقل الاتساع كما تميل أيضا فلنكة الحاجزة .

ثانياً — تسد الفجوة عند الوصلة في بعض الأحيان مما قد يتسبب عنه تعرج رأسى أو عرضى فى القضبان نتيجة تمددها أثر ارتفاع درجة الحرارة .

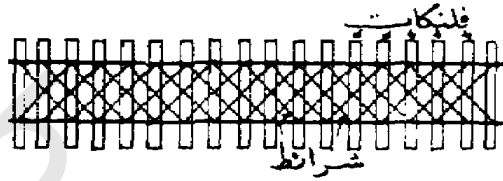
نالتنا - إذا حصل الزحف بالقرب من إبر التفريعات فإن هذه تتأثر به كما تتأثر التوصيلات لا كشاش الإشارة ويختل جهاز الارتباط .

رابعاً - إذا حصل الزحف بالقرب من الكبارى المتحركة فإنه قد يؤثر في عملية فتحها .



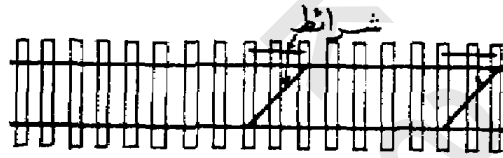
شكل نمرة (٣٢٥)
الحايزة

وقد عمد المهندسون بادىء ذى بدء إلى ربط الفلنكات ببعضها في المواقع التي تتأثر بالزحف بواسطة



شكل نمرة (٣٢٦)

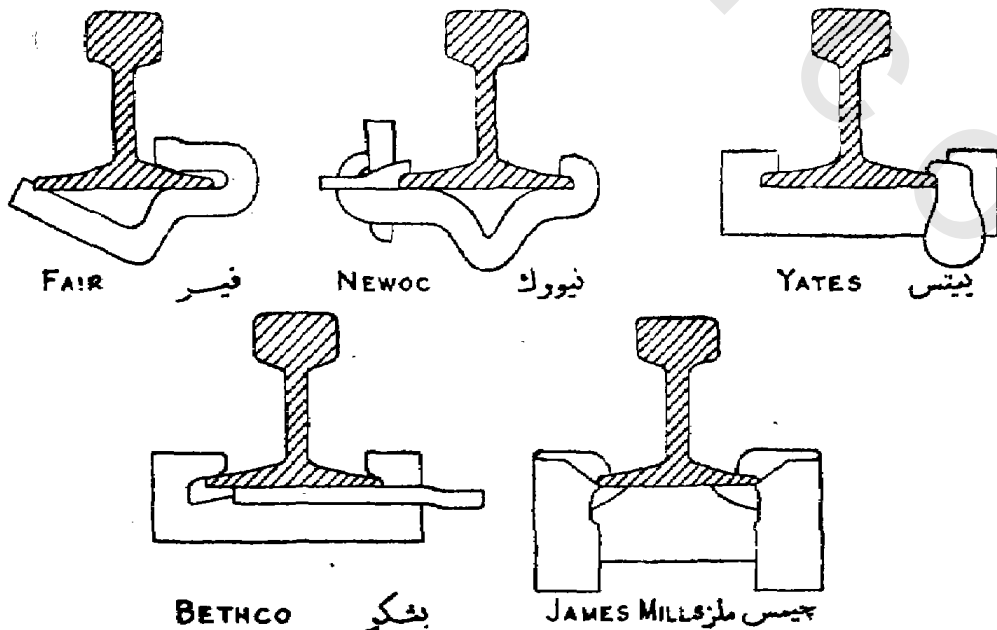
طولا بينها تسد بالتدريج وتقف أخيراً عند بداية الأطوال المربوطة كما أن الأشرطة كانت تعوق عملية المدك المجدى إلا إذا فكت .



