

Robotizirana obdelava surovih ulitkov

Andrej Gams
Institut Jožef Stefan
Jamova 39, 1000 Ljubljana
andrej.gams@ijs.si

Cleaning of castings with robots

Abstract: This paper describes some of the possibilities of cleaning and finishing of castings with robots. There exist several approaches and ways of robotized cleaning of casting with the compliant approach being the most common one. We have constructed a real and virtual deburring cell for testing of cleaning of casting and measured the forces that occur during the process. We can easily and quite accurately set the forces that occur during the process using only compliant tools.

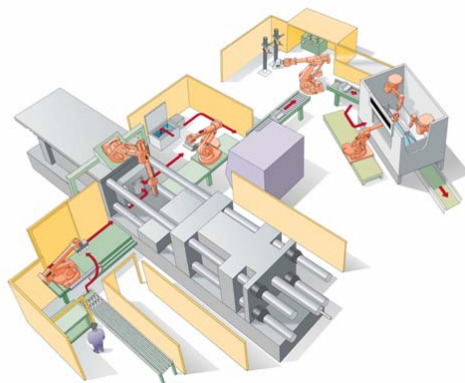
1 Robotika v livarnah

Robotizacija livarn je drastično povečala kakovost proizvodnje. S svojimi konstantnimi in ponovljivimi cikli roboti namreč vzdržujejo stalne temperature v kalupih, kar omogoča ulivanje kakovostnejših ulitkov. Hkrati se je tudi povečala varnost delavcev. Te osnovne prednosti se niso spremenile do danes. S spremembami v zahtevah industrije in robotski tehnologiji [2] so se pojavile nove prednosti, s čimer je danes pravi potencial industrijskih robotov bolje izkoriščen [5,6].

Robote se uporablja za celo vrsto aplikacij, najpogosteje pa za strego livarskih strojev, glej sliko 1. Tu robot poleg strege stroja ponavadi ulitek tudi ohlaja in odlaga v obsekovalnik. Največja prednost robota pred namensko napravo je pri stregi stroja predvsem možnost enostavnega in hitrega prehoda na nov, drugačen ulitek [2].

Precej manj so roboti prodrli v končno obdelavo ulitkov, torej v raziglenje, brušenje, odstranjevanje grebenov, obrobkov, prilitev in

ostankov iz livnega žleba oziroma na kratko v obdelavo in čiščenje ulitkov. Le-to je v livarnah večinoma še zmeraj ročno, kar pa ima za posledico težko delovno okolje za delavca ter predvsem neenakost končnih izdelkov.



Slika 1: Robotiziran livarski sistem

Zagotavljanje ponovljivosti kvalitete izdelka je zelo velik problem, z ročno obdelavo praktično nerešljiv. Ročno čiščenje lahko nadomestijo dragi strojni centri, žal pa imajo ti velikokrat to slabo lastnost, da lahko čistijo samo en tip ulitka. Tega problema roboti nimajo, kljub temu pa je zaradi precejšnih stroškov uporaba smiselna predvsem za velike serije.

2 Robotizirana obdelava ulitkov

Obdelovanje ulitkov z roboti se deli na tri tipične aplikacije in sicer na obdelovanje enostavnih robov, oblikovanje ter oblikovanje s pomočjo senzorjev [1,4]. Obdelava enostavnih robov zahteva zelo malo načrtovanja. Tipična taka aplikacija bi bila, ko robot prime cev, porine en njen konec v napravo za obdelavo robov, obrne cev ter vstavi drugi konec v isto napravo.

Taka enostavna aplikacija ne zahteva senzorjev ali komplicirane poti.

Bolj pogoste aplikacije vključujejo podajna orodja, ki lahko spreminjajo orientacijo v več smereh in ki odstranijo večino, ne pa vseh grebenov in obrobkov. Te aplikacije na splošno dopuščajo malo večje tolerance in neenakost robov, kar pomeni, da so nekateri ulitki že pred pričetkom zadovoljivi, nekatere pa je treba dokončati še ročno.

