

METODY WYKORZYSTANIA ANALIZY OBRAZU DO KONTROLI JAKOŚCI ODLEWÓW

Sławomir ZATOR, Rafał GASZ

Streszczenie: Zapewnienie wysokiej jakości wyrobów jest ważnym elementem procesu produkcji. Dlatego istotnym jej elementem jest przeprowadzenie całościowej kontroli w sposób szybki, dokładny i tani. W artykule przedstawiono metodę kontroli jakości wykonania elementów odlewniczych z zastosowaniem metod przetwarzania obrazów. Celem systemu jest zidentyfikowanie elementów niespełniających kryteriów dokładności wykonania otworów, płaskości powierzchni oraz rozmiarów charakterystycznych w wybranych punktach.

Słowa kluczowe: kontrola jakości, analiza obrazów, pomiary

1. Kontrola jakości

Kontroli jakości jest efektem przyjęcia zasady, że ostatecznym weryfikatorem produktu jest klient. Zatem optymalną formą kontroli jakości jest taka, w wyniku której nastąpi usatysfakcjonowanie klienta w stopniu jak najwyższym[2]. Kontrola jakości ma na celu: identyfikację problemu, zapobiegnięcie jego wystąpieniu oraz eliminację problemu.

Najbardziej efektywna kontrola jakości jest kontrolą dynamiczną, ponieważ dzięki niej możliwe jest uwzględnianie wszystkich procesów w trakcie wytwarzania produktu, poprzez identyfikowanie i przewidywanie problemów związanych z jakością produktu.

Skuteczna i szybka identyfikacja problemów wymaga dokonania kontroli po zakończeniu każdego etapu produkcji. Istnieją w tym wypadku dwie możliwości: można dokonać sprawdzenia dostarczonych komponentów, zanim zostaną użyte w dalszej produkcji lub użyć w procesie produkcji systemu samokontroli, który może być realizowany przez osobę wykonującą albo przetwarzającą komponenty.

Na etapie projektowania kontrola, a uściślając weryfikacja, odnosi się do oceny zgodności stanu uzyskanego z wymaganiami sformułowanymi przez użytkowników. Uzyskana jakość projektowa jest w zasadzie niemierzalna i obejmuje także kontrolę jakości projektowania procesu technologicznego. Zadanie takiej kontroli polega na sprawdzeniu czy przyjęte lub posiadane metody i środki produkcji, pozwalają na uzyskanie jakości wykonania zgodnej z jakością projektową. Kontrola jakości na etapie produkcji służy natomiast do określania zgodności uzyskanej jakości częściowej wyrobu lub jego części z wymaganiami zawartymi w dokumentacji konstrukcyjnej lub technologicznej.

Z technicznego punktu widzenia kontrola jakości ma na celu sprawdzanie, np. poprzez pomiar lub porównanie z wzorcem (lub z użyciem wzorca), jednej lub kilku charakterystycznych cech produktu i odniesienie otrzymanych wyników do przyjętych wymagań, w celu potwierdzenia zgodności z projektem. Zadanie to zazwyczaj wykonuje wyspecjalizowany personel, którego zakres działania nie obejmuje obowiązków pracowników produkcyjnych. Produkty niezgodne ze specyfikacjami są odrzucane lub przekazywane do poprawki [1].

Innym rodzajem kontroli jest kontrola poprodukcyjna jakości. Przeprowadzana jest po realizacji wszystkich etapów procesu produkcyjnego. Kontrolowaniu poddawany jest wyrób finalny oraz jego zgodności ze wzorcem projektowym. Najbardziej czasochłonną metodą kontroli jest kontrola stuprocentowa, polegająca na poddaniu kontroli wszystkich wyprodukowanych jednostek. Metoda ta stosowana jest głównie do wyrobów produkowanych jednostkowo lub w małych seriach. W kontroli statystycznej natomiast, partię wyrobów ocenia się na podstawie pobranej w sposób losowy próbki, w sposób wyrwykowy. W zależności od wielkości i częstotliwości pobierania próbek oraz sposobu wykorzystania informacji z kontroli do zwrotnego oddziaływania na proces produkcji, kontrola statystyczna może mieć charakter: statystycznej kontroli odbiorczej lub statystycznej kontroli procesu [1].

