

STAL

ISSN 1895-6408

1-2/2014
styczeń-luty

Metale & Nowe Technologie

 **ELAMED**
WYDAWNICTWO
www.elamed.pl

**Co za nami?
Podsumowanie
2013 roku**

**Potencjał
przyrostowego
tłoczenia blach**

**Pomiary
nierówności
powierzchni**

**Stal nierdzewna
w budownictwie
i architekturze**

**Pęknięcia
w odlewach
staliwnych**

**Obróbka
cieplna**



„Nierdzewka” w budownictwie i architekturze

DR INŻ. **Zbigniew Brytan**,
ADIUNKT W INSTYTUCIE MATERIAŁÓW INŻYNIERSKICH I BIOMEDYCZNYCH
POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Stal nierdzewna w zastosowaniach budowlanych i architektonicznych ma od wielu lat ugruntowaną pozycję materiału trwałego, odpornego na czynniki środowiskowe o dużym potencjale kształtowania powierzchni zarówno pod względem odporności korozyjnej, jak i walorów estetycznych. Stal nierdzewna oprócz wyjątkowej odporności korozyjnej ma także dobre własności mechaniczne pod względem własności plastycznych, jak i wysokie własności wytrzymałościowe (granica plastyczności, udarność), które determinują możliwość jej stosowania na konstrukcje nośne w szerokim zakresie temperatury eksploatacji.



foto: Thinkstock

Stale nierdzewne są scharakteryzowane w normach przedmiotowych w zależności od przeznaczenia i formy produktu. Produkty ze stali nierdzewnych ogólnego przeznaczenia są opisane w normie PN-EN 10088-2 dla blach i taśm oraz w normie PN-EN 10088-3 dla półwyrobów, prętów, walcówki, drutu, kształtowników i wyrobów o powierzchni jasnej. Do niedawna były to jedyne normy dla takich produktów. Zmiany w przepisach Unii Europejskiej (UE) spowodowały konieczność dostosowania przepisów w zakresie stali nierdzewnych do wymogów dyrektywy nr 89/106/EWG -

wymagania dla wyrobów budowlanych, co wywołało konieczność opatrzenia wyrobów ze stali nierdzewnej znakiem CE (względnie znakiem budowlanym B - krajowa deklaracja zgodności).

W tym celu opracowano normy dedykowane dla produktów ze stali nierdzewnych przeznaczonych do zastosowań konstrukcyjnych, tj. PN-EN 10088-4 dla blach grubych, blach cienkich i taśm ze stali nierdzewnych do zastosowań konstrukcyjnych, a dla prętów, walcówki, drutu, kształtowników i wyrobów o powierzchni jasnej - ze stali nierdzewnych PN-EN 10088-5. Normy te zasadniczo nie różnią się od wersji poprzed-

nich PN-EN 10088-2 i 3, lecz precyzują użycie stali nierdzewnej do zastosowań konstrukcyjnych. Pociąga to za sobą również konieczność zamawiania produktów przeznaczonych na konstrukcje zgodnie z dedykowanymi normami PN-EN 10088-4 i 5.

Oznakowanie CE

Oznaczenie CE umieszczone na wyrobie jest deklaracją producenta, że produkt przeznaczony dla budownictwa spełnia wymagania dyrektyw tzw. Nowego Podejścia Unii Europejskiej i może być w swobodnym obrocie na rynku europejskim. Dyrektywy te dotyczą zagadnień związa-

| GATUNKI STALI NIERDZEWNYCH | UMOWNA GRANICA PLASTYCZNOŚCI, $R_{p0,2}$ % MPa (KIER. POPRZECZNY) | WYTRZYMAŁOŚĆ NA ROZCIĄGANIE, R_m MPa (W STANIE PRZESYCONYM) | WYDŁUŻENIE DO ZERWANIA, A % |
|------------------------------------|---|---|--------------------------------|
| Austenityczne | 200-420 | 470-950 | 30-45 |
| Ferrytyczne | 220-320 | 380-650 | 18-25 |
| Ferrytyczno-austenityczne (duplex) | 400-650 | 630-1050 | 20-30 |

Tab. 1. Własności mechaniczne różnych grup stali nierdzewnych wg normy PN-EN 10088-4



Rys. 1. Most ze stali nierdzewnej, po lewej powiększony fragment konstrukcji, Singapur



Rys. 2. Sufit podwieszany z metalowej tkaniny ze stali nierdzewnej (za zgodą producenta Progress Eco SA)

nych z bezpieczeństwem użytkowania, ochroną zdrowia i środowiska, określają zagrożenia, które producent powinien wykręcić i wyeliminować.