Pri obdelavi ulitkov so pomembni predvsem točnost in ponovljivost, možnost zvezne poti, enostavno in hitro menjavanje orodja in rezkarjev ter togost [3,4,5]. K lažji vključitvi v proizvodnjo pripomoreta tudi možnost enostavnega indirektnega (ang. off-line) programiranja ter možnost prevesti gibe na podobne lastnosti na različnih koncih obdelovanca. Želena je veliko delovno območje in majhno zapestje. Nosilnost robota se ponavadi zahteva kot trikratna predvidena delovna sila [4]. Specifikacije in cena robotskega sistema za obdelavo ulitkov se lahko ob različnih točnostnih zahtevah zelo razlikujejo, vendar je ponavadi ob večjih zahtevanih po točnosti rešitev dražja. Pri dovoljenih večjih tolerancah se lahko uporabi robote z manjšo točnostjo, a dobro ponovljivostjo. Takšne aplikacije uporabljajo podajna orodja.

3 Pristopi in načini robotske obdelave ulitkov

Poleg pristopa s podajnimi orodji oziroma podajnega pristopa obstajata še dva pristopa in sicer senzorski pristop ter pristop s senzorjem sile [1,3].

V industriji je najpogosteje uporabljan podajni pristop, ki se uporablja za končno obdelavo cele vrste kovinskih in nekovinskih izdelkov. Ta pristop lahko uporabimo s katerim koli robotom. Vsak robot ima nekaj podajnosti, vendar zelo malo. S tem pristopom dodamo podajnost v eni ali več smereh z uporabo posebnih držal za orodja oziroma s samimi orodji. Ob pravilnem načrtovanju in programiranju ter ob uporabi primernih orodij lahko s tem pristopom dobimo

konsistentne rezultate znotraj 0.25 mm ali manj, kljub temu da se lahko lokacije robov malenkostno razlikujejo.

Ena od prednosti podajnega pristopa je zmanjšana zahteva po točnosti, kar olajša in precej skrajša programiranje, s tem pa tudi zmanjša začetne stroške oziroma stroške prehoda na nov ulitek. Z orodji z nastavljivo podajnostjo lahko hkrati reguliramo sile, ki nastopijo med orodjem in obdelovancem, zagotovimo pa tudi manjše vibracije in manjši sunek sile, ki nastopi ob začetnem dotiku obdelovanca in orodja [1,4,5].

Senzorski pristop, kot drugi od pristopov, uporablja senzorje za zaznavanje robov, dobljene podatke pa uporabi za popravke trajektorije robota.

Čeprav je senzor sile tudi senzor, pa se zaradi precej drugačnega načina uporabe pristop s senzorjem sile ponavadi obravnava posebej. Na robot pritrjen senzor sile sproti spreminja trajektorijo robota. Na primer, če senzor zazna povečanje sile v smeri premikanja, torej večji greben, krmilnik lahko robotu naroči, naj upočasni gibanje, oziroma da ponovi del trajektorije. Pristop se uporablja v nekaterih enostavnih sistemih za čiščenje grebenov, ki so v ravni črti. Taki sistemi delujejo dobro, dokler so grebeni in drug material, ki ga je potrebno očistiti, povsod enakih dimenzij. Če temu ni tako, reakcijske sile na robota ne moremo uporabiti za spreminjanje trajektorije, saj ne vemo, če je sila povečana zaradi grebena ali zaradi oblike samega ulitka. Ob povečanju sile na robot se je torej greben povišal ali razširil in ob nespremenjenem načinu premikanja robot ne bo uspel odstraniti vsega materiala, s tem pa ulitek ne bo uspešno očiščen. Z zmanjšanjem hitrosti premikanja robota orodje odstranjuje več materiala in posledično ulitek ne bi smel imeti obočkov neočiščenega grebena. V primeru, da oblika ulitka ni zmeraj enaka temveč očitno odstopa od predvidenega, je povečana sila lahko posledica prezgodnjega trka s steno. Uporabljena enostavna

regulacija tudi ne upošteva obrabljenega oziroma poškodovanega orodja.

Senzor sile lahko uporabimo tudi z iskalno funkcijo s katero izvedemo transformacijo programa, da kompenziramo obrabo orodja.