2. Analizowane narzędzia i metody stosowane w kontroli jakości

2.1. Metody wspomagane manualnie

Najprostszą metodą kontroli jakości wykonanych elementów jest ich dokładny pomiar oraz ocena stanu przez wykwalifikowany personel techniczny. Do kontroli można wykorzystywać proste urządzenia pomiarowe, jak różnego rodzaju mierniki suwmiarki, mikrometry oraz wzorce do kontroli porównawczej (szablony). Ocena stanu polega także na wzrokowej ocenie poprawności wykonania lub na umieszczeniu wykonanego elementu np. w przygotowanym odpowiednio wzorniku lub matrycy, dzięki czemu będzie możliwe stwierdzenie poprawności jego wykonania.

Metody manualne są proste i tanie. Ich główną wadą jest długi czas realizacji oraz, co się z tym wiąże, mała wydajność. Istnieje także prawdopodobieństwo większych pomyłek, w porównaniu do stosowania oceny stanu odlewów realizowanych w sposób zautomatyzowany.

2.2. Wykorzystanie maszyn współrzędnościowych

Maszyna współrzędnościowa to rodzaj maszyny pomiarowej umożliwiającej wykonanie pomiarów przestrzennych (3D) skomplikowanych elementów. Jest ona wyposażona w trzy systemy pomiarowe do pomiaru w trzech osiach współrzędnych XYZ oraz sondę do lokalizacji położenia wybranej powierzchni elementu. Dzięki napędom i komputerowemu systemowi pomiarowemu, z dedykowanym oprogramowaniem, możliwe jest stosunkowo szybkie wykonywanie pomiarów w trybie automatycznym.

Pomiary wykonane z użyciem maszyny współrzędnościowej charakteryzują się bardzo dużą dokładnością (na poziomie od kilku μm) i obiektywnością. Dużą zaletą stosowania tej techniki pomiarowej jest wykonywanie pomiarów różnych przedmiotów o skomplikowanych kształtach, których nie można zmierzyć za pomocą podstawowych przyrządów warsztatowych, jak np. suwmiarek, długościomierzy, czujników zegarowych. Maszyny współrzędnościowe mają trzy różne schematy kinematyczne. W wersji portalowej składa się ona z ruchomego portalu mogącego się przemieszczać w określonym zakresie po osiach X i Y, natomiast głowica pomiarowa porusza się w osi Z w kierunku pionowym. Istnieją rozwiązania, w których portal jest nieruchomy, natomiast stół pomiarowy jest przemieszczany. Układy pomiaru przesuwu składają się z zestawu liniałów pomiarowych z czytnikami elektro-optycznymi dla każdej z osi oraz z głowicy pomiarowej, którą można wyposażyć w zestawy trzpieni pomiarowych [3].

Po uruchomieniu maszyny, pomiar rozpoczyna się od zerowania układu pomiarowego, polegającego na ustawieniu każdej z osi punktów referencyjnych. Dalsze etapy pomiaru elementu to: zamocowanie zespołu trzpieni pomiarowych, kalibracja trzpieni pomiarowych, montaż części na stole pomiarowym, ustalenie bazowego układu współrzędnych, określenie kostki bezpieczeństwa, opracowanie planu pomiarowego, wykonanie pomiaru testowego, pomiar zasadniczy oraz opracowanie raportu pomiarowego.

W trakcie wykonywania pomiaru informacja na temat wymiarów danego elementu jest odbierana jako zbiór współrzędnych punktów z użyciem sond np. elektrostykowych lub optycznych. Dla poprawnej pracy systemu pomiarowego maszynę współrzędnościową i jej głowice pomiarowe trzeba okresowo kalibrować. Najważniejszą część kalibracji stanowi wyznaczenie mapy korekcji maszyny. Jest ona wyznaczana poprzez pomiar specjalnie do tego stworzonego wzorca, bądź za pomocą interferometru [3].

W odniesieniu do odlewów, poddawanych dalszej obróbce, wykorzystanie maszyny współrzędnościowej jest nieadekwatne, biorąc po uwagę jej koszt oraz wymaganą precyzję pomiaru na poziomie (50÷100) μm . Rozwiązaniem, które oferuje podobną funkcjonalność jest robot pomiarowy. Mają one zwiększoną ponad prędkość ruchu ramienia (do 0,5 m/s), w stosunku do maszyn współrzędnościowych. Mogą też poruszać z kilkukrotnie większym przyspieszeniem (do 4 m/s^2). Warunki pracy robota pomiarowego, umieszczonego w kabinie, mogą odpowiadać warunkom hal produkcyjnych.

