

ŚWIŁŁO Sławomir¹
PERZYK Marcin²
MYSZKA Dawid³

Logistyka produkcji z zastosowaniem automatycznego systemu detekcji wad odlewniczych

WSTĘP

Logistyka produkcji otwiera nowe możliwości zarządzania i sterowania procesami wytwarzania. Do podstawowych zadań w tym zakresie zaliczyć można kontrolę wyrobów w poszczególnych fazach produkcji, w celu uzyskania optymalnych wyników kontroli jakości w stosunku do wydajności [14]. Podstawowym problemem występującym w wielu procesach jest konieczność dokonywania przestojów, w celu realizacji procesu kontroli. Powoduje to znaczne straty z tytułu zatrzymywania produkcji bądź konieczności wprowadzania zmian w procesie technologicznym, z uwagi na wykryte wady wyrobu. Do powszechnie stosowanych metod należy kontrola manualna, która wynika z braku dostępnych rozwiązań umożliwiających realizację tych zadań w sposób automatyczny. Idealnym polem do zaadaptowania nowych technik automatyzujących proces kontroli jakości wyrobu jest odlewnictwo metali. Zaproponowana przez autorów koncepcja sterowania przepływem informacji pozyskiwanych z zaawansowanych systemów komputerowych umożliwia ciągłą kontrolę jakości wyrobów bez potrzeby zatrzymywania procesu wytwarzania. Uzyskane w ten sposób informacje z procesu kontroli umożliwiają sterowanie parametrami technologicznymi procesu odlewania, w celu wyeliminowania wykrytych wad powierzchniowych.

Kontrola i analiza zdobytych w ten sposób informacji możliwa jest dzięki dynamicznie rozwijającym się nowym technologiom komputerowym i optoelektronicznym. Wraz z tą wiedzą rozwija się świadomość zastosowania techniki wizyjnej w kolejnych dziedzinach i obszarach przemysłu. Podkreślony został szczególny charakter rozwoju tej techniki, kształtującej się na przestrzeni czterdziestu lat, z których ostatnie dwie dekady to czas dynamicznie rozwijającego się przemysłu optoelektronicznego, stanowiącego podstawę rozwoju i postępu kamer wizyjnych. To właśnie kamera stała się podstawowym atrybutem wszelkich układów wizyjnych, a wprowadzone w ostatnich latach określenie systemy wizji maszynowej (ang. *machine vision*) zaczęto powszechnie utożsamiać z rozwiązaniami dedykowanymi do realizacji szeroko rozumianych zadań kontroli w przemyśle [7,1,16].