Obecnie większość europejskich producentów stali nierdzewnych oferuje produkty zgodne z normami PN-EN 10088-4 i 10088-5, które są zaopatrzone w znak CE. Produkty przeznaczone na elementy konstrukcyjne – zamawiane zgodnie z PN-EN 10088-4 i 5 – są do-

starczane z certyfikatem materiałowym 3.1 zaopatrzonym w znak CE. W przypadku produktów sprowadzanych spoza obszaru Unii Europejskiej importery samodzielnie przechodzą procedury związane z uzyskaniem stosownego certyfikatu do oferowanych produktów i także mogą oferować produkty zgodnie z normami dla produktów do zastosowań konstrukcyjnych wg PN-EN 10088-4 i 5.

Normy projektowania

W trakcie projektowania elementów konstrukcyjnych z zastosowaniem stali nierdzewnych stosuje się podstawową normę dla projektowania konstrukcji stalowych, czyli *PN-EN 1993 Eurokod 3: Konstrukcje Stalowe* oraz dedykowaną dla stali nierdzewnych PN-EN 1993-1-4, w której zawarto reguły uzupełniające dla konstrukcji ze stali nierdzewnych. Norma PN-EN

reklama

| KLASY UMOWNEJ GRANICY PLASTYCZNOŚCI | | KLASY WYTRZYMAŁOŚCI NA ROZCIĄGANIE | |
|--|--|---------------------------------------|---|
| OZNACZENIE | GRANICA PLASTYCZNOŚCI, $R_{p0,2}$ MPa | OZNACZENIE | WYTRZYMAŁOŚĆ NA ROZCIĄGANIE, R_m MPa |
| +CP350 | 350-500 | +C700 | 700-850 |
| +CP500 | 500-700 | +C850 | 850-1000 |
| +CP700 | 700-900 | +C1000 | 1000-1150 |
| +CP900 | 900-1100 | +C1150 | 1250-1300 |
| +CP1100 | 1100-1300 | +C1300 | 1300-1500 |

Tab. 2. Klasy wytrzymałości dla austenitycznych stali nierdzewnych w stanie umocnionym przez zgniot (2H)

| KATEGORIA KOROZYJNOŚCI ŚRODOWISKA WG PN-EN 12500 | | STAŁE AUSTENITYCZNE | STAŁE FERRYTYCZNO- AUSTENITYCZNE | STAŁE FERRYTYCZNE | ZALECENIA |
|---|------------------|---|--|-------------------------------|--|
| C1 | bardzo niska | 1.4301, 1.4307, 1.4541 (A1, A2, A3) | 1.4162 | 1.4016 1.4510 | Przy odpowiedniej konserwacji powierzchni można stosować stale bez dodatku Mo. |
| C2 | niska | | 1.4162, 1.4362 | 1.4016 1.4510 | |
| C3 | średnia | 1.4301, 1.4307, 1.4541 (A1, A2, A3) 1.4404, 1.4571, (A4, A5) | 1.4162, 1.4362, 1.4462 | 1.4521, 1.4526 (1.4622) | Dla środowiska o dużej wilgotności stosować stale z Mo. |
| C4 | wysoka | 1.4404, 1.4571, 1.4420 (A4, A5) | (1.4362), 1.4462, 1.4501, 1.4410 | (1.4592) | |
| C5 | bardzo wysoka | 1.4404, 1.4571, 1.4420 (A4, A5) 1.4439, 1.4539, 1.4547 | 1.4462, 1.4501, 1.4410, | (1.4592) | Stosować tylko gatunki z dodatkiem Mo. |