2.3. Metody optyczne

Metody optyczne pomiaru kształtu zapewniają wysoką rozdzielczość oraz zmienną czułość i zakres pomiarów powierzchni obiektów trójwymiarowych. W zależności od techniki mogą zostać użyte do pomiaru odległości oraz trójwymiarowej mikro- i makrostruktury badanego obiektu. Dzieli się na dwie podstawowe grupy – punktowe i polowe. W metodzie punktowej informacja o kształcie obiektu uzyskiwana jest z określonego zbioru punktów wyodrębnionych z powierzchni obiektu mierzonego (podobnie jak w maszynie współrzędnościowej). Natomiast w metodzie polowej informację o kształcie obiektu uzyskuje się za pomocą obrazów całego badanego przedmiotu zarejestrowanych przez kamerę lub aparat.

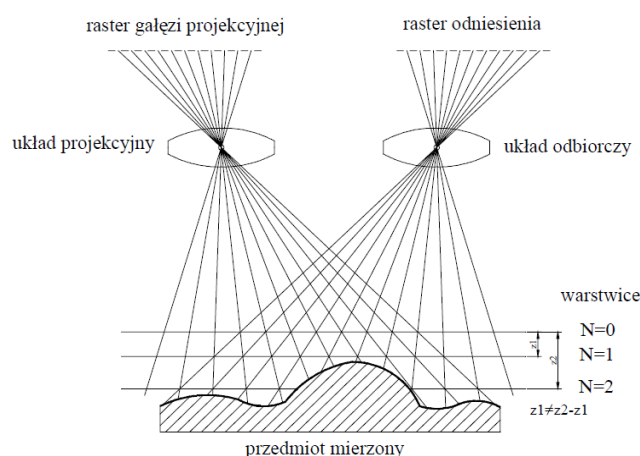
Metody punktowe są związane z aktywnymi i biernymi technikami triangulacyjnymi. Wyróżnia się jej dwie podstawowe grupy: fotogrametrię, która opiera swoje działanie na rejestracji i analizie obrazów tego samego obiektu z różnych (co najmniej dwóch) kierunków obserwacji oraz drugą grupę, wykorzystującą system projekcji z kalibracją dla jednego z kierunków triangulacyjnych [5]. Dla poprawienia dokładności układów fotogrametrycznych stosuje się znaczniki, które nanosi się na powierzchnię obiektu. Bezpośredni zapis video i rejestracja pośrednich obrazów z wykorzystaniem kamer sprzężonych z szybkimi komputerami, czyni możliwym w pełni automatyczne i wydajne przetwarzanie danych.

Podstawowymi wadami tych metod są: ograniczona liczba punktów, które mogą być analizowane w przypadku w pełni zautomatyzowanej obróbki danych oraz długi czas przetwarzania danych.

Dużo większą grupę optycznych metod pomiaru kształtu stanowią metody polowe. Ich podstawową zaletą jest fakt, że dostarczają one informację o kształcie obiektu z całego pola widzenia jednocześnie. Metody zaliczane do tej generacji opierają swoje działanie na analizie intensywności zdeformowanych obrazów prążkowych projektowanych na powierzchnię obiektu podlegającego badaniu. Projektowane obrazy prążkowe mogą być

tworzone różnymi technikami, jak np. projekcję obrazu siatki lub tworzenie prążków interferencyjnych z koherentnego źródła światła. Zmiany wysokości i deformacje powierzchni elementu mierzonego wprowadzają zaburzenia wzoru prążkowego o znanym kształcie, który jest następnie porównywany z oryginałem.

Dwie struktury w postaci rastrów liniowych, nałożone na siebie powodują powstanie obrazu ciemnych i jasnych pasm mory. Są one zależne od częstości przestrzennych struktur, od stosunku szerokości ciemnych i jasnych linii i od wzajemnego położenia siatek. Technika optycznego pomiaru kształtu opierająca się na zjawisku mory przedstawia rys.1.



Rys. 1. Zjawisko mory projekcyjnej

Obraz rastrowy umieszczony w gałęzi projekcyjnej jest rzutowany na obiekt. W drugiej gałęzi systemu znajduje się identyczny system optyczny, który odwzorowuje prążki z przedmiotu na raster odniesienia, taki sam jak raster gałęzi projekcyjnej. Płaszczyzny rastrów są prostopadłe do osi optycznych, które z kolei są równoległe względem siebie. Rastry są rozsunięte poprzecznie i aby oświetlić jak największy obszar mierzonego obiektu, konieczne jest bardzo dobre skorygowanie układów optycznych. Analiza obrazów prążkowych może być traktowana jako proces pełnego odtworzenia wielkości mierzonej w nich zakodowanej, będącej sinusoidalnymi fluktuacjami intensywności [4].