شكل نمرة (٣٢٧)

وقد عدلت هذه الطريقة فيما بعد في سنة ١٩٢٩ وذلك بتخفيف هذه الأربطة فربطت ستة فلنكات فقط ثلاثة عند أحد طرفي القضيب وثلاثة عند موضع الحاجة كما هو مبين في الشكل نمرة (٣٢٧) وكان تأثيرها في منع الزحف حسناً غير أن الأربطة المستعملة كانت من مخلفات سكك القصع القديمة ولما نفذت هذه أصبح الاستعاضة عنها بأشرطة جديدة أمراً يتكلف كثيراً ولذا فقد بدىء منذ عام ١٩٣٣ باستعمال مانعات زحف جديدة كانت قد استعملت قبلاً في سكك حديد فرنسا وأمريكا وألمانيا واستغنى عن الحاجة .

مانعات الزحف Rail Anchors :



شكل نمرة (٣٢٨)

مانعات الزحف

مانعات الزحف هي أربطة من الصلب تثبت في القضيب أمام الفلنكات بحيث تكون ملاصقة لها تماماً وتؤدي وظيفتها بأن تحول دون زحف القضبان نتيجة وقوف الفلنكة في طريقها . ويعتمد بعضها في تماسكه على فعل خابور والبعض الآخر على انقباضه كسوسته . والشكل نمرة (٣٢٨) يبين أنواع هذه المانعات .

وقد تمت بتجربة أنواع هذه المانعات في معمل المواد بكلية الهندسة بالجيزة سنة ١٩٣٦ فأعطت النتائج المجدولة فيما يلي والأرقام تبين الحمل الذي بدأت عنده موانع الزحف في الانزلاق .

النوع	تركيب مصلحة السكك الحديدية		تركيب معمل المواد
	المجموعة الأولى	المجموعة الثانية	المجموعة الثالثة
فير Fair P & M	كيلو جرام ١٢٨٧	كيلو جرام ١١٠٧	كيلو جرام ١٢١٤
نيووك Newoc	٧٦٠	٣٩٣٨	٣٨٧٠
ييتس Yates	١٥١٧	٣٤٣٥	٢٤٩٢
بشكو Bethco	٤٧٨٠	٤٨٤٨	٧٠٩٠
جيمس ميلز James Mills	٢٤١٥	٩٧	٣٨١٠

وللوصول إلى أحسن النتائج يجب أن يتوفر في مانعات الزحف مايلي :

أولاً — القدرة على منع الزحف مع تحمل الإجهادات التي تتعرض لها .

ثانياً — رخص ثمنها .

ثالثاً — بساطة شكلها وسهولة تركيبها .

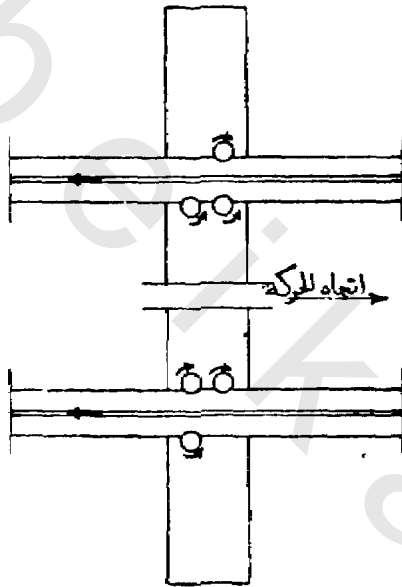
رابعاً — تماسكها بالقضيب على الدوام .

والنوع الذي وقع عليه الاختيار أولاً في مصر هو النيووك الذي يعتمد في تماسكه بالقضيب على فعل الخابور ويتكون من ثلاثة قطع ثم استعمل بعد ذلك الفير الذي يعتمد في تماسكه على انقباضه كسوسته . ويتوقف عدد المانعات في القضيب الواحد على مقدار الزحف فيتراوح من أربعة إلى ستة . ويستعمل أربعة في العادة في قضبان الإثني عشر متراً فتوضع اثنتين في الجزء الأوسط من القضيب وواحدة بقرب نقطة الربع من الجهتين فإذا لوحظ زحف بعد ذلك زيد عدد الموانع .

