

st. bryg. w st. spocz. prof. dr hab. inż. **Zoja BEDNAREK¹**
st. kpt. dr inż. **Paweł OGRODNIK¹**
mł. bryg. dr inż. **Renata KAMOCKA-BRONISZ¹**
mł. bryg. mgr inż. **Sławomir BRONISZ¹**

BADANIE WPLYWU TEMPERATUR WYSTĘPUJĄCYCH W CZASIE POŻARU ORAZ SZOKOWEGO CHŁODZENIA NA PRZYCZEPNOŚĆ STALI B500SP I BSt500S DO BETONU

Study of fire temperatures and shock cooling influence on the bond strength between steel B500SP and BSt500S to concrete

Streszczenie

Artykuł prezentuje wyniki badań wpływu temperatur występujących podczas pożaru na przyczepność stali do betonu oraz oszacowanie tego wpływu na spadek przyczepności. W pracy przedstawiono wyniki badań przyczepności stali żebrowanej B500SP oraz BSt500S do betonu C30/37 w warunkach popożarowych (badanie „na zimno”) z uwzględnieniem różnych warunków stygnięcia – w tym szokowego chłodzenia wodą w czasie akcji gaśniczych konstrukcji oraz w trakcie trwania pożaru (badanie „na gorąco”). We wszystkich przebadanych przypadkach stwierdzono znaczący spadek przyczepności na skutek oddziaływania wysokich temperatur. Przedmiot badań jest ściśle związany z bezpieczeństwem konstrukcji budowlanych w czasie trwania pożaru, jak i z oceną ich dalszego użytkowania po przebyłym pożarze w wyniku prowadzenia działań gaśniczych. Badania realizowano w ramach projektu pt. „Innowacyjne środki i efektywne metody poprawy bezpieczeństwa i trwałości obiektów budowlanych i infrastruktury transportowej w strategii zrównoważonego rozwoju” POIG.01.01.02-10-106/09-01.

Summary

The paper presents results from the research of fire temperatures influence on steel-concrete bond and the estimation of this influence on bond reduction. In this paper the bond test results for ribbed steel B500SP and BSt500S to C30/37 concrete in the after-fire conditions (‘cold test’) including various cooling conditions - therein shock cooling by water in the course of construction extinguishing actions and in the fire (‘hot test’) has been described. In all studied cases a significant reduction of bond was stated as a result of high temperatures. The research subject is closely related to the construction structures safety during the fire and the after-fire construction structures usability resulting from conducted extinguishing actions. The research has been carried out as part of project: ‘Innovative measures and effective methods of improving the safety and the durability of buildings and transport infrastructure in the sustainable development strategy’ POIG.01.01.02-10-106/09-01.

Słowa kluczowe: badanie przyczepności, konstrukcje żelbetowe, spadek przyczepności, temperatury pożarowe, szokowe chłodzenie;

Keywords: bond test, reinforced concrete, bond reduction, fire temperatures, shock cooling;

1. Wprowadzenie

Podstawowym czynnikiem wiążącym beton ze stalą w konstrukcjach żelbetowych i sprężonych jest przyczepność pomiędzy betonem a stalą. Problemy związane z warunkami współpracy betonu i stali

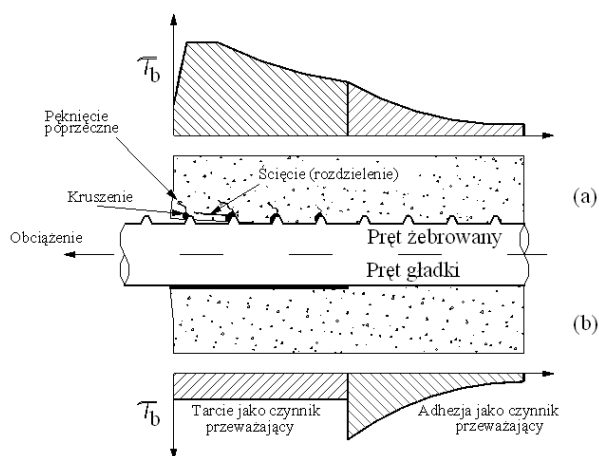
w konstrukcjach żelbetowych były badane i analizowane od dawna.

U podstaw zjawiska przyczepności leży szereg czynników, do których należy między innymi: chemiczne związanie materiałów, adhezja (sklejenia) powstająca w warstwach stykowych, tarcie, które jest proporcjonalne do nacisku wywieranego przez beton [5,6]. Jednym z ważnych czynników wpływających na przyczepność jest zazębienie mechaniczne

¹ Zakład Mechaniki Stosowanej, Szkoła Główna Służby Pożarniczej w Warszawie; każdy ze współautorów wniósł równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu (po 25%).

ne, tym większe, im większa jest chropowatość powierzchni pręta stalowego. Szacuje się, że w przypadku prętów żebrowanych zażębie mechaniczne stanowi 70% całkowitej przyczepności [3,4].

