



Temat specjalny

WYKORZYSTANIE STALI W BUDOWNICTWIE INFRASTRUKTURALNYM

tekst: **MARIAN KOWACKI**, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne

SSAB



Stalprodukt S.A.

mostostal
kraków

EPSTAL

Spośród stopów żelaza wykorzystywanych w technice to właśnie stal, ze względu na duże zróżnicowanie składu chemicznego i właściwości wytrzymałościowych, znajduje najszersze zastosowanie w budownictwie. Współczesna stal może się charakteryzować niespotykanymi dotychczas właściwościami, spełniającymi zarówno wymagania promu kosmicznego, jak i mostu stalowego, którego nie trzeba będzie remontować przez co najmniej 50 lat.

Fot. fotorince - fotolia.com



Trwająca od tysięcy lat era stali doprowadziła do powstania cywilizacji przemysłowej, której rozwój był uwarunkowany dostępnością surowców, energii i wykwalifikowanej siły roboczej. Natomiast dzięki rozwojowi inżynierii materiałowej dokonano znaczących odkryć poznawczych w obszarze stopów metalicznych. W toku poszukiwań sposobów umocnienia stopów konstrukcyjnych odkryto oddziaływanie na ich wytrzymałość wielkości ziarna, struktury granic ziaren, gęstości dyslokacji oraz wydzielania dyspersyjnych cząstek węglików azotków lub faz międzymetalicznych. Dzięki znajomości tych oddziaływań możliwe stało się opracowanie szeregu odmian niskowęglowych stali konstrukcyjnych o podwyższonej i wysokiej wytrzymałości, przesyconych i starzonych stopów metali nieżelaznych, a później umacnianych związkami międzymetalicznymi w procesach starzenia wysokiej wytrzymałości martenzytycznych stali typu maraging oraz żarowytrzymałych nadstopów niklu i kobaltu [1].

Metody uzyskiwania stali i jej właściwości

Właściwości fizyczne stopu żelaza zależą od jego składu chemicznego i sposobu wytwarzania. W zależności od stanu obróbki stopy żelaza o zawartości węgla poniżej 2% nazywane są stalą lub staliwem, natomiast o większej zawartości – żeliwem.

Materiał wyjściowy do produkcji surówki to wsad. Składają się na niego rudy żelaza (magnetyt – Fe_3O_4 , hematyt – Fe_2O_3 , limonit – $2\text{Fe}_2\text{O}_3$ i syderyt – FeCO_3), koks i topniki. Ruda żelaza przed umieszczeniem w wielkim piecu jest poddawana obróbce wstępnej. Za pomocą sortowników usuwa się z niej

skałę płonną, a przez prażenie także wodę, dwutlenek węgla i częściowo siarkę. Koks jest źródłem ciepła oraz służy do redukcji tlenków, zaś topniki zwiększają efektywność procesu topnienia rud.

Proces uzyskiwania surówki odbywa się w wielkich piecach. Ponieważ surówka zawiera ok. 6% domieszek w postaci węgla, krzemu, manganu, fosforu i siarki, cechuje się słabymi właściwościami plastycznymi. Nie nadaje się także do kucia i walcowania. W toku dalszej obróbki otrzymuje się dwa podstawowe produkty procesu hutniczego. Jednym z nich jest żeliwo, czyli surówka przetopiona z dodatkiem złomu, odpadkami z odlewni, koksem i topnikami. Produkt w postaci utlenionej surówki nazywany jest stalą lub staliwem.

Stal jest otrzymywana w wyniku utlenienia surówki w konwertorach Bessemera, Thomasa, piecach martenowskich lub elektrycznych, podczas procesu nazywanego świeżeniem, kiedy to z surówki usuwany jest nadmiar węgla oraz zmniejsza się udział procentowy domieszek naturalnych. W tym celu na surówkę działa się bezpośrednio tlenem. Wypalony podczas tego procesu koks oraz wytrącone domieszki wypływają na powierzchnię metalu, tworząc żużel. Stal jest następnie odlewana do form. Po ostygnięciu uzyskuje się wlewki dogodne do dalszej obróbki plastycznej (walcowanie i hartowanie), prowadzące do uzyskania produktu w ostatecznej, docelowej formie.

