

Середнє значення коефіцієнта запасу міцності, обчислене за залежністю (5), дорівнює $\bar{n} = 1,672$, середнє квадратичне відхилення, обчислене за залежністю (6), рівне $S_n = 0,185$. За цими параметрами розподілу коефіцієнта запасу міцності відповідно до (9) ймовірність того, що не настане граничний стан ємності, рівна

$$P = 0,5 + \Phi\left(\frac{1,672 - 1}{0,185}\right) = 0,5 + \Phi(3,622) = 0,99984.$$

Нижня границя оцінки цієї ймовірності відповідно до (10) рівна

$$P_{\gamma=95} = 0,5 + \Phi\left(3,622 - \frac{1,645}{\sqrt{50}} \cdot \sqrt{1 + \frac{3,622^2}{2}}\right) = 0,5 + \Phi(2,982) = 0,9986.$$

Висновки. Ймовірність ненастання граничного стану як характеристика міцнісної надійності більш точно відображає якісні особливості задачі надійності за критерієм міцності. Вона зростає при збільшенні запасу міцності і зменшенні розсіювання навантажень та граничних напружень матеріалів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б. Расчет деталей машин на прочность. Справочник. - М.: Машиностроение, 1979. - 702 с.
2. Дзюба Л.Ф., Зима Ю.В., Лютый С.М. Основы надійності машин. - Львів: Логос, 2003. - 204с.
3. Надежность и эффективность в технике: Справочник. В 10 т. Т.7. Качество и надежность в производстве/Под ред. И.В. Анполонова. - М.: Машиностроение, 1989. - 280 с.
4. Ольховий І.М., Ліщинська Х.І. Про вплив краєвих сил і додаткового газового тиску на міцність тонкостінних циліндричних резервуарів великої ємності // Пожежна безпека: збірник наукових праць. - 2005. - №7.

Prof. dr hab. inż. Jerzy ORŁOWSKI, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Polska

Dr inż. Zenon DRABOWICZ, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Polska

Dr inż. Taras SZNAL, Politechnika Lwowska we Lwowie, Ukraina

Dr inż. Jerzy Pawluk, Lwowsky Państwowy Uniwersytet Bezpieczeństwa i Ochrony Ludność, Ukraina

ZABEZPIECZANIE KONSTRUKCJI METALOWYCH PRZED POŻAREM ZA POMOCĄ FARB PĘCZNIEJĄCYCH

Przedmiotem badań było zabezpieczenie konstrukcji metalowych, szczególnie aluminiowych przed pożarem za pomocą farb pęczniejących. Badano płyty aluminiowe stosowane w inżynierii lądowej. Elementy konstrukcyjnej wykonane były ze stopów aluminium AMg-62T. Badania wykonane były w komorach ogniowych zgodnych z wymaganiami ISO 834. Odporność pożarowa elementów aluminiowych była równa 1 godzinie. Zaproponowano sposób obliczania odporności ogniowej konstrukcji metalowych.

1. Zastosowanie konstrukcji metalowych w budownictwie.

Konstrukcje aluminiowe stosuje się coraz częściej w budownictwie ze względu na ich zalety, do których należą przede wszystkim mały ciężar oraz duża odporność na korozję. Odporność na korozję wielokrotnie przewyższa odporność stosowanych w budownictwie gatunków stali. Powszechnie stosowane są lekkie kształtowniki i blachy aluminiowe jako elementy konstrukcyjne ścian osłonowych i przekryć dachowych w obiektach użyteczności publicznej.

W konstrukcjach budowlanych mają zastosowanie przede wszystkim stopy aluminium, które charakteryzują się znacznie wyższą wytrzymałością, niż czyste aluminium. Podstawowymi składnikami tych stopów jest aluminium, a składnikami stopowymi mogą być m.in. miedź, mangan, chrom, krzem i cynk. Wyroby ze stopów aluminium stosowane w budownictwie, to przede wszystkim elementy wyciskane w procesie hutniczym takie, jak kształtowniki, pręty i rury oraz elementy, które otrzymuje się w procesie walcowania, a więc min. blachy i taśmy.

W budownictwie wyroby ze stopów aluminium stosuje się na przekrycia dachowe, ściany osłonowe, świetliki dachowe, okna i drzwi. Coraz częściej stopy aluminium stosuje się jako elementy konstrukcyjne hal o dużych rozpiętościach oraz jako elementy nośne szklarni, silosów, zbiorników na ciecze i baseny kąpielowe. Znane są przykłady zastosowania stopów aluminium do wykonania mostów i rusztowań budowlanych, a także kratownic przestrzennych, w tym kopuł siatkowych o dużej rozpiętości.

