

Biehl. Der Tonerde - Schmelzzement — Charlottenburg.

Bryła. Doświadczenia z betonami wykonanymi z polskiego cementu glinowego Alka - Elektro — „Przegląd Techniczny“ rok 1938.

Dorsch. Erhärtung und Korrosion der Zemente — Berlin 1932.

Höhl. Von der Prüfung und Verarbeitung des Tonerdezements.

Kragen. Technologia cementu glinowego — Warszawa 1935.

Marcotte. La corrosion des bétons armés — Chimie et Industrie 1935.

Roscher Lund. Ueber die Ursachen der Abbindestörungen eines Tonerdeschmelzzementes „Zement“ 1929.

Vierheller. Betonieren bei Frost mit Schmelzzement — 1926.

Vierheller. Die Verarbeitung von Tonerde - Schmelzzement — Berlin.

Craddock. Deterioration of concrete structures in alkaline and sea - water — Cement and Cement Manufacture 1935.

Prof. Dr Inż. STEFAN BRYŁA

Referat zgłoszony na IV Zjazd Inżynierów Budowlanych

## KATASTROFA MOSTU W HASSELT

W marcu br. zawalił się stalowy most spawany w Hasselt w Belgii. Katastrofa ta wzbudziła liczne echa w literaturze technicznej całego świata. Wprawdzie katastrofy mostów — i stalowych i żelazobetonowych — nie są niestety zjawiskiem wyjątkowym, niemniej była to pierwsza i jedyna dotąd katastrofa mostu spawanego mimo młodego wieku tych konstrukcyj. Przyznać należy, że ani jeden z wielu autorów omawiających daną katastrofę, nie podszedł do tej sprawy pod kątem jakiegokolwiek umniejszania walorów spawania i w żadnym artykule nie pojawiła się nuta na temat osłabienia tego niezmiernie szybkiego tempa, w jakim spawanie wchodzi w życie w konstrukcjach mostowych. Wszyscy podeszli do niej jedynie pod kątem możliwego zbadania przyczyn i wyciągnięcia wniosków na przyszłość.

Oczywiście, jest to droga jedyna. Każdemu postępowi musi towarzyszyć i niejedno nieudanie. Może ono pochodzić z nieświadomości, może pochodzić z nieuwagi, z braku ostrożności, może powodem jego być licha robota. W każdym razie zawsze ono uczy jak postępować, by w przyszłości podobnych wypadków nie było.

Most w Hasselt był mostem drogowym, parabolicznym, bezprzekątniowym o rozpiętości 74,52 m wysokości dźwigarów głównych 10,20 m i ich rozstawie 10,50 m. Dźwigary główne miały po dwaście pól. Jako materiał przepisana była stal Thomasowska o wytrzymałości  $R_t = 4200$  do 5000 kg/cm<sup>2</sup>, a granica plastyczności  $Q_t$  większej od 2800 kg/cm<sup>2</sup> i takąż stal zastosowano.

Podczas katastrofy pękł najpierw pas dolny w pobliżu jednego z węzłów i w pobliżu styku. W drugim dźwigarze utworzyło się pęknięcie w spoinie, po czym nastąpiło przerwanie pasów dolnych. Z tą chwilą ustrój zaczął pracować jako łuk paraboliczny; oddziaływania poziome tego łuku ścięły jednak przyczółki, a tym samym łuk paraboliczny stał się z kolei belką wolnopodpartą o kształcie parabolicznym, która to belka było oczywiście zbyt słaba, by przenieść momenty zginające, i załamała się.

Zapytywany bezpośrednio po katastrofie o możliwe jej przyczyny, wydałem następującą opinię na podstawie nadesłanego mi materiału<sup>1)</sup>:

<sup>1)</sup> Ustępy w cudzysłowie są powtórzeniem owej mojej opinii, ustępy nie zaopatrzone cudzysłowem dodaję obecnie.

1. „Stal zastosowana mogła mieć niewystarczające własności spawalnicze<sup>2)</sup>. To przypuszczenie zdaje się być o tyle prawdopodobne, że szybkie zawalenie się mostu świadczy o kruchości materiału, materiał zaś nadający się dobrze do spawania, np. stal handlowa, nie podlega tym ujemnym skutkom, powodującym kruchość materiału w pobliżu miejsca spawania“.

