

Polski Rejestr Statków

PUBLIKACJA INFORMACYJNA NR 24/I

**MATERIAŁY I TECHNOLOGIE
SPECJALNE DLA OKRĘTÓW WOJENNYCH**

2006

Publikacje I (Informacyjne) wydawane przez Polski Rejestr Statków
mają charakter instrukcji lub wyjaśnień przydatnych przy stosowaniu
Przepisów PRS



GDĄŃSK

Polski Rejestr Statków

PUBLIKACJA INFORMACYJNA NR 24/I

**MATERIAŁY I TECHNOLOGIE
SPECJALNE DLA OKRĘTÓW WOJENNYCH**

2006

GDAŃSK

Publikacja Informacyjna Nr 24/I – Materiały i technologie specjalne dla okrętów wojennych, 2006, została zatwierdzona przez Dyrektora Okrętowego Polskiego Rejestru Statków S.A. w dniu 14 kwietnia 2006 r.

© Copyright by Polski Rejestr Statków, 2006

PRS/HW, 04/2006

ISBN 83-89895-87-0

SPIS TREŚCI

str.

1	Postanowienia ogólne	5
1.1	Zakres zastosowania.....	5
1.2	Skróty i oznaczenia.....	5
2	Stale małomagnetyczne	5
2.1	Postanowienia ogólne.....	5
2.2	Współczynnik przenikalności magnetycznej.....	5
2.3	Przetwórstwo stali małomagnetycznych.....	6
3	Stopy tytanu	6
3.1	Zakres stosowania.....	6
3.2	Wytwarzanie.....	6
3.3	Gatunki materiału	7
3.4	Warunki dostawy.....	7
3.5	Tolerancje wymiarowe i kształtu.....	7
3.6	Skład chemiczny.....	7
3.7	Własności mechaniczne.....	7
3.8	Próby	7
3.9	Badanie powtórne	8
3.10	Cechowanie wyrobów	8
3.11	Dokumentacja techniczna wyrobu.....	8
3.12	Przetwórstwo stopów tytanu.....	9
4	Materiały kompozytowe	9
4.1	Laminaty wzmocnione	10
4.2	Inne laminaty	13
4.3	Technologia budowy z laminatów.....	13
5	Materiały przeciwbalistyczne	19
5.1	Zakres zastosowania.....	19
5.2	Rodzaje materiałów na osłony balistyczne.....	20
5.3	Odbiór osłon balistycznych	20
6	Materiały zmniejszające skuteczną powierzchnię odbicia (SPO)	23
6.1	Zakres zastosowania.....	23
6.2	Zasady odbioru	24
6.3	Metody łączenia z konstrukcją okrętu	24

1 POSTANOWIENIA OGÓLNE

1.1 Zakres zastosowania

Niniejsza publikacja zawiera instrukcje i zalecenia stanowiące uzupełnienie do *Przepisów klasyfikacji i budowy statków morskich, Część IX – Materiały i spawanie*, zwanych dalej *Przepisami*.

Publikacja ma zastosowanie do materiałów, które są używane do budowy nawodnych okrętów wojennych. Instrukcje i zalecenia niniejszej Publikacji mogą być również stosowane do materiałów użytych do budowy innych jednostek pływających wojskowych i cywilnych.

1.2 Skróty i oznaczenia

Następujące skróty są użyte w tej *Części*:

- | | | |
|---------------|---|------------------------------------------------------------------------------------------|
| ASTM | – | American Society for Testing and Materials, Conshohocken, USA |
| Przepisy | – | <i>Przepisy klasyfikacji i budowy statków morskich. Część IX – Materiały i spawanie.</i> |
| Organ Nadzoru | – | PRS lub inna instytucja lub przedstawiciel instytucji sprawującej nadzór. |

2 STALE MAŁOMAGNETYCZNE

2.1 Postanowienia ogólne

Postanowienia zawarte w niniejszym rozdziale mają zastosowanie do stali małow magnetycznych, które stanowią stale stopowe chromoniklowe o strukturze austenitycznej z gwarantowaną wartością współczynnika przenikalności magnetycznej.

Postanowienia te dotyczą:

- wyrobów walcowanych (blachy, pręty, kształtowniki);
- rur;
- odkuwek;
- odlewów

przeznaczonych do budowy jednostek małow magnetycznych. Wymagania w zakresie składu chemicznego własności mechanicznych, technologicznych, obróbki cieplnej, stanu dostawy, tolerancji wymiarowych zawarte są w *Części IX Przepisów PRS* dotyczących statków morskich.

2.2 Współczynnik przenikalności magnetycznej

Współczynnik przenikalności magnetycznej dla wszystkich wyrobów wymienionych w pkt.1 nie powinien przekroczyć wartości 1,01. Wartość ta nie powinna być przekroczona po zgniocie materiału wynikającego z przeprowadzonych operacji technologicznych w czasie budowy jednostki. Określenie wartości współczynnika przenikalności magnetycznej należy wykonywać jedną z powszechnie przyjętych metod uzgodnionych z Organem Nadzoru, np. ASTM A 342.

Badaniu współczynnika przenikalności magnetycznej powinny podlegać wszystkie wyroby:

- wyroby walcowane (blachy, szerokie płaskowniki, pręty, kształtowniki w stanie dostawy oraz po obróbce plastycznej na zimno);
- rury, w stanie dostawy oraz po zginaniu;
- odkuwki w stanie dostawy;
- odlewy w stanie dostawy.

Badania powinny być przeprowadzone zgodnie z odpowiednimi normami lub warunkami technicznymi, uzgodnionymi przez PRS, a wartość współczynnika μ_r w żadnym przypadku nie powinna przekroczyć 1,01.

2.3 Przetwórstwo stali małomagnetycznych

Przetwarzanie stali małomagnetycznych (cięcie, spawanie, prostowanie, zginanie) powinno być dokonywane zgodnie z wymaganiami zawartymi w *Przepisach (cz. IX – Spawanie, pkt. 23)*.

Ponadto:

- należy tak dobierać materiały dodatkowe do spawania, aby oprócz własności mechanicznych i odporności korozyjnej w wodzie morskiej zapewnić w spoinie wymagany współczynnik przenikalności magnetycznej μ ;
- przy projektowaniu procesu spawania należy brać pod uwagę niską przewodność cieplną i wysoki współczynnik rozszerzalności liniowej stali małomagnetycznej;
- prostowanie po spawaniu powinno być przeprowadzane na zimno. W przypadku prostowania na gorąco temperatura nagrzewania nie powinna przekroczyć 700 °C, a czas wygrzewania nie powinien przekroczyć 30 minut;
- do cięcia materiału należy stosować palniki plazmowe,
- do obróbki mechanicznej materiału należy stosować tylko takie narzędzia, które nie powodują podczas tej operacji tworzenia się cząsteczek ferromagnetycznych.

