

Badanie spadku przyczepności stali do betonu w warunkach termicznych pożarów

Zoja Bednarek¹, Paweł Ogrodnik²

¹ Szkoła Główna Służby Pożarniczej, ul. Słowackiego 52/54, Warszawa, sgsp@sgsp.edu.pl

² Szkoła Główna Służby Pożarniczej, ul. Słowackiego 52/54, Warszawa, pawel-ogrodnik@wp.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu temperatur występujących podczas pożaru na przyczepność stali do betonu oraz oszacowanie tego wpływu na spadek przyczepności pomiędzy stalą zbrojeniową i betonem, w warunkach pożaru oraz po przebytych pożarze. W pracy przedstawiono wyniki badań przyczepności stali gładkiej St3S oraz żebrowanej 18G2 do betonu C16/20 i C40/50 w warunkach popożarowych oraz w trakcie trwania pożaru. We wszystkich przebadanych przypadkach stwierdzono istotny spadek przyczepności betonu do stali zbrojeniowej na skutek oddziaływania temperatur pożarowych. Udowodniono, że występują istotne różnice przy badaniu przyczepności po pożarze oraz podczas trwania pożaru, które świadczą o częściowym nawrocie przyczepności.

Słowa kluczowe: przyczepność, beton, stal, temperatury pożarowe.

1. Wprowadzenie

Celem pracy badawczej, której wyniki przedstawiamy w artykule, było określenie charakteru i wielkości spadku przyczepności stali zbrojeniowej do betonu w warunkach termicznych występujących w czasie pożarów normowych opisanych krzywą „temperatura–czas”:

$$T = 20 + 345 \cdot \log(8 \cdot t + 1) \quad (1)$$

gdzie: T – temperatura [°C], t – czas [min];

oraz krzywą empiryczną zbliżoną do rozkładu temperatur na powierzchni płyt żelbetowych, którą można opisać wzorem (2):

$$T_p = 1250 - (1250 - T_o) \cdot \operatorname{erf} \frac{K}{2 \cdot \sqrt{t}} \quad (2)$$

gdzie: K – współczynnik materiałowy, uzależniony od gęstości materiału, t – czas trwania pożaru [h], T_o – temperatura początkowa powierzchni płyty [°C], T_p – temperatura powierzchni płyty od strony grzania [°C], $\operatorname{erf}x$ – funkcja błędów Gaussa, nie mająca skończonego rozkładu na funkcje elementarne (3):

$$\operatorname{erf}x = \frac{2}{\pi} \int_0^x e^{-x^2} dx \quad (3)$$

Badania przeprowadzono na dwóch grupach próbek w celu porównania otrzymanych wyników. Badania wykonane w trakcie grzania próbek odpowiadają warunkom występującym w czasie pożaru. W dalszej części artykułu będziemy określać ten rodzaj badań jako badania „na gorąco”. Badania po wstępnej obróbce termicznej w podobnych jak w badaniach „na gorąco” warunkach termicznych przeprowadzono po ostygnięciu próbek w temperaturach pokojowych około 20°C. Badania te w dalszej części pracy będą określane jako badania „na zimno”.

Celem porównania wyników badań tych dwóch grup próbek było wyjaśnienie, czy wyniki badań spadku przyczepności na skutek oddziaływania wysokich temperatur wykonane w temperaturach pokojowych są miarodajne dla oceny zachowania się konstrukcji żelbetowych w czasie pożaru, a także ujawnienie zjawiska nawrotu przyczepności po ostygnięciu konstrukcji. Jest to dość ważny czynnik związany z wytrzymałością konstrukcji żelbetowych w czasie pożaru oraz z bezpieczeństwem ratowników. Zauważono bowiem w czasie akcji ratowniczo-gaśniczych odpadanie otuliny stropów żelbetowych w czasie krótszym niż wskazywałyby na to ich odporność ogniowa.

Badanie natomiast przyczepności „na zimno” po obróbce termicznej próbek daje podstawę do oceny spadku przyczepności oraz stanu konstrukcji żelbetowych po przebytych pożarze.

Należy odnotować interesujące wyniki uzyskane przez badaczy zajmujących się zagadnieniem przyczepności w warunkach normalnej pracy konstrukcji, jak również w warunkach podwyższonych i wysokich temperatur [1], [3], [4], [7], [8], [10], [11].

Większość tych ostatnich badań przeprowadzono w temperaturach pokojowych po wstępnej obróbce termicznej [2], [5], [6], [9], [12], [13].

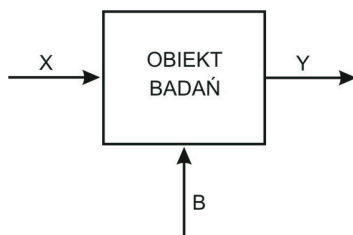
Podsumowując aktualny stan wiedzy na podstawie dostępnej literatury dotyczącej przyczepności stali do betonu możemy stwierdzić, że:

- Wszyscy autorzy badań wskazują na spadek przyczepności na skutek oddziaływania wysokich temperatur.
- Stwierdzają, że z powodu zastosowania różnych metod badawczych wyniki badań przyczepności nie dają się w prosty sposób porównać. Jest to również spowodowane rodzajem użytych do badań próbek oraz składem betonu, rodzajem zbrojenia i obróbką jego powierzchni.
- Niektórzy badacze wskazują na to, że na spadek przyczepności prętów zbrojonych do betonu na skutek oddziaływania wysokich temperatur wpływa wytrzymałość betonu.
- Wyniki badań wpływu temperatur na spadek przyczepności przedstawione w literaturze dotyczą głównie badań w temperaturze pokojowej (badania „na zimno”).

