Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht

Band: 5 (1956)

Artikel: Essai jusqu'à rupture de poutres armées l'une en acier TOR 40, l'autre en ronds ordinaires

Autor: Lazard, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-6010

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Va 4

Essai jusqu'à rupture de poutres armées l'une en acier TOR 40, l'autre en ronds ordinaires

Behaviour of concrete beams reinforced with TOR 40 and ordinary mild steel bars, loaded to collapse

Bruchversuche an Eisenbetonbalken, einerseits mit Torstahl 40, anderseits mit gewöhnlicher Rundeisen-Bewehrung

Ensaio de rotura de vigas armadas, uma com aço TOR 40, outra com varões de aço vulgar

A. LAZARD
Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées
Chef de la Division des Ouvrages d'art de la S. N. C. F.
Paris

Objet de l'essai

Toutes les études semblent prouver l'intérêt économique d'utiliser en béton armé des aciers à limite élastique élevée sous la réserve qu'il n'en résulte pas une fissuration aggravée. Cette question préoccupe particulièrement les réseaux de chemin de fer qui utilisent encore des locomotives à vapeur en raison de l'agressivité de leurs fumées.

C'est pourquoi nous demandâmes aux Aciéries de VOLKLIGEN de nous administrer la preuve que le risque de fissuration ne serait pas aggravé par l'utilisation, sous des contraintes de 20 kg/mm², d'acier torsadé à crénelures hélicoïdales d'au moins 40 kg/mm² de limite élastique, connu sous le nom d'acier TOR 40, dont elles venaient d'acquérir la licence. L'examen des essais antérieurement exécutés ne permettait pas de conclusion nette. Il fut donc convenu d'essayer, d'abord sous les charges de service, puis jusqu'à la rupture, deux poutres calculées pour satisfaire *au même programme* de surcharges: celles d'une voie de chemin de fer; l'une des poutres étant constituée normalement avec des ronds à béton ordinaire de la nuance douce 24-42, l'autre étant armée de ronds TOR 40.

L'essai, exécuté à frais communs par les chemins de fer français, TORISTEG Steel Corporation (Luxembourg), les Aciéries de VOLKLINGEN (Sarre) et la Chambre Syndicale des Constructeurs en Ciment Armé de France, a été concluant. Sous les charges de service, les fissures de la

poutre TOR, quoique plus nombreuses que celles de la poutre ordinaire, n'étaient pas plus ouvertes. Jusqu'à la rupture, les fissures de la poutre TOR sont restées très fines, tandis que celles de l'autre étaient largement ouvertes. Dès lors, l'utilisation d'acier TOR 40 sous la contrainte de 20 kg/mm² est parfaitement légitime dans les atmosphères des fumées de locomotives à vapeur.

Description de l'essai

Les poutres en forme de ⊓ de 8,80 m de long, pesant 14 T, étaient disposées et armées comme il est indiqué aux Fig. 1 et 2.

Chaque nervure, de 22 cm de large, et 90 cm de hauteur totale, était armée de dix ronds — de ø 26 TOR et ø 32 ordinaires — donnant 5240 mm² en TOR et 8040 mm² en ordinaire, soit des pourcentages respectifs de 3,10 et 4,7. Les aciers étaient relevés, seuls les ronds ordinaires étaient munis de crochets.

Les étriers, barres filantes et aciers de la dalle, étaient des ronds ordinaires ø 8 et 10.

Les bétons étaient identiques et dosés à 350 kg de ciment CPA 250/315 au m³. Dès le coulage, ils avaient été recouverts avec un produit antiévaporant pour empêcher ou réduire la fissuration de retrait. Pour leur transport — Fig. 3 — Fig. 4 — les poutres avaient été provisoirement comprimées.

Le dispositif de chargement est indiqué fig. 5.