3 STOPY TYTANU

3.1 Zakres stosowania

Wymagania zawarte w niniejszym rozdziale mają zastosowanie do wyrobów ze stopów tytanu, przeznaczonych do produkcji kadłubów, nadbudówek i innych konstrukcji morskich.

3.2 Wytwarzanie

Materiał wyjściowy do wszystkich wyrobów powinien być wytapiany w piecach łukowych próżniowych lub inną metodą uznaną przez Organ Nadzoru. Blachy i kształtowniki powinny być walcowane na gorąco lub na zimno albo jako kombinacja tych dwóch metod. Odkuwki zwykle mogą być wytwarzane jako wolnokute lub matrycowe. Pręty mogą być walcowane na gorąco lub poprzez kombinację walcowania i kucia. Wszystkie wyroby winny być dostarczone w stanie odpowiednim dla danego gatunku stopu.

3.3 Gatunki materiału

Skład chemiczny i własności mechaniczne wyrobów ze stopów tytanu w postaci blach, prętów, rur, kształtowników, odkuwek i odlewów powinny odpowiadać wymaganiom zawartym w odpowiednich normach lub warunkach technicznych, uzgodnionych z Organem Nadzoru.

3.4 Warunki dostawy

Wyroby muszą mieć gładką powierzchnię odpowiednią do technologii wytwarzania, wolną od wad, mogących negatywnie wpływać na ich cechy użytkowe, jak na przykład pęknięcia, rozwarstwienia, duże wtrącenia niemetaliczne, duże uszkodzenia mechaniczne.

Występujące wady powierzchniowe mogą być naprawione przez szlifowanie, pod warunkiem, że będzie ono wykonane z łagodnymi przejściami do powierzchni wyrobu oraz jeśli dopuszczalne tolerancje grubości nie będą przekroczone. Naprawa wad poprzez spawanie możliwa jest tylko po każdorazowym uzgodnieniu z Organem Nadzoru.

3.5 Tolerancje wymiarowe i kształtu

Dopuszczalne ujemne odchyłki grubości blach kadłubowych nie powinny przekraczać 0,3 mm. Pozostałe tolerancje wymiarów oraz kształtu powinny odpowiadać przedstawionym przez producenta normom. Wyrywkowe badanie wyrobów przez inspektora PRS nie zwalnia wytwórcy z odpowiedzialności za przestrzeganie norm.

Jeżeli wyroby walcowane zamawiane są z badaniami ultradźwiękowymi, to należy je przeprowadzać zgodnie z warunkami technicznymi, uzgodnionymi z Organem Nadzoru.

3.6 Skład chemiczny

Skład chemiczny materiałów powinien odpowiadać wymaganiom zawartym w uznanych przez Organ Nadzoru normach lub warunkach technicznych. Organ Nadzoru zastrzega sobie prawo do wyrykowej kontroli składu chemicznego wyrobu.

3.7 Własności mechaniczne

Własności mechaniczne materiałów powinny odpowiadać wymaganiom, zawartym w normach lub warunkach technicznych uznanych przez Organ Nadzoru.

3.8 Próby

Dla każdego pasma (blachy) powinny być przygotowane do badań następujące próbki:

- po 1 próbce do badań wytrzymałości na rozciąganie w temperaturze pokojowej, pobranej z początku i końca pasma;

- po 1 próbce do badań udarności w temperaturze pokojowej (dla grubości >5 mm) lub próbce do technologicznej próby zginania (dla grubości <5 mm), pobranej z początku i końca pasma.

Ten zakres badań mechanicznych ma także zastosowanie do blach wyciętych z jednego pasma, należącego do partii o tej samej obróbce cieplnej, odbieranych równocześnie. Dla blach o długości do 5 m próbki do badań mechanicznych mogą być pobierane tylko z jednego końca.

Odcinki próbne do badań mechanicznych powinny być pobierane po końcowej obróbce cieplnej. Odcinki próbne do badań wytrzymałości na rozciąganie winny być pobierane zgodnie z kierunkiem walcowania, zaś do badań udarności i zginania technologicznego poprzecznie do kierunku walcowania, w 1/3 szerokości pasma (blachy).

Dla pasm (blach) o grubości powyżej 10 mm próbki winny być pobrane z materiału w odległości $\approx \frac{1}{4}$ grubości od powierzchni. Dla każdej partii odkuwek i prętów powinny być wykonane następujące próbki:

- 1 próbka do badań wytrzymałości na rozciąganie w temperaturze otoczenia;
- 1 próbka do badania udarności pobrana wzdłuż kierunku walcowania dla wyrobów o grubości powyżej 20 mm. (Dla materiału o grubości powyżej 70 mm również 1 próbka poprzecznie do kierunku walcowania).

Odcinki próbne do badań wytrzymałościowych należy pobrać z jednego końca pręta w taki sposób, aby oś próbki była równoległa do kierunku walcowania i znajdowała się w odległości $\frac{1}{4}$ grubości od powierzchni. W przypadku prętów o średnicy powyżej 80 mm lub odkuwek o przekroju powyżej 5000 mm², odcinki próbne mogą być pobrane z oddzielnie wykonanego odcinka próbnego. Miejsce pobrania odcinka próbnego powinno być oddzielnie uzgodnione.

Jeżeli w zamówieniu zostały wyszczególnione badania dodatkowe, na przykład próba rozciągania w podwyższonej temperaturze, próba twardości, badanie struktury, itd. wówczas zakres badań i metoda badań oraz wymagane wartości powinny być uzgodnione z Organem Nadzoru.

Powinny być przeprowadzone badania powierzchni odkuwek i odlewów na obecność pęknięć i innych wad płaskich.

3.9 Badanie powtórne

Badanie powtórne wyrobów powinno być dokonane zgodnie z wymaganiami podanymi w pkt. 2.3 *Przepisów PRS, Cz. IX*.

3.10 Cechowanie wyrobów

Cechowanie wyrobów powinno być dokonane zgodnie z wymaganiami podanymi w pkt.1.9, *Przepisów PRS, Cz. IX*.

3.11 Dokumentacja techniczna wyrobu

Dokumentacja techniczna wyrobu powinna być zgodna z wymaganiami zawartymi w pkt.1.4, *Przepisów PRS, Cz. IX*.

3.12 Przetwórstwo stopów tytanu

Cięcie materiału

Cięcie stopów tytanu należy wykonywać metodami mechanicznymi na zimno lub palnikiem gazowym acetylenowo-tlenowym.

Gięcie materiału

Gięcie stopów tytanu należy wykonywać na zimno na walcach lub prasach hydraulicznych. Dopuszczalne promienie gięcia powinny być zgodne z instrukcją zakładową, uzgodnioną z Organem Nadzoru.

Spawanie

Stopy tytanu powinny być spawane w takich warunkach, aby była zagwarantowana ochrona spoiny i strefy materiału nagrzanego do temperatury 300 °C przed dostępem gazów z otaczającej atmosfery.

Spawanie należy wykonywać w osłonie gazów obojętnych elektrodą nietopliwą (TIG) lub elektrodą topliwą (MIG).