Od stali często wymaga się większej hartowności. Poprawiają ją takie pierwiastki, jak chrom, molibden, nikiel i mangan. Jedynie nikiel zapewnia stali odporność na zmęczenie i kruche



Stalprodukt S.A.

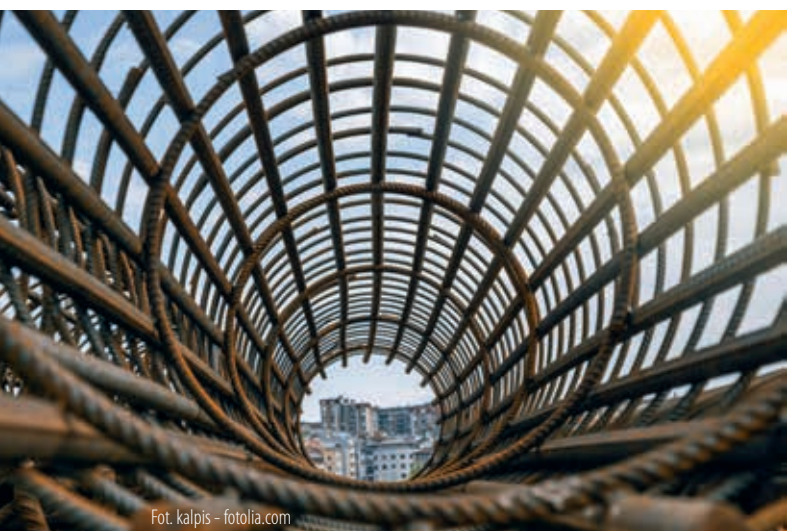
SUKCES
JEST
DOWODEM
ZREALIZOWANEGO
CELU

www.stalprodukt.com.pl

Największy producent kształtowników giętych na zimno w Polsce



Fot. fulsrphoto - fotolia.com



Fot. kalpis - fotolia.com

pękanie, a także dobrą uduerność w obniżonych temperaturach. W przypadku stali łożyskowych, od których wymaga się dużej twardości i odporności na ścieranie, muszą się one cechować większą zawartością węgla. Dla stali, które powinny mieć wysoką granicę sprężystości, stosuje się mangan i krzem. W trakcie obróbki cieplno-chemicznej stali utwardzanej powierzchniowo stosuje się glin, chrom i molibden. Przez wprowadzenie dodatkowych pierwiastków poprawia się odporność stali na czynniki środowiskowe. Odporność stali na korozję zapewnia duża zawartość chromu. Stale kwasoodporne zawierają większe ilości krzemu i niklu. Natomiast żaroodporność zapewniają dodatki chromu, krzemu i glinu. Pierwiastkiem niepożądanym w stalach konstrukcyjnych jest siarka, która wpływa na obniżenie plastyczności i uduerności materiału. Istotną cechą stali budowlanych jest ich spawalność, którą pogarsza obecność węgla i krzemu.

Generalnie stal jest uznawana za materiał jednorodny. O widocznej ortotropii można mówić jedynie w przypadku elementów obrabianych na zimno. Pod względem podstawowych właściwości fizycznych wszystkie gatunki stali, bez względu na skład chemiczny, charakteryzują się następującymi parametrami:

- masa objętościowa 7850 kg/m³,
- moduł sprężystości podłużnej 205 GPa,
- moduł sprężystości poprzecznej 80 GPa,
- współczynnik Poissona 0,30,
- współczynnik rozszerzalności cieplnej liniowej 0,000012 1/K.

Z kolei cechy mechaniczne stali są na ogół funkcją składu chemicznego i obróbki mechanicznej. Należą do nich wytrzymałość, uduerność, twardość, kowalność, spawalność, ścieralność oraz odporność na czynniki agresywne. Pod względem zastosowania stali w budownictwie jej najważniejszą cechą jest wytrzymałość. W zależności od warunków pracy rozróżnia się wytrzymałość na rozciąganie, ściskanie, zginanie, ścinanie i skręcanie. Określa się ją zwykle na podstawie prób rozciągania, przeprowadzonych zgodnie z Polskimi Normami. Zwraca się przy tym szczególną uwagę na dwie charakterystyczne cechy – granicę plastyczności i wytrzymałość doraźną. Duże znaczenie ma także odporność stali na działanie czynników agresywnych. Gwarantują ją zwłaszcza wyroby z niskostopowych stali o podwyższonej odporności na korozję [2].

