

## ROBOTSKO RADNO MJESTO ZA OSIGURANJE KVALITETA BRUŠENIH I POLIRANIH PROIZVODA

### A ROBOT-CELL FOR QUALITY ASSURANCE OF GROUND AND POLISHED PRODUCTS

**Doc. dr. sci. Malik Čabaravdić**  
**Univerzitet u Zenici, Mašinski fakultet**  
**Zenica**  
**Bosna i Hercegovina**

#### **REZIME**

*Pojedini proizvodi, kao npr. sanitarije ili ambalaža luksuznih proizvoda moraju zadovoljiti visoke estetske kriterije. U toku obrade ovakvih proizvoda može doći do površinskih grešaka, kao što su pore, gasni mjehurovi ili mikro pukotine kod livenja, te zarezi i ostaci paste kod brušenja i poliranja. Da bi kvalitet proizvoda bio na zadovoljavajućem nivou potrebno je izvršiti kontrolu površine i odstranjivanje nastalih grešaka. U radu je dat prikaz jednog robotskog radnog mjesta za osiguranje kvaliteta proizvoda nakon fine obrade brušenjem i poliranjem. Najvažniji dijelovi ovog radnog mjesta su industrijski robot koji prenosi proizvode, kamera koja je zadužena za otkrivanje površinskih grešaka, te mašine za brušenje i poliranje uz pomoć kojih se odstranjuju eventualne uočene pogreške.*

**Ključne riječi:** industrijski robot, brušenje i poliranje, osiguranje kvaliteta, obrada slike

#### **SUMMARY**

*By some products (for example sanitary fittings, package of luxury products) high esthetic criteria must be satisfied. During processing of such products some surface defects can occur, for example pores, gas bubbles or micro-cracks by castings, pits and emulsion rests by grinding and polishing. In order to achieve a satisfying quality level, it is necessary to check the surface quality after processing and to remove the errors. In this paper is shown a robot-cell for quality assurance of the products after fine processing through grinding and polishing. The most important parts of this cell are an industrial robot for manipulation of the products, an image processing system for detections of the surface errors, and grinding and polishing machines for elimination of possible errors.*

**Keywords:** industrial robot, grinding and polishing, quality assurance, image processing

#### **1. UVOD - FINA OBRADA PROIZVODA I KVALITET OBRADE**

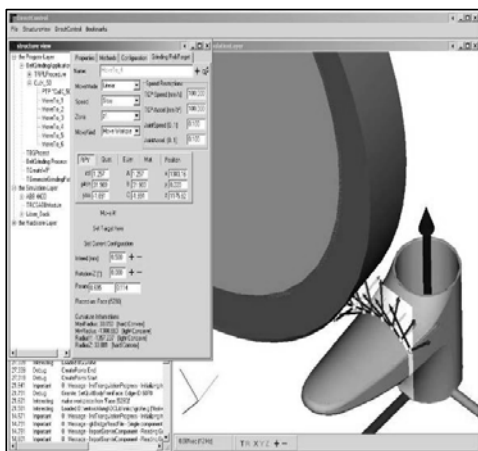
Potreba za fino obrađenim proizvodima sa složenim površinama u svijetu konstantno raste. Glavni zahtjevi koji se pred takve proizvode postavljaju su funkcionalne (kao npr. kod turbinskih lopatica) ili estetske (sanitarije, ambalaža luksuznih proizvoda) prirode. Zbog toga su razvijene vrste fine obrade koje mogu odgovoriti na visoke kriterije kvaliteta gotovih proizvoda. Jedna od takvih vrsta je i trakasto brušenje sa elastičnim kontaktnim elementima, koja omogućuje visok kvalitet obrađenih složenih površina proizvoda, zahvaljujući prije svega elastičnom kontaktu između obratka i alata i dobrom prijanjanju radnih površina.

Da bi se povećala isplativost i produktivnost procesa fine obrade u razvijenim zemljama se u posljednje vrijeme nastoji povećati stepen automatizacije radnih mjesta na kojima se izvršavaju ovi procesi. Osim toga je neophodno povećati fleksibilnost postrojenja čime bi se omogućilo brzo prilagođavanje sistema na različite varijante i tipove proizvoda. Iz tog razloga se u procese fine obrade sve više uključuju industrijski roboti čime se postiže višestruki pozitivni efekat: povećava se proizvodnost, kvalitet obrade raste i ujednačava se, dok se istovremeno radnici oslobađaju teških, monotonih i opasnih poslova i premještaju na sigurnija radna mjesta.

