

Dr inż. **MAREK ŚLIWOWSKI**
NDTEST Sp. z o.o. – www.ndtest.com.pl
Warszawa
e-mail: m.sliwowski@ndtest.com.pl

RADIOGRAFICZNE BADANIE ODLEWÓW METALICZNYCH – WYMAGANIA NORMY EN 12681

WSTĘP

W ramach prac Komitetu Technicznego CEN/TC 190 „Wyroby odlewane. ” w lipcu 2003 opracowywana została norma wyrobu:

EN 12681: 2003 Wyroby odlewane. Badania radiograficzne.

Norma EN 12681 uzyskała już w chwili obecnej status normy europejskiej i jako taka może być w formie okładowej stosowana w Polsce.

W poniższym tekście omówiono dosyć szczegółowo i wiernie podstawowe wymagania normy EN 12681, które autorowi wydawały się niezbędne dla poprawnego i pełnego wykonania procedury radiograficznego badania odlewów metalicznych.

Ta norma badania wyrobów odlewanych jest kolejną z serii europejskich norm zharmonizowanych, w której starano się uzgodnić zapisy, terminologię i zawartość merytoryczną z istniejącymi już normami ogólnymi i przedmiotowymi dla badań radiograficznych (np. EN 444).

Wydaje się to mieć istotne znaczenie dla przejrzystości i jednoznaczności wymagań w przemyśle jak też wobec intensywnie się ostatnio rozwijającego w Polsce procesu certyfikacji personelu wg EN 473.

.

1 Zakres normy

Norma EN 12681 ustala wymagania specjalnej procedury przemysłowych badań radiograficznych za pomocą źródeł promieniowania X lub gamma, z wykorzystaniem techniki błon radiograficznych.

Norma powyższa ma zastosowanie do badania wyrobów uzyskiwanych w procesie odlewania, w szczególności do odlewów staliwnych, żeliwa, magnezu, cynku, miedzi, niklu, aluminium oraz ich stopów.

Norma EN 12681 nie powinna być stosowana do:

- badania połączeń spawanych odlewów;
- formułowania kryteriów akceptacji;
- radioskopii (badania w czasie rzeczywistym).

2 Normy powołane

EN 444:1994	Non-destructive testing. General principles for radiographic examination of metallic materials by X- and gamma rays.
<i>PN-EN 444:1998</i>	<i>Badania nieniszczące. Ogólne zasady radiograficznych badań materiałów metalowych za pomocą źródeł promieniowania X i gamma .</i>
EN 462-1:1994	Non-destructive testing. Image quality of radiographs. Part 1: Image quality indicators (wire type). Determination of image quality value.
<i>PN-EN 462-1:1998</i>	<i>Badania nieniszczące. Jakość obrazu radiogramów. Część 1: Wskaźniki jakości obrazu (typu pręcikowego). Liczbowe wyznaczanie jakości obrazu</i>
EN 462-2:1994	Non-destructive testing. Image quality of radiographs. Part 2: Image quality indicators (step/hole type). Determination of image quality value.
<i>PN-EN 462-2:1998</i>	<i>Badania nieniszczące. Jakość obrazu radiogramów. Część 2: Wskaźniki jakości obrazu (typu schodkowo-otworkowego). Liczbowe wyznaczanie jakości obrazu</i>
EN 462-3:1994	Non-destructive testing. Image quality of radiographs. Part 3: Image quality classes for ferrous metals.
<i>PN-EN 462-3:1998</i>	<i>Badania nieniszczące. Jakość obrazu radiogramów. Część 3: Wskaźniki jakości obrazu dla stopów żelaza.</i>
EN 462-4:1994	Non-destructive testing. Image quality of radiographs. Part 4: Experimental evaluation of image quality values and image quality tables.
<i>PN-EN 462-4:1998</i>	<i>Badania nieniszczące. Jakość obrazu radiogramów. Część 1: Doświadczalne wyznaczanie liczbowej jakości obrazu i tablice jakości obrazu.</i>
EN 25580:1992	Non-destructive testing. Industrial radiographic illuminators. Minimum requirements.
<i>PN-EN 25580:1997</i>	<i>Badania nieniszczące. Przemysłowe negatoskopy radiograficzne. Wymagania minimalne.</i>

3 Oznaczenia

Oznaczenia stosowane w tej normie zostały uzgodnione z normą terminologiczną, ultradźwiękową EN 1330-3 oraz normą przedmiotową EN 444.

4 Wymagania ogólne

Powyższa norma EN powinna być używana w połączeniu z EN 444.

Protokół badania powinien spełniać wymagania normy EN 444.

Przy stosowaniu źródeł emitujących promieniowanie jonizujące należy stosować lokalne, narodowe lub międzynarodowe przepisy bezpieczeństwa.

Warunki uzgodnienia zamówienia

Odlewy o złożonej geometrii mogą zawierać obszary, które nie dadzą się zbadać radiograficznie lub można dla nich wykonać tylko częściowe badanie. Miejsca takie powinny być zidentyfikowane przed rozpoczęciem badań radiograficznych. Obszary, które nie mogą być poddane inspekcji radiograficznej podlegają uzgodnieniu przez wszystkie strony zamówienia i należy je oznaczyć na planie wykonywanych ekspozycji (rozmieszczenia radiogramów).