Gatunki stali budowlanych

Jednym z gatunków stali wykorzystywanych w budownictwie jest niestopowa stal konstrukcyjna. Stal niestopowa (niskowęglowa) zwykłej jakości i ogólnego przeznaczenia jest najczęściej ze wszystkich stali używana w budownictwie stalowym. Nie jest przeznaczona do obróbki cieplnej. Stosuje się ją w stanie surowym, a ponadto w stanie znormalizowanym według PN-EN 10025-1:2007. W praktyce budowlanej najczęściej spotyka się gatunki stali niestopowej St0S, St3 i St4.

St0S to stal bez gwarantowanej granicy plastyczności, dostarczana wyłącznie jako stal nieuspokojona, która znajduje zastosowanie do elementów drugorzędnych w konstrukcjach stalowych i żelbetowych. Najpopularniejszymi w budownictwie gatunkami stali są stal St3 i St4, znajdujące zastosowanie w szerokiej grupie konstrukcji stalowych. Są produkowane w trzech odmianach: S, V i W, co odpowiada

mostostal kraków

Mostostal Kraków SA, ul. Ujastek 7, 30-969 Kraków
tel.: 12 680 25 00, fax: 12 680 26 00, e-mail: biuro@mostostal.com.pl



www.mostostal.com.pl

SOLIDNOŚĆ I NOWOCZESNOŚĆ

Jedną z ostatnich realizacji infrastrukturalnych Mostostalu Kraków SA jest zadanie „Budowa łącznicy kolejowej Kraków Zabłocie – Kraków Krzemionki”. Generalnym Wykonawcą jest Budimex SA, a zakres prac Mostostalu Kraków SA obejmował dostawę i montaż 2600 ton konstrukcji stalowej obiektów mostowych WK1, ES1 oraz kładki peronowej PMK. Ciężar montowanych elementów stalowych sięgał nawet 55 ton, przy maksymalnej długości 27 metrów. Wielkim wyzwaniem była przede wszystkim lokalizacja obiektu. Większość prac prowadzona była przy częściowych wyłączeniach w ruchu samochodowym i tramwajowym w centrum miasta Kraków. Budowana łącznica kolejowa umożliwi uruchomienie szybkiego i bezpośredniego połączenia kolejowego na trasie Kraków Główny – Skawina i dalej do Oświęcimia oraz Zakopanego.

ich coraz wyższej jakości i jest związane z mniejszą zawartością procentową węgla. O popularności tych gatunków decyduje także stopień uspokojenia. Wyróżnia się trzy odmiany stali: nieuspokojoną X, półuspokojoną Y i uspokojoną (bez oznaczenia).

W budownictwie wykorzystuje się także stal niskostopową, której gatunki oznacza się symbolami wskazującymi na skład chemiczny stopu. Oznaczenie składa się z liczb oraz liter, gdzie liczby określają procentową zawartość węgla i pierwiastków stopowych, a litery składniki stopowe. Obecnie w budownictwie największe zastosowanie mają stale o podwyższonej wytrzymałości, należące do grupy 18G2.

Ze stali niskostopowej, węglowo-manganowej, otrzymuje się stal ulepszoną cieplnie. Z kolei do produkcji rur wykorzystuje się stal węglową grupy R, która charakteryzuje się zmniejszoną zawartością węgla i manganu, co poprawia jej właściwości plastyczne. Ze stali węglowej wykonuje się rury ogólnego przeznaczenia, zwykle bez szwu, przewodowe i konstrukcyjne. Ze stali niskostopowej wywodzi się także stal trudnordzewiejąca, której charakterystyczną cechą jest zawartość domieszek – miedzi, fosforu i chromu. Ich obecność w kontakcie z agresywnym środowiskiem powoduje powstanie zwartej warstwy ochronnej produktów korozji, skutecznie hamującej dalszy proces korozji. Do elementów konstrukcyjnych w postaci odlewów wykorzystuje się staliwo, które w budownictwie znajduje zastosowanie przede wszystkim na przeguby i wałki łożysk mostowych [2].

Konstrukcje stalowe

Zakres stosowania stali jako materiału konstrukcyjnego jest niezwykle szeroki, ponieważ w porównaniu z innymi materiałami budowlanymi (drewno, cegła, żelbet czy chociażby żeliwo) charakteryzuje się dużą jednorodnością i izotropowością właściwości fizycznych i mechanicznych. Stal jest materiałem najbardziej odpowiadającym hipotezom obliczeniowym wytrzymałości materiałów oraz teorii sprężystości i plastyczności.