La portée était de 7,5 m. Les charges étaient appliquées sur chaque nervure, en quatre points espacés de 1,50 m, correspondant à l'écartement normal des essieux d'une locomotive. Les charges P étaient appliquées par

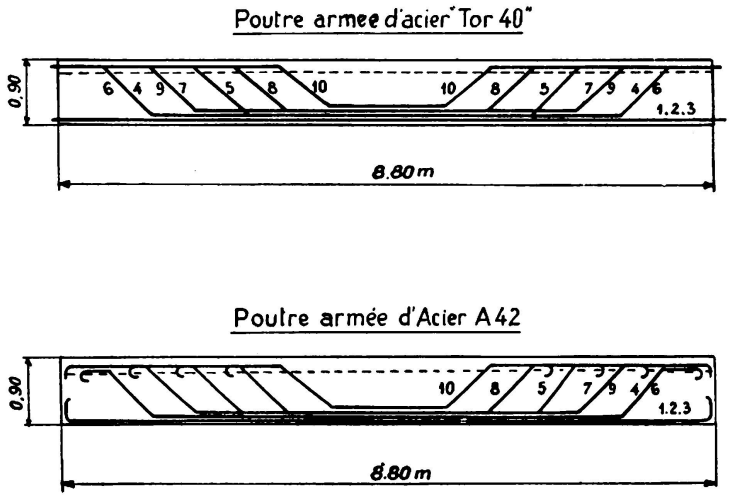
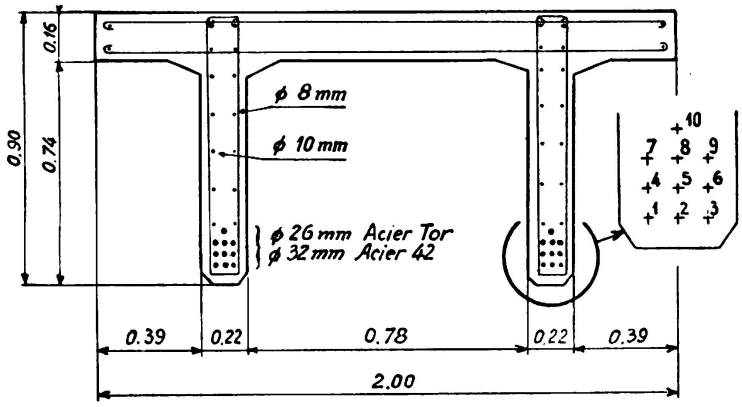


FIG. 1. Armatures des poutres



Section Acier Tor = 5230 mm² par nervure $\mu = 3,1$
Section Acier 42 = 8040 mm² par nervure $\mu = 4,7$

FIG. 2. Coupe transversale médiane de la poutre (position des barres)

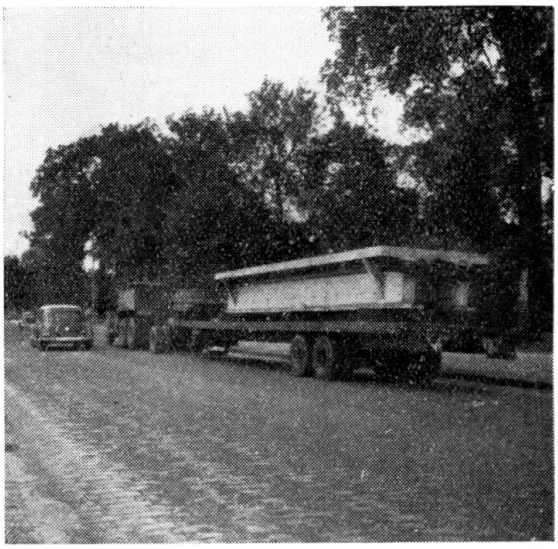


FIG. 3 et 4. Transport de la poutre

un vérin appuyant en deux points, de sorte que l'ensemble des forces agissant sur la poutre est 4 P.

La charge de service P étant de 33 t, la fissuration était prévue aux environs de 13 t et la rupture aux environs de 73 t pour la poutre en acier ordinaire et 86 t pour la poutre en acier TOR.

Les flèches étaient mesurées à l'aide de comparateurs et de fleximètres enregistreurs au milieu de chaque nervure et aux quarts de la dalle, et de curvimètres au milieu de chaque nervure. De nombreux extensomètres à résistance électrique étaient collés tout au long des nervures et de la dalle.

