



Stal 1.4501 Super Duplex / X2CrNiMoCuWN25-7-4 / UNS
S32760 / F55

Stal 1.4501 – nierdzewna stal Super Duplex o strukturze austenityczno-ferrytycznej, chromowo-niklowo-molibdenowa z dodatkiem miedzi, wolframu i azotu, [PN-EN 10088](#) X2CrNiMoCuWN25-7-4, UNS S32760, ASTM A182 F55.

Materiały dostępne w Alfa-Tech 1.4501 / X2CrNiMoCuWN25-7-4 / UNS S32760 / F55

[Pręty 1.4501 / X2CrNiMoCuWN25-7-4 / UNS S32760 / F55 – gorącowalcowane, łuszczone i ciągnione](#)

[Płaskowniki 1.4501 / X2CrNiMoCuWN25-7-4 / UNS S32760 / F55](#)

[Pręty kute 1.4501 / X2CrNiMoCuWN25-7-4 / UNS S32760 / F55](#)

[Odkuwki 1.4501 / X2CrNiMoCuWN25-7-4 / UNS S32760 / F55 – swobodne, kostki i wały kute](#)

[Rury 1.4501 / X2CrNiMoCuWN25-7-4 / UNS S32760 / F55](#)

[Blachy 1.4501 / X2CrNiMoCuWN25-7-4 / UNS S32760 / F55 – gorącowalcowane, zimnowalcowane](#)

Telefon: [+48 63 2610519](tel:+48632610519)

kontakt@alfa-tech.com.pl

Porównanie składu chemicznego stali Super Duplex 1.4501 / X2CrNiMoCuWN25-7-4 / UNS S32760 / F55 z odpowiednikami i gatunkami porównawczymi

Gatunek stali	Norma	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Inne
1.4501 / X2CrNiMoCuWN25-7-4	EN	max 0.03	max 1.0	max 1.00	max 0.035	max 0.015	24.0–26.0	6.0–8.0	3.0–4.0	0.5–1.0	N : 0.20–0.30; W : 0.5–1.0
UNS S32760 / F55 / S39276	ASTM / UNS	max 0.03	max 1.0	max 1.00	max 0.030	max 0.010	24.0–26.0	6.0–8.0	3.0–4.0	0.5–1.0	N : 0.20–0.30; W : 0.5–1.0
CrNiMo25-7-4	ISO	max 0.03	max 1.0	max 1.00	max 0.030	max 0.010	24.0–26.0	6.0–8.0	3.0–4.0	0.5–1.0	N : 0.20–0.30; W : 0.5–1.0



Stal 1.4501 Super Duplex / X2CrNiMoCuWN25-7-4 / UNS S32760 / F55

Z3CNDU25-06Az / Z 3 CNDU 25-06 Az	AFNOR	max 0.03	max 2.0	max 0.75	max 0.030	max 0.010	24.0-26.0	5.0-7.0	3.5-4.3	1.0-2.0	N: 0.24-0.35
329S	UNI	max 0.03	0.4-1.0	0.20-0.70	max 0.030	max 0.010	24.5-26.0	6.5-7.0	3.0-4.0	0.5-1.0	N: 0.20-0.30; W: 0.5-1.0
02Ch25N7M4 / 02X25H7M4	GOST	max 0.03	max 1.0	max 1.00	max 0.030	max 0.010	24.0-26.0	6.0-8.0	3.0-4.0	0.5-1.0	N: 0.20-0.30; W: 0.5-1.0
UNS J93380 / A781 Grade 6A / CD3MWCuN	ASTM / UNS	max 0.03	max 1.0	max 1.00	max 0.025	max 0.030	24.0-26.0	6.5-8.5	3.0-4.0	0.5-1.0	N: 0.20-0.30; W: 0.5-1.0
UNS S32750 / F53 / 2507 / S39275	ASTM / UNS	max 0.03	max 1.2	max 0.80	max 0.035	max 0.020	24.0-26.0	6.0-8.0	3.0-5.0	max 0.50	N: 0.24-0.32
02Ch25N7M3 / 02X25H7M3	GOST	max 0.03	max 1.0	max 0.75	max 0.030	max 0.030	24.0-26.0	5.5-7.5	2.5-3.5	0.2-0.8	N: 0.10-0.30; W: 0.1-0.5

Stal 1.4501 / X2CrNiMoCuWN25-7-4 / UNS S32760 / F55 - charakterystyka gatunku

Stal **1.4501 / X2CrNiMoCuWN25-7-4 / UNS S32760 / F55** jest wysokostopową stałą nierdzewną typu [Super Duplex](#) o dwufazowej mikrostrukturze ferrytyczno-austenitycznej. Gatunek został opracowany do zastosowań wymagających jednocześnie **bardzo wysokiej wytrzymałości mechanicznej i wysokiej odporności na agresywne środowiska korozyjne**, szczególnie wodę morską, solanki, roztwory chlorków oraz wybrane media kwaśne.