W prętach żebrowanych scenariusz zniszczenia przyczepności jest bardziej złożony niż w przypadku prętów gładkich, zostało to przedstawione na ryc. 1 [7]. W przypadku tym przemieszczenie warstwy granicznej wynika z mikropeknięć w warstwie najbliższej prętowi i z kruszenia betonu na czołach żeber. Wynikają z tego podstawowe różnice między gładkimi prętami, w których głównym czynnikiem jest odspojenie betonu od pręta, natomiast w prętach żebrowanych największą rolę odgrywa zniszczenie betonowej otuliny wywołane mikropeknięciami i kruszeniem.



Ryc. 1. Różne mechanizmy zniszczenia przyczepności: a – dla prętów żebrowanych, b – dla prętów gładkich [7]
 Fig. 1. The various mechanics of bond destroy: a – for ribbed bars, b – for smooth bars [7]

Z drugiej jednak strony istnieją pewne podobieństwa w zniszczeniu przyczepności. Można przyjąć, że przyczepność we wszystkich przypadkach wywołują te same mechanizmy, lecz mają one różne wartości.

2. Materiał i metodyka wykonania badań

2.1 Próbkki do badań

Do wykonania próbek został użyty beton zwykły klasy C30/37 na cemencie portlandzkim. Szczegółowy skład mieszanki betonowej został przedstawiony w tabeli 1.

Próbki do badań zostały wykonane z dwóch różnych gatunków żebrowanej stali zbrojeniowej B500SP oraz BSt500S. Stale te różnią się kształtem powierzchni użebrowania. Zgodnie z Eurokodem 2 stal zbrojeniową gatunku BSt500S można zakwalifikować do klasy „B”, natomiast stal gatunku B500SP do klasy „C”. Porównanie wymagań normowych dla stali użytych do wykonania próbek podano w tabeli 2.

Tabela 1.
 Skład mieszanki betonowej do wykonania próbek
 Table 1.

The composition of concrete mix for manufacturing the samples

Rodzaj składnika	Ilość składnika [kg/m ³]
Piasek wiślany (0-2 mm)	989
Cement CEM I35R	335
Żwir (2-8 mm)	1105
Woda	117
Domieszka Chrysto Fluid Premia 190	8

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. Cienki kanałek do wprowadzania termopary wykonano w próbce w czasie betonowania. Całkowita wysokość próbki wraz z prętem zbrojeniowym wynosi 720 mm. Po zabetonowaniu próbki przebywały w formach przez 48 h, następnie zostały one przeniesione na 28 dni do komory klimatycznej. Po tym okresie próbki przeniesiono do laboratorium, gdzie w temperaturze około 20°C przechowywano je przez trzy miesiące.

Tabela 2.
 Wymagania normowe stali użytej do wykonania próbek [8]

The standard requirements of steel used for manufacturing the samples [8]

Gatunek Stali	BSt500S	B500SP
Parametr		
f_{vk} [MPa]	500	500
f_{vd} [MPa]	420	420
f_{tk} [MPa]	550	575
ϵ_{uk} [%]	5%	8%
Stosunek f_{tk}/f_{vk} [-]	>1.08	$1.15 \leq f_{tk}/f_{vk} \leq 1.35$
Obciążenia cykliczne	2x10 ⁶ cykli	2x10 ⁶ cykli
Spajalność	Spajalna	Spajalna

W przypadku próbek do badania „na gorąco” średnica betonowej otuliny próbek została zmniejszona do 70 mm, co miało na celu szybsze wyrównanie temperatury na zewnętrznej powierzchni otuliny betonowej i na styku betonu oraz stali. Pozostałe wymiary próbki oraz rozmieszczenie termopar są identyczne jak próbki do badań „na zimno”.