وليس من المجدى وضع موانع الزحف بالقرب من المفاتيح والتحاويل ولذا فيمتنع من وضعها على بعد بضعة أطوال قبلها . كما أنه ليس من المجدى استعمال هذه الموانع في السكك الغير معتنى بتزليطها إذ أن الموانع تعتمد في أداء وظيفتها على ثبات الفلنكات .

زحف القضيب الأيسر بالقضيب الأيمن في الخطوط المزوجة :

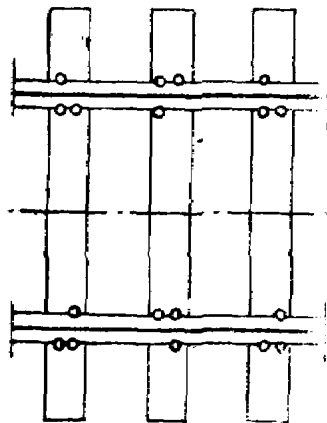
استرعت هذه الظاهرة بال مهندسى السكك الحديدية في العالم فعزاهوا بعضهم إلى أن التزليط يجوار



شكل نمرة (٣٢٩)

القضيب الأيسر وهو بالقرب من ميل الجسر ليس له سند مثل ما للتزليط في وسط السكة وعزاهوا الأستاذان عزمى رئيس قلم المشروعات والمرحوم الرخاوى مساعد كبير المهندسين الأسبق للإشارات إلى وضع المسامير الخشابي حيث جرت العادة إلى تثبيت القضيب في الفلنكة بواسطة مسامير من الداخل ومسامر واحد من الخارج شكل نمرة (٣٢٩) فعندما تمر العجلات على القضيب تدفعه إلى الخلف وهذه الحركة تعمل على ربط المسامير الخارجى في القضيب الأيسر وفك المسامير الداخلىين والعكس بالعكس في القضيب الأيمن إذ يربط المسامير الداخلىان ويفك المسامير الخارجى . ويكون نتيجة ذلك أن يصبح القضيب الأيسر مربوطاً بمسامر واحد والأيمن بمسامير . فإذا سلمنا بذلك أتت العوامل الأخرى وأهمها صدمة العجلة الأولى لمقدمة القضيب عند

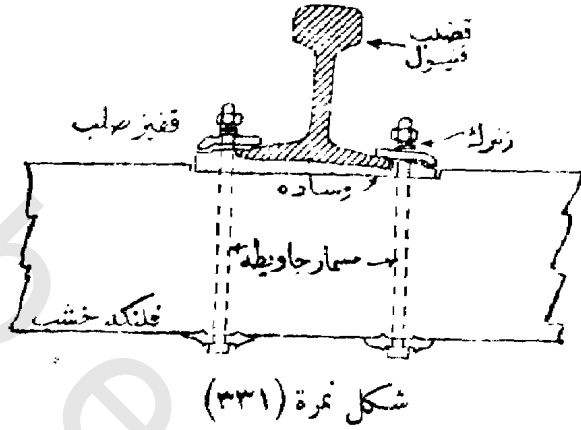
الوصلة فيندفع القضيب الأيسر بطبيعة الحال بأكثر مما يندفع القضيب الأيمن . واقترح الأستاذ الرخاوى عمل تجربة في مسافة محصورة بين محطتين مع تغيير طريقة تثبيت القضبان على الفلنكات على النحو الموضح في الشكل نمرة (٣٣٠) حتى يكون عدد المسامير من الداخل مساوياً عددها من الخارج .



شكل نمرة (٣٣٠)

وقد تمت تجربة هذه الطريقة عام ١٩٣٩ بالخط النازل بها بور سعيد بين كيلو ١٠٣ و ١١٠ فكانت النتيجة أن تساوى الزحف في قضيبى السكة الأيمن والأيسر تقريباً . غير أن مقدار الزحف جلة أى للقضيبين معاً زاد حتى وصل إلى ضعف الزحف العادى . ومعنى ذلك أن الزحف النسبى بين القضيبين قد توقف — وهذه خطوة موفقة ولا شك تبرز تعليل الأستاذين — وأن الزحف العادى قد ازداد وذلك راجع إلى أن المسامير الرابطة قلت فأصبحت بنسبة ٣ : ٤ . ويتضح من ذلك أن العلاج المطلوب الآن ينحصر في مقاومة الزحف العادى .

