

Wykorzystanie tomografii komputerowej w defektoskopii odlewów z żeliwa sferoidalnego

M. Królikowski^{1*}, A. Burbelko², D. Kwaśniewska-Królikowska³

¹ Odlewnie Polskie S.A., Al. Wyzwolenia 70, 27-200 Starachowice

² AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Odlewnictwa,
Katedra Inżynierii Stopów i Kompozytów Odlewanych,
Al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

³ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Odlewnictwa

*Kontakt korespondencyjny: e-mail: maciej.krolikowski@odlewniepolskie.pl

Otrzymano 20.12.2014; zaakceptowanego do druku 12.12.2014

Streszczenie

W artykule przedstawiono aktualne możliwości urządzeń pomiarowych, jakimi są tomografy komputerowe (CT), zdolnych do wykonania pełnych prześwietleń odlewów o grubości ścianek przekraczającej 80 mm. Wszystkie badania nieniszczące (NDT) zostały wykonane na wybranych odlewach z żeliwa sferoidalnego i szarego wykonanych w Spółce Akcyjnej Odlewnie Polskie w Starachowicach. Przedstawiono zasadę działania i ogólną budowę tomografów komputerowych oraz możliwości ich wykorzystania. Dodatkowo pokazano możliwości CT przy wizualizacji wyników i zestawieniu ich z dokumentacją 3D. Przedstawiono perspektywy oraz ograniczenia przy wykrywaniu i określaniu wad w odlewach.

Słowa kluczowe: tomografia komputerowa (CT), badania NDT, defektoskopia, wady odlewnicze, porowatość

Wprowadzenie

Podstawy matematyczne tomografii komputerowej powstały na początku XX w., a pierwszy, prototypowy tomograf komputerowy (znany pod nazwą EMI scanner) został zbudowany w 1968 r. przez G.N. Hounsfielda. W 1972 r. za pomocą tomografu komputerowego przeprowadzono prześwietlenia mózgu pacjenta. W 1979 r. sir Godfrey Newbold Hounsfield i Allan MacLeod Cormack zostali wyróżnieni nagrodą Nobla w dziedzinie medycyny za osiągnięcia związane z tomografią komputerową [1].

W dzisiejszych czasach określenie „tomografia komputerowa” kojarzy nam się głównie z medycyną oraz prześwietleniami materiałów o niskiej gęstości (typu kości). W odniesieniu do

odlewów żeliwnych metoda ta jest stosowana jedynie w wąskim zakresie i dla bardzo cienkich ścianek. W tych przypadkach, nawet jeśli wykonuje się prześwietlenie fragmentu odlewu w celu weryfikacji istnienia i określenia wady w lokalnym węźle cieplnym, jest to zabieg, który ma niewiele wspólnego z ideą badań nieniszczących. W celu pobrania obiektu należy go niestety wyciąć z odlewu i bezpowrotnie zniszczyć.

Zasada działania tomografu komputerowego jest bardzo prosta. Źródło promieniowania wraz z detektorami porusza się wokół obiektu, który jest prześwietlany promieniami X równoległymi do płaszczyzny obrazowej. Promieniowanie to przechodzi dokładnie przez badany obiekt i, przenikając przez ten obiekt, jest osłabiane. Zmiana natężenia promieni przenikających jest funkcją energii promieniowania, grubości danego obiektu oraz jego gęstości.

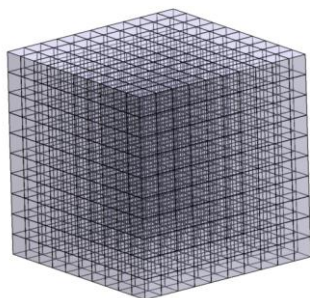
Natężenie promieniowania wiązki częściowo osłabionej w wyniku przejścia przez obiekt jest opisane zależnością [1]:

$$I = I_0 e^{-\mu d} \quad (1)$$

gdzie: I - natężenie promieniowania po przejściu przez obiekt o grubości d ,
 I_0 - początkowe natężenie promieniowania,
 μ - liniowy współczynnik osłabienia promieniowania,
 d - grubość prześwietlanego obiektu.

