

## Siarka w elementach kolejowych

Ireneusz MIKŁASZEWICZ<sup>1</sup>, Marcin CZARNECKI<sup>2</sup>

### Streszczenie

W artykule przedstawiono wpływ siarki, pierwiastka zaliczanego do szkodliwych, w wyrobach kolejowych pracujących pod obciążeniem. W próbie Baumanna pokazano segregację siarki na przekroju poprzecznym czopa osi zestawu kołowego, szyny, obręczy koła bosego i elementach sprzęgu. Badania wykonano zgodnie z normami PN-87/H-05414 i ISO 4968:1979 oraz normami PN-EN 13674-1+A1:2017, PN-EN 13261:2011, PN84/H-84027/06, PN-EN 10083-3:2006, PN-EN 15566:2016-11, które wymagają określenia zawartości siarki i jej rozmieszczenia w tych elementach.

**Słowa kluczowe:** siarka, próba Baumanna, wyroby kolejowe

### 1. Wstęp

Wyroby nawierzchni kolejowej oraz taboru kolejowego powinny być wykonane z materiału o odpowiedniej jakości, uwzględniającego kryterium wytrzymałościowe, zapewniające bezpieczeństwo w przewozach kolejowych. Z uwagi na fakt, że siarka wpływa niekorzystnie na właściwości materiału, zachodzi konieczność badania segregacji siarki, szczególnie w obciążonych elementach taboru kolejowego.

Siarka jest pierwiastkiem obecnym we wszystkich gatunkach stali. Zawartość siarki w stali jest regulowana w czasie procesu wytapiania przez dodawanie związków wapnia, głównie w postaci dolomitu (węglan wapnia  $\text{CaCO}_3$  i magnezu  $\text{MgCO}_3$ ), a także podczas obróbki pozapiecowej stali w postaci granulatów  $\text{CaC}_2$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{CaSi}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  wdmuchiwanymi do stali za pomocą nośnika, który stanowi gaz obojętny. W czasie wytapiania, siarka tworzy związki chemiczne z manganem w postaci  $\text{MnS}$  i jego odmian [2]. Związki te, określane jako wtrącenia niemetaliczne, działają ujemnie na wytrzymałość stali przy zawartościach powyżej 0,03% siarki. Wyjątkiem jest stal automatowa, do której dodaje się siarkę w czasie procesu odlewania stali, do wartości przekraczających 0,050%, w celu polepszenia skrawalności podczas obróbki mechanicznej dzięki zwiększeniu łamliwości wióra.

Ponadto, korzystny wpływ siarki na właściwości użytkowe wybranych wyrobów można zauważyć na przykładzie łożysk tocznych [1, 4]. W tym przypadku działanie siarki sprowadza się do częściowej eliminacji

tarcia tocznego współpracujących elementów łożysk, podobnego do efektu smarowania. Jednocześnie, plastyczne związki siarki przyczyniają się do relaksacji naprężeń strukturalnych w elementach części maszyn poddawanych obróbce cieplej, od których wymagana jest wysoka twardość powyżej 60 HRC.

W gotowych wyrobach kolejowych zawartość siarki wynosi max 0,030% lub powinna być zgodna z wymaganiami odpowiednich norm lub dokumentów odniesienia dla poszczególnych wyrobów. Normy te określają dopuszczalne zawartości siarki i jej rozmieszczenie na przekroju elementu w postaci wzorców odbitek Baumanna z przypisaną im kwalifikacją, zależną od gęstości i rozmieszczenia siarki na przekroju poprzecznym badanych elementów. Natomiast kontrola i klasyfikacja przeprowadzana jest przez porównanie wykonanej odbitki Baumanna elementu badanego z wzorcami porównawczymi zawartymi we właściwych normach lub dokumentach odniesienia, według których są produkowane i badane wyroby przeznaczone do zastosowań kolejowych.

Badanie rozłożenia siarki na przekroju poprzecznym wyrobów jest wykonywane zgodnie z przypisami wzorców podanymi przez normy PN-87/H-04514 [6] oraz ISO 4968:1979 [3] lub procedurami zakładowymi.