Bez obzira koliko procesi fine obrade i procesi koji im prethode (livenje, kovanje...) bili brižljivo pripremani i izvršavani uvijek se može desiti da završni proizvod sadrži određene greške. Pri tome su proizvodi koji moraju zadovoljiti visoke estetske kriterije naročito osjetljivi na greške koje se javljaju na površini kao što su pore, zarez, gasni mjehurovi, pukotine i slično. Svaka pa i najmanja greška na površini neke sanitarne armature dovodi do odbacivanja tog proizvoda i stvaranja dodatnih troškova. Zbog toga savremeni sistemi moraju biti u mogućnosti da provjere svaki proizvod po završetku obrade (100% kontrola kvaliteta) i automatski odstrane eventualne uočene greške. Jedan takav sistem koji se razvija na Katedri IRPA Univerziteta u Dortmundu je opisan u ovom radu.

## 2. UPRAVLJAČKI SISTEM ROBOTA ZA AUTOMATSKU KOREKCIJU GREŠAKA

Realizaciji sistema za osiguranje kvaliteta i automatsku korekciju grešaka kod brušenja i poliranja je prethodio razvoj softvera upravljačkog sistema robota koji omogućava rješavanje ovih zadataka [1].



Slika 1. Grafičko sučelje upravljačkog i simulacionog sistema DirectControl [2]

Prilikom razvoja ovog upravljačkog sistema vodilo se računa o glavnim problemima koji se pojavljuju prilikom automatske korekcije grešaka. Osnovni problem koji je morao biti riješen se ogleda u činjenici da se procedure za korekciju grešaka moraju odvijati u online-modu, tj. bez vanjske intervencije korisnika. Kompleksni proračuni sa CAD podacima o površini obratka se ne mogu vršiti u standardnim robotskim programskim jezicima. Osim toga, standardnim jezicima ne mogu biti obuhvaćeni ni proračuni vezani za složene zavisnosti između ulaznih (brzina obrade, sila pritiska između alata i obratka, vrsta alata...) i izlaznih (količina skinutog materijala, kvalitet površine) parametara procesa obrade. Takođe, novi upravljački sistem mora omogućiti online simulaciju i korekciju pojedinih putanja robota

i to za vrijeme samog izvršavanja pojedinih operacija obrade na radnom mjestu.

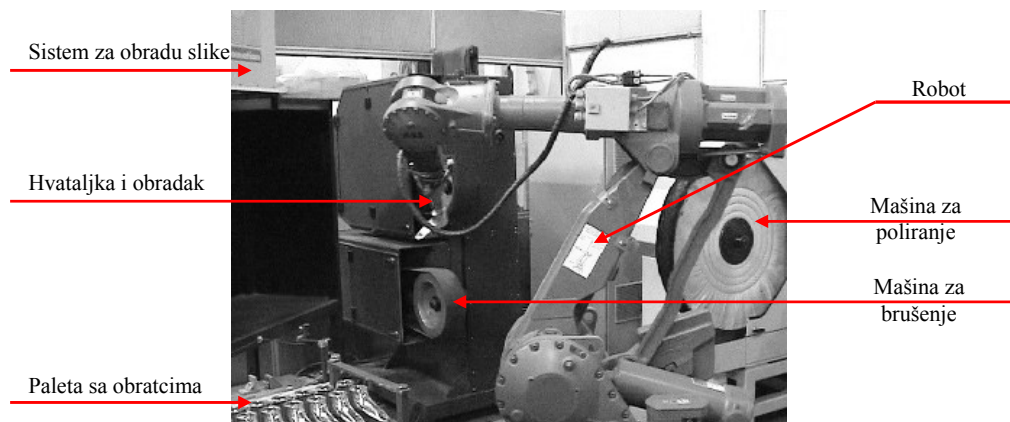
Da bi se riješili navedeni problemi razvijen je novi upravljački i simulacioni sistem DirectControl [2], čije je grafičko sučelje prikazano na slici 1.