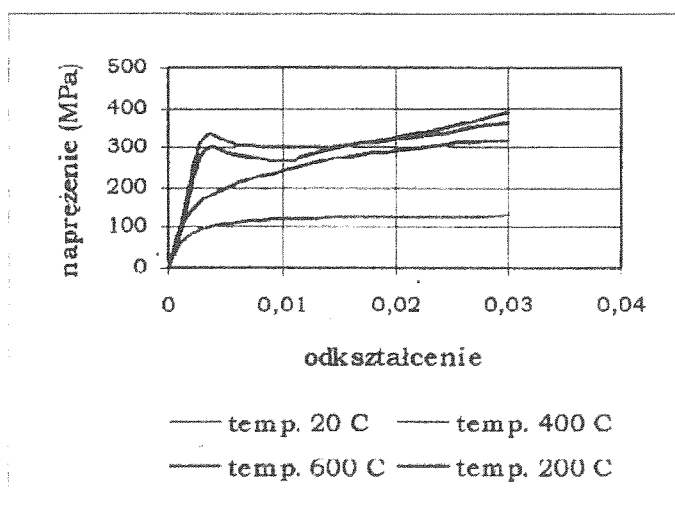
2. Wpływ temperatury na konstrukcje metalowe.

Według przyjętej klasyfikacji pożarowej stal zaliczamy do materiałów niepalnych. Niezbyt wysokie temperatury nie wpływają zazwyczaj ani na wytrzymałość stali, ani też na wewnętrzną strukturę stali. Po nagraniu i następnym ochłodzeniu materiału, odzyskuje on swoją pierwotną wytrzymałość oraz sprężystość. W przypadku stali, granicę przy której następują trwałe deformacje mogące prowadzić na przykład do wyginania i zwichrowania podciągów, wybożenia słupów i blach, stanowi temperatura około 80°C. Do tej granicy wszelkie zmiany mają charakter odwracalny.

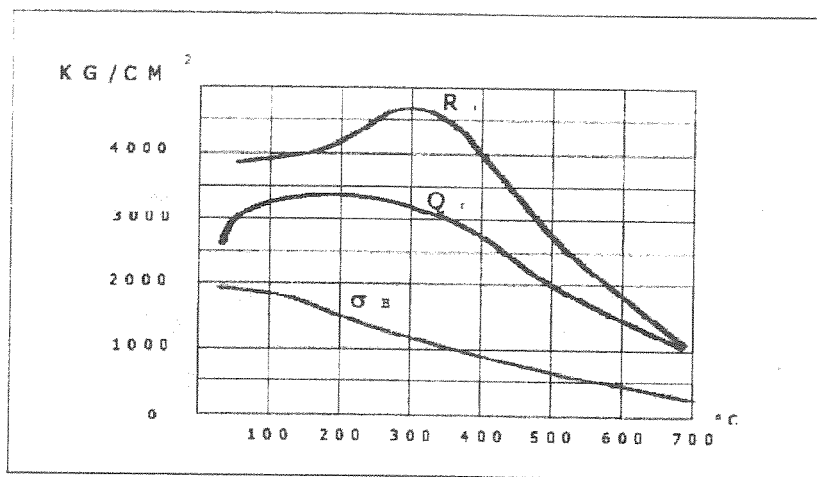
Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono przykładowe wyniki statycznej próby rozciągania stali badanej w różnych temperaturach w porównaniu do stali badanej w warunkach normalnych, oraz zależność od temperatury podstawowych parametrów wytrzymałościowych stali.

Aluminium i jego stopy wykazują znacznie większą wrażliwość na zmiany temperatur otoczenia niż stale konstrukcyjne, szczególnie w zakresie temperatur dodatnich. W wyniku nagrzewania aluminium i stopów wytrzymałość na rozciąganie oraz granica plastyczności zmienia się zależnie od temperatury w sposób ciągły. Granica wytrzymałości zmęczeniowej stopów aluminium maleje ze wzrostem temperatury w zakresie temperatur 150°C - 200°C nieznacznie, potem silniej.

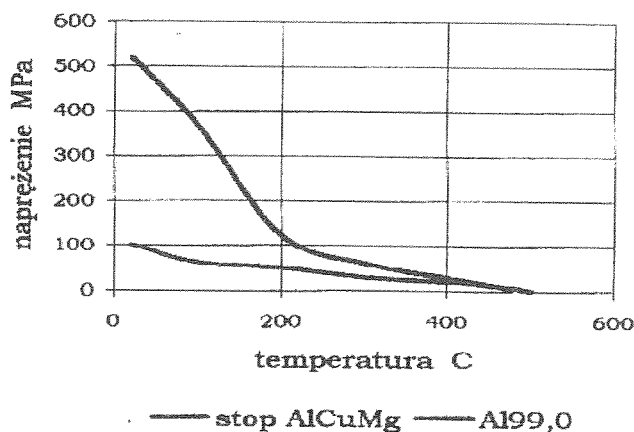
Stopy aluminium stosowane w konstrukcjach budowlanych pomimo uzyskiwania wysokich wytrzymałości pozwalających na zastosowanie w konstrukcjach znacznie obciążonych, tracą swoje właściwości wytrzymałościowe podczas nagrzewania bardzo szybko już w stosunkowo niewysokich temperaturach. W tym zakresie stal i jego stopy zachowują się znacznie korzystniej.