Zdjęcia są wykonywane w stałych odstępach czasu ściśle skorelowanych z prędkością obrotową układu „źródło-detektor”. Każde zdjęcie jest zapisywane na dysku twardym i w późniejszym etapie przetwarzane. Generowanie obrazu przestrzennego polega na wykorzystaniu danych pojedynczych zdjęć 2D i budowie na ich podstawie obrazu przestrzennego 3D. Do tego celu wykorzystywane jest specjalistyczne oprogramowanie oraz komputery o bardzo dużych mocach obliczeniowych.

Objętość badanego obiektu jest podzielona na pojedyncze komórki przestrzenne zwane voxelami rys.1, w każdym z których stopień pochłaniania promieniowania jest stały. Jednemu voxelowi możemy przyporządkować średnicę obiektu d podzieloną przez ilość pikseli N ($V=d/N$) [2]. Podczas wykonywania badań obraz zostaje powiększony z powodu kształtu przestrzennego wiązki. Zakres tego powiększenia przedstawiono na rys. 2. Należy jednak pamiętać, że zbyt duże powiększenie niestety zniekształca obraz. Im mniejsza próbka, tym powiększenie jest większe i nie tracimy na jakości obrazu.



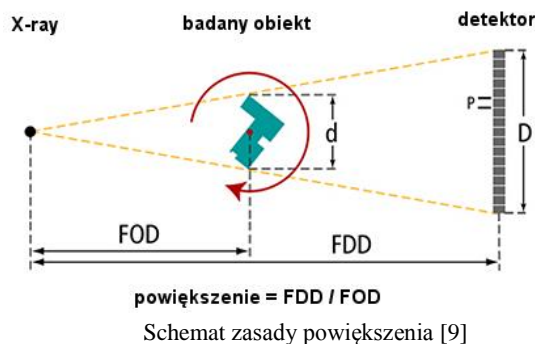
Rys. 1. Objętość obiektu w postaci voxelu

Początkową barierą w uzyskiwaniu satysfakcjonujących wyników podczas badań medycznych była moc obliczeniowa komputerów. W celu uzyskania zdjęcia o odpowiedniej rozdzielczości należy zestawić kilka tysięcy zdjęć w jedną przestrzenną całość. Obliczenia takie mogły trwać wiele dni. Problem ten został rozwiązany w miarę rozwoju sprzętu komputerowego, wprowadzenia nowoczesnych procesorów i coraz nowszych, wydajniejszych algorytmów obliczeniowych.

W tomografach komputerowych wykorzystywanych do prześwietlania obiektów wykonanych z materiałów o dużej gęstości (w porównaniu do gęstości obiektów biologicznych) zasada działania jest taka sama. Różnica polega na położeniu obiektu i ustawieniu źródła wraz z detektorem.

W tomografach przemysłowych źródło promieniowania wraz z detektorem w większości przypadków (w odróżnieniu od tomografów medycznych) jest nieruchome. Natomiast badany obiekt

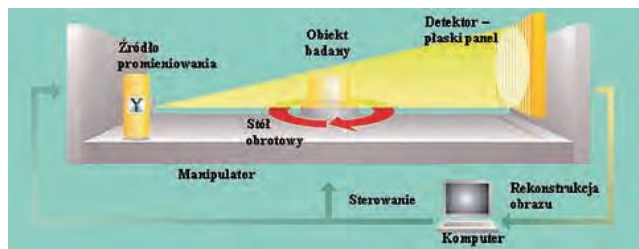
jest umiejscowiony na podstawie z materiału o niskiej gęstości. Podstawa wraz z obiektem znajduje się na stoliku, który może poruszać się w kierunkach X, Y i Z oraz obracać się wokół własnej osi o ściśle zadany kąt.



Rys. 2.

Schemat zasady powiększenia [9]

Podstawowym rozwiązaniem w przemysłowych CT jest wykorzystanie układu składającego się ze źródła promieniowania emitującego wiązkę stożkową. Wiązka ta, osłabiona w wyniku przejścia przez dany obiekt umieszczony na stoliku (manipulatorze), trafia na detektor panelowy, najczęściej o wymiarach 40 x 40cm. Detektor podczas obrotu obiektu rejestruje szereg dwuwymiarowych obrazów rentgenowskich prześwietlanego obiektu. Na podstawie zgromadzonych danych system komputerowy wykonuje następnie rekonstrukcję przestrzenną obiektu. Poglądowy schemat tomografu z wiązką stożkową przedstawiono na rys. 3.



