

Badania wytrzymałościowe stali po epizodzie pożarowym



SARA CHLISZCZ

Politechnika Koszalińska
Wydział Inżynierii Lądowej,
Środowiska i Geodezji
ORCID: 0009-0001-4252-5433



IGOR PUCH

Politechnika Koszalińska
Wydział Inżynierii Lądowej,
Środowiska i Geodezji
ORCID: 0009-0005-3927-7167



ALEKSANDRA ROMPA

Politechnika Koszalińska
Wydział Inżynierii Lądowej,
Środowiska i Geodezji
ORCID: 0009-0009-2617-8900



ZUZANNA ROMPCZYK

Politechnika Koszalińska
Wydział Inżynierii Lądowej,
Środowiska i Geodezji
ORCID: 0009-0009-4061-9960



dr inż.

MICHAŁ PIĄTKOWSKI

Politechnika Koszalińska
Wydział Inżynierii Lądowej,
Środowiska i Geodezji
ORCID: 0000-0002-4803-7561

W artykule przedstawiono badania materiałowe stali pozyskanej z elementu narażonego na działanie wysokiej temperatury w wyniku pożaru lokalnego. Wyniki badań porównano z wynikami dla materiału porównawczego w celu określenia faktycznych zmian cech fizycznych materiału i potwierdzenia wskazań literatury.

Wszystkie projektowane i użytkowane obiekty budowlane powinny spełniać szereg wymagań związanych z nośnością i statecznością konstrukcji głównej oraz przegród, jak również przewidywanymi warunkami użytkowania przestrzeni wewnątrz obiektu. Jednym z kluczowych parametrów nośnej konstrukcji stalowej jest zdolność do przeniesienia zakładanych obciążeń nie tylko w sytuacji typowej, ale również w przypadku sytuacji wyjątkowej, jaką może być pożar wewnątrz obiektu lub w jego otoczeniu. Konieczność weryfikacji tej nośności jest uregulowana prawnie w takich przepisach, jak: ustawa prawo budowlane (Dz.U. 89/1994, poz. 414) oraz ustawa o ochronie przeciwpożarowej (Dz.U. 89/1991, poz. 351) oraz warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2022, poz. 1225). Przepisy te, mimo wielu doraźnych uaktualnień, mogą wymagać zmiany w celu uwzględnienia aktualnych trendów w budownictwie [1]. Mimo tego narzucają one na projektanta i wykonawcę

m.in. obowiązek uwzględnienia bezpieczeństwa pożarowego konstrukcji oraz przegród w zakresie nośności, szczelności i izolacyjności pożarowej.

Zasady projektowania konstrukcji stalowej w sytuacji pożarowej omawia norma projektowa [2] wraz z odpowiednią normą z grupy obciążeń [3]. Zasady te zostały również przedstawione i dyskutowane w licznych artykułach naukowych [4, 5]. Podstawą projektowania obiektu budowlanego jest klasyfikacja całości obiektu lub jego wydzielonych stref do tzw. klasy odporności pożarowej budynku (od A do E), a następnie ustalenie klasy odporności ogniowej elementu R, E i/Lub I (nośność, szczelność, izolacyjność ogniowa) wyrażonej w minutach, np. R120, EI60 itd. W odniesieniu do konstrukcji stalowej budynków, w której zdecydowaną większość stanowią elementy prętowe, określa się nośność i stateczność elementów na podstawie zredukowanych parametrów obliczeniowych zależnych od temperatury elementu [3]. Temperaturę tę określa się m.in. na podstawie przyjętej krzywej pożarowej (zależność temperatura–czas)

[2] oraz scenariusza pożarowego i ekspozycji elementu na działanie temperatury.

W przypadku gdy w istniejącym już obiekcie doszło do pożaru i nie nastąpiło jego całkowite zniszczenie, konieczna jest ocena stanu technicznego konstrukcji uwzględniająca wpływ temperatury na elementy konstrukcyjne. Ocena taka wymaga doświadczenia, ale i ostrożności, ponieważ bez prowadzenia stosownych badań trudno określić, jakie zmiany faktycznie zaszły w analizowanym materiale. Powszechnie uważa się, że elementy stalowe są automatycznie eliminowane z możliwości ich dalszego wykorzystania, w przypadku gdy zostały znacząco zdeformowane w wyniku działania obciążenia i wysokiej temperatury. Wiadome jest również, że nagrzanie stali do temperatury wyższej niż temperatura rekrytalizacji (727°C) powoduje w niej zmianę cech mechanicznych i wytrzymałościowych w stosunku do materiału początkowego [6].