Rys. 1 Krzywe „naprężenie-odkształcenie” w zależności od temperatury badanej stali



Rys. 2 Zależność od temperatury:
Rr - wytrzymałości na rozciąganie, *Qr* - granicy plastyczności, σ_E - granicy sprężystości



Rys. 3 Zależność wytrzymałości od temperatury na przykładzie czystego aluminium i stopu AlCuMg

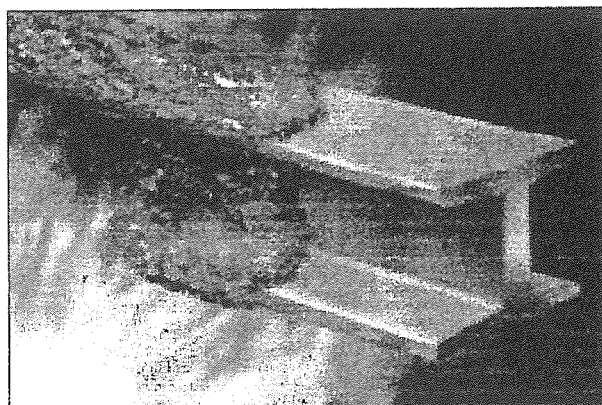
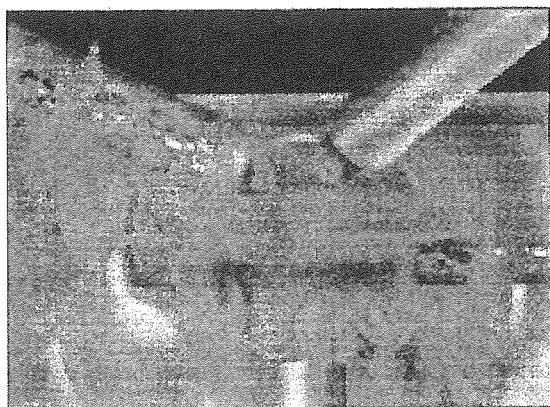
Pod wpływem temperatury stopy aluminium zmieniają swoje właściwości [3,5]. Przy obniżaniu temperatury stopów aluminium wzrasta ich wytrzymałość przy niewielkim spadku wydłużenia jednostkowego. Właściwość ta pozwoliła na budowę lekkich domów przenośnych na wyprawy antarktyczne.

Stopy aluminium w podwyższonych temperaturach zachowują się znacznie niekorzystniej niż stal: redukcji ulegają wartości ich charakterystyk wytrzymałościowych. Spadek wytrzymałości zależy od rodzaju i stanu stopu oraz wysokości czasu działania wysokiej temperatury, a także od stanu naprężenia nagrzanego elementu. Krótkotwałe, kilkuminutowe, oddziaływanie podwyższonej temperatury na stopy twarde, nie podlegające obróbce cieplnej, powoduje, że tracą one znacznie swoją wytrzymałość, zaś stopy przesycone pod wpływem ochłodzenia odzyskują część wytrzymałości utraconej przy ogrzewaniu konstrukcji.

Podczas dłuższego oddziaływania temperatury powyżej 100 - 150°C, wszystkie stopy aluminium tracą znacznie swoją wytrzymałość. Dodatkowo, oprócz utraty cech wytrzymałościowych podczas oddziaływania wysokiej temperatury, już od ok. 200°C zachodzi w stopach aluminium zjawisko pełzania, bardzo niekorzystne dla pracy konstrukcji.

W związku z wystąpieniem opisanych negatywnych skutków wpływu podwyższonej temperatury stosuje się różnorodne metody zabezpieczania takich konstrukcji przed nadmiernym ogrzaniem.

Autorzy referatu przeprowadzili badania farb pęczniejących pod wpływem temperatury oraz ich skuteczność w zabezpieczaniu elementów konstrukcyjnych wykonanych min. ze stopów aluminium.



Rys. 4 Przykłady działania farb pęczniejących pod wpływem wysokiej temperatury

3. Materiały, elementy i technika badań.

Właściwości zabezpieczania przed pożarem powłoki opartej na żywicy mocznikowej badano na następujących elementach konstrukcyjnych: blachy stalowe 600x600x3...25, arkusze aluminiowe grubości 1...8 mm oraz słupy skrzynkowe spawane z blach 200x200x11. Elementy stalowe wykonane były ze stali St3S a elementy aluminiowe z arkuszy ze stopów aluminium AMg-62T. Badania przeprowadzone zostały zgodnie z propozycjami Instytutu Bezpieczeństwa Pożarowego w Moskwie, i normy ST CMEA 1000-88:

$$T = 345 \log t [8t+1] + 20, \quad (1)$$

gdzie: t - czas ogrzewania.