Ponadto uzgodnieniu podlegają następujące punkty:

- faza wytwarzania wyrobu, w której podlega on badaniu;
- zakres badania;
- obszary badania;
- stan powierzchni;
- klasa badania wg EN 444:
Jeśli nie jest to specjalnie określone, dla odlewów generalnie zaleca się stosowanie techniki badania klasy A wg EN 444, jednakże dla wyrobów lżejszych, o gęstości poniżej 5 kg/dm³, preferowana jest klasa B.
- szczegóły dotyczące planu ekspozycji (rozmieszczenia radiogramów);
- oznaczenie badanych obszarów na odlewie;
- określenie wymaganej wykrywalności zgodnie z EN 462-3 i EN 462-4;
- sposób oznaczania filmów;
- kryteria akceptacji.

Wszystkie dodatkowe punkty powinny być rozstrzygane przez uzgodnienia pomiędzy stronami zamówienia.

Radiogramy należy oceniać przez porównanie z radiogramami odniesienia (referencyjnymi – w zał. A dokonano selekcji dostępnych radiogramów referencyjnych w zależności od materiałów i zakresów grubości).

Kwalifikacje personelu

Zakłada się, że badania przeprowadzone zostaną przez wykwalifikowany i kompetentny personel. Zalecane jest potwierdzenia kwalifikacji przez certyfikację personelu zgodnie z EN 473

5. Technika badania

Technika prześwietlania przez jedną ściankę - obszary płaskie

Sposób wykonania ekspozycji badanego obszaru pokazano na rys. 1.

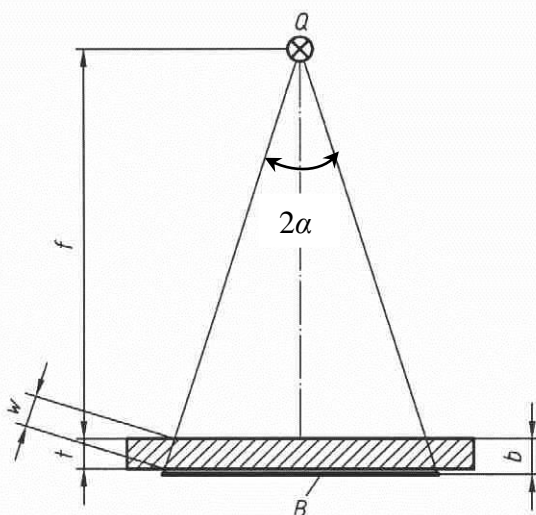
Oznaczenia na rysunkach od 1 do 12:

- Q źródło promieniowania jonizującego;
 t grubość nominalna materiału w obszarze badanym;

- b odległość pomiędzy powierzchnią obiektu od strony źródła i filmem mierzona wzdłuż centralnej osi wiązki ekspozycyjnej;
- B film radiograficzny;
- f odległość pomiędzy powierzchnią obiektu od strony źródła i źródłem promieniowania jonizującego, mierzona wzdłuż centralnej osi wiązki ekspozycyjnej;
- w grubość prześwietlana materiału, mierzona w kierunku prześwietlania danego miejsca obszaru badanego i obliczana na podstawie grubości nominalnej. Jeśli aktualna grubość materiału różni się o więcej niż 10% od jej wartości nominalnej, przy obliczaniu w należy uwzględnić wartość aktualną;

Niezależnie od ograniczeń jakie narzuca norma EN 444 na wielkość obszaru prześwietlanego dla stosowanej klasy badania, kąt padania wiązki radiacyjnej – 2α nie powinien przekraczać 30° .

Wartość tego kąta może ulec zwiększeniu przy lokalizacji nieciągłości o przewidywanej orientacji lub gdy wykonanie ekspozycji obszaru nie jest możliwe w inny sposób.



Rys. 1 Sposób wykonania ekspozycji przez jedną ściankę dla płaskiego obszaru

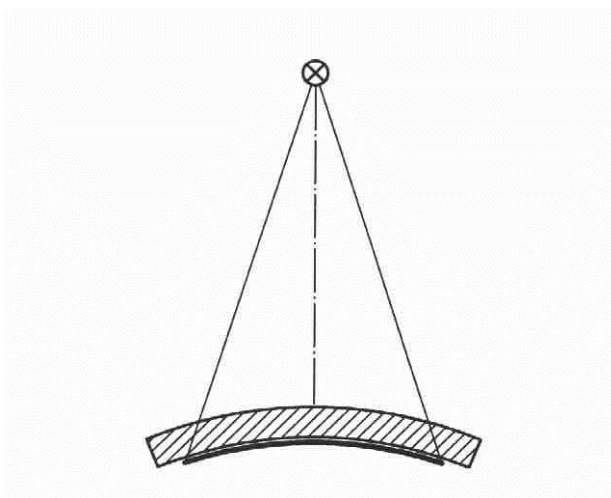
Technika prześwietlania przez jedną ściankę - obszary zakrzywione

Sposób wykonania ekspozycji obszarów zakrzywionych pokazano na rys. 2, 3 oraz 4.