Odcinki wadliwe złączy spawanych oceniane na podstawie charakterystycznych przebarwień kolorów powinny być usunięte metodami mechanicznymi, za pomocą szlifowania. Napoiny należy wykonywać cienkimi warstwami. Każda następna napoina powinna być wykonywana po ostygnięciu poprzedniej do 200 °C.

Uwaga: Podczas operacji cięcia na zimno, szlifowania itp. tworzące się pyłki ze względu na duże powinowactwo do tlenu mogą powodować samozapłony. Należy więc stworzyć warunki do usuwania na bieżąco tych drobnych cząsteczek, aby nie przekroczyć stężenia niebezpiecznego, które określa się jako 4 mg/m³.

4 MATERIAŁY KOMPOZYTOWE

Nadzorowi podczas produkcji podlegają następujące materiały i wyroby:

- laminaty wzmocnione,
- materiały tekstylne powlekane,
- liny.

Do materiałów pochodzenia organicznego i z tworzyw sztucznych podlegających nadzorowi PRS zgodnie z postanowieniami zawartymi w *Przepisach klasyfikacji i budowy statków morskich PRS* oraz w innych *Przepisach*, ma zastosowanie *Publikacja Nr 40/P – Materiały i wyroby niemetalowe*.

Stosowanie laminatu poliestrowo-szklanego jako warstwy ochronnej dla drewna litego lub sklejk może być dopuszczone wyłącznie po zatwierdzeniu technologii wykonania takiej operacji.

4.1 Laminaty wzmocnione

Konstrukcyjne spoiwa poliestrowe (żywice lub ich mieszaniny) powinny zapewnić laminatom wymagane własności chemiczno-fizyczne i mechaniczne określone w *Części II – Kadłub*.

Nieutwardzone spoiwo konstrukcyjne powinno mieć lepkość dostosowaną do sposobu formowania laminatu. Przy formowaniu ręcznym lepkość w temperaturze 25 °C określona według normy PN-ISO 2555 powinna być nie mniejsza niż 600 mPa · s i nie większa niż 1000 mPa · s.

Jeżeli lepkość żywicy konstrukcyjnej jest niższa od wymaganej, to można zastosować środek tiksotropujący. Natomiast obniżenie lepkości można uzyskać przez dodanie styrenu.

Utwardzone spoiwa konstrukcyjne powinny być zgodne z normą PN-EN ISO 12215-1 i wykazywać własności podane w tabeli 4.1-1. Jeżeli żywica konstrukcyjna nie spełnia tych wymagań, to w uzgodnieniu z PRS można zastosować odpowiedni dodatek żywic modyfikujących w celu uzyskania wymaganych własności spoiwa.

Tabela 4.1-1

Własność utwardzonego spoiwa	Wartość	Badanie według normy
Wydłużenie względne przy zerwaniu	min. 1,5%	PN-EN ISO 527-1, -4
Wytrzymałość na rozciąganie	min. 45 MPa	PN-EN ISO 527-1, -4
Moduł sprężystości przy rozciąganiu	min. 3000 MPa	PN-EN ISO 527-1, -4
Temperatura ugięcia pod obciążeniem	min. 60 °C	PN-EN ISO 75-1, -3
Twardość	min. 35 °Barcola	PN-EN 59
Chłonność wody po 7 i 30 dniach	max 100 mg	PN-EN ISO 62

Zaleca się, aby spoiwa żelkotowe miały wydłużenie względne nie mniejsze niż 2,5%.

Spoiwa konstrukcyjne pod działaniem układu inicjator – przyspieszczacz powinny polimeryzować w temperaturze pokojowej, bez konieczności podgrzewania.

Do każdej partii żywicy powinien być dołączony atest wytwórni zawierający następujące dane:

- nazwę firmową żywicy,
- numer partii i datę produkcji,
- termin gwarantujący zachowanie własności żywicy w warunkach magazynowania zalecanych przez producenta.

Dodatki do żywic

Stosunek masy inicjatora i przyspieszacza do masy spoiwa powinien być zgodny z zaleceniami producenta. Wszelkie odstępstwa od receptury dopuszczalne są tylko wtedy, gdy na podstawie przeprowadzonych badań i doświadczeń zostanie uzyskany laminat o własnościach lepszych lub równoważnych.

Składniki te powinny powodować polimeryzowanie żywicy w temperaturze powyżej 16 °C.

Ilość styrenu dodawanego do spoiwa dla zmniejszenia jego lepkości nie powinna przekraczać ilości zalecanej przez producenta. W żadnym razie obniżenie lepkości spoiwa nie może powodować obniżenia wodoodporności i własności mechanicznych laminatu oraz powiększenia obciekalności i skurczu spoiwa podczas utwardzania. Dodatek styrenu powyżej 5% jest niedopuszczalny.

Środki tiksotropujące stosowane do spoiw konstrukcyjnych nie mogą pogarszać warunków polimeryzacji, ani zmniejszać ich własności mechanicznych. Zawartość środków tiksotropujących nie powinna przekraczać 5% masy spoiwa. Spoiwa konstrukcyjnego nie należy barwić.

Pigmenty i środki tiksotropujące użyte do żelkotu nie mogą hamować przebiegu polimeryzacji, nadmiernie przedłużać czasu utwardzania i obniżać wodoodporności spoiwa.

Udział wypełniaczy w żelkocie nie może być większy niż 11%, w tym środki tiksotropujące nie mogą przekroczyć 5% masy spoiwa.

Dozowanie i mieszanie dodatków ze spoiwem powinno być dokonywane szczególnie starannie i tylko przez osoby posiadające odpowiednią praktykę w tym zakresie.

Należy zwrócić szczególną uwagę, aby w czasie składowania i przerobu żywicy nie dostała się do niej woda.

Zbrojenie szklane

Jako zbrojenie należy stosować włókno wykonane z bezalkalicznego szkła typu „E” zgodnie z PN-ISO 2078, o zawartości tlenków metali alkalicznych mniejszej niż 1% (w przeliczeniu na Na₂O). Średnice pojedynczych włókien powinny wynosić od 9 µm do 20 µm.

Rowing można stosować do wyrobu zbrojenia w postaci mat, tkanin lub taśm. Pasma rowingu przy produkcji mat powinny być cięte na odcinki nie krótsze niż 50 mm.

Włókna szklane powinny być pokryte aktywną chemicznie preparacją zapewniającą należyte związanie zbrojenia z żywicą. Nie należy stosować tkanin o preparacji tłuszczowej. Lepiszczce sklejące pasma rowingu w matach powinno być rozpuszczalne w żywicy, a jego ilość nie powinna przekraczać 6% masy maty.

Do każdej partii zbrojenia szklanego powinien być dołączony atest wytwórni zawierający następujące dane:

- nazwę wytwórni,
- nazwę, typ i masę jednostkową materiału, g/m²,
- typ szkła,
- rodzaj preparacji lub rodzaj lepiszcza i jego masę jednostkową (dla mat).

