

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

Band: 7 (1964)

Artikel: Rapport général

Autor: Dubas, Pierre

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-7948>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 19.11.2024

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

Construction métallique - Stahlbau - Metal Structures

II

Aciers de construction et moyens d'assemblage Baustähle und Verbindungsmittel Structural Steels, Means of Connection

IIa

**Aciers à haute résistance et leur mise en œuvre
Hochfeste Stähle und deren Verarbeitung
High Tensile Steels and Their Fabrication**

IIb

**Boulons à haute résistance
HV-Schrauben
Friction-Grip-Bolts (High Strength Bolts)**

IIc

Soudage et collage — Schweißen und Kleben — Welding and Gluing

IId

**Résistance à la fatigue des éléments de construction
Ermüdungsfestigkeit von Konstruktionsteilen
Fatigue Life of Structural Members**

IIe

Calcul plastique dans le domaine des aciers à haute résistance et des moyens d'assemblage récents

**Traglastverfahren im Hinblick auf hochfeste Stähle und neuartige Verbindungsmittel
Plastic Design with Reference to High Tensile Steels and Modern Methods of Connection**

PIERRE DUBAS

Ecole Polytechnique Fédérale, Zurich

Rapport général

Le but essentiel du rapport général paraissant dans le Rapport Final est de présenter les résultats de la discussion et les progrès constatés, pour en tirer les conclusions principales. Pour certains des sujets appartenant au thème II, la discussion n'a cependant pas été utilisée tandis que pour d'autres il s'agissait avant tout de points particuliers. Il sera donc difficile d'établir des conclusions de caractère général et on se limitera aux aspects des problèmes qui ont spécialement retenu l'attention lors du congrès.

a) Aciers à haute résistance et leur mise en œuvre

Le problème de la mise en œuvre des aciers à haute résistance n'a malheureusement pas soulevé un grand intérêt: seule une contribution a été présentée pour la Publication Préliminaire et la discussion n'a pas été utilisée lors du congrès¹).

Quelle est la situation actuelle en matière d'aciers à haute résistance? Sans s'arrêter aux procédés d'élaboration, en particulier aux traitements thermiques, qui appartiennent au domaine de la métallurgie, on peut affirmer que les problèmes principaux relatifs à la mise en œuvre sont en grande partie résolus; ceci vaut en particulier pour le soudage, puisqu'on dispose d'électrodes de nuance appropriée²) et que l'on connaît les précautions à prendre (température de préchauffage, réglage de l'apport d'énergie lors du soudage, etc.) pour éviter, en particulier pour les aciers trempés et revenus, une modification inadmissible de la micro-structure, conduisant à une diminution de la tenacité (effet de trempe) ou de la résistance.

Du point de vue économique, il faut bien constater que, tout au moins dans les conditions européennes, le supplément de prix des aciers à haute résistance est souvent du même ordre de grandeur que l'augmentation de la limite élastique. Comme cela a déjà été indiqué dans la Publication Préliminaire, nous ne parlons pas ici des aciers de la nuance 50 à 52 dont le prix est souvent peu différent de celui des aciers doux dès que l'on demande pour ces derniers un essai de résilience assez sévère, ce qui conduit automatiquement à une élaboration plus soignée et à une normalisation. Pour les aciers dont la limite élastique atteint ou dépasse 40 kg/mm^2 , le gain sur le prix de la matière sera donc modeste même pour les éléments dont la limite élastique est pratiquement la seule base de dimensionnement (réservoirs sous pression ou conduites forcées, barres tendues de treillis soumis à des sollicitations statiques, etc.). Pour les poutres à âme pleine, la situation est encore moins favorable puisque l'âme n'est utilisée que sur ses bords et que le problème du voilement est déterminant pour le choix de l'épaisseur. Pour résoudre cette difficulté, on envisage d'ailleurs aux Etats-Unis de prévoir des âmes d'une nuance inférieure à celle des semelles, ce qui pose d'autres problèmes.

En ce qui concerne la mise en œuvre en atelier, les avantages économiques sont également assez limités: le tonnage à fabriquer est certes inférieur mais la main-d'œuvre unitaire est notablement plus élevée, en particulier à cause

¹) La contribution intitulée « Utilisation d'aciers à haute résistance dans deux ouvrages suisses », paraissant dans le présent Rapport Final, était incluse dans le rapport général oral présenté au congrès.

²) Voir par exemple R. NITTKA: « Schweißen höherfester Feinkornbaustähle unter besonderer Berücksichtigung neuartiger vergüteter Baustähle », Oerlikon Schweißmitteilungen, Nr. 53 (1965).

des précautions plus grandes à prendre tant pour la préparation que pour le soudage.

On comprend dès lors facilement que le domaine d'application des aciers à haute résistance soit assez limité à l'heure actuelle, surtout si l'on ne tient pas compte de l'utilisation en grosse chaudronnerie, qui ne rentre pas directement dans le cadre des activités de l'AIPC. La situation paraît différente au Japon où l'on utilise semble-t-il largement les aciers à haute résistance (traités thermiquement ou autres) pour la construction des ponts³). Peut-être les surpris de qualité pour ces nuances sont-ils moins élevés au Japon?

On peut dire en conclusion que ce sont principalement des considérations d'ordre économique, et non des difficultés techniques, qui s'opposent actuellement à une mise en œuvre accrue des aciers à haute résistance. C'est donc avant tout aux producteurs qu'il appartient de réexaminer le problème, bien entendu en contact étroit avec les utilisateurs.

b) Boulons à haute résistance

Assemblages à recouvrement (boulons cisailés)

En complément à sa contribution parue dans la Publication Préliminaire, M. KONISHI apporte d'intéressantes précisions aux essais qu'il a entrepris. Il indique en particulier que, lors des essais de fatigue sous des sollicitations proches de la charge de glissement, la fréquence des pulsations a joué un rôle important.

Nous nous permettrons de relever ici encore une fois les divergences assez importantes qui subsistent entre les divers pays en ce qui concerne le calcul des assemblages et spécialement l'évaluation de la sécurité. Ce point est souligné également par M. FALTUS à la fin de son important exposé. Certaines de ces différences s'expliquent logiquement par des conditions économiques différentes: aux Etats-Unis, par exemple, le coût élevé de la main-d'œuvre rend peu économique un traitement des surfaces de contact destiné à augmenter le coefficient de friction. Ce point est relevé dans l'exposé de MM. FISHER et BEEDLE qui montre le développement des recherches américaines relatives aux assemblages par boulons HR et l'évolution des règles d'application correspondantes.

³) Voir par exemple l'article de MM. G. TANAKA et S. HASEGAWA paru dans la Publication Préliminaire, IIc 3, p. 457, ou le rapport introductif de MM. H. KIHARA et T. OKUMURA à la Commission I, Ouvrages de franchissement, du Congrès sur l'utilisation de l'acier de la CECA, Luxembourg octobre 1964; traduction en italien sous le titre «Stato attuale della tecnica di costruzioni dei ponti in acciaio in Giappone», Costruzioni metalliche, 1965, n° 2.

De même, dans certains cas de sollicitations statiques, le glissement peut être considéré comme un incident mineur, ce qui a conduit à la notion d'assemblage par «pression». Il s'agit d'un simple développement des assemblages par boulons ordinaires, avec cependant l'avantage de déformations minimales en service (la charge de glissement n'étant normalement pas atteinte) et d'un nombre de boulons réduit par suite de leur résistance élevée.

Ce qui s'explique moins c'est, comme nous l'avons déjà relevé dans la Publication Préliminaire, la très grande variation des coefficients de sécurité relatifs à la charge de glissement (en se limitant aux assemblages par friction) ainsi que des valeurs adoptées pour le coefficient de frottement dans des conditions analogues. Comme l'indique également M. FALTUS, il conviendrait dès lors d'approfondir nos connaissances relatives au phénomène de la friction.

