

Aspekty materiałowe i geometryczne łapek sprężystych SB4 wpływające na ich właściwości użytkowe

Małgorzata OSTROMĘCKA¹, Andrzej ANISZEWICZ²

Streszczenie

W artykule opisano obowiązujące wymagania dla łapek sprężystych SB4 stosowanych w drogach kolejowych, przed dopuszczeniem łapek do eksploatacji. Scharakteryzowano dwa podstawowe aspekty dotyczące łapek: aspekt materiałowy (skład chemiczny, rodzaj obróbki cieplnej, mikrostruktura, odwęglenie) oraz aspekt kształtu geometrycznego. Oba te czynniki mają decydujący wpływ na właściwości użytkowe wyrobu końcowego. Przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów wybranych wymiarów partii łapek sprężystych, które nie spełniały wymagań. Artykuł jest wstępem do serii publikacji prezentujących badania wpływu materiału i kształtu geometrycznego wyrobu na siłę docisku, sztywność, krzywą sprężystości oraz wytrzymałość montażową.

Słowa kluczowe: przytwierdzenia szyn, łapka sprężysta, pomiary wymiarów, badania twardości

1. Wprowadzenie

Zastosowanie sprężystych systemów mocowania szyn w torach kolejowych na podkładach strunobetonowych zwiększa trwałość i niezawodność konstrukcji oraz poprawia bezpieczeństwo i komfort jazdy. Współczesne systemy przytwierdzeń charakteryzują się wysoką skutecznością tłumienia drgań [6] przy jednoczesnym zapewnieniu niezbędnych wymagań wynikających z obowiązujących aktów prawnych, norm i przepisów międzynarodowych [14, 16, 17], szczególnie dotyczących siły docisku szyny do podkładu.

Do zapewnienia wymaganego docisku szyny do podkładu oraz możliwości sprężystego odkształcania się szyny w płaszczyźnie poziomej pod wpływem sił bocznych, łapka sprężysta, która jest częścią systemu przytwierdzeń, musi sprostać określonym wymaganiom. Wymagania te powinny uwzględniać przede wszystkim aspekty związane z materiałem, z którego łapka sprężysta jest wykonana oraz aspekty geometryczne, związane z procesem nadania jej zaprojektowanego kształtu i realizowanym z odpowiednią dokładnością.

2. Proces produkcyjny łapek sprężystych

Łapki sprężyste są produkowane metodą gięcia na gorąco. Proces produkcyjny rozpoczyna się od prostowania prętów stalowych o przekroju kołowym o wymaganej średnicy i pocięciu ich na odcinki o długości opowiadającej określonej typowi łapki sprężystej. Jeżeli do produkcji łapek dostarczane są pręty o większej średnicy niż wymagana, wtedy konieczne jest przeprowadzenie procesu przeciągania prętów w celu uzyskania wymaganej średnicy przekroju poprzecznego.

Kolejnym etapem jest indukcyjne nagrzewanie pociętych odcinków pręta do temperatury austenizacji. Czas nagrzewania zależy od średnicy pręta (w produkcji łapek SKL 12 o średnicy 13 mm wynosi około 10 s). Po podgrzaniu, pręty stalowe są umieszczane w matrycach prasy i wyginane na gorąco w celu otrzymania odpowiedniego kształtu. Następnie, ukształtowane łapki są hartowane w środku chłodzącym, najczęściej w wodzie lub w oleju, przez około 10 min. Po hartowaniu następuje ich naturalne chłodzenie, po czym są poddane odpuszczaniu średniemu w temperaturze około 400°C. Głównym celem odpuszczania jest po-

¹ Dr inż.; Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Badań Materiałów i Konstrukcji; e-mail: mostromecka@ikolej.pl.

² Mgr inż.; Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Metrologii; e-mail: aaniszewicz@ikolej.pl.

prawa wytrzymałości produktu, plastyczności i wytrzymałości, a czas odpuszczania trwa około 90 minut. W końcowej fazie, łapki pokrywa się płynem antykorozyjnym lub nanosi się powłokę malarską [3, 4].