Stal 1.4501 zawiera około **25% chromu, 6-8% niklu, 3-4% molibdenu oraz 0,20-0,30% azotu**. Charakterystyczną cechą gatunku UNS S32760 jest dodatkowe stopowanie [miedzią \(Cu\)](#) i [wolframem \(W\)](#). To właśnie obecność Cu i W stanowi jedną z najważniejszych różnic w stosunku do popularnego Super Duplex **1.4410 / UNS S32750**.

Połączenie wysokiej zawartości chromu, molibdenu i azotu z dodatkiem wolframu zapewnia bardzo wysoką odporność na korozję lokalną, natomiast miedź wpływa korzystnie na zachowanie materiału w niektórych środowiskach kwaśnych. Dwufazowa mikrostruktura zapewnia jednocześnie znacznie wyższą granicę plastyczności niż w przypadku klasycznych austenitycznych stali nierdzewnych. Dzięki temu 1.4501 może być stosowana w konstrukcjach, w których oprócz odporności korozyjnej wymagana jest wysoka nośność, odporność na obciążenia mechaniczne oraz możliwość ograniczenia przekroju elementów.



Oznaczenie **F55** występuje przede wszystkim w odniesieniu do odkuwek i elementów kutych wykonywanych według odpowiednich norm ASTM/ASME, natomiast podstawowym amerykańskim oznaczeniem gatunku jest **UNS S32760**.

Mikrostruktura stali 1.4501

Stal 1.4501 należy do grupy stali Duplex, których struktura składa się z dwóch podstawowych faz: **ferrytu i austenitu**. Odpowiednia proporcja obu faz jest jednym z warunków uzyskania zakładanych właściwości mechanicznych, udarności i odporności korozyjnej.

Ferryt odpowiada między innymi za wysoką wytrzymałość oraz dobrą odporność na chlorkową korozję naprężeniową, natomiast austenit wpływa korzystnie na plastyczność i udarność materiału. Połączenie właściwości obu faz jest jedną z podstawowych przyczyn wysokich parametrów użytkowych stali Super Duplex. Równowaga fazowa może jednak zostać zaburzona przez nieprawidłową obróbkę cieplną lub niewłaściwie przeprowadzone spawanie. Szczególnie niekorzystne jest powstawanie faz międzymetalicznych, w tym fazy sigma, które mogą powodować znaczący spadek udarności i odporności korozyjnej.

Wpływ pierwiastków stopowych na właściwości stali 1.4501

Wysokie właściwości użytkowe stali 1.4501 wynikają z odpowiednio dobranego składu chemicznego. Poszczególne pierwiastki pełnią odmienne funkcje w kształtowaniu mikrostruktury, wytrzymałości i odporności korozyjnej.

- **Chrom (Cr)** – podstawowy pierwiastek odpowiedzialny za tworzenie i stabilność warstwy pasywnej chroniącej powierzchnię stali przed korozją.
- **Nikiel (Ni)** – stabilizuje austenit i umożliwia uzyskanie odpowiedniej równowagi struktury ferrytyczno-austenitycznej.
- **Molibden (Mo)** – znacząco zwiększa odporność na korozję wżerową i szczelinową, szczególnie w środowiskach zawierających chlorki.
- **Azot (N)** – zwiększa wytrzymałość mechaniczną, stabilizuje austenit oraz bardzo silnie wpływa na odporność na korozję wżerową.
- **Miedź (Cu)** – poprawia odporność na działanie niektórych środowisk kwaśnych, między innymi zawierających kwas siarkowy.
- **Wolfram (W)** – wspomaga odporność na korozję lokalną i może być



uwzględniany w rozszerzonych równaniach PREN stosowanych dla stopów zawierających wolfram.

Odporność korozyjna stali 1.4501

Jedną z najważniejszych cech stali 1.4501 jest **bardzo wysoka odporność korozyjna**, szczególnie w agresywnych środowiskach zawierających chlorki. Wysoka zawartość chromu odpowiada za powstawanie stabilnej warstwy pasywnej, natomiast molibden, azot i wolfram zwiększają odporność na jej lokalne uszkodzenie. Dzięki temu materiał może być stosowany w warunkach, w których klasyczne stale austenityczne oraz standardowe stale Duplex mogą nie zapewniać wystarczającej trwałości.