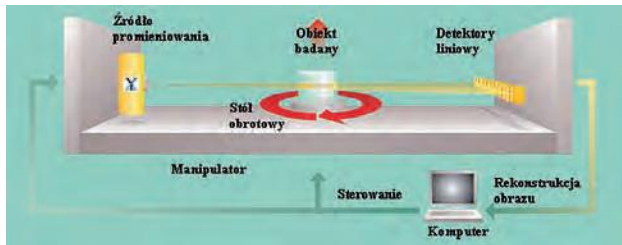
Rys. 3. Poglądowy schemat tomografu z wiązką stożkową [4]

Rozwiązanie to wykorzystywane jest, gdy najważniejszym parametrem jest czas wykonywania badania. W tym przypadku badany obiekt w całości jest prześwietlony jedną stożkową wiązką promieniowania.

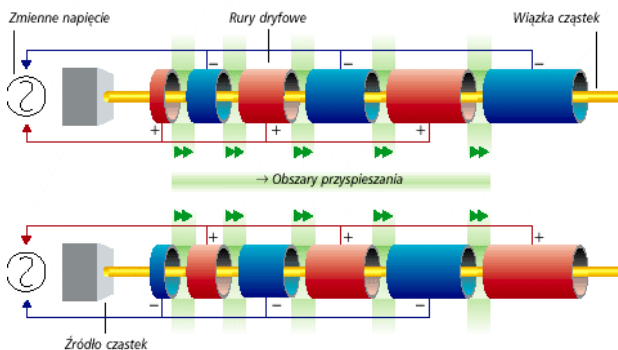
Drugim rozwiązaniem jest wykorzystanie liniowego detektora. Zasada jest identyczna natomiast różnica jest w kształcie wiązki. Ma ona przekrój liniowy i jest rzutowana na detektor liniowy. Rozwiązanie to umożliwia otrzymanie dużych dokładności, natomiast czas akwizycji wyników prześwietlana jest wyraźnie dłuższy. Powodem tego jest grubość wiązki i gabaryty obiektu. W celu uzyskania pełnego prześwietlenia obiektu należy podzielić go na równe odcinki (warstwy na wysokości) i prześwietlać każdy z osobna przy dodatkowym pełnym obrocie obiektu. Poglądowy schemat tego rozwiązania przedstawiono na rys. 4.

Tomografy komputerowe możemy podzielić ze względu na dokładność uzyskiwanych obrazów na urządzenia z nanofokusem, z mikrofokusem, z makrofokusem oraz z akceleratorem liniowym makrofokusa.

Schemat opisujący zasadę działania akceleratora liniowego pokazano na rys. 5.



Rys. 4. Schemat tomografu z płaską wiązką i liniowym detektorem [4]



Rys. 5. Schemat budowy akceleratora liniowego [10]

Elektrony generowane są w źródle i przyspieszane dzięki polu elektrycznemu, przechodząc przez poszczególne rury dryfowe (pierścienie są ekranowane), poruszają się w linii prostej do końca rury ze stałą prędkością. Energia końcowa cząstki jest różnicą potencjałów pomiędzy punktem początkowym i końcowym. Podstawowym mankamentem takiego rozwiązania jest zmienne pole elektryczne. Pole musi pojawiać się na ściśle określonym miejscu w odpowiednim czasie dostosowanym do założonej energii cząstki. Aby takie rozwiązanie było możliwe, stosuje się dwa typy urządzeń. Akcelerator liniowy, gdzie rury dryfowe i obszary przyspieszeń są ułożone liniowo jeden za drugim. Drugim rozwiązaniem są akceleratory kołowe, w których cząstki przelatują przez pierścienie wielokrotnie z przyspieszeniem. W obydwu rozwiązaniach wewnątrz urządzeń musi panować wysoka próżnia, aby rozprędzone cząstki nie traciły energii przy zderzeniu z cząstkami powietrza [10].

1. Aktualne możliwości tomografów komputerowych dedykowanych dla odlewnictwa żeliwa sferoidalnego

Podstawowym założeniem przed wyborem systemów CT do badań była energia cząstek. Energia ta musiała być na tyle duża, aby prześwietlić warstwę żeliwa o grubości 80 mm. Aktualnie jest wiele firm oferujących gotowe urządzenia CT, dedykowane dla odlewów, ale wykonanych ze stopów aluminium [8]. Ogólne

przekonanie panujące w dzisiejszym świecie jest takie, iż nie jest możliwe prześwietlenie odlewów z materiałów wysokiej gęstości, takich jak żeliwo sferoidalne. Dodatkowym problemem jest grubość ścianki, ponieważ należy pamiętać, że w przypadku tomografii musimy brać pod uwagę sumaryczną grubość wszystkich ścianek, przez które przenikać będzie promieniowanie X.