Należy jednak zaznaczyć, że już w temperaturze niższej niż temperatura rekrytalizacji mogą zachodzić zmiany niekorzystne z punktu widzenia właściwości mechanicznych stali. Zmiany te są związane nie tylko z procesem nagrzewania stali w trakcie pożaru, ale również z szybkim chłodzeniem materiału w trakcie gaszenia pożaru [7]. W pierwszej kolejności podczas nagrzewania stali przy powierzchni materiału postępuje proces utleniania powierzchniowego, który objawia się trwałym przebarwieniem powierzchniowym w kolorze żółtym lub niebieskim. Przy dalszym wzroście temperatury do ok. 550°C następuje grafytyzacja materiału, a powyżej tej temperatury sferoidyzacja. Zjawiska te występują przed osiągnięciem temperatury rekrytalizacji i wpływają na wzrost kruchości stali oraz zmniejszenie ciągliwości, nawet po wystudzeniu. Szczegółowe badania w temacie wpływu temperatury pożarowej na cechy mechaniczne stali konstrukcyjnych, w szczególności udarności, przedstawiono w pracy [8].

Analizowany przypadek obiektu po pożarze

Opisane badania dotyczą materiału pobranego z pasa dolnego kratownicy dachowej, konstrukcji stalowej budynku handlowego po pożarze. W analizowanej konstrukcji doszło do pożaru regatów towarowych wraz z produktami, w wyniku czego uszkodzeniu uległy elementy konstrukcji, pokrycia dachowego, instalacji i wyposażenia obiektu. Zgodnie z opisem świadków i raportem straży pożarnej ustalono, że pożar trwał około 90 minut od jego rozpoczęcia do całkowitego ugaszenia, przy czym akcję gaśniczą rozpoczęto po około 40 minutach od rozpoczęcia pożaru. Przeprowadzone na miejscu oględziny oraz wykonana opinia techniczna wykazały, że pożar zajmował bezpośrednią powierzchnię



Rys. 1. Wnętrze obiektu z dźwigarem kratowym



Rys. 2. Uszkodzony pas dolny kratownicy



Rys. 3. Pozyskane fragmenty pasa dolnego

około 15 m^2 , a temperatura w centrum pożaru mogła wynosić do 800°C . Ognisko pożaru zlokalizowane było w części środkowej obiektu, bezpośrednio pod jednym z dźwigarów kratowych głównej konstrukcji nośnej dachu.

Konstrukcja stalowa analizowanego obiektu składa się z kratownic o długości $21,0$ metrów w rozstawie co $6,0$ metrów. Kratownice ukształtowano jako elementy

o obniżonych pasach dolnych i pasach górnych ze spadkiem, oparte na żelbetonowych słupach w sposób przegubowy. Dźwigary kratowe zbudowane są z pasów o przekroju HEA 180 (pas górny) i HEA 140 (pas dolny) z wykratowaniem typu N o przekrojach RP $120 \times 60 \times 4$ i RP $140 \times 80 \times 4$ (w części podporowej). W dokumentacji projektowej zakładano stal S355J2. Połączenia pasów z wykratowaniem wykonano jako spawane





Rys. 4. Przygotowane elementy



Rys. 5. Wycięte próbki

z odstępem i wzmocnieniem obustronnym żebrem poprzecznym przy środku pasa. Dźwigary wykonano z dwóch elementów wysyłkowych scalanych na środku pasa dolnego i górnego połączeniem doczołowym sprężanym na cztery (pas górny) i sześć (pas dolny) łączników M20 kl. 10.9. Pokrycie dachowe wykonano jako pokrycie bezpłatniowe z wykorzystaniem blachy trapezowej T130 × 0,7, folii PE, styropianu dachowego o grubości 25 cm i membrany dachowej.

