

Podstawy Konstrukcji Urządzeń Precyzyjnych

Materiały pomocnicze do ćwiczeń
projektowych – część 4

Materiały konstrukcyjne
i powłoki ochronne

Preskrypt opracował:
doc. dr inż. Wiesław Mościcki

Warszawa 2012

Stale konstrukcyjne niestopowe walcowane na gorąco

PN-EN 10025:2002	PN-H- 84020:1988	R _m MPa	Zastosowanie																																		
Stale na konstrukcje stalowe																																					
S235JR	St3S, St37	340-470	proste nieodpowiedzialne części konstrukcyjne; podstawy, korpusy urządzeń, części mniej odpowiedzialne, nieobrabiane na automatach																																		
S235J2G3	St3W, St37																																				
S235J0																																					
S275J0	St4W, St44	410-560																																			
S275J2G3																																					
S355JR	St52, St6S	490-630																																			
S355J0	St6W																																				
S355J2G3																																					
Stale stosowane w przemyśle maszynowym																																					
E295	St5	470-610	proste elementy o większych wymiarach; wałki, osie, tuleje, kołki nieobrabiane na automatach, twarde bez obróbki cieplnej, części nietłoczone.																																		
E335	St6	570-710																																			
E360	St7	670-830																																			
<p>Oznaczenia: wg PN-H-84020:1988: S – stal do spawania, W – stal walcowana na gorąco wg PN-EN 10025:2002: G – staliwo, S – stale konstrukcyjne, P – stale pracujące pod ciśnieniem, E – stale maszynowe, L – stale na rury przewodowe, H – wyroby płaskie walcowane na zimno ze stali o podwyższonej wytrzymałości. Liczba za nimi umieszczona jest minimalną granicą plastyczności w N/mm² dla najmniejszego zakresu grubości wyrobu, np. P430, S275, E335, L360</p> <p>Grupa 1 symboli dodatkowych: J – udarność (praca łamania) stali w dżulach, M – walcowane termomechanicznie, N – normalizowane lub walcowane normalizująco, Q – ulepszone cieplnie, T – na rury, B – na butle gazowe, S – na proste zbiorniki ciśnieniowe, G – inne cechy (w razie potrzeby), dalej oznaczane jedną lub dwoma cyframi. Przykład: S275N, S420M, P460Q, P265B</p> <p>Symbole dodatkowe przewidziane tylko dla stali konstrukcyjnych (S)</p>																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center;">Udarność (praca łamania) w dżulach J</td> <td style="text-align: center;">24J</td> <td style="text-align: center;">JR</td> <td style="text-align: center;">J0</td> <td style="text-align: center;">J2</td> <td style="text-align: center;">J3</td> <td style="text-align: center;">J4</td> <td style="text-align: center;">J5</td> <td style="text-align: center;">J6</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">40J</td> <td style="text-align: center;">KR</td> <td style="text-align: center;">K0</td> <td style="text-align: center;">K2</td> <td style="text-align: center;">K3</td> <td style="text-align: center;">K4</td> <td style="text-align: center;">K5</td> <td style="text-align: center;">K6</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">60J</td> <td style="text-align: center;">LR</td> <td style="text-align: center;">L0</td> <td style="text-align: center;">L2</td> <td style="text-align: center;">L3</td> <td style="text-align: center;">L4</td> <td style="text-align: center;">L5</td> <td style="text-align: center;">L6</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Temperatura próby</td> <td style="text-align: center;">°C</td> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">-20</td> <td style="text-align: center;">-30</td> <td style="text-align: center;">-40</td> <td style="text-align: center;">-50</td> <td style="text-align: center;">-60</td> </tr> </table>				Udarność (praca łamania) w dżulach J	24J	JR	J0	J2	J3	J4	J5	J6	40J	KR	K0	K2	K3	K4	K5	K6	60J	LR	L0	L2	L3	L4	L5	L6	Temperatura próby	°C	20	0	-20	-30	-40	-50	-60
Udarność (praca łamania) w dżulach J	24J	JR	J0		J2	J3	J4	J5	J6																												
	40J	KR	K0		K2	K3	K4	K5	K6																												
	60J	LR	L0	L2	L3	L4	L5	L6																													
Temperatura próby	°C	20	0	-20	-30	-40	-50	-60																													
<p>Przykład: S235JR, S275J0, S355J2G3</p> <p>Grupa 2 symboli dodatkowych: C – do formowania na zimno, F – do kucia, H – do stosowania w wysokich temperaturach, L – do stosowania w niskich temperaturach, R – do stosowania w temperaturze pokojowej, X – do pracy w wysokiej i niskiej temperaturze, O – na platformy morskie, W – odpornych na korozję atmosferyczną, (Cu) – symbole chemiczne wymaganych dodatków z cyfrą oznaczającą 10x średnią zawartość pierwiastka Przykład: S420NL, S355K2C, S960QL, P355SH</p>																																					