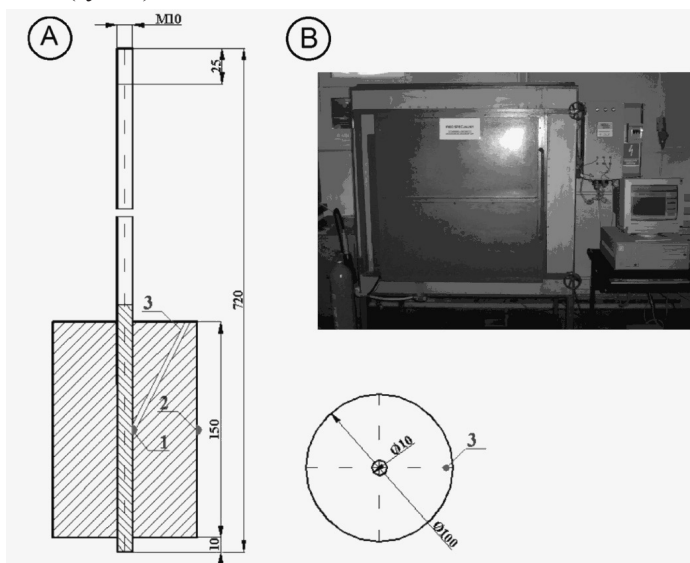
Przyczepność stali do betonu ma istotne znaczenie szczególnie w przypadku konstrukcji sprężonych. Wpływ przyczepności na bezpieczeństwo konstrukcji w warunkach ekstremalnych pożarów

nie podlega dyskusji. Istotne znaczenie ma również ocena spadku współpracy zbrojenia i betonu przy ocenie przydatności do dalszej pracy konstrukcji po pożarze. Autorzy uważali, że stosowane powszechnie w czasie akcji gaśniczej szybkie (szokowe) chłodzenie konstrukcji betonowych zimną wodą, może mieć niekorzystny wpływ na przyczepność. Biorąc pod uwagę powyższe, program badań obejmował:

- badanie przyczepności „na gorąco”, w czasie wzrostu temperatury na stanowisku badawczym,
- badanie „na zimno” po powolnym ostygnięciu próbek w warunkach naturalnych,
- badanie „na zimno” po szokowym stygnięciu próbek w zimnej wodzie.

2.2 Badania „na zimno” w różnych warunkach stygnięcia konstrukcji

Podstawowym trzonem stanowiska do wykonania badań „na zimno” jest średnotemperaturowy piec komorowy typu PK 1100/5. Piec wyposażony jest w sterownik temperatury, który za pomocą komputera PC i specjalnego oprogramowania pozwala na zaplanowanie dowolnych rozkładów temperatur (ryc. 2).



Ryc. 2. A) Przekrój próbki do badań, B) Widok pieca PK 1100/5

gdzie: 1 – termopara wewnętrzna, 2 – termopara wewnętrzna, 3 – kanałek do wprowadzenia termopary

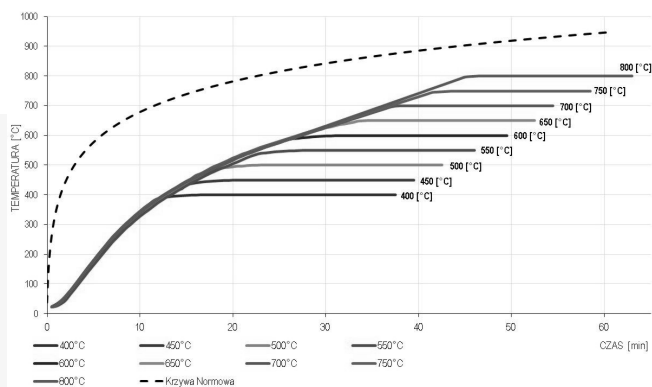
Fig. 2. A) The section of specimen for tests, B) The view of the PK 1100/5 furnace

whereas: 1 – internal thermocouple, 2 – internal thermocouple, 3 – channel for the thermocouple

Po umieszczeniu próbek w piecu zamocowane zostały termoelementy pomiarowe na zewnętrznej powierzchni próbki, a także na styku betonu i stali w wykonanym wcześniej kanałku. W czasie badań mierzono również temperaturę w środowisku pieca w otoczeniu próbek. Za podstawę w badaniach została przyjęta krzywa normowa temperatura-czas.

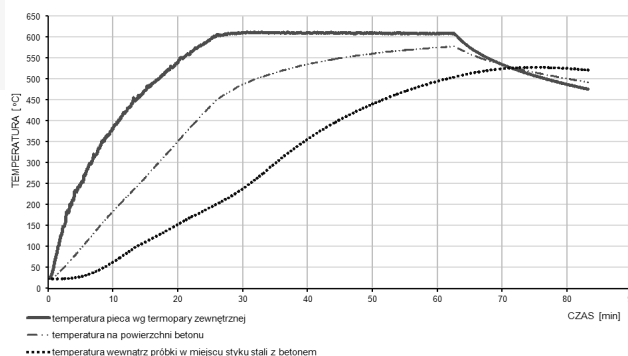
W badaniach przyjęto rozkład temperatur w płycie betonowej na głębokości 15 mm od powierzchni ogrzewanej podczas normowego pożaru. Założony w badaniu rozkład temperatur został przedstawiony na ryc. 3a.

