



Nierdzewna Stal SEA-CURE® jest zgodna lub przewyższa wymagania ASTM A-268 i ASME-SA268

ODPORNOŚĆ NA KOROZJĘ

Odporność na wiele silnych kwasów została określona przy zastosowaniu procedur Instytutu Technologii Materiałów Przemysłu Procesów Chemicznych (Materials Technology Institute of the Chemical Process Industries). Dane reprezentacyjne podane są poniżej.

SKŁAD CHEMICZNY

PIERWIASTEK	PROCENT
Chrom	25,0 – 28,0
Molibden	3,0 – 4,0
Nikiel	1,0 – 3,5
Mangan	1,00 maks.
Krzem	1,00 maks.
Węgiel	0,030 maks.
Azot	0,040 maks.
Fosfor	0,040 maks.
Siarka	0,030 maks.
Tytan + Niob	0,020 – 1,00
Żelazo	Dopełnienie

OPIS

Struktura ferrytyczna stali nierdzewnej SEA-CURE® zapewnia materiał o wysokiej wytrzymałości, łatwo hartowalny i cechujący się dobrą ciągliwością. Te właściwości pozwalają na przyjęcie przy projektowaniu wysokich limitów naprężeń oraz dobrą charakterystykę obrabiania.

Dzięki dodaniu niklu stal SEA-CURE® ma niższą temperaturę przejścia od ciągliwości do kruchości niż podobne stale ferrytyczne bez dodatku niklu.

ZASTOSOWANIA

Ten stop został zaprojektowany specjalnie dla zastosowań, w których mamy do czynienia z korozją wżerową wywołowaną związkami chloru (chlorkami), korozją szczelinową oraz pęknięciami spowodowanymi korozją naprężeniową.

Nierdzewna stal Plymouth SEA-CURE® jest stosowana w kondensarach używanych w elektrowniach, wymiennikach BOP (ang. balance-of-plant exchangers), różnorodnych wymiennikach ciepła spotykanych w zastosowaniach chemicznych, petrochemicznych i rafineryjnych, wymiennikach ciepła odsalaczy oraz w systemach odprowadzania gazów kominowych, takich jak wtórne wymienniki ciepła w piecach o wysokiej wydajności. American Gas Association (amerykańska oficjalna organizacja zajmująca się gazem) zatwierdziła używanie stali SEA-CURE® w systemach kondensacji gazów kominowych. Nierdzewna stal SEA-CURE® charakteryzuje się lepszą odpornością na korozję ogólną w szerszym zakresie warunków, niż austenityczne stale nierdzewne.

Roztwór Kwasu	Temperatura		Typ 304	Typ 316	SEA- CURE®
	°F	°C			
					Wskaźnik tempa korozji MPY*
0,1 % Solny	212	100 B		2,08	0,23
1,0 % Solny	210	99 B			0,68
1,0 % Solny + 3% FeCl ₃	167	75			2,27**
10% Siarkowy	215	102 B			1,05
60% Siarkowy	244	118 B			>1000
93% Siarkowy	171	77		78,0	10,0
50% Fosforowy	228	109 B	2,46	3,87	1,78
10% Azotowy	219	104 B	0,37	0,96	0,46
65% Azotowy	241	116 B	3,34	3,95	1,20***
60% Azotowy + 2% HCL	235	113 B			4,18***
80% Octowy	217	103 B	17,0		0,02
100% Octowy	243	117B	0,39	0,54	0,44
50% Octowy + 50% Bezwodny	164	73	0,40		1,60
50% Mrówkowy	221	105 B			0,89
10% Szczawiowy	216	102 B			1,31
55% NaOH + 8% NaC + 3% NaClO ₃	210	99		6,1	<0,1
50% NaOH	289	143		15,0	1,0

* MPY - Wskaźnik tempa korozji wyrażony w milicalach na rok - określany w czasie trwania 96 godzinowego testu. (1 milical = 0,001 cala = 0.0254 milimetra).

** Korozja wżerowa

*** Spawana stal SEA-CURE® osiągnęła dobre wyniki w testach z kwasem azotowym. Jednakże powinno się zachować ostrożność przy używaniu jakiegokolwiek stopu stabilizowanego tytanem w środowisku wysokoutleniającym.