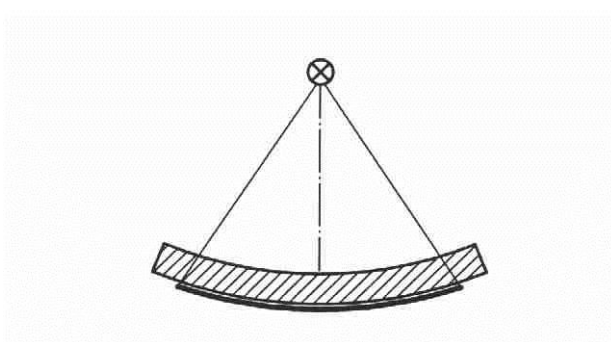
Jeśli to możliwe źródło powinno być usytuowane w ustawieniach pokazanych na rys. 3 i 4 w celu osiągnięcia możliwie najlepszych warunków badania. Redukcja minimalnej odległości źródło – obiekt nie powinna być większa niż 40% pod warunkiem osiągnięcia wymaganej wykrywalności. Należy wziąć pod uwagę wymagania zapisy EN 444, punkt 6.6.

Jeśli źródło jest usytuowane centralnie wewnątrz obiektu natomiast film na zewnątrz (technika pokazana na rys. 4) oraz spełnione są zalecenia wykrywalności wskaźnikowej IQI, procent redukcji może być zwiększony. Jednakże jest zalecane, ażeby redukcja minimalnej odległości źródło – obiekt nie była większa niż 50%. Można stosować sztywne

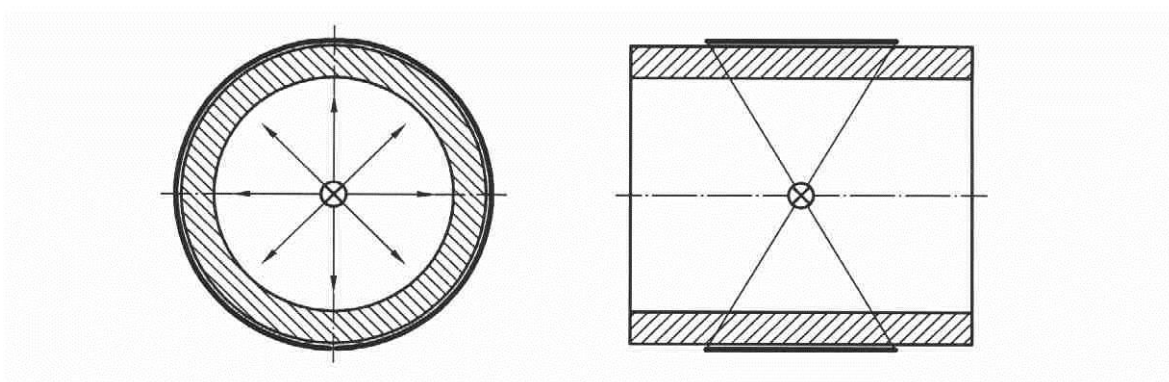
kasety pod warunkiem uwzględnienia wzrostu wymiaru b przy obliczeniach odległości f źródło – obiekt.



Rys. 2 Sposób wykonania ekspozycji przez jedną ściankę dla zakrzywionego obszaru z usytuowaniem źródła po stronie wypukłej a filmu po stronie wklęsłej



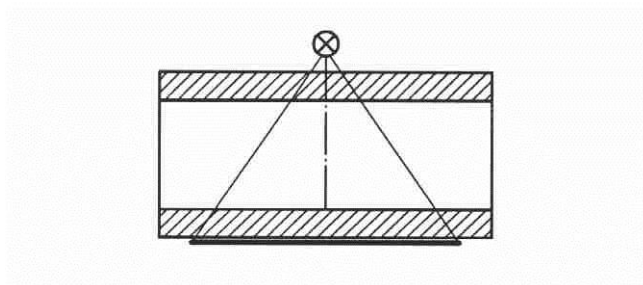
Rys. 3 Sposób wykonania ekspozycji przez jedną ściankę dla zakrzywionego obszaru z ekscentrycznym usytuowaniem źródła po stronie wklęsłej a filmu po stronie wypukłej



Rys. 4 Sposób wykonania ekspozycji przez jedną ściankę dla zakrzywionego obszaru z centrycznym usytuowaniem źródła od stronie wklęsłej a filmu po stronie wypukłej

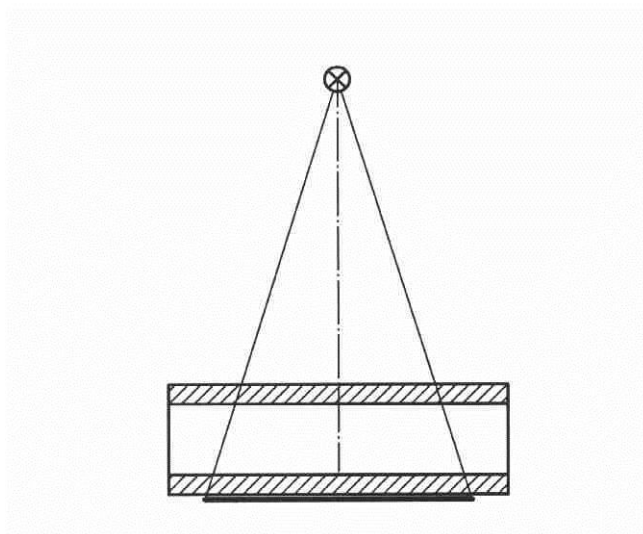
Technika prześwietlenia przez dwie ścianki - obszary płaskie i zakrzywione

Sposób wykonania ekspozycji techniką przez dwie ścianki dla obszarów płaskich i zakrzywionych pokazano na rys. 5, 6 oraz 7.