Dla tak przygotowanych próbek rozpoczęto proces grzewczy, po osiągnięciu założonej temperatury od 400°C do 800°C z odstępami wynoszącymi 50°C na przyjętym rozkładzie utrzymywano ją na stałym poziomie przez okres 30 minut. W tym czasie występowało wyrównanie temperatury na powierzchni próbki oraz na styku stali i betonu (ryc. 3b). Po wyjęciu próbek z pieca część z nich chłodzono szokowo w pojemniku z zimną wodą. Druga część próbek ostygła w sposób naturalny w piecu przez 24 godziny do osiągnięcia temperatury pokojowej. Badania przyczepności 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.



Ryc. 3a. Założony w badaniach rozkład temperatur z zaznaczonym czasem ogrzewania

Fig. 3a. The temperature distribution assumed for tests with heating time marked



Ryc. 3b. Przykładowy rozkład temperatur uzyskany w czasie badania „na zimno”

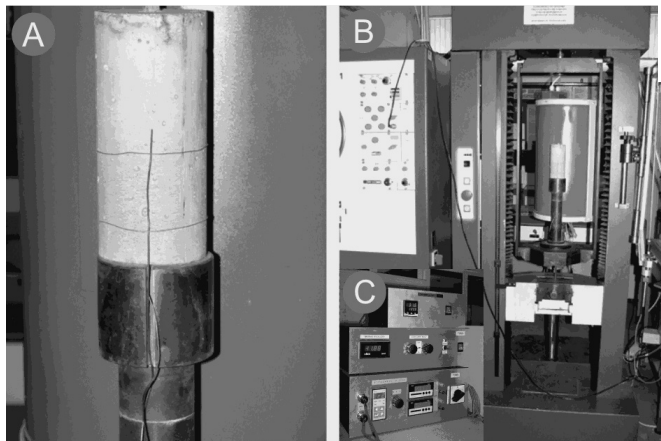
Fig. 3b. The temperature distribution example obtained during ‘cold test’

2.3 Badania „na gorąco”

W celu porównania spadku przyczepności w badaniach „na gorąco” oraz „na zimno” w jednako-

wych warunkach termicznych ustalono, że podstawowym rozkładem temperatur w badaniach „na gorąco” będzie rozkład występujący na styku pręta zbrojeniowego oraz betonu w środkowej części próbki [1,2].

Podstawowymi elementami stanowiska do badań „na gorąco” są: piec do wygrzewania próbek wraz ze sterownikiem, maszyna wytrzymałościowa, układ pomiarowy temperatury oraz układ rejestracyjny, co zostało przedstawione na ryc. 4.

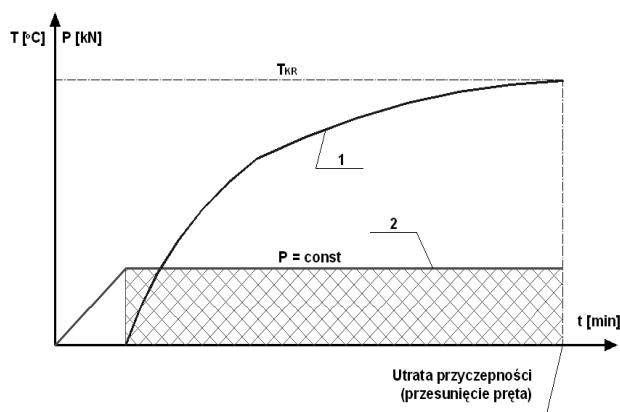


Ryc. 4. A) Próbką do badań „na gorąco”, B) Piec wraz z maszyną wytrzymałościową, C) Układ pomiarowy temperatury

Fig. 4. A) The sample for ‘hot tests’, B) The furnace with strength testing machine, C) Temperature measurement system

Wykorzystywany w badaniach „na gorąco” piec oznaczony symbolem P1000 został zainstalowany na wysięgniku maszyny wytrzymałościowej FPZ 100/1 (ryc. 4B). Część roboczą pieca tzw. mufłę stanowi komora cylindryczna wykonana ze stali żaroodpornej. W celu ustabilizowania pracy pieca i możliwości jego rozgrzewania do temperatury 1000°C w układzie sterującym został zainstalowany generator mocy. Podstawowym elementem pozwalającym sterować mocą pieca jest Programator PSP 1 wraz z komputerem pomiarowym i oprogramowaniem ThermoPro. Rejestracja mierzonych wartości odbywa się za pomocą komputera klasy PC z kartą pomiarową PCL818HG firmy Advantech.