Tomografy komputerowe możemy podzielić, biorąc pod uwagę napięcie przyspieszające źródła:

- 1) do 160 kV;
- 2) 160 kV – 450 kV;
- 3) 600 kV;
- 4) 750 kV;
- 5) 1 MV – 22 MV.

Źródła z energią wiązki powyżej 1 MeV bazują na akceleratorach liniowych, a nie na tradycyjnych lampach rentgenowskich. Dodatkowo akceleratory powyżej 6 MeV zawierają w sobie pierwiastki radioaktywne, więc wymogi bezpieczeństwa są zupełnie inne. Dlatego szansa na wdrożenie takich rozwiązań w przemyśle jest nikła.

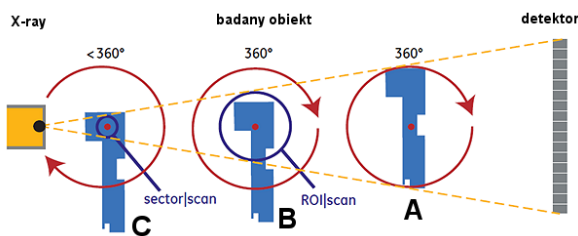
Drugim ważnym parametrem jest dokładność uzyskiwanych wyników. Jest ona wypadkową źródła. Tomografy z lampą typu „nanofokus” rzeczywiście są w stanie pokazywać bardzo małe szczegóły: rzędu kilkuset nanometrów [7]. Ograniczeniem w tym wypadku są natomiast detektory oraz stoliki obrotowe. Ich dokładność nie zawsze idzie w parze z dokładnością źródła. Rozwiązanie to posiada także jedną bardzo ważną wadę. Badany obiekt w przypadku żeliwa musi być bardzo mały (wycięty fragment odlewu o wymiarach kilku milimetrów).

Dokładność no poziomie kilkunastu mikronów nie jest wyzwaniem dla dzisiejszych urządzeń. Metoda ta pozwala niezawodnie wykrywać wady nawet o wielkości kilkudziesięciu mikronów. Zestawiając wynik z prześwietlenia CT oraz obraz mikrostruktury wykonanej z pomocą mikroskopu możemy mieć problemy z odróżnieniem ich. Wyniki tomografii możemy natomiast poddać analizie trójwymiarowej.

Kolejnym problemem stosowania tomografii są ograniczenia związane z kabiną tomografu. Wielkość tej kabiny, a głównie wymagana ze względów bezpieczeństwa grubość i materiał jej ścian, są ściśle związane z cechami źródła promieni rentgenowskich. Wymagana bezpieczna grubość ścian kabiny, stanowiących ekran pochłaniający promieniowanie, szybko wzrasta ze wzrostem mocy i napięcia przyspieszającego źródła promieni rentgenowskich. Gabaryty kabiny i masa jej ścian mogą uniemożliwić zastosowanie CT w pewnych przypadkach. Przykładowa waga kabiny dla urządzeń 450 kV wynosi od 13 do 15 t [5, 6, 8], natomiast dla 750 kV masa kabiny o właściwym stopniu ochrony wzrasta do kilku dziesięciu ton.

Ważnym aspektem są również gabaryty badanych obiektów. Należy wziąć pod uwagę, że nie zawsze jest możliwe wykonanie prześwietlenia całego odlewu wiązką stożkową. Mogą wystąpić także przypadki gdzie nie jest możliwe wykonanie pełnego obrotu badanego obiektu w kabine. Elementem ograniczającym może być odległość od źródła lub pozycja na stoliku obrotowym rys. 6.

Należy pamiętać, że podczas obrotu obiektu, w miarę odchylenia kierunku normalnego ścianki od osi wiązki, wzrasta grubość prześwietlanej ścianki, czego następstwem jest znaczne pogorszenie ostrości i jakości rejestrowanego obrazu.