Stale konstrukcyjne niestopowe ogólnego stosowania

PN-EN 10277-2:2002	PN-H- 84019:1993	R _m w MPa	Zastosowanie
stal ogólnego przeznaczenia			
S235JRG2C	St3S	340-470	spawane, proste elementy, korpusy, podstawy, mało odpowiedzialne części gięte, ciągnięte, obudowy
S355J2G3C	16G2	490-630	części spawane o zwiększonej wytrzymałości na rozciąganie, części gięte, części wykonywane skrawaniem
stal do nawęglania			
C10E	10	490-640	części z gwintem nawalcowanym, roznitowywane lub obrabiane plastycznie, części głęboko tłoczne, gdy wymagane są właściwości wytrzymałościowe, dźwignie, czopy, rolki, śruby, sworznie
C15E	15	590-780	
C16E	15G		
stal do ulepszania cieplnego			
C22	20	410	części spawane, osie, wałki, koła zębate, nakrętki, podkładki, części których nie wykonuje się z S235J2G3 (St3) ze względu na wyższe wymagania jakości, a zwłaszcza gładkości
C22E		470-620	
C25	25	440	
C25E		500-650	
C35	35	520	małe części, nieznacznie obciążone, poddawane ulepszaniu cieplnemu (stale z oznaczeniem E), osie, wałki, tuleje, słupki, koła zębate, zderzaki, dźwignie, ślimaki, gdy wymagana wyższa wytrzymałość bez obróbki cieplnej (stale bez oznaczenia E, normalizowane), dość trudno obrabialne toczeniem
C35E		600-750	
C45	45	580	
C45E		650-800	
C55	55	620	
C55E		750-850	
C60	60	670	elementy sprężynujące oraz bez wymaganej obróbki skrawaniem
C60E		800-950	

Stale automatowe

PN-EN 10277-3:2003	PN-H- 84026:1973	R _m w MPa	Zastosowanie
11SMn30	A10X	380-570	nie nadaje się do obróbki cieplnej; części małe nieznacznie obciążone; dźwignie, wałki
10S20	A11	360-530	stal do nawęglania; części małe odporne na ścieranie; wałki trzpienie, kołki
35S20	A35	520-680	nie poddawana obróbce cieplnej; większe części silniej obciążone; wałki, koła zębate
46S20	A45	590-760	
35SPb20		600-750	stal do ulepszania cieplnego; większe części silniej obciążone; wałki, wrzeciona, koła zębate
46SPb20		650-800	

Stale niestopowe do ciągnięcia i walcowania na zimno
(druć na sprężyny i elementy sprężynujące)

PN-EN 10016-2:1999	PN-H- 84028:1991	Zastosowanie
C38D	D35	sprężyny zwykłej jakości, mało i średnio obciążone, szprychy, parasole i inne elementy pracujące statycznie, wałki giętkie, galanteria metalowa, przemysł zabawkarski
C48D	D45	
C56D	D55	
C66D	D65	
C76D	D75	
C86D	D85	
C66D2	D65A	sprężyny wyższej jakości i inne elementy z drutu „patentowanego” średnio i mocno obciążone, pracujące dynamicznie, drut fortepianowy, struny instrumentów muzycznych, sprężyny spiralne z drutu płaskiego
C76D2	D75A	
C80D2	D80A	
C86D2	D85A	