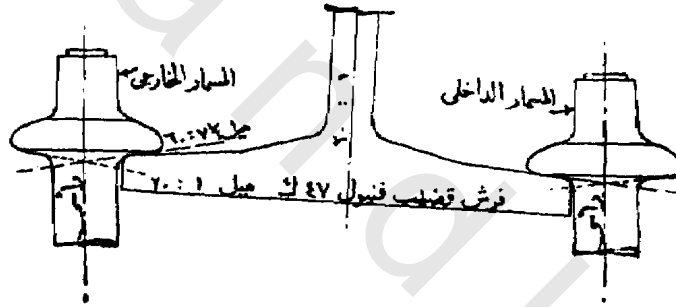
ويمزو الأستاذ حسين زهدى رئيس أقسام هندسة السكة الحديد بأسىوط الزحف جلة إلى أن المسامير الخشابي الذى يربط فرش القضيب بالفلنكة لا يبقى ضاغطاً باستمرار وذلك نتيجة العوامل الطبيعية كالتمدد



شكل نمرة (٣٣١)

والانكماش والاهتزازات الشديدة التي تنشأ عن حركة القطارات السريعة فيزحف القضيب حتماً واقتراح العدول عن استعمال المسامير الخشبية باستعمال مسامير الجاويطة المبين في الشكل نمرة (٣٣١) والمستعمل في ربط الكراسي في سكك حديد (G. W. R.) بالجلترا لفهمان إحكام ضغط قفيز المسامير على فرش القضيب بفضل وجود الزنبرك ولوجود سطح احتكاك كبير بينهما بخلاف المسامير الخشبية .

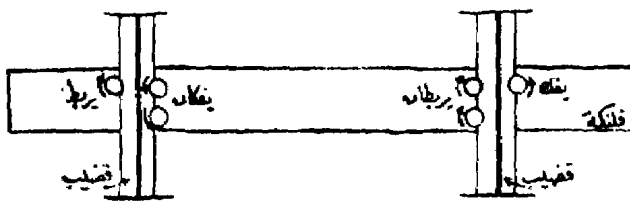
ويقيني أن الزحف راجع إلى استعمال مسامير واحد في ربط فرش القضبان من الداخل والخارج لا يتفق ميل سطح ضغطه مع ميل سطح فرش القضيب وذلك بالنسبة إلى إمالة القضيب للداخل شكل نمرة (٣٣٢) . فإذا عملت مسامير للربط من الداخل وأخرى للربط من الخارج يتفق ميل سطح ضغط كل



شكل نمرة (٣٣٢)

منها مع ميل سطح فرش القضيب لأمكن زيادة سطوح الاحتكاك وحيداً لو جرب ذلك بالطريقة التي اقترحها الأستاذ الرخاوي وأيضاً بالطريقة العادية .

وإذا نظرنا للمسامير الخشبية الحالية لوجدنا أن سطوح الضغط للمسامير الداخلية تقرب من ميل فرش القضيب بينما يختلف الميل كثيراً في حالة المسامير الخارجية وإذن فسطح الاحتكاك الذي يربط في



شكل نمرة (٣٣٣)

القضيب الأيمن يزيد عن سطح الاحتكاك الذي يربط في القضيب الأيسر . وسطح الاحتكاك الذي يفك في القضيب الأيسر أكبر من سطح الاحتكاك الذي يفك في القضيب الأيمن وفي هذا ما يتركز تعليل الأستاذين غزني والرخاوي من أن القضيب الأيمن أكثر ثباتاً من القضيب الأيسر انظر شكل نمرة (٣٣٣) .

الزحف في السكة المركبة على فلنكات الصلب :

لم يظهر للزحف أثر يذكر في هذه السكك ولولا قصر عمر الفلنكة الصلب بالإضافة إلى عيوبها الأخرى لحلت هذه السكة محل السكة المركبة على الفلنكات الخشبية إن شئ فلدريء مشكلة الزحف .