### 2. Materiał do badań

Przedmiotem badań segregacji siarki, jak również wad powierzchniowych i wewnętrznych wyrobów kolejowych, które winny charakteryzować się dobrymi

<sup>1</sup> Inż.; Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Badań Materiałów i Elementów Konstrukcji; e-mail: imiklaszewicz@ikolej.pl.

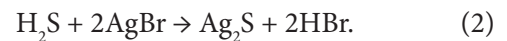
<sup>2</sup> Mgr inż.; Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Badań Materiałów i Elementów Konstrukcji; e-mail: Marcin.Czarnecki@ikolej.pl.

właściami wytrzymałościowymi oraz odpornością zmęczeniową, były elementy pracujące pod obciążeniem dynamicznym w postaci: czopa osi zestawu kołowego, szyny kolejowej profilu 60E1, surowej odkuwki obręczy oraz elementów sprzęgu śrubowego, tj. pałaka, łubka, śruby i sworznia. W tablicach 1 i 2 przedstawiono składy chemiczne badanych elementów kolejowych. Jest on zgodny z zaleceniami przedmiotowych norm dla wymienionych gatunków stali.

## 2.1. Wykonanie próby Baumanna

Próba Baumanna jest zasadniczo wykonywana na przekroju poprzecznym wyrobu i wymaga odpowiednio przygotowanej powierzchni badania wyrobu przez toczenie lub frezowanie, a następnie szlifowanie oraz oczyszczenie z zanieczyszczeń wraz z odfuszczeniem badanej powierzchni. Kolejną czynnością jest przygotowywanie roztworu kwasu siarkowego (3–5) cm<sup>3</sup> w 100 cm<sup>3</sup> wody destylowanej oraz papieru fotograficznego bromowego czarno-białego, a także utrwalacza fotograficznego w postaci roztworu tiosiarczanu sodowego. Papier fotograficzny, dostosowany wielkością do badanej powierzchni,

powinien być zanurzony w roztworze kwasu siarkowego przez około 5 min. Po odsączeniu nadmiaru roztworu, papier fotograficzny przykładą się stroną pokrytą emulsją do powierzchni badanej próbki jednocześnie dociskając papier do powierzchni za pomocą gumowego wałka, powodując usuwanie pęcherzyków powietrza i kropli roztworu. W wyniku reakcji kwasu siarkowego działającego na siarczki obecne na powierzchni wyrobu wydziela się siarkowodor, który reagując z bromkiem srebra zawartym w emulsji światłoczułej powoduje powstanie na papierze fotograficznym ciemnych punktów wywołanych siarczkiem srebra. Reakcja chemiczna przebiega następująco [11]:



Celem zachowania ostrości otrzymanego obrazu rozłożenia siarki oraz wad wewnętrznych badanego elementu, odbitka Baumanna jest utrwalana w utrwalaczu fotograficznym (roztwór 15–20% tiosiarczanu sodowego).

Tablica 1

Skład chemiczny osi zestawu kołowego, szyny i obręczy koła

Próbka / gatunek stali	Skład chemiczny [%]											
	C	Mn	Si	P max	S max	Cr max	Ni max	Cu max	Mo max	V max	O <sub>2</sub> ppm	H <sub>2</sub> ppm
Oś / P35G	0,34	0,76	0,15	0,035	0,015	0,11	0,05	0,053	0,006	0,003	122	0,6
PN-91/H-84027/03 gat. P35G	max 0,37	max 1,10	max 0,45	max 0,035	max 0,035	max 0,30	max 0,30	max 0,30	max 0,05	max 0,05	–	–
Szyna / R260	0,73	1,05	0,47	0,015	0,011	0,08	0,04	0,05	0,01	0,01	18	1,7
PN-EN 13674-1 gat. R260	0,60 0,82	0,65 1,25	0,13 0,60	0,030	0,030	≤0,15	Al max 0,004	–	N max 0,010	0,030	max 20	max 2,5
Obręcz / P55A	0,57	0,82	0,27	0,013	0,008	0,06	0,03	0,05	0,006	0,003	13	0,4
PN84/H-84027/06 gat. P55A	0,57 0,65	0,60 0,90	0,15 0,40	0,035	0,035	0,30	0,30	0,30	0,08	0,05	–	max 2,5

[Opracowanie własne]