Druć stalowy na sprężyny, ciągnięty na zimno, patentowany
wg PN EN 10270-1:2004

Rodzaj drutu	Minimalna wytrzymałość na rozciąganie R_m w MPa w odniesieniu do średnic nominalnych d w mm								
	0,5	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
SL	-	-	1720	1600	1510	1460	1410	1370	1320
SM	2200	2050	1980	1850	1740	1690	1630	1590	1530
SH	2480	2310	2330	2090	1970	1900	1840	1790	1740
DM	2200	2050	1980	1850	1740	1690	1630	1590	1530
DH	2480	2310	2230	2090	1970	1900	1840	1790	1740
Warunki stosowania,							Zastosowanie		
SL	niewielkie obciążenie statyczne						sprężyny naciskowe, naciągowe i skrętne w przyrządach i maszynach, gatunek DH także do sprężyn kształtowych		
SM	średnie obciążenie statyczne lub rzadko występujące obciążenie dynamiczne								
SH	wysokie obciążenie statyczne lub niewielkie obciążenie dynamiczne								
DM	średnie obciążenie dynamiczne								
DH	wysokie obciążenie statyczne lub średnie obciążenie dynamiczne								
Powłoka ochronna			Wykonywanie sprężyn						
Symbol	Powłoka		Sprężyny nawijają się na zimno. Zwoje bierne lub zaczepy dogina się potem gorąco. Po ukształtowaniu sprężynę należy: Odpuszczać w temperaturze 210 ± 10^0 C. Sprężyn nie wolno hartować po nawinięciu, gdyż niszczy to własności sprężyste drutu!!!.						
ph	fosforanowanie								
cu	miedziowanie								
Z	ocynkowanie								
ZA	z powłoką Zn/Al								
Druć wysokiej wytrzymałości na obciążenia statyczne, o średnicy nominalnej 0,80 mm, z powłoką fosforanową:									
Druć sprężynowy PN EN 10270-1 - SH - 0,80 ph									

Stale nierdzewne

PN-EN 10088:2005	PN-H- 86020:1971	R_m w MPa	Zastosowanie
Stale austenityczne			
X6CrNiTi18-10	1H18N9T	520-720	przedmioty gospodarstwa domowego, części w przemyśle fotograficznym
	0H18N10T		
X2CrNi18-10	00H18N10	550-750	urządzenia w młeczarniach i browarach, naczynia ciśnieniowe
X5CrNi18-10	0H18N9	540-750	części głęboko tłoczone w przemyśle środków spożywczych, dobrze się polerują
X4CrNi18-12	-	500-700	przemysł chemiczny, śruby, nakrętki
Stale ferrytyczne			
X6Cr13	0H13	400-600	odporna na wodę i parę, okucia, urządzenia gospodarstwa domowego
X6Cr17	H17	450-630	dobrze odkształcalna na zimno, dobra do polerowania, sztucce, zderzaki
Stale martenzytyczne			
X12Cr13	1H13	650-850	odporna na wodę i parę, przemysł środków spożywczych
X20Cr13	2H13	750-950	osie, wałki, części pomp,
X30Cr13	3H13	850-1000	śruby, nakrętki, sprężyny
X46Cr13	4H13	700-800	stal hartowalna, noże stołowe i maszynowe

Mosiądze i brązy do przeróbki plastycznej

PN EN (brak)		PN-H-87025	R _m w MPa	Zastosowanie
CW410J	CuNi18Zn27	MZN18		głęboko tłoczny, duża oporność właściwa, okucia, przemysł elektrotechniczny
CW506L	CuZn33	M67		podatne do obróbki plastycznej na zimno i gorąco, skrawalne, łatwe do polerowania; śruby, nity ze spęczanymi łbami, rurki chłodnic, wyroby artystyczne
CW507L	CuZn36	M64		
CW508L	CuZn37	M63	310-440	
CW509L	CuZn40	M60	340	
CW614N	CuZn39Pb3	M058A	360-550	bardzo dobrze skrawalne, części toczone na automatach; koła zębate, płyty łożyskowe,
CW612N	CuZn39Pb2	M059	360-550	
CW617N	CuZn40Pb2	M058	360-550	
PN EN (brak)		PN-H-97050:1992		Zastosowanie
CW116C	CuSi3Mn1	BK31		duża wytrzymałość, odporność na korozję, spawalny, żaroodporny; sprężyny, membrany, części aparatury chemicznej
CW101C	CuBe2	BB2		duża wytrzymałość, sprężystość, odporny na ścieranie, nie iskrzy, b. mała histereza sprężysta; sprężyny, membrany
CW450K	CuSn4	B4		odporny na korozję, skrawalny, do lutowania, spawania, koła zębate, sprężyny manometrów, membrany
CW452K	CuSn6	B6	340-550	
CW453K	CuSn8	B8	390-620	
CW456K	CuSn4PbZn3	B443		odporny na korozję, bardzo dobre właściwości przeciwcierne, podatny na zimno, skrawalny, do lutowania, na tulejki łożyskowe