Tab. 3. Zalecane gatunki stali nierdzewnych do zewnętrznych zastosowań architektonicznych z uwzględnieniem korozyjności środowiska wg PN EN 12500

❖ 1993-1-4 swoim zakresem opisuje 21 gatunków stali nierdzewnych (3 ferrytyczne, 12 austenitycznych i 2 gatunki ferrytyczno-austenityczne typu duplex) dla elementów walcowanych na gorąco i spawanych, walcowanych na zimno oraz kształtowników i prętów. Norma opisuje zasady projektowania elementów stalowych i ich połączeń. Zagadnienia związane z odpornością ogniową nie są w niej ujęte, lecz odsyła ona w tym zakresie do PN-EN 1993-1-2/Załącznik C, tak samo w przypadku zmęczenia elementów, które należy rozpatrywać zgodnie z PN-EN 1993-1-9.

Własności mechaniczne stali nierdzewnych

W zastosowaniach konstrukcyjnych stosuje się trzy podstawowe grupy stali nierdzewnych: ferrytyczne, austenityczne oraz ferrytyczno-austenityczne typu duplex. W zależności od konkretnego gatunku wykazują one własności mechaniczne w zakresie podanym w tab. 1. Niewątpliwą zaletą austenitycznych stali nierdzewnych jest duża podatność na umocnienie w wyniku zgniotu. Norma PN-EN 10088-4 przewiduje także do-

stępność produktów płaskich w gatunkach austenitycznych dostarczanych w stanie umocnionym przez zgniot – wykończenie powierzchni 2H – i przewiduje dla nich trzy klasy wytrzymałości (tab. 2). Właśność tę z powodzeniem wykorzystuje się podczas kształtowania takich elementów jak profile, co umożliwia nadanie im dodatkowej wytrzymałości przy zachowaniu grubości ścianek.

Wykończenia powierzchni

Nie bez znaczenia dla zastosowań architektonicznych stali nierdzewnych jest wykończenie ich powierzchni. W zastosowaniach konstrukcyjnych używa się stali nierdzewnych z różnym wykończeniem powierzchni, zarówno gorąco-, jak i zimnowalcowanych. Gorącowalcowane wykończenie 1D jest stosowane dla grubościennych kształtowników. Ten typ wykończenia charakteryzuje się najniższą odpornością korozyjną powierzchni elementów ze stali nierdzewnych.

Wyższą odporność korozyjną zapewniają wykończenia walcowane na zimno, np. 2D, 2B, 2R, 2J, 2K, 2P. Podstawowe wykończenia walcownicze wykazują różną chropowatość powierzchni,

co należy uwzględnić podczas doboru stali. Ogólnie im niższa chropowatość powierzchni, tym wyższa odporność korozyjna stali nierdzewnej. Spośród wykończeń 2D, 2B, 2R najbardziej błyszczące wykończenie powierzchni 2R wykazuje także najwyższą odporność korozyjną. Normy zalecają także specjalne wykończenia powierzchni do zastosowań architektonicznych lub srogich pod względem korozyjnym warunków środowiska (obecność zbiorników wodnych, strefa przybrzeżna itd.). W takich warunkach zaleca się stosować wykończenie o chropowatości powierzchni $R_a < 0,5$ mikrometra, czyli 2K – lekko błyszczące przez polerowanie. Równie dobrze odporne na korozję będzie wykończenie powierzchni na połysk lustrzany 2P, które wykazuje niższą chropowatość powierzchni od 2K. Wykończenie typu 2J – szcztokowanie lub szlifowanie na matowo – ze względu na wyższą chropowatość powierzchni zapewnia niższą odporność korozyjną niż wykończenia 2K i 2P.

Dobór stali nierdzewnych

Zastosowania typowo konstrukcyjne są zdefiniowane w pierwszej ko-

lejności nośnością danego elementu, przez co najistotniejszymi z parametrów podczas doboru stali będą jej granica plastyczności i wytrzymałość na rozciąganie (tab. 1). Stopy o strukturze dwufazowej ferrytyczno-austenitycznej typu duplex zapewniają najwyższy poziom własności wytrzymałościowych w stanie po przesycaaniu. Z tego względu są stosowane na obciążone elementy konstrukcyjne w środowiskach o wysokiej korozyjności, takich jak obszary w strefie przybrzeżnej zbiorników wody morskiej. Coraz częściej stale duplex są stosowane na konstrukcje mostów, kładek dla pieszych nie tylko nad zbiornikami wody morskiej (rys. 1).