Badania związane z odpornością ogniową mogą być przeprowadzone także na próbkach o mniejszych rozmiarach, których wymiary są zgodne z wytycznymi do badań odporności ogniowej konstrukcji budowlanych. Badania zostały przeprowadzone w komorze ogniowej w Instytucie Badawczym Bezpieczeństwa Pożarowego w Moskwie. Wymiary elementów zostały tak dobrane, aby były średnio o 10 mm z każdej strony większe, niż wymiary komory ogniowej. Podstawa metalowa próbek została pokryta z jednej strony warstwą farby pęczniejącej.

Obciążenie ogniowe zostało przyłożone do płyty przez zapłon mieszanki gazowej rozpylonej w komorze za pomocą palnika z nadmuchem powietrza. Temperatura w komorze ogniowej była kontrolowana przez termopary ze stopów chromowo - aluminiowych typu TXA-XP, z których odczyty notowane były przez automatyczne potencjometry. Zgodnie z wytycznymi zawartymi w p. 2.1.3 i 4.1 normy ST CMEA 1000-88, badania ogniowe konstrukcji metalowych z warstwami zabezpieczającymi przed wpływem wysokiej temperatury mogą być przeprowadzane na próbkach nie obciążonych, a ich temperatura krytyczna ustalana jest, jak dla stanu granicznego konstrukcji. Temperatura standardowego elementu z warstwą izolacji na jednej lub obu stronach podczas badania na odporność ogniową przekraczała 200°C dla przenoszących obciążenie elementów ze stopu aluminium.

4. Wyniki badań.

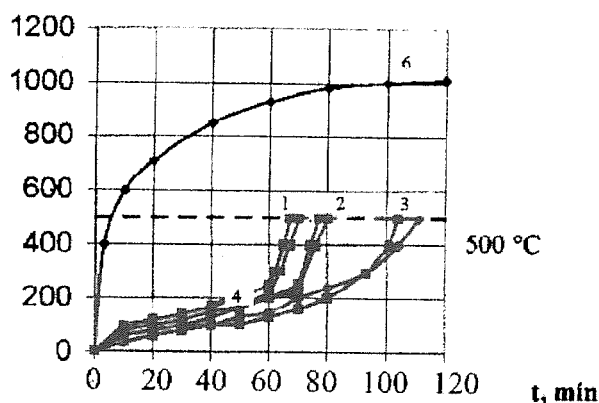
Na rysunku 5 przedstawiono krzywe cieplne dla stalowych i aluminiowych płyt poddanych wpływowi wysokiej temperatury. Podczas badań elementów poddanych działaniu wysokiej temperatury zaobserwowano następujące zmiany w warstwach ochronnych wykonanych z podstawowych kompozytów. Po 3 minutach powłoka obróciła się, po 4...5 minutach zaczęła pęcznieć na całej powierzchni i pojawiły się pojedyncze pęcherzyki. Po 7...8 minutach cała powierzchnia powłoki ochronnej została pokryta przez pęczniejącą i wygładzającą się wszędzie

powłokę spienionej lekko sprężystej masy. Po 15 minutach nadal wzrastała grubość pęczniejącej warstwy, a po 30...35 minutach grubość tej warstwy wynosiła 60 mm. Następnie zaobserwowano na powierzchni pęczniejącej powłoki utworzenie się 2...3 mm warstwy żużla. Po 30...45 minutach pęczniająca warstwa ustabilizowała się i stała się trwała. Po dalszych 50...55 minutach powierzchnia stała się porowata. Można było zaobserwować falowanie włóknistych cząstek. Po 60...65 minutach spęczniała powierzchnia warstwy ochronnej zaczęła się łamać. Na końcu tego procesu cała powierzchnia zaczęła się łuszczyć i tak pozostało do końca badania.

Płyty były badane aż do momentu osiągnięcia temperatury krytycznej na powierzchni zabezpieczonej farbą pęczniejącą. Temperatura ta wynosiła dla elementów stalowych 500°C oraz 250°C dla elementów ze stopu aluminium. Graniczną odporność ogniową osiągnięto dla płyt stalowych po 71...105 minutach, natomiast dla płyt ze stopów aluminium po 60...72 minutach.

Po całkowitym wychłodzeniu blach powłoka z zabezpieczających farb pęczniejących była w większości zachowana, jakkolwiek pokryta była licznymi pęcherzykami, a w niektórych miejscach znajdowały się większe, 5... 10 mm pęcherze.