Rys. 6. Schemat właściwego położenia obiektu [10]

2. Warunki badań

Analiza produkowanego przez odlewnie asortymentu była wykonana pod kątem:

1. Sumarycznej grubości ścianek;
2. Gabarytów odlewu;
3. Wagi odlewu;
4. Czasu wykonywania pełnego cyklu badań niszczących.

Zostało wybranych kilka rodzajów odlewów z żeliwa sferoidalnego oraz szarego. kolektor wylotowy silnika wysokoprężnego o średniej grubości ścianek 20 mm, maksymalna grubość ścianki – 60 mm, masa odlewu – ok. 5 kg;

- obudowa przekładni hydraulicznej o średniej grubości ścianek 70 mm, maksymalna grubość ścianki – 200 mm, masa odlewu – 26 kg;
- zawór wysokociśnieniowy o średniej grubości ścianek 85 mm, maksymalna grubość ścianki – 280 mm, masa odlewu – 28 kg.

Po analizie parametrów dostępnych tomografów komputerowych urządzenia o napięciu przyspieszającym do 450 kV zostały odrzucone ze względu na zbyt niską energię źródła, a co za tym idzie, brak możliwości penetracji odpowiedniej grubości ścianek. Przetestowano kilka tomografów: z wiązką 450 keV, 750 keV oraz 3 MeV.

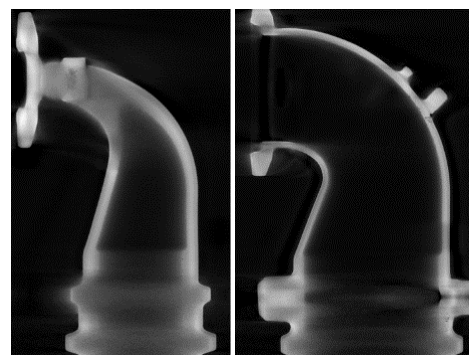
Wyniki przeprowadzonych prób były analizowane pod kątem czasu trwania całego badania, obejmującego przygotowanie urządzenia, wykonanie prześwietlenia i akwizycji danych, rekonstrukcję komputerową obrazu 3D na podstawie otrzymanych danych oraz wykonanie wizualizacji wyników.

Prześwietlenia były wykonywane z detektorem panelowym oraz liniowym.

3. Uzyskane wyniki

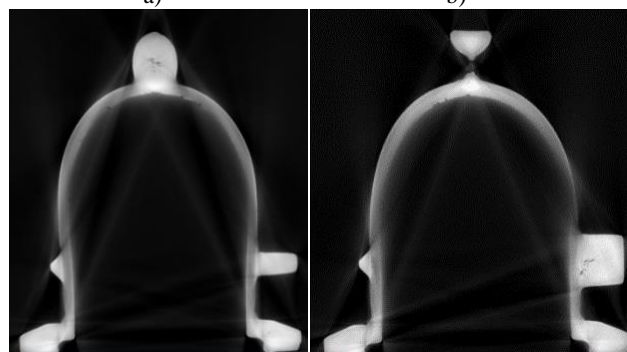
Wyniki uzyskane na tomografach z wiązką 450 keV z detektorem panelowym dla odlewu kolektora wyglądają obiecująco. Należy jednak zaznaczyć, że odlew ten ma najmniejszą grubość ścianek wśród wszystkich analizowanych odlewów.

Na rys. 7.a-d przedstawiono pierwotne wyniki akwizycji obrazów, zarejestrowane detektorem płaskim promieni rentgenowskich dla czterech różnych pozycji odlewu pod względem osi wiązki promieni prześwietlających. Już na tych zdjęciach widoczne są obszary występowania wad (są to typowe nieregularne ciemne obszary na tle jaśniejszych obszarów ścianek odlewu).



a)

b)



c)

d)

Rys. 7. Obrazy zarejestrowane detektorem promieni rentgenowskich dla czterech różnych pozycji odlewu kolektora względem osi wiązki urządzenia CT

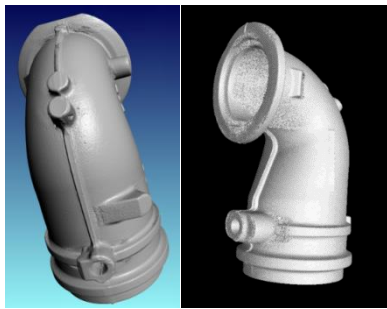
Na zdjęciach widać wyraźnie obszar odlewu niestety obraz zniekształcają tzw. artefakty. Są one efektem występowania promieniowania rozproszonego. Promieniowanie to można niwelować poprzez wykorzystanie odpowiednich filtrów, które odcinają zakres promieniowania mającego niekorzystny wpływ na wynik.