La sécurité effective dépend largement de la précontrainte du boulon et il convient de relever à ce sujet les deux conceptions qui s'opposent pour la mise en œuvre :

- serrage par clef dynamométrique, avec les incertitudes dues aux frottements internes, aux irrégularités de contact, à la précision de la mesure du moment de serrage, etc.
- serrage par la méthode au tour d'écrou, avec la diminution de réserve plastique qu'elle entraîne ainsi que la possibilité de phénomènes de relaxation (assez faibles selon MM. FISHER et BEEDLE, sur la base d'essais de durée relativement courte).

M. KERENSKY attire l'attention sur le problème de la corrosion des surfaces en contact, avant et après assemblage, et des boulons eux-mêmes. Il est certain que l'expérience dans ce domaine est encore maigre et qu'une coopération internationale serait souhaitable.

Pour les assemblages à recouvrement, on peut donc dire que les difficultés principales sont résolues mais qu'il reste encore certains points à éclaircir en particulier en ce qui concerne la mise en œuvre et le comportement en service.

Assemblages par boulons tendus

Pour les assemblages à boulons tendus, les recherches théoriques et expérimentales ne sont pas aussi avancées et les applications pratiques sont plus réduites.

Comme nous l'avons indiqué dans la Publication Préliminaire, le problème de l'augmentation de la contrainte dans le boulon lors de la mise en charge de l'assemblage ne peut être résolu correctement que si l'on tient compte du mode d'introduction effectif des efforts appliqués. Les essais effectués pour les attaches tendues de la tour du port de Kobé et décrits par MM. HIDEYUKI TADA et TAKEO NAKA (Publication Préliminaire) illustrent bien ce fait. En

effet, dans leur formule (1) qui donne l'augmentation de la contrainte du boulon, les auteurs ont dû introduire un facteur correctif de l'ordre de 0,6 pour tenir compte du fait que les pièces de liaison ne se décompriment pas complètement lorsque l'effort extérieur leur est appliqué directement. Lors de la mise en précontrainte du boulon, par contre, la déformation des pièces de liaison s'ajoute à celle de la tige du boulon et les auteurs ont ainsi considéré dans leur formule (3) un coefficient supérieur à 1 (probablement un peu par hasard égal à l'inverse du coefficient précité). M. FALTUS montre comment on peut tenir compte de ces diverses influences de façon théorique et il compare les valeurs calculées à celles données par des essais.

M. FALTUS relève également l'importance de l'effet de levier dont on a parlé dans la Publication Préliminaire.

Les problèmes posés par les assemblages à boulons tendus ne peuvent donc pas être considérés comme étant résolus de façon satisfaisante à l'heure actuelle, surtout si l'on pense aux sollicitations dynamiques et de plus aux attaches soumises non à une traction pure mais à la flexion et au cisaillement.

Le présent congrès n'a pu apporter une réponse définitive à ces questions; il a cependant montré la voie à suivre et indiqué les recherches qu'il reste à effectuer tant du point de vue théorique que des applications pratiques. Il me semble d'ailleurs personnellement que les assemblages à boulons tendus devraient rester l'exception car ils conduisent nécessairement à une perturbation importante du jeu des forces puisque les efforts, d'abord répartis sur la section de la pièce attachée, viennent ensuite déviés pour se concentrer dans les boulons; on est donc bien loin de la jonction directe telle qu'elle est réalisée dans la soudure bout-à-bout.

c) Soudage et collage

Soudage

L'utilisation des nouveaux procédés de soudage en construction métallique a été exposée par divers auteurs dans la Publication Préliminaire tandis que M. KOLLBRUNNER en présente les grandes lignes dans son exposé.

Ici encore, ce sont surtout des raisons économiques — salaires toujours plus élevés et manque de personnel qualifié — qui poussent à un emploi plus étendu des procédés semi-automatiques ou automatiques, qu'il s'agisse du soudage sous flux ou du soudage sous protection gazeuse, en particulier de CO₂.

Bien qu'ils aient parfois conduit à des mécomptes, ces procédés donnent en général satisfaction en ce qui concerne la qualité des soudures et l'on comprend dès lors que l'on tente d'étendre leur domaine d'application, soit pour le soudage au montage, soit pour la mise en œuvre des aciers spéciaux à haute résistance dont nous avons parlé sous a). Pour les nuances les plus élevées, le

problème n'est pas complètement résolu mais il convient d'ajouter que, même pour le soudage manuel, ces aciers demandent certaines précautions si l'on veut éviter de graves ennuis. Il importe par exemple de ne pas pointer des gabarits de montage ou autres pièces ne devant pas être soudées ultérieurement. De plus les amorçages d'arc ne doivent pas avoir lieu en dehors des chanfreins; on évite ainsi un effet d'entaille nuisible aussi bien en ce qui concerne la fatigue que le danger de rupture fragile.

Un autre problème qui mériterait de retenir l'attention est celui de la conception des constructions soudées et de leurs joints. On pense en particulier aux grandes poutres à âme pleine pour lesquelles, dans certains pays, on prévoit des membrures comportant un paquet de semelles reliées par des cordons d'angle, comme cela s'impose en construction rivée. L'adoption d'une seule semelle, d'épaisseur et de largeur variables suivant les sollicitations, paraît cependant plus conforme aux exigences spécifiques du soudage. Le problème de la sécurité à la rupture fragile conduira certes normalement au choix d'une qualité d'acier répondant, pour la semelle épaisse, à des essais de résilience plus sévères. Le léger supplément de prix qui en résulte est toutefois plus que compensé par la suppression des cordons longitudinaux. De plus, on évite les cordons transversaux au début des semelles, toujours défavorables pour la résistance à la fatigue.

Collage

Dans le domaine de la construction métallique proprement dite, on en est toujours, en ce qui concerne le collage, aux premières recherches et au début des applications. Bien que le collage présente des avantages certains puisqu'il n'influence pas les propriétés du métal de base et conduit à une introduction bien répartie des efforts, il n'est guère vraisemblable que l'on assiste à un développement très rapide, du moins en ce qui concerne les assemblages uniquement collés. Une combinaison collage-boulons HR pourrait par contre avoir un certain avenir, du moins s'il était possible ainsi d'augmenter les sollicitations admissibles et surtout d'éviter quelques-unes des difficultés que présente une mise en œuvre correcte de ces boulons: nécessité du décapage des surfaces en contact, tolérances de fabrication assez sévères pour éviter des pertes de serrage dues aux mauvais contacts des pièces assemblées, protection anti-corrosive, etc.

d) Résistance à la fatigue des éléments de construction

Soulevé dans la Publication Préliminaire, le problème de la résistance à la fatigue des aciers à haute résistance (y compris les aciers de la nuance 50—52), comparée à celle des aciers doux, a été largement discuté par MM. FISHER et

VIEST, M. STÜSSI, M. BEER et M. KERENSKY. Il faut bien constater que les opinions sont fort divergentes.

Ce qui paraît certain, c'est que les aciers à haute résistance sont plus sensibles aux effets d'entaille que les aciers doux. Comme l'indique M. BEER, on doit tenir compte également des entailles dues à la microstructure du métal, elle-même directement influencée par les procédés d'élaboration. On sait d'ailleurs que la résistance à la fatigue des aciers 52 produits avant-guerre était inférieure à celle des aciers à grain fin actuels⁴). Comme le demande M. STÜSSI, c'est donc aux métallurgistes qu'il appartient de réaliser des aciers dont les caractéristiques mécaniques élevées ne soient pas acquises aux dépens d'un bon comportement à la fatigue.

Que cette condition puisse être remplie non seulement pour le métal de base mais également pour les cordons bout-à-bout soigneusement exécutés et meulés, les essais effectués avec l'acier 60 T pour le pont de Chamoson⁵) et ceux relatifs aux aciers ALDUR⁶) le prouvent: dans les deux cas, la résistance à des efforts ondulés atteint (ou dépasse légèrement) 60% de la résistance à la rupture statique, comme pour l'acier doux.