Stopy aluminium do obróbki plastycznej

PN-EN 573-1:2006	PN-EN 573-2:2006	PN-H- 88026:1979	R _m w MPa	Zastosowanie
EN AW 5251	Al Mg2Mn0,3	PA2	150-240	plastyczne, odporne na korozję, do polerowania, anodowania, spawalne, elementy dekoracyjne i ozdobne o złożonych kształtach
EN AW 6082	Al Si1MgMn	PA4	150-300	jw. oraz duża wytrzymałość na zmęczenie, średnio obciążone elementy konstrukcji lotniczych, odporne na korozję wody morskiej
EN AW 2017	Al MgSi1	PA6	220-380	mało plastyczny, elementy konstrukcji lotniczych, średnia odporność na korozję
EN AW 2024	Al Cu4Mg1	PA7	220-425	większa wytrzymałość niż 2017, zabezpieczany przed korozją za pomocą platerowania, silnie obciążone elementy konstrukcji lotniczych, maszyn, urządzeń precyzyjnych

Odlewnicze stopy aluminium

PN-EN 1676:2002/Ap1	PN-EN 1676:2002/Ap1	PN-H- 88027:1976	R _m w MPa	Zastosowanie
EN AC 42000	Al Si7Mg	AK7	160-200	odporne na działanie atmosferyczne, cienkościennie części średnio obciążone o skomplikowanym kształcie; przemysł precyzyjny i optyczny
EN AC 44100 EN AC 44200 EN AC 44300	Al Si12	AK11	160-280	
EN AC 45300	Al Si5Cu1Mg	AK51	160-230	duże elementy bardzo obciążone
EN AC 45100	Al Si5Cu3Mg	AK52	160-240	

Klasyfikacja powłok galwanicznych w zależności od ich przeznaczenia

Powłoki galwaniczne, z punktu widzenia ich przeznaczenia, można podzielić na następujące grupy:

- **powłoki ochronne** - mające za zadanie wyłącznie ochronę metalu podłoża przed korozją,
- **powłoki dekoracyjne** - nakładane dla poprawy wyglądu zewnętrznego powierzchni (barwa, połysk, gładkość),
- **powłoki ochronno-dekoracyjne** - stosowane jako ochrona przed korozją z jednoczesnym nadaniem i zachowaniem własności dekoracyjnych powierzchni metalu podłoża,
- **powłoki techniczne (funkcjonalne)** - stosowane w celu uzyskania określonych własności fizycznych lub technologicznych powierzchni, np.
 - zwiększenie odporności na ścieranie,
 - zmiana współczynnika tarcia,
 - poprawa własności elektrycznych powierzchni,
 - poprawa zdolności łączenia przez lutowanie,
 - zmiana wymiarów pokrywanych części,
 - regeneracja zużytych powierzchni,
 - uzyskanie zwiększonego stopnia odbicia i połysku powierzchni,
 - zabezpieczenie określonych powierzchni w czasie wykonywania innych procesów obróbki powierzchniowej,
 - uzyskiwania grubych warstw w galwanoplastyce.

Klasyfikacja z punktu widzenia składu chemicznego i rodzaju powłoki

- powłoki metalowe nakładane elektrolitycznie,
- powłoki stopowe,
- powłoki konwersyjne - niemetalowe, nieorganiczne:
 - a) chromianowe,
 - b) fosforanowe,
 - c) szczawianowe,
 - d) tlenkowe na aluminium, otrzymywane metodą anodowego oksydowania,
 - e) tlenkowe na innych metalach.

Klasyfikacja z punktu widzenia sposobów nakładania lub wytworzenia powłok

- powłoki elektrolityczne
 - a) jednowarstwowe,
 - b) wielowarstwowe,
- powłoki osadzane metodą chemiczną (chemiczne),
- powłoki konwersyjne
 - a) wytwarzane chemicznie,
 - b) wytwarzane elektrochemicznie.