B - Wrzący

ODPORNOŚĆ NA KONDENSATY KWASOWE

Systemy odzyskiwania ciepła są szczególnie podatne na silną korozję spowodowaną skroplinami kwasowymi w otaczającym je środowisku. Proces skraplania i parowania kondensuje kwasy i związki chloru (chlorki), zwiększając tym samym ich korodujące działanie w temperaturze skraplania kondensatów lub wrzenia wody. Nierdzewna stal **SEA-CURE®** jest odporna na większość takich czynników korodogennych.

ODPORNOŚĆ NA WODĘ MORSKĄ

Nierdzewna stal **SEA-CURE®** została specjalnie stworzona, aby zapewnić odporność na zlokalizowaną korozję wżerową oraz korozję powodowaną silnymi roztworami związków chloru (chlorków), takich jak np. woda morską. W przyspieszonych testach porównawczych i testach na korozję szczelinową przeprowadzanych w środowisku laboratoryjnym, **SEA-CURE®** plasuje się znacznie wyżej niż zwyczajne austenityczne stale nierdzewne, takie jak stale typu 304 i 316.

REZULTATY TESTÓW

W naturalnej wodzie morskiej i w temperaturze otoczenia wiele testów wykazało niepoddawanie się stali **SEA-CURE®** działaniom korozji w czasie nawet ponad 10 lat. Współczesne skraplacze spotykane w wielu elektrowniach są narażone na prace w szkodliwych dla nich warunkach przez ponad 25 lat. Dla porównania, w tych samych warunkach stal typu 316 uległa korozji szczelinowej o głębokości 0,039 cala.

Na obszarach, gdzie występuje naturalne skażenie środowiska prowadzące do wytwarzania się (w wyniku gnicia) siarkowodoru, nierdzewna stal **SEA-CURE®** wykazała się znacznie lepszą odpornością na korozję niż stopy miedzi, takie jak np. stop miedzi i niklu.

ODPORNOŚĆ NA PĘKANIE SPowodowane KORozJĄ NAPRĘŻENIOWĄ POD WPŁYWEM ZWIĄZKÓW CHLORU

Podobnie jak większość pełno-ferrytycznych stali nierdzewnych, nierdzewna stal **SEA-CURE®** oznacza się doskonałą odpornością na pękanie spowodowane korozją naprężeniową wywołaną związkami chloru. Poddana naprężeniu do 90% swojej granicy plastyczności w temperaturze 212 °F (100°C) i umieszczona w 40% roztworze CaCl₂,

nierdzewna stal **SEA-CURE®** nie uległa pęknięciu nawet po 5000 godzinnym narażeniu na opisane powyżej warunki. Stal nierdzewna typu 316L w tych samych warunkach pęka przed upływem 400 godzin.

Wygięte w kształcie litery U próbki stali **SEA-CURE®** wystawione na działanie roztworu chlorku sodu w stężeniu 1500 ppm (parts per million - cząstek na milion) w temperaturze 212 °F (100°C) również nie uległy pęknięciu. Podobnie jak inne stale nierdzewne, stal **SEA-CURE®** nie jest odporna na korozję naprężeniową w 40% roztworze chlorku magnezu (wrzącego) w temperaturze 284 °F (140°C).

ODPORNOŚĆ NA KORozJĘ EROZYJNĄ

Stal **SEA-CURE®** oznacza się doskonałą odpornością na wszystkie rodzaje erozji. Nie ma na nią wpływu ani szybki przepływ wody, który może być spowodowany blokadą rur przepływowych bądź konstrukcją mechaniczną, ani erozja spowodowana zderzeniami cząstek szybko przepływających oparów lub cieczy z jej powierzchnią (ang. impingement corrosion). W testach na erozję ścienną - przy poddaniu różnych rodzajów stali działaniu szybko przepływającego piasku krzemowego i wody (ang. impingement) stal **SEA-CURE®** wykazuje jedynie 25% utratę wagi w porównaniu do stali Typu 316.