Pour les soudures caractérisées par des entailles très vives, comme les cordons d'angle longitudinaux à l'extrémité d'une semelle dépourvue de soudeuse frontale meulée (disposition réalisée dans les ponts des essais AASHO, présentés par MM. FISHER et VIEST dans la Publication Préliminaire, et qui correspond à la courbe F, la plus basse, des règles des Chemins de Fer Allemands), la différence entre l'acier 52 et l'acier doux est effectivement très faible; on remarquera toutefois que l'on utilise les mêmes électrodes dans les deux cas et que la résistance (statique) des cordons ne dépend pratiquement pas de la nuance du métal de base⁷). Dans un essai à la fatigue également, on peut se demander si l'on ne détermine pas la résistance à la fatigue du métal d'apport plutôt que celle du métal de base, ce dernier n'intervenant que pour la propagation de la fissure.

De toutes façons, il n'est pas étonnant qu'une disposition défavorable des

⁴) Pour certains aciers alliés, il semble même exister un parallélisme entre les valeurs de la résilience et celles de la résistance aux efforts alternés, comme l'indiquent M. POMÉY et M. MISSON dans un article intitulé «Der kontinuierliche Strangguß von Baustählen für die Kraftfahrzeugindustrie in Frankreich», Technisches Informationsblatt der Wirtschaftsabteilung des franz. Generalkonsulates in Zürich, Nr. 11, 1964.

⁵) «Utilisation d'aciers à haute résistance dans deux ouvrages suisses», dans le présent Rapport Final, IIa 1.

⁶) F. WALLNER: «Hochfeste schweißbare Baustähle», Rapport Préliminaire du présent congrès, fig. 2, courbe B, p. 355. On constatera que les aciers américains cités par M. WALLNER (même figure) sont plus sensibles à la fatigue, ce qui pourrait expliquer en partie les conclusions de MM. FISHER et VIEST.

⁷) Lors du congrès de la CECA mentionné à la note 3, M. BORNSCHEUER a d'ailleurs proposé d'adopter, dans les cordons d'angle, les mêmes contraintes admissibles pour l'acier doux et l'acier 52.

soudures entraîne une résistance à la fatigue insuffisante et la conclusion est évidente: pour conserver, même dans le cas de sollicitations à la fatigue, les avantages indéniables des aciers à haute résistance, il convient de soigner particulièrement la conception des constructions soudées et leur exécution, de façon à réduire au minimum les concentrations de contraintes et en général les effets d'entaille.

M. BEER, M. HENDERSON et M. KERENSKY apportent une contribution intéressante à la question du comportement de nos ouvrages sous les sollicitations à la fatigue effectives. Deux problèmes sont ici à considérer:

- l'endommagement d'un élément soumis à un spectre de contraintes et non à des cycles d'amplitude constante comme dans les essais à la fatigue classiques;
- la variation effective des sollicitations dans les ouvrages en service.

Le premier problème n'est certes pas complètement résolu mais il a déjà fait l'objet de nombreuses recherches expérimentales et théoriques et, comme l'indique M. HENDERSON, on peut espérer obtenir prochainement une solution valable.

En ce qui concerne les conditions effectives de sollicitation, on en est encore au début. Indiquons à ce sujet que les Chemins de Fer Allemands ont procédé à des mesures de cet ordre sur un pont-rail fortement chargé⁸⁾ et qu'il a été décidé, au sein de la commission tripartite UIC-RILEM-AIPC, d'étendre ces recherches à des ouvrages de types divers. L'interprétation des résultats ne sera certes pas aisée puisqu'il s'agira de dégager les grandes lignes et d'obtenir ainsi des bases à la fois mieux fondées et suffisamment simples pour le dimensionnement à la fatigue. M. HENDERSON indique qu'on tente en Grande-Bretagne, pour les ponts-routes, d'arriver à ce résultat par une analyse statistique des données relatives aux véhicules en circulation. Dans la seconde partie de son exposé, M. HENDERSON propose de dimensionner les éléments spécialement soumis à la fatigue pour une durée de vie limitée. Bien que cela se fasse dans certaines industries mécaniques, on voit mal une application de ce principe aux ouvrages d'art, ne serait-ce que pour des raisons économiques.

MM. VAN DOUWEN et VEERMAN décrivent un appareil électronique permettant de détecter des déformations plastiques à la surface d'un métal, ce qui permettra peut-être d'évaluer le risque de rupture par fatigue sans devoir recourir à des essais destructifs.

On obtiendrait ainsi plus rapidement les données expérimentales qui manquent encore et qui, complétées par des lois empiriques telles celles bien connues de M. STÜSSI, permettraient de parfaire nos connaissances dans le domaine si important de la résistance à la fatigue.

⁸⁾ Ces premiers essais montrent nettement que les grandes amplitudes et les contraintes max. ne se produisent que rarement.

e) Calcul plastique dans le domaine des aciers à haute résistance et des moyens d'assemblage récents

La contribution de MM. ANSLIJN, JANSS, MAS et MASSONNET complète heureusement le travail paru dans la Publication Préliminaire. Les essais décrits ont porté sur le voilement de cornières et la ruine de nœuds soudés réalisés en acier 37 et 52.

Des recherches de ce genre sont très utiles puisqu'elles donnent des renseignements féconds sur la résistance limite de nos ouvrages, un critère qui a certainement son importance bien qu'il ne puisse servir de seule base de dimensionnement. Nous touchons d'ailleurs ici au problème général de la sécurité des ouvrages, question qui a été largement traitée au point I c) du présent congrès et sur laquelle il n'est donc pas nécessaire que nous nous étendions ici.

Generalbericht

Hauptzweck des im «Schlußbericht» erscheinenden Generalberichtes ist es, die Ergebnisse der Diskussion und die wesentlichen Fortschritte darzulegen, um daraus die wichtigsten Schlußfolgerungen zu ziehen. Für einige der zum Thema II gehörenden Fragen wurde allerdings die Diskussion nicht beansprucht, während bei den anderen die Diskussion vornehmlich besondere Punkte berührte. Es wird also schwierig sein, Schlußfolgerungen allgemeiner Art aufzustellen, und man wird sich den speziellen Problemen widmen, die am Kongreß behandelt wurden.

a) Hochfeste Stähle und deren Verarbeitung

Das Problem der Verarbeitung hochfester Stähle ist leider nicht auf ein großes Interesse gestoßen; für den «Vorbericht» wurde ein einziger Beitrag eingesandt, und am Kongreß wurde die Frage nicht besprochen¹⁾.

Wo stehen wir heute in bezug auf hochfeste Stähle? Ohne die Herstellungsverfahren, insbesondere die thermische Vergütung zu behandeln, die dem Gebiet der Metallurgie angehören, kann behauptet werden, daß die Hauptschwierigkeiten für die Verarbeitung zum großen Teil überwunden sind; dies

¹⁾ Der Beitrag «Verwendung hochfester Baustähle für zwei Brücken in der Schweiz», der im vorliegenden «Schlußbericht» erscheint, wurde als Teil des mündlichen Generalberichtes am Kongreß vorgetragen.

gilt insbesondere für die Schweißung, da Elektroden geeigneter Zusammensetzung²⁾ zur Verfügung stehen und Vorsichtsmaßnahmen (Vorwärmtemperatur, Regulierung der Energiezufuhr während des Schweißens usw.) bekannt sind, mit denen sich, besonders bei vergüteten Stählen, eine unzulässige Veränderung der Mikrostruktur vermeiden läßt, die zu einer Verminderung der Zähigkeit (Aufhärtung) oder Festigkeit führen würde.