المصالية :

وتتكلف مصالح السكك الحديد المختلفة مبالغ لا يستهان بها في عملية إعادة وضع الفلنكات إلى موضعها العمودى الأصلي وإعادة القضبان وفتح الفجوات وهي ما تسمى بعملية المصالية Squaring وكذلك في ضبط التقاطعات والتفرعات . وتتكلف مصلحة السكك الحديد المصرية في ذلك مبلغاً يتراوح بين خمسة آلاف وسبعة آلاف جنيه سنوياً في الأوقات العادية هذا إلى العناء الذى تسببه هذه العملية وكذلك التأخيرات التى تنشأ عن تهديد القطارات .

ويجب ملاحظة الزحف باستمرار حتى إذا زاد عن القدر المسموح به وهو حوالى ٣٠ سنتيمتراً في السكك الحديد المصرية أعيدت القضبان إلى مواضعها الأولى وتركب بينها الفجوات الأصولية حسب درجات الحرارة كما تعاد الفلنكات المبرجلة إلى مواضعها العمودية وبعد تقسيط مسافاتها .

ففي سكة الفنيول تفك مسامير البلنجات ثم تهوى المسامير الخشابي فيسمح ذلك بإرجاع القضبان إلى أوضاعها بعد ضبط اتساع فجواتها ثم تستبدل الفلنكات وتربط البلنجات وتقرط المسامير الخشابي . أما في سكة الديسمتريكي فتفك مسامير البلنجات ثم ترفع الخواير وتعاد القضبان إلى أوضاعها بعد ضبط اتساع فجواتها ثم تستعدّل الفلنكات وتربط البلنجات وتدق الخواير .

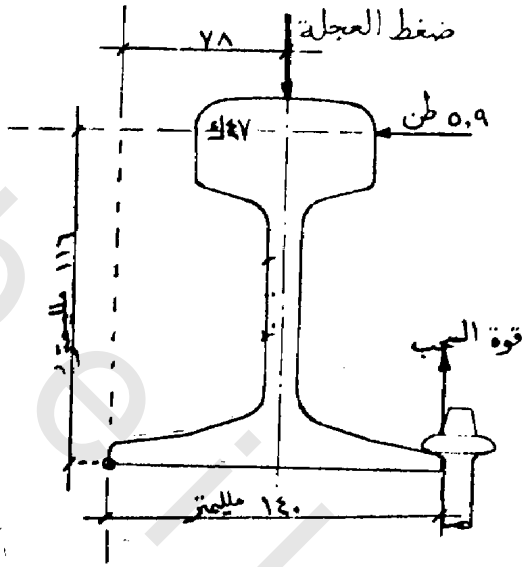
الإجهادات على المسامير الخشابي والفلنكات والوسائد

إجهاد الفص على المسامير :

ذكرنا فيما سبق أن قوة الصدمة العرضية التى تنتاب القضيب من عجلة الجر تبلغ ٥٩ طناً . وبالنسبة لقدرة القضيب على مقاومة الترخيم في الاتجاه الأفقى تعتبر الصدمة قد انتقلت إلى أربطة ثلاثة فلنكات على الأقل أى تسعة مسامير في حالة استعمال الوسائد .

ويساعد الاحتكاك بين الوسادة والفلنكة على مقاومة جانب منها يتوقف على معامل الاحتكاك بين الخشب والصلب الذى يبلغ نحو ٠,٤ في المتوسط وعلى ضغط العجلة وقت حدوث الصدمة العرضية وهذا يحدث بطبيعة الحال عند بلوغ الأزواج التوجي أقصاه .