KOROZJA GALWANICZNA

Wszędzie tam, gdzie rur przepływowe i ściany sitowe przepływowych wymienników ciepła lub skraplaczy wykonane są z niejednakowych materiałów i pozostają w kontakcie z wodą przewodzącą prąd elektryczny (zawierającą zazwyczaj więcej niż 1000 cząstek na milion rozpuszczonych w niej substancji stałych), istnieje możliwość korozji elektrochemicznej jednego ze stopów. Stal **SEA-CURE®** wykazuje wysoki potencjał elektrody w wodzie morskiej, co czyni ją stałą szlachetną lub katodową. Plasuje ją to w szeregu napięciowym metali (szeregu galwanicznym) nieco poniżej tytanu, złota i platyny, a czyni bardziej szlachetną od stopów miedzi, stopów miedziowo-niklowych i stali węglowej. Istnieje zatem możliwość korozji tych materiałów, które są poniżej stali **SEA-CURE®** w szeregu napięciowym metali. Stąd też, jeżeli rury wymiennika wykonane ze stali **SEA-CURE®** zostały użyte razem ze stopem Muntz'a (tj. należącym do mosiądzów stopu 60% miedzi i 40% cynku) w ścianach sitowych w środowisku wody morskiej, w ścianach sitowych wykonanych ze stopu Muntz'a może dojść do pojawienia się wżerów w części więzadłowej pomiędzy rurami wymiennika. Pokrycie ścian sitowych powłoką w rodzaju żywicy epoksydowej lub zastosowanie systemu napięciowej ochrony katodowej zazwyczaj zabezpiecza ścianę sitową. W przypadku zastosowania systemu napięciowej ochrony katodowej, napięcie powinno być utrzymywane powyżej - 0,8000 wolta w porównaniu do typowej elektrody kalomelowej, aby zapobiec wytwarzaniu się wodoru, który może spowodować kruchość wodorową.

ZANIECZYSZCZENIE MORSKIE

Wszystkie metale po pewnym czasie zanieczyszczają się w wodzie morskiej. Ponieważ większość stali nierdzewnych nie zawiera miedzi, która rozpuszcza się i tworzy jony miedziowe, które są trujące dla organizmów morskich, zanieczyszczenie może nastąpić wcześniej. Tendencja do powstawania zanieczyszczeń materiałów spowodowanych wodą morską może być zminimalizowana przez chlorowanie, mechaniczne oczyszczanie lub szybki przepływ wody.

Stal **SEA-CURE®** dzięki swojej odporności na erozję, doskonale nadaje się do mechanicznego oczyszczania lub szybkiego przepływu wody. W bardziej miękkich stopach miedziowych, te metody mogą powodować poważne zużycie materiału.

DZIAŁANIE SIARCZKÓW POWODUJĄCE KORozJĘ WŻEROWĄ

Korozja wżerowa spowodowana przez związki siarki oraz niektóre bakterie obecne w zanieczyszczonej wodzie morskiej może zaatakować stopy miedzi i niklu, aluminium i mosiądzu oraz inne stopy bogate w miedź. Stal **SEA-CURE®** nie poddaje się związkom siarki ani wspomnianym powyżej bakteriom.

DZIAŁANIE BAKTERII MANGANOWYCH

Mangan może być ekstrahowany z pewnych rodzajów wód przez niektóre rodzaje bakterii i osadzany na powierzchniach wymienników ciepła w postaci uodornionego tlenku manganu. W obecności chloru związek ten może się utlenić do nadmanganianu, a chlor zredukować do jonu chloru. Taka reakcja może spowodować korozję wżerową w stalach nierdzewnych Serii 300 oraz mosiądzu typu Admirality. Stal **SEA-CURE®** jest praktycznie uodporniona na tego typu reakcje dzięki swojej wysokiej odporności na korozję wżerową.

DZIAŁANIE AMONIAKU

Stopy oparte na miedzi są bardzo podatne na działanie amoniaku, powodującego przyspieszoną korozję ogólną, korozję wżerową lub pęknięcia na skutek wywołanej przez amoniak korozji naprężeniowej.

Stal **SEA-CURE®**, podobnie jak inne stale nierdzewne, jest praktycznie odporna na działanie amoniaku.