Na podstawie wykonanej ekspertyzy technicznej i obliczeń wg [3] ustalono, że temperatura nagrzania konstrukcji stalowej w rejonie pożaru mogła wynosić ok. 350°C. Wpływ temperatury oraz sposobu chłodzenia konstrukcji na właściwości materiałowe oraz bezpieczeństwo i nośność znajdujących się w sąsiedztwie połączeń spawanych oraz śrubowych był trudny do określenia z uwagi na brak możliwości pobierania próbek materiałowych i prowadzenia badań na miejscu, dlatego też zalecono wymianę dźwigara kratowego znajdującego się bezpośrednio nad miejscem pożaru oraz naprawę pokrycia dachowego i instalacji. W celach badawczych ze zdemontowanego dźwigara pobrano

fragmenty pasa dolnego o długości około 150 cm z miejsca najbardziej obciążonego temperaturą wraz z odcinkiem porównawczym pobranym ze strefy przypodporowej tego samego pasa dolnego.

Badania doświadczalne

Mając do dyspozycji fragmenty konstrukcji, zaplanowano badania doświadczalne w celu określenia rzeczywistego wpływu temperatury na materiał pasa dolnego kratownicy. Zaplanowano przeprowadzenie badań nieniszczących oraz niszczących na próbkach pobranych z fragmentu nagrzanego bezpośrednio nad centrum pożaru oraz odniesienie ich wyników do wartości określonych dla fragmentu porównawczego.

Pierwszym przeprowadzonym badaniem było badanie twardości twardościomierzem przenośnym TH-170 marki Hogetex. Badanie to zostało przeprowadzone w celu zgrubnego określenia, czy w porównywanych elementach występują różnice w wynikach pomiędzy elementem nagrzanym oraz porównawczym, jak również w celu określenia różnic w wynikach w częściach składowych przekroju o różnych grubościach i orientacji względem

centrum pożaru (półki i środkik). Obydwie części pasa przygotowano do badań. W każdej z części elementu przygotowano około 25 miejsc pomiarowych zgodnie z instrukcją [9]. W półkach i środkiku usunięto warstwy farby oraz produktów przyspieszonej korozji, a także częściowo zeszlifowano powierzchnię.

Przeprowadzone badania twardości wykonano w skali twardości Brinella (HB) oraz w skali twardości Rockwella (HRB). Uzyskane we wstępnych badaniach wyniki wykazały obserwowalne różnice w wynikach twardości pomiędzy elementem nagrzanym i porównawczym. Różnice te wynosiły odpowiednio +2,6% dla skali HB oraz +1% dla skali HRB. Średni wynik twardości elementu porównawczego wyniósł 135,5 (skala HB) oraz 76,3 (HRB). Nie zaobserwowano istotnych różnic pomiędzy wartościami mierzonymi na poszczególnych elementach składowych profilu stalowego HEA 140, co potwierdza równomierność rozkładu temperatury w nagrzwanym i nieostygającym elemencie.

Po przeprowadzeniu badań wstępnych i zaobserwowaniu mierzalnych zmian twardości podjęto decyzję o przeprowadzeniu dalszych badań. W tym celu zlecono wykonanie próbek do badań. Z uwagi na termiczną genę analizowanych parametrów zdecydowano się unikać metod termicznych cięcia elementów i wycinania próbek. Po odcięciu pasów od środkika i sfrezowaniu części wyokrąglonych wycięto próbki badawcze za pomocą strugi ciecicy. Łącznie wycięto 16 próbek wiósełkowych od statycznej próby rozciągania, 28 próbek do badania udarności oraz 7 próbek do powtórnych badań twardości.

