

PROGRAMAREA ROBOTULUI KAWASAKI FS10E PENTRU REALIZAREA UNEI APLICATII DE DEBAVURARE A REPERELOR DIN PLASTIC

CIUTA Alexandru¹, GIOLU Cristian², SBIRCEA Bogdan³

Conducător științific: S.I. Dr. Ing. Andrei Mario IVAN

REZUMAT: În cadrul acestei teme de cerc științific a fost realizată o aplicație de debavurare a unui fâraș din material plastic utilizând robotul Kawasaki FS10E aflat în dotarea departamentului Mașini și Sisteme de Producție. În vederea dezvoltării aplicației a fost realizat un post de lucru pentru robot (prin adaptarea unei mese cu canale "T" amplasată pe un sistem cu două axe de translație, preluată de pe o masina de eroziune cu electrod masiv) și a fost elaborat programul corespunzător de debavurare.

CUVINTE CHEIE: aplicatie robotizata, debavurare, faras, masa cu canale "T"

1 INTRODUCERE

În această lucrare am urmărit debavurarea unui fâraș cu ajutorul robotului Kawasaki, acesta fiind fixat pe o masă cu canale „T” (vezi Figura 1). Scopul acestei lucrări este de a realiza o aplicație robotizată de debavurare a unui fâraș de plastic.

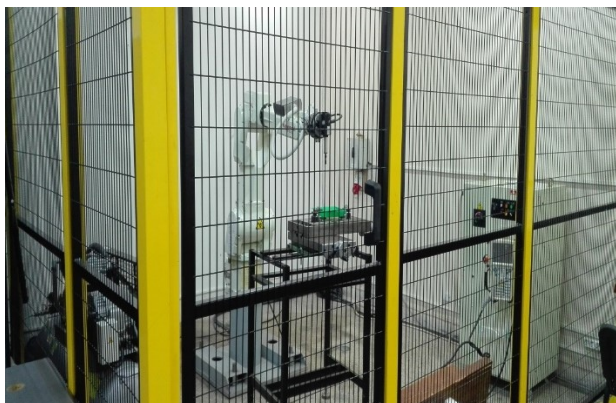


Fig. 1. Aplicatia de debavurare

2 STADIUL INITIAL

La momentul începerii dezvoltării aplicației robotul nu dispunea de un post de lucru. Deoarece acesta era necesar atât pentru realizarea aplicației de debavurare cât și în vederea extinderii dotărilor din cadrul laboratorului de roboți industriali, postul de lucru al robotului a fost realizat utilizând o masă cu canale "T" amplasată pe un sistem cu două axe de translație, preluată de pe o masina de eroziune cu electrod masiv (vezi Figura 2).

De asemenea, postul de lucru al robotului nu dispunea de un sistem de prindere, necesar pentru fixarea fârașului ce urma să fie debavurat. Acest aspect, împreună cu setarea corespunzătoare a semnalelor de intrare-iesire din cadrul controller-ului, a fost rezolvat pe parcursul realizării aplicației.



Fig. 2. Postul de lucru

3 EFECTORUL

În vederea realizării aplicației de debavurare a fost utilizat efectorul ATI RC-300 cu care este echipat robotul Kawasaki - acest efector este dedicat operațiilor de debavurare (Nicolescu, 2005). Vederile ortogonale ale efectorului împreună cu cotele funcționale și cele de asamblare sunt ilustrate în Figura 3. De asemenea, vederea explodată a efectorului este ilustrată în Figura 4.