3. Ogólne wymagania materiałowe i kształtowanie mikrostruktury stali przeznaczonych na łapki sprężyste do nawierzchni kolejowej

Najważniejszą cechą dobrych sprężyn jest ich zdolność powracania do pierwotnego kształtu po obciążeniu, a następnie odciążeniu. Ten warunek mogą jedynie spełnić materiały, odznaczające się:

- 1) dużym zakresem odkształceń sprężystych, czyli możliwie wysoką granicą sprężystości,
- 2) wysokimi właściwościami plastycznymi, aby w przypadku przekroczenia granicy sprężystości mogło nastąpić pewne odkształcenie trwałe, lecz bez zniszczenia przedmiotu,
- 3) wysoką wytrzymałością statyczną,
- 4) znaczną wytrzymałością na zmęczenie [18].

Właściwości wytrzymałościowe i granica sprężystości w stalach sprężynowych zależą przede wszystkim od zawartości węgla, która może wynosić od około 0,4% do 0,7%. Podstawowym pierwiastkiem stopowym w tej grupie stali jest krzem, dodawany w ilości nawet do 2%, który powoduje podniesienie granicy sprężystości, plastyczności i wytrzymałości na rozciąganie. Ze względu na ograniczoną hartowność, zastosowanie stali sprężynowych krzemowych ogranicza się do elementów o niewielkich przekrojach. W celu zwiększenia hartowności stali sprężynowej krzemowej, w procesie wytopu wprowadza się do niej dodatek manganu w ilości do 0,9%. Taki skład chemiczny zapewnia mikrostrukturę umożliwiającą spełnienie wymagań materiałowych stawianym łapkom sprężystym.

W stalach sprężynowych, podobnie jak w innych rodzajach stali, monitorowana jest zawartość pierwiastków stanowiących zanieczyszczenia, czyli fosforu i siarki. Stale zawierające fosfor charakteryzują się skłonnością do kruchości na niebiesko, gruboziarnistości i segregacji. W przypadku siarki, tworzą się siarczki MnS i niskotopliwe FeS, ograniczające możliwości obróbki plastycznej na gorąco oraz obniżające parametry zmęczeniowe stali. Wymagania dotyczące materiału do produkcji łapek sprężystych zakładają, że średnia wielkość każdego z rodzajów wtrąceń, w tym siarczków, nie powinna być większa od wzorca nr 3 normy PN-H-04510:1964 [12].

Somnath i inni [15] badali wpływ składu chemicznego stali sprężynowej na możliwości powstawania wad, wynikających z procesu hutniczego stali. Obserwowali

wtrącenia układające się w pasma zgodnie z kierunkiem walcowania, typowe dla stali o składzie chemicznym bogatym w krzem i mangan. Stwierdzili skłonność do powstawania odwęglenia i zarodkowania pęknięć w okolicach pasm wtrąceń niemetalicznych. Podobnie Labisz i współautorzy [7], potwierdzili, że jakość materiału stali sprężynowej oceniana przez pryzmat obecności wtrąceń niemetalicznych ma kluczowe znaczenie dla długotrwałego zastosowania łapki sprężystej w torze. Na uwagę zasługuje fakt, że autorzy nie zaobserwowali wpływu czystości stali na jej twardość.

Kształtowanie mikrostruktury łapki sprężystej zależy od dobranych zabiegów obróbki cieplnej. Od tego również zależą właściwości mechaniczne materiału i możliwość spełnienia przez końcowy wyrób stawianych mu wymagań. W zależności od gatunku stosowanej stali, obróbka cieplna stali sprężynowej polega głównie na austenityzowaniu w temperaturze 800÷870°C i hartowaniu w oleju lub wodzie, a następnie średnim odpuszczaniu w temperaturach 380÷520°C. Dobór właściwych warunków obróbki cieplnej jest niezwykle istotny, gdyż zbyt wysoka temperatura wygrzewania stali przed chłodzeniem prowadzi do przegrzania materiału i powstawania pęknięć hartowniczych, co w materiałach pracujących na zmęczenie np. w łapkach sprężystych jest niedopuszczalne.