Powtórne, dokładniejsze badanie twardości przeprowadzono na próbkach płaskich o kształcie kwadratowym o wymiarach boku 40 mm. Próbkę wyciętą za pomocą strugi ciecicy poddano obustronnemu szlifowaniu na szlifierce płaszczyznowej w celu przygotowania powierzchni do badania. Podczas szlifowania zastosowano emulsję chłodzącą w celu wyeliminowania dodatkowego nagrzewania powierzchni próbki. Grubość próbki po szlifowaniu wynosiła 7 mm. Dysponowano trzema próbkami pobranymi z materiału nagrzanego

Tab. 1. Wyniki badań twardości Rockwella

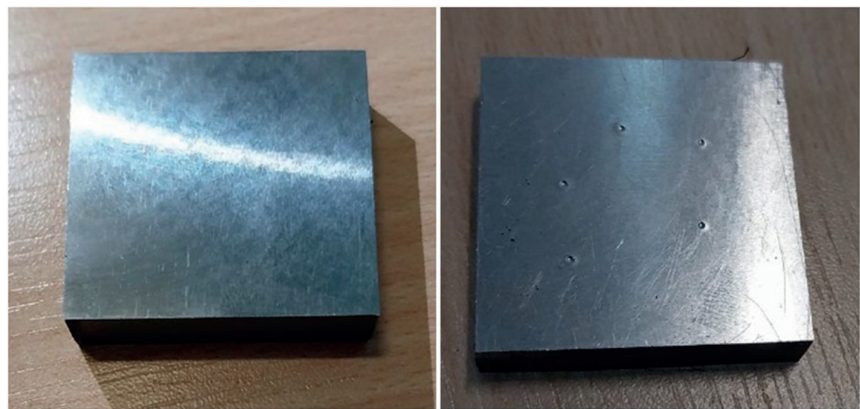
Materiał	Materiał nagrany			Materiał Porównawczy			
Oznaczenie próbki	N1	N2	N3	P1	P2	P3	P4
Wartości z badania twardości HRB	84,3	82,8	83,4	83,0	81,3	79,8	78,8
	84,7	83,4	82,2	84,7	84,7	83,9	81,0
	85,2	85,1	83,9	86,3	81,0	84,5	81,6
	86,0	84,9	84,4	86,9	84,1	83,1	80,7
	85,3	85,3	85,4	84,5	82,1	83,9	82,4
Średnia z próbek	85,1	84,3	83,9	85,1	82,6	83,0	80,9
Średnia z materiałów	84,4			82,2			

i czterema próbkami materiału porównawczego. Do badania wykorzystano maszynę stacjonarną Ernst z węgelnikiem w postaci kulki stalowej. Badania przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN ISO 6508-1 [10] z zastosowaniem skali B. W każdej próbce badania przeprowadzono pięciokrotnie z zachowaniem minimalnego odstępu pomiędzy badaniami.

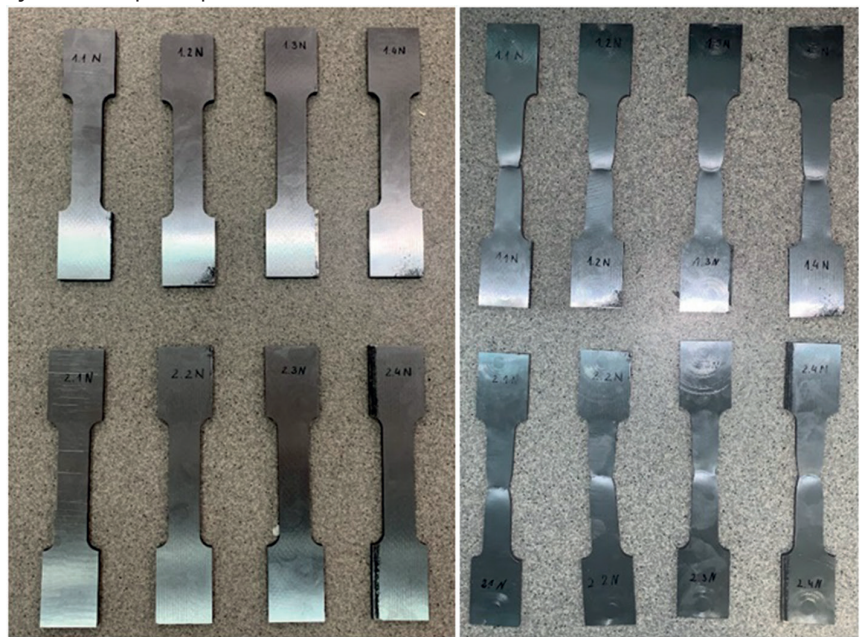
Wyniki badania twardości zestawiono w tabeli 1. Wyniki te uśredniono osobno dla każdej z próbek oraz łącznie dla każdego z materiałów. Otrzymane wyniki są nieco wyższe niż te uzyskane za pomocą urządzenia przenośnego z zachowaniem zaobserwowanej w badaniu wstępnym tendencji wzrostowej dla twardości materiału nagrzanego.

