Blachy aluminiowe EN AW-6082 T6/T651 (PA4)

Specyfikacja

Opis Produktu

EN AW-6082 (AlSi1MgMn) to stop aluminium z serii 6000, w którym główne składniki stopowe – krzem (0,7–1,3%) i magnez (0,6–1,2%) – tworzą fazę umacniającą Mg_2Si. Mangan (0,4–1,0%) dodatkowo poprawia odporność na korozję i drobnoziarnistość struktury. Brak miedzi w składzie jest kluczową zaletą w porównaniu ze stopami serii 2xxx: stop nie ulega korozji galwanicznej kontaktowej i jest dopuszczony do kontaktu z żywnością zgodnie z EN 602.

Oznaczenie T6 wskazuje na materiał przesycony i sztucznie starzony (peak-aged): po hartowaniu w wodzie i starzeniu w ~175°C przez 8–12 h wydziela się faza β’ (Mg_2Si), która blokuje dyslokacje i podnosi wytrzymałość. T651 oznacza dodatkowo odprężenie przez kontrolowane rozciąganie o 1–3% po hartowaniu – eliminuje naprężenia szczątkowe, co przekłada się na doskonałą stabilność wymiarową podczas obróbki CNC. Cienkie blachy (do 6 mm) dostarczane są często w stanie T6 (bez formalnego odprężania), grubsze płyty – w T651.

Spawalność 4/5 to jedna z najważniejszych zalet 6082 w porównaniu z innymi wysokowytrzymałymi stopami aluminium. Stop spawalny MIG i TIG – zalecany drut wypełniający ER4043 (mniejszy skurcz i ryzyko pęknięć) lub ER5356 (wyższa wytrzymałość spoiny). Należy jednak uwzględnić, że strefa wpływu ciepła (HAZ – heat-affected zone) ulega przestarzeniu: Rm w HAZ spada do ~60–70% wartości materiału rodzimego. Dla zastosowań konstrukcyjnych konieczne jest uwzględnienie tej redukcji w obliczeniach.

Skrawalność 4/5 – stop dobrze sprawuje się w obróbce CNC, choć wióry są nieco dłuższe niż w 2017A. Dla uzyskania najlepszej jakości powierzchni zalecane są narzędzia z powłoką TiN/TiAlN, chłodziwo emulsyjne i prędkości skrawania 300–600 m/min dla frezowania, 200–400 m/min dla toczenia.

KLUCZOWE PARAMETRY

R m [MPa]	R p0,2 [MPa]	Twardość HBW	Spawalność	Gęstość [g/cm³]
≥ 300 MPa	≥ 255 MPa	≥ 91	4/5	2,71

SKŁAD CHEMICZNY

Si	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn	Ti	Cr	Inne (każdy)	Inne (suma)	Al
0,7–1,3	0,6–1,2	0,4–1,0	max 0,5	max. 0,1	max. 0,2	max 0,1	max 0,25	max 0,05	max 0,15	reszta

krzem	magnez	mangan	żelazo	miedź	cynk	tytan	chrom	inne (każdy)	inne (suma)	glin

Dodatkowe limity wg EN 573-3: Cr maks. 0,25%, inne pierwiastki każdy maks. 0,05%, suma innych maks. 0,15%. Podwyższona zawartość Mn (do 1,0%) w porównaniu z 6061 (Mn maks. 0,15%) jest cechą wyróżniającą 6082 – poprawia odporność na korozję i rozdrabnia ziarno. Brak Cu (maks. 0,1%) odróżnia 6082 od stopów serii 2xxx i gwarantuje dopuszczenie do kontaktu z żywnością.

SPECYFIKACJA TECHNICZNA

Źródło: EN 485-2:2018, Table – EN AW-6082 T6/T651. Wartości minimalne wymagane normą dla blach walcowanych. Cienkie blachy (≤ 6 mm) dostarczane w stanie T6, grubsze w T651.