2. Planowanie badań

2.1. Badania „na zimno”

Na rys. 1 przedstawiony został schemat przeprowadzonego eksperymentu dotyczący badań „na zimno”.



Rys.1. Schemat przeprowadzonego eksperymentu.

Fig. 1. Scheme of the experiment.

X – zmienne wejściowe umożliwiające zmianę przebiegu procesu: Temperatura nagrzewania próbek T (przebieg osiągnięcia T zgodny z przyjętą krzywą „temperatura–czas”);

B – zmienne stałe przyjmowane na stałym poziomie:

- klasa betonu C16/20 lub C40/50,
- gatunek stali zbrojeniowej: gładka St3S lub żebrowana 18G2;

Y – zmienne wyjściowe – zmienne mierzalne zależne od zmiennych wejściowych i stałych:

- siła przyczepności stali do betonu oraz obliczony spadek przyczepności.

Temperatura nagrzewania próbek (zmienna X) podczas badań zmieniała się w zakresie od (50°C do 800°C) z odstępami wynoszącymi 50°C.

2.2. Badania „na gorąco”

Przyjęto schemat badań podobny do badań „na zimno” rys.1, gdzie:

X – zmienne wejściowe:

- stała siła przyłożona do pręta zbrojeniowego odpowiadająca założonej wartości maksymalnej przyczepności;

B – zmienne stałe przyjmowane na stałym poziomie:

- klasa betonu C16/20 lub C40/50.
- gatunek stali zbrojeniowej: gładka St3S lub żebrowana 18G2;

Y – zmienne wyjściowe:

- temperatura na przyjętej krzywej nagrzewania „temperatura–czas” powodująca zniszczenie założonej przyczepności.

3. Charakterystyka materiałów użytych do wykonania próbek

Do wykonania próbek wykorzystano beton klasy C16/20 i C40/50 [14]. Wytrzymałość charakterystyczną na ściskanie w 28. dniu określono zgodnie z PN-EN 12350-1 [15]. Do zbrojenia zastosowano pręty ze stali gładkiej klasy A-I oraz żebrowanej klasy A-II o średnicy \varnothing 10 mm.

Celem zastosowania do wykonania próbek stali gładkiej oraz żebrowanej było zbadanie wpływu żeber na spadek przyczepności w temperaturach wysokich pożaru oraz wyjaśnienie mechanizmów tego zjawiska. Próbkę wykonano w pracowni Instytutu Konstrukcji Budowlanych Politechniki Warszawskiej.

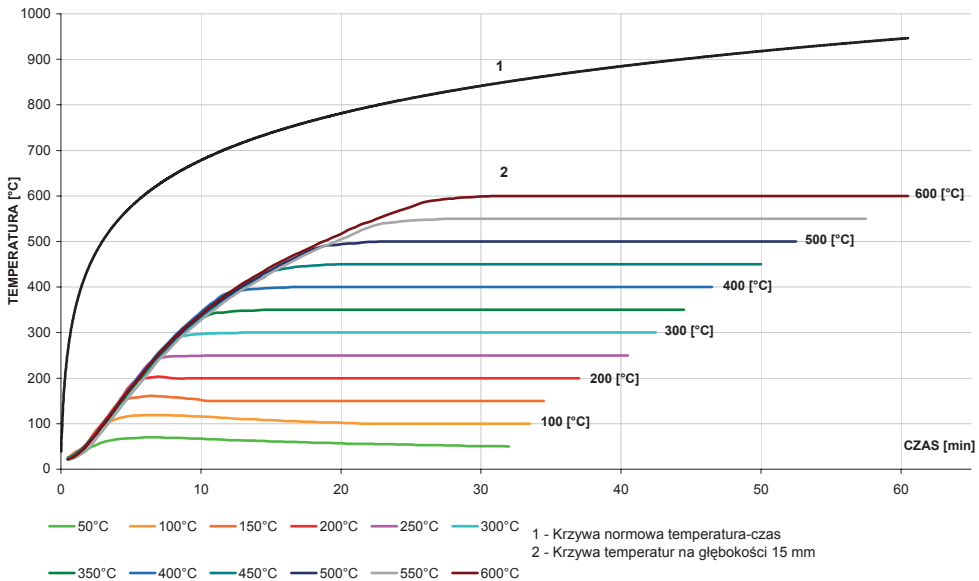
4. Badania wykonane „na zimno”

Próbki do badań „na zimno” wykonano w formie walca o średnicy 100 mm i wysokości 150 mm. W środkowej części próbki na styku pręta stalowego i betonu oraz na zewnętrznej powierzchni próbki rozmieszczono termopary.

Obróbkę termiczną próbek przeprowadzono w piecu z programatorem i sterownikiem temperatur w oparciu o przyjęty rozkład „temperatura-czas”. Po osiągnięciu założonej temperatury na przyjętym rozkładzie utrzymywano ją na stałym poziomie przez okres 30 minut (rys. 2).