Stal 1.4501 wykazuje wysoką odporność na:

- [korozję wżerową](#), szczególnie istotną w obecności jonów chlorkowych,
- [korozję szczelinową](#), występującą między innymi pod uszczelkami, osadami i w szczelinach konstrukcyjnych,
- [korozję naprężeniową SCC](#) w wielu środowiskach chlorkowych,
- [korozję międzykrystaliczną](#),
- [korozję ogólną i równomierną](#) w wielu agresywnych środowiskach chemicznych,
- [działanie wody morskiej](#), solanek i mediów o wysokiej zawartości chlorków.

Wysoka odporność na chlorkową korozję naprężeniową jest szczególnie ważna w instalacjach morskich, offshore, wymiennikach ciepła oraz rurociągach, w których materiał jest jednocześnie poddawany działaniu naprężeń i agresywnego medium.

Dodatek miedzi zwiększa przydatność S32760 w wybranych środowiskach kwaśnych. Z tego względu materiał znajduje zastosowanie również w przemyśle chemicznym, petrochemicznym oraz hydrometalurgii.

Należy jednak pamiętać, że odporność korozyjna nie jest stałą cechą niezależną od warunków eksploatacji. Przy doborze materiału trzeba uwzględnić między innymi **temperaturę, pH, stężenie chlorków, rodzaj i stężenie kwasów, obecność szczelin i osadów, prędkość przepływu medium, stan powierzchni oraz sposób wykonania konstrukcji**.



PREN stali 1.4501 / UNS S32760

Do orientacyjnego porównywania odporności stali nierdzewnych na inicjację korozji wżerowej stosowany jest [wskaźnik PREN](#).

Jednym z podstawowych równań jest:

$$\text{PREN} = \% \text{Cr} + 3,3 \times \% \text{Mo} + 16 \times \% \text{N}$$

W przypadku stali zawierających wolfram stosowane są również rozszerzone zależności uwzględniające jego wpływ, przykładowo:

$$\text{PREN} = \% \text{Cr} + 3,3 \times (\% \text{Mo} + 0,5 \times \% \text{W}) + 16 \times \% \text{N}$$

Dla stali **1.4501 / UNS S32760** wartość PREN znajduje się na poziomie charakterystycznym dla wysokostopowych stali Super Duplex i zazwyczaj przekracza **40**, zależnie od rzeczywistego składu chemicznego wytopu oraz przyjętego równania.

Wysoki PREN wskazuje na bardzo dużą potencjalną odporność na inicjację korozji wżerowej, nie oznacza jednak automatycznie odporności materiału w każdych warunkach. PREN jest przede wszystkim **wskaźnikiem porównawczym**, a nie samodzielnym kryterium doboru materiału.

Stal 1.4501 a 1.4410 - UNS S32760 a UNS S32750

Stale **1.4501 / UNS S32760** oraz **1.4410 / UNS S32750** należą do grupy [stali Super Duplex](#). Oba gatunki charakteryzują się wysoką zawartością chromu, molibdenu i azotu, wysoką wytrzymałością mechaniczną oraz bardzo dobrą odpornością na korozję lokalną w środowiskach chlorkowych.

Istotną cechą **S32760** jest dodatkowe stopowanie [miedzią](#) i [wolframem](#). Wolfram wspomaga odporność na korozję lokalną, natomiast miedź poprawia zachowanie materiału w określonych środowiskach kwaśnych.

Z tego względu **S32750 i S32760 nie powinny być automatycznie traktowane jako materiały identyczne lub zamiennie**. Dobór powinien uwzględniać medium robocze, temperaturę, wymagania konstrukcyjne, odpowiednią normę produktową i wymagania konkretnego projektu.

Właściwości mechaniczne stali 1.4501

Dwufazowa mikrostruktura stali 1.4501 zapewnia znacznie wyższą granicę plastyczności niż w przypadku typowych austenitycznych stali nierdzewnych. Jest to jedna z najważniejszych zalet konstrukcyjnych stali Super Duplex.



Wysoka wytrzymałość umożliwia projektowanie elementów o dużej nośności, a w odpowiednio zaprojektowanych konstrukcjach może pozwalać na zmniejszenie grubości ścianek lub przekrojów w porównaniu z materiałami o niższej granicy plastyczności.