Rys. 5 Sposób wykonania ekspozycji przez dwie ścianki dla płaskiego lub zakrzywionego obszaru z usytuowaniem źródła i filmu po stronie zewnętrznej. Obraz pojedynczy. Interpretacja wskazań tylko dla ścianki od strony filmu

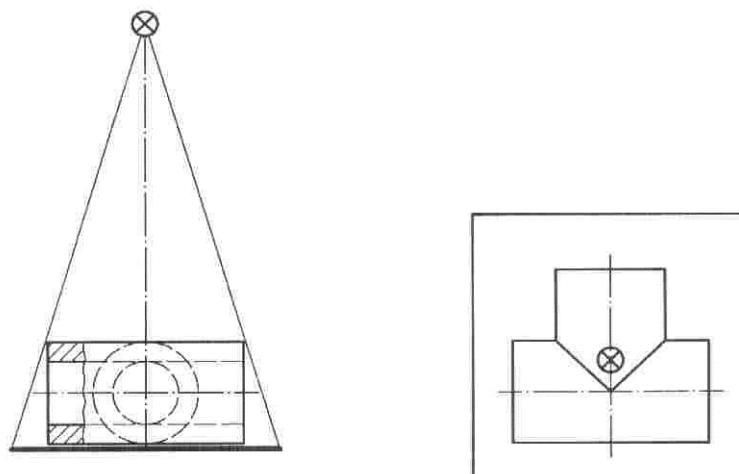
W przypadku techniki badania pokazanej na rys. 5 (tzw. technika odwodowa) minimalna wymagana odległość źródło – obiekt może być zmniejszona pod warunkiem zapewnienia odpowiedniej wykrywalności IQI.



Rys. 6 Sposób wykonania ekspozycji przez dwie ścianki dla płaskiego lub zakrzywionego obszaru z usytuowaniem źródła i filmu po stronie zewnętrznej. Obraz podwójny. Interpretacja wskazań dla obydwu ścianek

W przypadku technik pokazanych na rys. 6 oraz 7 nieciągłości powinny być klasyfikowane w odniesieniu do pojedynczej grubości ścianki. W przypadku różnej grubości ścianek wyniki należy odnosić do mniejszej z nich.

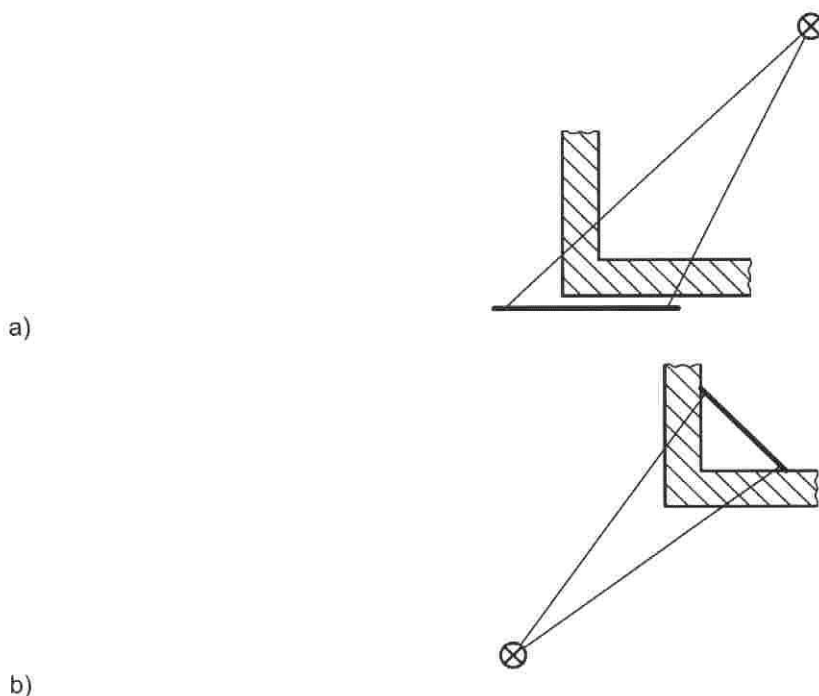
Stosowanie techniki przez dwie ścianki, pokazanej na rys. 7, jest preferowane jeśli warunki geometryczne uniemożliwiają wykonanie ekspozycji przez jedną ściankę lub też w tym przypadku uzyskuje się lepszą czułość przy wykrywaniu nieciągłości. Należy zapewnić, że wszystkie nieakceptowalne nieciągłości zostaną wykryte z wystarczającą dokładnością przy utrzymaniu wymaganej jakości obrazu radiograficznego



Rys. 7 Sposób wykonania ekspozycji przez dwie ścianki dla płaskiego lub zakrzywionego obszaru z usytuowaniem źródła i filmu po stronie zewnętrznej. Obraz podwójny. Interpretacja wskazań dla obydwu ścianek