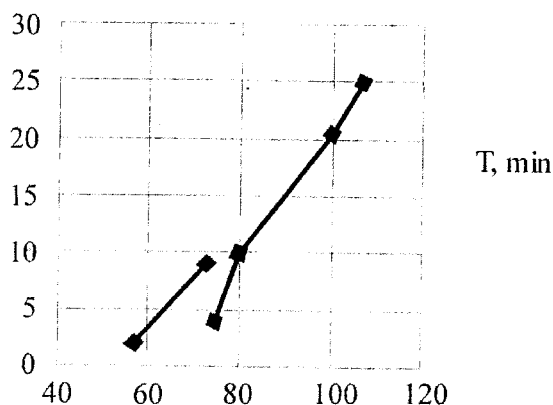
$\theta, ^\circ\text{C}$



Rys. 5 Krzywe cieplne dla płyt stalowych i aluminiowych z zabezpieczoną warstwą pęczniejącą:
 1 - płyty stalowe gr. 3 mm, 2 - płyty stalowe gr. 10 mm, 3 - płyty stalowe gr. 25 mm,
 4 - płyty aluminiowe gr. 5 mm, 5 - płyty aluminiowe gr. 8 mm, 6 - temperatura normowa/krzywa czasu

Krzywe temperatur krytycznych nagrzanych płyt pozwalają na wyciągnięcie wniosku, że wzrost grubości płyt prowadzi do wzrostu granicy odporności ogniowej (rys. 6)

δ, mm

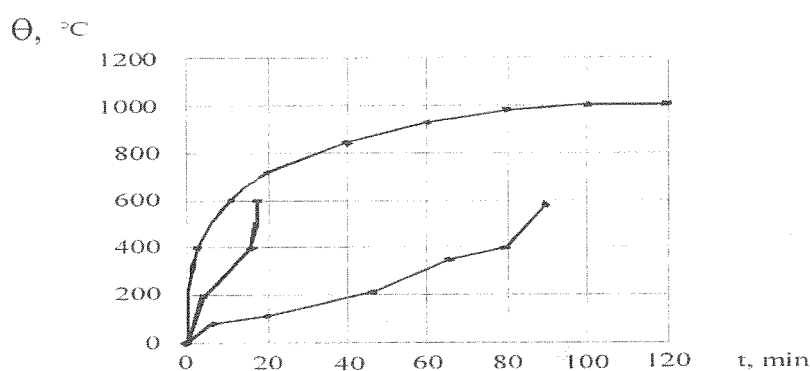


Rys. 6 Wpływ grubości płyt na temperaturę krytyczną ogrzewania
 1 - płyty stalowe zabezpieczone powłoką pęczniejącą
 2 - płyty aluminiowe zabezpieczone powłoką pęczniejącą

Zastosowanie w szerszym zakresie konstrukcji metalowych w przemyśle budowlanym hamowane jest przez ich niską odporność na wpływ wysokiej temperatury. W referacie przedstawiono wyniki badań odporności ogniowej konstrukcji stalowych i wykonanych ze stopów aluminium zabezpieczonych przed wysoką temperaturą za pomocą farb pęczniejących. Zastosowanie warstwy zabezpieczającej wykonanej na bazie żywic mocznikowych pozwala na wzrost granicy odporności ogniowej konstrukcji metalowych. Zastosowanie tego typu powłoki zabezpieczającej okazało się bardzo efektywne.

W celu określenia efektywności zastosowania proponowanego typu powłoki zabezpieczającej, wykonano serię badań odporności ogniowej na elementach słupów stalowych wykonanych z kątowników równoramiennych L 200 xli. Temperatura krytyczna dla słupów została osiągnięta po 79...83 minutach.

Krzywe ogrzewania dla słupów stalowych zabezpieczonych przez proponowane warstwy ochronne, przedstawiono na rysunku 7.



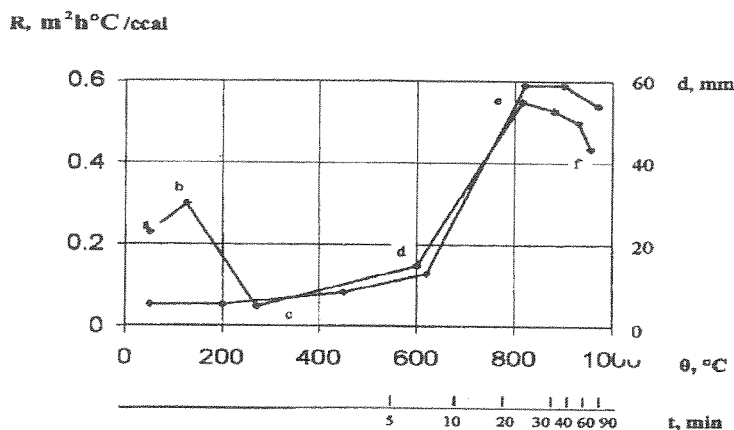
Rys. 7 Krzywe ogrzewania dla elementów słupów stalowych
 1 - bez powłoki zabezpieczającej
 2 - normowa krzywa temperatura/czas
 3 - słupy zabezpieczone powłoką pęczniejącą