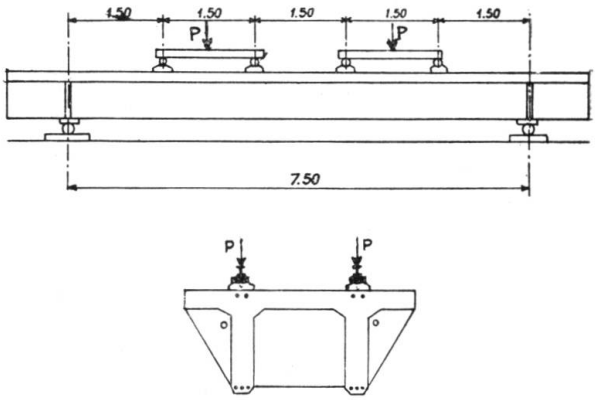


FIG. 5. Schéma du dispositif de chargement

Résultats

1°) *Chargements* — Les épreuves de chargements et déchargements n'ont pas été absolument identiques pour les deux poutres en raison de quelques imperfections dans le fonctionnement des vérins, des manomètres et des pesons de contrôle.

Quoi qu'il en soit, le programme moyen suivant a été observé:

— chargement à 13 t: (charge de fissuration prévue) et déchargement. Plusieurs chargements et déchargements à 33 t: (charge normale de service) puis chargement jusqu'à rupture: 78 t pour la poutre ordinaire (au lieu de 73 prévues) — 96 t pour la poutre TOR (au lieu de 86 prévues).

2°) *Flèches* — La fig. 6 donne les enregistrements des flèches, mesurées presque jusqu'à la rupture. La poutre TOR est un peu plus flexible que l'autre.

3°) *Dilatations* — Les accourcissements de la dalle comprimée sont proportionnels aux charges presque jusqu'à la rupture.

Les allongements des nervures tendues sont perturbés par l'apparition des fissures.

4°) *Fissures* — Le tableau I donne, à diverses étapes du chargement, le nombre de fissures, la plus grande ouverture en mm et la plus grande longueur en cm, pour chaque nervure et chaque face. (Tableau I).

TABLEAU I

Nombre de fissures
plus grande ouverture en mm
plus grande longueur en cm

charge en t	Poutre Acier TOR 40				Poutre Acier 42			
	Nervure A		Nervure B		Nervure A		Nervure B	
	face ext.	face int.	face ext.	face int.	face ext.	face int.	face ext.	face int.
13	6 0,05 21	4 0,05 16	4 0,05 25	2 0,05 33	6 0,05 59	15 0,06 38	7 0,05 56	8 0,05 31
22	40 0,05 63	31 62	36 0,05 64	23 0,09 63	23 0,10 66	25 0,15 56	22 0,10 66	25 0,20 66
33	53 0,15 64	47 0,20 66	53 0,12 67	34 0,12 71	42 0,20 66	43 0,20 66	40 0,18 66	46 0,20 66
44	70 66	49 0,20 66	59 68	37 0,20 78	50 0,25 66	49 0,20 66	51 0,20 66	52 0,22 66
55	70 0,20 66	49 0,25 66	59 0,25 68	37 0,25 78	52 0,25 66	53 0,25 66	51 0,30 66	58 0,25 66

Jusqu'à 55 t, qui représentent 1,66 fois la charge de service on ne constate pas de différence marquée entre les deux poutres.

Au-delà de 55 t, le nombre de fissures a considérablement augmenté sur la poutre TOR, mais sans augmenter notablement d'ouverture. Au contraire la largeur des plus grosses fissures de la poutre ordinaire a crû.

Les fig. 7 et 8 montrent après rupture l'aspect de la fissuration des deux tiers de chacune des nervures A (faces extérieure et intérieure).

5°) *Ruptures* — La poutre TOR s'est rompue sous une charge, maintenue constante, de 96 t par vérin, soit une charge totale (en comprenant le poids des équipages) de 390 t environ.

Elle présentait à ce moment une très grande flèche, la fissuration restant très fine comme il a déjà été dit.

