



# STAL W BUDOWNICTWIE

tekst: **MARIA SZRUBA**, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne

Stal, plastycznie i cieplnie obrabialny stop żelaza z węglem i innymi pierwiastkami, jest otrzymywana w procesach stalowniczych ze stanu ciekłego, przy czym za graniczne stężenie węgla, oddzielające stale od żeliw, przyjmuje się 2%. Współczesna stal to kilkaset różnych stopów o skrajnie zróżnicowanych właściwościach i szerokim spektrum zastosowań w zasadzie w każdej gałęzi przemysłu. To najbardziej trwałe, odtwarzalne i innowacyjne tworzywo z całą pewnością zasługuje na miano materiału high-tech XXI w.

Choć żelazo było znane już 3400 lat p.n.e., w epoce brązu, jego właściwości odkryto i doceniono w epoce żelaza, której ramy czasowe określa się na obszarze Europy na IX–VI w. p.n.e.–poł. XIII w. (w sensie archeologicznym), praktycznie jednak (w sensie historycznym) epoka żelaza kończy się z początkiem wielkiej mechanizacji. Skutki cywilizacyjne tej epoki odczuwane są do dziś – żelazo w postaci przetworzonej na stal jest najczęściej używanym materiałem konstrukcyjnym.

Pierwsze próby przetapiania rudy żelaza miały miejsce w Babilonie ok. 1650 r. p.n.e. Od 1510 r. p.n.e. mieszkańcy dzisiejszych Indii i Hetyci w Anatolii niemal jednocześnie wynaleźli metodę produkcji żelaza w postaci gąbczastych grud, w piecach

zblizonych do wglębných, które po wielokrotnym przekuwaniu i skuwaniu na gorąco dawały tzw. żelazo zgrzewane. Takie nawęglone grudy żelaza to stal, jednak ta nazwa, oznaczająca pierwotnie żelazo świeżone (utlenione), zaczęła się przyjmować dopiero od połowy XIX w. [1].

## Rodzaje i właściwości stali

Na wstępie trzeba zauważyć, że nie ma jednego kryterium klasyfikacji stali, choć ze względów praktycznych najczęściej operuje się klasyfikacją opierającą się na jej składzie chemicznym lub zastosowaniu. Przykładowe kryteria klasyfikacji stali mogą uwzględniać:

fol. luisrphoto, fotolia







fol. red2000, fotolia

wytrzymałych i wysoko stopowych, a podstawową technologią ich łączenia jest technologia spawania. W kontekście stosowania stali w budownictwie infrastrukturalnym z upływem lat widoczny jest stały postęp zarówno w metodach projektowania, materiałach, jak i technologii. Wymiernym wskaźnikiem stałego postępu technicznego w budownictwie konstrukcji stalowych dla drogownictwa jest wejście w życie w 2010 r. norm projektowania konstrukcji Eurokod wraz z towarzyszącymi im zharmonizowanymi europejskimi normami wyrobów oraz aprobatami technicznymi. Efektem

- skład chemiczny (np. stal niestopowa i stopowa),
- podstawowe zastosowanie (np. stal konstrukcyjna, narzędziowa, o szczególnych własnościach),
- jakość (np. stal jakościowa, specjalna),
- sposób wytwarzania (np. stal martenowska, elektryczna, konwertorowa i inne),
- sposób odtleniania (np. stal uspokojona, półuspokojona, nieuspokojona),
- rodzaj produktów (np. blachy, pręty, druty, rury, pale itp.),
- postać (np. stal lana, kuta, walcowana na gorąco, walcowana na zimno, ciągniona),
- stan kwalifikacyjny (np. surowy, wyżarzony normalizująco, ulepszony cieplnie i inne) [2].

Zgodnie z normą PN-EN 10020:2003, ze względu na zawartość pierwiastków, czyli na podstawie składu chemicznego, wyróżnia się stale niestopowe, odporne na korozję (zawierające  $\geq 10,5\%$  Cr i  $\leq 1,2\%$  C) oraz inne stale stopowe, nieodpowiadające definicji stali nierdzewnych [3].

Wśród stali niestopowych norma wyróżnia jakościowe i specjalne. Od stali jakościowych wymaga się tylko niektórych własności, np. ciągliwości, podatności na obróbkę plastyczną i (lub) wielkości ziarna, i to na poziomie niższym niż stali niestopowych specjalnych. Stale niestopowe specjalne w porównaniu do jakościowych charakteryzują się wyższym stopniem czystości i mniejszym udziałem wtrąceń niemetalicznych. Zwykle są przeznaczone do ulepszania cieplnego lub hartowania powierzchniowego. Na skutek ciasnych tolerancji składu chemicznego oraz dzięki zastosowaniu specjalnych warunków wytwarzania uzyskuje się zróżnicowane własności mechaniczne, technologiczne i użytkowe tych stali, np. wysoką wytrzymałość lub wąskie pasmo hartowości, często w połączeniu z określoną ciągliwością, spawalnością lub podatnością na odkształcenie plastyczne na zimno [2].