Tablica 2

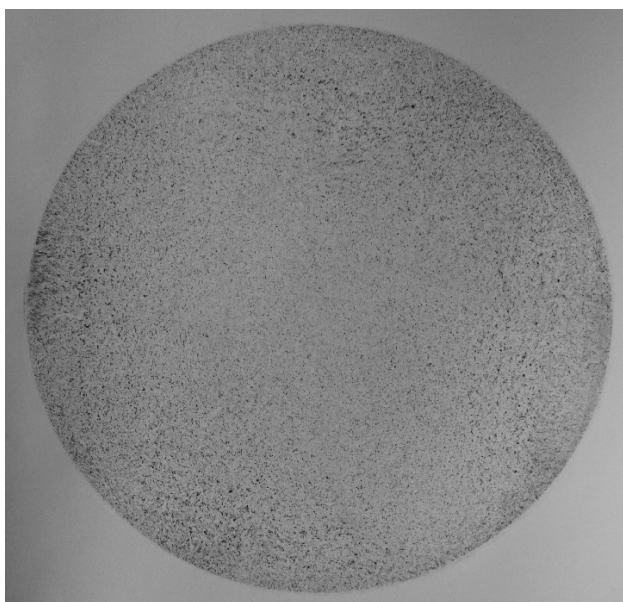
Skład chemiczny elementów sprzęgu śrubowego 850 kN

Elementy sprzęgu / gat. stali	Skład chemiczny [%]										
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	Sn
Pałak / 42CrMo4	0,41	0,69	0,24	0,008	0,014	1,05	0,15	0,21	0,16	0,023	0,012
Łubek / 41Cr4	0,41	0,77	0,24	0,013	0,004	1,05	0,09	0,22	0,03	0,019	0,021
Śruba / 41Cr4	0,42	0,74	0,22	0,012	0,030	1,02	0,14	0,18	0,04	0,022	0,013
Sworzni / 41Cr4	0,43	0,65	0,22	0,017	0,010	0,93	0,17	0,26	0,06	0,020	0,014
PN-EN 10083-3:2006 gat. 41Cr4	0,38 0,45	0,60 0,90	max 0,40	max 0,025	max 0,035	0,90 1,20	–	–	–	–	–
PN-EN 10083-3:2006 gat. 42CrMo4	0,38 0,45	0,60 0,90	max 0,40	max 0,025	max 0,035	0,90 1,20	–	–	0,15 0,30	–	–

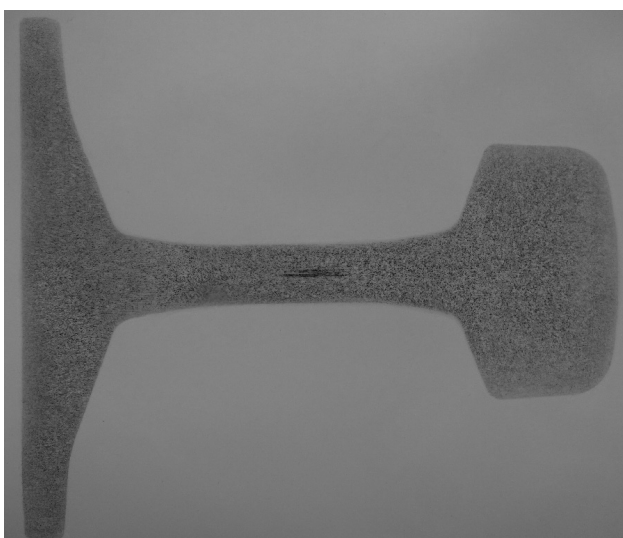
[Opracowanie własne]