Celem badania było ustalenie temperatury krytycznej T_{kr} , przy której następowała utrata siły przyczepności odpowiadająca stałej sile obciążającej próbkę. W czasie badania próbki były obciążone stałą siłą utrzymywaną w czasie próby. Jednocześnie ogrzewano próbkę zgodnie z przyjętym rozkładem „temperatura-czas”. Schemat badań na gorąco został przedstawiony na (ryc. 5).



Ryc. 5. Schemat badania „na gorąco” oraz określenia T_{kr}

1 – Rozkład temperatury w miejscu styku pręta z betonem, 2 – Wykres siły wyciągającej pręt z betonu

Fig. 5. ‘Hot test’ diagram and determination of T_{kr}
1 – The temperature distribution on the steel-concrete contact surface, 2 – The chart of force pulling the rebar from the concrete

Przed wykonaniem badań „na zimno” i „na gorąco” wykonano badania wstępne w celu wyznaczenia siły przyczepności w temperaturze normalnej 20°C.

- W przypadku badań „na gorąco” badania wstępne polegały na wyznaczeniu siły przyczepności w temperaturze normalnej 20°C w celu ustalenia stałych obciążeń w czasie badań.
- Badanie podstawowe. Po zamocowaniu termoelementów pomiarowych na zewnętrznej powierzchni próbki oraz na styku stali z betonem próbkę umieszczano w piecu i zamontowano na maszynie wytrzymałościowej FPZ100/1. Następnie obciążano stałą siłą wynoszącą odpowiednio 13 kN, 17 kN i 22kN, co odpowiada poziomowi naprężeń około $0,3f_{yk}$, $0,4f_{yk}$ i $0,5f_{yk}$. Po przygotowaniu w ten sposób układu pomiarowego rozpoczęto proces grzewczy zgodnie z założoną krzywą „temperatura-czas”. Za moment utraty przyczepności uznawano przesunięcie pręta w stosunku do betonu, które powodowało nagły spadek siły na maszynie wytrzymałościowej.

3. Wyniki badań

W badaniach „na zimno” w sumie wykorzystano 280 próbek po 70 w każdej grupie. Przed przystąpieniem do badań podstawowych przebadano przyczepność stali zbrojeniowych do betonu w temperaturze normalnej 20°C [1]. Zgodnie z planem eksperymentu próbki wygrzewano w zakresie temperatur od 400°C do 800°C, po 7 próbek w każdym z zakresów temperatury. W tabeli 3. przedstawiono porównanie wyników badań przyczepności stali B500SP do betonu C30/37 po chłodzeniu szokowym oraz naturalnym. W tabeli 4. przedstawiono porównanie wyników badań przyczepności stali BSt500S do betonu C30/37 po chłodzeniu szokowym oraz naturalnym.

Tabela 3.

Porównanie wyników badań przyczepności stali B500SP do betonu C30/37 po chłodzeniu szokowym (S) i naturalnym (N)

Table 3.

Comparing the bond tests results of steel B500SP to C30/37 concrete after shock (S) and natural (N) cooling

Temp. [°C]	N	Siła Przyczepności (S) [kN]	Spadek Przyczepności (S) [%]	Siła Przyczepności (N) [kN]	Spadek Przyczepności (N) [%]
20	7	31,98	0,00	31,98	0,00
400	7	31,40	1,81	31,88	0,31
450	7	30,80	3,69	31,66	1,00
500	7	27,76	13,20	30,82	3,63
550	7	20,24	36,71	25,58	20,01
600	7	13,42	58,04	17,82	44,28
650	7	11,46	64,17	13,66	57,29
700	7	6,98	78,17	9,00	71,86
750	7	5,18	83,80	7,06	77,92
800	7	2,92	90,87	5,34	83,30

Tabela 4.

Porównanie wyników badań przyczepności stali BSt500S do betonu C30/37 po chłodzeniu szokowym (S) i naturalnym (N)

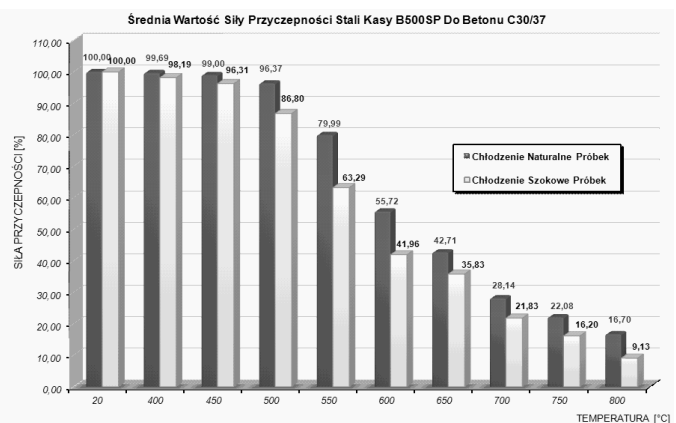
Table 4.