Zbrojenie szklane nie może być zawilgocone. Zawilgoconych mat szklanych nie dopuszcza się do przerobu nawet po wysuszeniu.

Tworzywa piankowe

Wszystkie tworzywa piankowe powinny być odporne na działanie produktów ropopochodnych i wody morskiej.

Tworzywa piankowe powinny mieć strukturę złożoną głównie z komórek zamkniętych i nie powinny wykazywać z biegiem czasu lub pod wpływem temperatur poniżej 65 °C odkształceń skurczowych przekraczających wielkości tolerancji wymiarów liniowych.

Materiały piankowe zastosowane na jednostkach z laminatu nie powinny rozpuszczać się w żywicy.

Materiały piankowe stosowane na konstrukcje przekładkowe powinny mieć gęstość pozorną nie mniejszą niż 40 kg/m³.

Nasiąkliwość (objętościowo) nie powinna być większa niż:

- po jednej dobie – 0,6%,
- po 7 dobach – 1,0%.

Badanie winno być prowadzone zgodnie z normą ISO 2896

Konstrukcyjne materiały piankowe powinny wykazywać wytrzymałość na ścinanie i ściskanie nie mniejszą niż podano w tabeli 4.1-2. Zastosowanie konstrukcyjnych pianek poliuretanowych wymaga uzyskania zgody PRS.

Tabela 4.1-2

Material	Gęstość pozorna ¹⁾ [kg/m ³]	Orientacyjna wytrzymałość na ścinanie ²⁾ [MPa]	Orientacyjna wytrzymałość na ściskanie ³⁾ [MPa]
Polichlorek winylu	50	0,65	0,60 ÷ 1,20
Modyfikowany	60	0,95	
Izocjanianem	70	1,30	
	80	1,50	
Polichlorek winylu	80	0,70	0,58 ÷ 1,00
termoplastyczny	100	1,60	

¹⁾ badanie według normy PN-EN ISO 845

²⁾ badanie według normy ISO 1922

³⁾ badanie według normy ISO 844

Pianki wypornościowe mogą występować w postaci gotowych elementów, takich jak bloki i płyty. Zbiorniki wypornościowe można także wypełniać pianką dwuskładnikową reagującą bezpośrednio we wnętrzu tych zbiorników, pod warunkiem całkowitego wypełnienia.

Wodochłonność pianki wypornościowej po całkowitym zanurzeniu przez 8 dni nie powinna przekraczać 8% jej objętości.

Pianka wypornościowa powinna w zasadzie być odporna na działanie produktów ropopochodnych, dopuszcza się jednak użycie pianki nie spełniającej tego wymagania, pod warunkiem wykonania bezpiecznej ochrony przed dostępem takich produktów do pianki.

4.2 Inne laminaty

Laminaty, w których osnowę tworzą inne rodzaje żywic oraz zbrojeniem są tworzywa inne niż szklane (aramidowe, węglowe lub hybrydowe) podlegają odrębnemu uzgodnieniu przez Organ Nadzoru.

4.3 Technologia budowy z laminatów

Magazyny

Żyvice powinny być składowane w szczelnych pojemnikach (najlepiej oryginalnych opakowaniach fabrycznych), w pomieszczeniu o temperaturze zalecanej przez producenta, bez dostępu światła. Okres magazynowania żywicy nie powinien przekraczać okresu gwarancyjnego podanego na opakowaniu.

Inicjatory i przyspieszacze powinny być przechowywane w pomieszczeniach chłodnych, suchych, czystych i dobrze wentylowanych.

Wszystkie inne dodatki do żywic powinny być przechowywane w zamkniętych pojemnikach, zabezpieczonych przed kurzem i wilgocią.

Materiały zbrojeniowe należy przechowywać w oryginalnych opakowaniach, w pomieszczeniach suchych i pozbawionych kurzu.

Temperatura materiałów przygotowanych do przerobu powinna odpowiadać temperaturze pomieszczenia produkcyjnego.

Pomieszczenia produkcyjne

Stosownie do wielkości i charakteru produkcji, pomieszczenia produkcyjne powinny być odpowiednio oddzielone od pomieszczeń magazynowych, a różne cykle procesu technologicznego (przygotowanie żywic, cięcie zbrojenia i laminowanie) powinny przebiegać w oddzielnych, ale przyległych do siebie pomieszczeniach.

Pomieszczenie produkcyjne powinno zapewniać możliwość utrzymywania stałej temperatury w granicach $16 \div 25$ °C. Wyjątkowo można dopuścić do obniżenia temperatury do 12 °C, lecz dopiero po zakończeniu laminowania i żelowania elementów konstrukcyjnych kadłuba oraz co najmniej 12 godzin po żelowaniu żywicy. Czas trwania obniżonej temperatury powinien być minimalizowany w zależności od masy konstrukcji i czasu, jaki upłynął od ostatniego laminowania.

Podłoga w pomieszczeniu produkcyjnym powinna być czysta i niepyląca. Czystość powinna być utrzymywana w takim stopniu, jak to jest praktycznie możliwe. Powietrze w tym pomieszczeniu powinno być wolne od zapyleń, szczególnie takimi substancjami, które mogą wpływać ujemnie na proces polimeryzacji lub tworzyć warstwy rozdzielające poszczególne elementy laminowane. Praca maszyn wytwarzających pył jest w tym pomieszczeniu niedopuszczalna.

Wilgotność względna pomieszczenia nie powinna w zasadzie przekraczać 70%. Na krótkie okresy dopuszcza się wilgotność względną do 85%.

W pomieszczeniu, w którym wykonywane jest laminowanie, należy zapewnić ciągłą kontrolę temperatury i wilgotności.

Stosowana wentylacja nie powinna powodować nadmiernego odparowania styrenu.

Laminowane elementy należy zabezpieczyć przed działaniem promieni słonecznych.

Formy

Materiały użyte na formy nie mogą wpływać na proces polimeryzacji żywicy. Formy powinny być wystarczająco sztywne, a ich kształt tak dobrany, aby pozwalał na łatwe odformowanie.

Przy dużych formach laminowanie należy wykonywać z pomostów umożliwiających dostęp do całej powierzchni laminowanej.

Zaleca się, szczególnie przy większych kadłubach, stosowanie form obrotowych (lub przechyłanych), aby umożliwić laminowanie podolne.

Budowa jednostek bez zastosowania form (tzw. one-off) będzie odrębnie rozpatrywana przez Organ Nadzoru.

Laminowanie

Żywica przeznaczona na żelkot i warstwy konstrukcyjne laminatu powinna być przygotowana zgodnie z zaleceniami producenta żywicy.

Czas żelowania przygotowanej żywicy nie powinien przekraczać 1 godziny. Zmianę czasu żelowania żywicy należy regulować ilościową zmianą przyspieszacza bez zmian zalecanej ilości inicjatora.