Wytrzymałość zmęczeniowa stali w znacznym stopniu jest również uzależniona od struktury warstwy wierzchniej [1], na co wpływa proces obróbki cieplnej, jak i proces obróbki wykańczającej. Niedopuszczalne jest powierzchniowe odwęglenie stali, gdyż na powierzchni wyrobu występuje obniżenie granicy sprężystości, co skutkuje brakiem możliwości uzyskania odpowiednich właściwości mechanicznych. Należy wspomnieć, że zastosowanie dodatków stopowych, tj. krzemu podnoszącego właściwości sprężyste lub manganu zwiększającego hartowność, jednocześnie sprzyja procesowi odwęglenia. Stopień odwęglenia powierzchni musi być zatem monitorowany w tych elementach z całą starannością. Obserwacja stanu powierzchni okiem nieuzbrojonym zapewnia natomiast wykrycie widocznych wad powierzchni, które mogą być wynikiem nieprawidłowej obróbki wykańczającej.

Hartowanie stali 50S2 przeprowadza się w wodzie lub w oleju w temperaturze 870°C, a odpuszczanie w temperaturze 460°C, natomiast stal 40S2 hartuje się w wodzie w temperaturze 840°C, a odpuszcza w temperaturze 430°C. W wyniku tych zabiegów cieplnych powinna powstać pożądana mikrostruktura odpuszczonego martenzytu, która gwarantuje osiągnięcie odpowiednich parametrów mechanicznych. W atestach załączanych przez dostawców materiałów, z których wykonywane są łapki sprężyste, zawsze powinny znajdować się dokładne dane na temat nie tylko składów chemicznych, ale również stosowanych zabiegów obróbki cieplnej, obróbce wykańczającej oraz podstawowych właściwościach mechanicznych.

Tablica 1

Skład chemiczny stali zgodnie z normami PN-H-84032:1974 [13] i PN-EN 10089:2005 [8] stosowanych na łapki sprężyste według wymagań PKP PLK S.A.

Symbol stali	C [%]	Mn [%]	Si [%]	S _{max} [%]	P _{max} [%]	Ni _{max} [%]	Cr _{max} [%]
50S2	0,47÷0,55	0,60÷0,90	1,50÷1,80	0,04	0,04	0,40	0,30
40S2	0,35÷0,42	0,60÷0,80	1,50÷1,90	0,04	0,04	0,40	0,30
38Si7	0,35÷0,42	0,50÷0,80	1,50÷1,80	0,025	0,025	–	–

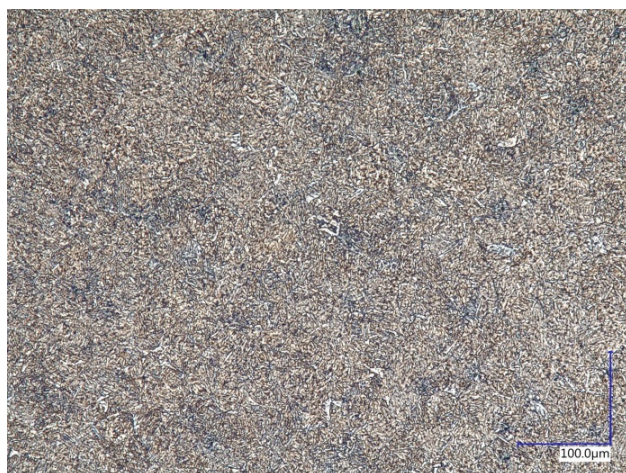
Tablica 2

Skład chemiczny stali 48Si7 stosowanej na łapki sprężyste SB4 [5]

C [%]	Mn [%]	Si [%]	S _{max} [%]	P _{max} [%]	Ni _{max} [%]	Cr _{max} [%]	Cu _{max} [%]
0,46÷0,53	0,50÷0,80	1,60÷2,00	0,025	0,025	0,40	0,40	0,1

Gatunek stali stosowanej na łapki sprężyste zależy od lokalnych wymagań i typu wyrobu. W Polsce, według Wytycznych ID-109 [17], łapki sprężyste typu SB powinny być wykonywane z pręta o średnicy 16 mm, wykonanego ze stali 50S2 (tabl. 1), ciągniętego lub walcowanego na gorąco. Niektórzy producenci łapek sprężystych SB4 stosują również, zgodnie z innymi dokumentami odniesienia [5], stal oznaczoną jako 48Si7 (tabl. 2), o składzie chemicznym zbliżonym do składu stali 50S2.