Comparing the bond tests results of steel BSt500S to C30/37 concrete after shock (S) and natural (N) cooling

Temp. [°C]	N	Siła Przyczepności (S) [kN]	Spadek Przyczepności (S) [%]	Siła Przyczepności (N) [kN]	Spadek Przyczepności (N) [%]
20	7	31,04	0,00	31,04	0,00
400	7	30,16	2,84	30,30	2,38
450	7	30,12	2,96	30,34	2,26
500	7	26,56	14,43	29,72	4,25
550	7	19,14	37,50	22,22	28,41
600	7	11,46	63,08	15,32	50,64
650	7	10,30	66,62	11,82	61,92
700	7	5,60	81,96	6,46	79,19
750	7	3,72	88,02	5,14	83,44
800	7	2,16	93,04	3,80	87,76

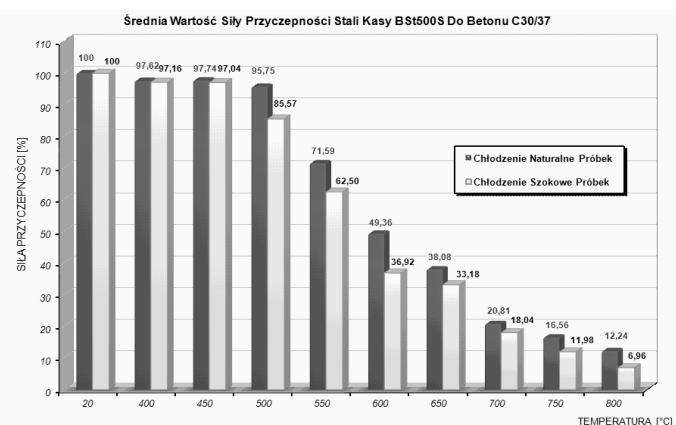
Opracowane graficznie wyniki badań „na zimno” przedstawiono na rycinach 6. oraz 7. Przedstawiono wartości średnie oraz różnice występujące w obydwu sposobach ochładzania próbek. Procentowy spadek przyczepności liczonego w stosunku do badanej przyczepności w temperaturze normalnej (20°C).

Wyniki badań na gorąco zostały opracowane w formie wykresów (ryc. 8 oraz ryc. 9) oraz przedstawione w tabelach 5 i 6 w porównaniu z wynikami w badaniu „na zimno” z chłodzeniem naturalnym.



Ryc. 6. Wykres porównawczy przyczepności stali B500SP do betonu C30/37 po chłodzeniu naturalnym (N) i szokowym(S)

Fig. 6. The comparing chart of steel bond B500SP to C30/37 concrete after natural (N) and shock (S) cooling



Ryc. 7. Wykres porównawczy przyczepności stali BSt500S do betonu C30/37 po chłodzeniu naturalnym (N) i szokowym(S)

Fig. 7. The comparing chart of steel bond BSt500S to C30/37 concrete after natural (N) and shock (S) cooling

Tabela 5.

Porównanie wyników badań przyczepności stali B500SP w badaniu „na gorąco” oraz „na zimno” przy chłodzeniu naturalnym (N)

Table 5.

Comparing the bond tests results of steel B500SP in ‘hot test’ and ‘cold test’ during natural (N) cooling

Poziom Naprężenie	Siła Przyczepności [kN]	Temperatura Krytyczna [°C]	Temperatura krytyczna przy badaniach „na zimno”
0,3f _{yk}	13	443	594
0,4f _{yk}	17	352	573
0,5f _{yk}	22	287	532

Tabela 6.
Porównanie wyników badań przyczepności stali BSt500S w badaniu „na gorąco” oraz „na zimno” przy chłodzeniu naturalnym (N)

Table 6.
Comparing the bond tests results of steel BSt500S in ‘hot test’ and ‘cold test’ during natural (N) cooling

Poziom Naprężen	Siła Przyczepności [kN]	Temperatura Krytyczna [°C]	Temperatura krytyczna przy badaniach „na zimno”
$0,3f_{yk}$	13	391	584
$0,4f_{yk}$	17	312	562
$0,5f_{yk}$	22	247	521