Was die wirtschaftliche Seite anbelangt, muß erwähnt werden, daß, mindestens unter den europäischen Verhältnissen, der Preiszuschlag für hochfeste Stähle oft von derselben Größenordnung ist wie die entsprechende Erhöhung der Streckgrenze. Wie dies schon im «Vorbericht» erwähnt wurde, handelt es sich dabei nicht um St 52, dessen Preis oft wenig von dem des St 37 abweicht, falls man für letzteren eine relativ strenge Kerbschlagprüfung verlangt, was automatisch zu einer sorgfältigeren Herstellungsart und einem Normalglühen führt. Für Stähle mit einer Streckgrenze $\geq 40 \text{ kg/mm}^2$ werden somit die Einsparungen an Materialkosten gering sein, sogar für Bauteile, bei denen die Streckgrenze praktisch die einzige Bemessungsgrundlage bildet (Druckbehälter oder Druckrohrleitungen, Zugstäbe statisch beanspruchter Fachwerkträger usw.). Bei Vollwandträgern sind die Verhältnisse weniger günstig, weil das Stehblech nur an seinen Rändern ausgenützt ist und die Beulstabilität für die Wahl der Stärke maßgebend ist. Um dieser Schwierigkeit auszuweichen, wird in den Vereinigten Staaten in Aussicht genommen, Stehbleche aus einem Stahl kleinerer Festigkeit als jenem für die Gurtungen vorzusehen, wobei allerdings andere Probleme auftreten.

Auch bei der Verarbeitung in der Werkstatt sind die wirtschaftlichen Vorteile relativ begrenzt: Die Tonnage ist gewiß kleiner, aber die Bearbeitungskosten pro Tonne sind bedeutend höher, insbesondere wegen der sowohl für die Vorbereitung als auch für die Schweißung nötigen Vorsichtsmaßnahmen.

Aus diesen Gründen ist das Anwendungsgebiet der hochfesten Stähle heute relativ begrenzt, besonders wenn man die Verwendung im Großkesselbau nicht berücksichtigt, die nicht direkt in den Tätigkeitsbereich der IVBH gehört. In Japan scheinen die Verhältnisse anders zu sein. Offenbar werden hochfeste Stähle (vergütete oder andere) im Brückenbau in großem Umfang verwendet³⁾. Vielleicht sind die Güteaufpreise für hochfeste Stähle in Japan kleiner.

Als Schlußfolgerung kann gesagt werden, daß es hauptsächlich Betrachtungen wirtschaftlicher Natur und nicht technische Schwierigkeiten sind, die

²⁾ Siehe z. B. R. NITTKA: «Schweißen höherfester Feinkornbaustähle unter besonderer Berücksichtigung neuartiger vergüteter Baustähle», Oerlikon Schweißmitteilungen, Nr. 53 (1965).

³⁾ Siehe z. B. den Bericht von G. TANAKA und S. HASEGAWA im «Vorbericht», II c 3, S. 457, oder den Einführungsbericht von H. KIHARA und T. OKUMURA zur Fachgruppe I, Brücken und Hochstraßen, des Kongresses über Stahlverwendung der EKGS, Luxemburg, Oktober 1964; italienische Übersetzung: «Stato attuale della tecnica di costruzioni dei ponti in acciaio in Giappone», Costruzioni metalliche, 1965, n° 2.

heute eine verbreitete Verarbeitung hochfester Stähle verhindern. Es ist also vorwiegend Sache der Stahlwerke, das Problem zu überprüfen, selbstverständlich in engem Kontakt mit den Stahlverbrauchern.

b) HV-Schrauben

Reibverbindungen (Überlappungsstöße)

In Erweiterung seines im «Vorbericht» erschienenen Beitrages bringt I. KONISHI interessante Ergänzungen zu den von ihm beschriebenen Versuchen. Insbesondere gibt er an, daß bei Ermüdungsversuchen unter Beanspruchung nahe bei der Gleitgrenze die Frequenz der Lastwechsel eine wichtige Rolle gespielt hat.

Es sei uns erlaubt, hier noch einmal auf die beträchtlichen Unterschiede hinzuweisen, die in verschiedenen Ländern in bezug auf die Berechnung der Verbindungen und insbesondere die Festsetzung der Sicherheit bestehen. Dies wird auch von F. FALTUS am Schlusse seines interessanten Beitrages erwähnt. Einige dieser Unterschiede erklären sich logischerweise durch die Verschiedenheit der wirtschaftlichen Bedingungen: In den Vereinigten Staaten z. B. ist die Behandlung der Kontaktflächen, um eine Erhöhung des Reibungskoeffizienten zu erzielen, der hohen Löhne wegen wenig wirtschaftlich. Dies wird von J. W. FISHER und L. S. BEEDLE in ihrem Beitrag erwähnt, der die Entwicklung der amerikanischen Untersuchungen auf dem Gebiet der HV-Schrauben und die der entsprechenden Normen beschreibt.

Ebenso kann bei gewissen Fällen statischer Beanspruchung das Gleiten als relativ bedeutungslos betrachtet werden, was zum Begriff der «bearing-type»-Verbindung führt. Es handelt sich dabei eigentlich um eine Entwicklung der Anschlüsse mit normalen Schrauben mit dem Vorteil, daß die Verformungen im Betrieb sehr klein bleiben (die Gleitgrenze wird normalerweise nicht erreicht) und daß die Schraubenzahl beschränkt ist.

Weniger verständlich ist dagegen, wie schon im «Vorbericht» erwähnt, die sehr große Streuung der Sicherheitskoeffizienten in bezug auf die Gleitgrenze (für Reibverbindungen) und der angenommenen Werte des Reibungskoeffizienten unter ähnlichen Bedingungen. Wie dies auch F. FALTUS verlangt, wäre es wünschenswert, unsere Kenntnisse über die Grundlagen des Reibungsvorganges zu erweitern.

Die tatsächliche Sicherheit wird auch weitgehend von der Schraubenvorspannung beeinflußt, und es ist angezeigt, hier auf die beiden Einbauverfahren hinzuweisen:

— Anziehen mit Drehmomenten-Schlüssel, was zu gewissen Unsicherheiten infolge innerer Reibung, Unregelmäßigkeit der Kontaktflächen, Ungenauigkeit der Momentenablesung usw. führt.

— «turn-of-nut»-Verfahren mit der Verminderung der plastischen Reserve und der Möglichkeit der Relaxation. (Nach FISHER und BEEDLE scheint dieser Vorgang allerdings keine sehr große Rolle zu spielen. Die Versuchsdauer war aber relativ kurz.)

O. A. KERENSKY macht auf das Problem der Korrosion der Fügeteile (vor und nach dem Zusammenbau) und der Schrauben selber aufmerksam. Sicher sind die Erfahrungen auf diesem Gebiet noch ungenügend und eine internationale Zusammenarbeit wäre wünschenswert.

Zu den Reibverbindungen kann also gesagt werden, daß die Hauptschwierigkeiten überwunden sind, daß aber noch gewisse Punkte der Klärung bedürfen, insbesondere was die Einbauverfahren und das Verhalten im Betrieb anbelangt.

Verbindungen mit axial beanspruchten HV-Schrauben

Für Anschlüsse mit axial beanspruchten Schrauben sind die theoretischen und versuchsmäßigen Untersuchungen noch nicht so fortgeschritten und die praktischen Anwendungen sind beschränkt.