Stale ferrytyczne i austenityczne o niższych własnościach mechanicznych w porównaniu ze stalą duplex w stanie przesyconym są także wykorzystywane na elementy wsporników, profile zamknięte, ramy nośne, systemy linowe i ciągnowe, systemy montażu oszklonych elewacji, okładziny elewacji, konstrukcje ażurowe, poszycia dachowe, systemy odprowadzania deszczówki i wiele innych.



Rys. 3. Tkanina metalowa ze stali nierdzewnej zastosowana na poszycie elewacji budynku (za zgodą producenta Progress Eco SA)

Austenityczne stale nierdzewne z powodzeniem są stosowane na profile i kształtowniki formowane przez obróbkę plastyczną na zimno, co zapewnia odpowiedni stopień umocnienia w wyniku odkształcenia plastycznego i tym samym zwiększone własności mechaniczne elementów. Ferrytyczne stale

nierdzewne znajdują podobne zastosowania, z tą różnicą, że ich umocnienie w wyniku zgniotu nie jest tak silne jak stali austenitycznych.

Nowoczesne rozwiązania

W ostatnim okresie dużą popularnością w nowoczesnych projektach

❖ architektonicznych cieszą się lekkie konstrukcje elewacji z zastosowaniem tkanin metalowych, siatek cięto-ciągłych i blach perforowanych ze stali nierdzewnych. Największą innowacyjnością w tym zakresie charakteryzują się metalowe tkaniny ze stali nierdzewnych (rys. 3), które stanowią bardzo ciekawy produkt dla projektantów zarówno elewacji, jak i przestrzeni wewnętrznych, w których mogą być stosowane na przegrody, ściany, rolety i żaluzje lub nawet podwieszane sufity (rys. 2).

Stal nierdzewna w formie drutów, sznurów o wybranym przekroju może być tkana w taki sam sposób jak wyroby włókiennicze, uzyskując różne sploty wytwarzanych tkanin. W zależności od zastosowanej techniki można tworzyć tkaniny elastyczne w jednym kierunku lub dwóch kierunkach oraz bardzo sztywne siatki druciane. Zastosowanie różnych technik wytwarzania tkanin ze stali nierdzewnych daje szerokie możliwości kształtowania aspektu wizualnego, udziału powierzchni otwartej i sztywności wytwarzanych tkanin, a także umożliwia ich połączenie z oświetleniem LED. Stwarza to nowe możliwości kreowania interaktywnych powierzchni elewacji.

Klasy korozyjności

Zgodnie z normą PN-EN 12500 korozyjność środowiska jest klasyfikowana od C1 do C5, gdzie C1 oznacza najmniejszą korozyjność, a C5 – najbardziej agresywną jej formę. Klasy korozyjności są dobrym narzędziem do wyboru materiałów, które ulegają korozji równomiernej w warunkach atmosferycznych, jak np. stal węglowa lub stal ocynkowana. Jednak stal nierdzewna z warstwą pasywną na powierzchni wykazują zupełnie inny mechanizm powstawania korozji.

W związku z tym, że nie jest łatwo przenieść warunki klas korozyjności wg PN EN 12500 na grunt stali nierdzewnych, nie jest to najlepsze narzędzie do doboru stali nierdzewnych pracujących w warunkach atmosferycznych. Ogólnie im wyższa jest klasa korozyjności, tym bardziej stopową stal nierdzewną należy stosować. W tab. 3 przedstawiono zalecane gatunki stali nierdzewnych do zewnętrz-

nych zastosowań architektonicznych, w zależności od korozyjności środowiska charakteryzowanej przez klasy korozyjności C1-C5 wg normy PN-EN 12500. Przedstawione zestawienie nie wyczerpuje wszystkich możliwych gatunków i stanowi jedynie wskazówkę do stosowania poszczególnych gatunków.

