

CERCETĂRI PRIVIND PRECIZIA DE POZIȚIONARE A MAȘINILOR DE ȘTANȚAT CNC

Șef de lucrări dr. ing. Anca-Lucia CHICEA ¹

¹ Universitatea „Lucian Blaga” din Sibiu, Sibiu, România

REZUMAT. Lucrarea prezintă cercetările experimentale privind precizia de poziționare a unei mașini de ștanțat cu comandă numerică. Mașinile de ștanțat cu comandă numerică reprezintă echipamente tehnologice performante destinate prelucrării tablelor subțiri în plan. Testarea preciziei de poziționare s-a realizat conform unor normative speciale, iar îmbunătățirea acestora s-a realizat prin intervenții la nivelul parametrilor de reglaj ai sistemelor de control automat al mișcării de la nivelul lanțurilor cinematice de avans ale mașinii.

Cuvinte cheie: CNC, mașini de ștanțat, precizie de poziționare, control al mișcării.

ABSTRACT. This paper presents the experimental researches with regards of the positioning accuracy of a computer numerically controlled punching machine. CNC punching machines are state of the art technological equipment for 2D machining of sheetmetal workpieces. The positioning accuracy of the machine was tested according special norms, and the results were improved by altering the control parameters of the motion control systems at the machine kinematic chains level.

Keywords: CNC, punching machines, positioning accuracy, motion control.

1. INTRODUCERE

Sistemele de comandă numerică sunt la ora actuală din ce în ce mai răspândite în domeniul mașinilor de prelucrat prin deformare și al mașinilor de debitat cu laser, plasmă, flacără oxo-acetilenică sau jet de apă, numite în mod generic mașini de prelucrat prin profilare [1, 2].

Mașinile de prelucrat prin deformare cu comandă numerică sunt mașini la care aducerea semifabricatului în poziție de lucru, comanda efectuării operației, executarea operației, transportul de la un post de lucru la altul și eliminarea piesei prelucrate din dispozitivul de presare se execută după un program, fără intervenția operatorului.

Programarea numerică a acestor echipamente de prelucrat prin deformare constă de obicei în programarea conturului pieselor de prelucrat, programarea coordonatelor diferitelor perforări sau poziționarea semifabricatului astfel ca într-un anumit loc al acestuia să se execute diferite operații, programarea schimbării sculelor pentru efectuarea operațiilor, programarea ciclului de lucru, a poziției culisorului și a poziției opritoarelor [3-5].

Folosind scule adecvate, pe echipamentele cu comandă după program, în limitele forței disponibile, se pot executa operații ca: perforarea, decuparea, ambutisarea de mică adâncime, profilarea, răsfrângerea marginilor etc., la piese de formă complexă. Prelucrarea bi-dimensională (2D) în industria prelucrării tablelor prin deformare (ștanțare, ronțuire, deformare)

se realizează actualmente pe sisteme moderne de ștanțat cu comandă numerică. Aceste mașini care au un domeniu larg de posibilități de prelucrare, viteze foarte mari de prelucrare la precizii foarte mari și un raport favorabil cost/performanță.

Semifabricatul de tip foaie de tablă este fixat cu cleme de fixare pe masa mașinii și deplasat în planul X-Y cu ajutorul unor servosisteme electromecanice de avans utilizând ca elemente de transmisie șuruburi cu bile cu pas mare, iar ca elemente de execuție servomotoare sincrone echipate cu traductoare incrementale de rotație. Vitezele de deplasare ale semifabricatului de tip foaie de tablă ating valori foarte mari, depășind uzual 100 m/min pentru o axă și 20 m/min simultan pentru două axe iar precizia de poziționare este $\pm 0,1$ mm cu repetabilitate de 0,025 mm. Clemele de fixare sunt de asemenea comandate numeric, poziția lor putând fi stabilită din program.

Dacă dimensiunea foii de tablă depășește (pe axa X) dimensiunea mesei, se pot programa secvențe de re-poziționare a semifabricatului; după prelucrarea zonei care nu depășește masa, clemele deplasează foaia de tablă, apoi se desfășoară, se re-poziționează și fixează din nou tabla, aducând o nouă porțiune de semifabricat în zona de lucru.

Culisorul execută mișcarea propriu-zisă de prelucrare (controlată de o unitate electrohidraulică) pe direcție verticală (axa Z).

O analiză structurală a acestor echipamente scoate în evidență o structură de reglaj orientată spre reglarea parametrilor cinematici (poziție, viteză, accelerație) în

planul XY, plan în care are loc deplasarea foii de tablă [6-8].