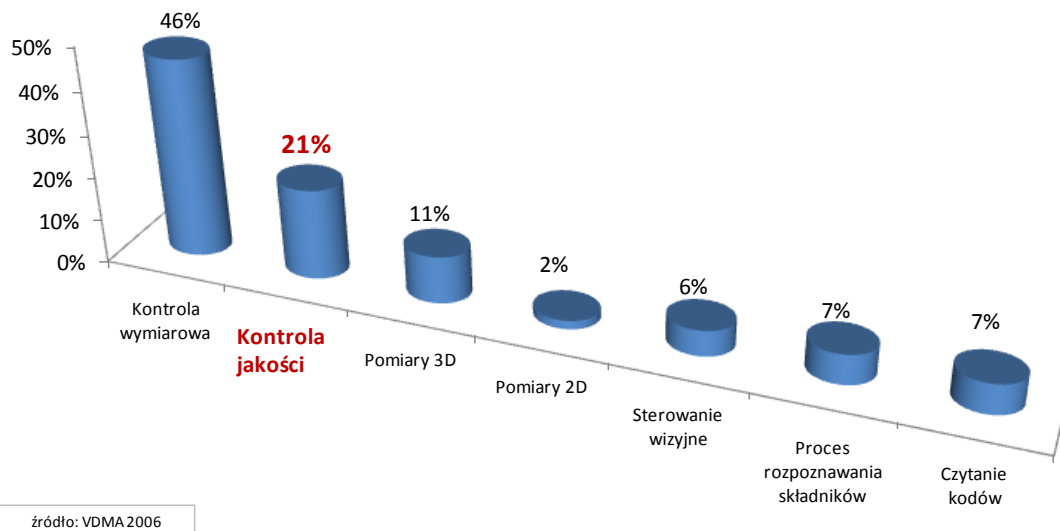
Współczesny rynek zapotrzebowania na systemy pomiarowe, to w dużej części urządzenia optyczne oparte na zastosowaniu systemów wizyjnych. Obok tradycyjnych układów optycznych, takich jak mikroskopy czy urządzenia laserowe, spotkać można szeroką gamę urządzeń wizyjnych. Realizują one zadania pomiarowe w oparciu o zarejestrowany obraz i dokonują jego automatycznej analizy. Te dwa podstawowe atrybuty układu wizyjnego sprawiają, że istnieje powszechne przekonanie, że do uruchomienia tego typu pomiarów wystarczy posiadać kamerę i oprogramowanie do analizy obrazu. Nie jest to do końca słuszne założenie. Systemy wizyjne to „inteligentne” układy pomiarowe, które w sposób automatyczny realizują zadania: rejestracji i akwizycji obrazów, następnie ich przetwarzania i analizowania, jak również, o czym się często zapomina, zadania decyzyjne. Do najprostszych tego typu poleceń należy określenie tzw. poziomu „akceptacji”, przy którym następuje uznanie, że zadanie jest zrealizowane poprawnie lub też nieprawidłowo. Z tego poziomu decyzji następuje egzekwowanie zadań polegające, na przykład, na fizycznym odrzuceniu wyrobów wadliwych. I to właśnie w zakresie tworzenia rozwiązań dotyczących kontroli pomiarowej występuje największe zapotrzebowanie na tworzenie nowych rozwiązań wizyjnych. W szczególności do tej

¹ Politechnika Warszawska

² Politechnika Warszawska

³ Politechnika Warszawska

grupy zadań zaliczyć można kontrolę wymiarową. Zgodnie z analizą rynku dotyczącą głównych obszarów zastosowania systemów wizyjnych⁴ (przedstawioną szczegółowo na wykresie, rys. 1), można dostrzec, że kontrola wymiarowa jest drugim, co do wielkości obszarem największego wykorzystania systemów wizyjnych (21%).



Rys. 1. Główne obszary zastosowań systemów wizyjnych

Systemy wizyjne projektuje się do realizacji wąsko zdefiniowanych zadań, takich jak: liczenie obiektów, kontrola geometrii czy poszukiwania defektów na powierzchni obiektów, czyli kontrola jakości. Systemy takie stosuje się tam, gdzie jest zapotrzebowanie na szybkie, dokładne i powtarzalne inspekcje optyczne. Systemy wizji maszynowej w porównaniu z inspekcją optyczną dokonywaną przez ludzi są zazwyczaj dokładniejsze i szybsze. Zmęczenie i brak jednolitych kryteriów oceny oraz koszty realizacji tych zadań, to czynniki przemawiające na korzyść zastosowania rozwiązań na bazie kamer. Tego typu rozwiązania pracują non-stop z przerwami na konserwacje i kalibracje. Coraz nowocześniejsze rozwiązania sprzętowe w tym zakresie pozwalają na rozszerzanie dotychczasowych możliwości stosowania układów wizyjnych. Warianty w postaci układów wizyjnych są najczęściej stosowanymi rozwiązaniami umożliwiającymi głównie dokonywanie monitoringu. Wynika to z faktu prostoty takich układów, które często wykorzystywane są jedynie do informowania w sposób graficzny operatora o przebiegu procesu czy wynikach pomiarów. Bardziej zaawansowaną formą techniki wizyjnej jest możliwość realizacji zadań decyzyjno-wykonawczych w oparciu o uzyskane wyniki. Wymaga to zastosowania dodatkowych urządzeń (w zależności od rodzaju wykonywanych zadań), często układów mechanicznych umożliwiających realizację, na przykład: czynności odrzucania wadliwych wyrobów w przypadku inspekcji jakości, zmian parametrów technologicznego procesu w przypadku realizacji zadań kontroli przebiegu procesu lub zadań klasyfikacji wyrobów.