La rupture s'est produite par éclatement du béton comprimé, la dalle ayant commencé à se fissurer dans son épaisseur suivant un plan horizontal et se rompant définitivement suivant une ligne perpendiculaire à l'axe longitudinal. Le béton des nervures se détachait par plaques au milieu de la portée. Les aciers comprimés flambaient.

La poutre armée d'aciers ordinaires s'est rompue sous une charge maxima, qui n'a pu être maintenue, de 78 t par vérin, soit 320 t environ au total. La flèche n'était pas excessive. Les fissures situées au milieu des nervures s'étaient ouvertes à environ 1,2 mm à 72 t, 4 mm à 76 t, 10 mm à 78 t.

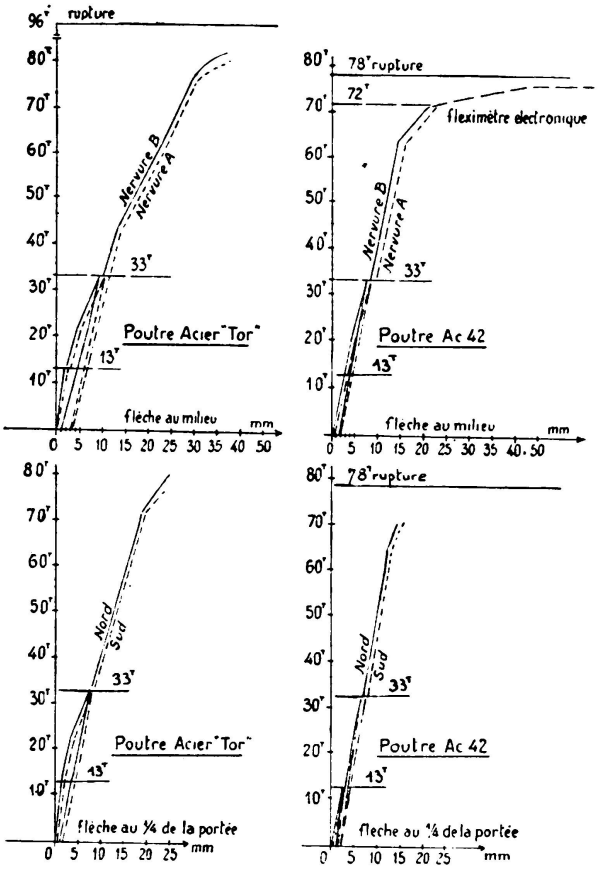


FIG. 6. Flèches au milieu et au ¼ de la portée des poutres

La figure 9 montre deux aspects caractéristiques de la rupture de la poutre en acier TOR 40.

6°) *Caractéristiques des bétons* — Des cubes de 20 et 14 cm de côté et des prismes de 20 × 20 × 60 cm avaient été coulés en même temps que les poutres. Ils ont été cassés le jour de l'essai — soit à 66 jours d'âge pour la poutre TOR et 77 jours pour la poutre ordinaire.

Le tableau II résume les résultats d'écrasement des cubes et de flexion des prismes (valeurs calculées par la formule $\frac{6\,M}{b^3}$).

Le béton de la poutre armée d'aciers ordinaires était un peu moins bon en traction que celui de la poutre TOR.