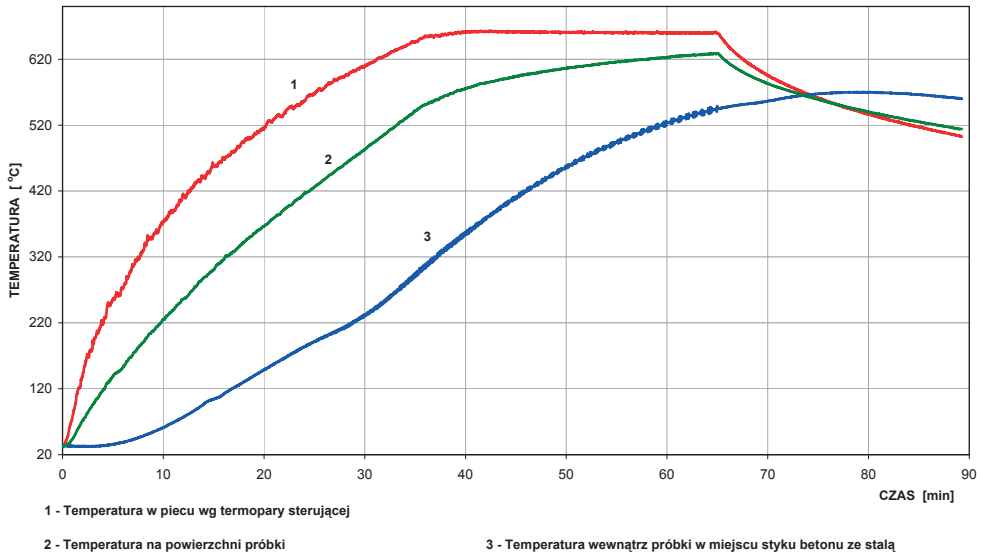
W badaniach przyjęto rozkład temperatur w płycie betonowej na głębokości 15 mm od powierzchni ogrzewanej podczas normowego pożaru opisanego wzorem (1) oraz rozkładu temperatur na powierzchni płyty opisanego wzorem (2).

W tym czasie występowało wyrównanie temperatury na powierzchni próbki oraz na styku stali i betonu (rys. 3). Po procesie wygrzewania próbki schładzano przez 24 godziny do osiągnięcia temperatury pokojowej. Badania przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej, stosując metodę wyciągania pręta z próbki (pull-out bond test). W badaniu wyznaczono maksymalną siłę niezbędną do przesunięcia pręta w betonie.



Rys. 2. Założony w badaniach „na zimno” rozkład temperatur z oznaczonym czasem osiągnięcia temperatury zadanej.

Fig. 2. Cold tests assumed temperatures distribution, together with time in which set temperatures were achieved.



Rys. 3. Uzyskany rozkład temperatur – stal gładka St3S beton C40/50.

Fig. 3. Temperature curves obtained in tests – steel St3S concrete C40/50.

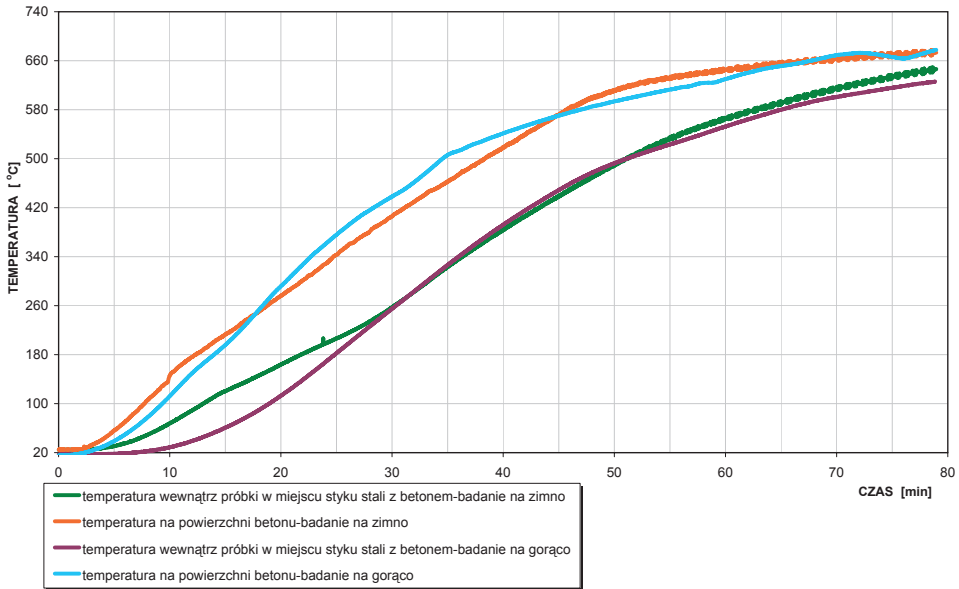
5. Badania wykonane w czasie grzania – „na gorąco”

W celu porównania spadku przyczepności w badaniach „na gorąco” oraz „na zimno” w jednakowych warunkach termicznych ustalono, że podstawowym rozkładem temperatur będzie rozkład występujący na styku pręta zbrojeniowego oraz betonu.

Dążenie do ujednoczenia rozkładu temperatur na styku stali i betonu doprowadziło do zmniejszenia średnicy próbek w badaniach „na gorąco”. Średnicę zmniejszono o 30 mm, zachowując wysokość próbki. Dzięki temu uzyskano bardzo zbliżone rozkłady temperatur uwidocznione na rys. 4.