Po wykonaniu odpowiedniej ilości zdjęć (w tym przypadku było to ponad 3000 zdjęć) można przejść do rekonstrukcji trójwymiarowej. Każdy z dostawców urządzeń CT proponuje własne oprogramowanie do rekonstrukcji trójwymiarowej na podstawie zebranych danych. Efekt takiej rekonstrukcji przedstawiono poniżej.

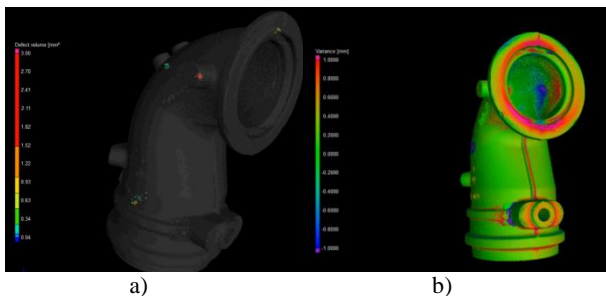
Mając zrekonstruowaną bryłę, możemy przejść do analizy kształtu odlewu (rys. 8), grubości jego ścianek, wad wewnętrznych (rys. 9.a) oraz odchyłek wymiarowych (rys. 9.b). Jak widać z tych rysunków, efekt uzyskany dla odlewu kolektora na CT 450 kV jest wystarczający. Natomiast dla odlewów o większej grubości ścianki (zawór i obudowa) za pomocą tego samego urządzenia nie udało się uzyskać satysfakcjonujących wyników.

Dla tych odlewów sprawdzono możliwość zastosowania lampy rentgenowskiej na napięciu 750 kV z mikrofokusem. Obrazy pierwotne otrzymane za pomocą prześwietlenia odlewów korpusu zaworu i przekładni przedstawiono na rys. 10 i 11.

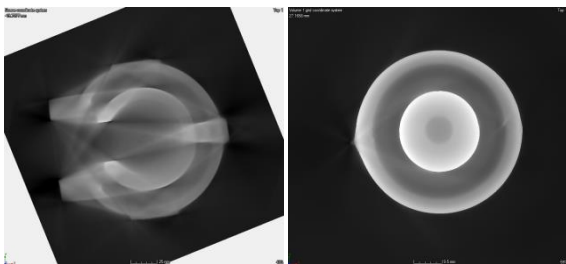
Wyniki uzyskane na CT 750 KV były niesatysfakcjonujące. Przyczyną tego mogły być filtry, które nie były przewidziane do takiej grubości odlewów. Maksymalna grubość ścianek wynosiła 200 mm. Bardzo podobne wyniki uzyskano dla odlewów zaworów.



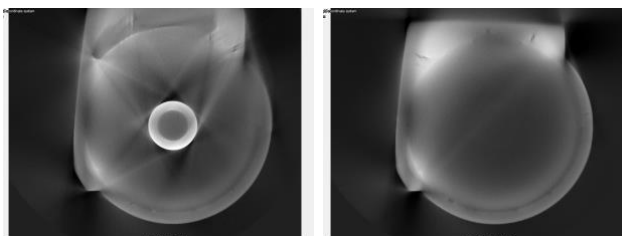
Rys. 8. Rekonstrukcja bryły 3D odlewu kolektora metodą CT na urządzeniu 450 kV



Rys. 9. Analiza jakości wykonania odlewu kolektora metodą CT na urządzeniu 450 kV: a) rozkład przestrzenny porowatości; b) odchyłki wymiarowe geometrii bryły



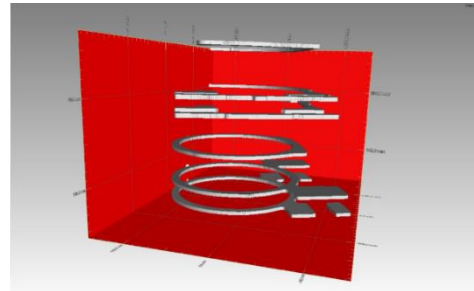
Rys. 10. Obrazy zarejestrowane detektorem promieni rentgenowskich dla dwu różnych pozycji odlewu korpusu zaworu (CT 750 kV)