Badanie wytrzymałości na rozciąganie przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN ISO 6892-1 [10]. Do przeprowadzenia badań wykonano 16 próbek wiosetkowych o długości całkowitej ok. 26 cm z pojedynczą bazą pomiarową długości 100 mm i szerokości bazy pomiarowej ok. 30 mm. Próbkę te poddano szlifowaniu w celu usunięcia zewnętrznych warstw farby i produktów przyspieszonej korozji. Średnia grubość próbek po szlifowaniu pozostała większa niż 5 mm.

Badanie przeprowadzono w maszynie wytrzymałościowej Inspekt 600. Wszystkie próbki zerwały się w bazie pomiarowej bez widocznych uszkodzeń lub zanieczyszczeń w przetłoczeniach. Na podstawie otrzymanych danych sporządzono zależności „siła F [kN]– wydłużenie s [mm]”, na których określono wartości charakterystyczne, tj. granicę plastyczności Re, wytrzymałość na rozciąganie Rm i siłę zrywającą Ru oraz wydłużenie A i przerwę względną Z. Uzyskana zależność odpowiada stali z wyraźną granicą plastyczności i gatunkowi stali S355J2 zadeklarowanemu w dokumentacji projektowej obiektu. Uśrednione wyniki badań stali nagrzanego i porównawczego przedstawiono w tab. 2., natomiast przykładową zależność



Rys. 6. Próbkę przed i po badaniu twardości



Rys. 7. Próbkę stali nagrzanego przed i po badaniu

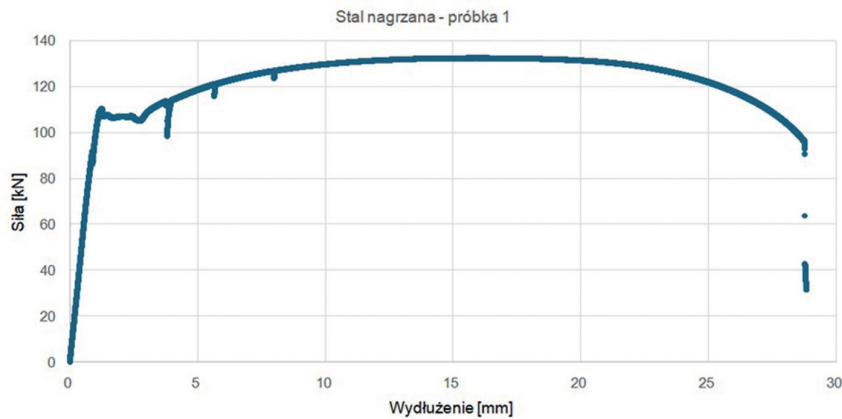
F [kN] – s [mm] dla stali porównawczej przedstawiono na rys. 9.

Istotną badaną cechą w przypadku stali po poażarze jest kruchość stali. W tym celu przygotowano próbki prostokątne do badania udarności zgodnie z normą PN-EN 10045-1