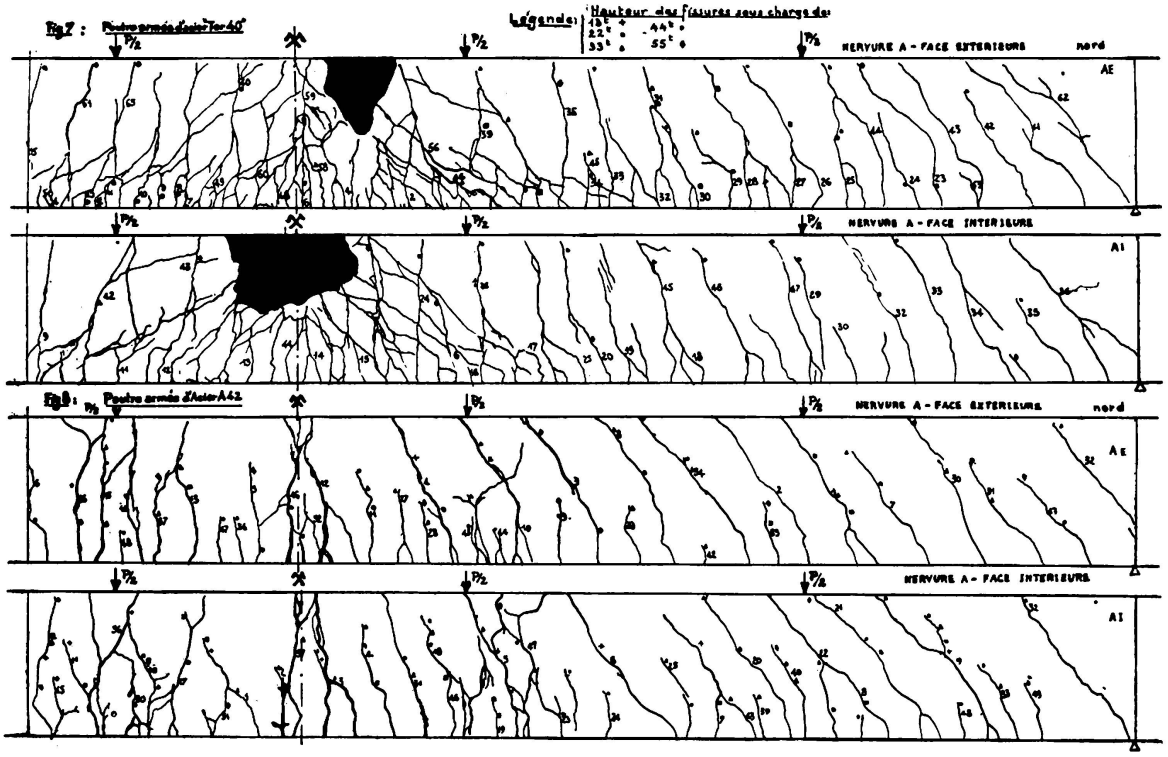


FIG. 7 et 8. Aspect de la fissuration après rupture

TABLEAU II

kg/cm²	Poutre armée d'aciers TOR	Poutre armée d'aciers ordinaires
Résistance à l'écrasement (10 cubes de 20 et 6 cubes de 14)	max. 495 min. 377 moy. 431	max. 497 min. 340 moy. 434
Résistance à la flexion (13 prismes de 20×20×60)	max. 60,7 min. 47,7 moy. 54,3	max. 54,7 min. 44 moy. 49

7°) *Caractéristiques des aciers* — La tableau III donne les caractéristiques des aciers avant mise en place et après la rupture des poutres (éprouvettes prélevées après rupture dans le milieu des poutres).

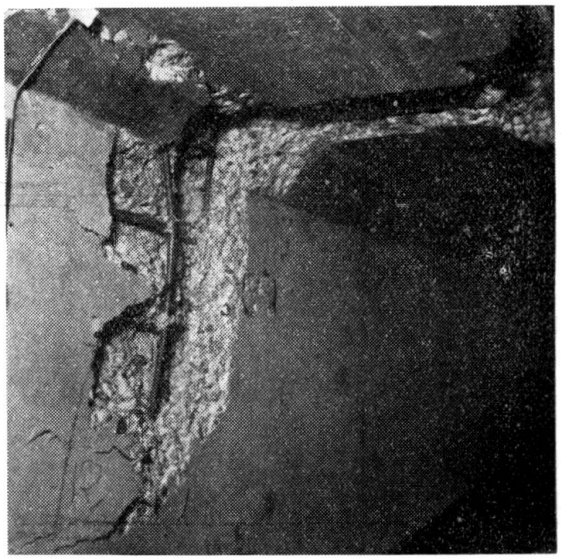
Comme il était à prévoir les limites élastiques ont été sérieusement relevées (environ 20 %) par l'étirage précédant la rupture de la poutre, les limites de rupture très faiblement, et les allongements de rupture ont été diminués (environ 20 %).