Już doświadczenia przeprowadzone dziesięć lat temu, m. in. i moje, wykonane przed przystąpieniem do budowy mostu pod Łowiczem na rzece Słudwi, stwierdziły bezspornie, iż stal gatunku handlowego (zarazem stal 010W, wzgl. A35) nadaje się doskonale do spawania. Jest to stal, jak w ogóle stale polskie, Martinowska. Kwalifikacje jej spawalnicze określił wyraźnie II. Kongres Mostów i Konstrukcyj Inżynierskich odbyty w Berlinie w r. 1936, stwierdzając jednomyślną uchwałą na wniosek komisji<sup>3)</sup> w mojej redakcji, że stal ta nadaje się bez żadnych wątpliwości do spawania. Zarazem jednak uchwała ta stwierdzała, że inne stale należy przed stosowaniem ich badać na własności spawalnicze. Wśród różnych gatunków stali wyrabianych w Polsce i używanych nie tylko wyłącznie do celów konstrukcyjnych, produkowano niektóre, które nadawały się gorzej do spawania. Spawanie bowiem w konstrukcjach budowlanych w Polsce jest tak dominującą i zmierzającą do wyłączenia metodą, że stale gorzej spawalne, któreby mogły ewentualnie znaleźć zastosowanie w budownictwie, nie mają u nas w ogóle zbytu i zastępuje się je stalami spawalnymi.

Należy ponadto pamiętać, że miarą dobroci połączenia spawanego nie jest bardzo wielka wytrzymałość elektrody, ale jednorodność spoiny i materiału konstrukcyjnego, (na co zwracano wielokrotnie uwagę<sup>4)</sup>). Obecnie np. na podstawie wielu doświadczeń przeprowadzonych przez Tow. Air Liquide pod kierunkiem prof. Brillie wysuwa się propozycje przeprowadzenia prób spawania i w tym kie-

<sup>2)</sup> Obecnie można stwierdzić, że rzeczywiście tak było.

<sup>3)</sup> W komisji zasiadali: Bierett, Combournac, Karner, Schaper i ja.

<sup>4)</sup> Por. np Spawanie i Cięcie Metali 1938. Nr 6., zaś w dziale spawania konstrukcyjnego moje artykuły i wykłady.

runku. Stal bowiem, na skutek procesów termicznych, zachodzących podczas spawania, może doznać zmian strukturalnych, które w rozmaitych gatunkach stali są rozmaite.

Jak wyżej wspomniałem, zastosowano przy budowie mostu w Hasselt stal Thomasowską. Stal ta, z powodu dużej zawartości krzemu, fosforu i siarki, nie posiada własności spawalniczych w tym stopniu, w jakim posiada je stal Martinowska. Na analogiczne trudności natknięto się również przy niektórych gatunkach stali w Niemczech<sup>5)</sup> i we Francji<sup>6)</sup>. U nas, w Polsce, trudności tych nie ma, gdyż stosujemy stal Martinowską. Jest to też przestroga, aby nie wprowadzać w naszych stalowniach świeżenia stali sposobem Thomasa (przed czym przestrzega z innych powodów Przegląd Mechaniczny, 1938).

W danym wypadku wymagania stawiane przez projektodawców nie podawały cech, najważniejszych tu, metalurgicznych i w konsekwencji nie żądały stali dobrze spawalnych, żądały jedynie cech wytrzymałościowych ( $R_r$  i  $Q_r$ ). Zastosowano zaś materiał mniej jednorodny niż stal Martinowska i zbliżony własnościami do zarzuconych u nas w budownictwie gorzej spawalnych gatunków stali. Podczas wykonania nastąpiło podhartowanie stref przejściowych obok spoiw, powodujące szkodliwą zawsze, a w danym wypadku w moście tym bardziej szkodliwą kruchość materiału. To najprawdopodobniej było jedną przyczyną katastrofy.