Zbrojenie należy stosować w tak dużych odcinkach, jak jest to możliwe. Zaleca się stosowanie mat z krawędziami rwanymi, a nie ciętymi.

W czasie całego procesu laminowania należy zapewnić stałą kontrolę proporcji żywicy do zbrojenia. Przy przygotowywaniu mat szklanych do laminowania należy uwzględniać masę lepiszcza (odjąć masę lepiszcza od masy całkowitej zbrojenia).

Przed rozpoczęciem laminowania poszycia kadłuba, formy powinny być dokładnie oczyszczone, wysuszone i doprowadzone do temperatury pomieszczenia. Szpachlówki stosowane do konserwacji form i środki rozdzielające nie mogą reagować z żywicami.

Warstwa żelkotu może być nakładana przy pomocy pędzla, wałka lub urządzenia natryskowego. Jej grubość powinna w zasadzie wynosić $0,4 \div 0,6$ mm.

Warstwa żelkotu, po upływie czasu nie dłuższego niż 6 godzin (po zżelowaniu) powinna być pokryta pierwszą warstwą laminatu zbrojonego lekką tkaniną lub matą o masie powierzchniowej nie większej niż 300 g/m^2 . Warstwa ta powinna być szczególnie dobrze odpowietrzona, a zawartość zbrojenia powinna wynosić $20 \div 30\%$.

Laminowanie właściwych warstw konstrukcyjnych powinno odbywać się ręczną metodą kontaktową przy pomocy wałków miękkich i twardych oraz pędzli. Laminowanie metodą natrysku ciętego rowingu z żywicą dozwolone jest tylko przy laminowaniu pierwszej warstwy.

Laminowanie powinno odbywać się bez przerw („mokre na mokre”). W razie przerw trwających ponad dobę powierzchnię połączenia należy odpowiednio

przygotować przez szlifowanie lub przez położenie tkaniny poliamidowej przeznaczonej do oddzierania.

Nakładanie kolejnych warstw zbrojenia powinno być przeprowadzone bez wyczekiwania na utwardzenie żywicy warstw poprzednich. Nie należy kłaść zbyt dużej liczby warstw laminatu jednocześnie, co może doprowadzić do jego przegrzania.

Gdy laminowanie zostanie przerwane w takim momencie, że ostatnia warstwa żywicy zdążyła już stwardnieć, pierwsza z następnych warstw powinna być rozpoczęta od maty szklanej. Zaleca się także stosowanie maty na ostatnią warstwę laminatu poszycia w części dennej.

Szerokość zakładki zbrojenia tej samej warstwy nie powinna być mniejsza niż 50 mm. Zakładki różnych warstw powinny być przesunięte względem siebie o co najmniej 100 mm.

Zmiany ilości zbrojenia w laminacie powinny być stopniowane tak, aby nie przekraczały 600 g/m^2 na każde 25 mm szerokości pasa przejściowego.

Krawędzie materiałów takich, jak: drewno, sklejka, metale i pianki rdzeniowe, które mają być w laminowane we wnętrzu poszyc, powinny być stopniowo ścięciane.

Utwardzanie

Po zakończeniu laminowania elementy kadłuba powinny być pozostawione w formach na czas potrzebny do wstępnego utwardzenia laminatu. Okres ten powinien trwać co najmniej 24 godziny.

Elementy bezpośrednio wyjęte z form powinny być do czasu uzyskania właściwej sztywności odpowiednio podparte lub tak połączone z innymi elementami, aby się nie odkształcały.

Po zakończeniu laminowania elementy kadłuba powinny być pozostawione w pomieszczeniu produkcyjnym lub innym, o temperaturze nie mniejszej niż $16 \text{ }^\circ\text{C}$, do czasu uzyskania odpowiedniej twardości (około $35 \div 40$ wg Barcola). Jeżeli nie można dokonać pomiaru twardości, okres utwardzania można uznać za wystarczający po czasie:

30 dni	–	w temperaturze $16 \text{ }^\circ\text{C}$
5 dni	–	w temperaturze $25 \text{ }^\circ\text{C}$
15 godzin	–	w temperaturze $40 \text{ }^\circ\text{C}$
9 godzin	–	w temperaturze $50 \text{ }^\circ\text{C}$
5 godzin	–	w temperaturze $60 \text{ }^\circ\text{C}$

Zaleca się wygrzewanie kadłuba. Należy przy tym unikać gwałtownych zmian temperatury. Stopniowe podnoszenie temperatury należy przeprowadzać według zaleceń producenta żywicy. Powietrze w wygrzewalni powinno być suche, a kadłub w czasie wygrzewania powinien być właściwie podparty. Nie wolno przekraczać temperatury odporności cieplnej laminatu lub pianek rdzeniowych użytych do budowy kadłuba.

Kontrola jakości

W trakcie całego procesu laminowania należy zapewnić bieżącą kontrolę zgodności:

- składowania materiałów,
- miejsca produkcji i stanu form,
- procesu formowania i utwardzania,
- kolejności, rodzaju i ilości nakładanych warstw zbrojenia zgodnie z zatwierdzoną dokumentacją klasyfikacyjną,

W razie stwierdzenia nieprawidłowości należy podjąć działania zaradcze. Ewentualnych napraw należy dokonywać w sposób uprzednio uzgodniony z Organem Nadzoru.

Dostawca okrętu powinien przedstawić wyniki badań laminatu z płyty kontrolnej w celu ustalenia własności wytrzymałościowych.

Płyta kontrolna powinna mieć wymiary 400 × 500 mm. Grubość i konstrukcja tej płyty powinna ściśle odpowiadać laminatowi poszycia burty na śródkręciu, o ile nie postanowiono inaczej. Sposób utwardzania płyty kontrolnej powinien być identyczny ze sposobem utwardzania poszycia okrętu. Jako próbki można, po uprzednim uzgodnieniu z Organem Nadzoru PRS, uznać fragmenty poszycia pochodzące z wycięcia większych otworów.

Płyta kontrolna powinna być wykonana przez osoby wykonujące poszycie kadłuba, w warunkach odpowiadających procesowi laminowania i z tych samych materiałów co kadłub.

Płyta kontrolna powinna być wykonana przed rozpoczęciem procesu formowania kadłuba i wtedy wyniki badań należy dołączyć do dokumentacji klasyfikacyjnej lub w trakcie procesu formowania kadłuba.

Badania próbek z płyt kontrolnych powinny być przeprowadzone w uznanym przez PRS laboratorium, a sprawozdanie z badań powinno zawierać informacje podane w tabeli 4.3-1:

Tabela 4.3-1
Dane do sprawozdania z badań płyt kontrolnych

Własności utwardzonego lps	Badanie według normy
zawartość zbrojenia szklanego, [%]	ISO 1172
wytrzymałość na rozciąganie, [MPa]	PN-81/C-89034 lub ISO R527-1966
moduł sprężystości przy rozciąganiu, [MPa]	PN-82/C-89051 lub ISO R527-1966
wytrzymałość na zginanie, [MPa]	PN-79/C-89027 lub ISO R178-1975
moduł sprężystości przy zginaniu, [MPa]	PN-82/C-89051 lub ISO R178-1975
twardość wg Barcola	ASTM ^{*)} /D 2583-87

^{*)} American Society for Testing Materials (Amerykańskie Stowarzyszenie Badania Materiałów)

Własności laminatu

Laminaty zbrojone matami szklanymi powinny wykazywać zawartość zbrojenia z w granicach $28 \div 33\%$ w stosunku do masy laminatu.