Wie im «Vorbericht» erwähnt, muß man bei der Bestimmung der Vergrößerung der Schraubenkraft infolge des Lastangriffs die Art der Krafteinleitung berücksichtigen, falls eine korrekte Lösung erzielt werden soll. Dies wird anschaulich durch die Versuche gezeigt, die mit auf Zug beanspruchten Anschlüssen des Turmes im Hafen von Kobe durchgeführt und von HIDEYUKI TADA und TAKEO NAKA im «Vorbericht» beschrieben wurden. In ihrer Formel (1), welche die Kraftvergrößerung in der Schraube angibt, mußten die Autoren einen «form factor» der Größenordnung von 0,6 einführen, um dem Umstand Rechnung zu tragen, daß die Stoßteile nicht ganz entlastet werden, wenn die äußere Belastung nicht direkt den Schrauben angebracht wird. Beim Anziehen der Schrauben dagegen addiert sich die Verformung der Stoßteile zu derjenigen des Schraubenschaftes, und die Autoren haben deswegen in ihrer Formel (3) einen Faktor > 1 berücksichtigen müssen, der wahrscheinlich eher zufällig mit dem umgekehrten Wert des früher erwähnten «form factor» übereinstimmt. F. FALTUS zeigt, wie diese verschiedenen Einflüsse auf theoretischem Weg berücksichtigt werden können und vergleicht die Ergebnisse der Berechnung und der Versuche.

F. FALTUS macht auch auf den Einfluß der Hebelwirkung aufmerksam, der bereits im «Vorbericht» erwähnt wurde.

Die durch die Verbindungen mit axial beanspruchten Schrauben aufgeworfenen Probleme können heute noch nicht als genügend geklärt angesehen werden, besonders wenn die Anschlüsse nicht nur auf Zug, sondern auch auf Biegung und Schub oder dynamisch beansprucht werden.

Auf diese Fragen konnte der gegenwärtige Kongreß keine endgültige Antwort geben; er hat aber den Weg gewiesen und die Untersuchungen aufgezeigt,

die sowohl vom theoretischen Standpunkt als auch für die praktischen Ausführungen noch zu machen sind. Persönlich finde ich allerdings, daß Verbindungen mit axial beanspruchten Schrauben die Ausnahme bleiben sollten; sie führen nämlich zu einer beträchtlichen Störung des Kraftverlaufes. Die Kräfte, die zuerst auf die Querschnittsfläche des angeschlossenen Elementes verteilt sind, müssen umgelenkt werden, um sich in den Anschlußschrauben konzentrieren zu können. Eine solche Verbindung ist also weitentfernt vom direkten Anschluß, der in der Stumpfschweißung verwirklicht wird.

c) Schweißen und Kleben

Schweißen

Die Verwendung neuartiger Schweißverfahren im Stahlbau wurde im «Vorbericht» von verschiedenen Autoren beschrieben, während C. F. KOLLBRUNNER sie in seinem Beitrag im «Schlußbericht» umreißt.

Auch hier sind es vorwiegend wirtschaftliche Gründe — die steigenden Löhne und das Fehlen qualifizierten Personals —, die zu einer immer breiteren Anwendung der halbautomatischen und automatischen Verfahren drängt, u. a. die Unterpulver- oder die Schutzgasschweißung, insbesondere mit CO₂.

Obwohl diese Verfahren gelegentlich zu Mißerfolgen geführt haben, sind sie im allgemeinen zufriedenstellend, was die Güte der Schweißnähte anbelangt. Es ist daher verständlich, daß versucht wird, ihr Anwendungsgebiet zu erweitern, sei es für Montageschweißung oder für die Verarbeitung der Sonderstähle hoher Festigkeit, die unter a) besprochen wurden. Für die Stähle höchster Festigkeit ist das Problem noch nicht vollständig gelöst. Es muß aber hinzugefügt werden, daß sogar bei Handschweißung für diese Stähle gewisse Vorsichtsmaßnahmen nötig sind, falls ernste Unannehmlichkeiten vermieden werden sollen. So ist es z. B. wichtig, daß keine für den Zusammenbau nötigen Hilfselemente oder andere nicht zur eigentlichen Konstruktion gehörende Teile geheftet werden. Auch soll der Lichtbogen nur im Bereich der Schweißkanten gezündet werden; so werden sowohl für die Ermüdungsfestigkeit als auch für den Sprödbbruch gefährliche Kerbwirkungen vermieden.

Zu erwähnen wäre auch das Problem der Gestaltung der geschweißten Bauwerke und ihrer Stoßverbindungen. Dabei wird insbesondere an die großen Vollwandträger gedacht, bei welchen in verschiedenen Ländern Gurtungen aus mehreren durch Längskehlnähte verbundene Lamellen vorgesehen werden, wie dies bei genieteteter Ausführung notwendig ist. Die Verwendung einer einzigen Lamelle, deren Stärke und Breite den Beanspruchungen angepaßt werden, scheint allerdings besser den spezifischen Forderungen der Schweißung zu entsprechen. Das Problem der Sprödbrechtsicherheit wird normalerweise zur Wahl einer Stahlgüte führen, die für die dickere Lamelle strengere Kerbschlagvorschriften erfüllen muß. Der kleine sich daraus ergebende Preis-

zuschlag ist durch das Wegfallen der Längsnähte mehr als aufgewogen. Darüber hinaus werden die für die Ermüdungsfestigkeit ungünstigen Quernähte am Lamellenanfang vermieden.

Kleben

Was das Kleben anbelangt, stehen wir auf dem Gebiet des eigentlichen Stahlbaues bei den ersten Untersuchungen und am Anfang der Anwendung. Obwohl das Kleben gewisse Vorteile bietet, da bei dieser Verbindungsart die Eigenschaften des Grundmaterials unbeeinflusst bleiben und die Kräfte gut verteilt eingeleitet werden, ist es nicht sehr wahrscheinlich, daß es zu einer raschen Entwicklung kommt, mindestens nicht für ausschließlich geklebte Verbindungen. Ein Zusammenwirken Kleben-HV-Schrauben könnte dagegen eine gewisse Zukunft haben, zum mindesten wenn es dadurch möglich sein sollte, die zulässigen Beanspruchungen zu erhöhen und besonders einige der Schwierigkeiten zu vermeiden, die einem korrekten Einbau dieser Schrauben entgegenwirken: Notwendigkeit eines Sand- oder Flammstrahlens der Kontaktflächen, hoher erforderlicher Genauigkeitsgrad der Werkstattfertigung, um eine Verringerung der Klemmkraft durch ein nicht sattes Anliegen der Füge-teile zu vermeiden, Rostschutzfrage usw.

d) Ermüdungsfestigkeit von Konstruktionsteilen

Das im «Vorbericht» aufgeworfene Problem der Ermüdungsfestigkeit hochfester Stähle (St 52 inbegriffen) im Vergleich mit derjenigen des Baustahles St 37 wurde ausführlich von J. W. FISHER und I. M. VIEST, F. STÜSSI, H. BEER und O. A. KERENSKY diskutiert. Es zeigt sich dabei, daß die Ansichten stark auseinandergehen.

Was festzustehen scheint, ist, daß hochfeste Stähle kerbempfindlicher sind als St 37. Wie H. BEER bemerkt, müssen auch die sich aus der Beschaffenheit der Mikrostruktur des Metalles ergebenden Kerben berücksichtigt werden, wobei diese Struktur selber direkt durch das Herstellungsverfahren beeinflußt wird. Es ist übrigens bekannt, daß die Ermüdungsfestigkeit des vor dem Krieg erzeugten Stahls St 52 niedriger war als diejenige der heutigen Feinkornstähle⁴⁾. Wie von F. STÜSSI verlangt, ist es also Sache der Metallurgen, Stähle zu entwickeln, deren hohe mechanische Eigenschaften nicht auf Kosten einer guten Ermüdungsfestigkeit erreicht werden.

⁴⁾ Für gewisse legierte Stähle scheint sogar eine Parallelität zwischen den Werten der Kerbschlagzähigkeit und denjenigen der Wechselfestigkeit zu bestehen, wie M. POMEY und M. MISSON in ihrer Arbeit erwähnen: «Der kontinuierliche Strangguß von Baustählen für die Kraftfahrzeugindustrie in Frankreich», Technisches Informationsblatt der Wirtschaftsabteilung des franz. Generalkonsulates in Zürich, Nr. 11, 1964.