### Zastosowanie stali w budownictwie infrastrukturalnym

Elementy stalowe w budownictwie drogowo-mostowym występują w niemal każdym obszarze tego sektora. W różnym zakresie znajdują zastosowanie w obiektach mostowych, wiaduktach, systemach odwodnień, barierach energochłonnych, osłonach akustycznych, konstrukcjach oświetleniowych, infrastrukturze towarzyszącej itp. Konstrukcje stalowe dla drogownictwa są wykonywane ze stali niestopowych, wysoko

wprowadzenia tych wytycznych jest wzrost wymagań dotyczących wszystkich sfer związanych z konstrukcjami stalowymi stosowanymi w drogownictwie, w tym w zakresie projektowania mostów, blachownic, konstrukcji powłokowych, kształtowników profilowanych na zimno, konstrukcji ciągnowych, palowania czy grodzi. Konstrukcje mostów drogowych i innych obiektów projektowane są z materiałów, dla których wymagania zostały określone w normach europejskich. Tymi materiałami są m.in. stale nierdzewne [4].

### Konstrukcje stalowe

Pod nazwą konstrukcji stalowych rozumie się takie, w których główne elementy nośne są wykonane ze stali – belki, słupy, ramy, kraty, ciągnia, powłoki itp. W stalach przeznaczonych na elementy nośne konstrukcji żelazo jest zawsze w przewodzie pod względem masowym, dlatego w stopie nazywa się je niekiedy osnową lub pierwiastkiem bazowym. Spektrum wykorzystania stali jako materiału konstrukcyjnego jest bardzo szerokie, ponieważ poza konstrukcjami obiektów budowlanych stosuje się ją m.in. w konstrukcjach maszynowych, statkach, dźwigach czy środkach transportu lądowego.

Stal w porównaniu z innymi materiałami budowlanymi, takimi jak drewno, cegła, żelbet czy chociażby żeliwo, cechuje dużą jednorodność i izotropowość właściwości fizycznych i mechanicznych. To materiał najbardziej odpowiadający hipotezom obliczeniowym wytrzymałości materiałów oraz teorii sprężystości i plastyczności.

Wśród budowlanych konstrukcji stalowych można wyróżnić trzy główne grupy:

- konstrukcje prętowe, w tym szkielety hal różnego przeznaczenia, szkielety budynków wielopiętrowych, kopuły prętowe, wieże antenowe i energetyczne, trzony masztów,
- konstrukcje powłokowe, do których zalicza się zbiorniki na płyny, zasobniki na materiały sypkie, zamknięcia wodne, rurociągi,
- konstrukcje ciągnowe, takie jak mosty wiszące i podwieszane, kolejki linowe, dachy wiszące i podwieszane o dużych rozpiętościach.

Do niewątpliwych zalet konstrukcji stalowych zalicza się jednakową, dużą wytrzymałość na rozciąganie i ściskanie. Ich atutem jest także wysoki stopień prefabrykacji – konstrukcje wytwarzane są w postaci tzw. elementów wysyłkowych, dostosowanych pod względem ciężaru i gabarytów do posiadanych

Tab. 1. Klasyfikacja stali zbrojeniowej według PN-EN 1992-1-1:2008

Klasa stali	Granica plastyczności $f_{yk}$ [MPa]	Stosunek wytrzymałości na rozciąganie do granicy plastyczności $f_{tk}/f_{yk}$ [-]	Wydłużenie procentowe pod maksymalnym obciążeniem $\epsilon_k$ [%]
A – stal zbrojeniowa o niskiej ciągliwości	400 ÷ 600	$\geq 1,05$	$\geq 2,5$
B – stal zbrojeniowa o średniej ciągliwości		$\geq 1,08$	$\geq 5,0$
C – stal zbrojeniowa o wysokiej ciągliwości		1,15 ÷ 1,35	$\geq 7,5$

środków transportu i montażu. Elementy te są scalane na placu budowy. Konstrukcje stalowe można łatwo wzmacniać w przypadku wzrostu obciążeń, co zdarza się często podczas modernizacji procesu technologicznego lub w przypadku uszkodzenia konstrukcji. Jeśli połączenia montażowe elementów są na śruby, wówczas istnieje możliwość rozbiórki konstrukcji i jej ponowne zmontowanie w innym miejscu. W przypadku likwidacji konstrukcji nierozbieralnej i przeznaczenia jej na inne elementy konstrukcyjne lub skierowanie do ponownego przetopienia w stalowni możliwy jest niemal całkowity odzysk stali. Ponadto konstrukcje stalowe charakteryzują się względną lekkością – są lżejsze od konstrukcji betonowych, ale także od drewnianych [5].

### Stal zbrojeniowa

Według normy PN-EN 1992-1-1, czyli Eurokodu 2, parametrem decydującym o klasyfikacji stali zbrojeniowej jest ciągliwość [6]. Trzy klasy stali zbrojeniowej wyróżnione przez normę przedstawiono w tabeli 1.