قوة السحب على المسامير الخشبية :



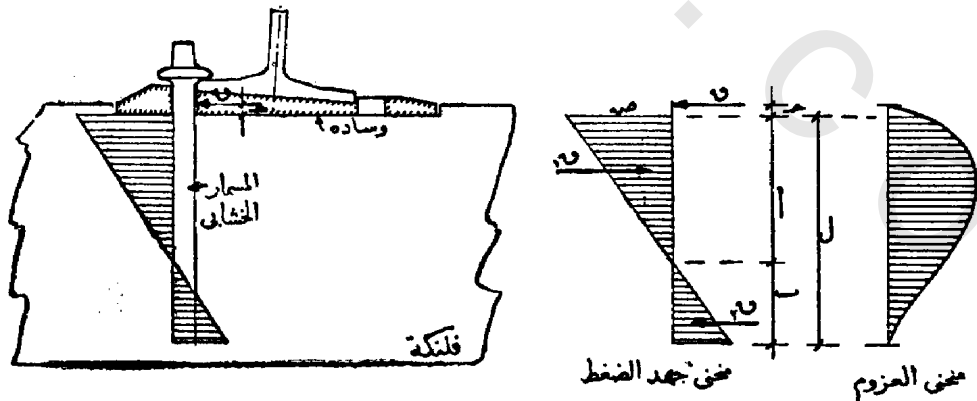
شكل نمرة (٣٣٤)

إن الصدمة العرضية ٥,٩ طنا التي أتينا على ذكرها فيما سبق تعمل على قلب القضيب حول حافته الخارجية ولكن ضغط العجلة وقت حدوث الصدمة يعمل في نفس الوقت على مقاومة هذا الانقلاب ويمكن استنتاج قوة السحب على المسامير الداخلية بأخذ العزم حول الحافة الخارجية للقضيب انظر شكل نمرة (٣٣٤) .

وتتعرض المسامير علاوة على ذلك لقوة سحب نتيجة تماقب تقوس القضيب لأعلا عند الفلنكات في أثناء مرور القطار ومن أجل هذا فإن زيادة ارتفاع القضيب وانقاص مسافة الفلنكات إلى الحد الأدنى تساعد على تقليل التقوس وبالتالي انقاص قوة السحب .

إجهاد الضغط على قضب الفلنكة في اتجاه الألياف :

إن القوة العرضية التي تنتاب المسامير الخشبية في أعلاه تنتقل إلى خشب الفلنكة فتسبب إجهادات ضغط على الألياف المواجهة له في أعلاه ومثلها على الألياف خلفه في أسفله انظر شكل نمرة (٣٣٥) ويبلغ الإجهاد أشده عند سطح الفلنكة .



شكل نمرة (٣٣٥)

وحيث أن مقدار الترخيم في المسامير ضئيل جدا فإنه يمكن اعتبار الضغوط على الخشب موزعة توزيعا خطيا .

ولاستنباط معادلة تربط قوة القص τ مع إجهاد الضغط σ نفرض أن :

ح = مسافة القوة ν من قاعدة الوسادة .

ل = المسافة التي يغورها المسبار في الخشب .

فإذا كان $ا$ $ك$ $ب$ هما عمق الألياف المعرضة للضغط أمام المسبار وخلفه فإن القوتين ν $ك$ $ب$ تتناسبان مع مساحتي المثلثين ومن ذلك ينتج أن :

$$\frac{ا}{ب} = \frac{ل}{ك} \quad \therefore \frac{ا}{ب} = \frac{ل}{ك}$$

وحيث أن محصلة القوى الأفقية تساوى صفرا

$$\therefore \nu + \nu = ١٠٠$$

$$\text{وحيث أن } ل = ا + ب$$

فبأخذ المزوم حول أى نقطة على خط عمل القوة ν ينتج أن :

$$\nu (ل + ا - ب) - \nu (ب - ا) = ٠ \quad \text{صفرا}$$

وبعويض قيمة ν بما تساويه ووضع $ا = ل - ب$ ينتج أن :

$$\frac{ل(ل + ا - ب)}{(ل + ا - ب)^3} = ب$$

$$(١) \quad \frac{ل(ل + ا - ب)}{(ل + ا - ب)^3} = ب - ل = ا$$

فإذا فرض أن قطر المسبار يساوى $س$ وأن $ا = ١٠٠ س$

$$\text{وعلم أن } \nu = ١٠٠ - \nu$$

$$\text{فإن } \frac{\nu س ل}{ل + ا - ب} = \nu$$

$$(٢) \quad \frac{\nu (ل + ا - ب)}{س ل} = \nu$$

ولنأخذ مثلاً لذلك مسباراً قطره $\frac{١}{٨}$ بوصة أى ١٦ ملليمتر وارتفاع الجزء الفائز منه $ل = ١٢٠$ ملليمتر