OBRÓBKA

SPAWANIE

Spawanie łukowe w osłonie gazowej elektrodą wolframową (ang. GTA) bez użycia jak i przy użyciu materiałów wypełniających, łukowe spawanie elektrodą topliwą w osłonie gazowej (ang. GMA) oraz spawanie łukowe elektrodami otulonymi (ang. SMA) są metodami często stosowanymi przy spawaniu stali nierdzewnych, które mogą być przyjęte przy spawaniu stali **SEA-CURE®**. Aby uzyskać dobrą odporność spawu na korozję oraz jego twardość i wytrzymałość, wymagane jest jednak uważniejsze i dokładniejsze spawanie niż w przypadku stali austenitycznych. W związku z tym preferowane jest spawanie łukowe w osłonie gazowej elektrodą wolframową (GTA), aby zminimalizować dopływ ciepła. Również techniki spawania tytanu sprawdzają się dobrze w przypadku stali **SEA-CURE®**.

Podczas spawania należy kierować się następującymi ogólnymi zasadami postępowania: należy używać elektrod wymagających małej mocy i o małych rozmiarach, stosować wielokrotne przejścia przy powiększaniu rozmiarów spawanej sekcji, oraz chłodzić do temperatury pokojowej między przejściami. Niezmiernie istotne jest zminimalizowanie zanieczyszczenia tlenem, azotem i węglem oraz niedopuszczanie do ubytku elementów stabilizujących ze spawanego metalu. Może to być osiągnięte poprzez gruntowne oczyszczenie łączonych powierzchni przed spawaniem, stosowanie suchych elektrod oraz rygorystyczne stosowanie się do zasad obowiązujących w technikach spawania gazowego.

Trwałe stopy mogą być wykonywane przy użyciu różnorodnych metali wypełniających. Jednak wybór metalu wypełniającego wymaga dokładnej analizy wymagań odporności na korozję i właściwości mechanicznych odpowiadających konkretnemu zastosowaniu. Stopy austenityczne oparte na żelazie, takie jak Incoloy 825®, Incoloy 135® oraz Typ 310 Mo, dają w wyniku spawania dobrą twardość i dupleksową mikrostrukturę. Wypełniacze, które tworzą struktury ferrytyczne, takie jak Ferralium Alloy 255®, mają największą odporność na korozję, ale ograniczoną wiązkowość. Wypełniacze oparte na bazie stopów o wysokiej zawartości niklu, takie jak Incoloy 625®, mają dużą odporność na korozję i łatwość spawania, jednak wiązkowość spawu jest nieco niższa niż u stopów opartych na żelazie austenitycznym. Powstałe w czasie spawania tlenki powinny być usuwane przez ich wytrawianie lub zeszlifowywanie, aby utrzymać wysoką odporność na korozję w miejscu spawania.

WYŻARZANIE

Stal **SEA-CURE®**, podobnie jak wszystkie superferryty, wymaga bardzo wyspecjalizowanej obróbki cieplnej w celu osiągnięcia oczekiwanych wysokich norm odporności na korozję. Z tego też powodu Plymouth nie zaleca ponownego wyżarzania stali **SEA-CURE®**, chyba że przy użyciu wyspecjalizowanych i przeznaczonych do tego celu urządzeń. W razie potrzeby należy skontaktować się z Plymouth Tube przed rozpoczęciem tego typu operacji.

FORMOWANIE (KSZTAŁTOWANIE)

Nierdzewna stal **SEA-CURE®** charakteryzuje się wysoką zdolnością do odkształceń plastycznych. Z uwagi na jej wysoką wytrzymałość, w początkowej fazie formowania może być konieczne zastosowanie większej siły, jednak hartowanie niskonaprzężeniowe sprawia, że jest ona łatwiej formowalna za drugim razem bez konieczności wyżarzania jej w międzyczasie. Gorzej jednak nadaje się do formowania przez rozciąganie niż nierdzewne stale austenityczne.

ZŁĄCZA WALCOWANYCH ŚCIAN SITOWYCH

Połączenie takich właściwości jak wysoki moduł sprężystości, wytrzymałość i ciągliwość są bardzo korzystne dla osiągnięcia trwałych i szczelnych połączeń. W wyniku dodatku niklu do stopu otrzymujemy wytrzymałą i odporną na pęknięcie podstawę stopu. Przy spawaniu redukcja grubości ścian przekracza 15%. Z powodu różnic pomiędzy twardością rur wymiennika i ścianami sitowymi oraz trudności dokładnego pomiaru ścięcia ścianek (tj. zmniejszenia ich grubości), sugerujemy, aby proces walcowania był kontrolowany przez moment obrotowy. W czasie wykonywania operacji po raz pierwszy, najlepszym sposobem uzyskania odpowiedniego momentu obrotowego jest wypróbowanie go na makiecie ściany sitowej wykonanej z tego samego materiału. Siła zrywająca powinna w tym przypadku przekraczać 1200 funtów (550 kg).