2. „Te ujemne skutki przejawiały się tym bardziej przy zastosowaniu grubych elektrod używanych niekiedy (również w danym wypadku) w Belgii, a wymagających dużego natężenia prądu. Nadmienić należy bowiem, że im cieńsze są poszczególne warstwy, układane w spoinie, tym dokładniej i równomierniej odbywa się samoczynne wyżarzanie dolnych warstw przez górne i ulepszenie struktury spoiwa. Dlatego też spoiny wielowarstwowe wykonywane cieńszymi elektrodami mają lepsze własności mechaniczne. Również odkształcenia i naprężenia termiczne, stanowiące zresztą układ sam w sobie, są większe przy spawaniu grubymi elektrodami.

Ponadto przy wykonaniu mostu stosowano dla szybkości trojkie elektrody o rozmaitych własnościach i wymagające innych sposobów wykonywania spoin, co często nie było przestrzegane.

3. „Powyższe mankamenty przejawiają się tym bardziej, im grubsze są łączone blachy; dochodziły one tutaj do grubości 55 mm“.

4. „Do tych wszystkich czynników przyłączył się moment lichego wykonania, tak co do spawaczów, jakoteż co do kolejności spoiw“.

Samo stosowanie grubych blach nie jest w ogóle błędem w konstrukcjach spawanych; wręcz przeciwnie, stosowane ono jest dzisiaj chętniej niż dawniej. Trzeba tylko pamiętać, gdzie i jak. Bo sprawa projektu spawanego jest bardziej skomplikowana, niż przypuszcza ktoś, kto widział inne projekty spawane i zapoznał się z zasadami obliczenia konstrukcji

spawanych. Wymaga ona skupionego i bardzo poważnego podejścia, opartego na znajomości samego spawania. Projektując konstrukcje spawane, trzeba znać proces spawania, jego objawy i jego konsekwencje. Trzeba wiedzieć, że projekt tak musi być wykonany, aby nie sumował w pewnych miejscach wszystkich najniekorzystniejszych czynników. Dotyczy to wszystkich nowych materiałów konstrukcyjnych w ogóle. Beton wykonywany dzisiaj jest też przy pewnej ilości cementu wyżej wartościowy od betonu z tą samą ilością cementu wykonywanego lat temu pięćdziesiąt, ale wymaga odpowiednio bardziej przygotowanego i bardziej inteligentnego podejścia. Tego samego wymaga spawanie w stosunku do nitowania. Potrzebne jest to tutaj w obu fazach: projektowania i wykonywania. Inżynieria wstępując na coraz to wyższe wyżyny, stosując coraz lepsze materiały, wyszukuje je coraz bardziej, wprowadzając doskonalsze metody wykonania, przechodzi stale od surowego rzemieślniczego typu pracy, do typu świadomej siebie i wnikającej głęboko inteligentnej pracy inżynierskiej w pełnym tego słowa znaczeniu. Spawacz stać musi na znacznie wyższym poziomie niż niciarz, który dba tylko o to, by nity były odpowiednio zagrzane i główki nabite i nie zastanawia się nad tym, czy i jak uszkodzi się przy tym krawędź dziury nitowej, czy się nie uszkodzi. Spawacz musi pamiętać o szeregu czynników i o nich myśleć.

Dlatego solidność firmy i odpowiedzialność robotnika ma tu pierwszorzędne znaczenie. Poruszałem tę sprawę wielokrotnie m. in. w Przeglądzie Budowlanym w r. 1937<sup>7)</sup>.

W danym wypadku czynnik ten szwankował. Wszystkie sprawozdania stwierdzają, że wykonanie mostu w Hesselt nie było na odpowiednim poziomie. Spawacze zmieniali się kilkakrotnie. Kontrola była słaba. W poszczególnych miejscach blachy łączone stykowo były przedstawione względem siebie nawet o 15 mm. Kolejność nakładania spoin nie była zupełnie rozważana, a kolejność wykonania była sprzeczna z zasadami i prowadziła do wyjątkowo wysokiego maximum naprężeń wewnętrznych. Znowu przypomnę katastrofę mostu żelazob-

<sup>7)</sup> Cytuję wyjątki z tego artykułu:

W ostatnim czasie miałem sposobność skontrolować parę budowal stalowych i doszedłem do wniosków bardzo przykrych. Firmy podejmujące się robót konstrukcyjnych powstają niekiedy ad hoc, dla pewnej roboty, nie posiadając do tego żadnych kwalifikacji, nie przestrzegając żadnych przepisów i nawet nie wiedząc, że jakies przepisy istnieją. Potrzeba wykonać konstrukcję — sprowadza się spawaczów, nie wiadomo skąd i nie wiadomo jakich i bierze się robotę. Firma po prostu uczy się spawać na danej budowie kosztem odbiorcy, bez żadnego nadzoru, bez kontrolowania jakości robót, bez przestrzegania zasad nakazywanych przez przepisy, a dyktowanych najprostszymi zasadami ostrożności.