Zgodnie z Polską Normą do projektowania konstrukcji betonowych PN-B-03264:2002, podziału stali zbrojeniowej na klasy dokonuje się na podstawie wartości charakterystycznej granicy plastyczności – od klasy A-0 ( $f_{yk} \geq 220$  MPa) do klasy A-IIIIN ( $f_{yk} \geq 500$  MPa). Ta klasyfikacja nie definiuje jednak w dokładny sposób ciągliwości stali, co pozwala projektantowi stosującemu taką klasyfikację stali zbrojeniowej, np. przez zdefiniowanie w projekcie jedynie klasy A-IIIIN, umożliwić wykonawcy dowolny wybór gatunku stali – jedynym warunkiem jest minimalna wartość granicy plastyczności 500 MPa.

Obecnie na rynku w ramach klasy A-IIIIN dostępne są gatunki stali zbrojeniowej o zróżnicowanej ciągliwości, np. B500A, RB500W – klasa ciągliwości A, B500B, BSt500S – klasa ciągliwości B, B500SP Epstal – klasa ciągliwości C. W dobrym tonie wydaje się więc, by konstruktor stosujący Polską Normę do projektowania konstrukcji betonowych PN-B-03264:2002 definiował nie tylko klasy stali zbrojeniowej, lecz przede wszystkim odpowiedni gatunek stali, najlepiej o jak najwyższej ciągliwości. Dzięki takiej praktyce zwiększa się bezpieczeństwo konstrukcji, zwłaszcza tych narażonych na działanie obciążeń dynamicznych lub posadowionych na terenach górniczych. Zyskuje się wówczas także pewność, że w obiekcie zastosowane zostaną wyroby najlepsze z dostępnych na rynku.

Wśród oferowanych obecnie na polskim rynku gatunków stali zbrojeniowej zarówno pod względem wysokiej wytrzymałości (klasa A-IIIIN wg PN), jak i ciągliwości (klasa C wg Eurokodu 2) wyróżnia się gatunek B500SP. Ta gorąco walcowana stal, produ-

kowana w postaci prętów prostych lub kręgów przez polskich producentów zgodnie z wymogami PN-H-93220:2006, jest szeroko dostępna na terenie całego kraju i chętnie stosowana przez projektantów konstrukcji [7].

### Prognozy na przyszłość

Aby możliwe było zapewnienie polskiemu sektorowi stalowemu realnych możliwości konkurencji z przemysłem zagranicznym, konieczne jest zagwarantowanie adekwatnego wsparcia na aktywność badawczo-rozwojową sektora, w tym m.in. działania prowadzące do opracowywania nowych, innowacyjnych rozwiązań z zakresu nowych i ulepszonych wyrobów stalowych oraz technologii ich produkcji. Warunkiem koniecznym do wytworzenia takich produktów są znaczne nakłady finansowe na badania i rozwój oraz silne powiązanie z sektorem badawczym, który może przyczynić się do powstania nowych rozwiązań, mających szansę stać się dźwignią konkurencyjności dla produktów końcowych, dostosowanych do potrzeb konsumentów [8].

### Literatura

- [1] Burakowski T.: *O stali damasceńskiej słów kilka*. „Inżynieria Powierzchni” 2009, nr 3, s. 41–43.
- [2] Dobrzański L.A.: *Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. Materiały inżynierskie z podstawami projektowania materiałowego*. Warszawa 2002.
- [3] PN-EN 10020:2003 *Definicja i klasyfikacja gatunków stali*.
- [4] Pilarczyk J.: *Nowe podejście do metod projektowania oraz materiałów i technologii spawania w budownictwie drogowych konstrukcji stalowych*. Materiały seminarium Polskiego Kongresu Drogowego *Stal w infrastrukturze drogowej*, Warszawa, 14 stycznia 2010 r.
- [5] Rykaluk K.: *Konstrukcje stalowe. Podstawy i elementy*. Wrocław 2009.
- [6] PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2 *Projektowanie konstrukcji z betonu*. Cz. 1–1. *Reguły ogólne i reguły dla budynków*.
- [7] *Jak projektować odpowiedzialnie? Klika słów na temat ciągliwości stali zbrojeniowej* [online]. Centrum Promocji Jakości Stali, marzec 2014. Dostępny w Internecie: [http://www.cpjs.pl/wp-content/uploads/2014/08/broszura\\_niebieska.pdf](http://www.cpjs.pl/wp-content/uploads/2014/08/broszura_niebieska.pdf) (dostęp 12 sierpnia 2015 r.).
- [8] *Polski przemysł stalowy 2015* [online]. Hutnicza Izba Przemysłowo-Handlowa. Dostępny w Internecie: [http://www.hiph.org/ANALIZY\\_RAPORTY/pliki/PPS-2015.pdf](http://www.hiph.org/ANALIZY_RAPORTY/pliki/PPS-2015.pdf) (dostęp 17 sierpnia 2015 r.).

