Materials Services
Materials Poland

XAR® stal trudnościeralna

Zalecenia w zakresie obróbki

thyssenkrupp

Spis treści

005 Specjalne stale trudnościeralne XAR®

010 Formowanie
014 Obróbka
018 Cięcie termiczne
022 Spawanie
028 Ochrona przeciwko skrajnej miejscowej ekspozycji na zużycie
030 Zastosowanie

Specjalne stale trudnościeralne XAR®

Odporne na ścieranie, twarde i solidne

Zużycie kosztuje, czasami bardzo dużo pieniędzy. Wiele struktur takich jak ramy wywrotek, sprzęt do kruszenia i przetwórstwa, prasy złomu lub maszyny wykorzystywane w kamieniołomach lub robotach ziemnych, są narażone na ścieranie i zużycie, często używane w wilgotnym środowisku, co wiąże się z występowaniem korozji. Zużycie, np. utrata materiału na powierzchni, jest ważnym czynnikiem kosztowym. Z tego powodu lub raczej w celu przeciwdziałania temu, thyssenkrupp Steel Europe AG zaprojektowała specjalną konstrukcyjną stal, która jest odporna na zużycie. Twardość stali jest kluczowa w odporności na zużycie. Zasadniczo im większa twardość, tym wyższa odporność na zużycie. Specjalna stal konstrukcyjna odporna na zużycie jest zazwyczaj hartowana lub hartowana i odpuszczana. Ponadto, posiada drobną strukturę martenzytyczną lub martenzytyczno - izotermiczną mikrostrukturę. thyssenkrupp Steel Europe produkuje blachy o grubości do 100 mm w centrum grubych blach w południowym Duisburgu.

Najczęściej używanym gatunkiem stali trudnościeralnej jest XAR® 400, której - przy twardości 400 Brinell - okres trwałości eksploatacyjnej wynosi około pięć miesięcy więcej niż standardowej stali konstrukcyjnej, oraz XAR® 450, która umożliwia nawet dłuższą trwałość przy wartości twardości 450 Brinell (rys. 1).

Stal żaroodporna XAR® 400 W oferuje zwiększoną odporność na zużycie w wysokich temperaturach, uzupełniając zakres zastosowania podstawowego gatunku XAR® 400.

Znormalizowana konstrukcyjna stal XAR® 300 dostępna jest dla struktur narażonych na niski lub umiarkowany poziom zużycia.
Bardzo wysoką odporność na zużycie oferują gatunki XAR® 500 i XAR® 600, które są zaprojektowane specjalnie do zużycia abrazyjnego.

Przy spektrum twardości od 300 do 600 Brinell, thyssenkrupp Steel Europe jak dotąd dysponuje odpowiednim rozwiązaniem we wszystkich przypadkach zużycia.

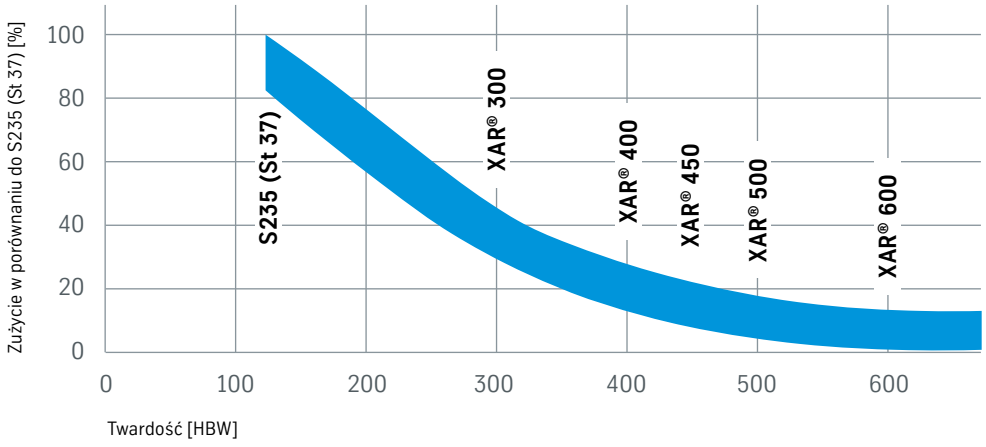
Koparka kołowa

Stale XAR® są szczegółowo opisane w naszych specyfikacjach. Więcej szczegółów można znaleźć na naszej stronie internetowej.

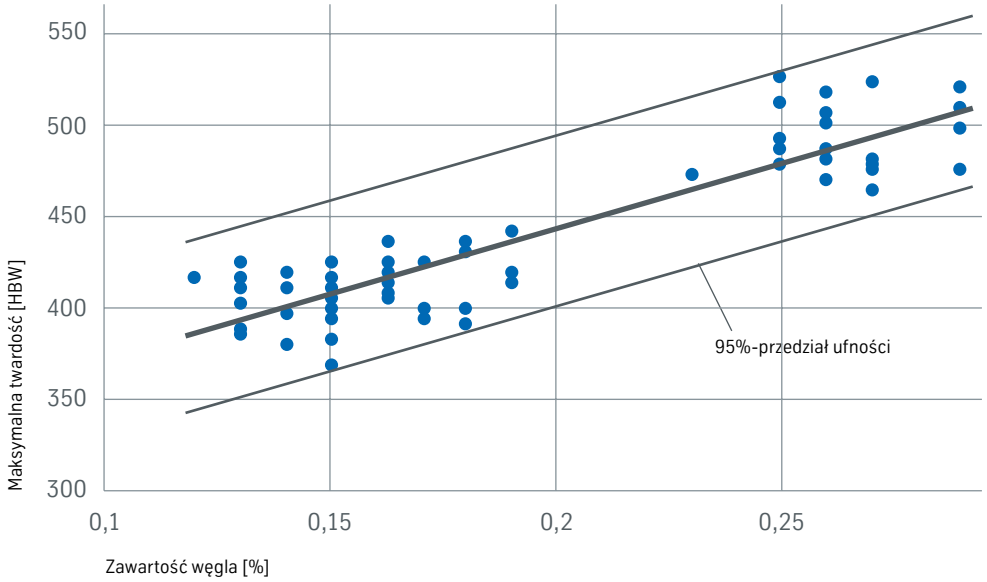
Pewna minimalna zawartość węgla jest niezbędna, żeby osiągnąć taką twardość dla hartowanych lub hartowanych i odpuszczanych stali XAR® . Jest tak, ponieważ zawartość węgla jest proporcjonalna do maksymalnej twardości stali (rys. 2). Na przykład stal o średniej twardości 400 HBW musi zawierać mniej więcej 0,14%. Dodatek molibdenu, niklu i boru zapewnia jednolity profil właściwości w kierunku międzywarstwowym. W przypadku zużycia ważne jest, że wraz ze wzrostem grubości arkusza oraz jego twardości, stale XAR® zawierają 1,5 % chromu. Podczas próby zużycia, okazało się, że chrom jest bardzo skuteczny w walce ze zużyciem, szczególnie w kwaśnym otoczeniu. Badania przeprowadzone na szeroką skalę w Institute for Tribology at Mannheim University for Applied Sciences [Instytut Trybologii na Uniwersytecie Nauk Stosowanych w Manheim] potwierdziły ten fakt.

Normalizowana i walcowana specjalna stal konstrukcyjna XAR® 300 odporna na zużycie jest opisana w specyfikacji 760.