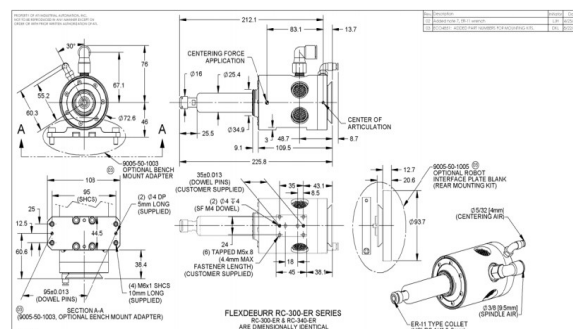


Fig. 3. Vederile ortogonale ale efectorului

¹ Specializarea Robotică, Facultatea IMST;

E-mail: bogdan.sbircea@gmail.com

² Specializarea Robotică, Facultatea IMST;

³ Specializarea Robotică, Facultatea IMST;

Programarea robotului Kawasaki FS10E pentru realizarea unei aplicatii de debavurare a reperelor din plastic

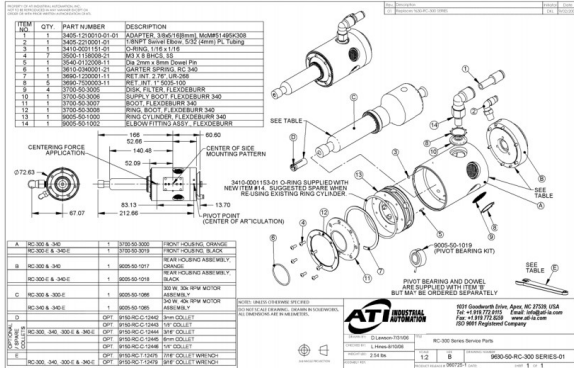


Fig. 4. Vederea explodată a efactorului

De preferat, aerul comprimat ce acționează această freză se recomandă a fi uscat și curățat de ulei, fiind recomandată folosirea unui filtru (Craig, 2005). Aerul furnizat este la presiune de 6,2 – 6,5 bari (Figura 5).

Function	Connection Type	Pressure
Motor Inlet (9150-RC-300 and 340 Series) (9150-RC-660 Series)	3/8" Quick Connect Tube (Alternate: Remove Supplied Fitting to use 1/8-NPT Port, or use 5/16 (8mm) Tubing Adapter) 1/2" Quick Connect Tube (Alternate: Remove Supplied Fitting to use 3/8-NPT Port, or use 5/16 (8mm) Tubing Adapter)	6.2–6.5 bar [90–95 psi]
Compliance (Radial) Force Inlet (9150-RC-300 and 340 Series) (9150-RC-660 Series)	5/32 (4mm) Quick Connect Tube (Alternate: Remove Supplied Fitting to use 1/8-NPT Port) 5/32 (4mm) Quick Connect Tube (Alternate: Remove Supplied Fitting to use 1/8-NPT Port)	1.0–4.1 bar [15–60 psi] (Maximum)
Exhaust	Vented to Atmosphere through the Housing	Not Applicable

Fig. 5. Parametrii sistemului pneumatic al efactorului

Complianța este aplicată radial, fiind reglabilă până când este efectuată respectiva tăietură, un factor important fiind și viteza robotului.

Dacă bavurile prezente pe piesă variază ca și amplasare, se poate să fie nevoie de o ajustare de tip analog a forței, din unitatea de comandă a robotului (Siciliano&Khatib, 2008).

Parametrii funcționali ai efactorului sunt ilustrați în Figura 6.