فإذا فرضنا أن قوة الدفع المرضية فى أعلاه تبلغ ٢٠٠ كيلو جراماً مثلاً وأن سمك الوسادة عند المسبار

$$= ١٧ \text{ ملليمتر أى } ح = ٨,٥ \text{ ملليمتر}$$

$$\text{فإن } ا = ٧٧,٦ \text{ ملليمتر}$$

$$ب = ٤٢,٤ \text{ »}$$

$$ك = ٤٦,٠ \text{ كيلو جراماً للسنتيمتر المربع وهو جهد دون المسموح به للأخشاب الجيدة}$$

جهد الانحناء على المسار الخشبي :

إن أقصى عزم انحناء على المسار يحصل عند الوضع الذي يصبح القص فيه صفرا . وهو في المثال المذكور يقع على عمق ٣٥.٢ ملليمتر من قاعدة الوسادة .

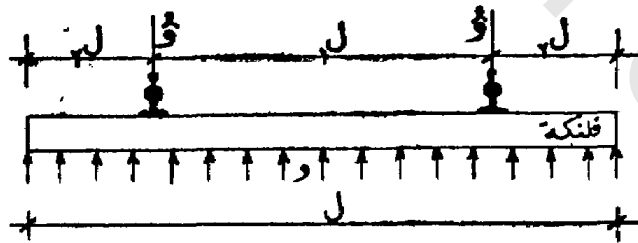
وعزم الانحناء عند هذا الوضع = ٤٨٦٥ كيلو جرام سنتيمتر .

$$\text{وجهد الانحناء} = \frac{32 \times 4865}{16 \times \pi} = 121 \text{ كيلو جراما للمليمتر المربع} .$$

وهو الجهد العادي في الشد للصلب . ويمكن تقليل مقدار الجهد عن ذلك بجعل المسار مسلوفا من أعلاه ولعمق أربعة سنتيمترات أو أربعة سنتيمترات ونصف .

جهد الضغط على الخشب تحت الوسادة :

يمكن اعتبار ضغط العجلة واقعا على وسادتين وبصيب الوسادة الواحدة في الحالة القصوى ٧.٦ طنا ويبلغ جهد الضغط على الخشب في حالة القضيب ٤٧ في السكك الحديد المصرية حوالي ١٧.٧ كيلو جراما للسنتيمتر المربع وهو ما يستطيع الخشب أن يتحملة بدون تأثر .



شكل نمرة (٣٣٦)

جهد الانحناء في الفلنكة :

إذا هبطت الفلنكة لأي سبب من الأسباب كإهمال صيانتها مثلا أصبحت ترتكز على طولها بأكملها وفي هذه الحالة يمكن اعتبارها كعتب مقلوب محمل على القضيبين انظر شكل نمرة (٣٣٦) .

فإذا فرض أن طول الفلنكة = ل

$$ل_٢ + ل_١ =$$

وكان أقصى ضغط للعجلة على القضيب = و

$$(١) \quad \frac{ل_٢}{٢} - \frac{ل_١}{٨} = \text{فإن عزم الانحناء في وسط الفلنكة ع}$$

$$(٢) \quad \frac{ل_٢}{٢} = \text{وعزم الانحناء عند القضيب ع}$$

حيث و هو الحمل الموزع تحت الفلنكة .