Ocenę mikrostruktury łapki sprężystej przeprowadza się za pomocą mikroskopu metalograficznego. Mikrostruktura łapki sprężystej powinna składać się z drobnoziarnistego martenzytu i odpowiadać wzorcom 1÷4 według skali 3 zgodnie z normą PN-H-04505:1966 [11] (procentowy udział martenzytu w strukturze – min. 97,5%, skala 8, wzorzec 3), przy czym martenzyt powinien mieć postać odpuszczoną (sorbityczną), bez pozostałości iglastej (rys. 1).



Rys. 1. Mikrostruktura stali 48Si7 łapki sprężystej typu SB4, twardość 42,2 HRC [fot. M. Ostromecka]

Pomiar głębokości odwęglenia zgodnie z [15, 18] przeprowadza się również metodą metalograficzną

według normy PN-EN ISO 3887:2018-03 [9]. Odwęglenie może mieć charakter całkowity, wtedy przy powierzchni pozostają ziarna ferrytu. Może również mieć charakter częściowy, wówczas obserwuje się siatkę ferrytu. Całkowita głębokość odwęglenia po gięciu i hartowaniu, określona na średnicy pręta łapki, nie powinna przekraczać 0,20 mm (rys. 2). Nadmierne odwęglenie może stać się przyczyną wielu wad, w tym zarodkowania mikropęknięć, które w pierwszym etapie eksploatacji są płytkie i drobne, lecz w miarę czasu propagują. W przypadku łapek sprężystych, od których wymaga się określonej wytrzymałości zmęczeniowej ma to olbrzymie znaczenie.



Rys. 2. Pomiar odwęglenia w stali 48Si7 [fot. M. Ostromecka]

Odpowiednia mikrostruktura materiału zapewnia łapkom sprężystym wymagane właściwości mechaniczne, np. twardość. Pomiar twardości przeprowadza się metodą Rockwella, zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 6508-1:2016-10 [10], po zdjęciu warstwy wierzchniej o grubości 0,5÷1,0 mm w wyznaczonym miejscu łapek (rys. 3) lub na ich przekroju. Pomierzona twardość powinna wynosić 42÷46 HRC.

Usunięcie warstwy wierzchniej do pomiaru twardości ma na celu uniknięcie pomiaru warstwy odwęglonej, która może powstać przy powierzchni. Nieodpowiednia wartość twardości zazwyczaj jest związana z nieprawidłowo przeprowadzoną obróbką cieplną.



Rys. 3. Łapka sprężysta SB4 z zaznaczonym na czerwono miejscem pomiaru twardości oraz przygotowana próbka z odciskami po wykonanych pomiarach twardości [fot. A. Aniszewicz]

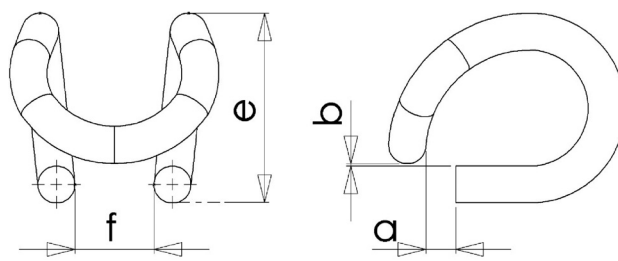
4. Wymagania geometryczne stawiane łapkom sprężystym SB4

Sprawdzenie kształtu, wymiarów i tolerancji wykonania łapek sprężystych na zgodność z wymaganiami PKP PLK S.A. zawartymi w Wytycznych Id-109 [17], należy wykonać warsztatowymi narzędziami pomiarowymi i sprawdzianami.