Motor	Air Turbine
Idle Speed (RPM)	RC-300 Series: 30,000 RC-340 Series: 40,000 RC-660 Series: 40,000
Torque (Max.)	RC-300 Series: 0.09 N-m (0.8 lb-in) RC-340 Series: 0.08 N-m (0.7 lb-in) RC-660 Series: 0.16 N-m (1.4 lb-in)
Power	RC-300 Series: 300 Watts (0.40 hp) @ 30,000 RPM RC-340 Series: 340 Watts (0.46 hp) @ 40,000 RPM RC-660 Series: 660 Watts (0.88 hp) @ 40,000 RPM
Weight (without Adapters)	RC-300 Series: 1.2 kg (2.6 lb) RC-340 Series: 1.2 kg (2.6 lb) RC-660 Series: 2.2 kg (4.9 lb)
Compensation (Radial)	RC-300 Series: +/- 7.5mm max., +/- 3mm recommended RC-340 Series: +/- 7.5mm max., +/- 3mm recommended RC-660 Series: +/- 9mm max., +/- 4.5mm recommended
Compliance Force (Measured at Collet)	RC-300 Series: 12.7-42 N (2.8–9.5 lb) @ 1.0-4.1 bar (15–60 psi) RC-340 Series: 12.7-42 N (2.8–9.5 lb) @ 1.0-4.1 bar (15–60 psi) RC-660 Series: 12.8-45.4 N (2.8–10.2 lb) @ 1.0-4.1 bar (15–60 psi)
Burr Surface Speed	Dependent on cutter geometry and motor
Spindle Air Pressure	6.2-6.5 bar (90–95 psi) (All Models) [6.9 bar (100 psi) max]
Air Consumption (Idle)	RC-300 Series: 2.8 l/s (6 CFM) RC-340 Series: 2.8 l/s (6 CFM) RC-660 Series: 5.4 l/s (11.5 CFM)
Air Consumption (Stall)	RC-300 Series: 10.2 l/s (21.5 CFM) RC-340 Series: 10.2 l/s (21.5 CFM) RC-660 Series: 17.9 l/s (38 CFM)
Sound Pressure Level	Less than 70 dB(A) (All Models, without Cutter)
Collet Size (Standard)**	1/4" (All Models), -E Models Supplied with 6mm Collets
Rotary Burrs **	Commercial Units Rated 40,000 RPM or Higher
Special Tools	Open End Wrenches (1 Pair Supplied) 9/16" (14.5mm), 7/16" (11mm) 10mm Narrow (Only for use with ER11 Collets, -ER Models)

Fig. 6. Parametrii funcționali ai efactorului

De asemenea, în Figura 7 se ilustrează graficul de reglare a presiunii din cadrul sistemului de complianță în raport cu forța de contact necesară între sculă și piesă.

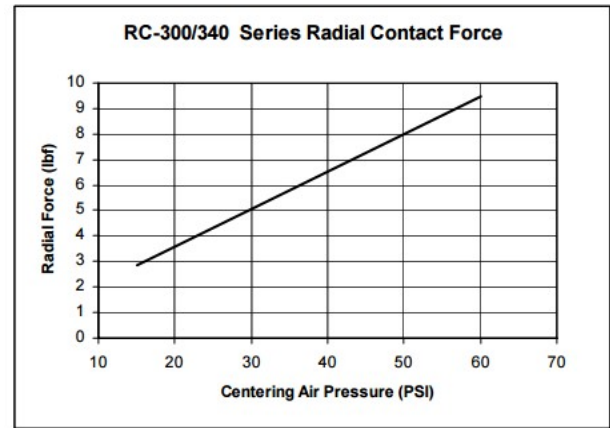
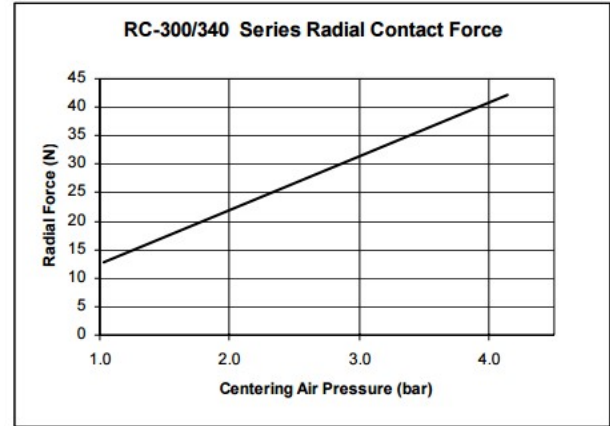


Fig. 7. Graficul de reglare a presiunii din cadrul sistemului de complianță în raport cu forța de contact necesară între sculă și piesă

4 INSTRUIREA ROBOTULUI

Pentru instruirea robotului, există două metode recomandate.