Wobec coraz większego rozpowszechnienia konstrukcji spawanych uważam, że nie można o tym milczeć, ale sprawę trzeba postawić jasno i wyraźnie. Ten, który jest najtańszy, może być tylko wtedy przyjęty, jeżeli należy do wykonawców solidnych. W przeciwnym razie będzie nie tylko zachwaszczał technikę polską, obniżając ją do poziomu partactwa, ale będzie nadto prowadził do katastrof.

Spawalnictwo stoi u nas na bardzo wysokim poziomie, tak wysokim, że odpowiada ono wszelkim wymaganiom.

<sup>5)</sup> Por. art. Zeyena. Sp. C. Met. 1937.

<sup>6)</sup> Np. stal Ac. 54.

tonowego we Flensburgu w r. 1923, a więc po dobrych kilkudziesięciu latach istnienia i obywatelstwa żelazobetonu, który runął podczas rozszalowywania, na skutek nieracjonalnej kolejności unikania rusztowań. Jest to bardzo ścisła analogia do konieczności należytego podchodzenia do kwestyj, które laikowi zdają się być proste.

5. „Wreszcie należy zaznaczyć, że wszystkie wyżej podane czynniki są znacznie niebezpieczniejsze w konstrukcjach bezprzekątniowych, aniżeli w kratowych.

Ustroje bezprzekątniowe są bowiem bardzo przesztynnione i gorzej przejmują naprężenia termiczne, co wynika z ich ustroju i pociąga za sobą szereg ujemnych konsekwencji.

Już od dawna wskazywałem na mosty o normalnie stosowanej kracie trójkątowej, jako najracjonalniejszy ustrój większych konstrukcyj spawanych, odnosząc się krytycznie do spawanych mostów bezprzekątniowych (Por. moje sprawozdania i II. Międzynarodowego Kongresu Mostów i Konstrukcyj Inżynierskich w Berlinie w r. 1936).“

Na wspomnianej wyżej komisji tegoż Kongresu wystąpiłem przeciw wnioskowi, który proponował ten typ mostów zalecić w rezolucji kongresowej, i wywody te zostały przyjęte jednogłośnie, dzięki czemu propozycja ta nie została wniesiona na zebranie plenarne, dzisiaj okazuje się jak słusznie.

Ze natomiast racjonalność przyjęć, połączona z dobrą robotą, daje gwarancję, świadczy most na rzece Słudwi, wykonany lat temu dokładnie dzieść, a więc wtedy gdy spawanie konstrukcyj stalowych na świecie ledwie ząbkowało, które nie wykazuje najmniejszej wady.

Wnioski, wypływające z powyższych rozważań, są następujące:

1. Materiał konstrukcyjny stosowany w konstrukcjach spawanych powinien mieć odpowiednie własności spawalnicze. Nasze gatunki handlowe nadają się w zupełności do tego celu.

2. Przy spawaniu należy zapewnić możliwą jednorodność własności mechanicznych połączenia.

3. Grube elektrody nie są w ogóle wskazane. (U nas nie są one używane).

4. Projekt konstrukcyj spawanych powinien uwzględniać proces spawania i jego konsekwencje. W poszczególnych wypadkach powinien podawać i kolejność spawania.

5. Konstrukcja spawana musi być wykonana sumiennie, starannie i pod należytym nadzorem.

Na marginesie jeszcze jedna uwaga.

Już na III. Zjeździe Polskich Inżynierów Bu-

dowlanych w Katowicach w 1936 r. podczas dyskusji nad konstrukcjami spawanymi zwrócił uwagę prof. Huber, jak anormalnego zjawiska jesteśmy świadkami w Polsce. W Polsce nie gdzie indziej. Zjawiska, że doświadczenie i zdobycze polskich inżynierów dają przykład zagranicy i zapładniają ją, a równocześnie w Polsce są zwalczane — bo są polskie, a nie zagraniczne — i dopiero gdy zagranica je przyjmie, gdy je usankcjonuje i wprowadzi w życie, dopiero wtedy rozpowszechniają się w Polsce jako korzystanie z rezultatów prac i doświadczeń zagranicy (!). Obowiązkiem inżyniera jest myśleć twórczo, a nie być prowadzonym za rączkę przez drugich.