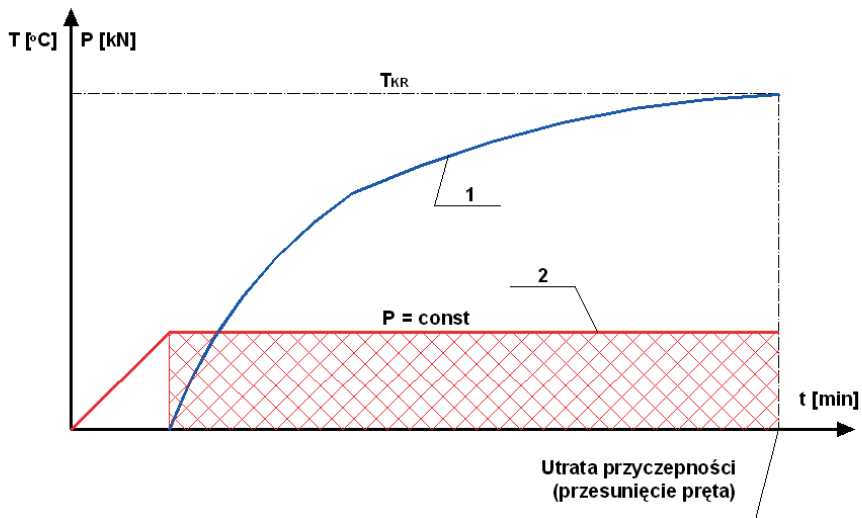
Badania przyczepności „na gorąco” wykonano zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 5. W czasie badania próbki były obciążone stałą siłą utrzymywaną w czasie próby. Jednocześnie ogrzewano próbkę zgodnie z przyjętym rozkładem „temperatura-czas”, mierząc temperaturę na zewnętrznej powierzchni oraz na styku pręta i betonu. Celem badania było ustalenie temperatury krytycznej T_{kr} , przy której następowała utrata siły przyczepności odpowiadająca stałej sile obciążającej próbkę. Przykładowy przebieg badania przedstawiono na rys. 6.

Za moment utraty przyczepności uznawano przesunięcie pręta w stosunku do betonu, które powodowało nagły spadek siły. Badania wykonano na stanowisku składającym się z kilku elementów: pieca do wygrzewania próbek, maszyny wytrzymałościowej, układów pomiarowych temperatury oraz przesunięcia pręta, układu rejestrującego mierzone wartości.



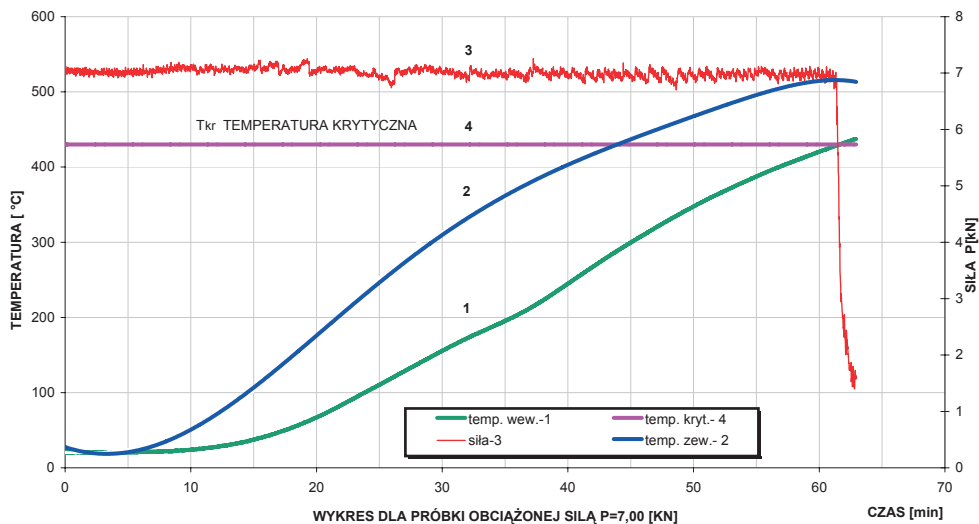
Rys. 4. Porównanie rzeczywistych rozkładów temperatury w obydwu rodzajach wykonanych badań.

Fig. 4. Comparison of actual temperatures in both types of tests.



Rys. 5. Schemat przebiegu badania „na gorąco”, gdzie: 1 – rozkład temperatury w miejscu styku betonu z prętem stalowym, 2 – wykres siły przyłożonej do próbki (wyciągającej pręt z betonu).

Fig. 5. Hot test diagram.



Rys. 6. Przykładowy przebieg badania „na gorąco”, gdzie: 1 – temperatura na styku pręta z betonem, 2 – temperatura na powierzchni próbki betonowej, 3 – stała siła obciążająca próbkę w czasie badania, 4 – temperatura krytyczna.

Fig. 6. Exemplary of the hot test course.

6. Charakter zniszczenia przyczepności w czasie badań „na gorąco”

W celu dokonania analizy charakteru zniszczenia przyczepności podczas badań „na gorąco” wykonano specjalne próbki o średnicy $\varnothing 70$ mm i wysokości 150 mm z betonu klasy C40/50.