Budowlane konstrukcje stalowe można podzielić na trzy główne grupy. W pierwszej znajdują się konstrukcje prętowe, takie jak szkielety hal różnego przeznaczenia i budynków wielopiętrowych, kopuły, wieże radiowo-telewizyjne i energetyczne, trzony masztów. Grupę drugą stanowią konstrukcje powłokowe, w tym zbiorniki na płyny, zasobniki na materiały sypkie, zamknięcia wodne i rurociągi. Ostatnią grupę tworzą konstrukcje cięgnowe, do których należą mosty wiszące i podwieszane, kolejki linowe oraz dachy o dużych rozpiętościach.

Wśród głównych zalet konstrukcji stalowych można wymienić jednakową, dużą wytrzymałość na rozciąganie i ściskanie. Dla porównania, wytrzymałość obliczeniowa stali konstrukcyjnej budowlanej wynosi $f_d = 215\text{--}690$ MPa, a betonu 20–100 MPa. Kolejnym atutem stali jest wysoki stopień prefabrykacji, który polega na wytwarzaniu konstrukcji w warsztacie w postaci tzw. elementów wysyłkowych, które są dostosowane pod względem ciężaru i gabarytów do posiadanych środków transportu i montażu. Po przetransportowaniu tych elementów na plac budowy są one scalane, najczęściej za pomocą śrub.

Solidność i Nowoczesność

Mostostal Kraków SA jest specjalistyczną firmą budowlaną świadczącą usługi w zakresie produkcji i montażu konstrukcji stalowych oraz montażu mechanicznego maszyn i urządzeń przemysłowych. Firma jest spółką Grupy Budimex i od lat działa z sukcesem w najważniejszych sektorach branży: energetycznej, cementowej, chemicznej, mostowej, obiektów kubaturowych, obiektów użyteczności publicznej, hutnictwa, hal przemysłowych oraz innych stalowych obiektów inżynierskich.

Głównymi atutami firmy Mostostalu Kraków SA są: ogromne doświadczenie poparte licznymi referencjami, wysoko wykwalifikowana kadra, Zintegrowany System Zarządzania Jakością, Środowiskiem i BHP, Certyfikat producenta konstrukcji stalowych zgodny z wymogami normy EN 1090 -1 i 2 oraz szereg innych uprawnień i certyfikatów. Mostostal Kraków SA posiada dwie Wytwórnie Konstrukcji Stalowych, dzięki czemu wydajność produkcyjna sięga nawet 14 000 ton rocznie.

Mostostal Kraków SA

ul. Ujastek 7, 30-969 Kraków

tel.: (+48) 12 680 25 00

fax: (+48) 12 680 26 00

e-mail: biuro@mostostal.com.pl

mostostal
kraków

www.mostostal.com.pl



Różnorodność zastosowań stali jest ogromna. Jakie właściwości stali EPSTAL przemawiają za jej stosowaniem w budownictwie infrastrukturalnym?



mgr inż. MAGDALENA PIOTROWSKA,
dyrektor zarządzający,
Centrum Promocji Jakości Stali Sp. z o.o.

Stal zbrojeniowa EPSTAL wyróżnia się przede wszystkim wysoką ciągliwością przy jednoczesnym zachowaniu dobrych właściwości wytrzymałościowych.

Może być stosowana do każdego rodzaju konstrukcji żelbetowych we wszystkich obszarach budownictwa. Ze względu na swoją wysoką ciągliwość (klasa C według Eurokodu) stal EPSTAL jest szczególnie zalecana do zbrojenia konstrukcji narażonych na działanie obciążeń dynamicznych, jak np. obiekty inżynieryjne lub posadowione na obszarach górniczych. Obecnie wiele biur projektowania konstrukcyjnego wpisuje w projekty wyłącznie stal EPSTAL, coraz częściej całe obiekty muszą być wykonane z zastosowaniem tego rodzaju stali. Również firmy wykonawcze przekonują się do jej zalet, używając EPSTAL do zbrojenia konstrukcji lub nawet zlecając projektantowi zamianę gatunku stali właśnie na EPSTAL. Korzyść dla wykonawcy wiąże się m.in. z bardzo dobrą identyfikowalnością tej stali – jest ona dodatkowo znakowana napisem EPSTAL nawalcowanym na każdym pręcie, co znakomicie ułatwia weryfikację dostaw na budowie i zapobiega oszustwom czy pomyłkom.