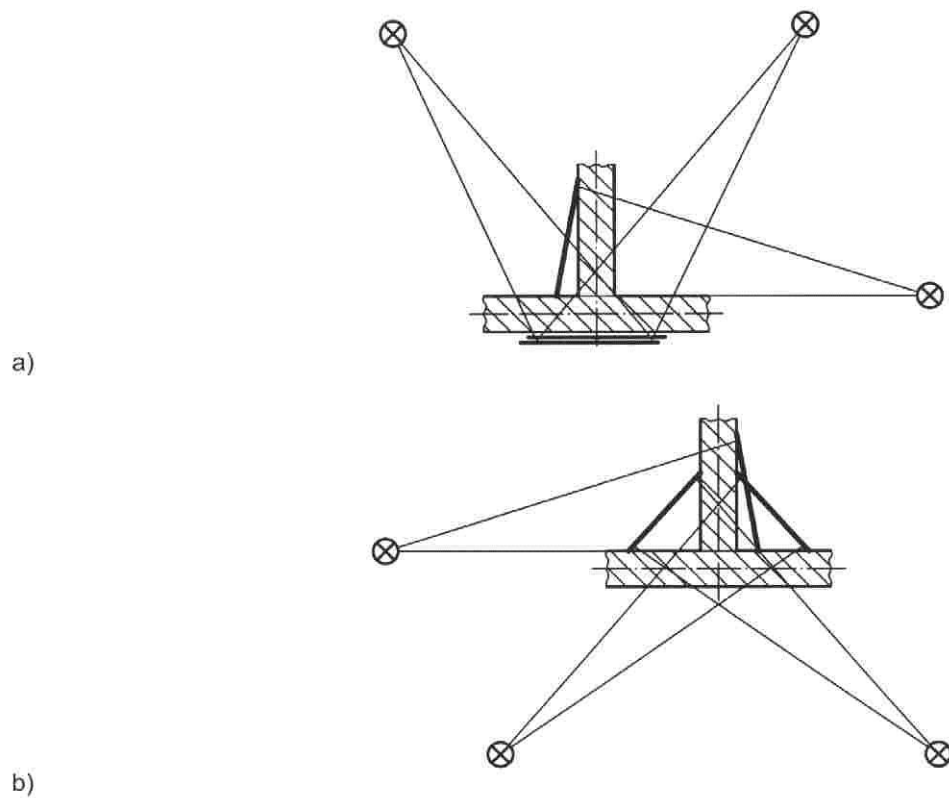
Technika prześwietlania obszarów o złożonym kształcie

Jeśli nie zostanie inaczej uzgodnione technika badania obszarów o złożonej geometrii może odbywać się według schematów pokazanych na rys. 8, 9, 10, 11 oraz 12.



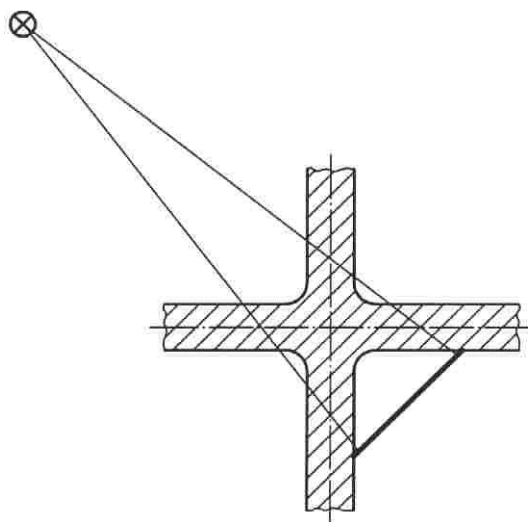
Wariant b) należy stosować jeśli ekspozycja a) jest niemożliwa