Właściwość	Wartość orientacyjna
Granica plastyczności $R_{p0,2}$	ok. $\geq 530\text{--}550$ MPa
Wytrzymałość na rozciąganie R_m	ok. $730\text{--}1000$ MPa
Wydłużenie A	ok. $\geq 20\text{--}25\%$
Twardość	zależna od postaci wyrobu i normy dostawy; zwykle ograniczana do ok. $270\text{--}290$ HB
Moduł sprężystości E	ok. 200 GPa

Podane wartości mają charakter orientacyjny. Dokładne wymagania mechaniczne zależą od **postaci wyrobu, wymiaru, grubości, stanu dostawy oraz zastosowanej normy produktowej**. W dokumentacji projektowej należy zawsze stosować wymagania właściwe dla konkretnego wyrobu.

Właściwości fizyczne stali 1.4501

Właściwości fizyczne stali 1.4501 są charakterystyczne dla wysokostopowych stali Super Duplex. W przeciwieństwie do typowych austenitycznych stali nierdzewnych materiałów, ze względu na znaczny udział ferrytu, wykazuje właściwości magnetyczne.

Właściwość	Wartość orientacyjna
Gęstość	ok. $7,8$ g/cm ³
Moduł sprężystości E	ok. 200 GPa
Ciepło właściwe	ok. $475\text{--}500$ J/(kg·K)
Przewodność cieplna w 20°C	ok. $14\text{--}15$ W/(m·K)
Rezystywność elektryczna w 20°C	ok. $0,80$ $\mu\Omega\cdot\text{m}$
Współczynnik rozszerzalności cieplnej $20\text{--}300^\circ\text{C}$	ok. 11×10^{-6} K ⁻¹
Właściwości magnetyczne	stal magnetyczna

Spawalność stali nierdzewnej 1.4501

Stal 1.4501 jest spawalna, jednak **spawanie Super Duplex wymaga większej**



kontroli procesu niż w przypadku typowych stali austenitycznych. Celem jest nie tylko wykonanie trwałego połączenia, ale również zachowanie odpowiedniej mikrostruktury i odporności korozyjnej spoiny oraz strefy wpływu ciepła.

Podstawowym zagadnieniem technologicznym jest utrzymanie odpowiedniej proporcji ferrytu i austenitu. Niewłaściwy cykl cieplny może prowadzić do nadmiernej zawartości jednej z faz lub powstawania niepożądanych wydzieliń międzymetalicznych.

Do spawania mogą być stosowane między innymi metody:

- **TIG 141,**
- **MIG/MAG,**
- **MMA 111,**
- spawanie łukiem krytym.

Szczególnego znaczenia nabierają **energia liniowa spawania, temperatura międzysciegowa, szybkość chłodzenia oraz odpowiedni dobór materiału dodatkowego.** Zarówno nadmierne, jak i niewystarczające wprowadzenie ciepła może zaburzyć prawidłową strukturę złącza.

Technologia spawania powinna być odpowiednio kwalifikowana dla stali Super Duplex i uwzględniać wymagania konkretnego wyrobu oraz warunki jego późniejszej eksploatacji.

Powierzchnie przeznaczone do spawania muszą być czyste. Szczególnie należy unikać zanieczyszczenia cząstkami żelaza pochodzącymi z narzędzi używanych wcześniej do obróbki stali węglowej. Po spawaniu należy odpowiednio oczyścić powierzchnię, usunąć przebarwienia cieplne i przywrócić warunki umożliwiające prawidłową pasywację powierzchni.

Obróbka cieplna stali 1.4501

Stal 1.4501 jest stosowana zasadniczo w **stanie przesyconym.** Celem wyżarzania przesycającego jest uzyskanie właściwej mikrostruktury ferrytyczno-austenitycznej oraz rozpuszczenie niepożądanych wydzieliń.

Po nagrzaniu do odpowiedniej temperatury materiał powinien być dostatecznie szybko chłodzony, najczęściej w wodzie. Ogranicza to możliwość wydzielania niekorzystnych faz podczas chłodzenia.

Szczególnie istotne jest unikanie długotrwałego przebywania materiału w zakresach temperatur sprzyjających tworzeniu się **fazy sigma i innych faz międzymetalicznych.** Ich obecność może powodować znaczące obniżenie



udarności, plastyczności oraz odporności korozyjnej.

Stal Super Duplex 1.4501 **nie jest przeznaczona do zwiększania twardości poprzez klasyczne hartowanie i odpuszczanie**, charakterystyczne dla stali martenzytycznych.

Obróbka mechaniczna stali 1.4501

Wysoka wytrzymałość mechaniczna i skłonność do umocnienia powodują, że obróbka skrawaniem stali 1.4501 jest trudniejsza niż obróbka wielu klasycznych stali nierdzewnych.