Grubość [mm]	Stan	Rm [MPa]	Rp0,2 [MPa]	A50 [%]	Twardość HBW
≥ 1,5-3 mm	T6	≥ 310	≥ 260	≥ 6	≥ 94
≥ 3,0-6 mm	T6	≥ 310	≥ 260	≥ 7	≥ 94
≥ 6-12,5 mm	T651	≥ 300	≥ 255	≥ 9	≥ 91
≥ 12,5-60 mm	T651	≥ 295	≥ 240	A [%]≥ 8	≥ 89
≥ 60,0-100 mm	T651	≥ 295	≥ 240	A [%]≥ 7	≥ 89

Efekt grubości jest wyraźny dla 6082 powyżej 25 mm – spadek Rm i Rp0,2 wynika z wolniejszego chłodzenia rdzenia podczas hartowania, co skutkuje grubszymi wydzieleniami Mg_2Si i niższym umocnieniem wydzieleniowym. Przy wymaganiach krytycznych dla grubości > 40 mm zalecana weryfikacja wartości w ateście 3.1.

Minimalne promienie gięcia

EN 485-2 nie normuje promieni gięcia dla 6082 T6/T651. Podane wartości opierają się na danych katalogowych producentów (Hydro Extrusion, Constellium) oraz normie DIN 8586. Materiał w stanie T651 jest sprężysty – należy uwzględnić sprężynowanie rzędu 5–10°.

Grubość	Warianty dostępne w sklepie [mm]	Min. promień 90° [×t]	Min. promień 180° [×t]	Uwagi
≥ 1,5-3,0 mm	1,5 , 2	3,5×t	nie zalecane	Możliwe. Duże ryzyko sprężynowania. Wymagany naddatek kąta.

≥ 3,0-6,0 mm	3,4,5	4,5×t	nie zalecane	Możliwe. Duże ryzyko sprężynowania. Wymagany naddatek kąta.
≥ 6,0-12,5 mm	6, 8, 10, 12	6×t	nie zalecane	Gięcie możliwe z dużym promieniem. Zalecane wyżarzenie.
≥ 12,5-100,0 mm	15, 20, 25, 30, 40, 50, 60	nie zalecane	nie zalecane	Materiał przeznaczony do obróbki skrawaniem. Gięcie wykluczone.

Dla cienkich blach (2–6 mm) gięcie na zimno jest możliwe przy zachowaniu podanych promieni. Przy grubościach 15 mm i powyżej zalecane wyżarzenie do stanu O (~415°C/2h), gięcie, a następnie ponowne przesycenie i starzenie (T6). Alternatywnie – gięcie na ciepło w temperaturze 200–300°C.

Właściwości fizyczne

Parametr	Wartość
Gęstość	2,71 g/cm³
Moduł Younga	70,0 GPa
Przewodność elektryczna	≈ 43% IACS
Przewodność cieplna	170-180 W/mK
Współczynnik rozszerzalności cieplnej (20–100°C)	23,1 µm/mK
Zakres topnienia (solidus/likwidus)	582 / 651 °C
Maks. temperatura pracy ciągłej	150°C

Dane: EN 573-3, ASM Handbook Vol. 2, Smithells Metals Reference Book (8th ed.). Wszystkie wartości w 20°C, o ile nie zaznaczono inaczej. Wysoka przewodność cieplna (170–180 W/(m·K)) i elektryczna (≈43% IACS) wyróżniają 6082 na tle stopów serii 2xxx i 7xxx – istotne przy zastosowaniach w chłodnicach i szynach elektrycznych.

PARAMETRY TECHNOLOGICZNE (SKALA 1–5)

Parametr	Ocena
Skrawalność	4 / 5

Spawalność – MIG	4 / 5
Spawalność – WIG (TIG)	4 / 5
Lutowanie twarde	3 / 5
Anodowanie twarde	4 / 5
Anodowanie ochronne	4 / 5
Anodowanie dekoracyjne	4 / 5
Polerowalność	3 / 5
Nitowanie	3 / 5
Stabilność kształtu po obróbce CNC (T651)	4 / 5
Odporność na korozję (atmosferyczna)	4 / 5
Odporność na korozję (naprężeniowa)	4 / 5
Kontakt z żywnością	TAK
Podatność na gięcie	3 / 5
Powtarzalność wymiarowa (produkcja seryjna)	5 / 5 ★

Objaśnienie skali:

1 – brak możliwości / brak przydatności technologicznej

2 – ograniczone zastosowanie, wymaga ściśle kontrolowanych środków ostrożności

3 – średnia przydatność (standardowe trudności obróbcze)

4 – dobra charakterystyka (zalecane do większości zastosowań)

5 – charakterystyka wybitna (materiał optymalizowany pod dany proces)