Pri izdelavi aplikacije se odločamo tudi med dvema možnima načinoma. Robot lahko prinese orodje k obdelovancu, ali obratno, torej obdelovanec k orodju. Ponavadi je pri tem odločilna teža obdelovanca. Če je težek, ponavadi robot nosi orodje, če pa ulitek ni pretirano težek in je potrebno uporabiti več različnih orodij, ponavadi robot premika ulitek.



Slika 2: Vodenje obdelovanca

Ob vodenju orodja (ang. tool handling) je treba ulitek spraviti v robotovo priročno delovno območje, kar ponavadi opravimo z vpenjalnimi orodji. Pogosto se uporablja tudi tekoči trak, na katerem obdelovanca kar ležijo, s tem pa je

njihovo točno pozicioniranje precej oteženo. To se rešuje z daljšimi krtačami, s katerimi robot pokrtači na približnih lokacijah.

Če so ulitki lahki, jih lahko robot pobere s palete oziroma s tekočega traku ter ponese do enega ali več pritrjenih orodij, čemur rečemo vodenje obdelovanca (ang. part handling), kjer ulitek očisti, glej sliko 2.

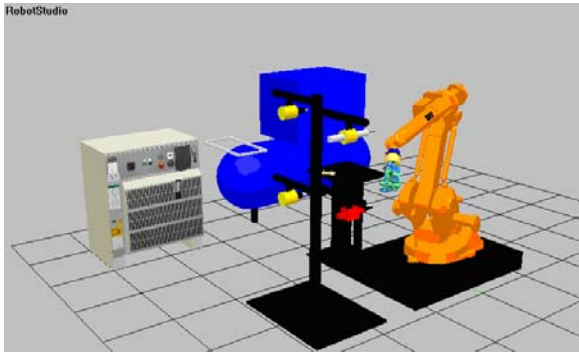
Na koncu čiščenja robot ulitek odloži nazaj na paleto ali tekoči trak, morda tudi v kakšno drugo namensko orodje.

Za splošno namenske aplikacije lahko v robotsko celico okoli robota namestimo več stojal z različnimi orodji – krtačami, rezkarji, brusilnimi diski in jermeni. Robot se premika z obdelovancem med orodji, ki opravljajo različne faze postopka čiščenja. S takim pristopom zagotovimo fleksibilnost za obdelavo različnih kosov, ne da bi povečali čas cikla z menjavanjem orodja.

4 Indirektno programiranje

Programiranje robota se ponavadi izvede direktno, kar pomeni, da operater s pomočjo učne naprave robota nauči trajektorije, kar je dokaj enostavno in lahko priučljivo, žal pa za robotsko čiščenje ulitkov premalo natančno [1,7]. Za doseganje večje točnosti programiranja se uporablja programske pakete za indirektno programiranje, kjer je programiranje absolutno točno oziroma točnost določa samo dolžina besede v programu. ABB-jev paket za indirektno programiranje RobotStudio deluje na osnovi virtualnega robotskega krmilnika, ki je direktna kopija programskega sistema v ABB-jevih robotih [3,7]. Omogoča izgradnjo popolne virtualne celice na osnovi CAD modelov ulitkov in orodij, njihovo točno pozicioniranje v navideznem svetu ter programiranje navideznega robota, ki pa se obnaša popolnoma tako, kot robot v realnem svetu. Izdelal sem tudi virtualno celico za robotsko čiščenje ulitka, glej sliko 3. Z indirektnim programiranjem se odpirajo nove možnosti izdelave in razvijanja robotskih

aplikacij brez prekinitev proizvodnje ter predhodno testiranje dosegljivosti in trkov ob točnosti, ki v realnem svetu ni dosegljiva.



Slika 3: Virtualna robotska celica

Del točnosti se pri prenosu v realno celico vedno izgubi, saj je popolna uskladitev lege elementov celice v realnem in virtualnem svetu nemogoča, s programskimi prijemi ter uporabo »workobjectov« pa se manjša neskladja lahko dokaj hitro odpravijo.