Rys. 1. Erozja cząstek stałych jako funkcja twardości



Rys. 2. Wpływ zawartości węgla na maksymalną twardość

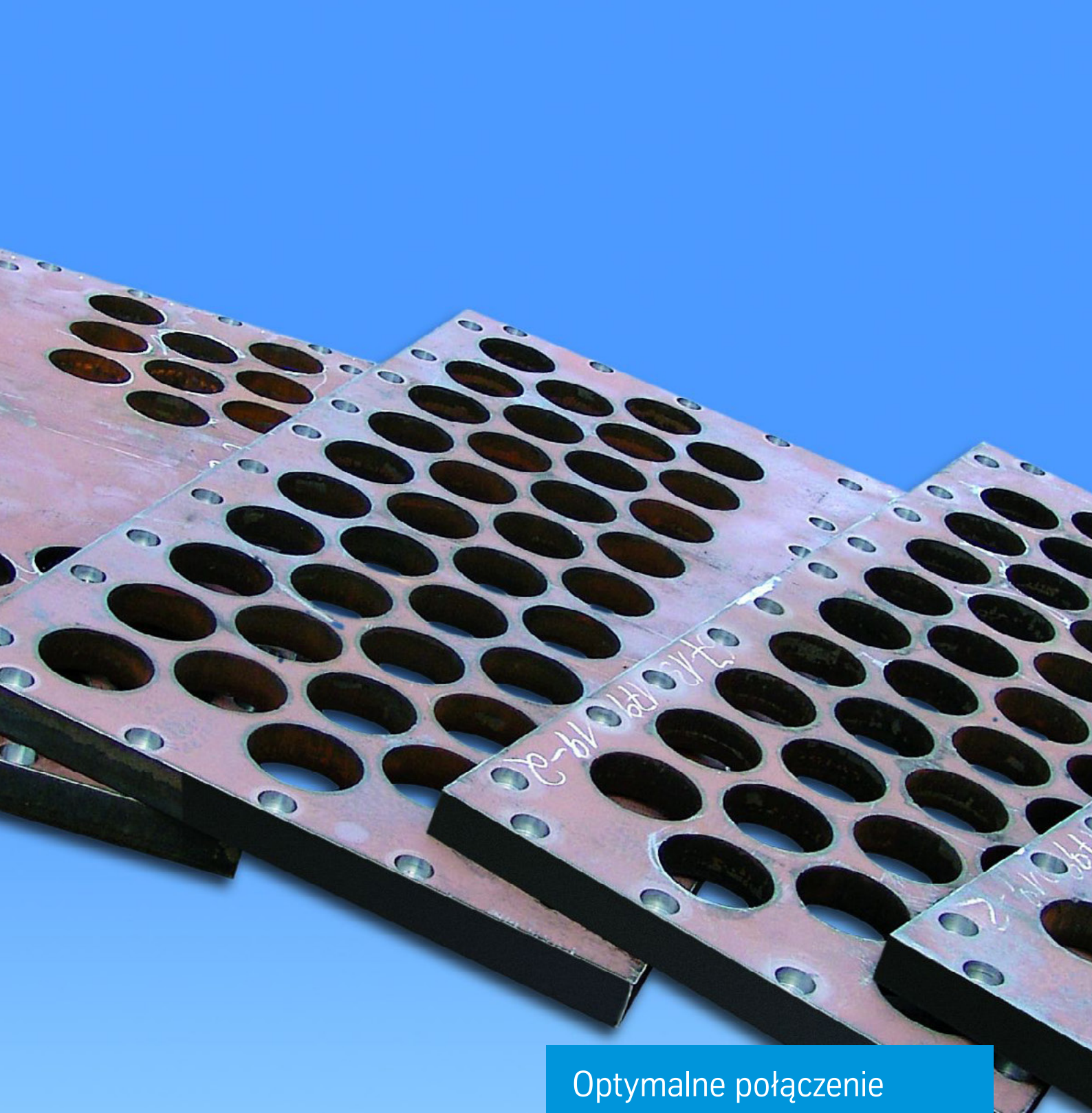


Rys. 3 przedstawia ogólny zarys składu chemicznego podgrzewania, warunków dostawy oraz standardowej równowartości węgla dla stali trudnościeralnych XAR®.

Rys. 3. Skład chemiczny

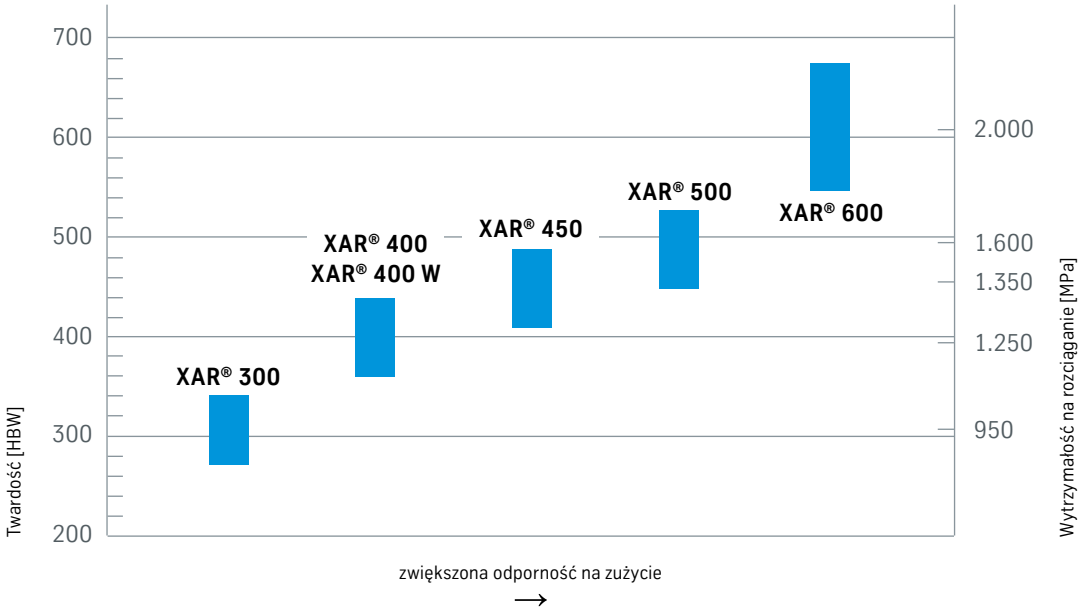
		Analiza cieplna [%]							
Gatunek stali	Warunki dostawy	C max.	Si max.	Mn max.	Cr max.	Mo max.	Ni max.	B max.	typ. CET [%] *)
XAR® 300	N	0,22	0,65	1,50	1,20	0,30	–	0,005	0,41
XAR® 400	Q (+ T)	0,20	0,80	1,50	1,00	0,50	–	0,005	0,28 – 0,37
XAR® 400 W	Q (+ T)	0,26	0,80	1,30	1,20	0,60	–	0,005	0,41
XAR® 450	Q (+ T)	0,22	0,80	1,50	1,30	0,50	–	0,005	0,31 – 0,41
XAR® 500	Q (+ T)	0,28	0,80	1,50	1,00	0,50	1,50	0,005	0,41 – 0,46
XAR® 600	Q (+ T)	0,40	0,80	1,50	1,50	0,50	1,50	0,005	0,54

N - normalizowana, Q - hartowana, T - odpuszczana
CET = C + (Mn + Mo) / 10 + (Cr + Cu) / 20 + Ni / 40 *) Jako funkcja grubości blachy



Optymalne połączenie jednakowo wysokiej twardości, dobrej grubości oraz niskiej zawartości stopu, sprawiają, że stale te są idealnym materiałem do zastosowania w wielu obszarach.

Rys. 4. Twardość i wytrzymałość na rozciąganie stali trudnościeralnych XAR®



Rys. 4 dodatkowo pokazuje osiągnięte poziomy twardości w stalach, które są podstawą nadanych im nazw oraz ich typowe rozproszenie.

Można użyć pakietu oprogramowania „ProWear'', żeby przewidzieć, jak produkt będzie się zużywać oraz żywotność stali XAR®. "ProWear" jest oparty na ponad 30-letnim doświadczeniu thyssenkrupp Steel Europe w sektorze stali odpornych na ścieranie. Parametry zawierają twardość stali, jej skład chemiczny, twardość materiałów łączących się, powodujących zużycie oraz warunki otoczenia. Oprogramowanie może być użyte do oszacowania przydatności różnych materiałów, a przez to skutecznego środka do wyboru stali. "ProWear" jest dostępne za darmo na życzenie klienta.

Przede wszystkim zachowanie się blachy z XAR® podczas obróbki jest kluczowe dla skutecznego i ekonomicznego użytkowania przez długi okres żywotności produktu i obsługi technicznej. Niniejsza publikacja zawiera zalecenia dotyczące najważniejszych technik obróbki; użytkownicy powinni wziąć je pod uwagę podczas obróbki. Następujące techniki są przedstawione poniżej:

- Formowanie na zimno i gorąco
- Obróbka
- Cięcie termiczne
- Spawanie

Zaleca się również, aby użytkownicy skontaktowali się bezpośrednio z ekspertami ds. blach thyssenkrupp Steel Europe, szczególnie jeśli pracuje się z tymi specjalnymi stalami konstrukcyjnymi odpornymi na zużycie po raz pierwszy.

Gruntowanie

Formowanie

Formowanie na gorąco

Formowanie na gorąco stali XAR® jest możliwe w temperaturze pomiędzy 850°C i 1000°C. W przypadku formowania na gorąco preferowana jest normalizowana specjalna stal strukturalna XAR® 300, która nie traci swoich wyjątkowych właściwości nawet po formowaniu na gorąco i studzeniu powietrzem.

Żaroodporna stal XAR® 400 W jest również odpowiednia do formowania na gorąco w temperaturze do 400°C. Jednakże należy pamiętać, że w przypadku stali XAR® 400 do XAR® 600, formowanie na gorąco odwraca własności materiału na obróbkę termiczną. Oznacza to, że konieczne jest przywrócenie odporności na ścieranie i twardości blachy do warunków dostawy za pomocą całościowej obróbki termicznej, chyba że hartowanie komponentów jest możliwe bezpośrednio w procesie formowania. Dotychczasowe doświadczenie pokazuje, iż procedura ta ma zastosowanie jedynie w wyjątkowych przypadkach.

Formowanie na zimno

Formowanie na zimno, np. poprzez zaginanie lub gięcie na prasach i walcach, jest szeroko stosowaną i coraz popularniejszą techniką obróbki stali trudnościeralnych.

Najczęściej stosowaną techniką formowania jest zaginanie na

Krawędzie tnące

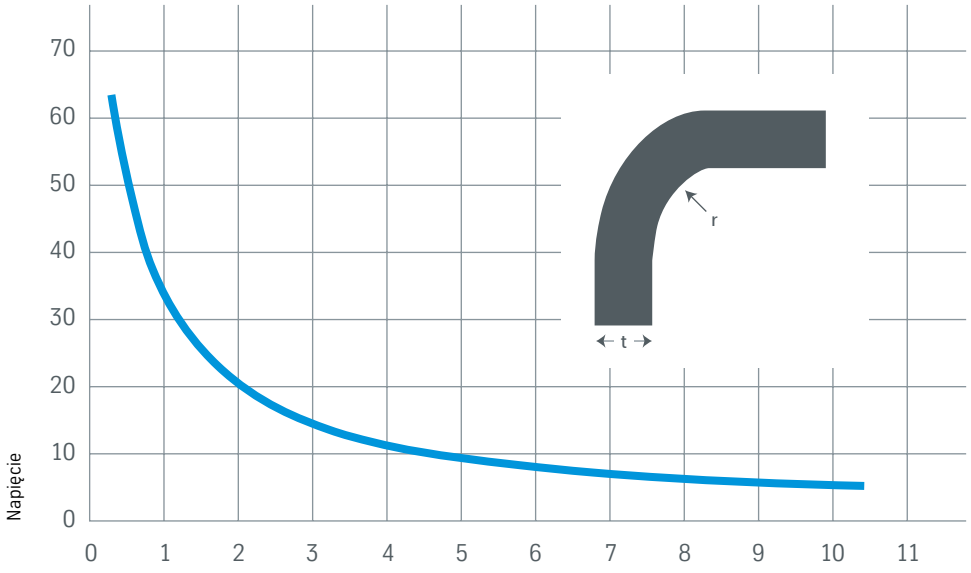
trójwalcowej giętarce oraz gięcie na prasie krawędziowej. W porównaniu do stali o niskiej granicy plastyczności, podczas formowania stali o wysokiej wytrzymałości, należy wziąć pod uwagę dwa dodatkowe aspekty: należy użyć większej siły, a sprężynowanie elementu jest mocniejsze.