Rys. 8 Sposób wykonania ekspozycji dla kątowników i kształtowników

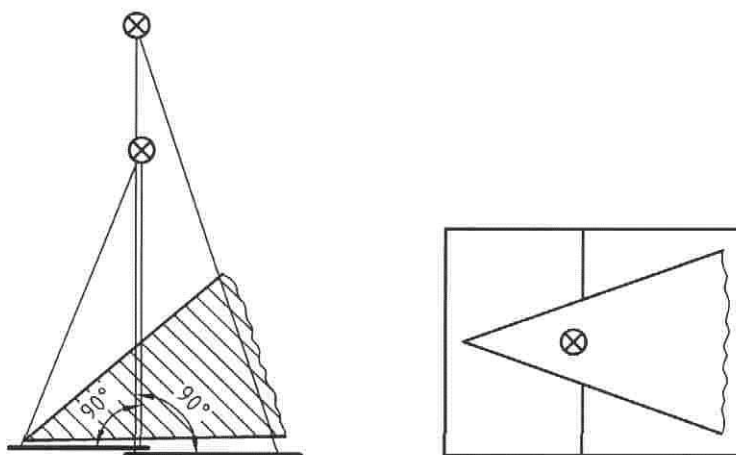


Wariant b) należy stosować jeśli ekspozycja a) jest niemożliwa

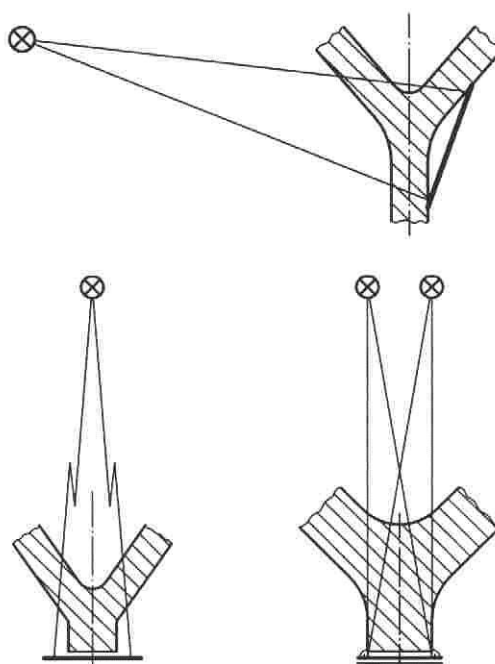
Rys. 9 Sposób wykonania ekspozycji dla żeber



Rys. 10 Sposób wykonania ekspozycji dla krzyżówek



Rys. 11 Sposób wykonania ekspozycji dla elementów klinowych



Rys. 1 Sposób wykonania ekspozycji dla żeber i podpór

6 Wybór źródła promieniowania

Wybór źródła zależy od grubości prześwietlanej obiektu badania (por. EN 444), przyjętej klasy badania, i techniki prześwietlania oraz rodzaju materiału. Przy prześwietleniach nie prostopadłych w jest grubością penetrowaną, mierzoną w kierunku centralnej osi wiązki. Przy ekspozycjach przez dwie ścianki w jest sumą penetrowanych grubości obiektu badania. Jeśli dokonuje się ekspozycji obiektu o zmiennej grubości, zobrazonej na jednym filmie, należy przyjąć uśrednioną wartość tej grubości.

Zalecany (EN 444 – tabela 1) zakres badanych grubości dla kobaltu ^{60}Co w klasie badania A ulega ograniczeniu:

- klasa badania A , ^{60}Co : $40 \text{ mm} < w \leq 170 \text{ mm}$

W uzupełnieniu normy EN 444 do badań odlewów mogą być wykorzystywane źródła promieniowania γ selenowe - ^{75}Se . W tym przypadku zakres badanych grubości dla odlewów stalowych wynosi:

dla klasy A: $10 \text{ mm} < w \leq 40 \text{ mm}$; dla klasy B: $14 \text{ mm} < w \leq 40 \text{ mm}$;

Po uzgodnieniu pomiędzy stronami, minimalna grubość badana odlewów stalowych przy pomocy ^{75}Se może być zmniejszona do 5 mm.

Zakres grubości badanych ścianek dla odlewów aluminium i jego stopów wynosi w:

- klasie badania A : $35 \text{ mm} < w \leq 120 \text{ mm}$

7 Klasy specjalne systemów błon (w uzupełnieniu do wymagań EN 444)

Jeśli stosowane są źródła selenowe przy radiografii odlewów stalowych, miedzi i jej stopów oraz niklu i jego stopów dla badania:

- w klasie A należy stosować systemy błon co najmniej klasy C5;
- w klasie B należy stosować systemy błon co najmniej klasy C4;

Zalecane grubości okładek ołowianych przednich i tylnych wynoszą od 0.1.do 0.2 mm.

Przy wykorzystaniu źródeł selenowych w radiografii aluminium i tytanu oraz ich stopów dla badania:

- w klasie A należy stosować systemy błon co najmniej klasy C5.

Grubości zalecanych okładek ołowianych tylnych wynoszą od 0.1 do 0.2 mm., natomiast przednich - 0.2 mm.

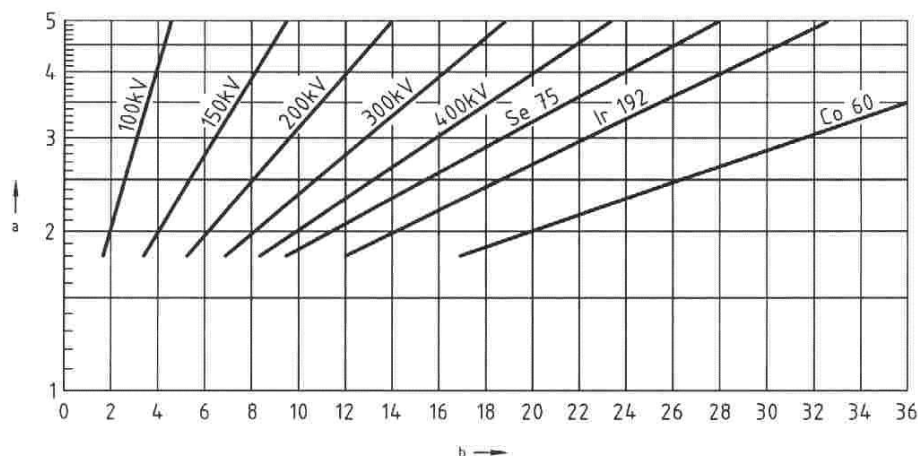
8 Techniki zwiększenia zakresu badanej grubości obiektu

Uwagi ogólne

W wielu zastosowaniach jest potrzeba zobrazowania na radiogramie większego zakresu grubości, przy zachowaniu narzuconych ograniczeń gęstości optycznej, przy pomocy jednej ekspozycji. Można tego dokonać stosując jedną z poniższych technik:

- technika wielu błon;
- technika obniżonego kontrastu przez zwiększenie energii promieniowania lub utwardzenie promieniowania;
- technika wyrównywania grubości.