5 Sile pri obdelavi ulitkov

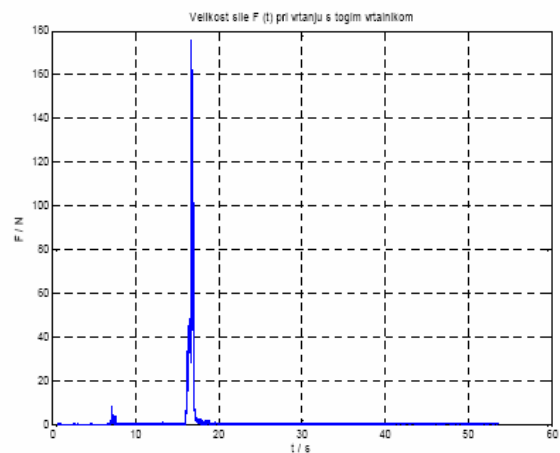
V sodelovanje z ABB Slovenija sem izdelal testno celico za robotsko obdelavo ulitkov, kjer sem tudi pomeril sile, ki nastopajo med obdelovanjem ulitka.

Uporabljen je bil podajni pristop s premikanjem obdelovanca, ki je tudi v industriji najbolj pogost. Za testno celico je bil izbran ABB-jev robot IRB 1400 z nosilnostjo 5 kg in ponovljivostjo 0,05 mm ter prijemalo Schunk PZN 100. Uporabljeni splošni prsti se niso izkazali za primerne, saj ob večjih silah niso zagotovili dobrega prijema. Za redno uporabo bi bili potrebni namensko izdelani prsti za vsak tip ulitka. Za obdelavo sem uporabil štiri namenska obdelovalna orodja za robotsko obdelavo ulitkov švicarskega proizvajalca AMTRU. Izbiro orodij sta določala ulitek ter želja po čim krajšem ciklu. Ulitek bi lahko očistili tudi z manj različnimi orodji, vendar bi ob tem bili časi cikla precej večji. Tako je bilo za daljše in lažje dostopne robove izbrano rezkanje namesto piljenja, s

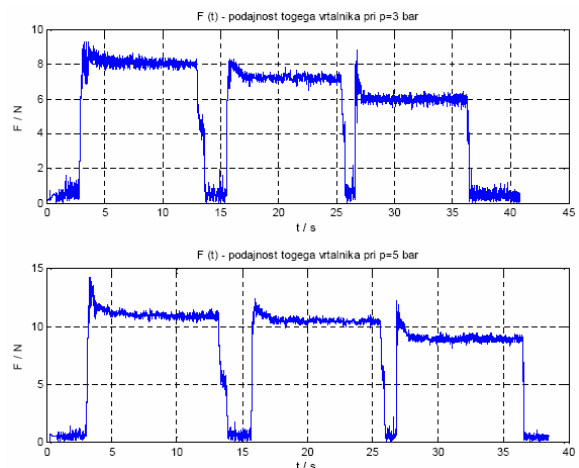
katerim se očisti težko dostopne robove, ki so predvsem na obodih lukenj.

Pomeril sem sile pri rezkanju, vrtanju s togim vrtalnikom ter pri uporabi grezila. Sil nisem meril med samim procesom obdelave temveč na posebnih merilnih gibih.

Pri vrtanju s togim vrtalnikom so bile sile največje, kar je bilo tudi pričakovati. Pričakovan je bil tudi dokaj kratek sunek sile, kar je lepo vidno na sliki 4. Sile so bile dokaj velike, vendar zelo kratkotrajne.



Slika 4: Sile pri uporabi togega vrtalnika

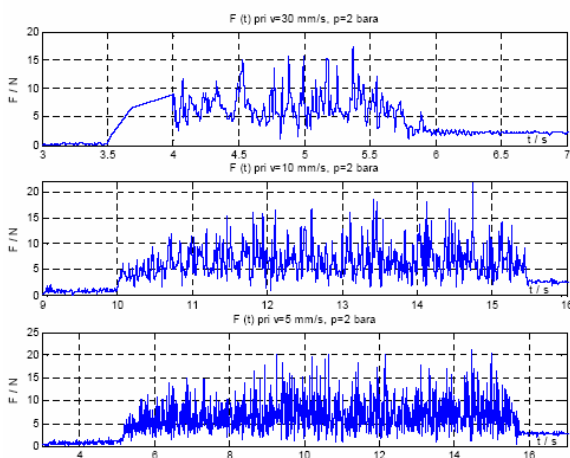


Slika 5: Sila v odvisnosti od tlaka

Pri grezilu sem pomeril predvsem odvisnost sile od tlaka podajnosti ter od hitrosti premikanja, kar prikazujeta sliki 5 in 6. Slika 5 prikazuje odmikanje podajnega orodja pri treh različnih