Prima metodă este cea în care se înlocuiește freza cu o tijă de metal (vezi Figura 8). Marginea echivalentă suprafeței părții tăietoare a frezei trebuie să fie cel puțin tangentă la bavura ce se dorește îndepărtată.

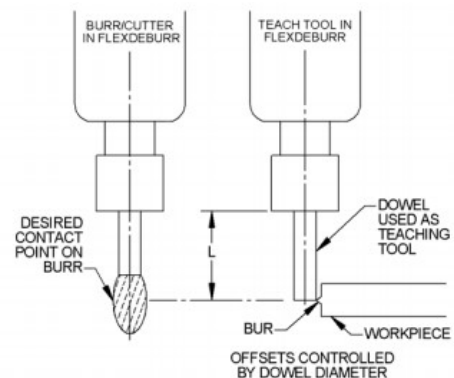


Fig. 8. Prima metodă de programare a aplicației

Cea de-a doua metodă este de a folosi axa de simetrie a frezei pentru a seta procesul, adăugând pe parcurs compensării pe traiectoria generată de robot pentru a obține, în final, traiectoria de debavurare dorită (vezi Figura 9).

Colțurile interioare reprezintă o situație complicată, așadar nu se recomandă folosirea uneltei de debavurare în acele situații, din simplul fapt că, depinzând de material, partea de tăiere a frezei se poate ciobi sau strica.

Se sfătuiește urmărirea programului, la prima rulare, cu complianța dată la minim pentru a se observa potențialele deviații ale robotului, odată cu creșterea vitezei.

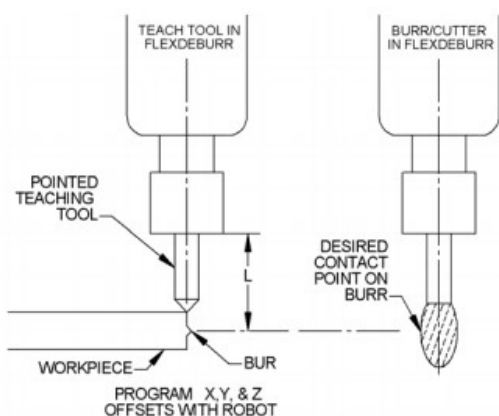


Fig. 9. A doua metodă de programare a aplicației

Efectorul produce ceea ce se numește frezare în urcare, ceea ce înseamnă ca atât traversa cât și rotația frezei au același sens. În acest caz, rotația este în sensul acelor de ceasornic. Astfel, debavurarea cu acest efector presupune deplasarea acestuia în sensul acelor de ceasornic în jurul părții ce se dorește a fi debavurată.

După ce fârașul a fost poziționat, au urmat următorii pași:

1. Realizarea programului de debavurare a părții din față a fârașului utilizând procedeul de frezare contra avansului;
2. Determinarea experimentală a nivelului optim de complianță pentru debavurarea fârașului;
3. Realizarea programului de debavurare a părții din spate a fârașului utilizând procedeul de frezare în sensul avansului;
4. Optimizarea sistemului de prindere a fârașului în vederea îmbunătățirii rezultatelor prelucrării;
5. Determinarea experimentală a regimului optim de prelucrare pentru debavurarea fârașului pentru cele două abordări - frezare contra avansului și frezare în sensul avansului.

4.1 Pasul 1: Realizarea programului de debavurare a părții din față a fârașului utilizând procedeul de frezare contra avansului

Această programare a constat în câteva etape, acest program fiind compus din opt instrucțiuni-bloc. Programarea aceasta a avut loc cu o tijă metalică cu diametrul de 7 mm – față de diametrul de 9 mm al frezei – astfel încât contactul dintre sculă și reperul prelucrat să fie asigurat de complianța efectorului (vezi Figura 10). Valoarea complianței a fost reglată la minim.