Technologia wykonania była taka sama jak próbek do podstawowych badań, z tym że z każdej próbki w fazie betonowania został wycięty element o kącie rozwarcia wynoszącym 90° , co umożliwiło jego dowolne wysuwanie i wsuwanie podczas badania. W czasie badań element wsuwany szczelnie przylegał do próbki betonowej. Pozwoliło to na dokonywanie analizy stanu powierzchni styku pomiędzy stalą i betonem, zarówno dla prętów wykonanych ze stali gładkiej, jak i żebrowanej pod obciążeniem w ustalonych temperaturach.

Po osiągnięciu założonej temperatury na powierzchni próbki demontowano piec badawczy i wysuwano wycinek, fotografując powierzchnie styku stali z betonem. Uzyskane wyniki badań zostały przedstawione na rys. 7 i rys. 8.



Rys. 7. Szczegółowy widok styku pręta gładkiego St3S z betonem górnej i dolnej (od strony obciążenia) części próbki w momencie zniszczenia przyczepności – 315°C

Fig. 7. Detailed view of the smooth rebar-concrete contact; upper and bottom (from the force site) part of the sample – moment of bond destruction – 315°C



Rys. 8. Szczegółowy widok styku pręta żebrowanego 18G2 z betonem górnej i dolnej (od strony obciążenia) części próbki – 300°C

Fig. 8. Detailed view of ribbed rebar-concrete contact; upper and bottom (from the force site) part of the sample – 300°C

7. Wyniki badań

Wyniki badań przyczepności „na zimno” oraz „na gorąco” opracowano statystycznie w celu ustalenia zależności temperatury krytycznej utraty przyczepności dla przyjętych w badaniu zmiennych stałych (klasa betonu, gatunek stali).

Obliczenia średniego wyniku spadku przyczepności dokonano na podstawie wyników pięciu prób w każdym punkcie pomiarowym, przyjmując różnicę siły przyczepności w danym punkcie pomiarowym i w punkcie o temperaturze 20°C (spadek zerowy). W badaniach „na zimno” temperaturę krytyczną odpowiadającą spadkowi przyczepności pomiędzy prętem ze stali gładkiej St3S a betonem C16/20 oraz prętem ze stali żebrowanej 18G2 a betonem C16/20 opisano wzorem:

$$y = ax + b \quad (4)$$

gdzie: x – spadek siły przyczepności w [%], y – temperatura na styku stali i betonu, w której występuje ten spadek przyczepności.

Współczynniki a i b przedstawiono w tabeli 1.

W przypadku temperatur krytycznych odpowiadających spadkowi przyczepności stali żebrowanej 18G2 do betonu C40/50 lepsze dopasowanie reprezentuje funkcja logarytmiczna:

$$y = a \ln x + b \quad (5)$$

Współczynniki a i b w tym wzorze zamieszczono również w tabeli 1.

Tabela 1. Współczynniki a i b .

Table 1. Coefficients a i b .

Współczynniki równań regresji oraz współczynniki determinacji – badania” na zimno”				
Lp.	Gatunek stali i betonu	Nachylenie funkcji [a]	Przesunięcie funkcji [b]	Współczynnik determinacji [R ²]
1.	St3S, C16/20	5,762	21,916	0,991
2.	St3S, C40/50	6,148	22,152	0,970
3.	18G2, C16/20	8,325	19,252	0,986
4.	18G2, C40/50	203,51	-81,234	0,815

Spadek przyczepności w założonych temperaturach otoczenia w badaniach „na zimno” przedstawiono również w postaci tabelarycznej (tabela 2 oraz tabela 3).

Tabela 2. Wyniki badań spadku siły przyczepności stali gładkiej St3S do betonu C16/20 oraz C40/50.

Table 2. Results from research into decrease of bond force between smooth steel St 3S and concrete C16/20, C40/50.

Numer badania	Rzeczywista w środowisku pożaru	Wyniki badań spadku siły przyczepności			
		Stal St3S, beton C16/20		Stal St3S, beton C40/50	
		[kN]	[%]	[kN]	[%]
1T	20°C	0,00	0,00	0,00	0,00
2T	50°C	2,02	7,41	2,84	10,25
3T	100°C	1,80	6,60	2,98	10,76
4T	150°C	3,42	12,55	3,12	11,26
5T	200°C	4,84	17,75	4,28	15,45
6T	250°C	7,48	27,44	5,34	19,28
7T	300°C	9,86	36,17	8,00	28,88
8T	350°C	11,10	40,72	12,94	46,71
9T	400°C	13,44	49,30	15,10	54,51
10T	450°C	17,28	63,39	14,66	52,92
11T	500°C	20,14	73,88	17,14	61,88
12T	550°C	22,80	83,64	20,64	74,51

Tabela 3. Wyniki badań spadku siły przyczepności stali żebrowanej 18G2 do betonu C16/20 oraz C40/50.

Table 3. Results from research into decrease of bond force between ribbed steel 18G2 and concrete C16/20, C40/50.