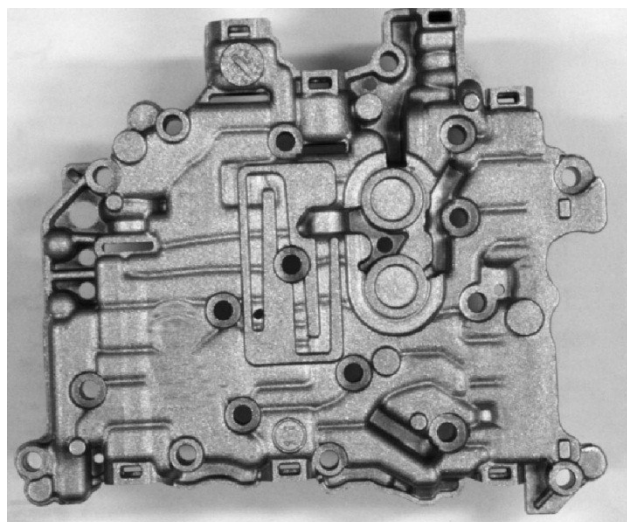
Oprócz wymienionych metod optycznych, wykorzystujących zależności geometryczne, do niektórych pomiarów wykorzystać można skalibrowane zdjęcia. Kontrola produktu może być wykonywana w sposób pośredni, porównując zdjęcia wzorca ze zdjęciem kontrolowanego detalu, albo poprzez wykrywanie określonych kształtów. Metodę to opisano dokładniej w następnym rozdziale. Wykorzystywanie metody optycznej w badaniu wykonania odlewów mogłoby być metodą szybką oraz relatywnie tanią w stosunku do wykorzystania np. robota pomiarowego. Z uwagi na krótki czas pomiaru, kontroli mogłyby być poddane wszystkie odlewy.

3. Obiekt badań

Obiektem badań jest element odlewniczy pokazany na rys.2. Celem wykonywanych pomiarów jest kontrola jakości danego elementu obejmująca sprawdzenie:

- średnic otworów przelotowych,

- średnic otworów nieprzelotowych na górnych powierzchniach odlewów,
- średnic otworów nieprzelotowych na bocznej powierzchni odlewu
- płaskości wybranej powierzchni danego elementu ,
- wysokości wybranych punktów odlewu w stosunku do płaszczyzny odniesienia.



Rys. 2. Badany obiekt

W sumie wykonać należy ponad 40 pomiarów (sprawdzeń) dla każdego odlewu.

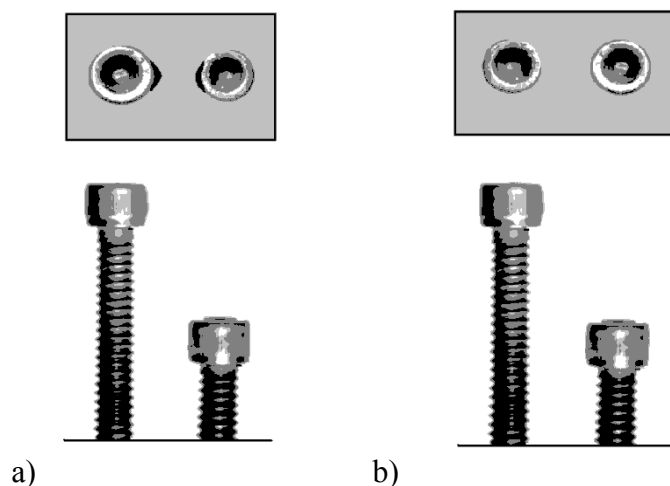
3.1. Zastosowane optyczne metody pomiaru

Ze względu na to, że kontrola jakości obiektu, ma być wykonywana stosunkowo szybko (około 2-3 sekund na punkt) i z dokładnością na poziomie 100 μm , przy użyciu niewielkich nakładów finansowych zaproponowano wykorzystanie w pomiarach analizy obrazu pozyskanego z kamery o wysokiej rozdzielczości jako metody podstawowej. Możliwe są dwa rozwiązania:

- porównanie z wzorcem,
- wykrywania krawędzi z rozpoznawaniem kształtów.