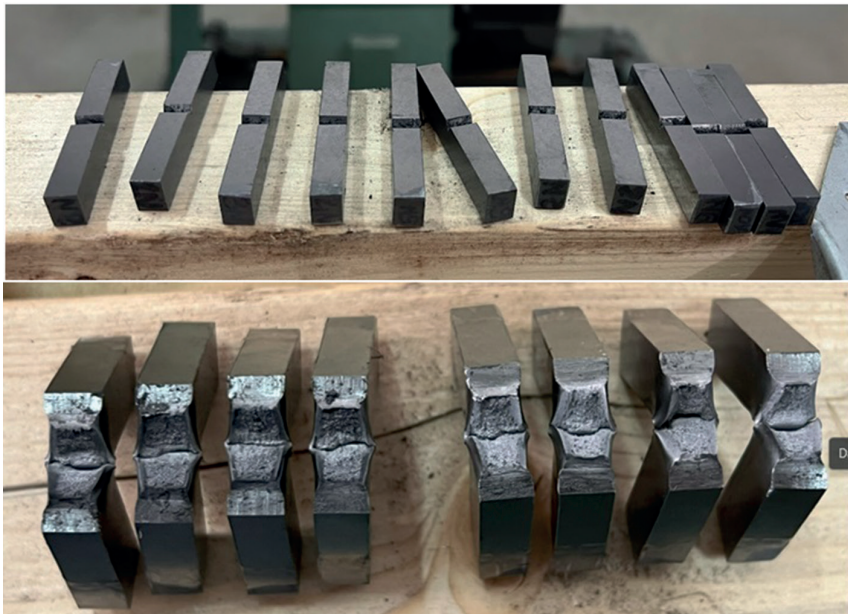
[9]. Próbkę te zostały przygotowane jako prostokątne o długości 55 mm i szerokości 10 mm. Po wycięciu zostały one obustronnie zeszlifowane do grubości 7,5 mm oraz wykonano na nich karb V. Łącznie przebadano 12 próbek stali nagrzanego oraz 16 próbek stali

Tablica 2. Wyniki badań wytrzymałości

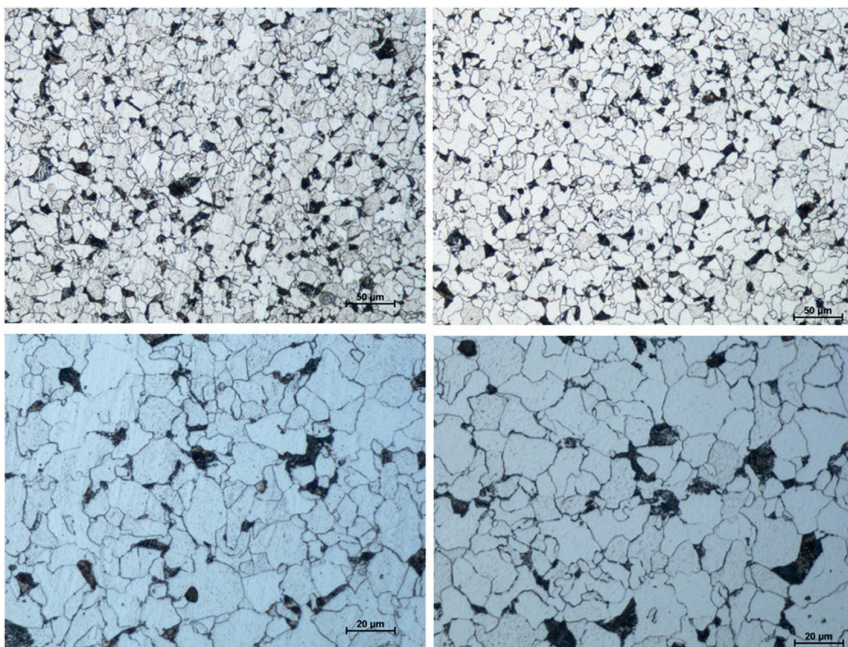
Wartości pomierzone	Re	Rm	Ru	A	Z
	MPa	MPa	MPa	%	%
Materiał nagrany	413,13	727,47	507,37	22,36	49,66
Materiał porównawczy	404,42	757,21	508,31	26,30	51,93



Rys. 8. Zależność „siła-wydłużenie” przykładowej próbki stali nagrzanej



Rys. 9. Zdjęcia próbek do badania uderności przed i po badaniu



Rys. 10. Obrazy mikroskopowe w powiększeniu $\times 200$ (górne) i $\times 500$ (dolne), stal nagrzana (lewa strona) oraz porównawcza (prawa strona)

porównawczej. Średnia wartość pracy łamania próbek KV podczas badań w temperaturze ok. 20°C ze stali nagrzanej wynosiła $71,53\text{ J}$, natomiast próbek ze stali porównawczej $77,58\text{ J}$.