Fig. 10. Programarea prin instruire a robotului în vederea realizării aplicației de debavurare

Programul realizat pentru debavurarea părții din față a fârașului are următoarea structură (vezi Figura 11):

Instrucțiunea-bloc nr. 1 – instrucțiune de tip "JOINT" pentru poziționarea robotului în punctul de start al aplicației.

Programarea robotului Kawasaki FS10E pentru realizarea unei aplicații de debavurare a reperelor din plastic

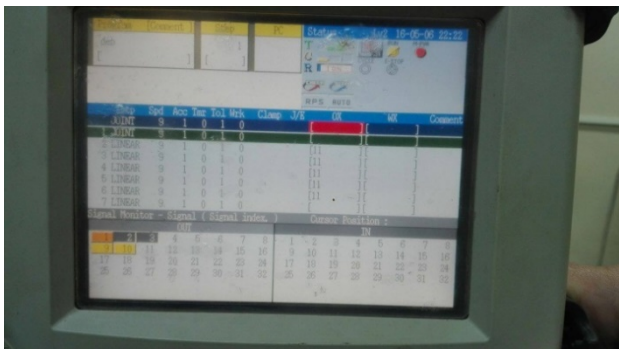


Fig. 11. Programul realizat pe Teach-Pendant

Instrucțiunea-bloc nr. 2 – instrucțiune de tip "LINEAR" pentru coborârea frezei la nivelul planului în care va fi realizată traiectoria de prelucrare.

Instrucțiunea-bloc nr. 3 – instrucțiune de tip "LINEAR" pentru intrarea frezei în prelucrare pe segmentul de traiectorie "AB" (vezi Figura 12).

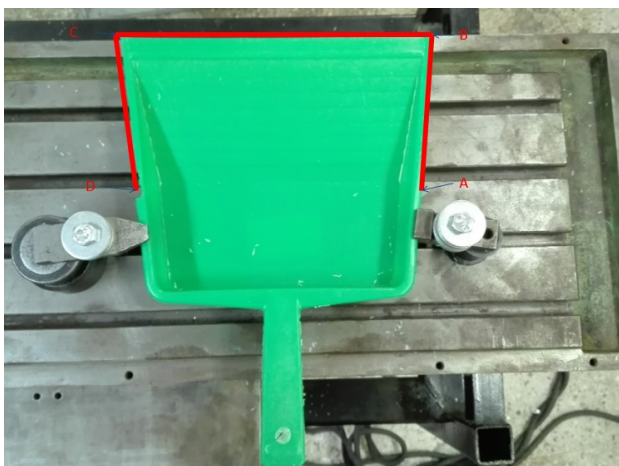


Fig. 12. Traiectoria realizată pe conturul frontal al fârașului

Instrucțiunea-bloc nr.4 – instrucțiune de tip "LINEAR" pentru intrarea frezei în prelucrare pe segmentul de traiectorie "BC" (vezi Figura 13).



Fig. 13. Programarea segmentului de traiectorie BC

Instrucțiunea-bloc nr.5 – instrucțiune de tip "LINEAR" pentru intrarea frezei în prelucrare pe segmentul de traiectorie "CD".

Instrucțiunea-bloc nr.6 – instrucțiune de tip "LINEAR" pentru intrarea frezei în prelucrare pe segmentul de traiectorie "DE".

Instrucțiunea-bloc nr.7 – instrucțiune de tip "LINEAR" pentru depărtarea frezei de reperul prelucrat.

Instrucțiunea-bloc nr.7 – instrucțiune de tip "LINEAR" pentru ridicarea frezei în punctul de final al aplicației.



Fig. 14. Ridicarea frezei în punctul de final al aplicației

4.2 Pasul 2: Determinarea experimentală a nivelului optim de complianță pentru debavurarea fârașului

După finalizarea programului, acesta a fost executat pas cu pas, în loc de tijă folosindu-se acum freza respectivă, pentru a rectifica locurile unde era ori prea aproape, ori prea departe de fâraș.