Laminaty o zbrojeniu mieszanym (maty i inne typy zbrojeń) powinny wykazywać masowy udział zbrojenia z w zakresie określonym z równań:

$$z_{min} = \frac{M_{zb}}{3,6 M_M + 2,2 M_T + 2,0 M_K} 100\% \quad (4.1-1)$$

$$z_{max} = \frac{M_{zb}}{3,0 M_M + 1,65 M_T + 1,5 M_K} 100\% \quad (4.1-2)$$

gdzie:

M_{zb} – całkowita masa zbrojenia w laminacie, $[\text{g}/\text{m}^2]$,

M_M – masa zbrojenia z mat, $[\text{g}/\text{m}^2]$,

M_T – masa zbrojenia z tkanin, $[\text{g}/\text{m}^2]$,

M_K – masa zbrojenia jednokierunkowego, $[\text{g}/\text{m}^2]$.

Zastosowanie laminatów o innej zawartości zbrojenia, niż to podano powyżej, podlega osobnemu rozpatrzeniu przez PRS.

Przy przeciętnie poprawnym wykonaniu grubość g otrzymanego laminatu powinna być zbliżona do wartości:

$$g = \frac{M_{zb}}{1000} \left(\frac{83}{z} - 0,44 \right), \quad [\text{mm}] \quad (4.1-3)$$

gdzie:

M_{zb} – całkowita masa zbrojenia w laminacie, $[\text{g}/\text{m}^2]$,

z – procentowy masowy udział zbrojenia w laminacie.

Własności mechaniczne laminatów zbrojonych matami: wytrzymałość na rozciąganie R_m , wytrzymałość na zginanie R_g , moduł sprężystości przy rozciąganiu E_m i moduł sprężystości przy zginaniu E_g nie powinny być mniejsze niż określone ze wzorów:

$$R_m = 4 z - 30, \quad [\text{MPa}] \quad (4.1-4)$$

$$R_g = 4 z + 35, \quad [\text{MPa}] \quad (4.1-5)$$

$$E_m = 200 z + 1000, \quad [\text{MPa}] \quad (4.1-6)$$

$$E_g = 200 z + 500, \quad [\text{MPa}] \quad (4.1-7)$$

gdzie:

z – procentowy masowy udział zbrojenia w laminacie.

Własności mechaniczne laminatu przedstawia tabela 4.3-2:

Tabela 4.3-2
Własności mechaniczne laminatów zbrojonych matami

Zawartość zbrojenia [%]	Ilość zbrojenia w 1 mm grub. [g/m ²]	Masa właściwa laminatu [g/m ²]	R_m [MPa]	R_g [MPa]	E_m [MPa]	E_g [MPa]
28	396	1,41	82	147	6600	6100
29	413	1,42	86	151	6800	6300
30	430	1,43	90	155	7000	6500
31	447	1,44	94	159	7200	6700
32	464	1,45	98	163	7400	6900
33	482	1,46	102	167	7600	7100
34	500	1,47	106	171	7800	7300
35	518	1,48	110	175	8000	7500

Własności mechaniczne laminatów o zbrojeniu mieszanym: wytrzymałość na rozciąganie R_m , wytrzymałość na zginanie R_g , moduł sprężystości przy rozciąganiu E_m i moduł sprężystości przy zginaniu E_g nie powinny być mniejsze niż określone z równań:

$$R_m = 0,19 z^2 - 10 z + 210, \quad [\text{MPa}] \quad (4.3-8)$$

$$R_g = 0,19 z^2 - 10 z + 270, \quad [\text{MPa}] \quad (4.3-9)$$

$$E_m = 400 z - 5800, \quad [\text{MPa}] \quad (4.3-10)$$

$$E_g = 12 z^2 - 750 z + 18400, \quad [\text{MPa}] \quad (4.3-11)$$

gdzie:

z – procentowy masowy udział zbrojenia w laminacie.

Własności laminatów o zbrojeniu mieszanym przedstawia tabela 4.3-3:

Tabela 4.3-3
Własności laminatów o zbrojeniu mieszanym

Zawartość zbrojenia [%]	Ilość zbrojenia w 1 mm grub. [g/m ²]	Masa właściwa laminatu [g/m ²]	R_m [MPa]	R_g [MPa]	E_m [MPa]	E_g [MPa]
1	2	3	4	5	6	7
35	518	1,48	93	153	8200	6850
36	536	1,49	96	156	8600	6952
37	555	1,50	100	160	9000	7078
38	573	1,51	104	164	9400	7228
39	592	1,52	109	169	9800	7402
40	612	1,53	114	174	10200	7600

1	2	3	4	5	6	7
41	631	1,54	119	179	10600	7822
42	651	1,55	125	185	11000	8068
43	671	1,56	131	191	11400	8338
44	691	1,57	138	198	11800	8632
45	712	1,58	145	205	12200	8950
46	733	1,59	152	212	12600	9292
47	754	1,60	160	220	13000	9658
48	776	1,62	168	228	13400	10048
49	796	1,63	176	236	13800	10462
50	820	1,64	185	245	14200	10900

Podane powyżej własności mechaniczne przyjęto jako minimalne wartości dla próbek z płyt kontrolnych.

Przydatność laminatów, których próbki z płyt kontrolnych wykazują wytrzymałość lub moduł sprężystości mniejsze od wartości określonych powyżej będzie odrębnie rozpatrywana przez Organ Nadzoru.

5 MATERIAŁY PRZECIWBALISTYCZNE

5.1 Zakres zastosowania

Materiały przeciwbalistyczne służą do ochrony żywotnych rejonów okrętu przed oddziaływaniem pocisków i odłamków. Nadzorowi podczas produkcji podlegają następujące materiały i wyroby w wykonaniu przeciwbalistycznym:

- stале pancerne (płyty stalowe),
- płyty stalowe warstwowe konstrukcyjno – balistyczne,
- materiały ceramiczne,
- laminaty na bazie włókien,
- osłony hybrydowe metalowe,
- osłony hybrydowe (kompozytowe),
- inne.

Kompozycja materiałów przeciwbalistycznych, własności mechaniczne, odporność balistyczna podlegają odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

Materiały na osłony balistyczne okrętów to materiały o znacznie skuteczniejszej od tradycyjnych materiałów konstrukcyjnych, zdolności obniżenia energii kinetycznej pocisków i odłamków trafiających w osłony. Materiały te często też poza obniżaniem energii pocisków również je deformują, dzięki czemu następna warstwa osłony jest w stanie pochłonać znacznie więcej energii niż podczas trafienia w tę warstwę pociskiem nie zdeformowanym.