Podczas toczenia, frezowania, wiercenia i innych operacji zalecane są:

- sztywne obrabiarki i stabilne mocowanie przedmiotu,
- odpowiednio dobrane i ostre narzędzia,
- ograniczenie drgań,
- stabilne parametry skrawania,
- niedopuszczanie do niepotrzebnego tarcia narzędzia o obrabianą powierzchnię,
- odpowiednie chłodzenie i odprowadzanie ciepła.

Nieprawidłowe parametry mogą prowadzić do lokalnego umocnienia warstwy powierzchniowej, przyspieszonego zużycia narzędzia oraz pogorszenia jakości obrabianej powierzchni.

Obróbka plastyczna stali 1.4501

Podczas formowania na zimno należy uwzględnić wysoką granicę plastyczności stali Super Duplex. W porównaniu z typowymi stalami austenitycznymi wymagane mogą być większe siły formowania, a materiał wykazuje większe sprężynowanie.

Obróbka na gorąco również wymaga kontrolowanego przebiegu nagrzewania, odkształcania i chłodzenia. Niewłaściwy cykl cieplny może doprowadzić do powstania niepożądanych faz i pogorszenia właściwości materiału.

W przypadku istotnej obróbki na gorąco końcowy stan materiału powinien odpowiadać wymaganiom właściwej normy produktowej i zapewniać prawidłową mikrostrukturę Super Duplex.



Zastosowanie stali 1.4501 / UNS S32760

Połączenie bardzo wysokiej wytrzymałości mechanicznej i odporności na agresywne środowiska powoduje, że stal 1.4501 stosowana jest przede wszystkim w wymagających instalacjach przemysłowych.

Typowe zastosowania obejmują:

- wymienniki ciepła i chłodnice,
- rurociągi procesowe,
- instalacje wysokociśnieniowe,
- instalacje transportujące wodę morską i solanki,
- systemy odsalania wody morskiej,
- pompy i elementy pomp,
- wały, wirniki i tuleje,
- zawory i armaturę przemysłową,
- instalacje offshore i platformy wiertnicze,
- urządzenia przemysłu naftowego i gazowego,
- instalacje rafineryjne,
- instalacje chemiczne i petrochemiczne,
- zbiorniki i aparaturę przemysłu chemicznego,
- urządzenia hydrometalurgiczne,
- instalacje procesów ługowania,
- instalacje przemysłu celulozowo-papierniczego,
- systemy oczyszczania i odsiarczania spalin,
- urządzenia ciśnieniowe,
- elementy statków i instalacji morskich,
- konstrukcje narażone na działanie mediów o wysokiej zawartości chlorków.

Formy dostawy stali 1.4501

Stal **1.4501 / X2CrNiMoCuWN25-7-4 / UNS S32760 / F55** może być dostarczana w różnych postaciach wyrobów hutniczych i półproduktów, między innymi jako:

- pręty okrągłe,
- pręty walcowane,
- pręty ciągnione,
- pręty i wały kute,
- płaskowniki,



- blachy i płyty,
- rury bezszwowe,
- rury spawane,
- odkuwki swobodne,
- elementy kute,
- półprodukty,
- elementy cięte na wymiar.

Dostępność konkretnej postaci, wymiaru, stanu dostawy i wymaganych badań należy każdorazowo określić zgodnie z odpowiednią normą produktową oraz wymaganiami zamówienia.

Dlaczego stal 1.4501 zaliczana jest do Super Duplex?

O zaliczeniu stali 1.4501 do grupy **Super Duplex** decyduje połączenie dwufazowej mikrostruktury ferrytyczno-austenitycznej, wysokiej zawartości chromu, molibdenu i azotu, wysokiej wytrzymałości mechanicznej oraz bardzo wysokiej odporności na korozję lokalną.

W przypadku **UNS S32760** właściwości te są dodatkowo wspomagane przez [miedź](#) i [wolfram](#), które stanowią jedną z cech odróżniających ten gatunek od innych popularnych stali Super Duplex.

Stal **1.4501 / X2CrNiMoCuWN25-7-4 / UNS S32760 / F55** jest dzięki temu materiałem przeznaczonym przede wszystkim do zastosowań, w których standardowe stale austenityczne, a często również klasyczne stale Duplex, mogą nie zapewniać wymaganej kombinacji odporności korozyjnej i wytrzymałości mechanicznej.

Dotyczy to w szczególności **wody morskiej, solanek, środowisk o wysokiej zawartości chlorków oraz wymagających instalacji chemicznych, petrochemicznych, offshore i oil & gas**. Właściwy dobór materiału powinien jednak zawsze uwzględniać rzeczywiste warunki eksploatacji, normę produktową oraz wymagania projektowe.