Daß diese Bedingung nicht nur für das Grundmaterial, sondern auch für sorgfältig ausgeführte und abgearbeitete Stumpfnähte erfüllt werden kann, zeigen die Versuche mit Stahl 60 T für die Brücke von Chamoson⁵⁾ und diejenigen mit den ALDUR-Stählen⁶⁾: In beiden Fällen erreicht die Ursprungsfestigkeit etwa 60% der statischen Zugfestigkeit wie beim Baustahl St 37.

Bei Schweißnähten mit sehr scharfen Kerben (wie Flankenkehlnähte am Ende einer Verstärkungslamelle ohne Stirnnaht, eine Ausführung, die für die Brücken der AASHO-Versuche — von J. W. FISHER und I. M. VIEST im «Vorbericht» beschrieben — gewählt wurde und der niedrigsten Kurve entspricht, d. h. der Kurve F in den Dienstvorschriften 848 der DB) ist der Unterschied zwischen St 52 und St 37 tatsächlich sehr klein; es muß allerdings bemerkt werden, daß in beiden Fällen dieselben Elektroden verwendet werden und daß die (statische) Zugfestigkeit der Nähte praktisch nicht von der Festigkeit des Grundmaterials abhängt⁷⁾. Man muß sich also fragen, ob nicht auch bei Ermüdungsversuchen eher die Ermüdungsfestigkeit des Schweißgutes als diejenige des Grundmaterials bestimmt wird, wobei dieses Grundmaterial vorwiegend bei der Rißfortpflanzung eine Rolle spielt.

Auf alle Fälle kann es nicht verwundern, daß eine ungünstige Anordnung der Schweißnähte zu einer ungenügenden Ermüdungsfestigkeit führt, und die Schlußfolgerungen sind einleuchtend: Um auch bei Ermüdungsbeanspruchung die unbestrittenen Vorzüge der hochfesten Stähle zu bewahren, ist es nötig, beim Entwurf, bei der Gestaltung und bei der Ausführung geschweißter Konstruktionen besonders sorgfältig vorzugehen und somit Spannungskonzentrationen und Kerbwirkungen im allgemeinen auf ein Minimum zu beschränken.

H. BEER, W. HENDERSON und O. A. KERENSKY bringen interessante Beiträge zur Frage des Verhaltens unserer Bauwerke bei den tatsächlich vorkommenden Ermüdungsbeanspruchungen. Zwei Teilprobleme sind hier zu berücksichtigen:

- die Schädigung eines Bauteiles, der einem Spannungsspektrum und nicht Lastwechseln konstanter Amplitude ausgesetzt ist, wie bei den klassischen Ermüdungsversuchen;
- der tatsächliche Verlauf der Beanspruchung der Tragwerke unter Betriebsbedingungen.

⁵⁾ «Verwendung hochfester Baustähle für zwei Brücken in der Schweiz», im vorliegenden «Schlußbericht», IIa 1.

⁶⁾ F. WALLNER: «Hochfeste schweißbare Baustähle», «Vorbericht» des 7. Kongresses, Fig. 2, Kurve B, S. 355. Die von F. WALLNER zum Vergleich herangezogenen amerikanischen Baustähle (gleiche Figur) scheinen auf Ermüdung empfindlicher zu sein, was zum Teil die Schlußfolgerungen von J. W. FISHER und I. M. VIEST erklären könnte.

⁷⁾ Anlässlich des in der Fußnote 3 erwähnten Kongresses der EGKS wurde von F. W. BORNSCHEUER vorgeschlagen, in Kehlnähten die gleichen zulässigen Spannungen für St 37 und St 52 festzusetzen.

Die erste Frage ist sicher nicht ganz gelöst, aber sie war schon oft Gegenstand versuchsmäßiger und theoretischer Untersuchungen und, wie von W. HENDERSON bemerkt, kann man hoffen, bald zu einer gültigen Lösung zu gelangen.

In bezug auf die tatsächlichen Beanspruchungsbedingungen stehen wir noch ziemlich am Anfang. Es kann in diesem Zusammenhang erwähnt werden, daß die Deutsche Bundesbahn Messungen⁸⁾ an einer stark belasteten Eisenbahnbrücke durchgeführt hat und daß vom Dreierausschuß UIC/RILEM/IVBH beschlossen wurde, diese Untersuchungen auf Bauwerke verschiedener Typen zu erweitern. Die Auswertung der Ergebnisse wird sicher nicht einfach sein, weil es sich darum handelt, das Wichtige herauszuholen und dadurch zugleich besser begründete und trotzdem genügend einfache Grundlagen für die Bemessung auf Ermüdung zu erhalten. W. HENDERSON berichtet, daß in Großbritannien versucht wird, für Straßenbrücken zu ähnlichen Ergebnissen zu gelangen auf Grund einer statistischen Untersuchung der Angaben, die sich auf in Betrieb befindliche Fahrzeuge beziehen. Im zweiten Teil seines Beitrages schlägt W. HENDERSON vor, auf Ermüdung besonders gefährdete Bauteile für eine beschränkte Lebensdauer zu entwerfen. Obwohl dies auf gewissen Gebieten des Maschinenbaues üblich ist, ist eine Anwendung dieses Prinzipes auf Bauwerke fragwürdig und wäre es nur aus wirtschaftlichen Gründen.

A. A. VAN DOUWEN und C. C. VEERMAN beschreiben ein elektronisches Gerät, das erlaubt, plastische Verformungen von Metalloberflächen zu beobachten; dies wird vielleicht erlauben, die Gefahr eines Ermüdungsbruches zu bestimmen, ohne bis zum Bruch der Probestäbe zu gehen.

Dadurch könnten die noch fehlenden versuchsmäßigen Angaben rascher erhalten werden, welche im Zusammenhang mit empirischen Gesetzen, wie die wohlbekannten von F. STÜSSI, es erlauben würden, unsere Kenntnisse auf dem so wichtigen Gebiet der Ermüdungsfestigkeit zu ergänzen.

e) Traglastverfahren im Hinblick auf hochfeste Stähle und neuartige Verbindungsmittel

Der Beitrag von R. ANSLIJN, J. JANSS, E. MAS und CH. MASSONNET bringt eine interessante Ergänzung zu der im «Vorbericht» erschienenen Arbeit. Die beschriebenen Versuche beziehen sich auf das Ausbeulen von Winkeln und auf Traglastversuche an geschweißten Rahmenecken aus Stahl St 37 und St 52.

Untersuchungen dieser Art sind sehr nützlich, weil sie fruchtbare Aus-

⁸⁾ Diese ersten Versuche zeigen deutlich, daß die großen Amplituden und die max. Spannungen nur selten vorkommen.

künfte über die Traglast unserer Bauwerke geben, ein Kriterium, das bestimmt seine Bedeutung hat, obwohl es nicht als alleinige Bemessungsgrundlage dienen kann. Wir berühren übrigens damit das allgemeine Problem der Tragwerksicherheit, eine Frage, die ausführlich im Unterthema Ic des gegenwärtigen Kongresses behandelt wurde und auf die zurückzukommen es also nicht erforderlich ist.

General Report

The chief purpose of the general report published in the Final Report is to present the results of the discussion and the progress achieved, in order to draw from them the principal conclusions. For some of the subjects belonging to Theme II, however, no use was made of the discussion, while for others it was mainly concerned with particular points. It will therefore be difficult to establish conclusions of a general nature and we shall confine ourselves to those aspects of the problems which more particularly engaged the attention of the Congress.

a) High Tensile Steels and Their Fabrication

The problem of the fabrication of high-strength steels did not, unfortunately, arouse much interest: only one paper was submitted for the Preliminary Publication and the discussion was not utilised during the Congress¹).