Należy zastosować większe siły w związku z większą odpornością na odkształcenia. Podczas gięcia zalecane jest dobre smarowanie krawędzi matrycy, które pozwoli zredukować siłę gięcia do 25%. Zastosowanie szerszej matrycy może być kolejną metodą pozwalającą na zredukowanie niezbędnej siły gięcia. Sprężynowanie jest silniejsze niż w przypadku standardowych stali, ponieważ odkształcenie sprężyste stanowi całe napięcie. Rys. 5 pokazuje napięcie będące wynikiem formowania na zimno za pomocą prasy krawędziowej lub giętarki trójwalcowej.

Zakłada się, że krawędzie blachy zahartowane poprzez przycięcie lub utwardzone przez cięcie termiczne są usunięte. Stale XAR® 400 i XAR® 450 są preferowane dla komponentów, w których wymagana jest odporność na ścieranie, a podczas przetwarzania szeroko stosowane jest formowanie na zimno. Dla tego typu zastosowań dostępne są blachy w grubości do 8 mm przeznaczone do gięcia, które pomimo swojej wysokiej twardości spełniają określone wymagania dotyczące gięcia na prasach walcowych oraz krawędziowych.

Proces gięcia

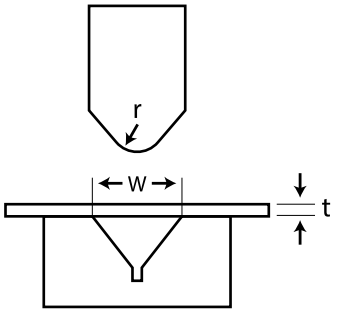
Rys. 5. Napięcie podczas formowania na zimno



Stosunek promienia (prasy krawędziowej) do grubości blachy r/t

Rys. 6. Promień zginania i szerokość matrycy podczas zginania na zimno i zginania prasą krawędziową

Gatunek stali	Grubość [mm]	r/t ⊥ [1]	r/t ∥ [2]	W[3]/t ⊥ [1]	W[3]/t ∥ [2]
XAR® 300 XAR® 400	t ≤ 8	2,5	3,0	8,5	10,0
	8 < t ≤ 20	3,0	4,0	10,0	10,0
	t > 20[4]	4,5	5,0	12,0	12,0
XAR® 400 W	na życzenie				
XAR® 450	t ≤ 8	4,0	4,5	10,0	12,0
	8 < t ≤ 15	4,5	5,0	12,0	12,0
	t > 15[4]	5,0	6,0	12,0	14,0
XAR® 500	t ≤ 8	5,0	6,0	12,0	13,0
	t > 8	na życzenie			
XAR® 600	na życzenie				



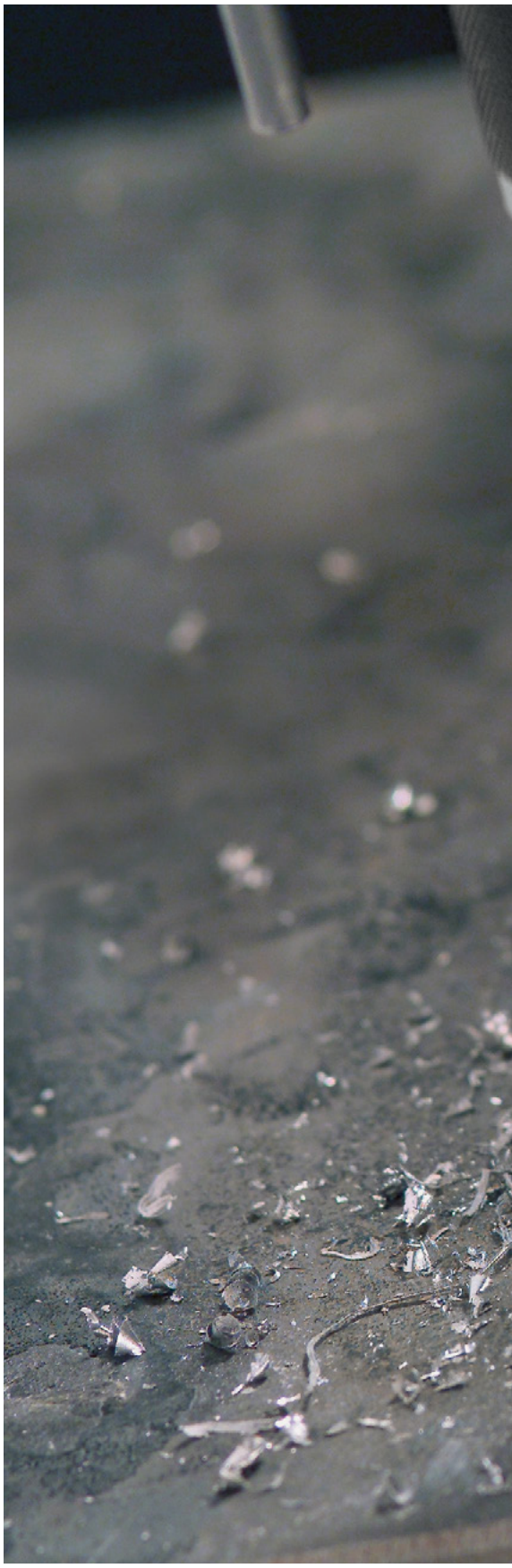
[1] Linia zginania poprzecznie do kierunku walcowania
[2] Linia zginania równolegle do kierunku walcowania
[3] W = odstęp; zalecany W dla trójwalcowych giętarek = 2r+ 5t
[4] W zależności od zakładu przemysłowego i warunków procesu, głównie kąty ≤60° są brane pod uwagę

Minimalny promień gięcia, minimalne odstępy między rolkami oraz minimalne szerokości matrycy pokazane na rys. 6 okazały się być, w sprzyjających warunkach, odpowiednimi dla stali XAR®.

Oczywiście wartości poprzeczne do kierunku walcowania są niższe niż w kierunku wzdłużnym, ponieważ odkształcenie wzdłuż włókna jest mniej korzystne z powodu nieuniknionych wtrąceń siarczkowych i/lub tlenkowych. Grubość blachy powinna być traktowana jako dodatkowe kryterium. Ze względu na geometrię, cienka blacha wykazuje dużo większą odporność na pęknięcia niż blacha gruba. Zakłada się, iż krawędzie blachy powinny być ogratowane. Muszą zostać również zapewnione dobre warunki posuwu dla blach, np. nasmarowanie matrycy i stempla oraz regularne czyszczenie narzędzi i matrycy w celu usunięcia jakichkolwiek pozostałości zgorzeliny.

Stal odporna na ścieranie jako sprawdzone rozwiązanie w przemyśle opartym na surowcach naturalnych

Obróbka



Wiercenie

Cechami, które w sposób szczególny utrudniają wiercenie są:

- Prędkość cięcia malejąca do zera w centralnym punkcie wiercenia,
- Trudniejsze usuwanie wiórów wraz ze zwiększającą się głębokością,
- Mniej korzystne rozłożenie ciepła na powierzchni,
- Problemy ze stabilnością narzędzia i wibracjami.

W celu obróbki stali o twardości do 400 lub 450 HBW (średnia wartość), zalecamy użycie wysokiej jakości wierteł kobaltowych krętych HSS/E. W przypadku obróbki stali XAR® 500 i XAR® 600 konieczne jest wykorzystanie wierteł widiowych. XAR® 300 w stanie znormalizowanym jest odpowiednia do obróbki przy pomocy standardowych narzędzi.

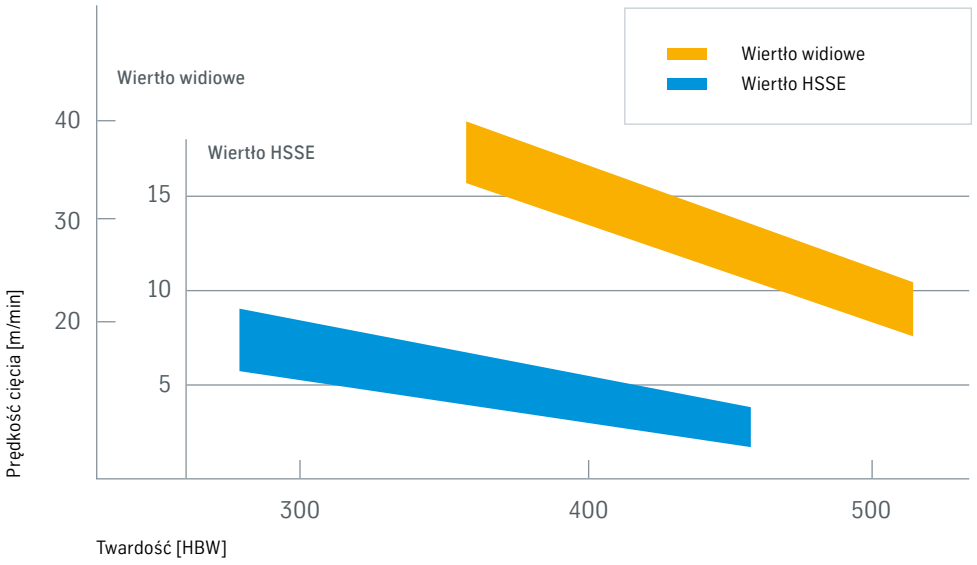
Wiercenie otworów o średnicy większej niż 16 mm jest możliwe również przy pomocy dwustronnych wierteł składanych z końcówką węglikową.