Klasyfikacja z punktu widzenia stanu powierzchni i struktury powłoki

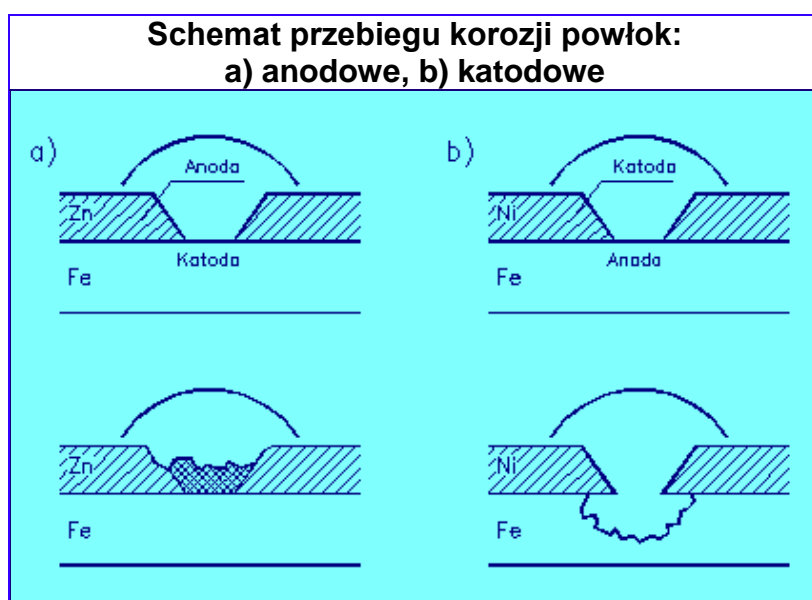
- powłoki matowe
- powłoki błyszczące
- powłoki półbłyszczące,
- powłoki z połyskiem lustrzanym,
- powłoki mikrospękane,
- powłoki mikroporowate,
- powłoki szczelne (bez porów i spękań).

Klasyfikacja z punktu widzenia dodatkowej obróbki powłok po ich osadzeniu lub wytworzeniu

- powłoki polerowane (mechanicznie, chemicznie lub elektrochemicznie),
- powłoki obtapiane (dotyczy wyłącznie powłok cynowych),
- powłoki barwione,
- powłoki uszczelniane,
- powłoki impregnowane.

Klasyfikacja z punktu widzenia mechanizmu ochrony metalu podłoża przez powłoki

- **powłoki anodowe** - z metalu, który w określonym środowisku korozyjnym wykazuje potencjał niższy od potencjału metalu podłoża i w związku z tym nie tylko izoluje go od otaczającego środowiska, lecz również chroni elektrochemicznie, ulegając sam korozji; w przypadku powstania ogniwa elektrochemicznego korozji ulega metal powłoki (np. powłoki cynkowe i kadmowe na stali),
- **powłoki katodowe** - z metalu, który w określonym środowisku korozyjnym wykazuje potencjał elektrochemiczny wyższy od potencjału metalu podłoża i w związku z tym chroni go przez odizolowanie jego powierzchni od otaczającego środowiska; w przypadku powstania ogniwa elektrochemicznego korozji ulega metal podłoża (np. powłoki niklowe na stali).



Klasyfikacja z punktu widzenia warunków użytkowania wyrobów pokrywanych powłokami

Oznaczenie warunków użytkowania	Czas badania we mgle solnej	Warunki użytkowania
0	48h	do celów dekoracyjnych
1	72h	wewnątrz pomieszczeń, ciepła i sucha atmosfera
2	120h	w miejscach gdzie może pojawić się kondensacja
3	192h	na zewnątrz w warunkach umiarkowanych
4	360h	na zewnątrz w warunkach o silnym oddziaływaniu korozyjnym, np. morskich lub przemysłowych

Podział i oznaczenia powłok galwanicznych i konwersyjnych wg **PN-EN 1403:2002**

Oznaczenie powłoki podawane w dokumentacji powinno zawierać:

- a) napis "powłoka elektrolityczna";
- b) numer normy europejskiej (lub krajowej), której wymagana powłoka powinna odpowiadać;
- c) łącznik
- d) kod metalu podłoża
- e) ukośnik;
- f) kod powłoki – symbol chemiczny
- g) grubość powłoki w μm ,
- h) literowe oznaczenie typu powłoki,
- i) dodatkowo stosowane kody, oddzielone za pomocą ukośników, dla każdego etapu nakładania powłoki (w kolejności nakładania)

Przykłady kodów stosowanych w oznaczeniach

Kod metalu podłoża		Kod powłoki elektrolitycznej		Kod chromianowania konwersyjnego	
Fe	żelazo lub stal	Zn	cynk	A	bezbarwne
Zn	cynk	Sn	cyna	B	rozjaśnione
Cu	miedź	Cd	kadm	C	opalizujące
Al	aluminium	Pb	ołów	D	matowe
		Ni	nikiel	F	czarne
		Cu	miedź		
		Cr	chrom		
		Ag	srebro		
		Au	złoto		