1 AUTOMATYZACJA KONTROLI JAKOŚCI WYROBÓW ODLEWANYCH

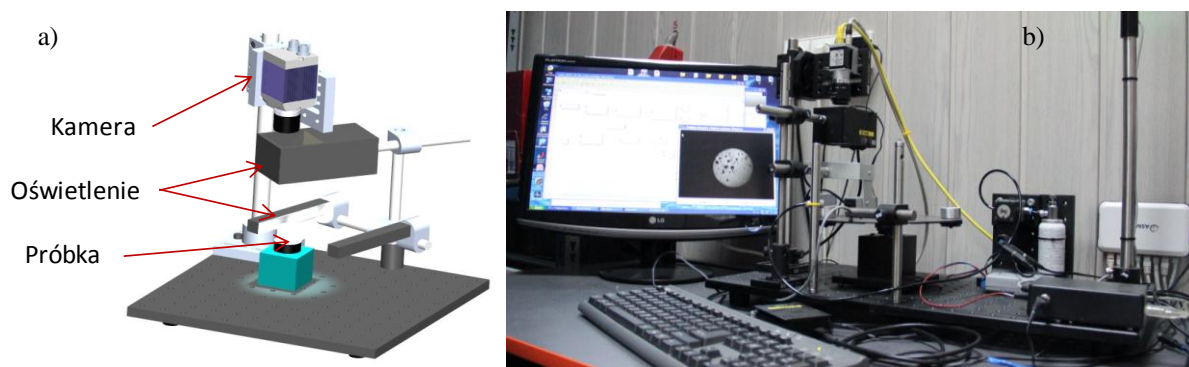
Odlewy aluminiowe są szeroko stosowane we wszystkich dziedzinach techniki, a zwłaszcza w lotnictwie, w komunikacji drogowej i kolejowej, w przemyśle okrętowym, w przemyśle chemicznym i maszynowym. Problem pomiaru wad powierzchniowych w aluminiowych odlewach jest szeroko rozumianym aspektem dotyczącym defektów np. w przemyśle odlewniczym jako najważniejszego elementu jakości produkcji. W zależności od konstrukcji i technologii, odlewanie może powodować występowanie powierzchniowych nieciągłości takich jak pęknięcia czy pory, które w sposób znaczący wpływają na zdolności materiału do przenoszenia obciążeń. Porowatość jest jednym z zasadniczych czynników zmniejszających własności użytkowe. Jest ona wadą odlewniczą, która ma postać skupisk bardzo drobnych pęcherzy gazowych występujących w całej masie odlewu. Małe rozmiary porów są

⁴ Źródło – The VDMA Machine Vision Market, 2006

powodem trudności z ujawnianiem wady w odlewach poddawanych badaniom metodami nieniszczącymi. Obecność zagazowania lub porowatości dyskwalifikuje odlewy, ponieważ ich własności wytrzymałościowe ulegają znacznemu obniżeniu, a ścianki stają się nieszczelne i w konsekwencji obniżają jakość łączonych powierzchni.

Pomimo znaczącego postępu w kontroli i sterowaniu procesami odlewniczymi występowanie wad w odlewach jest istotnym problemem [2-7]. Szczególnie dotyczy to wad, które ujawniają się dopiero u odbiorcy odlewów, po usunięciu warstwy zewnętrznej w procesie skrawania, znacznie rzadziej w trakcie eksploatacji. Najczęściej, a zwłaszcza w przypadku produkcji wielkoseryjnej, kontrola prowadzona w odlewni zazwyczaj nie dysponuje środkami pozwalającymi na zbadanie wszystkich odlewów pod kątem występowania wad wewnętrznych i dlatego ich ujawnianie się dopiero u klienta jest nieuniknione. Szczególnego znaczenia nabiera więc stworzenie możliwości stosunkowo łatwego wykrywania wad odlewniczych po obróbce mechanicznej, co pozwoli na wyeliminowanie ich skutków w trakcie eksploatacji. Powszechnie stosowany system inspekcji oparty na wzrokowej kontroli jest dobrze przystosowany do działania w obszarze dużego zróżnicowania warunków zewnętrznych (hale przemysłowe) charakteryzując się jednakże wysokimi kosztami i powolnością, a ich rezultat w dużym stopniu zależny od czynnika ludzkiego. Proponowana metoda komputerowej inspekcji wizyjnej stanowi alternatywę dla tego typu inspekcji wzrokowej. Opracowany przez autorów komputerowy system wizyjny do kontroli defektów powierzchniowych pozwala na przeprowadzenie pełnej kontroli jakości powierzchni aluminiowych odlewów po obróbce mechanicznej.