Numer badania	Rzeczywista w środowisku pożaru	Wyniki badań spadku siły przyczepności			
		Stal 18G2, beton C16/20		Stal 18G2, beton C40/50	
		[kN]	[%]	[kN]	[%]
1T	20°C	0,00	0,00	0,00	0,00
2T	50°C	0,74	2,65	2,38	5,55
3T	100°C	1,94	6,95	2,00	4,66
4T	150°C	3,68	13,19	1,28	2,98
5T	200°C	3,46	12,40	2,72	6,34
6T	250°C	4,94	17,71	1,12	2,61
7T	300°C	6,66	23,87	2,32	5,41
8T	350°C	8,88	31,83	2,06	4,80
9T	400°C	9,44	33,84	2,28	5,31
10T	450°C	12,30	44,09	2,58	6,01
11T	500°C	14,10	50,54	2,42	5,64
12T	550°C	16,92	60,65	3,20	7,46

Wyniki badań w temperaturach wysokich (badania „na gorąco”) opracowano statystycznie, uzyskując zależności liniowe opisujące temperaturę krytyczną, przy której następuje założony spadek przyczepności, zgodnie z wzorem (4).

W tabeli 4 przedstawiono wartości współczynników a i b we wzorze.

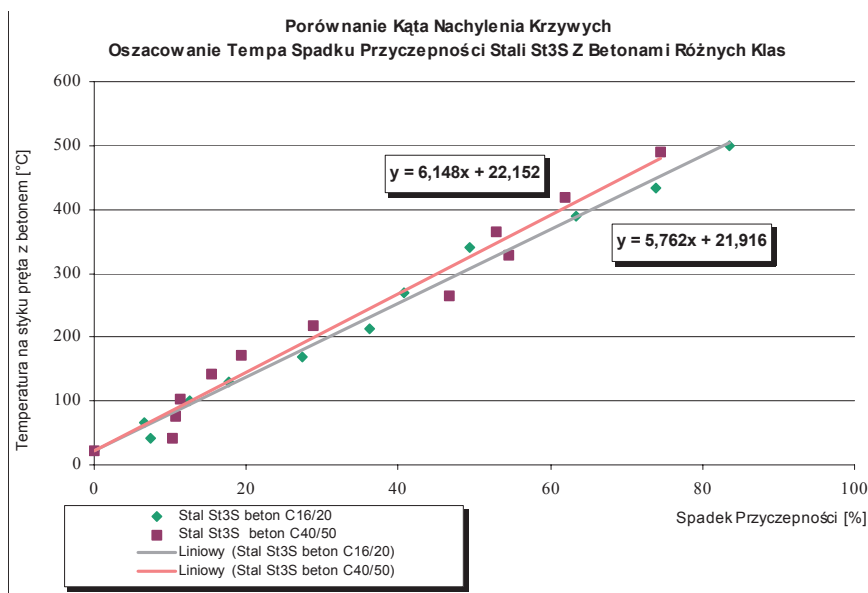
Tabela 4. Współczynniki a i b .Table 4. Coefficients a i b .

Lp.	Gatunek stali i betonu	Współczynniki równań regresji oraz współczynniki determinacji – badania” na gorąco”		
		Nachylenie funkcji [a]	Przesunięcie funkcji [b]	Współczynnik determinacji [R ²]
1.	St3S, C16/20	5,294	-19,009	0,939
2.	St3S, C40/50	5,981	5,385	0,981
3.	18G2, C16/20	6,454	36,206	0,972
4.	18G2, C40/50	9,075	23,944	0,976

Na rys. 9 przedstawiono porównanie wykresów opisujących spadek przyczepności w temperaturach wysokich w badaniach „na zimno” stali gładkiej St3S do betonów klasy C16/20 oraz C40/50. Wykres ten stanowił podstawę do wnioskowania o wpływie klasy betonu na przyczepność oraz spadek przyczepności w podwyższonych temperaturach w przypadku stali gładkiej

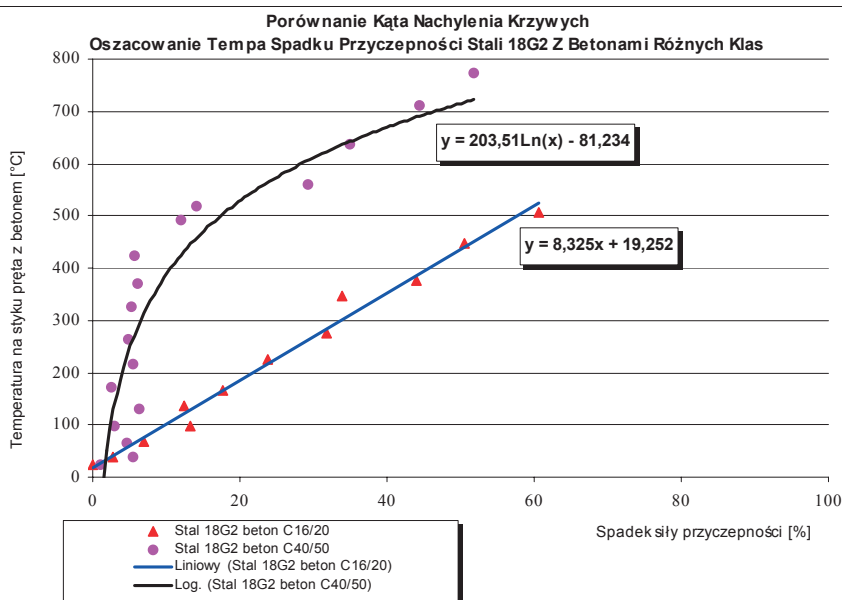
Na rys. 10 przedstawiono wykresy opisujące spadek przyczepności w temperaturach wysokich pożaru pomiędzy stalą żebrowaną 18G2 a betonami klasy C16/20 oraz C40/50 uzyskane na podstawie wyników badań w temperaturach pokojowych, tj. „na zimno”.