Rys. 7. Zalecane wartości dla wiercenia

Gatunek stali	Prędkość cięcia [m/min]	6 mm ø obr./min	6 mm ø posuw[2]	8 mm ø obr./min	8 mm ø posuw[2]	10 mm ø obr./min	10 mm ø posuw[2]	12 mm ø obr./min	12 mm ø posuw[2]
XAR® 300	6 – 8	360	0,08	280	0,10	225	0,15	190	0,20
XAR® 400	3 – 5	210	0,05	160	0,08	130	0,10	100	0,15
XAR® 450	3 – 5	210	0,05	160	0,08	130	0,10	100	0,15
XAR® 500 [1]	20 – 25	1.300	0,05	1.000	0,05	800	0,08	670	0,08
XAR® 600 [1]		na życzenie							

[1] Wiertło widiowe
[2] mm/R

Rys. 8. Prędkość cięcia podczas wiercenia



Rys. 9. Zalecane wartości dla gwintowania gwintownikami HSS pokrytymi TiCN

Gatunek stali	Wytrzymałość na rozciąganie [N/mm²]	Prędkość cięcia *) [m/min]	Obroty dla różnych gwintów [Rpm] M 6	M 8	M 10	M 12
XAR® 300	950	6	318	239	191	159
XAR® 400	1.250	4	212	159	127	106
XAR® 450	1.350	3	159	119	95	80
XAR® 500	1.600	2	106	80	64	53
XAR® 600	2.000	na życzenie				

*) Po zastosowaniu cieczy chłodząco-smarującej

Podczas wiercenia należy zwrócić uwagę na następujące warunki:

- Unikanie wibracji,
- Mocne mocowanie obrabianego elementu jak najbliżej punktu wiercenia,
- Ustawienie obrabianego elementu oraz głowicy możliwie jak najbliżej kolumny maszyny,
- Używanie krótkich wierteł w krótkim wrzecionie maszyny.

Rys. 7 i rys. 8 pokazują zalecaną prędkość cięcia (m/min), liczbę obrotów (Rpm) i wartość posuwu (mm/R) zalecaną dla stali XAR® i są one bezpośrednio zależne od twardości. Jako środek chłodzący zalecamy używania wysokogatunkowego chłodziwa (np. Jokisch S 101). Użycie środków chłodzących wydłuża żywotność wierteł.

Pogłębianie

Aby uniknąć niewspółosiowości należy używać narzędzi do pogłębiania z pilotem. Konieczne jest również dobre chłodzenie.

Gwintowanie

Specjalne stale konstrukcyjne XAR® odporne na ścieranie są również odpowiednie do gwintowania. Rys. 9 przedstawia zalecane wartości dla wybranych gwintów ISO.

Wiercenie blachy XAR* 400

Cięcie termiczne

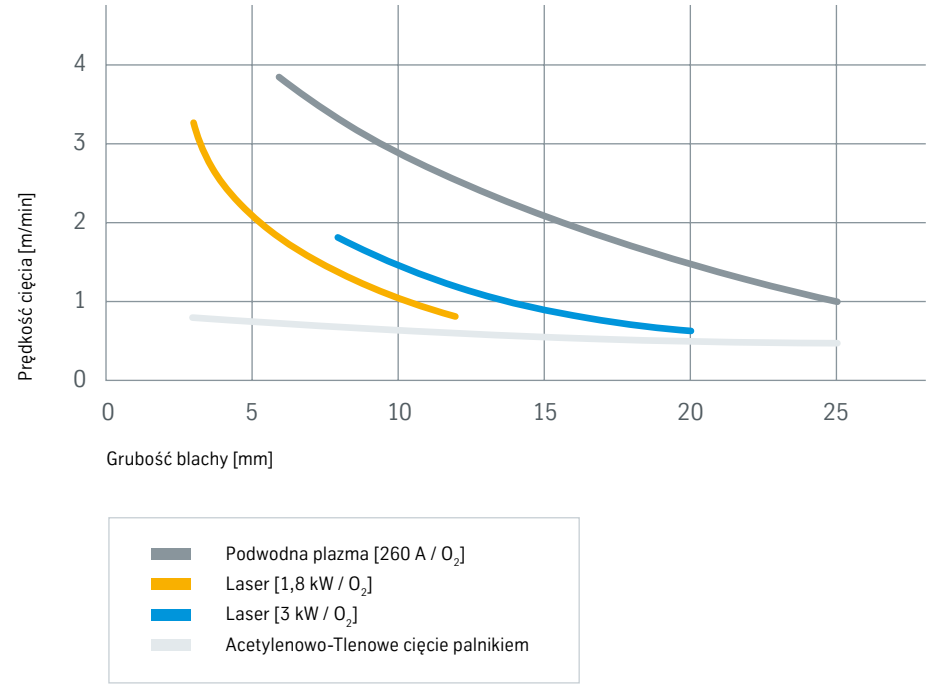
Zaleca się następujące techniki termicznego cięcia blachy ze stali odpornej na zużycie:

- Acetylenowo-tlenowe cięcie palnikiem
- Cięcia łukiem plazmowym
- Cięcie promieniem laserowym

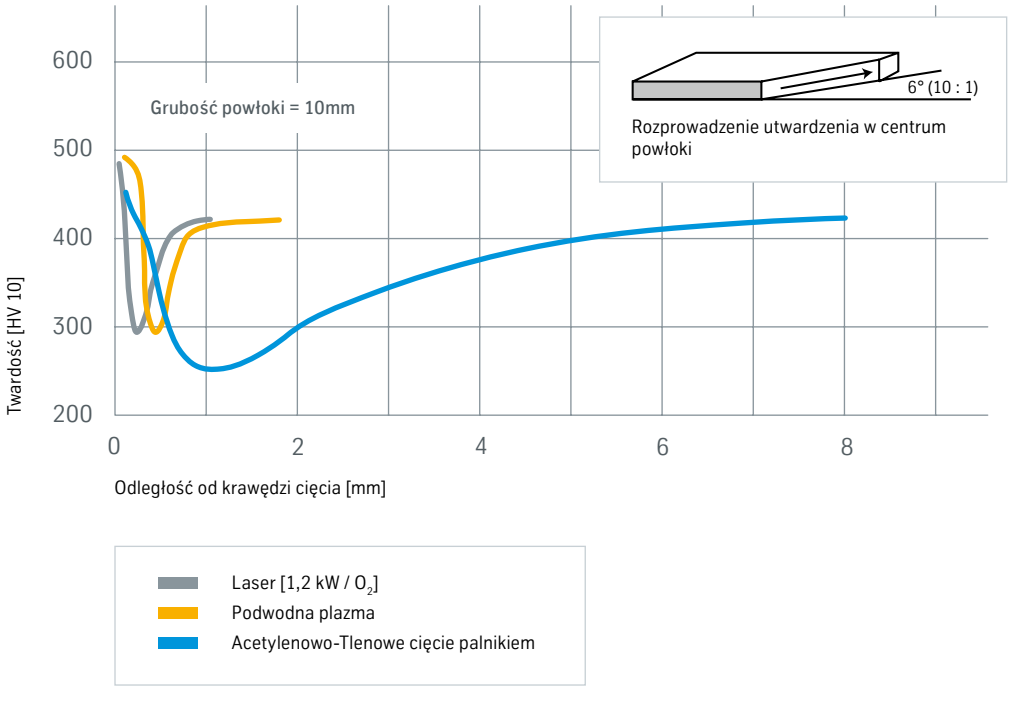
Cięcie promieniem laserowym w ostatnim czasie wysunęło się na prowadzenie, szczególnie w przypadku blachy do 20 mm grubości, która jest cięta laserami 3 kW CO2. Osiągane są znacznie wyższe prędkości cięcia w porównaniu do acetylenowo-tlenowego cięcia palnikiem, w zależności od mocy lasera i grubości blachy. Dodatkową zaletą promienia laserowego jest mniejsza ilość deformacji komponentów. Jak wskazuje rys. 10 cięcie plazmowe pozwala na wyższe prędkości cięcia, lecz przy pewnych ograniczeniach jeśli chodzi o jakość cięcia krawędzi.

Wynik cięcia zależy od stanu powierzchni blachy, szczególnie jeśli cięte są stosunkowo cienkie blachy. Najlepsze cięcia pod kątem EN ISO 9013 mogą być osiągnięte na blachach o jednakowej i cienkiej warstwie. Jest to możliwe nawet na blachach gruntowanych przy pomocy silikatowego gruntu cynkowego używanego w standardzie przez thyssenkrupp Steel Europe do uzyskania jakości porównywalnej do tej w przypadku blach o powierzchni równomiernie pokrytej. W tym względzie kryteria stanowią wysokość nierówności linii ciągnięcia i krawędź dolna w celu uniknięcia w miarę możliwości zadziorów.