Tym bardziej, że myśleć twórczo umiemy. Dowodzą tego w danym dziale nie tylko nasze pionierskie kroki, czynione tak przez jednostki, jakoteż przez przemysł, jak wreszcie przez stowarzyszenia (Stow. dla Rozwoju Spawania i Cięcia Metali), i nie tylko wspaniałe rozwój konstrukcyj spawanych w budownictwie, poparty w mądrym zrozumieniu potrzeb państwa przez niektóre resorty, ale i nasze przepisy, wydane już tak dawno, które jednak dają mnóstwo wskazówek, których nie zachowanie było jedną z przyczyn katastrofy w Hasselt. Dowodzi tego również jasne myślenie naszego przemysłu, który wprowadza nowe gatunki stali dla konstrukcyj z uwzględnieniem i po zbadaniu ich spawalności i produkuje pełnowartościowe krajowe elektrody, dostosowane do gatunków stali wytwarzanych w Polsce oraz naszych warsztatów konstrukcyjnych, które same wprowadzają ulepszenia spawania i sprowadzają nowe instalacje, ale nadto popierają czynnie rozwój spawalnictwa w dziedzinie nauki. Chodzi o to, by na tym stanowisku stanęły wszystkie nasze władze.

Jeżeli zaś chodzi o katastrofę w Hasselt, to inżynier nie będzie uważał jej za przeszkodę wprowadzenia spawania w konstrukcji mostów, tylko wyciągnie z niej naukę. W r. 1923, w Ameryce oświadczone mi, że ilość zawalonych tamże mostów stalowych od 1890 r. wynosi przeszło 40. W ostatnim roku zawalił się wielki most stalowy nitowany na Snowy River w Australii. Mamy za sobą wiele katastrof mostów i konstrukcyj żelazobetonowych. A jednak nikt nie wyciąga stąd tej konsekwencji, by ich nie budować. Mamy nieomal co dzień duże katastrofy lotnicze i latamy dalej. W obrębie około 600—700 mostów spawanych wykonanych do dziś dnia, jedna jedyna katastrofa mostu w Hasselt jest dowodem, że spawanie jest tą właściwą metodą konstruowania, na którą wejść powinno co rychlej budownictwo mostów w Polsce.

Alte właśnie w państwie naszym, w każdej dziedzinie wytwórczości, obok zakładów stojących wysoko są i zakłady stojące już niezmiernie nisko, a co gorsza są ludzie i zakłady które gotowe są robić wszystko, chociażby o tym nie miały pojęcia.

Nie można liczyć na to, że konstrukcja stalowa stać będzie, bo jest stalowa. Tak nie jest. Bywały katastrofy nie tylko z domami murowanymi, nie tylko z konstrukcjami żelazobetonowymi, ale — choć rzadziej — i ze stalowymi.

Czyż konstrukcje żelazobetonowe odda kto firmie, której nie zna, i o której może przypuszczać, że będzie partaczny? Czyż przy konstrukcji żelazobetonowej nie przeprowadza się ścisłej kontroli na budowie? Czyż dopuści się

zleżały cement, brudny żwir, nienależytą mieszaninę, czy inne wady? A dlaczego analogiczne błędy miałyby się tolerować w konstrukcjach stalowych.

Najlepsze prawa i przepisy nie wystarczą, jeżeli zostaną na papierze i nie będą wykonywane. Dotyczy to wszystkich praw i wszystkich przepisów, a czyżby nie miało tyczyć się przepisów wykonania konstrukcyj budowlanych, a tym samym prowadziło do katastrof i do szafowania życiem i mieniem ludzkim?

Jest przysłowie „mądry Polak po szkodzie“. Myślę, że nie należy czekać na tę „szkodę“.

W naszej mocy jest ustrzec się od partactwa w technice polskiej i uczynić to jest naszym obowiązkiem.