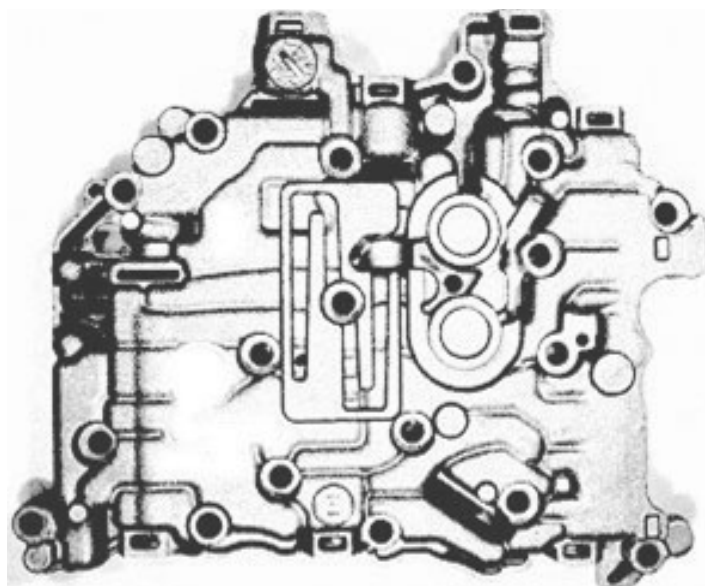
Pierwsza metoda wymaga zachowania stałych warunków oświetleniowych oraz powtarzanego stanu powierzchni obiektu. W metodzie tej, zgodność zdjęcia danego detalu i wzorca może być definiowana do wybranych fragmentów, np. tylko otworów. Metoda jest stosunkowo prosta w realizacji oraz szybka, ponieważ wystarczy wykonanie tylko jednego zdjęcia. Może być wykorzystany aparat lub kamera ze standardowym obiektywem. Jak już wspomniano, w metodzie tej nie dokonuje się pomiarów, lecz porównanie z nim. Ze względu na występującą perspektywę, te same detale, znajdujące się w różnych odległościach na zdjęciach, widoczne są jako posiadające różne rozmiary. Na rys. 3a widoczne są zniekształcenia, które występują przy korzystaniu ze standardowego obiektywu. Mogą one powodować istotne problemy przy komputerowej analizie obrazu. Zniekształceń tych można uniknąć stosując obiektyw telecentryczny (rys. 3b). W metodzie porównania z wzorcem nie są istotne zniekształcenia obrazu, ponieważ stosując ten sam układ pomiarowy powstają one zarówno dla wzorca jak i dla

porównywanego obiektu. Przykładowo, tylko otwory znajdujące się w osi obiektywu są okrągami. W miarę oddalania od osi zmieniają się one w owale.



Rys. 3. Zdjęcia śrub imbusowych o różnej długości wykonane obiektywem:
a) standardowym b) telecentrycznym.

Z doświadczenia wiadomo, że trudno jest uzyskać dobrą skuteczność tej metody, w zakresie pełnej zgodności obrazów. Efektywność tej metody można poprawić korzystając z przekształconych obrazów np. z detekcji krawędzi (rys. 4), tak aby porównywać tylko wybrane elementy (np. krawędzie otworów), a nie fakturę powierzchni obiektu.



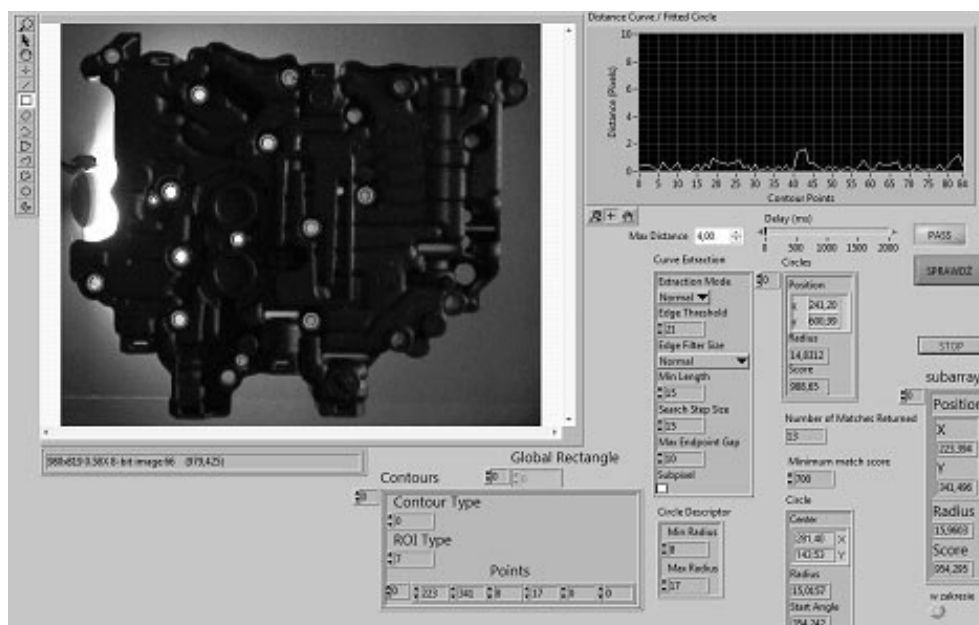
Rys. 4. Obraz po przetworzeniu, przygotowany do porównania