### 3. Wyniki badań

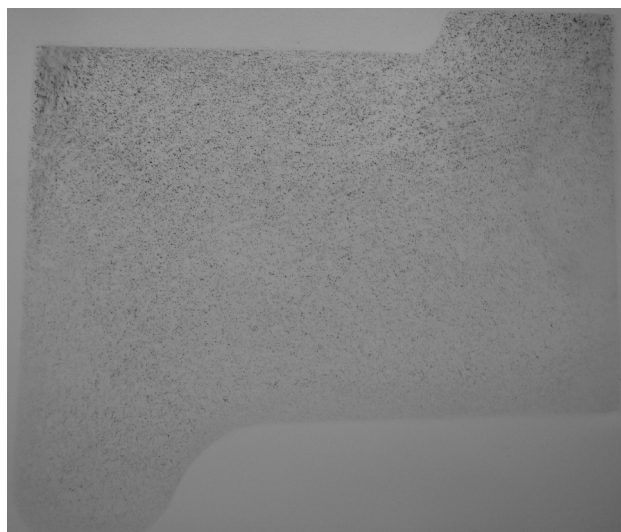
Zgodnie z wymienionymi wymaganiami, próbę Baumanna wykonano na przekroju poprzecznym osi zestawu kołowego, szyny, surowej obręczy koła bosego oraz elementów sprzęgu śrubowego oznaczonego jako 850 kN. Odbitki Baumanna zamieszczono na rysunkach 1–7.



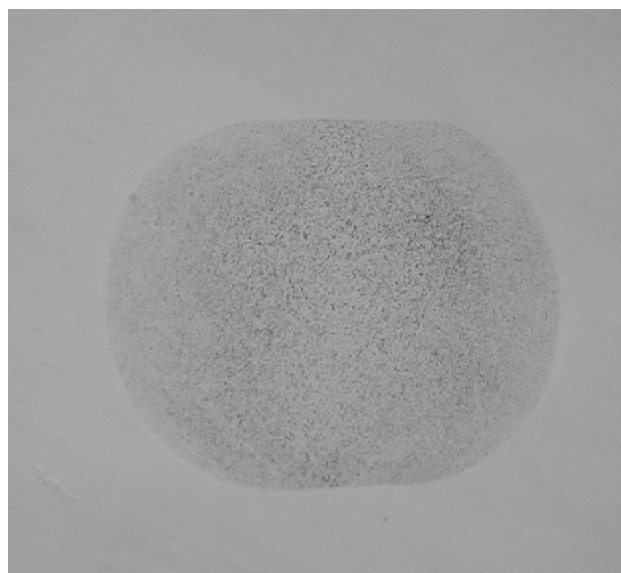
Rys. 1. Obraz rozkładu siarki na przekroju poprzecznym czopa osi zestawu kołowego o średnicy 130 mm [opracowanie własne]



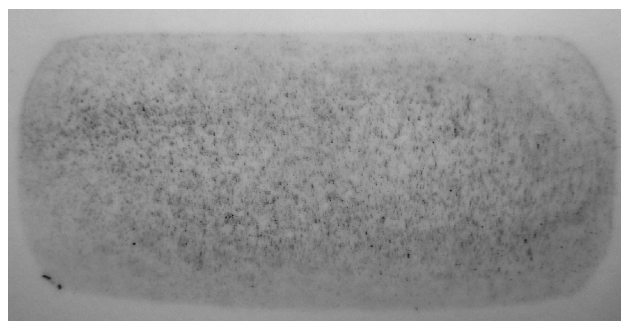
Rys. 2. Odbitka Baumanna na przekroju poprzecznym szyny o profilu 60E1 [opracowanie własne]



Rys. 3. Odbitka Baumanna na przekroju obręczy koła bosego  $\varnothing 920$  [opracowanie własne]



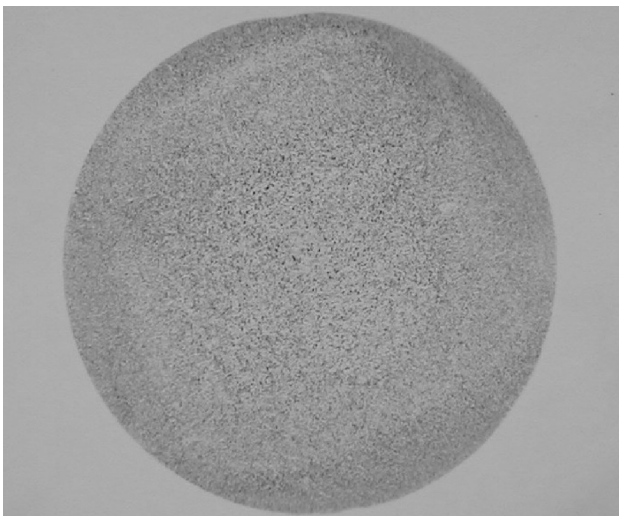
Rys. 4. Rozkład siarki na przekroju poprzecznym pałaka – odbitka Baumanna [opracowanie własne]