Na rys. 11 przedstawiono wykresy opisujące spadek przyczepności stali gładkiej St3S do betonów klasy C16/20 oraz C40/50 w temperaturach wysokich uzyskane w badaniach „na gorąco”. Natomiast na rys.12 przedstawiono wykresy opisujące spadek przyczepności stali żebrowanej 18G2 do betonów ww. klas.



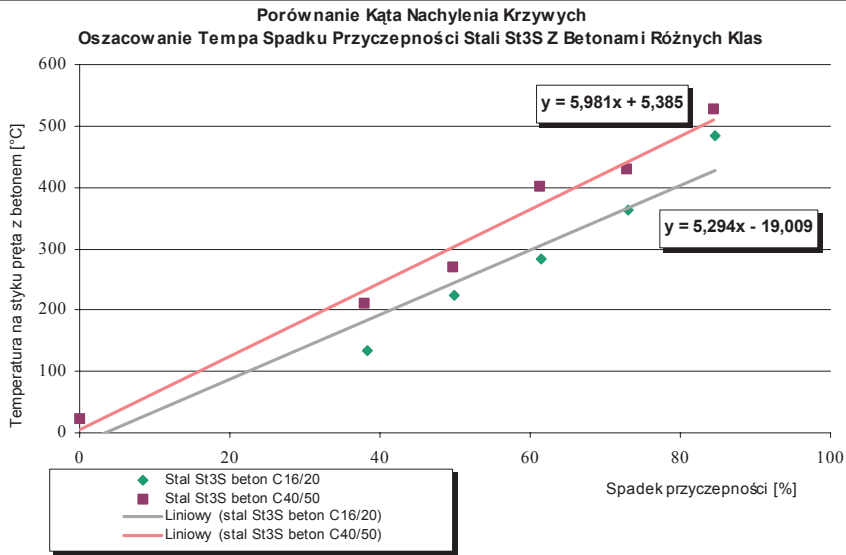
Rys. 9. Temperatury krytyczne spadku przyczepności stali gładkiej do betonu (badania „na zimno”).

Fig. 9. Critical temperatures for bond reduction for smooth rebars (cold tests).



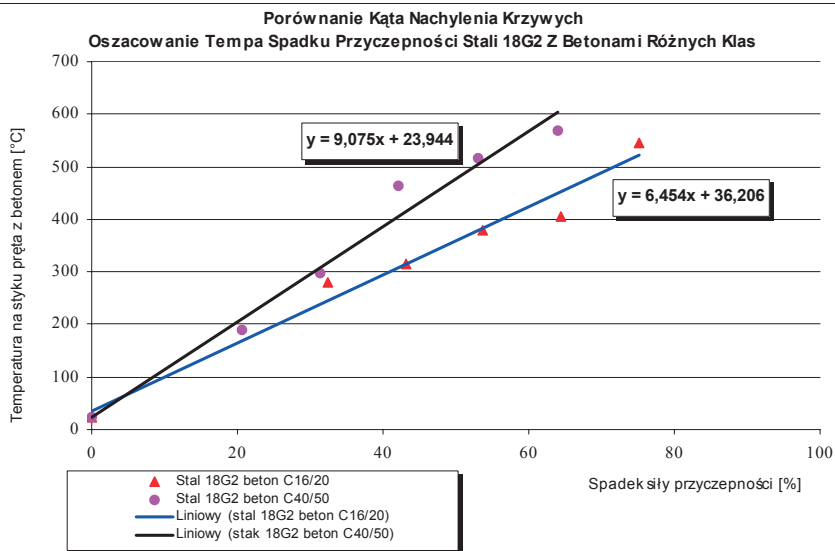
Rys. 10. Temperatury krytyczne spadku przyczepności stali żebrowanej do betonu (badania „na zimno”).

Fig. 10. Critical temperatures for bond reduction for ribbed rebars (cold tests).



Rys. 11. Temperatury krytyczne spadku przyczepności stali gładkiej do betonu (badania „na gorąco”).

Fig. 11. Critical temperatures for bond reduction for smooth rebars (hot tests).



Rys. 12. Temperatury krytyczne spadku przyczepności stali żebrowanej do betonu (badania „na gorąco”).

Fig. 12. Critical temperatures for bond reduction for ribbed rebars (hot tests).

8. Wnioski

1. Na podstawie wyników badań należy stwierdzić, że występujące w czasie pożarów wysokie temperatury powodują znaczny spadek przyczepności pomiędzy prętami zbrojenia a betonem. Z analizy wyników badań można wnioskować,

że spadek przyczepności pręta stalowego do betonu w badaniach „na zimno” (badania stanu przyczepności po przebytych pożarze) oraz „na gorąco” (w czasie pożaru) jest zróżnicowany w całym zakresie temperatur (do 800°C) przyjętym w badaniach. Spadek przyczepności „na gorąco” jest zawsze większy niż w badaniach „na zimno”. Świadczy to o częściowym nawrocie przyczepności po ostygnięciu próbki prawdopodobnie w części spowodowanej tarciem.

2. Bardzo istotny wpływ na przyczepność stali do betonu nie tylko w temperaturze normalnej, co jest faktem powszechnie znanym, ale również w temperaturach pożarowych ma rodzaj stali (żebrowana, gładka), co jest związane ze zróżnicowaniem powierzchni styku stali i betonu oraz sposobem przekazywania obciążeń z pręta na beton.