Druga z metod polega na wykrywaniu krawędzi z rozpoznawaniem zadanych kształtów. Pozwala ona na analizę nie tylko jakościową, ale i ilościową. Możliwy jest pomiar każdego z kształtów podstawowych (np. otworu, odwzorowanego jako okrąg), polegający na podaniu współrzędnych środka okręgu średniego, jego promienia oraz odchyłki zmierzonej krawędzi od okręgu. Zadając dopuszczalną odchyłkę (w mm przeliczoną na piksele obrazu) można sprawdzić zarówno położenie otworów jak i ich okrągłość. W świetle przechodzącym można sprawdzić np. drożność otworów przelotowych.

Aby pomiar był wiarygodny, korzystając ze standardowego obiektywu, inspekcję otworów należy przeprowadzać indywidualnie umieszczając oś obiektywu nad każdym z otworów. Wykorzystując układ przesuwu X-Y, na którym zamontowana będzie kamera, proces kontroli można radykalnie przyspieszyć. Czas potrzebny na pomiar jednego otworu, z uwzględnieniem przesuwu, to około 2-3 sekund. W tej sytuacji można wykorzystać kamerę o niezbyt dużej rozdzielczości (1,3-2 MPx), o krótkiej ogniskowej, przesuwaną w niewielkiej odległości od obiektu. Taki sposób pomiaru wymaga ustalenia sprawdzanych detali w uchwycie zapewniającym jego powtarzalną pozycję.

Drugim sposobem, niewymagającym układu przesuwu, jest zastosowanie obiektywu telecentrycznego. Jedne z największych obiektywów telecentrycznych mają pole widzenia 360x230 mm i mogą objąć polem widzenia cały obiekt. Koszt obiektywu jest jednak wysoki, ale porównywalny z kosztem układów przesuwu X-Y z ich sterowaniem.

Przykład rozpoznawania otworów i kontroli ich odchyłek okrągłości, wykorzystując oświetlenie od dołu, przez aplikację stworzoną w środowisku LabView pokazano na rys. 5.



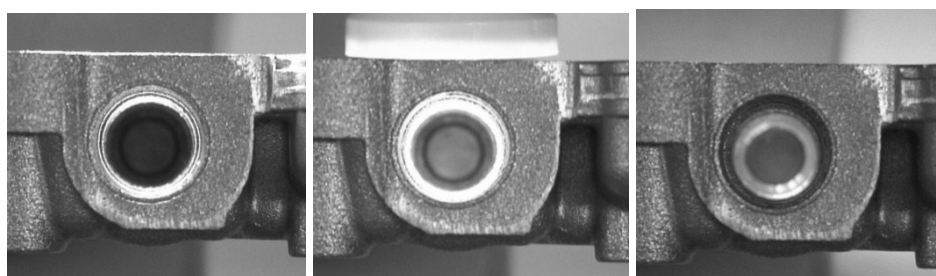
Rys. 5. Przykładowa aplikacja rozpoznająca otworu o zadanym przedziale promieni oraz sprawdzająca ich okrągłość

Na obecnym etapie, realizację pomiaru metodą optyczną można rozwiązać przy pomocy zaproponowanych dwóch rozwiązań sprzętowych. Realizacja z obiektywem

telecentrycznym jest jednak zdecydowanie szybsza.

Opisanymi wyżej metodami można bezpośrednio dokonać pomiarów średnic i położenia otworów przelotowych (z oświetleniem od spodu) i otworów nieprzelotowych (z oświetleniem od góry).

Trudnym do rozwiązania jest problem pomiaru średnic otworów z boku odlewu. Otwory te dodatkowo skokowo zmniejszają swoją średnicę. Ze względu na dużą głębokość otworów pomiar z oświetleniem od góry nie daje oczekiwanych efektów, z powodu występującego półcienia. Pewnym rozwiązaniem może być oświetlenie od spodu odlewu, dzięki szczelinom, przez które światło może docierać do pewnych przekrojów otworu (rys 6). Dzięki takiemu oświetleniu możliwe jest dokonywanie pomiarów w kilku przekrojach.