Wykonywanie pomiarów bezpośrednich i sprawdzeń ściśle określonych wymiarów łapek sprężystych SB4, powstających z przestrzennego gięcia grubego pręta, jest dość problematyczne. Podczas pomiarów ważnym utrudnieniem są pojawiające się niezgodności, tj. spękanie i owalizacja przekrojów końcówek pręta (powstające zazwyczaj w pierwszym etapie pro-

dukcyj, czyli podczas przycinania pręta na określoną długość) lub wichrowatość i krzywizna teoretycznie prostych końcówek łapek. Są to jedne z wielu niesklasyfikowanych niezgodności, które mają ogromny wpływ na wartości wyników pomiaru wymiarów geometrycznych, a tym samym końcową ocenę zgodności z wytycznymi.

Monitorowane wymiary łapek typu SB4 na zgodność z wymaganiami „a”, „b”, „e” i „f” przedstawiono na rysunku 4. Promienie gięcia pręta w przestrzenne i styczne łuki są również wymiarami tolerowanymi (pojawia się jednak trudność wykonania takiego pomiaru metodą bezpośrednią, za pomocą narzędzi warsztatowych i sprawdzianów), chociaż nie uwzględniono ich w protokole badania niepełnego według załącznika 6 do Wytycznych ID-109 [17]. Znane są jednak wyniki pomiarów krzywizn i promieni gięcia, mierzonych metodą bezkontaktową za pomocą optycznego skanera 3D, ukazujące niewystarczającą dokładność wykonania łapek (odchyłki kształtu geometrycznego łapek sprężystych SB4 osiągały średnio 14 mm przy tolerancji wykonania ± 2 mm) [2]. Wyniki pomiarów wymiarów „b” i „e” również przekraczały przyjęte tolerancje wykonania.



Rys. 4. Wymiary „a”, „b”, „e” i „f” łapki sprężystej SB4 podlegające pomiarom zgodnie z wymaganiami PKP PLK S.A. [rys. A. Aniszewicz]

Podczas przeprowadzanych pomiarów geometrii łapek sprężystych typu SB4 do badań kwalifikacyjnych dość często stwierdza się niezgodności, przy czym najczęściej dotyczą one przekroczenia tolerancji wymiaru „b”. Tablica 3 przedstawia wyniki pomiarów

Tablica 3

Pomiary wybranych wymiarów odrzuconej partii łapek sprężystych SB4

Wartości nominalne według [17] mierzonych wymiarów [mm]		Wartości zmierzone wymiarów [mm] / numer próbki								Niepewność pomiaru [mm]
		1	2	3	4	5	6	7	8	
b = 1	$\pm 0,5$	0,2	0,1	0,3	0,3	0,5	0,2	0,3	-0,2	0,2
e = 82*	± 2	82,2	82,2	82,3	82,4	82,3	82,5	82,3	82,3	0,2
f = 34*	± 1	33,3	34,4	33,6	33,6	35,0	34,0	33,9	33,9	0,2
a = 13	+2	14,2	14,4	14,3	14,5	14,1	13,8	13,8	14,5	0,4

* Wartości wymiarów są średnią z dwóch pomiarów [opracowanie własne].

wymiarów „a”, „b”, „e” i „f” łapek sprężystych SB4. Z powodu przekroczenia wartości tolerancji wymiaru „b” partia łapek sprężystych została odrzucona.

5. Wnioski

Biorąc pod uwagę sposób umieszczenia łapki sprężystej w systemie przytwierdzenia szyny, można przewidywać, że zbyt mała wartość wymiaru „b” może powodować zwiększenie siły docisku szyny do podkładu, a zbyt duża zmniejszenie tej siły. Warto zastanowić się, czy proces technologiczny wytwarzania łapek jest w stanie zapewnić dokładność wykonania przewidzianą w wytycznych [5, 17]. Zasadniczo, ostateczny kształt łapek typu SB jest nadawany w wysokiej temperaturze w procesie kształtowania na gorąco, a proces hartowania i odpuszczania może jeszcze znacząco wpływać na pojawianie się lub relaksację naprężeń w materiale, co może również skutkować powstawaniem odkształceń.