Rys. 5. Rozkład siarki na przekroju poprzecznym łubka – odbitka Baumanna [opracowanie własne]



Rys. 6. Rozkład siarki na przekroju poprzecznym śruby – odbitka Baumanna [opracowanie własne]



Rys. 7. Rozkład siarki na przekroju poprzecznym sworznia – odbitka Baumanna [opracowanie własne]

Na rysunkach 1–3 pokazano obraz segregacji siarki w czopie osi, szynie i obręczy. Rozłożenie siarki na powierzchni badanych przekrojów jest w miarę równomierne. Nieznaczny kwadrat likwacyjny można zaobserwować na odbitce czopa osi zestawu kołowego (rys. 1) oraz na elementach sprzęgu śrubowego, tj. sworzniu i śruby (rys. 6 i 7). Można również zauważyć naturalną zwiększoną zawartość siarki w obszarach wewnętrznych obręczy oraz szyjce szyny (rys. 2 i 3). Jest to spowodowane gromadzeniem się wtrąceń niemetalicznych podczas krzepnięcia stali w środkowej części wlewka ciągłego (COS). Nie stwierdzono wad w postaci pozostałości jamy usadowej, pęknięć wewnętrznych spowodowanych obróbką plastyczną lub pozostałości pęcherzy przypowierzchniowych. Na rysunkach 4–6, obraz odbitek Baumanna wskazuje na zwiększoną segregację siarki

w środkowej części elementów sprzęgu śrubowego oraz zmiany budowy struktury, co może wskazywać na niejednorodność właściwości wytrzymałościowych elementów sprzęgu. Nie stwierdzono natomiast wad w postaci pęknięć wewnętrznych, pozostałości pęcherzy przypowierzchniowych lub dużego nasilenia wtrąceń niemetalicznych na przekroju elementów sprzęgu.

#### 4. Podsumowanie

Badanie segregacji siarki za pomocą próby Baumanna w wyrobach kolejowych, pracujących w warunkach obciążeń dynamicznych, umożliwiło ocenę jakości tych elementów pod względem rozmieszczenia siarki na przekroju poprzecznym i obecności wad wewnętrznych wyrobów. Stwierdzono, że istnieje naturalna segregacja siarki w elementach kolejowych z nasileniem w środkowej części wyrobów, a także daje się zauważyć obecność kwadratu likwacyjnego w dużych elementach wykonanych z wlewków, tj. osi kolejowej oraz sworzniu i śrubie sprzęgu śrubowego 850 kN. Wady te mogą być powodem niejednorodności właściwości wytrzymałościowych w objętości wyrobów kolejowych. Nie stwierdzono wad wewnętrznych w postaci pęknięć badanych wyrobów kolejowych.

#### Literatura

1. Barwell F.T.: *Łożyskowanie*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1984.
2. Blicharski M.: *Inżynieria materiałowa. Stal*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2010.
3. ISO 4968:1979: Steel – Macrographic examination by sulfur print (Baumann method).
4. Luty W.: *Stale łożyskowe*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1969.
5. PN84/H-84027/06: Stal dla kolejnictwa – Gatunki.
6. PN-87/H-04514: Stal, staliwo i żeliwo – Badanie makrostruktury – Próba Baumanna.
7. PN-EN 10083-3:2006: Stale do ulepszania cieplnego – Część 3: Warunki techniczne dostawy stali stopowych.
8. PN-EN 13261:2011: Kolejnictwo – Zestawy kołowe i wózki – Osie – Wymagania dotyczące wyrobu.
9. PN-EN 13674-1+A1:2017: Kolejnictwo – Tor – Szyna – Część 1: Szyny kolejowe Vignoles'a o masie 46 kg/m i większej.
10. PN-EN 15566:2016-11: Kolejnictwo – Pojazdy kolejowe – Urządzenie ciąglowe i sprzęg śrubowy.
11. Vander Voort George E.: *Metallography – Principles and practice*, ASM International, New York 1999.