Konstrukcje stalowe łatwo się wzmacnia w przypadku wzrostu obciążeń, co często się zdarza podczas modernizacji procesu technologicznego, a także w przypadku uszkodzenia konstrukcji. Gdy połączenia montażowe elementów są na śruby, istnieje możliwość rozbiórki konstrukcji i jej ponownego zmontowania w innym miejscu. Natomiast w przypadku likwidacji konstrukcji nierozbieralnej można odzyskać praktycznie całą stal i przeznaczyć na inne elementy konstrukcyjne lub ponownie przetopić w stalowni.

Stal cechuje się także względną lekkością, mierzoną stosunkiem ciężaru masy do wytrzymałości obliczeniowej. Konstrukcje stalowe są lżejsze od betonowych i drewnianych. Natomiast lżejsze od konstrukcji stalowych są tylko aluminiowe, tytanowe oraz z tworzyw sztucznych, które jednak nie znalazły szerokiego zastosowania w budownictwie, głównie z powodu wysokich kosztów wytwarzania, a w przypadku tworzyw sztucznych również z uwagi na zmianę ich właściwości, szczególnie mechanicznych, w czasie. Za lekkością konstrukcji stalowych idą mniejsze koszty transportu z wytwórni na plac budowy oraz mniejsze koszty montażu, związane z wykorzystaniem dźwigów o mniejszych nośnościach.

Natomiast głównymi wadami konstrukcji stalowych są relatywnie duża podatność stali na korozję oraz mała ognioodporność [3].

Obszary zastosowań

Elementy stalowe występują w niemal każdym obszarze budownictwa drogowo-mostowego. 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, wysokowytrzymałych i wysokostopowych. Podstawową technologią ich łączenia jest spawanie.

Stosowanie stali w budownictwie infrastrukturalnym charakteryzuje 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 wprowadzenia tych wytycznych jest wzrost wymagań we wszystkich sferach 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].

Podsumowanie

Jak dowodzi historia przemysłu stalowego na świecie, związanego z zastosowaniem stali jako głównego materiału konstrukcyjnego, zapoczątkowana ponad 3000 lat temu era stali trwa nadal i jej istnieniu nie zagraża rozwój innych materiałów, w tym niemetalowych kompozytów. Odnosi się wręcz wrażenie, że współczesna inżynieria stali i stopów specjalnych na osnowie żelaza pozwala na projektowanie i wytwarzanie stopów o nieznanych dotychczas własnościach bądź też nadawanie coraz lepszych własności znanym już tworzywom [5].

Literatura

- [1] Maciejny A.: *Metale i stopy metaliczne oraz ich wpływ na rozwój inżynierii materiałowej w Polsce*. W: *Polskie i światowe osiągnięcia nauki: nauki techniczne*. Gliwice 2010, s. 13–48.
- [2] *Budownictwo ogólne. Materiały i wyroby budowlane*. Red. nauk. M. Siarkiewicz. Warszawa 2005.
- [3] Rykaluk K.: *Konstrukcje stalowe. Podstawy i elementy*. Wrocław 2009.
- [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.
- [5] *Przyszłość stali i konstrukcji stalowych* (online). Z prof. dr. hab. inż. Jerzym Pacyną z AGH rozmawia Jerzy Bojanowicz. *Wirtualny Nowy Przemysł*, 4 czerwca 2017. Dostępny w Internecie: http://hutnictwo.wnp.pl/przyszlosc-stali-i-konstrukcji-stalowych,298919_1_0_0.html (dostęp 28 czerwca 2017).



ochrona przed
katastrofą
postępującą

EPSTAL

stal zbrojeniowa o wysokiej ciągliwości

Badania naukowe potwierdzają:

Zastosowanie stali zbrojeniowej EPSTAL o wysokiej ciągliwości i odporności na obciążenia dynamiczne ma istotny wpływ na zwiększenie wartości rezerwy nośności ograniczającej rozwój katastrofy postępującej w stanie awaryjnym konstrukcji.