După acest ultim pas, am introdus comanda de acționare a frezei în pașii 2 – 6, anume pașii în care freza atinge fârașul.

Apoi am pus în funcțiune freza. Rezultatul pe partea din dreapta și pe partea din față a fost satisfăcător, în schimb pe partea din stânga freza fusese aliniată prea aproape de fâraș, așa că a ciobit o parte din material.

4.3 Pasul 3: Realizarea programului de debavurare a părții din spate a fărâșului utilizând procedeul de frezare în sensul avansului

La fel ca și partea frontală, această programare a constat în câteva etape, acest program fiind compus din șaptesprezece instrucțiuni-bloc. Programarea aceasta a avut loc cu o tijă metalică cu diametrul de 7 mm – față de diametrul de 9 mm al frezei – astfel încât contactul dintre sculă și reperul prelucrat să fie asigurat de complianța efectorului. Valoarea complianței a fost reglată la minim. Traiectoria rezultată în cea de-a doua etapă de programare este ilustrată în Figura 15.

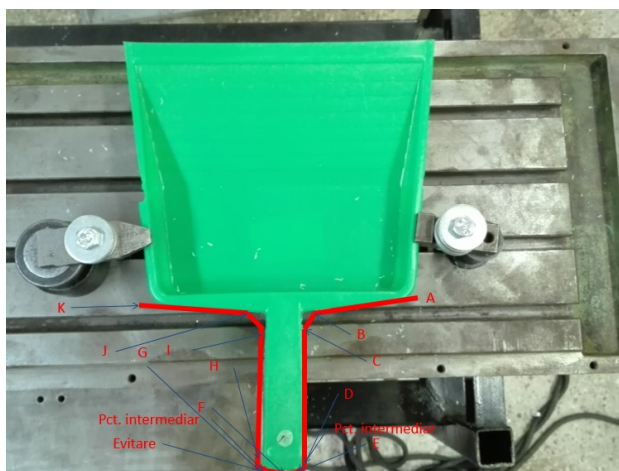


Fig. 15. Traiectoria rezultată în cea de-a doua etapă de programare

Instrucțiunea-bloc nr.1 – instrucțiune de tip "JOINT" pentru poziționarea robotului în punctul de start al aplicației (vezi Figura 16).

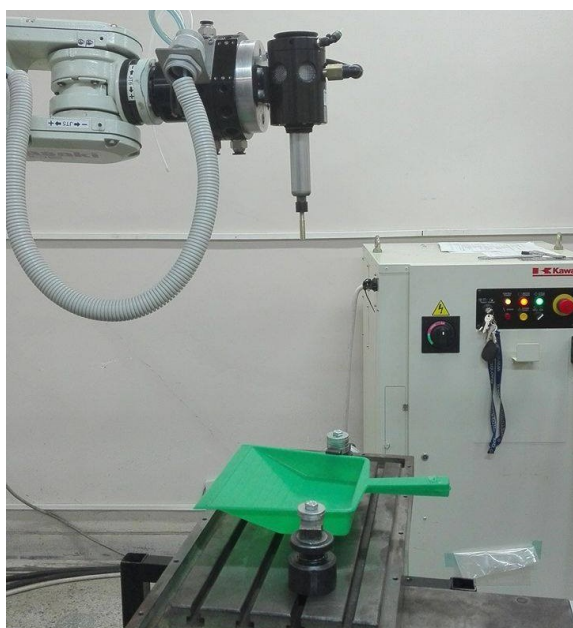


Fig. 16. Poziționarea robotului în punctul de start al aplicației

Instrucțiunea-bloc nr. 2 – instrucțiune de tip "LINEAR" pentru coborârea frezei la nivelul planului în care va fi realizată traiectoria de prelucrare.