What is the present position in regard to high-strength steels? Without devoting attention to manufacturing processes, particularly heat treatments, which come within the scope of metallurgy, it is possible to state that the chief problems relating to the use of such steels have, to a large extent, already been solved; this applies more particularly to welding, since electrodes of suitable grades²) are now available and we know the precautions that must be taken (pre-heating temperature, control of the supply of energy during

¹) The contribution entitled "Use of High Strength Steels for the Construction of Two Bridges in Switzerland", which appears in the present Final Report, was included in the verbal general report presented to the Congress.

²) See, for example, R. NITTKA: «Schweißen höherfester Feinkornbaustähle unter besonderer Berücksichtigung neuartiger vergüteter Baustähle, Oerlikon Schweißmitteilungen No. 53 (1965).

welding, etc.) in order to avoid, especially where heat-treated steels are concerned, any unacceptable change in the micro-structure, resulting in a reduction of the ductility (quenching effect) or of the tensile strength.

From the economic point of view, it must be fully recognised that, at least under European conditions, the additional cost of high-strength steels is often of the same order of magnitude as the increase in the yield point. As already indicated in the Preliminary Publication, we are not discussing here steels of grades 50 to 52 whose cost is often much the same as that of mild steels if a fairly severe impact test is specified for the latter, which leads automatically to more careful manufacture and a normalising treatment. For steels whose yield point reaches or exceeds 40 kg/mm², the gain on the cost of the material will consequently be moderate even for elements where the yield point is practically the sole basis of structural design (tanks under pressure or full pipes, tensioned bars of lattices subjected to static stresses, etc.). For plate girders, the position is still less favourable, since the web is only utilised on its edges and the problem of buckling is the decisive factor in the choice of the thickness. In order to overcome this difficulty, the provision of webs made of a grade of steel inferior to that of the flanges has been envisaged in the United States, but this gives rise to other problems.

As far as the use of high-tensile steel in the workshop is concerned, the economic advantages are again somewhat limited. The tonnage to be fabricated is undoubtedly smaller, but the labour cost per unit weight is considerably higher, more particularly on account of the greater precautions that have to be taken both in the preparation and in the welding.

Hence it is readily understandable that the field of application of high-strength steels is somewhat limited at the present time, particularly if we do not take into account its use in boiler making, which does not come directly within the scope of the activities of IABSE. The position appears to be different in Japan where high-strength steels (heat-treated and other grades) appear to be widely used for the construction of bridges³). Possibly, the extra cost for quality of these grades is not so high in Japan.

In conclusion, it may be stated that it is mainly considerations of an economic nature, and not technical difficulties, which stand in the way of an increased use of high strength steels. Consequently, the onus of a reconsideration of the problem falls mainly on the producers, in close collaboration, of course, with the users.

³) See, for example, the article by G. TANAKA and S. HASEGAWA, which appeared in the Preliminary Publication, IIc 3, p. 457, or the introductory report by H. KIHARA and T. OKUMURA to Working Party I (Bridges, Elevated Roads and Flyover) of the "Steel Utilisation Congress" of the European Coal and Steel Community, Luxembourg, October 1964; Italian Translation under the title «Stato attuale della tecnica di costruzioni dei ponti in acciaio in Giappone» (Present Status of Steel Bridges in Japan), *Costruzioni metalliche*, 1965, No. 2.

b) Friction-Grip-Bolts (High Strength Bolts)*Lapped Joints (Sheared Bolts)*

To supplement his paper, which appeared in the Preliminary Publication, I. KONISHI gave some interesting details regarding the tests he has undertaken. He indicated, in particular, that in fatigue tests under stresses close to the slip load, the frequency of repeated cycles seems to be important.

We shall venture to call attention once again, in this report, to the somewhat considerable differences that continue to exist between the various countries as far as the calculation of bolted connections and the estimation of safety are concerned. This point is also emphasised by F. FALTUS at the end of his important paper. Some of these differences may be explained quite reasonably by different economic conditions. In the U.S.A., for example, the high labour cost makes it uneconomical to carry out a treatment of the faying surfaces, designed to increase the slip coefficient. Attention is drawn to this point in the paper by J. W. FISHER and L. S. BEEDLE who show the extension of American researches relating to connections by means of high strength bolts and the development of the corresponding specifications.

Similarly, in certain cases of static stresses, slip may be regarded as a minor incident, which has led to the conception of "bearing-type" connection. This is a simple development of connections by ordinary bolts with, however, the advantage of minimum deformations in service (since the slip load is not normally reached) and of a smaller number of bolts owing to their greater shear strength.

What is less readily explained — and this is a matter to which we have already drawn attention in the Preliminary Publication — is the very wide variation in the coefficients of safety relating to the slip load (if we confine ourselves to friction-type connections) and in the values adopted for the slip coefficient under similar conditions. As F. FALTUS also points out, it would be advisable to deepen our knowledge regarding the phenomenon of friction.

The effective safety depends largely on the prestressing of the bolt and attention should be drawn, in this matter, to the two opposing conceptions regarding their installation:

- tightening by means of a calibrated wrench, with the uncertainties due to internal friction, unevennesses of contact, the accuracy of the measurement of the applied torque, etc.
- tightening by the turn of the nut method, with the reduction of the plastic reserve that it involves, together with the possibility of relaxation phenomena (somewhat slight according to FISHER and BEEDLE, on the basis of tests of relatively short duration).

O. A. KERENSKY drew attention to the problem of the corrosion of the faying surfaces, before and after assembly, and of the bolts themselves. There can be no doubt that experience in this field is still meagre and that international co-operation would be desirable.

For lapped joints it is therefore possible to assert that the main difficulties have been overcome, but that certain points still remain to be elucidated, particularly as far as method of installation and behaviour in service are concerned.

Connections by Bolts Under Tension

For connections with bolts under tension the theoretical and experimental researches have not reached such an advanced stage and the practical applications are less extensive.

As we indicated in the Preliminary Publication, the problem of the increase of the stress in the bolt, when a load is applied to the connection, can only be correctly solved if the actual mode of introduction of the forces applied is taken into account. The tests carried out for the fastening under tension of the tower of the port of Kobé and described by HIDEYUKI TADA and TAKEO NAKA (Preliminary Publication) afford a good illustration of this fact. Indeed, in their formula (1) which gives the increase in the stress on the bolt, the authors were obliged to introduce a "form factor" of the order of 0.6 in order to take account of the fact that the compression in the connecting parts does not disappear fully when the external force is applied to them directly. On the other hand, during bolt tightening, the deformation of the connecting parts is added to that of the shank of the bolt and the authors accordingly took into consideration, in their formula (3), a factor greater than 1 (probably somewhat by chance, equal to the reciprocal of the above-mentioned coefficient). F. FALTUS showed how it is possible to make allowance, in a theoretical manner, for these various influences and he compared the calculated values with those obtained experimentally.

Mr. FALTUS also emphasised the importance of the prying action, to which reference was made in the Preliminary Publication.

The problems arising from connections by means of bolts under tension cannot, therefore, be regarded as having been solved in a satisfactory manner at the present time, especially if we have in mind dynamic stresses and also connections subjected not to a pure tensile stress, but to bending and shear.

The present Congress was unable to provide a definitive answer to these questions. However, it did show the course to be pursued and indicate the research work that remains to be undertaken, both from the theoretical point of view and in regard to practical applications. Furthermore, it seems to me personally that connections with bolts under tension should remain the exception, because they lead necessarily to a considerable disturbance

of the play of forces, since the stresses which initially are distributed over the fastened part, subsequently deviate and become concentrated in the bolts; we are thus very far from the direct junction such as is achieved in butt welding.

c) Welding and Gluing

Welding

The use of new welding processes in metal structures was described by a number of authors in the Preliminary Publication, while C. F. KOLLBRUNNER indicated the main lines in his report.

Here again, it is mainly economic reasons — constantly increasing wages and shortage of skilled workers — which are prompting a more extended use of semi-automatic or automatic processes, whether these are concerned with submerged arc welding or welding under a gas shield, more particularly of CO₂.