Ovaj sistem se zasniva na novom konceptu upravljanja robotom koji predviđa integraciju robota kao servera u automatizirano radno mjesto. U upravljanje se uključuje vanjski računar sa novim upravljačkim softverom. Ovaj softver u online-modu prenosi individualne radne tačke i putanje sa svim neophodnim parametrima (brzina, sila pritiska) do robota. Robot izvršava ova kretanja neposredno nakon primanja naredbi iz vanjskog računara. Složene aplikacije se više ne proračunavaju direktno u upravljačkoj jedinici robota i uz pomoć

standardnih robotskih jezika, nego u vanjskom računaru i to preko softvera koji je zasnovan na višim programskim jezicima (Delphi, C++). Ovakva arhitektura upravljanja omogućava konstrukciju programa za složene robotske aplikacije, pri čemu se eliminišu nedostaci standardnih programa za upravljanje robotom. Osim toga navedena otvorena struktura upravljačkog sistema omogućava integraciju komponenti specifičnih za pojedine aplikacije kao što su npr. identifikacija grešaka uz pomoć sistema za obradu slike, geometrijsko modeliranje putanja na osnovu CAD podataka i tehnološko optimiranje putanja koristeći model procesa. Integracija ovih komponenti je od presudnog značaja za realizaciju sistema sa automatsku korekciju grešaka i osiguranje kvaliteta kod brušenih i poliranih proizvoda što je centralna tema ovog rada.

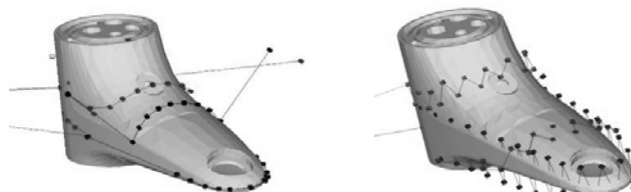
### 3. REALIZACIJA ROBOTSKOG RADNOG MJESTA ZA AUTOMATSKU KOREKCIJU GREŠAKA

Centralnu poziciju radnog mjesta za automatsku korekciju grešaka kod brušenih i poliranih proizvoda zauzima 6-osni industrijski robot ABB 4400 sa nosivošću od 45 kg. Osim toga radno mjesto sačinjavaju i sistem za obradu slike sa stanicom za promjenu orijentacije hvatanja koja omogućava prihvatanje obratka na više načina, zatim jedna savremena mašina za tračno brušenje sa dva kontaktna elementa, dvije mašine za poliranje (jedna za poliranje i jedna za ostvarivanje dodatnog sjaja na površini proizvoda), sistem za mijenjanje završnog mehanizma (hvataljki) na robotu, kao i jedan radni sto na kojem je pričvršćena paleta sa dijelovima koji se obrađuju (slika 2.).



Slika 2. Robotsko radno mjesto za automatsku korekciju grešaka kod brušenih i poliranih proizvoda

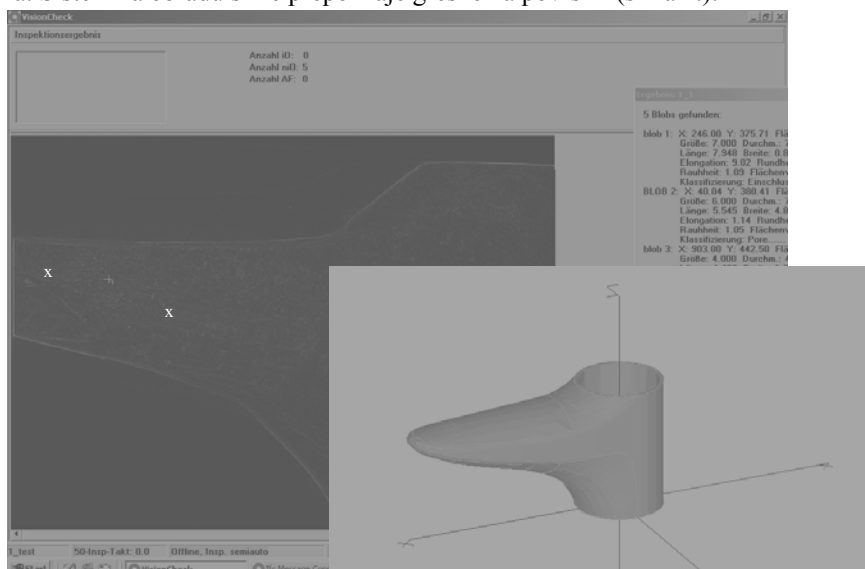
Mogućnosti automatske korekcije grešaka sa testirane na primjeru završne obrade sanitarija. Putanje za obratke sa složenom površinom su definirane uz pomoć u odjeljku 2 opisanog upravljačkog i simulacionog sistema DirectControl a na bazi CAD podataka samog obratka (slika 3.).