Temperatura krytyczna dla konstrukcji ze stopów aluminium jest dwa razy niższa niż dla elementów stalowych. Zastosowanie termoizolacyjnych powłok zabezpieczających w tego typu konstrukcjach jest niezbędne w celu osiągnięcia granicy odporności ogniowej 15 minut.

Ta właściwość jest wystarczającą, aby zalecać stosowanie powłok zabezpieczających wykonanych z farb pęczniejących w celu zabezpieczenia przed wysoką temperaturą lekko obciążonych elementów konstrukcyjnych w przemyśle budowlanym.

5. Omówienie wyników badań.

Przeprowadzone badania wykazały, że krytyczny opór cieplny warstwy ochronnej ($R = dp/\lambda$) w czasie pożaru zmienia się zgodnie z krzywymi (rysunek 8), które zależą od temperatury i grubości warstwy pęczniejącej. Na krzywej $R - f(\Theta)$ można wyróżnić 5 wyraźnych odcinków: odcinek $a-b$ odpowiada wzrostowi ciepła bez zmiany grubości powłoki; w zakresie temperatur od 20...170°C przy wzroście temperatury następuje obniżenie współczynnika przewodności ciepła λ . Na odcinku $b-c$ następuje znaczne obniżenie oporu ciepła R , jako rezultat spienienia powłoki i następnie wzrostu λ ; na odcinku $c-d$ następuje stopniowy wzrost R , który towarzyszy pęcznieniu powierzchni powłoczonyj oraz nieznaczne zmniejszenie się λ . Na odcinku $d-e$ trwa ostry wzrost R , jako rezultat silnego pęcznienia, które w tej fazie staje się trwałe w maksymalnej temperaturze 820°C, w której λ zaczyna wzrastać ze wzrostem grubości warstwy pęczniejącej. W ostatniej fazie na odcinku $e-f$ wraz ze zmniejszeniem się grubości warstwy pęczniejącej, opór cieplny R zaczyna obniżać się, natomiast λ nadal wzrasta.



Rys. 8 Zależność oporu ciepła powłoki:
1 - od temperatury, czasu i gęstości warstwy pęczniejącej
2 - krzywa standardowa temperatura/czas

Otrzymane zależności $R = f(t, \Theta, d_p, \lambda)$ umożliwiły utworzenie nomogramu (rysunek 9), który pozwala na praktyczne określenie grubości warstwy farby pęczniejącej dla odporności ogniowej stopów aluminium określonej na 60 minut. Nomogram został zbudowany dla masywności elementów w przedziale $40 - 400 \text{ m}^{-1}$. Badane płyty o wymiarach $165 \times 90 \times 5 \text{ mm}$ odpowiadały masywności 200 m^{-1} . Temperaturę $\Delta\Theta_{al}$ obliczono ze wzoru:

$$\Delta\Theta_{al} = \frac{1}{\frac{1}{\kappa} + \frac{d_p}{\lambda}} * \frac{A_p}{V} * \frac{1}{c_a \rho_a} * (\Theta_e - \Theta_m) \Delta_t, \quad (2)$$

gdzie:

d_p/λ , - oporność cieplna powłoki ($\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$),

A_p/V - współczynnik masywności, który jest stosunkiem powierzchni A_p skierowanej w kierunku źródła ognia i objętości metalu (m^{-1}),

c_a, ρ_a - pojemność masy termicznej i gęstość względna metalu [$\text{ccal}/(\text{kg } ^\circ\text{C})$ i kg/m^3],

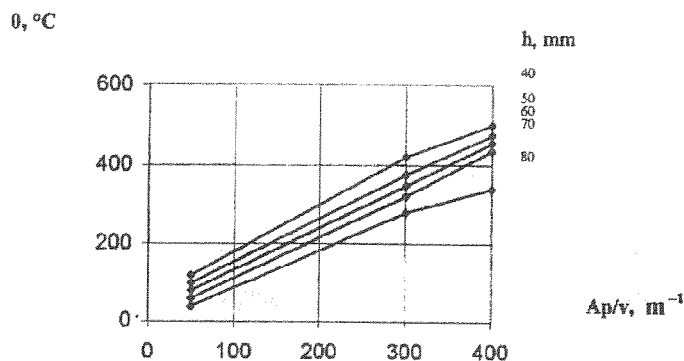
Θ_e, Θ_m - temperatury środowiska i metalu ($^\circ\text{C}$),