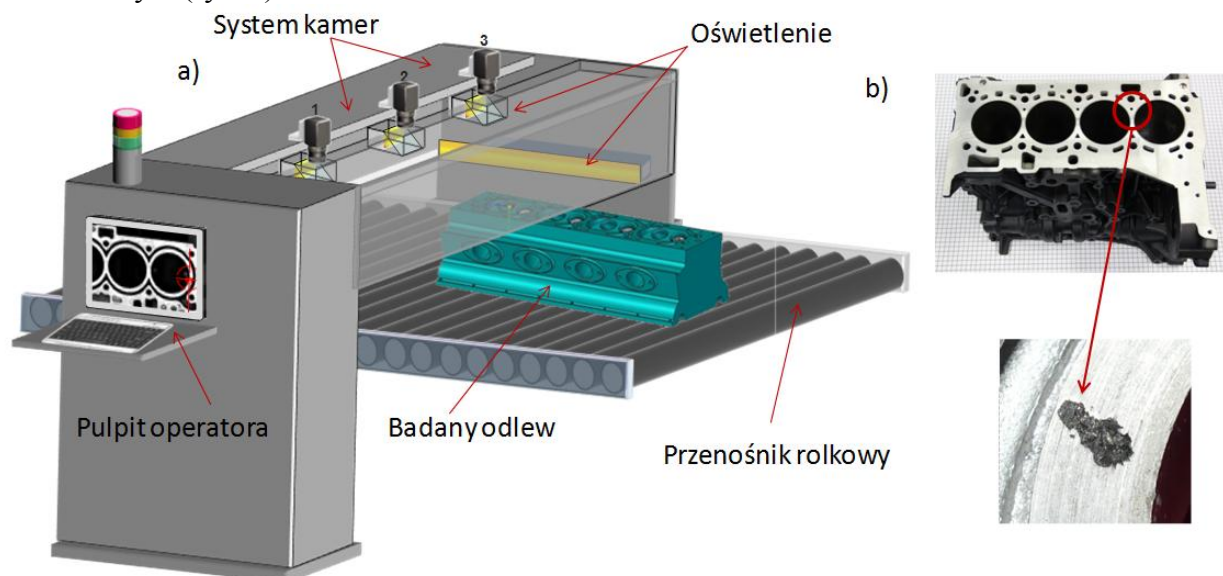
Do badań nad opracowaniem metody identyfikacji defektów należało przede wszystkim przygotowanie i konfiguracja układu wizyjnego, oświetleniowego oraz mechanicznego w połączeniu z zaawansowaną techniką obróbki obrazu (rys. 2a). To zestawienie sprzętu pomiarowego i techniki obliczeniowej stanowi istotę rozwiązania zastosowanego do zbudowania skomputeryzowanego systemu wizyjnego, w którym realizowany jest w czasie rzeczywistym proces przechwytywania zdjęć badanej powierzchni w połączeniu z zaawansowaną obróbką numeryczną. Integralnym elementem przygotowanego systemu wizyjnego było zaprojektowanie odpowiedniego oświetlenia, pozwalającego na wyróżnienie wad odlewniczych na maszynowo obrabianej powierzchni. Stąd wynika zaproponowane rozwiązanie układu oświetlenia podawanego w kierunku prostopadłym do próbki. Obraz badanej powierzchni z widocznymi porami trafia przez obiektyw do kamery. Zaproponowane oświetlenie podawane na powierzchnię w osi optycznej kamery jest typowym rozwiązaniem stosowanym tam, gdzie matowe powierzchnie wgłębień powodują rozproszenie padających na ich powierzchnię promieni światła. Powoduje to powstawanie ciemniejszych obszarów