Rys. 10. Prędkość termicznego cięcia dla ferrytycznej stali



Rys. 11. Cięcie termiczne XAR® 400 (rozprowadzenie utwardzania w strefie pod wpływem gorąca)



Podczas cięcia termicznego, na krawędzi pojawia się bardzo wysoka temperatura przez krótki okres czasu, a następnie dochodzi do gwałtownego ochłodzenia. Zmiany materiału objawiają się zwiększeniem twardości bezpośrednio na krawędzi cięcia oraz strefie zmiękczonej do niej przylegającej.

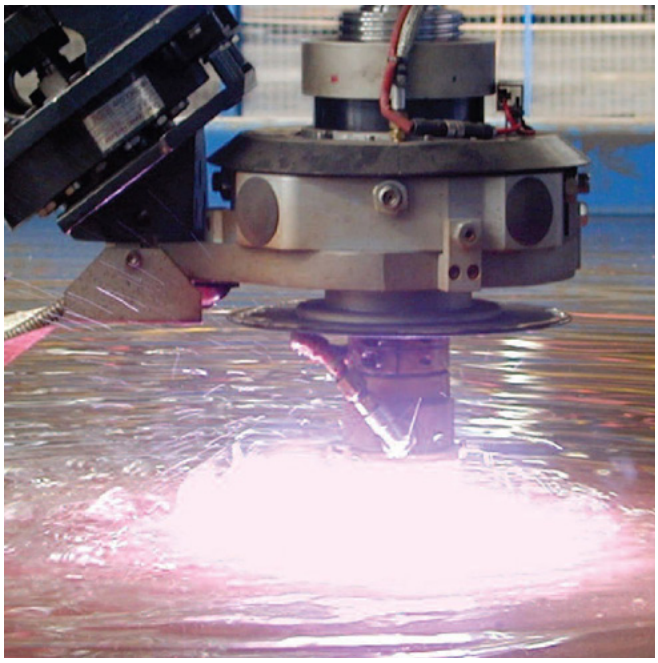
Rys. 11 pokazuje typowe rozprowadzenie utwardzenia w strefie pod wpływem gorąca podczas termicznego cięcia stali XAR® 400. Najmniejszy wpływ termalny pojawia się podczas cięcia strumieniem laserowym.

Tylko minimalnie silniejszy wpływ pojawia się przy podwodnym cięciu plazmowym, gdzie wysoka prędkość cięcia i dobre rozproszenie ciepła w wodzie w podobny sposób prowadzą do powstania bardzo wąskiej zmiękczonej strefy. Cięcie strumieniem wody przedstawia alternatywną możliwość całkowitego zachowania twardości na krawędziach, również w kwestii stosunkowo małych komponentów i wąsko ciętych konturów.

Jeśli acetylenowo-tlenowe cięcie palnikiem jest używane przy cieńszych blachach, konieczne jest wybranie właściwej sekwencji cięcia w celu uniknięcia przegrzania komponentów.

Z kolei grube blachy wymagają podgrzania stref cięcia przekraczających szerokość przynajmniej 100 mm, żeby uniknąć pęknięcia. Temperatura podgrzania cięcia palnikiem stali XAR® może być zaczerpnięta z rys. 12.

Jeśli temperatura obrabianego elementu wynosi poniżej +5°C, zaleca się, również w przypadku cieńszych blach, aby podgrzać strefy cięcia do letniej temperatury w przypadku szerokości przynajmniej 100 mm. W przypadku długich krawędzi cięcia, należy rozważyć użycie czołowego lub płożącego płomienia.



Podwodne cięcie plazmowe

Cięcie bloków odlewanych z betonu

Rys. 12. Temperatury podgrzewania przy cięciu palnikiem specjalnych stali konstrukcyjnych odpornych na zużycie

	Grubość płyty [mm]													
Gatunek stali	≤ 5	≤ 10	≤ 15	≤ 20	≤ 25	≤ 30	≤ 35	≤ 40	≤ 45	≤ 50	≤ 55	≤ 60	≤ 65	≤ 70	> 70
XAR® 300			–			75 °C									
XAR® 400					–						75 °C				
XAR® 450				–					75 °C			100 °C			
XAR® 500			–			100 °C				125 °C			150 °C		
XAR® 600	–	100 °C		150 °C		175 °C		200 °C							

Spawanie

Stale trudnościeralne XAR zostały zoptymalizowane w stosunku do najniższej możliwej wartości węgla i dlatego charakteryzują się wyjątkowym wskaźnikiem spawalności. Mogą być spawane wszystkimi szeroko rozpowszechnionymi metodami. Najbardziej rekomendowana jest metoda MAG i spawanie elektrodą otuloną (MMA).

Rys. 13-15 wyszczególniają wybór spoiw, jakie mogą być odpowiednie do spawania tych stali. Zalecane spoiwa nie dyskwalifikują innych spoiw.

Rys. 13. Stałe przewody do spawania MAG

		Producent	
Materiał dodatkowy	Klasyfikacja EN	ESAB	thyssenkrupp Materials
austenityczny	EN ISO 14343-A: G 18 8 Mn	OK Autrod 16.95	307Si
ferrytyczny R_e < 500 MPa	EN ISO 14341-A: G 42 X EN ISO 14341-A: G 46 X	OK AristoRod 12.63 OK Autrod 12.64 PURUS 46 CF PURUS 46 OK AristoRod 13.09 OK Autrod 13.23	ENERGOmag 3-CF ENERGOmag 3 ENERGOmag 3-CF
ferrytyczny R_e = 500 – 700 MPa*	EN ISO 16843-A: GMn3NiCrMo EN ISO 16834-A: GMn3Ni1CrMo	OK AristoRod 55 OK AristoRod 69	–

UWAGA: X może zastępować jeden lub więcej znaków
R_e = minimalna wytrzymałość na rozciąganie spoiny
*) Nie zalecane dla XAR® 500 i XAR® 600

Rys. 14. Druty rdzeniowe MAG

	Klasyfikacja		Producent
Typ spoiwa	AWS	EN	ESAB
austenityczne	AWS 5.9 ER307	EN ISO 17633-A: T 18 8 Mn	OK Tubrod 15.34
ferrytyczne R_e < 500 MPa	AWS A5.36: E71T15	EN ISO 17632-A: T 46 x H5	Coreweld 46 LS OK Tubrod 14.10
ferrytyczne R_e = 500 – 700 MPa*	AWS A5.36: E111T15 AWS A5.36: E111T1 AWS A5.36: E91T1 AWS A5.36: E101T1 AWS A5.36: E111T1	EN ISO 18276-A: T 69 x H5 EN ISO 18276-A: T 69 x H5 EN ISO 18276-A: T 55 x H5 EN ISO 18276-A: T 62 x H5 EN ISO 18276-A: T 69 x H5	OK Tubrod 14.03 OK Tubrod 15.09 Dual Shield 55 Dual Shield 62 Dual Shield 69

UWAGA: X może zastępować jeden lub więcej znaków
R_e = minimalna wytrzymałość na rozciąganie spoiny
*) Nie zalecane dla XAR® 500 i XAR® 600

Rys. 15. Elektrody otulone

	Klasyfikacja		Producent
Typ spoiwa	AWS	EN	ESAB
austenityczne	AWS 5.4 E307-X AWS 5.4 E307-X	EN ISO 3581-A: E18 8 Mn X EN ISO 3581-A: E18 7 Mn X	OK 67.43 OK 67.45
ferrytyczne R_e < 500 MPa	AWS 5.1 E7018-X AWS 5.5 E8018-X	EN ISO 2560-A: E 46 X H5 EN ISO 2569-A: E 46 X H5	OK 55.00 OK 73.68
ferrytyczne R_e = 500 – 700 MPa*	AWS 5.5 E8018-X AWS 5.5 E9018-X AWS 5.5 E10018-X AWS 5.5 E11018-X	EN ISO 2569-A: E 50 X H5 EN ISO 2569-A: E 55 X H5 EN ISO 18275-A: E 62 X H5 EN ISO 18275-A: E 69 X H5	OK 74.70 OK 74.78 OK 74.86 OK 75.75

UWAGA: X może zastępować jeden lub więcej znaków
R_e = minimalna wytrzymałość na rozciąganie spoiny
*) Nie zalecane dla XAR® 500 i XAR® 600

Zapobieganie pękaniu na zimno

Problem pękania na zimno wymaga szczególnego uwzględnienia przy spawaniu wszystkich stali trudnościeralnych. Pękanie na zimno jest zjawiskiem odłożonym w czasie (mogą następować po kilkunastu czy kilkudziesięciu godzinach) i występuje w strefie wpływu ciepła lub w obszarze spoiny. Głównym powodem pękania na zimno jest oddziaływanie naprężeń oraz wodoru dyfundującego. Dlatego też tak ważne jest podgrzewanie, które opóźnia studzenie obszaru spawanego. Konieczne są również działania zapewniające jak najmniejszy udział wodoru w spawanym złączu. Odpowiednia czystość spawanego metalu pozbawionego zanieczyszczeń typu rdza, olej, smar czy też lód na powierzchni materiału. Kolejnym istotnym czynnikiem jest stabilny przepływ gazu podczas spawania metodą MAG oraz stosowanie wysuszonych elektrod zasadowych podczas spawania metodą MMA. Należy również pamiętać o odpowiedniej sekwencji spawania celem wyeliminowania naprężeń szczątkowych.

Ryzyko pękania na zimno w spawanym metalu występuje w najmniejszym stopniu podczas stosowania spoiw austenitycznych. W tym przypadku spawanie możliwe jest nawet bez podgrzewania. Niestety spoiwa austenityczne są dość kosztowne i głównie z powodów ekonomicznych stosuje się spoiwa ferrytyczne. W przypadku spawania materiałami ferrytycznymi zalecana jest metoda MAG, która charakteryzuje się niską zawartością wodoru w stopiwie. Miękkie i czyste stopiwo wykazujące dobrą plastyczność jest najbardziej pożądane. Ma to zastosowanie szczególnie w przypadku stosunkowo cienkich blach lub spoin pachwinowych, gdyż stopiwo jest w dużym stopniu wymieszane z wyżej stopowym materiałem rodzimym.