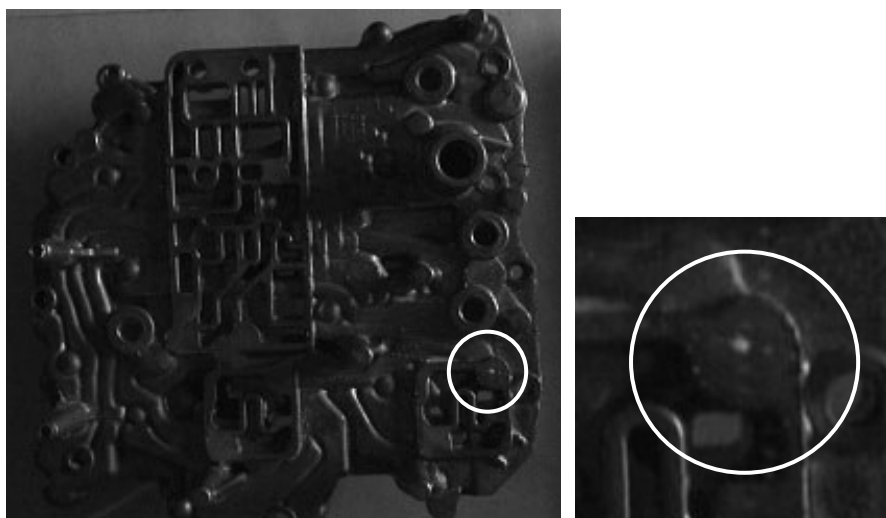


Rys. 6. Oświetlenie otworów bocznych na różnych głębokościach otworu

Pomiar taki wymaga zastosowania wielopunktowego sterownego oświetlacza oraz dodatkowego uchwytu dla elementu.

Najtrudniejszym do rozwiązania problemem okazał się pomiar wysokości wybranych punktów odlewu w stosunku do płaszczyzny odniesienia. Zakładając, że pod trzema punktami odlewu (wyznaczającymi płaszczyznę odniesienia) nastąpi podparcie, to pomiarem na górnej jego powierzchni można stwierdzić odkształcenie. Wykonano próby pomiaru wysokości metodą triangulacyjną, oświetlając pod znanym kątem (60°) wiązką lasera wybrany punkt jak na rys. 7.

Aby obraz mógł być zarejestrowany, wymagane jest zaciemnienie obiektu, ze względu na niskie rozpraszanie światła lasera na powierzchni odlewu, przy bocznym oświetleniu. W drugim rozwiązaniu wybrane miejsce oświetlone zostanie dwoma stożkami światła (o kącie wierzchołkowym powyżej 30°), z przesuniętymi ogniskami, koniecznymi dla ustalenia znaku odchyłki. W przypadku, gdy powierzchnia będzie na wyznaczonej pozycji, widoczne będą dwa koła, jedno o minimalnej średnicy – około 1 mm, drugie 2 mm (rys. 8). Pośredni pomiar wysokości polega na pomiarze średnic obu okręgów, wykorzystując zależności geometryczne.



Rys. 7. Oświetlenie wybranego punktu wiązką lasera



Rys. 8. Oświetlenie dwoma punktami do pomiaru wysokości obiektu

3.2. Używane przyrządy

Badania przeprowadzono z użyciem aparatu cyfrowego Canon EOS 30D o matrycy 8,2 MPx oraz kamery IP Axis Q1755 (rys.9a) o rozdzielczości 2 MPx. Aby skorzystać z obiektywu telecentrycznego (rys. 9b), obejmującego polem widzenia cały obiekt wymagana jest przemysłowa kamera pomiarowa o rozdzielczości co najmniej 5 MPx. Przy tej rozdzielczości matrycy kamery, możliwy jest pomiar odległości i średnic z rozdzielczością 80 μm . Aby użyć obiektyw telecentryczny konieczne jest zastosowanie pierścienia redukcyjnego, po to aby wykorzystać maksymalną rozdzielczość przetwornika CCD kamery. Stosując natomiast układ przesuwu X-Y, kamerę z regulowanym przybliżeniem można, korzystając z maksymalnego 10-krotnego przybliżenia, uzyskać rozdzielczość pomiaru 20 μm . To rozwiązanie oferuje większą precyzję pomiaru, jednak odbywa się kosztem znacznego zwiększenia czasu pomiaru.