Rys. 2. Stanowisko badawcze dla próbek modelowych: a) model stanowiska wizyjnego, b) zdjęcie stanowiska wizyjnego

w miejscach gdzie występują nieciągłości badanej powierzchni. Jest to idealna aplikacja dla tego typu problemów z identyfikacją defektów powierzchniowych. Jednocześnie niewielkie zmiany geometrii powierzchni w postaci pozostałości po frezowaniu nie zaburzają odbitego obrazu, co nie wprowadza fałszywego sygnalizowania defektu. W wyniku tych prac opracowano i zbudowano system wizyjny do badania modelowych próbek (rys. 2b) z defektami powierzchniowymi [9-13]. W uzupełnieniu do

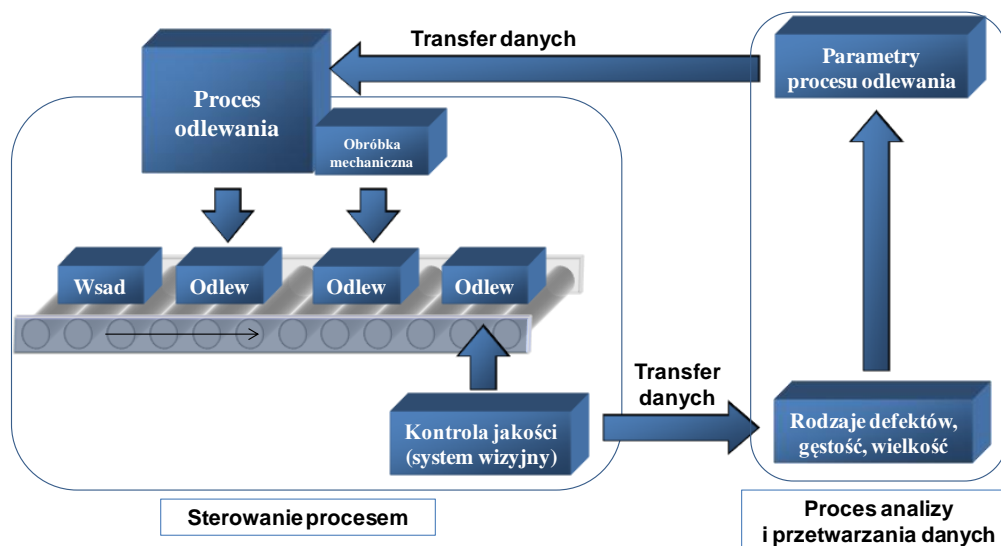
opisanego systemu przedstawiono koncepcję rozwiązania przemysłowego, które zawiera rozszerzenie wspomnianych elementów wizyjnych do wielkości umożliwiającej skanowanie rzeczywistych wyrobów, takich jak korpusy silników czy skrzynie biegów wytwarzanych w przemyśle samochodowym (rys. 3).