Ze względu na to, należałoby zastanowić się nad rozważeniem dokonania zmian procesu produkcyjnego. Jednocześnie nasuwa się pytanie, w jakim stopniu dokładność narzucona w wymaganiach [5, 17] dla wymiaru „b” ma rzeczywisty wpływ na właściwości użytkowe łapek. Badania wykonane w Instytucie Kolejnictwa nie zawsze potwierdzają wpływ niezgodności wymiaru „b” na inne parametry określone w badaniach wymienionych w dokumentach [5, 17]. Zagadnienie to jest aktualne i wymaga rewizji. Proponuje się następujące kierunki dalszych badań łapek sprężystych typu SB4:

- 1) określenie wpływu wymiaru „b” łapek sprężystych SB4 na ich właściwości użytkowe,
- 2) sklasyfikowanie występujących niezgodności geometrycznych w łapkach sprężystych,
- 3) opracowanie odpowiedniej metodyki pomiarów wymiarów geometrycznych uwzględniającej występujące niezgodności łapek,
- 4) weryfikacja wytycznych w zakresie wymiarów i kształtu łapek oraz zalecanej metodyki badawczej.

Literatura

1. Dobrzański L.: *Metaloznawstwo z podstawami nauki o materiałach*, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa, 1999.
2. Guzik M., Lesiak P.: *Pomiary geometryczne łapek sprężystych przytwierdzeń szyn kolejowych*, Przegląd Komunikacyjny, 3/2019.
3. <http://www.agicorailfasteners.com/news/elastic-rail-clips-manufacturer-Canada.html> [online], [dostęp: 10 sierpnia 2020].
4. <http://www.railroadpart.com/news/8-steps-of-elastic-rail-clips-production-process.html> [online], [dostęp: 10 sierpnia 2020].
5. IK-KOT-2018/0049:: Krajowa ocena techniczna – Łapka sprężysta SB4, SKL 12, SKL 14, wydanie 1, Warszawa, 2018.
6. Jankowski L.J. et al.: *Experimental and Numerical Examination of the Fastening Systems Rail Clip Type SB-4*, Materials Research Proceedings 12 (2019), s. 59-64, WWW <https://doi.org/10.21741/9781644900215-8>.
7. Labisz K., Konieczny J.: *Natural ageing effects on microstructure and properties of rail fastening elements SKL-12*, Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport, 2020, 106, 85–96. ISSN: 0209-3324, DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2020.106.7>.
8. PN-EN 10089:2005: Stale walcowane na gorąco na sprężyny ulepszone cieplnie – Warunki techniczne dostawy.
9. PN-EN ISO 3887:2018-03: Stale – Określanie głębokości odwęglania.
10. PN-EN ISO 6508-1:2016-10: Metale – Pomiar twardości sposobem Rockwella – Część 1: Metoda badań.
11. PN-H-04505:1966: Mikrostruktura stalowych wyrobów hutniczych – Wzorce i oznaczanie.
12. PN-H-04510:1964: Oznaczenie stopnia zanieczyszczenia stali wtrąceniami niemetalicznymi.
13. PN-H-84032:1974: Stal sprężynowa (resorowa) – Gatunki.
14. Rozporządzenie Komisji (UE) NR 1299/2014 z dnia 18 listopada 2014 r. dotyczące technicznych specyfikacji interoperacyjności podsystemu „Infrastruktura” systemu kolei w Unii Europejskiej Dz.U. UE L 356/1 z 12.12.2014.
15. Somnath K. et al.: *Development of Si-Mn Alloyed Spring Steels Suitable for Elastic Rail Clip (ERC) Application*, International Journal of Metallurgical Engineering 2015, p. 1-5, DOI: 10.5923/j.ij-mee.20150401.01.
16. Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych, Id-1 (D-1), PKP PLK S.A., Warszawa, 2005.
17. Warunki techniczne wykonania i odbioru łapek sprężystych i sprężyn przytwierdzających szyny do podkładów i podrojazdnic, Id-109, PKP PLK S.A., Warszawa, 2010.
18. Wesołowski K.: *Metaloznawstwo*, t. II, Państwowe Wydawnictwa Techniczne PWN, Warszawa 1957.