$\Delta_t, \Delta\Theta_m$ - przyrost czasu ogrzewania i temperatury metalu,

K - całkowity współczynnik przepływu ciepła ustalony na podstawie wzoru:

$$K = 20 + 3 * 10^{-3} (\Theta_a^2 + \Theta_m^2) * (\Theta_e + \Theta_m), \quad (3)$$

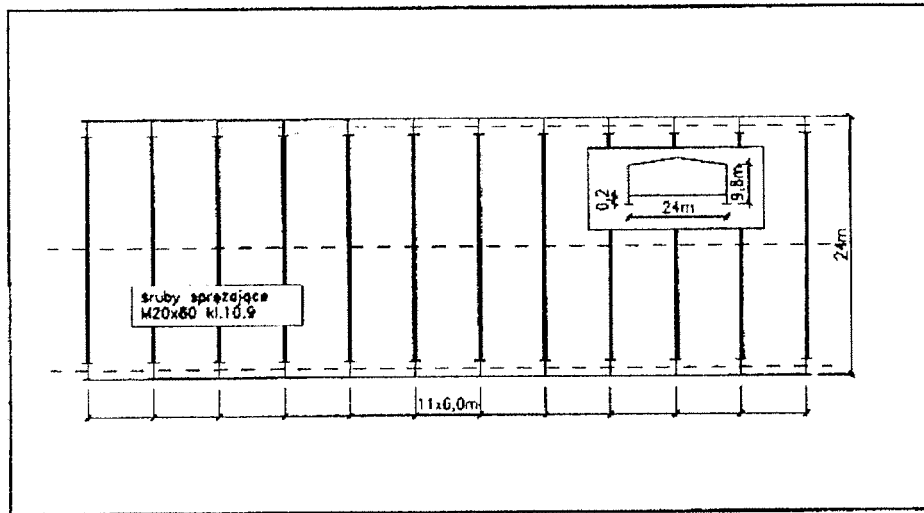
gdzie: Θ_e, Θ_m — temperatury środowiska i metalu (K).



Rys. 9 Nomogram dla określenia grubości pęczniejącej powłoki malarskiej w zależności od temperatury i współczynnika przekroju

6. Przykład konstrukcji hali stalowej po porażu

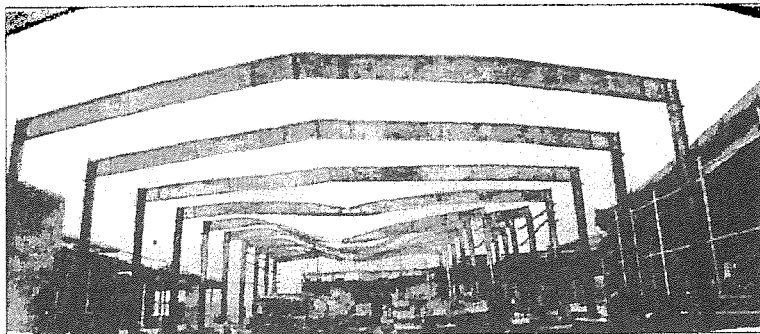
Hala produkcyjno-magazynowa, która poddana została działaniu wysokiej temperatury podczas pożaru, wykonana została jako jednonawowa o węzłach sztywnych doczołowych na śruby sprężające M20 klasy 10.9.



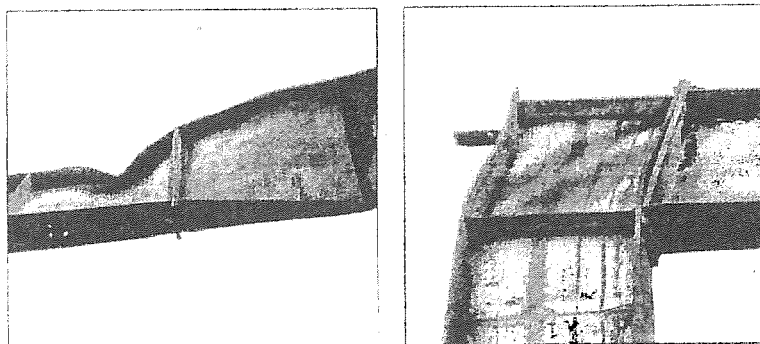
Rys. 10 Schemat układu ram w hali

Słupy wykonane były z dwuteowników spawanych 500/300 ze stali St3S, zaś rygle ukośne jako dwuteowe spawane 900/300; środnik ze stali St3S, pasy ze stali 18G2. Na rysunku 10 przedstawiono schemat układu ram hali.