Podatność stali na pękanie na zimno może być oszacowana na podstawie składu chemicznego. W tym przypadku szczególnie odpowiedni jest równoważnik węgla CET, dla którego różnych wartości został przeprowadzony szereg badań pod względem pękania na zimno. Rys. 16 wyszczególnia wartości CET dla standardowych stali trudnościeralnych XAR® o specjalnej strukturze. Pękanie na zimno zależne jest od grubości spawanego metalu, zawartości wodoru w stopiwie, obciążenia cieplnego złącza, stanu naprężeń szczątkowych w obszarze spawania oraz składu chemicznego metalu rodzimego i stopiwa. Firma thyssenkrupp Steel Europe AG przeprowadziła odpowiednie badania dotyczące unikania pękania na zimno, które doprowadziły do koncepcji CET i zastosowania jej w specyfikacji materiałów Stahl-Eisen SEW 0088-1993 i EN 1011 (część 2, 2001).

Podczas spawania stali trudnościeralnych zaleca się zastosowanie spoin pachwinowych. Rys. 17 przedstawia informacje na temat

Rys. 16. Standardowy równoważnik węgla CET*

	Grubość blachy [mm]													
Gatunek stali	≤ 8	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100
XAR® 300	0,41%									–				
XAR® 400	0,28%		0,33%					0,37%						
XAR® 400 W	0,41%								–					
XAR® 450	0,31%		0,35%					0,41%						
XAR® 500	0,41%								0,44%				0,46%	
XAR® 600	0,54%									–				

*) CET = C + (Mn + Mo) / 10 + (Cr + Cu) / 20 + Ni / 40

Rys. 17. Zalecane temperatury podgrzewania do spawania metodami w osłonach gazowych (energia liniowa Q=1,0 kJ/mm, zawartość wodoru HD= 2 ml/100 g)

	Grubość płyty [mm]													
Gatunek stali	≤ 5	≤ 10	≤ 15	≤ 20	≤ 25	≤ 30	≤ 35	≤ 40	≤ 45	≤ 50	≤ 55	≤ 60	≤ 65	≤ 70	> 70
XAR® 300	–	75 °C	100 °C		125 °C		150 °C		175 °C						
XAR® 400	–			75 °C				125 °C			150 °C				175 °C
XAR® 450	–			75 °C			125 °C		150 °C			175 °C			
XAR® 500	–		100 °C		125 °C		150 °C		175 °C			200 °C			200 °C + PH*
XAR® 600	150 °C		175 °C		200 °C		Austenityczne spoiwa bez 100 °C – 150 °C								

*) obróbka cieplna po spawaniu 200°C, 1 godzina

temperatury podgrzewania wstępnego wymaganej podczas spawania metodą MAG spoin pachwinowych jako funkcję grubości blachy oraz równoważnika węgla.

Ogólnie podgrzewanie jest konieczne, jeśli CET przekracza 0,32%, a grubość spawanego elementu wzrasta. W związku z naprężeniami szczątkowymi temperatura podgrzewania dla spoin doczołowych powinna być odpowiednio dobrana do tego typu złącza, należy jednak pamiętać, że ten typ spoiny jest mniej korzystny, niż spoina pachwinowa teowa lub spoina na zakładkę. Dla spoin doczołowych o grubościach powyżej 30 mm ukosowanych na X, zalecane jest odsunięcie ściegu graniowego o około 5 mm od linii środkowej blachy.

Dobór parametrów spawania

Właściwości w strefie wpływu ciepła podlegają zmianom w wyniku cyklu czasu i temperatury podczas spawania. Cykl ten zależny jest od parametrów spawania i może być scharakteryzowany przez czas chłodzenia t8/5, który ma bardzo duże znaczenie dla struktury spoiny. Jest to czas, który jest konieczny do przejścia temperatury od 800°C do 500°C po ułożeniu spoiny i jej stygnięciu. Nadmiernie szybkie chłodzenie spoiny prowadzi do dużej twardości przy linii wtopienia i zwiększa ryzyko pękania na zimno w spawanym obszarze. Z drugiej strony nadmiernie wolne chłodzenie powoduje, że strefa wpływu ciepła blisko linii wtopienia ma mniejszą wytrzymałość, a twardość w tej strefie może być niższa od materiału rodzimego jak pokazuje Rys. 19 dla stali XAR 400®

Warunki spawania wyrażone przez czas chłodzenia wpływają z jednej strony na minimalną twardość a z drugiej strony na szerokość zmiękczonej strefy. W tym kontekście odpowiednia jest definicja energii liniowej Rys. 20.

Rys. 20 Definicja energii liniowej E [kJ/mm]

$$E = \frac{U \cdot I \cdot 60}{v \cdot 10000}$$

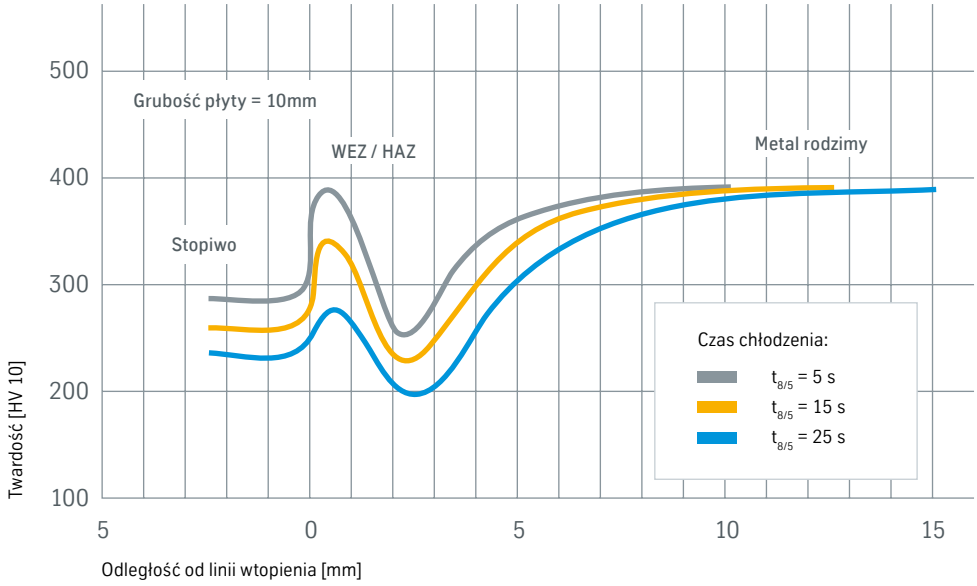
U	Napięcie spawania	[V]
I	Prąd spawania	[A]
v	Prędkość spawania	[cm/min]

Czas chłodzenia wyszczególniony na Rys. 21 ogólnie stosuje się do stali trudnościeralnych.

Rys. 21. Zalecany zakres czasu chłodzenia

	Czas chłodzenia $t_{8/5}$	
Gatunek stali	min.	max.
XAR® 400, XAR® 450	5 s	20 s
XAR® 300, XAR® 500	6 s	15 s
XAR® 600	8 s	15 s

Rys. 19. Spawanie stali XAR® 400 (wykres twardości w strefie wpływu ciepła)

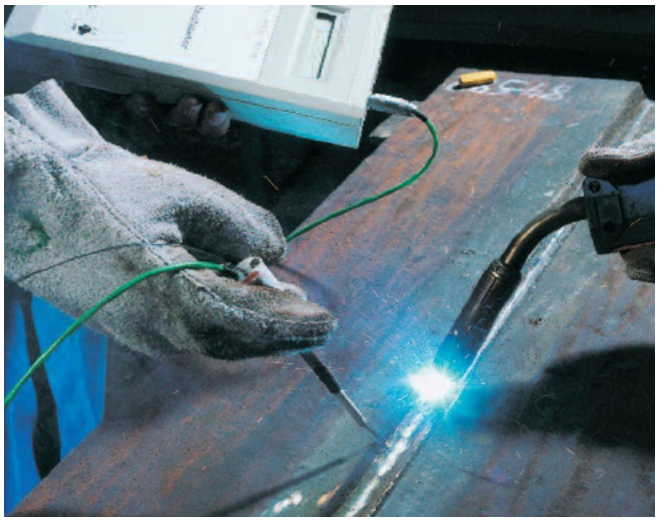


Możliwe jest ustalenie odpowiedniego obciążenia cieplnego na jednostkę długości spoiny na podstawie jej geometrii, grubości i temperatury oraz termalnego współczynnika wydajności spawania jak pokazano na Rys.22 przy spawaniu metodą MAG stali XAR®500.

Należy się upewnić, że wybrana temperatura podgrzania i temperatura międzyściegowa jest wystarczająca, aby uniknąć pękania na zimno. Spoiny pachwinowe dopuszczają wyższe obciążenie cieplne aniżeli spoiny doczołowe z powodu wyższego rozproszenia ciepła podczas spawania. Mniej więcej 20% - 40% wyższe obciążenie w cieple w przypadku spoin pachwinowych powoduje taki sam czas chłodzenia jak w przypadku spoin doczołowych.