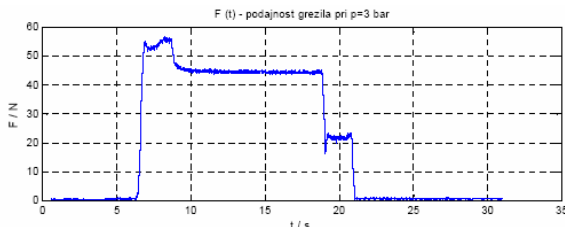
hitrostih za dva tlaka podajnosti. Vidimo lahko povčano silo pri večjem tlaku (spodnji graf), kar je bilo tudi pričakovati. Opazna je tudi manjša sila pri večji hitrosti odmika.

Slika 6 prikazuje sile pri različnih hitrostih premikanja robota in sicer pri hitrostih 30 mm/s (zgoraj), 10 mm/s in 5 mm/s (spodaj). Kot vidimo, se sila ni bistveno spremenila, se je pa pri nižji hitrosti povečalo št. vibracij. Sila je bila zaradi nizkega nastavljenega tlaka nižja od 10 N.



Slika 6: Sile pri različnih hitrostih rezkanja

Pri uporabi grezila sem pomeril silo, ki nastopi zaradi samega dotika orodja in obdelovanca pri izklopljenem orodju. Vklapljeno orodje doprinese samo precejšnje vibracije, samega povečanja sile pa ni [1]. Opazna je lepa oblika treh stopnic in sicer zaradi izmiknjenja iz začetne lege, držanja orodja v izmaknjeni legi ter vračanja v začetno lego. To prikazuje slika 7.



Slika 7: Sila pri uporabi grezila

6 Zaključek

Izkazalo se je, da lahko silo med orodjem in obdelovancem dokaj učinkovito reguliramo z nastavljanjem tlaka podajnosti, kar so nam omogočala nekatera podajna orodja. S tem lahko silo enostavno zadržimo znotraj morebitnih omejitev robota, zavedati se pa moramo, da moramo potem upočasniti premikanje robota, s čimer zagotovimo zadostno odvzemanje materiala. Pri togih orodjih so sile in vibracije neprimerno večje.

Z direktnim in indirektnim programiranjem narejen program je uspešno očistil izbran ulitek na vseh določenih mestih, torej se je testna celica izkazala za uspešno. Izkazalo se je, da je dovolj tog prijem mogoč samo z namenskimi prsti, kar se v industriji v glavnem že uporablja in ne predstavlja večje ovire. Rezultate obdelave ulitka bi lahko še izboljšali s povratno informacijo o začetni lokaciji ulitka, saj bi kompenzirali največjo napako, to pa je napaka pri začetnem vnosu ulitka.

7 Literatura

- [1] Andrej Gams, *Celica za robotsko brušenje*, Univerzitetno diplomsko delo, Ljubljana, 2004
- [2] J. Lenarčič, T. Bajd, *Robotski mehanizmi*, Založba FE in FRI, Ljubljana, 2003
- [3] ABB Automation Technologies, Robotics. *Foundry Automation from ABB*, June 2003
- [4] LaRoux K. Gillespie, *Deburring and edge finishing handbook*, Society of Manufacturing Engineers, USA, 1999
- [5] Shimon Y. Nof, *Handbook on Industrial Robotics*, Second Edition, John Wiley & Sons Inc., Canada 1999
- [6] Martina Hess, *Höchste Zeit für den Roboter*, Giesserei, Die Zeitschrift der Deutschen Giesserei-vereinigungen, stran 46 – 47, 8/2003
- [7] Rok Koren, *Robotska celica za nanos zaščitne snovi*, Magistrsko delo, Ljubljana, 2004