W wyniku pożaru pod wpływem wysokiej temperatury całkowitemu zniszczeniu uległa nośna konstrukcja stalowa hali. Elementy stalowe uległy deformacji, zaś w węzłach narożnych nastąpiła m. in. utrata stateczności miejscowej środnika. Przedstawiono to na rysunkach 11 i 12.



Rys. 11 Widok konstrukcji hali po porażu



Rys. 12 Odkształcone elementy konstrukcji hali

7. Wnioski.

Malarskie powłoki pęczniejące podnoszą granicę odporności ogniowej elementów metalowych do 1,5 godziny i elementów ze stopów aluminium do 1 godziny. Granica odporności ogniowej elementów konstrukcyjnych zależy od grubości przekroju elementu

zabezpieczanego. Wzrost grubości elementu stalowego z 3 do 25 mm przedłuża granicę ogniotrwałości o 40 minut. Podobnie, chociaż nieznacznie inaczej dla stopów aluminium, wzrost grubości tych elementów w granicach 1-3 mm może wydłużyć czas o około 15 minut.

Farby pęczniejące pod wpływem wysokiej temperatury wytwarzają porowatą warstwę izolacyjną pianki ograniczającej dopływ ciepła do metalu. Zadaniem ochrony przeciwpożarowej przy pomocy powłok malarskich (w tym z farb pęczniejących), jest wytworzenie takiej bariery, aby pomimo rozwiniętego pożaru (temperatura rzędu 800° C - 1200° C) nie wystąpiły przez określony czas stany graniczne nośności konstrukcji.

W przypadku kontaktu konstrukcji pokrytej farbami pęczniejącymi z płomieniem, po ogrzaniu powłoki do temperatury 200° C - 250° C składniki farby zaczynają reagować ze sobą, a powłoka ochronna spienia się. Wydzielająca się para wodna i powstające gazy tworzą grubą, zwartą barierę tłumiącą działanie ognia obniżającą temperaturę chronionego metalu. Pozwala to na ewakuację ludzi, przeciwdziałanie rozprzestrzenianiu się ognia i podjęcie akcji skutecznego gaszenia pożaru przy zapewnieniu odpowiedniego bezpieczeństwa ekipom ratowniczym.

Farby pęczniejące nanoszone są na konstrukcje metalowe trzema warstwami: pierwszą warstwę powłoki stanowi podkład zapewniający przyczepność do podłoża o grubości 40-100 um, który pełni również funkcję powłoki antykorozyjnej. Podkład nakładany jest na metal doprowadzony do wymaganego stopnia czystości i pełni on funkcję antykorozyjną oraz jest podłożem pod farbę pęczniejącą. Następnie nanoszona jest druga warstwa pęczniejąca o grubości zazwyczaj 300 - 4000 um, oraz trzecia warstwa nawierzchniowa o grubości 40-120 um stanowiąca zabezpieczenie przed działaniem środowiska. Pełni ona często rolę powłoki dekoracyjnej.

Stosowanie takich powłok zalecane jest w celu wzrostu odporności ogniowej stalowych elementów nośnych w konstrukcjach budowlanych, takich, jak słupy, rygle, kratownice itp., a także takich elementów ze stopów aluminium (lekkie płyty typu „sandwich”, konstrukcje membranowe, itp.).

Określenie grubości malarskich pęczniejących powłok ochronnych, bazując na masywności konstrukcji i temperaturze krytycznej, jest możliwe na podstawie nomogramu, który zbudowany został na podstawie wykonanych badań pożarowych. Badania te wykonane zostały biorąc pod uwagę zmiany termiczno-fizyczne charakterystyk powłok pęczniejących pod wpływem temperatury, zgodnie z normową krzywą: temperatura/czas.

Przedstawiony przykład destrukcji elementów stalowych hali po pożarze świadczy, że należy stosować odpowiednie zabezpieczenia przeciwpożarowe w celu zapewnienia odpowiedniej odporności ogniowej konstrukcji stalowej, i ochrony przed wysoką temperaturą. Takim skutecznym zabezpieczeniem są m.in. farby pęczniejące.

LITERATURA

1. Gizejowski M: *Zagadnienia stateczności i nośności nadkrytycznej ścianek prętów aluminiowych*, XLVI Konferencja Naukowa KILIW PAN i KN PZITB Krynica 2000, Tom I, s.217-224.
2. Kosiorek M, Pogorzelski J. A., Laskowska Z., Pilich K.: *Odporność ogniowa konstrukcji budowlanych*. Arkady. Warszawa 1998.
3. Mromliński R.: *Konstrukcje aluminiowe*. Arkady. Warszawa 1975.
4. *Poradnik projektanta konstrukcji metalowych (Praca zbiorowa)*. Ary. Warszawa 1980
5. Skowroński W.: *Teoria bezpieczeństwa pożarowego konstrukcji metalowych*. PWN. Warszawa 2001.