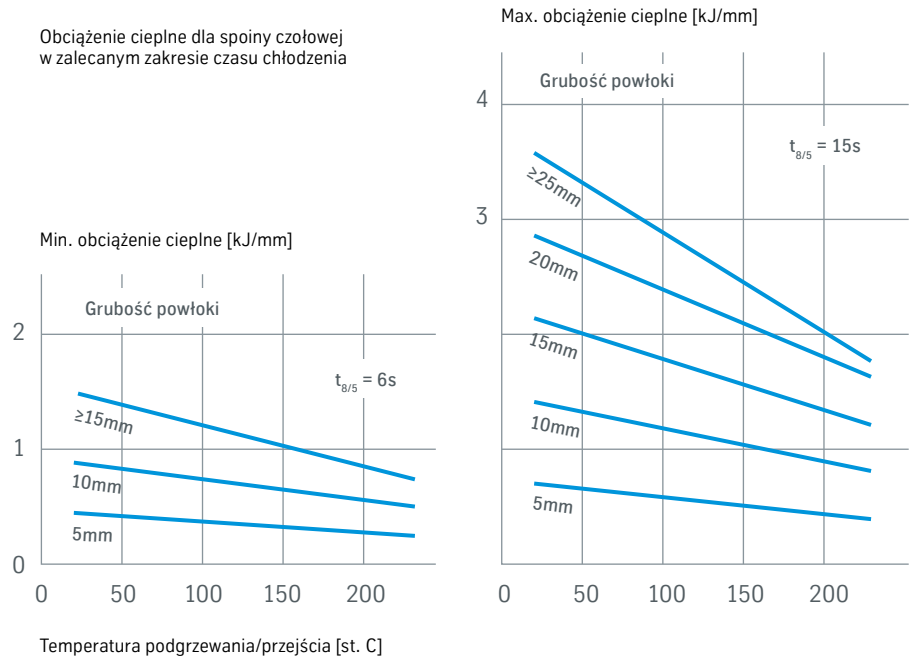
W wielu przypadkach obliczenie czasu chłodzenia z dostateczną dokładnością nie jest możliwe, ponieważ warunki brzegowe spawania nie są wystarczająco znane. W takich przypadkach zaleca się zmierzenie czasu chłodzenia $t_{8/5}$ przy pomocy termoogniwa.

Koncepcja określenia czasu chłodzenia $t_{8/5}$ stworzona w thyssenkrupp Steel Europe w międzyczasie znalazła zastosowanie na całym świecie i została zaakceptowana w odpowiednich normach w ramach specyfikacji materiałów SEW 088 (1993) i EN 1011-2 (2001), w których można znaleźć praktyczne wskazówki dotyczące czasu chłodzenia. Program komputerowy „ProWeld" może być również użyty do prostych obliczeń czasu chłodzenia i innych ważnych parametrów spawania. Ogólne zalecenia dotyczące spawania łukowego są podane w EN 1011-(1998).



Mierzenie czasu studzenia $t_{8/5}$ podczas spawania

Rys. 22. Obciążenie cieplne podczas spawania MAG stali XAR® 500



Ochrona przeciwko skrajnej miejscowej ekspozycji na zużycie

Azotowanie

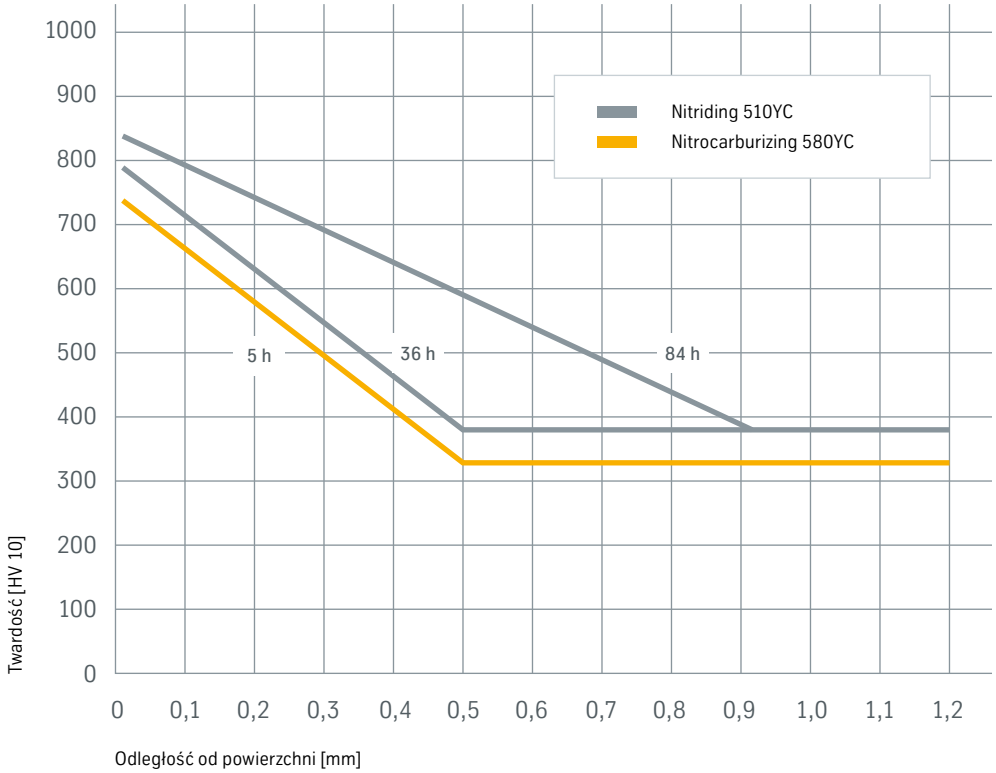
Azotonawęglanie i azotowanie w gazie amoniaku są metodami ekonomicznymi utwardzania powierzchni. Dyfuzja azotu i węgla (azotonawęglanie) i azotu (azotowanie) na powierzchnię stali w temperaturze od 500°C do 600°C powoduje utwardzenie powierzchni do 850 HV przy głębokości azotowania do 0,8 mm (DIN50190 rozdział 3). Rys. 23.

Napawanie

W niektórych przypadkach, kiedy nasza stal będzie miejscowo pracowała w ekstremalnie trudnych warunkach np. XAR®400 lub XAR®500 konieczne jest zastosowanie napawania celem dodatkowego utwardzenia powierzchni. Sam proces napawania można przeprowadzić szeroko dostępnymi metodami spawania przy zastosowaniu elektrod otulonych lub też drutów litych czy też drutów proszkowych. Należy tutaj pamiętać, że wcześniej należy usunąć rdzę oraz inne wszelkie zanieczyszczenia z powierzchni materiału. Rys. 24 pokazuje szeroką paletę materiałów dodatkowych, które możemy wykorzystać do napawania.

Sam proces napawania należy przeprowadzić z możliwym najmniejszym wymieszaniem napoiny z materiałem rodzimym. Należy tutaj pamiętać o odpowiednio dobranych parametrach prądowych.

Rys. 23. Typowy rozkład twardości podczas azotowania



Rys. 24. Materiały dodatkowe do napawania firmy ESAB

			Skład chemiczny [%]									
Nazwa handlowa	Proces	Obciążenie	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Nb	W	inne	Uwagi
STOODY 130	FD	R	2,5							58,0	0,5	ok. 65 HRC
STOODY CP 2000	FD	R	4,8	1,0	1,5	24,0	1,0				4,0	58 – 64 HRC
OK Tubrodur 55 O A	FD	R	3,6	0,5	0,9	22,5	3,5				0,5	50 – 60 HRC
OK Weartrode 55 HD	E	S + R	0,6	0,7	0,7	10,0						ok. 57 HRC
OK Tubrodur 58 O/G M	FD	S + R	0,4	0,3	1,3	5,0	1,2				0,6	55 – 60 HRC
OK Tubrodur 60 G M	FD	S + R	0,7	0,8	0,8	5,5	1,0					55 – 62 HRC
OK Autrodur 56 G M	MAG	S + R	0,5	3,0	0,5	9,0						50 – 60 HRC
STOODCOR 136	FD	R	4,0			24,0					7,5	60 – 65 HRC
STOODY 600	FD	S + R	2,0			8,0			5,5		4,0	41 – 59 HRC
STOODY CP 2001	FD	R	4,5			24,0					8,0	58 – 63 HRC
OK Autrod/Tigrod 16.95	MAG/WIG		0,1		6,5	18,5		8,5				ok. 190 HV, po umocnieniu ok. 400 HV
OK Tubrodur 200 O D	FD		0,1	0,5	5,5	19,0		9,0				
OK 67.45	E		0,1	0,5	6,0	18,5		8,5				

Objaśnienia symboli: E – elektroda otulona
FD – drut proszkowy; WIG/MAG – pręty do spawania WIG, drut lity do spawania MAG
S- wytrzymałość na udarność, R – wytrzymałość na zużycie ścierne

Zastosowanie

Szeroki wybór specjalnych stali konstrukcyjnych odpornych na zużycie XAR® oferuje konstruktorom możliwość wyboru optymalnego gatunku stali, jednocześnie należycie uwzględniając warunki usług i wytwarzania. Stale XAR® tym samym stworzyły dla siebie szerokie możliwości zastosowania w ważnych dziedzinach inżynierii.