Slika 3. Putanje obrade kod brušenja (lijevo) i poliranja (desno)

Pošto senzorski sistemi za mjerenje odstupanja izlivenih obradaka od CAD crteža još uvijek nisu dovoljno razvijeni za efikasno korištenje u proizvodnim uslovima, stvorene putanje robota se moraju dodatno optimizirati direktno na radnom mjestu. Obrada se vrši u 4 faze: grubo brušenje (brusna traka sa hrapavošću P 100), fino brušenje (hrapavost P 280), poliranje i završno poliranje za dodatni sjaj).

Po završetku fine obrade se vrši proces kontrole proizvoda, pri čemu robot hvata gotov komad uz pomoć specijalnih hvataljki i nosi ga do sistema za obradu slike. Sa specijalnom kamerom se proizvod snima i to u više položaja, tako da kompletna površina bude obuhvaćena. Sistem za obradu slike prepoznaje greške na površini (slika 4.).



Slika 4. Otkrivanje površinskih grešaka uz pomoć sistema za obradu slike

Površinske greške uglavnom nastaju prilikom procesa livenja (npr. pore, pukotine, gasni mjehurovi) i mogu se otkriti tek nakon brušenja i poliranja. Manji broj grešaka, kao što su fini zarezi ili ostaci paste za poliranje nastaju u samom procesu fine obrade. Klasifikacija grešaka se vrši uz pomoć metoda vještačke inteligencije (Support Vector Machine) [4]. Dijelovi na čijim površinama su otkrivene greške se izdvajaju i na bazi podataka o veličini i poziciji greške se dodatno fino obrađuju. Da bi se vrijeme ciklusa naknadne obrade smanjilo ponovo se bruse samo dijelovi površine na kojima su greške pronađene.

Dodatna mogućnost optimizacije automatske korekcije grešaka nudi se kroz dodatno mjerenje dubine greške uz pomoć različitih senzora (npr. precizni taktilni senzori, laserski senzori itd.). Na bazi informacije o dubini greške se tada uz pomoć tehnološkog modela procesa brušenja [3] mogu odrediti optimalne vrijednosti parametra procesa obrade (sila pritiska između obratka i alata, brzina obrade). Na taj način se površinske greške u potpunosti mogu korigirati.

#### 4. ZAKLJUČAK

Realizacija robotskog radnog mjesta za automatsku korekciju i osiguranje kvaliteta brušenih i poliranih proizvoda predstavlja veliki korak u povećanju stepena automatizacije datih procesa fine obrade. Prednosti navedenog rješenja se ogledaju u činjenici da je zahvaljujući modernom konceptu upravljačkog sistema omogućena integracija savremenih komponenti za unapređenje procesa, kao što su identifikacija površinskih grešaka uz pomoć sistema za

obradu slike, online simulacija putanja, te tehnološka korekcija putanja na bazi modela procesa. Sve ovo je omogućilo 100% provjeru kvaliteta površine gotovih proizvoda i automatsku korekciju eventualnih uočenih grešaka. Na taj način je proces obrade postao mnogo efikasniji i u velikoj mjeri su smanjeni troškovi odbacivanja proizvoda koji u fazi fine obrade koja se nalazi na kraju proizvodnog lanca mogu biti dosta visoki.

## **5. LITERATURA**

- [1] Čabaravdić, M.; Kneupner, K.; Kuhlenkötter, B.: Methods for efficient optimization of robot supported grinding and polishing processes. Conference TMT 2003, Barcelona, Španija, 2003
- [2] Kneupner, K.: Entwicklung eines Programmier- und Steuerungskonzepts für Robotersysteme auf der Basis eines Umweltmodells. Disertacija, Univerzitet Dortmund, 2004
- [3] Čabaravdić, M.: Optimierung des Spanvolumens - beim industriierobotergestützten Bandschleifen frei geformter Werkstücke, SVH Verlag, Saarbrücken, Deutschland, 2010
- [4] Zhang, X.: Contribution to Fully Automated manufacturing of Free-Form Surfaces by Belt Grinding, Disertacija, Univerzitet Dortmund, 2006