Rys. 3. Koncepcja kontroli odlewów w warunkach przemysłowych

2 OPRACOWANIE KONCEPCJI ZARZĄDZANIA INFORMACJĄ W PROCESIE WYKRYWANIA WAD ODLEWNICZYCH

Zaproponowane rozwiązania wizyjne przyczyniają się także do lepszego zrozumienia problemu zagazowania odlewów aluminiowych, co powinno otworzyć nowe naukowe możliwości badawcze i stworzyć szanse na lepsze zrozumienie zjawiska powstawania defektów powierzchniowych. Pozwoli to doprowadzić do lepszego poznania i naukowego zgłębienia czynników ograniczających procesy odlewnicze części aluminiowych. Takie badania pozwolą w przyszłości na wczesne eliminowanie potencjalnych defektów powierzchniowych w przemysłowym procesie wytwarzania. Przeprowadzone w tym zakresie przez autorów badania zmierzają do opracowania podstaw zintegrowanego przemysłowego systemu wizyjnego pomiarów on-line, pozwalającego na uruchomienie inteligentnego systemu kontroli powierzchni obrobionych odlewów. W ramach zaproponowanej koncepcji z wykorzystaniem zbudowanego systemu wizyjnego (rys. 4) możliwe będzie sterowanie procesem odlewania poprzez zmianę jego parametrów. Rodzaj tych zmian określony będzie dzięki znajomości rodzaju defektów, ich rozkładu gęstości i innych charakterystycznych cech, określonych na podstawie pomiarów wizyjnych (rys. 3a). W pierwszym etapie tego procesu zaplanowany jest proces eliminacji wadliwych odlewów, co pozwoli na wczesną eliminację zidentyfikowanych wad powierzchniowych [9,10]. W drugim etapie przewidziana jest analiza danych pomiarowych z systemu wizyjnego, co umożliwia uzyskanie odpowiedzi na pytanie o przyczyny powstawania wad powierzchniowych. Proces ten realizowany jest z wykorzystaniem sieci neuronowych [13]. W ostatnim etapie prac planowane jest wykorzystanie uzyskanych wyników na temat przyczyn występowania wad, w celu opracowania strategii transferu danych, w celu dokonywania korekty techniki odlewania. Zaprojektowany w ten sposób proces sterowania przepływem informacji pozwoli nie tylko na przeprowadzenie klasycznej kontroli gotowych wyrobów, ale również (głównie dzięki kontroli on-line) doprowadzi do dalszego eliminowania powtarzających się w kolejnych wyrobach wad. Zaprojektowane, kompleksowe rozwiązanie wizyjne (rys.3a) odgrywa kluczową rolę w procesie zarządzania techniką odlewania. Dlatego zastosowane rozwiązania sprzętowe i algorytmy obliczeniowe zostały przetestowane przez autorów na specjalnie zaprojektowanym stanowisku do badań modelowych z wykorzystaniem różnych typów defektów [12].



Rys. 4. Koncepcja sterowania procesem odlewania z wykorzystaniem systemu wizyjnego

WNIOSKI

Stworzenie nowego rozwiązania komputerowego pomiaru jakości odlewów aluminiowych otwiera nowe naukowe możliwości badawcze i stwarza szanse na lepsze zrozumienie zjawiska powstawania defektów powierzchniowych. Pozwala to doprowadzić do lepszego poznania i naukowego zgłębienia czynników ograniczających procesy odlewnicze części aluminiowych. Takie rozwiązania prowadzą do możliwości wczesnego eliminowania potencjalnych defektów powierzchniowych. Szczególne znaczenia nabiera zwłaszcza stworzenie możliwości stosunkowo prostego, a tym samym szybkiego wykrywania wad odlewniczych po obróbce mechanicznej. Zaprezentowany system kontroli jakości pozwala już w trakcie procesu produkcyjnego nie tylko wykrywać wady, ale także je identyfikować i klasyfikować. Informacje te z powodzeniem mogą zostać wykorzystane do dalszego procesu korygowania techniki odlewania, w celu eliminacji występujących podczas kontroli wad zagazowania. Powszechnie stosowane rozwiązania wykrywania wad powierzchniowych, opierające się na kontroli wzrokowej wyglądu powierzchni badanej części, sprawdzają się jedynie w obszarze produkcji urozmaiconego asortymentu i przy niewielkich seriach, charakteryzują się przy tym wysokimi kosztami, a rezultat w dużym stopniu zależny od ludzkiego czynnika. Zaprezentowane rozwiązanie automatycznego systemu wizyjnego do kontroli on-line stanowi podstawę w planowaniu i tworzeniu urządzeń przemysłowej kontroli jakości, których zastosowanie może przynieść znaczące korzyści dla poprawy jakości i wydajności produkcji.

Streszczenie

Artykuł dotyczy nowych rozwiązań z dziedziny logistyki procesów produkcyjnych. Autorzy przedstawiają system wizyjny przeznaczony do automatycznej inspekcji defektów powierzchniowych. W zależności od konstrukcji wyrobu i techniki wykonania, proces odlewania może generować powierzchniowe defekty takiej jak: pęknięcia lub pory, które w sposób znaczący zmniejszają funkcjonalność wyrobu. Odkąd kontrola wzrokowa stała się powolna i kosztowna, systemy komputerowej inspekcji stały się alternatywa dla tego typu problemów w inspekcji dokonywanej w czasie rzeczywistym. Dlatego też została zaproponowana procedura składająca się z trzech etapów, w celu zwiększenia jakości końcowej wyrobów oraz zwiększenia wydajności procesu odlewania. W pierwszym etapie opracowano technikę obróbki obrazu opartej na metodzie detekcji krawędzi oraz metodę sieci neuronowych. W kolejnym kroku opracowano zaawansowaną technikę oświetlenia, kluczową dla wizualizacji defektów. Na koniec wprowadzono procedurę na automatyczną selekcję oraz kategoryzację rozpoznanych defektów.