Ostatnim przeprowadzonym badaniem była analiza budowy krystalicznej w obu porównywanych materiałach. W tym celu przygotowano próbki w postaci zgładów krystalograficznych pobranych z fragmentów próbek wykorzystywanych do badań twardości. Probki inkludowano w prasie, następnie polerowano i trawiono kwasem (Nital 2%). Uzyskane obrazy budowy krystalicznej stali są typowe dla stali konstrukcyjnych walcowanych na gorąco. Na przedstawionych zdjęciach zaobserwować można dobrze widoczne ziarna ferrytu i perlitu.

Analiza wyników

Badanie twardości materiału na stanowisku stacjonarnym i dokładnie przygotowanych próbkach pozwala potwierdzić zjawisko zaobserwowane w badaniach wstępnych i opisywane przez literaturę. Wzrost twardości w próbkach wykonanych z materiału nagzanego ustalono na poziomie $+2,7\%$. Taka wartość pokrywa się z przyrostem określonym w badaniu wstępnym dla twardości Brinella. Badania twardości na stanowisku stacjonarnym są niewątpliwie bardziej miarodajne z uwagi na możliwość przygotowania próbek oraz dokładność pomiarową.

Badanie statycznej próby rozciągania wskazuje na niewielkie zwiększenie granicy plastyczności stali nagrzanej o około $+2\%$ przy jednoczesnym zmniejszeniu wartości wytrzymałości na rozciąganie o -4% . Jednocześnie w stali po pożarze obserwujemy znaczny spadek wydłużenia procentowego. Zjawiska te są zgodne z przewidywaniami dla stali po pożarach nagranych do temperatury niższej niż temperatura rekrytalizacji.

Nagrzanie elementów konstrukcji stalowej w warunkach pożaru najbardziej wpływa na zwiększenie kruchości materiału nagzanego. W analizowanych badaniach doświadczalnych wzrost kruchości jest równoznaczny ze spadkiem pracy łamania materiału nagzanego. Spadek pracy łamania w przypadku wartości uśrednionych i badaniu w temperaturze pokojowej wynosił $9,2\%$. Zjawisko to może być znaczące w przypadku analizy przydatności elementów konstrukcji stalowej po pożarze w konstrukcjach narażonych na niską temperaturę.

Badania mikroskopowe struktury stali nie wskazują istotnych zmian we wielkości lub kształcie ziaren ferrytu. W badanym materiale z uwagi na temperaturę nagrzania niższą niż 727°C nie mogło dojść do rekrytalizacji, a jedynie do zdrowienia, czego nie można zaobserwować w badaniach mikroskopowych tej skali. W temperaturze nagrzania badanego materiału mogłoby dojść do zmian

struktury związanych z procesem odpuszczania, jednak analizowana stal konstrukcyjna ma zbyt małą zawartość węgla.

Wnioski

Pozyskane materiały zostały przebadane w celu określenia wpływu nagrzania temperaturą pożarową na wybrane cechy wytrzymałościowe i mechaniczne stali konstrukcyjnej. Wszystkie przeprowadzone badania wskazują na wpływ temperatury na cechy materiału nagzanego zgodnie ze wskazaniami literatury. Najbardziej zauważalny jest wzrost kruchości materiału nagzanego oraz wzrost twardości i spadek wydłużalności. Zmiany te mogą wpływać niekorzystnie na przydatność elementu po pożarze do dalszego wykorzystania w konstrukcji, zwłaszcza w przypadku występowania obciążeń dynamicznych, zmiennych, szczególnie o charakterze udarowym lub pracy w obniżonej temperaturze.

Obserwowane w opisanych badaniach zmiany powinny występować również w pozostałych elementach analizowanej konstrukcji, tj. pozostałych elementach narażonych na temperaturę, spoinach, blachach węzłowych i łącznikach. Elementy te niestety nie mogły być pozyskane do badań. Zwłaszcza w przypadku połączeń spawanych należy zwrócić szczególną uwagę na ich bezpieczeństwo po wystąpieniu wysokiej temperatury. W przypadku połączeń na śruby, zwłaszcza połączeń sprężanych, rozsądne byłoby wymienienie łączników sprężanych na nowe i ponowne wprowadzenie odpowiedniej siły sprężającej.