Kod oznaczania dodatkowej powłoki lub obróbki

Kod obróbki	Opis powłoki lub obróbki
T1	stosowanie farb, lakierów bezbarwnych, lakierów proszkowych
T2	stosowanie organicznych i nieorganicznych uszczelnaczy
T3	stosowanie barwników organicznych
T4	stosowanie smaru, oleju lub innych materiałów smarnych
T5	stosowanie wosku

Rodzaje powłok niklowych i chromowych

Symbol chemiczny	Symbol powłoki	Właściwości powłoki
Ni	b	powłoka błyszcząca
	p	matowa lub półbłyszcząca wymagająca mechanicznego polerowania
	s	matowa, satynowa lub półbłyszcząca, nie wymagająca mechanicznego polerowania
	d	podwójna i potrójna powłoka
Cr	r	zwykła powłoka Cr o grubości 0,3µm
	b	powłoka czarnego chromu
	mc	powłoka mikrospękanego chromu, która powinna mieć więcej niż 250 pęknięć na cm w każdym kierunku i postać zwartej siatki na całej powierzchni
	mp	powłoka mikroporowata

Przykłady oznaczeń

Przykład 1

Oznaczenie powłoki elektrolitycznej o grubości 20 µm miedzi (Cu20) plus 20 µm błyszczącego niklu (Ni20b) plus 0,3 µm mikrospękanego chromu (Crmc) na żelazie lub stali (Fe). Powłoka odpowiada umiarkowanym warunkom użytkowania (3)

Powłoka elektrolityczna EN 12540 - Fe//Cu20/Ni20b/Crmc

Podwójne ukośniki wskazują pomijane etapy, np. że nie zastosowano obróbki cieplnej.

Przykład 2

Oznaczenie powłoki elektrolitycznej o grubości 15 µm miedzi (Cu15) plus 20 µm podwójnej warstwy niklu (Ni20d) plus 0,3 µm mikrospękanego chromu (Crmc) na odlewach cynkowych (Zn).

Powłoka odpowiada umiarkowanym warunkom użytkowania (3)

Powłoka elektrolityczna EN 12540 - Zn/Cu15/Ni20d/Crmc

Przykład 3

Oznaczenie elektrolitycznej powłoki niklowej satynowej o grubości 12 µm (Ni12s) osadzonej elektrolitycznie na części ze stali (Fe), którą poddano obróbce cieplnej przez 2 h w minimalnej temperaturze 190 °C [HT(190)2], na którą nałożono dodatkowo powłokę zabezpieczającą przed śladami dotykania polegającą na stosowaniu lakieru transparentnego (T1):

Powłoka elektrolityczna EN 12540 - Fe/HT(190)2/Ni12s/T1

Podwójny ukośnik następujący po grubości oznacza "pominięty etap", to jest niezastosowanie obróbki cieplnej po osadzeniu powłoki.

Przykład 4

Przykłady powłok niklowych, niklowo-chromowych i miedziowo-niklowo-chromowych na stali dla różnych warunków eksploatacji:

Warunki użytkowania	Oznaczenie powłoki
4	Fe//Ni40d/Crr; Fe//Ni30d/Crb; Fe//Ni30p/Crmc; Fe//Ni30p/Crmp;
	Fe//Cu20/Ni30d/Crr; Fe//Cu20/Ni25d/Crmc; Fe//Cu20/Ni25p/Crmp;
3	Fe//Ni30s; Fe//Cu20/Ni25b; Fe//Ni30d/Crr; Fe//Ni25p/Crmc;
	Fe//Cu20/Ni30s/Crr; Fe//Cu20/Ni20b/Crmc; Fe//Cu15/Ni25d/Crr;
2	Fe//Ni10d; Fe//Cu12/Ni12p; Fe//Ni20d/Crr; Fe//Ni15p/Crmc;
	Fe//Cu20/Ni10s/Crr; Fe//Cu20/Ni10s/Crb; Fe//Cu20/Ni10b/Crmp;
1	Fe//Ni10p; Fe//Cu6/Ni6s; Fe//Ni10s/Crr; Fe//Ni10b/Crmc;

Przykład 5

Grubość elektrolitycznych powłok tlenkowych na aluminium i jego stopach dobiera się w zależności od warunków eksploatacji:

B(0) - 5µm; L(1) - 10µm; U(2) - 15µm; C(3) - 25µm; W(4) - 25µm;

Odmiany powłok: u (uszczelniana), i (impregnowana), br (barwiona)

Oznaczenie powłoki o grubości 15µm, uszczelnionej i barwionej:

An 15 u br PN-H-97023:1980