System oceny miejsca i projektu

W celu ułatwienia doboru stali nierdzewnych do zewnętrznych zastosowań architektonicznych opracowano system oceny miejsca i projektu pod względem odporności korozyjności (do pobrania ze strony stalenierdzewne.pl). W kolejnych częściach ocenia się środowisko, odległość od zbiorników wodnych i występowanie soli drogowej, lokalny charakter klimatu, projekt konstrukcji i harmonogram jej konserwacji. W zależności od uzyskanej sumy punktów dobiera się materiał na dane zastosowanie. Im niższy jest wynik oceny końcowej, tym mniej odporny na korozję można zastosować gatunek stali nierdzewnej.

Otrzymany wynik oceny można próbować obniżyć i tym samym zmniejszyć wymagania odnośnie do odporności korozyjnej zastosowanej stali nierdzewnej. Niektóre zmiany w projekcie lub planowanej eksploatacji konstrukcji mogą zmniejszyć wymagania korozyjne. Do działań, które mogą doprowadzić do obniżenia otrzymanego wyniku, należą:

- wybór powierzchni o większej gładkości (niższej chropowatości powierzchni),
- w konstrukcji elementy powinny być montowane w kierunku pionowym wykończenia powierzchni,
- powierzchnie konstrukcji powinny być swobodnie wystawione na zmywanie przez deszcz,
- eliminacja powierzchni poziomych,
- eliminacja otwartych szczelin,
- sam projekt konstrukcji powinien ułatwiać ręczne czyszczenie powierzchni stali,
- regularne czyszczenie powierzchni,
- wprowadzenia naturalnych lub sztucznych barier dla zmniejszenia wpływu mgiełki soli drogowej unoszonej spod kół samochodów.

Ochrona przed zanieczyszczeniami

Oprócz doboru danego gatunku stali nierdzewnej do występujących warunków środowiskowych jednym z najistotniejszych czynników determinujących trwałość i brak zjawisk korozyjnych na elementach ze stali nierdzewnej jest dbałość o stan ich powierzchni na każdym etapie obróbki – począwszy od właściwej obróbki powierzchniowej (wytrawianie i pasywacja), po procesy łączenia, przez właściwe przechowywanie elementów, dostarczanie na miejsce budowy oraz montaż.

Na każdym z wymienionych etapów należy chronić powierzchnię stali nierdzewnej przed zanieczyszczeniami od cząstek metalicznych (żelaza), które w obecności wilgoci ulegają przyspieszonej korozji i powodują rdzawe nacieki na stali nierdzewnej. Z tego względu zaleca się, aby folia ochronna, z którą dostarczane są elementy ze stali nierdzewnej, pozostała na powierzchni do końcowego etapu przekazania konstrukcji do użytkowania.

Szczególnie ważne jest także zaplanowanie harmonogramu konserwacji elementów ze stali nierdzewnych, o czym często się zapomina. Cykliczne czyszczenie detali usuwa z powierzchni zanieczyszczenia nagromadzone z powietrza i umożliwia utrzymanie najwyższej odporności korozyjnej powierzchni stali nierdzewnych.

Duże znaczenie ma także prawidłowy projekt konstrukcji. W szczególności należy unikać powstawania szczelin, które będą miejscem rozwoju korozji. Należy również wykorzystywać odpowiednie metody obróbki i łączenia, które nie spowodują zanieczyszczenia oraz uszkodzenia powierzchni stali. Do łączenia stali nierdzewnych warto stosować elementy złączne wykonane również ze stali nierdzewnych. □

Piśmiennictwo

1. <http://www.oznakowanie-ce.pl>.
2. *PN-EN 10088-4 Stale odporne na korozję - Część 4: Warunki techniczne dostawy blach grubych, blach cienkich i taśm ze stali nierdzewnych do zastosowań konstrukcyjnych.*
3. Progress Eco SA, www.progressarch.com.
4. *Dobór stali nierdzewnych do zewnętrznych zastosowań architektonicznych.* Publikacje, Architektura, budownictwo i przemysł budowlany, www.stalenierdzewne.pl.