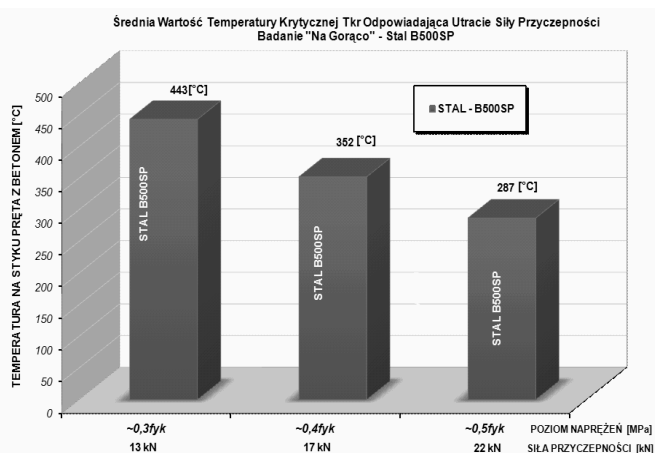
Na wykresach przedstawiono średnią wartość temperatury krytycznej T_{kr} odpowiadającej utracie przyczepności stali do betonu. Dla każdego z założonych poziomych naprężeń przebadano po 11 próbek, w sumie w badaniach „na gorąco” wykorzystano 66 próbek. Temperatura przedstawiona na wykresach odpowiada temperaturze mierzonej na styku betonu i stali.

4. Wnioski

- analiza wyników badań „na zimno” wykazuje występowanie zauważalnego wzmożonego spadku przyczepności na skutek szokowego chłodzenia próbek betonowych dla obydwu przebadanych gatunków stali zbrojeniowej,
- dla próbek ogrzanych do 450°C różnice spadku przyczepności występujące przy szokowym chłodzeniu oraz naturalnym stygnięciu próbek w badaniach „na zimno” są stosunkowo niewielkie; można zatem powiedzieć, że do temperatury 450°C sposób ochładzania konstrukcji ma niewielki wpływ na przyczepność stali do betonu,
- po ogrzaniu próbek do około 500°C i powyżej występują znaczne różnice spadku przyczepności na skutek szokowego chłodzenia, w porównaniu do chłodzenia naturalnego, wynoszące do około 12,5% (stal BSt500S) oraz do około 16,5% (stal B500SP),
- w przypadku stali BSt500S występuje nieco mniejsza przyczepność w porównaniu z B500SP oraz nieco większy spadek przyczepności w temperaturach pożarowych, co niewątpliwie jest związane z kształtem żeberk na powierzchni prętów,
- w przypadku badań „na gorąco”, wraz ze wzrostem poziomu naprężeń w zbrojeniu maleje wartość temperatury krytycznej T_{kr} odpowiadającej utracie przyczepności stali do betonu,
- porównując badania przyczepności na gorąco we wszystkich przebadanych przypadkach, wartość temperatury krytycznej odpowiadająca utracie przyczepności jest mniejsza dla stali BSt500S. Największa różnica występuje w przypadku poziomu naprężeń $0,4f_{yk}$ i wynosi 109°C,
- porównanie wyników badań „na gorąco” i „na zimno” wykazuje znacznie wyższy spadek przyczepności w warunkach wysokich temperatur pożaru niż w przypadku ostygniętych próbek, co świadczy o częściowym nawrocie przyczepności prawdopodobnie na skutek tarcia.

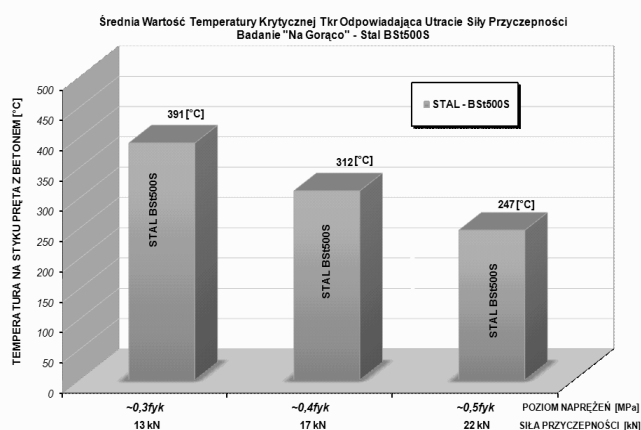
Literatura

1. Bednarek Z., Ogrodnik P., Kamocka-Bronisz R., *Badanie wpływu szokowego chłodzenia na przyczepność stali żebrowanej do betonu C30/37*, „Zeszyty Naukowe SGSP”, 2011, Nr 42, s. 63-74.