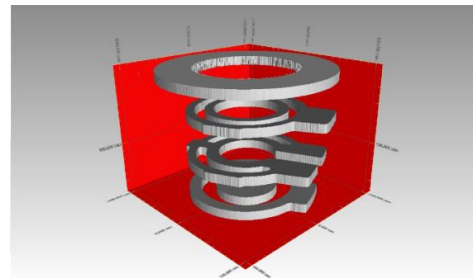
Rys. 11. Obrazy zarejestrowane detektorem promieni rentgenowskich dla dwu różnych pozycji odlewu korpusu przekładni (CT 750 kV)

Ostatnim przetestowanym urządzeniem był tomograf komputerowy z akceleratorem liniowym i energią cząstek 3 MeV. Wyniki badań dla odlewu korpusu przekładni przedstawiono na rys. 12, a dla odlewu korpusu zaworu na rys. 13.

Na rys. 12 i 13 pokazano zestawienie płaskich warstw – fragmentów tych odlewów – odtworzonych za pomocą rekonstrukcji 3D wyników prześwietlenia.

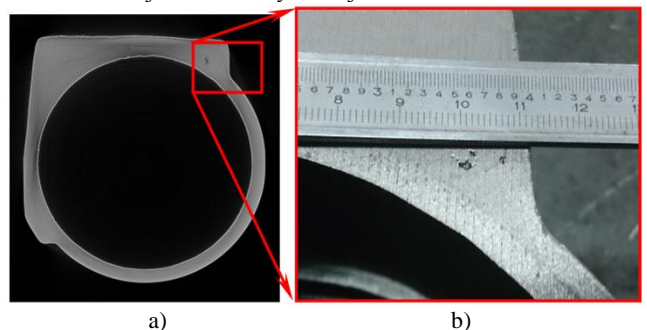


Rys. 12. Zestawienie fragmentów odlewu korpusu przekładni uzyskanych za pomocą rekonstrukcji 3D (CT 3 MV)

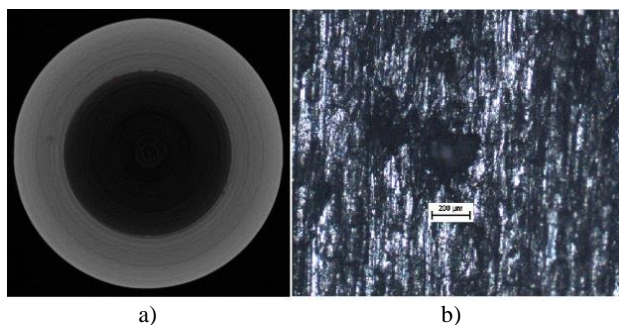


Rys. 13. Zestawienie fragmentów odlewu korpusu zaworu uzyskanych za pomocą rekonstrukcji 3D (CT 3 MV)

Jak wynika z przedstawionych obrazów, na urządzeniu tym zarówno w jednym, jak i w drugim przypadku udało się bez przeszkód wykonać prześwietlenie całego odlewu. Uzyskane wyniki są satysfakcjonujące na tyle, że na ich podstawie dokonano analizy wad wykrytych w prześwietleniach. Miejsce występowania porowatości w odlewie przekładni wykryte za pomocą tomografii komputerowej jest wskazane na rys. 14.a, natomiast na rys. 14.b pokazano lokalizację, wielkość i faktyczny zarys rzadzinny występującej w tym odlewie. Na rys. 15 pokazano analogiczne zestawienie wyników tomografii komputerowej i ich weryfikacji doświadczalnej we wskazanym miejscu odlewu zaworu.



Rys. 14. Mikroporowatość w odlewie przekładni: a) wykryta metodą tomografii komputerowej (CT 3 MV); b) weryfikacja doświadczalna wyników tomografii



Rys. 15. Mikroporowość w odlewie zaworu: a) wykryta metoda tomografii komputerowej (CT 3 MV); b) weryfikacja doświadczalna wyników tomografii wada 200 µm.