Instrucțiunea-bloc nr.3 – instrucțiune de tip "LINEAR" pentru intrarea frezei în prelucrare pe segmentul de traiectorie "AB".

Instrucțiunea-bloc nr.4 – instrucțiune de tip "LINEAR" pentru poziționarea frezei pe latura "CD", pentru a evita colțul interior al fărâșului.

Instrucțiunea-bloc nr.5 – instrucțiune de tip "LINEAR" pentru intrarea frezei în prelucrare pe segmentul de traiectorie "CD".

Instrucțiunea-bloc nr.6 – instrucțiune de tip "CIR I" pentru intrarea frezei în prelucrare pe arcul de cerc "DE" (vezi Figura 17).

Instrucțiunea-bloc nr.6 – instrucțiune de tip "LINEAR" pentru intrarea frezei în punctul intermediar pe arcul de cerc "DE".

Instrucțiunea-bloc nr.7 – instrucțiune de tip "CIR II" pentru intrarea frezei în punctul final de pe arcul de cerc "DE".

Instrucțiunea-bloc nr.8 – instrucțiune de tip "LINEAR" pentru intrarea frezei în prelucrare pe segmentul de traiectorie "EF".

Instrucțiunea-bloc nr.9 – instrucțiune de tip "LINEAR" pentru evitarea bavurii generate de punctul de injecție a masei plastice.

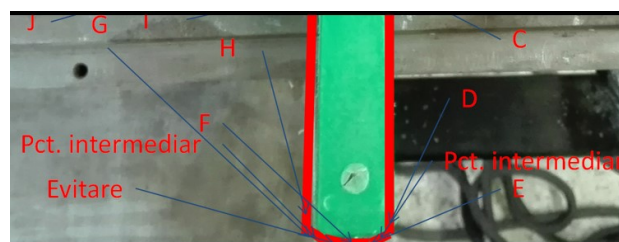


Fig. 17. Porțiunea de traiectorie D-H

Instrucțiunea-bloc nr.10 – instrucțiune de tip "LINEAR" pentru intrarea frezei în prelucrare pe segmentul de traiectorie "FG".

Instrucțiunea-bloc nr.11 – instrucțiune de tip „CIR I” pentru intrarea frezei în prelucrare pe arcul de cerc "GH".

Instrucțiunea-bloc nr.12 – instrucțiune de tip „LINEAR” pentru intrarea frezei în punctul intermediar de pe arcul de cerc "GH".

Instrucțiunea-bloc nr.13 – instrucțiune de tip „CIR II” pentru intrarea frezei în punctul final de pe arcul de cerc "GH".

Programarea robotului Kawasaki FS10E pentru realizarea unei aplicații de debavurare a reperelor din plastic

Instrucțiunea-bloc nr.14 – instrucțiune de tip „LINEAR” pentru intrarea frezei în prelucrare pe segmentul de traiectorie ”HI”.

Instrucțiunea-bloc nr.15 – instrucțiune de tip „LINEAR” pentru intrarea frezei în punctul de pe segmentul de traiectorie ”IJ” pentru a evita colțul interior generat de marginea fârașului.

Instrucțiunea-bloc nr.16 – instrucțiune de tip „LINEAR” pentru intrarea frezei în prelucrare pe segmentul de traiectorie ”JK” (vezi Figura 18).

Instrucțiunea-bloc nr.17 – instrucțiune de tip „LINEAR” pentru ridicarea frezei în punctul de final al aplicației.