Although they may sometimes result in failures, these processes generally give satisfaction as far as the quality of the welds is concerned and it is consequently understandable that attempts are being made to extend their field of application, either by welding during erection, or by the utilisation of the special high-strength steels to which reference was made under a). For the higher grades of steel, the problem has not been completely solved but it should be added that, even for manual welding, these steels require certain precautions to be taken if serious difficulties are to be avoided. It is important not to tack assembly templates or other components which are not to be welded subsequently. In addition, arcs should not be struck outside the welding grooves. Notch effects are thereby avoided which are detrimental both as regards fatigue and the risk of brittle fracture.

Another problem which deserves to engage attention is that of the design of welded constructions and of their joints. We have in mind, more particularly, large plate girders for which, in certain countries, flanges are specified comprising numerous cover plates connected by fillet welds such as are necessary in riveted construction. The adoption of a single flange, of variable thickness and width depending upon the stresses, would, however, appear to be more in accordance with the specific requirements of welding. The problem of safety as regards brittle fracture will undoubtedly lead normally to the choice of a quality of steel for the thick flange which would satisfy more severe impact tests. The resulting slight extra cost is, however, more than compensated by the elimination of the longitudinal fillet welds. Moreover, transverse welds at the end of the cover plates, which are always unfavourable to the fatigue strength, are obviated.

Gluing

In the field of metal structures we are still, as far as gluing is concerned, at the stage of preliminary research work and initial applications. Although gluing offers certain advantages, since it does not affect the properties of the base metal and leads to a well distributed introduction of the stresses, it is scarcely probable that we shall witness any rapid extension of the technique, at least as far as solely glued connections are concerned. A combination of gluing and high strength bolts might, on the other hand, have a future, at least if it were possible by this means to increase the permissible loads and above all to avoid some of the difficulties incidental to correct use of these bolts: the need for scraping clean the faying surfaces, rather strict manufacturing tolerances in order to avoid losses of clamping force due to poor contacts of the assembled parts, protection against corrosion, etc.

d) Fatigue Life of Structural Members

The problem of the fatigue strength of high strength steels (including steels of grade 50—52), compared with that of mild steels, which had been raised in the Preliminary Publication, was thoroughly discussed by J. W. FISHER and I. M. VIEST, F. STÜSSI, H. BEER and O. A. KERENSKY. It must be admitted that opinions differ widely.

What appears to be certain is that high strength steels are more sensitive to notch effects than mild steels. As H. BEER indicated, it is also necessary to take into account notches due to the microstructure of the metal, which is itself directly influenced by the processes of manufacture. Moreover, it is known that the fatigue strength of the grade 52 steels produced before the war was lower than that of the fine-grained steels now being made⁴). As F. STÜSSI points out, it is therefore incumbent upon the metallurgists to manufacture steels whose high mechanical properties are not acquired at the expense of good behaviour towards fatigue.

That this condition is capable of being fulfilled not only by the base metal, but also by carefully executed and ground butt welds, is proved by the tests carried out with 60 T steel for the Chamoson bridge⁵) and those relating

⁴) For some alloy steels, a parallelism would even seem to exist between the values for the impact tests and those for the resistance to alternating stresses, as indicated by M. POMEY and M. MISSON in an article entitled "Der kontinuierliche Strangguß von Bau-
stählen für die Kraftfahrzeugindustrie in Frankreich" (The continuous casting of structural steels for the motor vehicle industry in France). Technical Information Leaflet of the Economic Section of the French Consulate General in Zurich, No. 11, 1964.

⁵) "Use of High Strength Steels for the Construction of Two Bridges in Switzerland", in the present Final Report, II a 1.

to the ALDUR steels⁶). In both cases, the resistance to repeated stresses attains (or slightly exceeds) 60% of the static breaking strength, as for mild steel.

For welds characterised by very sharp notches, like the longitudinal filled welds at the end of a cover plate devoid of a ground frontal weld (arrangement existing in the bridges of the AASHO tests reported by FISHER and VIEST in the Preliminary Publication, and which correspond to curve *F* — the lowest — of the regulations of the German Railways), the difference between steel 52 and mild steel is, in actual fact, very slight. It will be observed, however, that the same electrodes are used in both cases and that the strength (static) of the welds is practically independent of the grade of the base metal⁷). In a fatigue test also it may be questioned whether it is not the fatigue strength of the weld metal that is determined rather than that of the base metal, which only intervenes for spreading the crack.

In any event, it is not surprising that an unsatisfactory arrangement of the welds entails an inadequate fatigue strength and the conclusion is obvious. In order to retain, even in the case of fatigue stresses, the undeniable advantage of high strength steels, it is advisable to devote particular care to the design of welded constructions and to their execution, in order to reduce to a minimum stress concentrations and notch effects in general.

H. BEER, W. HENDERSON and O. A. KERENSKY made an interesting contribution to the question of the behaviour of structures under the actual fatigue stresses. Two problems have to be considered here:

- the damage to an element subjected to a spectrum of stresses and not to cycles of constant amplitude as in the case of conventional fatigue tests;
- the actual variation of the stresses in structures in service.

The first problem has not, of course, been completely solved, but it has already been the subject of numerous experimental and theoretical researches and, as indicated by W. HENDERSON, it may be hoped that a reliable solution will shortly be obtained.

As far as the actual stress conditions are concerned, we are still in the initial stages. In this connection, we may mention that the German Railways have undertaken measurements of this kind on a heavily load railway bridge⁸)

⁶) F. WALLNER: «Hochfeste schweißbare Baustähle» (High Strength, Weldable Structural Steels). Preliminary Report of the present Congress, Fig. 2, curve B, p. 355. It will be observed that the American steels mentioned by WALLNER (same figure) are more sensitive to fatigue and this could explain, to some extent, the conclusion of FISHER and VIEST.

⁷) At the Congress of the European Coal and Steel Community mentioned in Note 3, F. W. BORNSCHEUER proposed the adoption, for fillet welds, of the same permissible stresses for mild steel and for steel 52.

⁸) These preliminary tests show quite clearly that large amplitudes and maximum stresses seldom occur.

and that it was decided, by the UIC-RILEM-IABSE tripartite commission, to extend these researches to various types of bridges. The interpretation of the results will certainly not be easy because it will be a matter of defining the broad lines and thus obtaining bases both well-grounded and sufficiently simple for structural design in relation to fatigue. W. HENDERSON stated that attempts were being made in Great Britain, in the case of road bridges, to attain this result by a statistical analysis of the data relating to the vehicles in the traffic. In the second part of this paper, HENDERSON suggested that for elements specially subjected to fatigue, structural design should be based on a limited service life. Although this is done in certain mechanical engineering industries, it is difficult to see how an application of this principle could be made to engineering structures, if only for economic reasons.

A. A. VAN DOUWEN and C. C. VEERMAN described an electronic apparatus which enables plastic deformations to be detected on the surface of a metal, and this would perhaps make it possible to estimate the risk of rupture by fatigue without being obliged to have recourse to tests to destruction.

The experimental data still lacking would thus be obtained more quickly and such data, supplemented by empirical relationships, such as the well-known laws due to F. STÜSSI, would enable us to complete our knowledge in this most important field of fatigue strength.

e) Plastic Design with Reference to High Tensile Steels and Modern Methods of Connection

The contribution by R. ANSLIJN, J. JANSS, E. MAS and CH. MASSONNET successfully completes the paper which appeared in the Preliminary Publication. The tests described were concerned with the buckling of angles and the testing to destruction of connections made with 37 and 52 steels.

Researches of this kind are most useful since they provide fertile information on the limiting strength of our structures, a criterion which is undoubtedly of importance, although it cannot serve as the sole basis of structural design. Here we are bordering on the general problem of the safety of structures, a question that was extensively dealt with in item Ic) of the present Congress and on which it is therefore unnecessary for us to enlarge in this report.