4. Wnioski

Tomografia komputerowa dopiero zaczyna wchodzić do świata odlewniczego i poznawać jego realia. W przypadku wytwórcy odlewów, jakim jest każda odlewnia, kluczowym pytaniem jest rodzaj asortymentu, jaki będzie potrzebna badać. Grubość ścianki jest podstawowym parametrem, jakim należy się kierować przy wyborze systemu CT. Należy przy tym pamiętać, że najistotniejszym czynnikiem w uzyskaniu dobrego wyniku jest sumaryczna grubość ścianek, przez które przechodzi wiązka rentgenowska.

Dokładność rzędu kilku mikrometrów zapewniają tomografy z lampami typu nanofokus przy odpowiednio małych próbkach. Z tego powodu aparatura taka nie jest przystosowana do badań NDT w odlewnictwie odlewów średnich i dużych. Dla odlewów o wadze ok. 25 kg i grubości ścianek ok. 40 mm wymagany jest system CT z lampą na napięcie min. 450 kV przy odpowiednich gabarytach kabiny rentgenowskiej.

Przy zmiennym asortymencie i zróżnicowanej grubości ścianek należy brać pod uwagę częste zmiany filtrów. Wymagane będzie stworzenie odpowiedniego katalogu możliwych do wykorzystania filtrów (zależnego od asortymentu odlewów).

Znacznie lepsze wyniki zapewnią użycie detektora liniowego. Niesie to ze sobą proporcjonalnie dłuższy czas wykonania badań w porównaniu z detektorem „panel płaski” (z kilku godzin nawet do kilkudziesięciu, w zależności od kształtu odlewu). W celu redukcji

czasu wykonywania rekonstrukcji 3D i wizualizacji, należy stosować system komputerowy o maksymalnej mocy obliczeniowej.

Zastosowanie tomografii komputerowej zapewnia bezpośredni podgląd wnętrza odlewu metodą nieniszczącą, praktycznie w trybie on-line. Istniejące systemy CT pozwalają wykrywać lokalizację, wymiary i kształt nieciągłości (wad o pochodzeniu skurczowy lub pęcherzy gazowych) w odlewach z dokładnością do 100 µm. W związku z powyższym narzędzia rentgenowskiej tomografii komputerowej mogą być wdrożone jako narzędzie NDT dla celów kontroli jakości odlewów. Dla badań jakości odlewów z żeliwa szarego i żeliwa z grafitem kulkowym w warunkach Odlewni Polskich S.A. w Starachowicach mogą być zastosowane systemy CT ze źródłami promieni rentgenowskich o energii wiązki od 450 keV do 3 MeV.

Podziękowania

Autorzy dziękują firmom Smart Solutions (Nikon Metrology) i DIONDO GmbH za wykonanie badań odlewów metodą rentgenowskiej tomografii komputerowej.

Literatura

- [1] Jezierski, G. (1993) *Radiografia przemysłowa*, WNT, Warszawa 1993
- [2] Kielczyk, J. (2006). *Radiografia przemysłowa*, Wyd. Gamma, Warszawa 2006
- [3] PN-EN 444 Badania nieniszczące. Ogólne zasady radiograficznych badań materiałów metalowych za pomocą promieniowania X i gamma.
- [4] Ratajczyk, E. (2012). Rentgenowska tomografia komputerowa (CT) do zadań przemysłowych, *Pomiary Automatyka Robotyka*, nr 5, ISSN 1427-9126
- [5] [http://www.yxlon.com/Technology/Computed-tomography-\(CT\)](http://www.yxlon.com/Technology/Computed-tomography-(CT))
- [6] http://www.nikonmetrology.com/en_EU/Products/X-ray-and-CT-Inspection
- [7] <http://www.ge-mcs.com/en/radiography-x-ray/ct-computed-tomography.html>
- [8] <http://4nsi.com/systems/>
- [9] <http://mint.fis.agh.edu.pl>
- [10] <http://efizyka.win.pl/przygoda/desy/akcelerator.html>

X-Ray Computed Tomography in the Nondestructive Testing of Ductile Iron Castings

Actual possibilities of the computer-aided X-ray tomography equipment (CT) were presented illustrated by examples of devices capable to analyze the 80 mm thickness castings. All presented results of the nondestructive tests are performed for iron castings produced by “Odlewnie Polskie” S.A. based in Starachowice. The base principles of operation and structure of CT scanners are shown as well as possibility of this devices. The possibilities of the CT are presented in the domains of the results visualization and of the comparison with 3D documentation. Prospects and limitation of the casting defects detection and identification are presented.