3. Wpływ wytrzymałości betonu na przyczepność stali do betonu w temperaturach pożarowych jest zróżnicowany, związany z rodzajem stali: w przypadku przyczepności stali gładkiej do betonu ma niewielki wpływ, natomiast w przypadku stali żebrowanej ma istotne znaczenie. Na podstawie badań stwierdzono, że w przypadku stali gładkiej po zniszczeniu przyczepności pręt w temperaturach podwyższonych i wysokich „wyślizguje” się z betonu, nie uszkadzając w istotny sposób otaczającego betonu. Natomiast w przypadku stali żebrowanej przed przesunięciem pręta występuje zniszczenie betonu w otoczeniu żeber oraz rysy w betonie poprzeczne lub ukośne do pręta.

4. W przypadku przyczepności prętów żebrowanych betony o wyższej wytrzymałości znacząco podwyższają temperatury niebezpieczne z punktu widzenia spadku przyczepności. W badaniach popożarowych spadek przyczepności stali żebrowanej 18G2 do betonu klasy C40/50 może być praktycznie niezauważalny w zakresie temperatur nie przekraczających 500°C.

Reasumując:

- W badaniach popożarowych, analizując przydatność konstrukcji żelbetonowych do dalszej pracy, należy brać pod uwagę spadek przyczepności pomiędzy stalą a betonem.
- Przy określaniu temperatury krytycznej wpływającej na utratę odporności ogniowej elementów żelbetonowych, w szczególności stropów żelbetonowych, należy brać pod uwagę możliwość odpadania otulin betonowych na skutek utraty przyczepności oraz znaczny wzrost temperatury nieosłoniętego zbrojenia.
- Wyniki badań spadku przyczepności w temperaturze pokojowej uzyskane na ochłodzonych po obróbce termicznej próbkach nie są miarodajne do oceny spadku przyczepności w czasie pożaru.

Literatura:

- [1] Bomonte P., Lelliel L., *Bar concrete bond – size efect and local bond – slip laws*, Politecnico di Milano. Milano, 2001.
- [2] Chih-Hung C., Cho-Liang T., *Time – temperature analysis of bond strength of a raber after fire exposure*, Cement and Concrete Research, 2003, Nr 33, pp.1651-1654.
- [3] Czernski Z., *Mechaniczne działanie przyczepności w strunobetonie*, Inżynieria i Budownictwo, Nr.6, 1987.
- [4] Czkwieniac A., Kozicki J., *Przyczepność zbrojenia w betonie piaskowym*, Inżynieria i Budownictwo, Nr.1, 1984.

- [5] Dąbrowski K., Ablewicz Z., *Badanie przyczepności betonów osłonowych do stali zbrojeniowej w temperaturach podwyższonych*, Inżynieria i Budownictwo, Nr.10, 1985.
- [6] Fellingner J.H.H., Jołop A., Uijl D., *Bond of protensioned strands in fire exposed concrete. Bond in concrete – from research to standards*, Budapest 2002.
- [7] Lundgren K., Gustavson R., Magnusson J., *Finite element modelling as a tool to understand the bond mechanisms. Bond in concrete – from research to standards*, Budapest 2002.
- [8] Mohhamed S., Bartos P.J., *Bond behaviour and pull-off test of self compacting concrete. Bond in concrete – from research to standards*, Budapest 2002.
- [9] Morley P. D., Royles R., *Response of the bond in reinforcing at normal and high temperature*, Magazine of Concrete Research, 1983, Nr.123, pp. 67-74.
- [10] Pędziwiatr J., Mnich M., *Przyczepność stali do betonu – badania doświadczalne a zastosowanie*, XLVI Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej PAN i Komitetu Nauki PZiTb. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Krynica 2000.
- [11] Pędziwiatr J., Styś D., *Przyczepność a proces zarysowania konstrukcji żelbetowych*, XLVIII Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej PAN i Komitetu Nauki PZiTb. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Krynica 2002.
- [12] Reichel V., *How fire affect steel – to – concrete bond*, Building Research and Practice, 1978.
- [13] Urban W., *Woprosy eksperymentalnego issledowania ocieplenia armatury z betonom*, Praha 1980.
- [14] PN-EN 206-1:2003, *Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność*.
- [15] PN-EN 12350-1, *Badanie mieszanki betonowej. Część 1: Pobieranie próbek*.

Research into steel-concrete bond in fire conditions

Zoja Bednarek¹, Paweł Ogrodnik²

¹ The Main School of Fire Service, Słowackiego 52/54, Warsaw, Poland, sgsp@sgsp.edu.pl

² The Main School of Fire Service, Słowackiego 52/54, Warsaw, Poland, pawel-ogrodnik@wp.pl

Abstract: The article presents results from the research into fire temperature influence on steel-concrete bond and on the bond reduction for both in-fire and after-fire status. Bond tests and its results for materials St3S, 18G2 reinforced steel and C16/20, C40/50 concrete, have been described in the article both for in fire and after-fire conditions. All tests have shown a significant reduction of steel-concrete bond as a result of fire temperature. It was proven, that significant bond differences exist between in-fire and after-fire tests, what demonstrate that the bond is regained partially after the exposure.

Key words: bond test, concrete, steel, fire temperature.