Rys. 9. Kamera Axis Q1755 (a) oraz obiektyw telecentryczny firmy Still (b)

3.3. Implementowane dodatkowe algorytmy

W procesie kontroli należy uwzględnić wady optyczne układu akwizycji obrazu, które wywołują zniekształcenia obrazu, obniżając tym samym dokładność wykonywanych pomiarów. Najważniejszymi wadami obiektywów są [1,2]:

- astygmatyzm, polegający na tym, że promienie wychodzące z tego samego punktu, a przebiegające w dwóch prostopadłych płaszczyznach są ogniskowane w różnych punktach (obiektywy ze skorygowanym astygmatyzmem noszą nazwę anastygmatów);
- koma, polegająca na tym, że wiązka promieni świetlnych wychodząca z punktu położonego poza oś optyczną tworzy obraz w kształcie przecinka;
- dystorsja beczkowata lub poduszkowata;
- aberracja sferyczna;
- aberracja chromatyczna.

W celu usunięcia występujących zniekształceń zdjęcia poddano korekcie zniekształceń. Wyniki porównano z efektami programu Photomodeller Scanner. Dla danego zestawu kamera-obiektyw kalibrację dokonuje się jednorazowo. Cechą charakterystyczną wykonanej korekty są czarne uzupełnienia braków obrazu na skorygowanych zdjęciach. Zdjęcie po korekcie zostaje poddane dalszej analizie poprzez program omawiany w rozdziale 3.1.

4. Wnioski

Kontrola jakości jest ważnym elementem procesu produkcyjnego i powinna być ona wykonywana w sposób wystarczająco dokładny i szybki. Obecnie najpopularniejszą metodą oceny stanu tego typu odlewów jest stosowanie odpowiednich wzorników. Jest to metoda tania, ale może czasochłonna, w zależności od ilości koniecznych sprawdzeń. Każdorazowa zmiana kontrolowanego detalu wymaga sporządzenia nowego zestawu wzorników. Metodą tą sprawdzane są zazwyczaj losowo wybrane elementy.

W artykule pokazano, że do kontroli jakości wykonania elementów odlewniczych, można z powodzeniem zastosować techniki związane z zaawansowanym przetwarzaniem obrazów. Dzięki relatywnie niskiej cenie implementacji i możliwości szybkiej adaptacji, co w procesie kontroli jakości jest niezwykle istotne, można stwierdzić, że w pewnych zastosowaniach jest to bardzo dobre narzędzie. Przy jego pomocy można dokonywać kompleksowej oceny analizowanych cech i parametrów elementów odlewniczych.

Zaproponowana w artykule metoda jest szybka i wystarczająco dokładna. Alternatywnym rozwiązaniem, dzięki któremu można byłoby uzyskać także dokładniejszy pomiar, jest użycie robota pomiarowego. Jednak jego koszt jest niewspółmiernie wysoki do zadania i byłby uzasadniony, gdyby konieczna była kontrola każdego elementu, nie tylko przed obróbką (jako odlew) ale i po niej.

Ważnym aspektem omówionej metody jest wybór odpowiedniego sprzętu pomiarowego i oprogramowania z nim współpracującego, przy pomocy którego będzie wykonywana diagnostyka. Zaproponowana przez autorów metoda, w zakresie oceny położenia i kształtu otworów, sprawdzenia odkształcenia i grubości odlewu w wybranych punktach, może zaferować szybkie i wystarczająco dokładne i zarazem kompleksowe podejście do przeprowadzanie oceny elementów odlewniczych.

Literatura

1. Hamrol A., Mantura W.: Zarządzanie jakością. Teoria i praktyka. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2002.
2. Lisiecka K.: Kreowanie jakości. Wydawnictwo Uczelniane Akademii Ekonomicznej w Katowicach, Katowice, 2002.
3. Ratajczyk E.: Współrzędnościowa technika pomiarowa. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2005.
4. Sojecki A.: Optyka. WSiP, Warszawa, 1977
5. Sitek Z.: Elementy fotogrametrii i fotografii technicznej. Państwowe Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1984.

Dr hab. inż. Sławomir Zator, prof. PO
Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki
Politechnika Opolska
45-370 Opole, ul. Ozimska 75
tel.: +48 77 449 8745
e-mail: s.zator@po.opole.pl

Mgr inż. Rafał Gasz
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki
Politechnika Opolska
45-076 Opole, ul. Prószkowska 76
tel.: +48 77 449 8020
e-mail: r.gasz@doktorant.po.opole.pl

Stypendia doktoranckie - inwestycja w kadrę naukową województwa opolskiego.
Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach
Europejskiego Funduszu Społecznego.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