Ryc. 8. Średnia wartość temperatury krytycznej T_{kr} odpowiadająca utracie siły przyczepności w badaniu „na gorąco” – Stal B500SP

Fig. 8. The average value of the critical temperature T_{kr} equaling the drop of bond force in ‘hot test’ – Steel B500SP



Ryc. 9. Średnia wartość temperatury krytycznej T_{kr} odpowiadająca utracie siły przyczepności w badaniu „na gorąco” – Stal BSt500S

Fig. 9. The average value of the critical temperature T_{kr} equaling the drop of bond force in ‘hot test’ – Steel BSt500S

2. Bednarek Z., Ogrodnik P., Pieniak D., *Laboratory method of evaluation of influence high temperatures on maintenance parameters of the reinforced concrete systems compounds*, „Maintenance and Reliability”, 2010, No 3, pp. 67-78; Bednarek Z., Ogrodnik P., *Badanie spadku przyczepności stali do betonu w warunkach termicznych pożarów*, „Budownictwo i Architektura”, Politechnika Lubelska, Wydział Inżynierii Budowlanej i Sanitarnej, 2008, vol. 2, s. 5-18.
3. Chih-Hung C., Cho-Liang T., *Time – temperature analysis of bond strength of a raber after fire exposure*, „Cement and Concrete Research”, 2003, No 33, pp. 1651-1654.
4. Fellingner J. H. H., Jołop A., Uijl D., *Bond of pre-tensioned strands in fire exposed concrete, Bond in concrete – from research to standards*, Budapest 2002.
5. Gromysz K., *Naprężenia przyczepności a długość zakotwienia prętów zbrojonych*, „Inżynieria i Budownictwo”, 2004, Nr 12, s. 643-649.
6. Morley P. D., Royles R., *Response of the bond in reinforcing at normal and high temperature*, „Magazine of Concrete Research”, 1983, No 123, pp. 67-74.
7. Pędziwiatr J., Mnich M., *Przyczepność stali do betonu – badania doświadczalne a zastosowanie*, XLVI Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Łądowej PAN i Komitetu Nauki PZiTb. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Krynica 2000.
8. Norma PN-H-93220:2006 – Stal B500SP o podwyższonej ciągliwości do zbrojenia betonu. Pręty i walcówka żebrowana.

st. bryg. w st. spocz. prof. dr hab. inż. Zoja Bednarek, absolwentka Kijowskiego Instytutu Inżynieryjno-Budowlanego Wydziału Budownictwa Przemysłowego i Miejskiego. W 1968 roku rozpoczęła pracę na Politechnice Warszawskiej jako asy-

stent. W 1973 roku ukończyła czteroletnie Studia Doktoranckie na Wydziale Inżynierii Łądowej Politechniki Warszawskiej. Opublikowała ponad 80 artykułów naukowych w czasopismach krajowych i zagranicznych z dziedziny wytrzymałości materiałów w wysokich temperaturach oraz ratownictwa technicznego. Jest współautorem dwóch skryptów z tego zakresu oraz opracowania książkowego na temat katastrof budowlanych.

st. kpt. dr inż. Paweł Ogrodnik, absolwent Wydziału Inżynierii Budowlanej i Sanitarnej Politechniki Lubelskiej (kierunek: budownictwo). W 2001 roku rozpoczął pracę w Zakładzie Mechaniki Stosowanej Szkoły Głównej Służby Pożarniczej. W 2006 roku obronił rozprawę doktorską na temat „Wpływ temperatur występujących w czasie pożaru na przyczepność pomiędzy stalą a betonem”. Autor/współautor kilkudziesięciu publikacji naukowych opublikowanych w czasopismach, a także prezentowanych na krajowych i międzynarodowych konferencjach naukowych.

dr n. tech. Renata Kamocka-Bronisz, od 1996 r. pracownik Zakładu Mechaniki Stosowanej Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. Prowadzi badania materiałów konstrukcyjnych w podwyższonych i wysokich temperaturach oraz w niestacjonarnym polu temperatur. Jest autorem/współautorem kilkunastu opublikowanych, oryginalnych prac naukowych, prezentowanych na krajowych i międzynarodowych konferencjach naukowych.

mgr inż. Sławomir Bronisz, pracownik dydaktyczny Zakładu Mechaniki Stosowanej Szkoły Głównej Służby Pożarniczej. Autor projektów specjalistycznych stanowisk badawczych, stanowiących wyposażenie Zakładu, umożliwiających badanie wpływu podwyższonej i wysokiej temperatury na parametry wytrzymałościowe materiałów konstrukcyjnych i sprzętu ochrony osobistej strażaka.