W celu zapewnienia jak najwyższej wydajności instalacji, zalecamy użycie pięciorolkowych rozwalcarek. Zalecane jest również smarowanie, a maszyna powinna być tak wyregulowana, aby nie tworzyły się zadziory na końcach rur. Końcowe wyżarzanie nie jest konieczne z uwagi na erozję otworów wlotowych, jednak może być zastosowane, aby poprawić przepływ lub uzyskać zgodność ściany sitowej do tyłu, w produkcji których zastosowano końcowe wyżarzanie. Stal **SEA-CURE®** zapewnia tu wyższy wskaźnik wytrzymałości złącza niż inne stopy stosowane w rurach wymienników ciepła dla danych par – rura/ściana sitowa w tych samych warunkach. Wynika to z jej wysokiego modułu sprężystości i granicy plastyczności, które czynią ją szczególnie dogodną w tych zastosowaniach, które wymagają ścian sitowych wykonanych z materiałów o wysokiej wytrzymałości. Tam gdzie zastosowano ściany sitowe wykonane z materiałów o wysokiej wytrzymałości, jak np. dupleksowa stal nierdzewna, typowa siła zrywająca działająca na ścianki grubości zaledwie 0,028 cala przekracza 4000 funtów (1800 kg).

PRZEWODNICTWO CIEPLNE W ZAKRESIE TEMPERATUR OD 70 – 600°F

Temperatura		Przewodnictwo	
°F	°C	BTU/hr./ft./°F	W/m-°C
70	20	9,2	15,9
100	40	9,3	16,1
200	95	10,5	18,1
300	150	11,3	19,5
400	200	11,9	20,6
500	260	12,5	21,6
600	315	13,8	23,8

ROZSZERZALNOŚĆ CIEPLNA W ZAKRESIE 70-700°F

Temperatura		Współczynnik Rozszerzalności Ciepłej	
°F	°C	in./in./°F	Mm/mm/°C
70-200	20-100	5,38x10 ⁻⁶	9,68x10 ⁻⁶
70-300	20-150	5,43x10 ⁻⁶	9,77x10 ⁻⁶
70-500	20-250	5,81x10 ⁻⁶	10,46x10 ⁻⁶
70-700	20-375	5,95x10 ⁻⁶	10,71x10 ⁻⁶

PORÓWNANIE WŁAŚCIWOŚCI NIEKTORYCH STOPÓW

	Ti klasy 2	90-10 Cu/Ni	SEA-CURE®
Granica plastyczności* (ksi)	40	15	65
Wytrzymałość na rozciąganie* (ksi)	50	40	85
Wydłużenie* (%)	20	25	20
Moduł sprężystości (PSI x 10 ⁶)	15,5**	18,0	31,5
Gęstość (lb/in ³)	0,16	0,32	0,278
Współczynnik rozszerzalności (in/in-°F x 10 ⁶)	4,7	9,5	5,38
Przewodnictwo cieplne (Btu/hr-ft ² -°F/ft)	12,6	26,0	10,1
Ciepło właściwe (Btu/lb-°F)	0,124	0,092	0,12
Wytrzymałość zmęczeniowa (ksi)	16	25	35

* Wartość Minimalna ASTM

** Wartość Maksymalna ASTM

WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE

Nierdzewna stal Plymouth **SEA-CURE®** posiada wiele atrakcyjnych właściwości fizycznych, takich jak np. niska rozszerzalność cieplna, dobre przewodnictwo cieplne oraz wysoki moduł sprężystości zapewniający jej wysoką sztywność. Wysoka sztywność powoduje jej mniejsze wibracje, niż w przypadku innych materiałów używanych w inżynierii. Współczynniki rozszerzalności cieplnej są porównywalne do współczynników stali węglowej i niższe od austenitycznych stali nierdzewnych lub stopów miedzi.