5.2 Rodzaje materiałów na osłony balistyczne

Na osłony balistyczne mogą być zastosowane następujące materiały konstrukcyjne:

- .1 Materiały metalowe;
 - stale pancerne specjalne,
 - stopy aluminium jako składnik osłon hybrydowych.
- .2 Materiały ceramiczne spiekane na bazie;
 - tlenku glinu (Al_2O_3),
 - węgla krzemu (SiC),
 - węgla boru (B_4C),
 - tlenku berylu (Be_2O),
 - mieszanin innych związków chemicznych.
- .3 Materiały kompozytowe na bazie wysokowytrzymałych włókien:
 - szklanych (szkło typu E, S-2),
 - aramidowych (Kevlar 129, Twaron),
 - polietylenowych (Spectra, Dyneema),
 - PBO (Zylon),
 - innych.

Jako spoiwa w tych kompozytach mogą być zastosowane:

- żywice fenolowe,
- żywice fenolowo - poliwinylbutyralowe,
- żywice epoksydowe,
- żywice winyloestrowe,
- żywice silikonowe,
- inne.

Mogą być również zastosowane gotowe preimpregnaty wytworzone w wytwórni, takie jak Spectra Shield (włókna Spectra w osnowie polietylenowej przygotowane do prasowania).

Materiały przeciwbalistyczne mogą być stosowane samodzielnie (na przykład stale pancerne, materiały kompozytowe) lub w zestawieniu z innymi. Zastosowanie w jednej osłonie różnych materiałów w zestawie ma na celu wykorzystanie ich specyficznych własności osłon hybrydowych, takich jak „ceramika – stal (stopy aluminium)” lub „ceramika – stal pancerna lub kompozyt na bazie włókien”.

5.3 Odbiór osłon balistycznych

Odbiór będący weryfikacją zdolności ochronnych osłon balistycznych przed pociskami i odłamkami należy przeprowadzać metodą przestrzeliwania próbek osłon w warunkach zbliżonych do rzeczywistych warunków ostrzału, jakie może napotkać okręt.

Podstawą odbioru jest zatwierdzony program prób zawierający:

- .1 Plan rozmieszczenia przestrzeni chronionych okrętu.

- .2 Specyfikację zagrożeń dla poszczególnych pomieszczeń z następującymi informacjami:
 - kaliber i rodzaj pocisków, ich prędkość, rodzaj broni i odległość ostrzału lub prędkość pocisków, z jaką trafiają w okręt (osłonę),
 - rodzaj i prędkość odłamków (zgodnie z normą STANAG 2920) oraz miejsce ich powstawania (miejsce wybuchu pocisku lub rakiety),
 - strefa ostrzału karabinowego (kierunek i kąt ostrzału),
 - zakładane prawdopodobieństwo przebicia osłon – jako podstawowe przyjmuje się 10%, co oznacza, że 90% pocisków lub odłamków trafiających w osłonę zostanie zatrzymanych.
- .3 Grubość poszycia netto (rzeczywista grubość blach elementów konstrukcji okrętu, z których zbudowano dany element konstrukcyjny pomniejszony o ubytek grubości wynikający z warunków eksploatacji) tych elementów konstrukcji kadłuba (grodzi, burt, ścianek), które przebije pocisk przed trafieniem w osłonę balistyczną.
- .4 Zestawienie wybranych próbek (próbki osłon balistycznych i próbek osłanianych blach konstrukcji).
- .5 Warunki przeprowadzania prób oraz metodykę określania prędkości v_{10} .

Ostrzał próbek należy przeprowadzać tak, aby pocisk (model odłamka) musiał przebić wcześniej próbki blach konstrukcji, które będą występować w danym rejonie okrętu podczas rzeczywistego ostrzału. W uzasadnionych wypadkach Organ Nadzoru może odstąpić od wymagania ostrzału próbek osłon poprzez próbki poszycia konstrukcji, na przykład wówczas, gdy wpływ poszycia na skuteczność osłon jest niewielki.

Organ Nadzoru może odstąpić od wymagania przeprowadzenia prób wynikających z niektórych rodzajów zagrożeń, jeżeli zagrożenia te wymagają znacznie cieńszych osłon niż inne występujące jednocześnie.

W przypadku, gdy wśród wyspecyfikowanych dla osłon zagrożeń występuje jedno wymagające zdecydowanie grubszych osłon niż pozostałe, Organ Nadzoru może wyrazić zgodę na ograniczenie prób wynikających z tego zagrożenia. Każdy taki przypadek wymaga indywidualnego rozpatrzenia w oparciu o wiarygodne informacje. Organ Nadzoru może wymagać dodatkowych prób balistycznych potwierdzających poprawność przyjętych założeń.

Dla każdego typu i grubości osłony balistycznej, przewidzianej do montażu na okręcie, należy przeprowadzić próby ostrzału z użyciem takiego zestawu blach ustawionych względem siebie jak w rzeczywistości jest na okręcie. Położenie zestawu względem toru lotu pocisku należy wybrać tak, aby łączna grubość blach i osłon była minimalna.

Odległość między próbkami osłon i blach konstrukcyjnych winna odwzorować rzeczywisty najgorszy pod względem przebijalności stan okrętu.

Dla osłon montowanych na jednej płycie konstrukcji okrętu, poprzedzonej lub nie poszyciem w płaszczyźnie równoległej do niej, ostrzał należy przeprowadzać prostopadle do powierzchni osłon i poszycia.

W przypadku ostrzału próbek osłon montowanych na płaskich powierzchniach, gdy pocisk musi wcześniej pokonać poszycie ustawione prostopadle do osłony, kąt ostrzału, przy którym zestaw ma najmniejszą odporność przeciwbalistyczną można obliczyć z równania:

$$\alpha_{min} = \arctg^3 \sqrt{\frac{t_1}{t_2 + E_t \cdot t_0}} \quad (5.2-1)$$

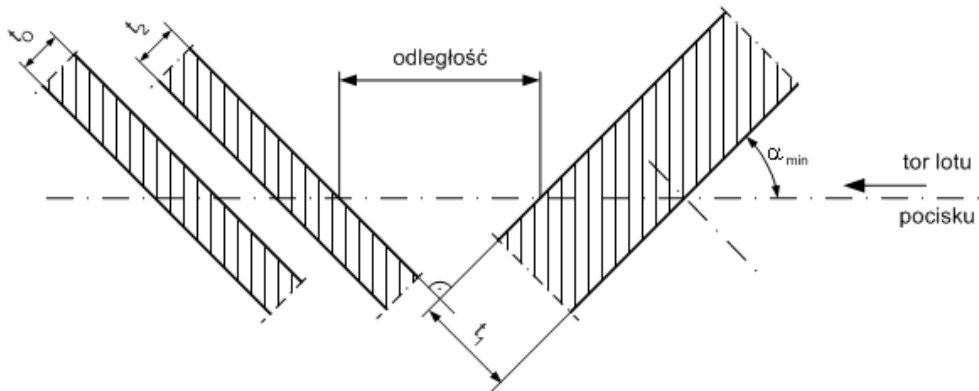
gdzie:

t_1 – grubość netto pierwszej przebijanej blachy,

t_2 – grubość netto drugiej przebijanej blachy,

t_0 – grubość osłony balistycznej,

E_t – grubościowa efektywność osłony balistycznej w stosunku do materiału blach konstrukcji okrętu.