Możliwy do pokrycia zakres badanej grubości, w ramach przyjętego przedziału gęstości optycznej radiogramu, oraz dla różnych napięć lamp rentgenowskich i różnych źródeł promieniowania gamma można oszacować na podstawie rys. 13.

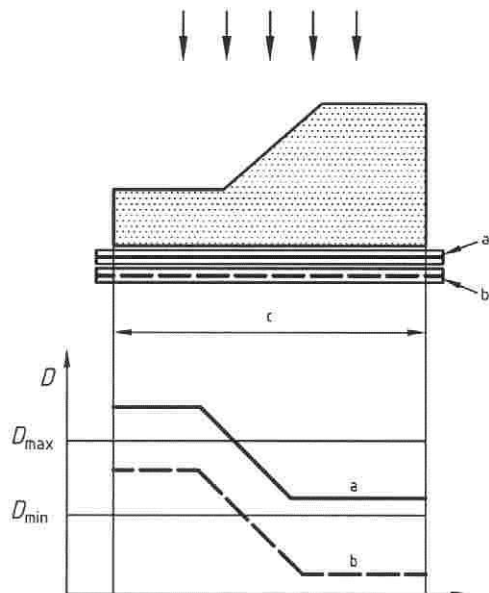


Objaśnienia: a – optymalny zakres D_{max}/D_{min} ; b – zakres badanej grubości obiektu w [mm]

Rys. 13 Oszacowanie możliwego pokrycia zakresu badanej grubości dla różnych poziomów energii promieniowania dla stali.

Technika wielu błon

W technice wielu błon, dwie lub więcej błon radiograficznych poddane zostaje jednoczesnej ekspozycji poprzez badany obiekt a następnie oceniane oddzielnie lub razem.



Objaśnienia: a – system błon o podwyższonej czułości; b – system błon o obniżonej czułości;
c - badana szerokość obiektu; D – gęstość optyczna

Rys. 14 Sposób ułożenia i doboru czułości błony przy wykonywaniu ekspozycji techniką wielu błon

Pomiędzy błonami powinna znajdować się przynajmniej jedna okładka. Jeśli używa się do tego celu okładki ołowiane pokryte jednostronnie papierem, należy wziąć dwie okładki odwracając je stroną metalową do filmów. Błony radiograficzne oraz okładki przednie i tylne należy dobrać z godnie z tabelą 2 i 3 normy EN 444.

Podczas oceny radiogramów obszary o obniżonej gęstości optycznej należy maskować dla zmniejszenia oślepienia.

Należy zastosować znaczniki (przynajmniej dwa) w celu identyfikacji właściwego ułożenia przy ocenie filmów poddanych jednoczesnej ekspozycji techniką wielu błon. Kształt geometryczny odlewu i jego odwzorowanie na radiogramach muszą sobie odpowiadać.

Gęstość optyczna pojedynczego filmu nie może być mniejsza niż 1.3 (por. punkt 11), jeśli stosuje się ocenę jednocześnie dwóch radiogramów.

Technika obniżonego kontrastu poprzez zwiększenie energii promieniowania

Stosowanie techniki obniżonego kontrastu poprzez zwiększenie energii promieniowania jest dopuszczalne tylko w klasie badania A.

Dla lamp rentgenowskich do 500 keV, maksymalna dopuszczalna wartość napięcia lampy określona wg EN 444, rys. 1, może być przekroczona co najwyżej do 30%. Dla zwiększenia zakresu badanej grubości źródła promieniowania rentgenowskiego mogą być również zastępowane przez źródła izotopowe lub akceleratory liniowe.

Jakość radiogramów powinna spełniać wymagania wykrywalności wskaźnikowej podanej w EN 462-3 lub EN 462-4.

Technika obniżonego kontrastu poprzez utwardzenie promieniowania

Stosowanie techniki obniżonego kontrastu poprzez utwardzenie promieniowania jest dopuszczalne tylko w klasie badania A.

Jakość radiogramów powinna spełniać wymagania wykrywalności wskaźnikowej podanej w EN 462-3 lub EN 462-4.

Technika wyrównywania grubości

Zobrazowanie obiektu o różnej grubości możliwe jest poprzez wykonanie ekspozycji na jednej błonie w klasie badania A, przy czym obszary o mniejszej grubości – dające na filmie obraz o zwiększonej gęstości optycznej – powinny być wypełnione materiałem wyrównującym różnice grubości. Materiał na wyrównanie grubości powinien być użyty w takiej ilości ażeby spełnione były wymagania gęstości optycznej radiogramu, podane w punkcie 11.

Materiał użyty na wyrównanie grubości powinien być wolny od nieciągłości i struktur gruboziarnistych oraz nie może wywoływać zakłóceń w obrazie, które uniemożliwiłyby poprawną ocenę badanego obszaru.