Production logistics using vision system for defects inspection

Abstract

The paper presents some new solutions in logistics of production processes. The authors demonstrate a camera based machine vision system for the automatic inspection of surface defects in aluminum die casting. Depending on part design and processing techniques, castings may develop surface discontinuities such as cracks and pores that greatly influence the material's ability. Since, the human visual inspection is slow and expensive a computer vision system is an alternative solution for on-line inspection. Therefore, a three steps procedure has been developed in order to improve quality and productivity of the manufacturing process. First, the developed vision system uses an advanced image processing algorithm based on edge detection method and advanced learning process, based on the methods of computational intelligence. Second, in addition to the developed image processing algorithm, advanced lighting system has been designed. Finally, the vision system allows the user automatic selection, and classification of the measured defects.

BIBLIOGRAFIA

1. Çelik H.I., Dülger L.C., Topalbekiroğlu M., *Development of a machine vision system: real-time fabric defect detection and classification with neural networks*, The Journal of The Textile Institute, Vol. 105, (6), 2014, 575-585.
2. Frayman, Y., Zheng, Hong Z., Saeid N., *Machine vision system for automatic inspection of surface defects in aluminum die casting*, Journal of advanced computational intelligence and intelligent informatics, Vol. 10, (3), 2006, 281-286.
3. Herold F., Bavendiek K., Grigat R., *A third generation automatic defect recognition system*, Proc. 16th World Conference on Non Destructive Testing, Montreal, Canada, Aug. 30-Sep. 3, 2004.
4. Kupperman, D.S., Reimann, K.J., and Abrego-Lopez, *Ultrasonic NDE of Cast Stainless Steel*, NDT International, Vol. 20, (3), June 1987, 145-152.
5. Kyllonen J., Pietikainen M., *Visual inspection of parquet slabs by combining color and texture*, Proc. IAPR Workshop on Machine Vision Applications (MVA'00), Tokyo, Japan, , November 28-30, 2000, 187-192.
6. Mery D., Jaeger T., Filbert D., *A review of methods for automated recognition of casting defects*, Insight, 44(7), 2002, 428-436.
7. Nelligan, T.J., *Ultrasonic testing of nonferrous castings*, Die Casting Engineer, Vol. 36, March 1992, 14-16.
8. Newman t.S., Jain A.K., *A survey of automated visual inspection*, Comput. Vis. Image Understanding 61, 1995, 321-262.
9. Świłło S., Perzyk M., *Automatic inspection of surface defects in die castings after machining*, Archives of Foundry Engineering, Vol. 11, (3), 2011, 231 – 236.
10. Świłło S., Myszka D., *Advanced metrology of surface defects measurement for aluminum die casting*, Archives of Foundry Engineering, Vol. 11, (3), 2011, 227 – 230.
11. Świłło S., Myszka D., *Komputerowy system wizyjny do kontroli defektów odlewniczych*, Eksperti NEMU, Nr 2(10), 2011 r. 10-12.
12. Świłło S., Perzyk M., *Automated vision system for inspection of surface casting defects based on advanced computer techniques*, Supplement Proceedings, Materials Properties, Characterization and Modeling TMA (The Minerals, Metals & Materials Society) 2012 141st Annual Meeting and Exhibition, Vol. 2, 2012, 387-394.
13. Świłło S., Perzyk M., *Surface casting defects inspection using vision system and neural network techniques*, Archives of Foundry Engineering, Vol. 13, 4/2013, 103-106.
14. Thamer H., Weimer D., Kost H., Scholz-Reiter B., *3d-computer vision for automation of logistic processes*, Proceedings of the International Logistics Science Conference, Efficiency and innovation in logistics, 2014, 67-75.
15. Zuech N., *Understanding and Applying Machine Vision*, Vision Systems International, Pennsylvania, 2nd ed., rev. and expanded, 1988.