Przykłady typowego zastosowania zawierają:

sprzęt górniczy

- formy, tarcze ścierne, ostrza, rzeszota, zsuwnie
- sprzęt wiertniczy do pali fundamentowych
- kruszarki kamieni
- przenośniki
- części miksera
- ostrze łopaty
- dolne płyty
- zgarniacze
- szczęki kruszarki
- płyty nośne i wzmacniające wywrotki formy płyty pulweryzatora

sprzęt do prac ziemnych

- koparki, chwytaki
- buldożery
- zęby
- łopaty
- ostrza, tarcze ścierne

huty stali

- rozdrabniacze
- strzępiarki
- prasy
- zsuwnie
- przesiewacze wibracyjne

cementownie

- kruszarki
- zasobniki
- rzeszota
- miksery
- zsuwnie
- formy do bruku

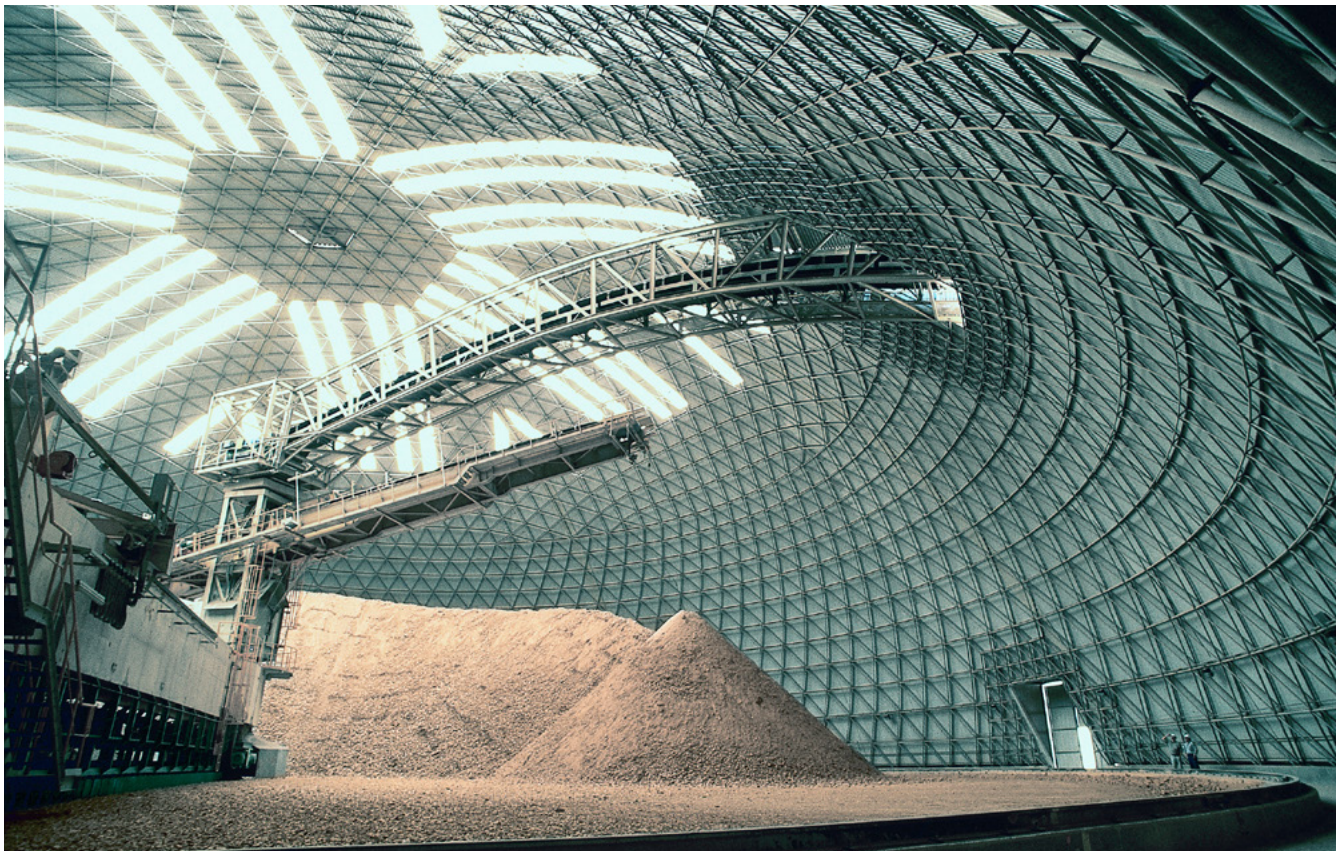
elektrownie węglowe

- kruszarki węglowe

maszyny rolnicze

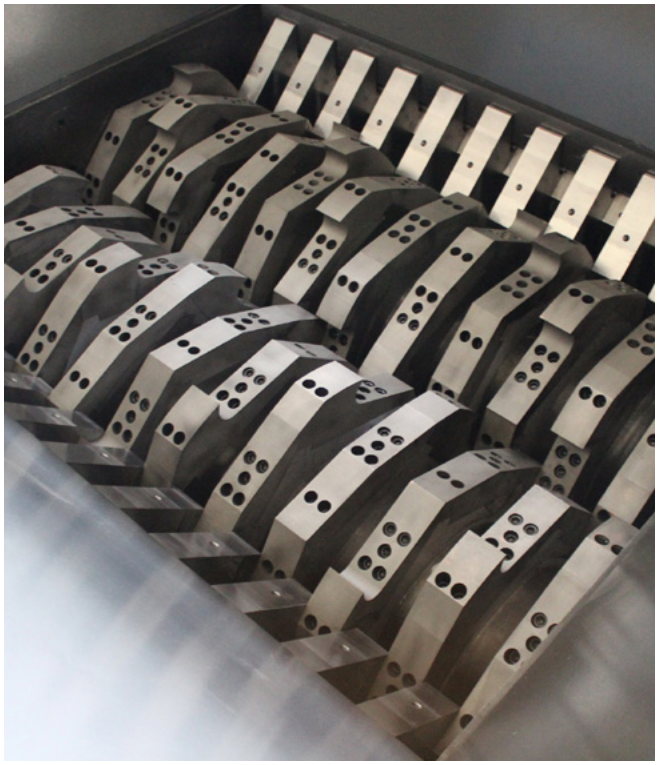
- pługi
- brona

Szczególne właściwości tej grupy stali są wypróbowane i sprawdzone w następującym względzie: twardość w przeciwdziałaniu zużyciu, duża wytrzymałość i duża odporność na deformacje, aby mogły wytrzymać często występujące warunki przeciążenia. Użycie specjalnych stali konstrukcyjnych odpornych na zużycie XAR® w rezultacie umożliwia lepszą kontrolę nad niepożądanymi deformacjami w dolnych blachach i składach oraz ponad wyboczeniem całych dolnych elementów bez potrzeby angażowania grubszych blach.



Złoże mieszane w cementowni

Narzędzie do rozbiórki



Rozdrabniacz

Materials Services
Materials Poland

Centrala

thyssenkrupp Materials Poland S.A.
Grudziądzka 159, 87-100 Toruń
T: +48 56 611 94 94
biuro@tkmaterials.pl
www.thyssenkrupp-materials.pl
NIP: 9561627586

Oddziały/ Filie

87-100 Toruń
Grudziądzka 159
T: +48 56 611 94 94
torun@tkmaterials.pl

15-697 Białystok
Gen. Stanisława Maczka 52
T: +48 85 664 49 25
bialystok@tkmaterials.pl

05-870 Błonie
Kolejowa 44
T: +48 22 594 08 20
blonie@tkmaterials.pl

41-303 Dąbrowa Górnicza
Toruńska 7
T: +48 32 639 55 00
dabrowa@tkmaterials.pl

80-557 Gdańsk
Marynarki Polskiej 96
T: +48 58 522 65 00
gdansk@tkmaterials.pl

62-800 Kalisz
Częstochowska 25
T: +48 62 767 46 01
kalisz@tkmaterials.pl

25-114 Kielce
ks. P. Ściegiennego 81/11
T: +48 41 334 51 25
kielce@tkmaterials.pl

75-712 Koszalin
Wojska Polskiego 24-26
T: +48 94 343 94 60
koszalin@tkmaterials.pl

30-644 Kraków
Gen. Henryka Kamieńskiego 51
T: +48 12 688 65 00
krakow@tkmaterials.pl

59-300 Lubin
Ścinawska 11
T: +48 76 844 08 00
lubin@tkmaterials.pl

20-447 Lublin
Diamentowa 2
T: +48 81 710 15 51
lublin@tkmaterials.pl

90-057 Łódź
Sienkiewicza 85/87
T: +48 42 677 15 00
lodz@tkmaterials.pl

86-134 Dragacz
Nowe Marzy 25 A
T: +48 56 611 96 20
nowemarzy@tkmaterials.pl

10-408 Olsztyn
Lubelska 36
T: +48 89 532 09 90
olsztyn@tkmaterials.pl

60-415 Poznań
Lutycka 1
T: +48 61 840 42 10
poznan@tkmaterials.pl

35-232 Rzeszów
Borowa 1C
T: +48 17 864 26 30
rzeszow@tkmaterials.pl

70-676 Szczecin
G. Merkatora 7
T: +48 91 486 51 63
szczecin@tkmaterials.pl

50-514 Wrocław
Międzyleska 4
T: +48 71 360 47 30
wroclaw@tkmaterials.pl

65-364 Zielona Góra
Kożuchowska 15A
T: +48 68 320 14 72
poznan@tkmaterials.pl

Oddziały zagraniczne

Baltic States (Lithuania, Latvia, Estonia)
LT-52159 Kaunas
Palemono 1a
T: +370 37 244 935
balticstates@tkmaterials.lt

Czech Republic
627 00 Brno
Areál Slatina, Tuřanka 115
T: +420 548 183 036
info@tkmaterials.cz

Eksport
87-100 Toruń
Grudziądzka 159
T: +48 56 611 94 94
export@tkmaterials.pl

Spawalnictwo
05-870 Błonie
Kolejowa 44
T: +48 22 594 08 35/43
spawalnictwo@tkmaterials.pl

engineering.tomorrow.together.

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATION
DNV·GL
EN 9120=ISO 9001
OHSAS 18001

08/2018 (Av/E)