Rys. 5.3 Określenie kąta odpowiadającego minimalnej łącznej grubości osłony i blach poszycia

Grubościowa efektywność osłony jest to stosunek minimalnej grubości blachy poszycia, która zatrzyma pocisk, do grubości osłony potrzebnej do zatrzymania pocisku. Efektywność tę należy oszacować na podstawie danych z dostępnych prób, informacji producentów osłon, itp. Przy braku wiarygodnych danych należy przyjąć pewien rozrzut wielkości E_t . Jeżeli zakres tak określonych kątów jest zbliżony, to należy przyjąć średnią wartość α_{min} .

W przypadku, gdy grubość blach konstrukcji okrętu jest na tyle duża, że nie występuje konieczność stosowania osłon balistycznych, należy stopień ochrony zweryfikować ostrzałem samej konstrukcji okrętu ($t_0 = 0$).

Każdy rodzaj osłony (zestawu „osłona/konstrukcja poprzedzająca”) należy poddać ostrzałowi przez taką ilość pocisków o różnej i pomierzonej prędkości, aby było możliwe opracowanie statystycznie poprawnego wykresu prawdopodobieństwa przebiccia w funkcji prędkości pocisku/odłamka.

Prędkość pocisku odpowiadająca prawdopodobieństwu przebicia osłony nie większemu niż 10% powinna być nie mniejsza od prędkości pocisku (odłamka) trafiającego w osłonę okrętu zgodnie ze specyfikacją.

W uzasadnionych przypadkach Organ Nadzoru może wyrazić zgodę na przeprowadzenie prób ostrzału zgodnie z uznanymi normami (STANAG 2920, NIL Standard, DIN, etc.), jeżeli dana norma zawiera wyspecyfikowany rodzaj zagrożenia oraz zastosowane prędkości v_{50} . Przyjęta prędkość v_{50} powinna być wówczas odpowiednio większa od wyspecyfikowanej prędkości v_{10} . Różnica, jaką należy przyjąć pomiędzy prędkościami v_{10} i v_{50} powinna być taka, jaka byłaby gdyby wykonano dla danej osłony i zagrożenia pełen wykres prawdopodobieństwa przebicia osłony w funkcji prędkości pocisku (odłamka). Wiarygodne dane o różnicy prędkości

$v_{50} - v_{10}$ są podstawą decyzji PRS o akceptacji sposobu określania v_{10} poprzez znormalizowane określenie v_{50} .

Z prób ostrzału próbek osłon należy sporządzić protokół i przedstawić do akceptacji PRS.

6 MATERIAŁY ZMNIEJSZAJĄCE SKUTECZNĄ POWIERZCHNIĘ ODBICIA (SPO)

6.1 Zakres zastosowania

Nadzorowi podczas produkcji podlegają takie materiały i wyroby, które po nałożeniu na obiekt skutecznie ograniczają jego powierzchnię odbicia wskutek zmniejszenia energii elektromagnetycznej odbijanej w kierunku radaru. Absorbencja energii jest dokonywana w strukturze materiału poprzez zamianę energii fal elektromagnetycznych na ciepło. Dąży się przy tym do osiągnięcia dużego tłumienia w szerokim paśmie częstotliwości przy jednoczesnym zapewnieniu jak najmniejszej grubości materiału.

W konstrukcjach starszych okrętów nie optymalizowanych pod względem SPO materiały tego typu mogą być stosowane, w ramach modernizacji jednostki, na niewielkich powierzchniach w rejonie istniejących największych centrów rozproszenia (odbicia) fal elektromagnetycznych. Skutecznie działające materiały mają grubość od kilku milimetrów do kilku centymetrów.

Na nowszych jednostkach projektowanych zgodnie z regułami technologii „stealth” z zainstalowanym nad pokładem sprzętem i uzbrojeniem materiały pochłaniające mogą mieć zastosowanie głównie do zmniejszania powierzchni skutecznej zamontowanych na zewnątrz systemów. Powierzchnie pokryte materiałem winny być i w tym przypadku niewielkie.

Na jednostkach projektowanych jako „superstealth”, bryła okrętu stanowi jednolitą strukturę, bez widocznych elementów zewnętrznego wyposażenia. Okręt prawie nie odbija promieniowania elektromagnetycznego w kierunku wstecznym i jego powierzchnia skuteczna ulega znacznemu zmniejszeniu. SPO nie ulega jednak redukcji w tym samym stopniu, co redukcja efektów odbicia energii, ponieważ

następuje rozproszenie fali elektromagnetycznej w kierunku wstecznym na brzegach i nieciągłościach struktury okrętu, spowodowane istnieniem fal powierzchniowych. Eliminację tego zjawiska osiąga się poprzez zastosowanie warstwy materiału, pochłaniającego falę powierzchniową. Należy w takim przypadku pokrywać duże powierzchnie zewnętrzne okrętu, a zastosowany materiał może być przygotowany jako powłoka posiadająca charakterystyki absorbera.

6.2 Zasady odbioru

Materiały zmniejszające SPO powinny mieć certyfikat, opisujący jego główne parametry elektromagnetyczne i mechaniczne, takie jak:

- a) współczynnik tłumienia w zależności od kąta padania fali elektromagnetycznej dla całego pasma częstotliwości pracy,
- b) pasmo częstotliwości pracy,
- c) grubość,
- d) ciężar jednostkowy,
- e) sposób łączenia ze strukturą okrętu,
- f) wytrzymałość struktury połączeń,
- g) odporność na zmiany temperatury,
- h) odporność na działanie wilgoci i wody,
- i) odporność na ogień.

W procesie odbioru powinny być weryfikowane:

- a) wybrane parametry materiału, szczególnie istotne dla warunków działania jednostki,
- b) SPO okrętu jako całości na zgodność z założeniami po zakończeniu budowy.

6.3 Metody łączenia z konstrukcją okrętu

Materiały zmniejszające SPO okrętu mogą stanowić:

- a) strukturę konstrukcyjno-tłumiącą o charakterze kompozytowym,
- b) strukturę klejoną do wybranych części nadbudowy okrętu,
- c) powłoki natryskiwane lub nanoszone inną, typową dla powłok malarskich technologią.

Inne technologie łączenia podlegają odrębnemu uzgodnieniu z PRS.