Przewodnictwo cieplne jest podobne do przewodnictwa tytanu i lepsze od austenitycznych stali nierdzewnych z wysoką zawartością stopów niklowych. Nieaktywna chemicznie warstwa chroniąca przed korozją jest niezwykle cienka, co pozwala na dobre przewodzenie ciepła.

ODPORNOŚĆ NA WIBRACJE

Dzięki swojemu wysokiemu modułowi sprężystości, nierdzewna stal Plymouth **SEA-CURE®** jest bardzo odporna na zniszczenie spowodowane „zmęczeniem” wibracyjnym. Dla porównania w tabeli poniżej przedstawiono minimalne wymagane grubości ścianek rur, aby zapobiec zniszczeniom związanym z wibracjami zachodzącymi w tych samych warunkach szybkości wylotu pary z turbiny, gęstości pary, odległości pomiędzy przegrodami usztywniającymi oraz średnicą rur.

STOP	MINIMALNA GRUBOŚĆ ŚCIANKI	
	Cal	Milimetry
Nierdzewna stal SEA-CURE®	0,019	0,48
Typy 304/316	0,022	0,56
90-10-Cu-Ni	0,034	0,86
Tytan	0,038	0,97
Mosiądz typu Admiralty	0,041	1,04
Cyrkon	0,046	1,17

WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE

Wytrzymałość stali nierdzewnej **SEA-CURE®** w temperaturze otoczenia jest zachowana również w tych zakresach temperatur, które spotykamy w większości zastosowań i warunków, w których działają wymienniki ciepła. Plymouth **SEA-CURE®** jest zatwierdzona do użytku w ASME Boiler and Vessel Code (amerykański zestaw norm i kodów dla kotłów i zbiorników wysokociśnieniowych) Sekcja VIII, Dział I. Dozwolone ciśnienia, zarówno dla blach jak i dla rur wymiennikowych wykonanych ze stali **SEA-CURE®**, są znacznie wyższe niż dla nierdzewnych stali stopowych z niższą zawartością żelaza i nierdzewnej stali austenitycznej. Ten czynnik może przyczynić się do znacznych oszczędności poprzez zmniejszenie grubości sekcji lub poprzez możliwość zastosowania wyższych ciśnień operacyjnych. Górna granica temperatury w wysokości 500°F została narzucona dla uniknięcia niebezpieczeństwa występującej w temperaturze 885°F kruchości wodorowej, charakterystycznej dla wszystkich stali ferrytycznych zawierających ponad 12% chromu.

Przedstawione tu informacje oraz dane prezentują wartości typowe lub średnie i nie gwarantują uzyskania wartości maksymalnych ani minimalnych. Szczególne zastosowania opisywanych tu materiałów zostały wybrane wyłącznie dla celów ilustracyjnych, aby umożliwić czytelnikowi ocenę naszego produktu i nie stanowią, wyraźnie lub w sposób dorozumiany, gwarancji ich zgodności i dopasowania dla tych lub innych celów.

WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE W WYSOKICH TEMPERATURACH						
Temperatura		0,2% Granica Plastyczności		Wytrzymałość na rozciąganie		Wydłużenie na 2 cale
°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa	
74	23	75	517	90	620	25
200	93	66	455	83	572	24
300	149	57	392	78	538	23
400	204	53	365	75	517	21
500	260	50	345	75	517	21

DOPUSZCZALNE NAPRĘŻENIA ZGODNE Z NORMAMI ASME SEKCJA VIII DZIAŁ I			
Temperatura		Dopuszczalne naprężenie	
°F	°C	ksi	MPa
100	38	18,0	124,1
200	93	18,0	124,1
300	149	18,0	124,1
400	204	17,8	122,7
500	260	17,7	122,0

DOSTĘPNE DOKUMENTY I FORMULARZE

- Rurowe wyroby spawane
- Taśma/blacha walcowana na zimno z wyżarzaniem (Maksymalna grubość: 0,083 cala (średnio) [2,1mm])



2061 Young Street, East Troy, WI 53120 U.S.A.
Telefon: (262) 642-8201 • Faks: (262) 642-8486

DSSFSSTP-SEA-CURE © 2006, Plymouth Tube Co.
Zapraszamy na nasze strony internetowe:
www.plymouth.com lub www.seacuresolution.com
E-Mail: sales@plymouth.com