Alors qu'avant essai les diagrammes d'allongement des aciers présentaient des allures assez dispersées, après rupture de la poutre les

TABLEAU III

kg/mm²	Poutre armée d'aciers TOR 40						Poutre armée d'aciers 24-42					
	Avant rupture 122 éprouvettes			Après rupture 80 éprouvettes			Avant rupture 122 éprouvettes			Après rupture 80 éprouvettes		
	max.	mini.	moy.	max.	mini.	moy.	max.	mini.	moy.	max.	mini.	moy.
LE	48,7	45,0	46,9	57,3	53,3	55,7	30,5	25,3	28,6	37,2	31,7	34,3
R	59,2	57,2	57,8	60,1	57,5	57,9	44,5	38,8	42,1	46,9	40,4	44,4
Al %	18,8	14,2	16,9	16,1	11,2	14,1	32,7	24,2	28,1	26,8	18,6	23,5

A – Nervure B. Face extérieure



B – Nervure B. Face intérieure

FIG. 9. Poutre en acier TOR après rupture
Vue prise au milieu de la poutre

diagrammes étaient devenus très semblables. L'étirage avant rupture de la poutre les a considérablement régularisés.

Conclusions

L'essai a été concluant.

Les deux poutres ont été calculées pour répondre au même programme de surcharges sous des contraintes de service de 13 kg/mm² pour l'acier ordinaire (Règlement du Ministère des Travaux Publics de 1934) et 20 kg/mm² (moitié de la limite élastique théorique de 40) de l'acier TOR 40.

Elles se sont fissurées sensiblement sous les mêmes charges (13 t environ par vérin). Sous les charges de service et même jusqu'à 1,66 fois ces charges, elles ont présenté sensiblement la même fissuration (nombre, plus grande ouverture, plus grande longueur).

La charge de rupture de la poutre TOR a été supérieure à celle de la poutre ordinaire. Cela avait été prévu dès l'origine dans la note de calculs, toutefois la différence expérimentale est un peu plus élevée.

Au moment de la rupture, les fissures de la poutre en acier ordinaire étaient, comme d'habitude, largement ouvertes, et l'effondrement est intervenu par écrasement du béton comprimé après un notable allongement des aciers tendus. Au moment de la rupture, les fissures de la poutre TOR étaient très nombreuses, mais très fines. La flèche était importante, et l'effondrement est intervenu comme ci-dessus par écrasement du béton comprimé après un notable allongement des aciers tendus. Ceux-ci, qui sortaient librement de la poutre, n'ont jamais glissé.

En conclusion, l'essai montre qu'on peut parfaitement utiliser des aciers TOR 40 à des contraintes de 20 kg/mm² sans avoir à redouter un élargissement des fissures. La rupture d'une poutre armée de tels aciers ne pourra plus être prévue d'après l'aspect de la fissuration; il faudra se référer uniquement à la flèche.

BIBLIOGRAPHIE

Annales de l'Institut du Bâtiment et des Travaux Publics, N° 98 de Février 1956.

RÉSUMÉ

Deux poutres de dimensions extérieures identiques de 8,80 m de long, 2,00 m de largeur et 0,90 m de hauteur, à deux nervures, ont été calculées pour supporter le même programme de surcharges. L'une était armée en acier doux ordinaire, de limite élastique moyenne 28 kg/mm², l'autre en acier dit TOR 40 de limite élastique moyenne 47 kg/mm².

Elles ont été chargées jusqu'à rupture.

Elles se sont comportées très sensiblement de la même manière en ce qui concerne l'apparition des premières fissures et leur nombre, la plus grande ouverture et la plus grande longueur des fissures sous des charges allant jusqu'à 1,66 fois les charges de service.

Par contre, le comportement à la rupture a été différent. La poutre armée de ronds ordinaires s'est rompue par écrasement du béton comprimé après ouverture exagérée d'un nombre très limité de fissures. La poutre armée d'acier TOR s'est rompue, sous une charge plus élevée, avec une grande flèche, par écrasement du béton comprimé et flambage des aciers comprimés, après l'apparition d'un très grand nombre de fissures restées très fines.