9 Radiogramy

Identyfikacja radiogramu, obszarów badania i plan rozmieszczenia błon

Należy dokonać jednoznacznych oznaczeń badanego obszaru oraz odpowiadającego mu radiogramu

Dla odlewów wymagających dużej ilości radiogramów należy przygotować plan rozmieszczenia błon lub dokumentację fotograficzną. Położenie każdego radiogramu i odpowiadającego mu obszaru badania muszą mieć swoje przyporządkowanie na planie rozmieszczenia błon lub w dokumentacji fotograficznej.

W przypadkach, gdy zaproponowane w niniejszej normie techniki prześwietlania nie precyzują jednoznacznie położenia źródła, należy sporządzić dodatkowo szkic tej ekspozycji z zaznaczeniem położenia źródła lub zaznaczyć je na planie rozmieszczenia błon albo w dokumentacji fotograficznej.

Oznakowanie obszaru badania

Jeśli na radiogramie nie można jednoznacznie określić położenia badanego obszaru należy przewidzieć przyporządkowane do obiektu znaczniki, które będą widoczne na filmie. Znaczniki te powinny być wykonane z materiału bardziej absorbującego niż badany odlew, w celu uwidocznienia na radiogramie obszaru badania. Położenie znaczników należy również zaznaczyć na powierzchni badanego odlewu.

Zakładka błon

Jeśli wykonuje się badanie obszaru, za pomocą dwóch lub większej ilości ułożonych obok siebie błon, należy zapewnić zachodzenie na siebie filmów (tzw. zakładkę) w celu pokrycia całego obszaru podlegającego ekspozycji. W takich przypadkach należy przewidzieć na obiekcie, w miejscach zakładek znaczniki o dużej gęstości, ażeby były widoczne na filmach.

10 Weryfikacja jakości radiogramów

Jeśli nie zostało inaczej uzgodnione, jakość obrazu na radiogramie należy weryfikować przy użyciu wskaźników jakości obrazu (IQI), odpowiadających normom EN 462-1, EN 462-2, EN 462-3 lub EN 462-4. W przypadkach gdy wskaźniki te nie mogą być umieszczone na odlewie zgodnie z wymaganiami tych norm, wykrywalność wskaźnikowa może być skontrolowana na reprezentatywnym obiekcie badania z rozmieszczonymi wskaźnikami IQI i przy pomocy takich samych błon radiograficznych.

Jeśli ekspozycji, w tych samych warunkach, podlega jednocześnie większa ilość błon, jakość obrazu powinna być kontrolowana przez umieszczenie co najmniej jednego wskaźnika na każdym radiogramie.

Jeśli badaniu radiograficznemu podlega obszar o zmiennej grubości ścianki, wskaźniki IQI powinny być umieszczone w badanym obszarze o największej grubości ścianki.

Przy ekspozycjach wykonywanych dla obiektów kołowych o średnicy 200 mm i większej oraz źródle umieszczonym centrycznie, na powierzchni obiektu powinny rozmieszczone równomiernie co najmniej 3 wskaźniki IQI.

W protokole badania należy zapisać typ używanych wskaźników IQI oraz grubość ścianki w miejscu ułożenia wskaźników, w celu udokumentowania kontroli wykrywalności wskaźnikowej obrazu.

11 Wymagania gęstości optycznej radiogramów

Parametry ekspozycji powinny być tak dobrane aby gęstość optyczna radiogramu, w badanym obszarze, spełniała co najmniej wymagania normy EN 444.

W wyniku uzgodnienia stron umowy, minimalna gęstość optyczna radiogramu może być obniżona do 1.5 dla klasy badania A oraz do 2.0 dla klasy B, pod warunkiem dotrzymania wymagań wykrywalności wskaźnikowej IQI.

Jeśli jest stosowana technika wielu błon, minimalna gęstość optyczna radiogramów może być obniżona do 1.5 dla klasy badania A oraz do 2.0 dla klasy B, pod warunkiem dotrzymania wymagań wykrywalności wskaźnikowej IQI.

Maksymalna wartość gęstości optycznej radiogramu jest ograniczona luminancją ekranu negatoskopu. Minimalna wielkość luminancji transmitowanej przez ekran negatoskopu powinna spełniać wymagania normy EN 25580.

Tolerancja pomiaru gęstości optycznej radiogramu wynosi ± 0.1 .

12 Wpływ struktury krystalicznej

Dyfrakcja i absorpcja promieniowania w strukturze materiału może wywołać ślady dyfrakcyjne na radiogramie. Występowanie śladów dyfrakcyjnych może być potwierdzone przez zmianę parametrów techniki prześwietlania, np. wybranie większej energii promieniowania lub przez zwiększenie odległości pomiędzy powierzchnią badanego obiektu od strony źródła i błoną radiograficzną (wymiar b – por. rys. 1).

Jeśli ślady dyfrakcyjne uniemożliwiają ocenę radiogramu powinny być przyjęte inne parametry ekspozycji niż podano w tej normie. Zmiany te powinny być uzgodnione między stronami.

Ślady dyfrakcyjne mogą ujawniać się w pewnych stopach metali lekkich, stopach miedzi, stopach niklu oraz stalach austenitycznych.