OZNACZENIA I NORMY

Norma europejska – skład chemiczny	EN AW-6082 / AlSi1MgMn
Werkstoffnummer	3.2315
UNS (ameryk.)	AA6082
Norma mechaniczna – blachy	EN 485-1, EN 485-2 (właściwości mech.), EN 485-3 (tolerancje)
Atesty	EN 10204 typ 3.1
Stan dostawy	T651 — przesycony, hartowany, starzony sztucznie + odprężony przez rozciąganie 1–3% T6 - dla blach do grub. 6 mm
Tolerancja cięcia formatu	-0 / +3 mm

Formaty fabryczne	1000×2000 mm, 1500×3000 mm
Kontakt z żywnością	Dopuszczony — brak Cu w składzie; zgodność z EN 602 (aluminium w kontakcie z żywnością)

ZASTOSOWANIA

Przemysł maszynowy i konstrukcyjny	Ramy, belki, wsporniki, płyty montażowe — dobra spawalność + wytrzymałość strukturalna
Budownictwo i architektura	Profile, okładziny, elementy fasad, konstrukcje aluminiowe — dobra odporność korozyjna i anodowanie
Motoryzacja i transport	Podwozia, elementy zawieszenia, ramy pojazdów specjalnych — lekka konstrukcja nośna
Przemysł stoczniowy i morski	Elementy pokładów, nadbudówki, blaty — odporność na korozję morską bez dodatkowych powłok
Budowa maszyn CNC i oprzyrządowanie	Płyty bazowe, stojaki, uchwyty, formy — stabilność T651 + łatwa obróbka
Przemysł spożywczy	Zbiorniki, przenośniki, elementy maszyn — brak Cu dopuszcza kontakt z żywnością (EN 602)

WAŻNE OGRANICZENIA

Spadek wytrzymałości w strefie wpływu ciepła (HAZ) — po spawaniu Rm w HAZ spada do ~60–70% wartości materiału rodzimego. W obliczeniach konstrukcyjnych należy uwzględnić współczynnik redukcji wg EN 1999-1-1 (Eurocode 9).

Gięcie na zimno ograniczone dla grubości > 12 mm — przy grubościach powyżej 12 mm gięcie na zimno wymaga wyżarzenia lub gięcia na gorąco. Nierespektowanie tego ograniczenia grozi mikropęknięciami w strefie rozciąganej.

Efekt grubości powyżej 25 mm — Rm i Rp0,2 spadają przy wzroście grubości z powodu niejednorodności hartowania. Przy wymaganiach krytycznych weryfikować właściwości w ateście 3.1.

Maks. temperatura pracy ciągłej 150°C — powyżej tej temperatury możliwe przestarzenie (over-ageing) i nieodwracalny spadek wytrzymałości mechanicznej.

Korozja naprężeniowa (SCC) w środowiskach chlorkowych — choć 6082 jest odporniejszy niż 7xxx, w stężonych roztworach chlorków przy stałych naprężeniach rozciągających > 50% Rp0,2 możliwa korozja naprężeniowa. Unikać w środowiskach morskich bez powłoki ochronnej przy stałym obciążeniu.

Anodowanie twarde daje gorsze wyniki przy grubych powłokach (> 40 µm) — duże wydzieliny Mg_2Si mogą powodować defekty powłoki twardej. Dla zastosowań tribologicznych(występujące tarcie) wymagających grubszych powłok preferować 6061 lub 7075.

Porównaj z innymi stopami (wartości dla blach # 10 mm)

Cecha	6082 T651 (PA4)	2017A T451 (PA6)	7075 T651 (PA9)	5083 H111 (PA13)
Rm [MPa]	≥ 280	≥ 390	≥ 540	≥ 270
Rp0,2 [MPa]	≥ 205	≥ 250	≥ 460	≥ 115
Skrawalność	3/5	5/5 ★	4/5	3/5
Spawalność	4/5	1/5	1/5	5/5 ★
Odporność na korozję	4/5	2/5	2/5	5/5 ★
Gięcie	3/5	1/5	1/5	4/5
Anodowanie	4/5	3/5	3/5	4/5

★ = najlepsza ocena w danej kategorii spośród porównywanych stopów. Dane wg EN 485-2:2018, EN 573-3:2019 oraz ASM Handbook Vol. 2.