L'utilisation d'aciers TOR 40 à 20 kg/mm² paraît parfaitement justifiée pour des poutres de ponts situés dans l'atmosphère agressive des fumées de locomotives à vapeur.

SUMMARY

A pair of twin webbed beams with identical dimensions, 8,80 m. overall length and 2,00 × 0,90 section, were calculated to sustain the same loads. One of them had mild steel round bar reinforcement with a mean yield stress of 28 Kg/mm², the other had TOR 40 reinforcement bars with a mean yield stress of 47 Kg/mm².

Both were loaded to collapse.

They both behaved in a very similar way, as far as initial cracking, number, maximum width and length of cracks were concerned, for loads up to 1.66 times the working loads.

In the other hand, behaviour at failure was quite different. The mild steel reinforced beam collapsed through crushing of the compressed part of the concrete with a very limited number of very wide cracks. The collapse load of the TOR 40 reinforced beam was higher, and collapse took place, with an important deflection, through crushing of the compressed part of the concrete and buckling of the compression resisting bars, together with a great number of very fine cracks.

Use of TOR 40 reinforcement bars for working stresses of 20 Kg/mm², seems absolutely justified for bridge beams submitted to agressive fumes of steam railway engine smoke.

ZUSAMMENFASSUNG

2 Träger mit je 2 Rippen und gleichen äussern Abmessungen (8,80 m lang, 2,00 m breit und 0,90 m hoch) wurden für gleiche Belastungen berechnet, wobei der eine Träger eine Bewehrung mit gewöhnlichem Weichstahl (E = 2800 kg/cm²), der andere mit Torstahl 40 (E = 4700 kg/cm²) erhielt.

Sie wurden bis zum Bruch belastet.

Das Verhalten beider Träger war gleichartig, soweit es sich um die Bildung und die Anzahl der ersten Risse, die grösste Breite und Länge der Risse handelte und solange die Belastungen die 1,66 – fache Nutzlast nicht überstiegen.

Dagegen war das Verhalten beim Bruch verschieden. Der normal bewehrte Träger zerbrach, indem der gedrückte Beton zerquetscht wurde, nachdem eine kleine Zahl von Rissen besonders breit geworden waren.

Der mit Torstahl bewehrte Träger brach erst bei einer grössern Belastung und grosser Durchbiegung durch Zerquetschen des gedrückten Betons und Knicken der gedrückten Armierung. Kurz vorher war eine grosse Zahl feiner Risse aufgetreten.

Die Verwendung von Torstahl 40 mit $E = 2000$ kg/cm² für Eisenbetonträger dürfte dort am Platze sein, wo die Luft wegen des Rauches von Dampflokomotiven als betongefährlich zu betrachen ist.

RESUMO

Calcularam-se, para resistir às mesmas sobrecargas, duas vigas de alma dupla de dimensões idênticas, com 8,80 m de comprimento, 2.00 m de largura e 0,90 m de altura. A armadura de uma das vigas era de aço macio com um limite elástico médio de 28 Kg/mm² e a da outra era de aço TOR 40 com um limite elástico médio de 47 Kg/mm².

Carregaram-se as vigas até à rotura.

Ambas se comportaram de maneira sensìvelmente idêntica no que diz respeito ao início da fissuração, ao número, largura e comprimento máximo das fissuras, para cargas até 1,66 vezes a carga de serviço.

Em contrapartida, o comportamento à rotura foi diferente. A viga armada com aço macio rompeu-se por esmagamento do betão comprimido após formação de um número limitado de fissuras exageradamente abertas. A viga armada com aço TOR, rompeu-se sob uma carga mais elevada e com uma flecha importante, por esmagamento do betão comprimido e encurvadura das armaduras de compressão, após formação de um grande número de fissuras muito finas.

A utilização de armaduras TOR 40 trabalhando a 20 Kg/mm² parece justificada para vigas de pontes submetidas à atmosfera agressiva do fumo de locomotivas de vapor.