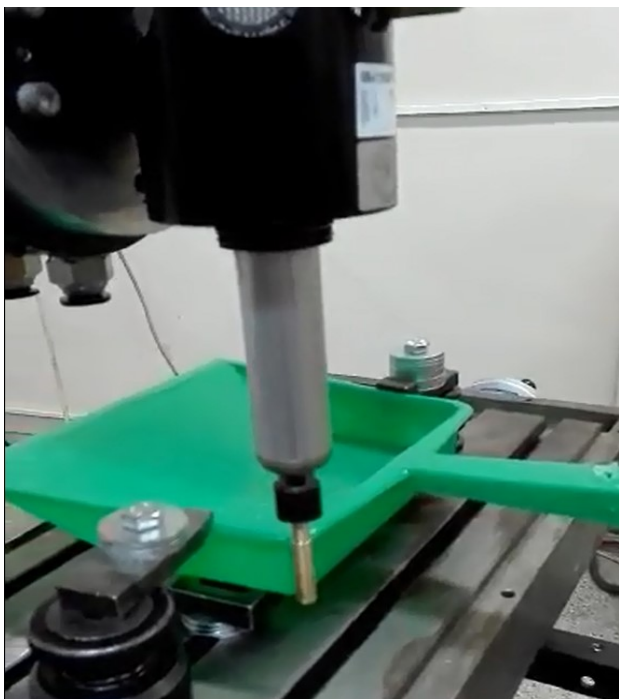


Fig. 18. Porțiunea de traiectorie J-K

Ca și la partea frontală, am executat programul pas cu pas, înlocuind tija cu freza, pentru a verifica unde sunt neregularitățile. Apoi am adăugat la pașii 1 – 14 comanda de antrenare a frezei. Pe partea din stânga jos a fârașului, freza nu a debavurat deloc (vezi Figura 19).



Fig. 19. Rezultate necorespunzătoare la debavurarea părții din spate a fârașului

5 PROBLEMELE ÎNTÂMPINATE ȘI SOLUȚIONAREA LOR

La ambele părți, dorsală și frontală, am întâmpinat probleme. După consultarea tabelului ce ilustrează problemele frecvent întâlnite la debavurarea cu efectori ai firmei ATI, soluțiile au fost identificate ca fiind următoarele:

- Ciobirea marginii din partea stângă a fârașului: Reglarea tangenței la fâraș a frezei, lăsând mai mult spațiu între tija de testare și margine.

- Lipsa debavurării pe marginea stângă a părții dorsale: Reglarea complianței frezei și a tangenței frezei la margine, apropiind tija de testare de margine. Problema principală a fost faptul că am reglat ochiometric, la segmentul de cerc.

- Valoarea redusă a complianței, determinată de caracteristicile plasticului debavurat

6 CONCLUZII

Având în vedere faptul că, din cauza caracteristicilor sistemului, turatia sculei așchietoare nu poate fi reglată, pentru obținerea unor rezultate corespunzătoare în cadrul procesului de debavurare este necesară optimizarea tehnologiei de prelucrare prin reglarea avansului - deplasarea robotului pe traiectorie.

De asemenea, s-a constatat că, în condițiile în care materialul debavurat este un plastic moale și de slabă calitate, este dificilă reglarea unei valori corespunzătoare a complianței pentru a se menține contactul corect al sculei cu reperul debavurat.

Un alt aspect constatat este faptul că, la valori reduse ale complianței, din cauza turatiei mari a sculei, aceasta este trasa foarte ușor în interiorul materialului reperului sub acțiunea forțelor de așchiere. Astfel, scula intra mai mult în așchiere decât este necesar pentru îndepărtarea bavurilor și apare pericolul de rupere a materialului reperului.

7 BIBLIOGRAFIE

- [1]. Nicolescu, A., *Roboti Industriali*, EDP, 2005.
- [2]. Craig, J.J., *Introduction to Robotics: Mechanics and Control (Third Edition)*, Pearson Education, USA, 2005.
- [3]. Siciliano, B. și Khatib, O., *Handbook of Robotics*, Springer, ISBN: 978-3-540-23957-4, Stanford, 2008.
- [4]. <http://www.ati-ia.com/> , Accesat la data: 15.03.2016.
- [5]. <https://robotics.kawasaki.com> , Accesat la data: 23.02.2016