ويمكن استنتاج أنسب طول للفلكة بمساواة العزمين ع_ط و ع_ع

$$\text{أى } \frac{L_1}{8} = \frac{L_2}{2} - \frac{L_3}{2}$$

ومنه ينتج أن $L_1 = 2.83 \text{ م}$ أو $L_2 = 0.354 \text{ م}$
وعلى ذلك فطول الفلكة $L = L_1 + L_2 = 2 \text{ م} + 0.354 \text{ م} = 2.354 \text{ م}$
وبذلك يكون أنسب طول لفلكة سكة الاتساع العادى $1.708 \times 1.5 = 2.56 \text{ م}$.
ويؤخذ هذا الطول فى السكك الحديد المصرية ٢٦٠ متراً .
ويكون أقصى جهد للانحناء لفلكة مقطوعها $25 \times 15 \text{ سم} = 200 \text{ كجم}$ للسنتيمتر المربع وهو جهد عال نوعاً إذ يبلغ حوالى ربع جهد الكسر فى الانحناء للأخشاب الجيدة .

تأثير تطويل الفلكة أو تقصيرها :

$$\text{عزم الانحناء فى وسط الفلكة ع}_{\text{ط}} = \frac{9}{8} (L_1 - L_2)$$

$$= \frac{9}{8} (L_1 + L_2) (L_1 - L_2)$$

$$(3) \quad \frac{9}{8} (L_1 - L_2) =$$

$$\text{وعزم الانحناء عند القضيب ع}_{\text{ع}} = \frac{9}{4} L_2$$

$$(4) \quad \frac{9 L_2}{L_1 + L_2} =$$

وبتقصير طول الفلكة ينقص البعد L_2 ويتبع ذلك زيادة عزم الانحناء فى وسط الفلكة كما يظهر من المعادلة (٣) .

وبتطويل الفلكة يزداد البعد L_2 ويتبع ذلك زيادة عزم الانحناء تحت القضيب أيضاً كما يظهر من المعادلة (٤) .

وحيث أن عزم مقاومة الفلكة ثابت إذ هو يتوقف على عرضها وسبكها وجهد الأمان فى الانحناء لمادة خشبها فإن تطويل الفلكة أو تقصيرها عن ١.٧٠٨ م يجعلها أقل قدرة على احتمال ضغط المجلة θ .

التجارب التى تجرى على قضب الفلنكات :

يتضح مما سبق شرحه عن الإجهادات فى الفلنكات أن الفلكة تتعرض إلى ضغوط رأسية فى

اتجاه سمكها وعرضية في اتجاه طولها كما تتعرض للانحناء أيضا وعلى ذلك تجرى التجارب الآتية على مادة خشبها لمعرفة خواصها :

أولا — تجربة الضغط في اتجاه عمودى على الألياف .

ثانيا — » » » » الألياف .

ثالثا — » انحناء يجعل الألياف أفقية .

وهذه هى التجارب الأساسية التى توصى بها المواصفات البريطانية غير أن هناك تجربة رابعة ثانوية تشير بإجرائها وهى تجربة الصلابة . راجع المواصفات البريطانية رقم ٣٧٣ — سنة ١٩٣٨ .

جهد الانحناء على الوسادة :

يجب أن يكون سمك الوسادة تحت حافتي فرش القضيبي كافيا لتحمل جهود الانحناء الناتجة من الضغوط الواقعة تحت الجزء البارز للوسادة . وقد ذكرنا قبلا أن جهد الضغط تحت وسادة القضيبي ٤٧ فى السكك الحديدية المصرية يبلغ أقصاه ١٧٧ كيلو جراما للسنتيمتر المربع وهذا يقابله جهد انحناء أقصى فى الوسادة مقداره ١١٥ كيلو جراما للمليمتر المربع تحت الحافة الداخلية لفرش القضيبي وهو أقل من جهد الأمان فى الشد للصلب العادى .

الجهد فوق أساس السكة :

ينتقل ضغط المجلة خلال القضيبي إلى الفلنكة ومن مساحة الارتكاز فى الفلنكة خلال التزليط إلى أساس السكة بزاوية ميلها ٢ : ١ مع الأفقى . ويجب أن تقوى تربة الأساس على تحمل هذه الضغوط وإلا زيد سمك التزليط بالقدر الذى يفي بعدم تجاوز مادة الأساس جهودها المسموح بها .