Przeprowadzone badania wskazują na poprawne wykonanie analizy pożarowej konstrukcji w zakresie szacowania temperatury pożaru i temperatury nagrzania konstrukcji. Badania doświadczalne materiału nagzanego i porównanie ich z wartościami materiału porównawczego wskazują na nieprzekroczenie temperatury rekrystalizacji w elementach konstrukcyjnych mimo dużych zniszczeń wewnątrz obiektu.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Kosiorek M., Bezpieczeństwo pożarowe obiektów budowlanych. Wybrane problemy. „Builder” 07/2019, s. 76–80.
- [2] PN-EN 1993-1-2 Projektowanie konstrukcji stalowych. Reguły ogólne – obliczanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe.
- [3] PN-EN 1991-1-2 Oddziaływania na konstrukcje. Oddziaływania na konstrukcję w warunkach pożaru.
- [4] Kosiorek M., Podstawy zapewnienia odporności ogniowej konstrukcji. „Builder” 9/2017, s. 122–128.
- [5] Kosiorek M., Odporność ogniowa konstrukcji stalowych, część 4. „Builder” 1/2016, s. 92–97.
- [6] Maślak M., Badania stali konstrukcyjnej po pożarze w kontekście oceny możliwości jej dalszego użytkowania w elementach nośnych ustrojów budowlanych. „Przegląd Budowlany” 6/2012, s. 48–50.
- [7] Maślak M., Żwirski G., Zmiany strukturalne w stali konstrukcyjnej wywołane epizodami jej nagrzewania i stygnięcia w warunkach pożaru. „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza” 4/2017, s. 35–52.
- [8] Zajdel P., Po-pożarowa degradacja wybranych stali stosowanych w budownictwie w świetle wyników eksperymentalnych użycy skanych w zinstrumentalizowanej próbie udarności Charpy’ego. Praca doktorska pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Mariusz Maślak. 2023, Politechnika Krakowska.
- [9] Procedura pomiaru przenośnym twardościomierzem TH-170. Michał Pietraszuk. Politechnika Warszawska.

[10] PN-EN ISO 6508-1 Metale. Pomiar twardości sposobem Rockwella. Część 1: Metoda badań (skale A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T).

[11] PN-EN ISO 6892-1 Metale. Próba rozciągania. Część 1: Metoda badania w temperaturze pokojowej.

[12] PN-EN 10045-1 Metale. Próba udarności sposobem Charpy’ego. Metoda badania.

DOI: 10.5604/01.3001.0054.8341

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA

Chliszcz Sara, Puch Igor, Rompa Aleksandra, Rompczyk Zuzanna, Piątkowski Michał, 2024, Badania wytrzymałościowe stali po epizodzie pożarowym, „Builder” 12 (329). DOI: 10.5604/01.3001.0054.8341

STRESZCZENIE:

W konstrukcjach stalowych narażonych na działanie wysokiej temperatury wskutek pożaru dochodzi do wielu zmian cech fizycznych i wytrzymałościowych materiału. Zmiany te są związane bezpośrednio nie tylko z wysokością temperatury nagrzania materiału, ale również czasem nagrzewania oraz czasem i sposobem gaszenia pożaru. W artykule pozyskano materiał z obiektu halowego narażonego na pożar w celu przeprowadzenia badań materiałowych. Wyniki badań porównano z materiałem nienagrzanym, który pozyskano z tego samego elementu. Badania doświadczalne przeprowadzono zgodnie ze wskazaniami literatury.

SŁOWA KLUCZOWE:

stal, wysoka temperatura, zmiany materiałowe

ABSTRACT:

STRENGTH TESTS OF STEEL AFTER HEATED IN FIRE. In steel structures exposed to high temperatures due to fire, many changes in the physical and strength properties of the material occur. These changes are directly related not only to the material's heating temperature but also to the heating and fire extinguishing time. In the article, material was obtained from a hall structure exposed to fire in order to conduct material tests. The test results were compared with unheated material obtained from the same element. Experimental tests were carried out in accordance with the literature.

KEYWORDS:

steel, high temperature, material changes