Specificul acestui reglaj, care îl deosebește substanțial de alte structuri de control al mișcării în plan (control al mișcării pe două axe) este dat de valoarea foarte mare a vitezei de avans. Pentru comparație, în cazul mașinilor de frezat, o viteză uzuală de avans rapid este cuprinsă între 15-30 m/min, în timp ce în cazul mașinilor de ștanțat cu comandă numerică, valorile vitezei de avans sunt cuprinse între 60-150 m/min. Acest lucru face ca elementele care determină în mod hotărâtor precizia mașinilor de ștanțat cu comandă numerică să fie lanțurile cinematice de avans, realizate sub formă de sisteme de control al mișcării în buclă închisă cu reglare numerică, sau altfel spus, axele numerice.

Obiectivul acestei lucrări este cercetarea experimentală a preciziei axelor numerice din structura unei mașini de ștanțat cu comandă numerică.

2. CERCETĂRI EXPERIMENTALE

Cercetările experimentale asupra comportării lanțurilor cinematice de avans ale mașinilor de ștanțat cu comandă numerică, prezentate în cadrul acestei lucrări, s-au desfășurat pe o mașină de ștanțat fabricată de către firma Pullmax, modelul Pullmatic 12 C-400 (fig. 2.1), mașină ce prezintă următoarele caracteristici: forța: 400 kN (40 tf); greutatea maximă: 11800 kg; puterea consumată: 24 kW; numărul de stații în capul revolver: 15; grosimea maximă a semifabricatului de prelucrat: 12 mm; diametrul maxim al poansonului: 75 mm; greutatea maximă a semifabricatului de prelucrat (X x Y): 2000 x 1500 mm; cursa maximă pe axa Z (a poansonului): 35 mm; viteza maximă de avans pe axa X: 60 m/min; viteza maximă de avans pe axa Y: 60 m/min; viteza maximă de avans în planul X-Y: 30 m/min; viteza maximă de ștanțare: 1 mm între găuri 1000 cd/min, 25 mm între găuri 430 cd/min, 250 mm între găuri 150 cd/min; turația capului revolver: 60 rot/min; precizia de poziționare în plan: ± 0.04 mm.

Pentru testarea preciziei de poziționare, dintr-un semifabricat de tablă din OL 37 cu grosimea de 1,2 mm s-au prelucrat prin decupare fante atât pe orizontală cât și pe verticală, având o distanță nominală de 5 mm între ele, cu o viteză de poziționare de 60 m/min. S-a folosit pentru ștanțare un poanson de formă dreptunghiulară cu capetele rotunjite cu o lungime de 55,5 mm și o lățime de 5 mm.

Pentru verificarea preciziei de poziționare s-au măsurat distanțele dintre orificii pe o mașină de

măsurat în coordonate Zeiss GageMax în coordonate de tip portal Prismo 7 S-ACC, fabricată de firma Carl Zeiss GmbH din Germania (fig. 2.2).



Fig. 2.1. Mașina de ștanțat PULLMATIC C-400.



Fig. 2.2. Aspecte din timpul determinărilor experimentale.

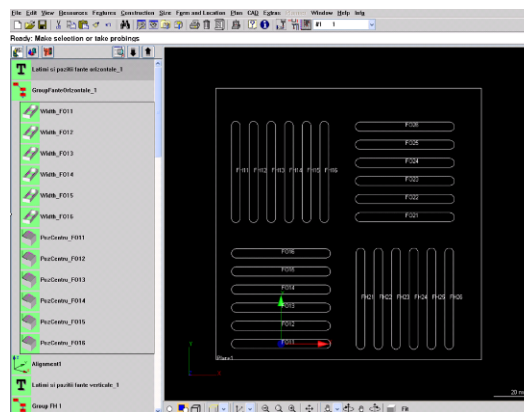


Fig. 2.3. Reprezentarea zonei de măsurat în programul CALYPSO.

Pentru interpretarea corespunzătoare a datelor de măsurare, și reprezentarea grafică a elementelor măsurate, pe mașină este instalat un sistem software specializat, CALYPSO. Acest program, funcționând sub Microsoft Windows NT, permite pe lângă achiziționarea precisă a datelor de măsurare și o comparare a acestora cu cele inițiale de proiectare, introduse sub forma unor fișiere IGES sau DXF.

CERCETĂRI PRIVIND PRECIZIA DE POZIȚIONARE A MAȘINILOR DE ȘTANȚAT CNC

Tabelul 1. Poziții fante verticale

j	x_{Pj}	x_{Rj}^i				
1	10,00	10,16	10,18	10,27	10,31	10,21
2	20,00	20,31	20,27	20,27	20,30	20,19
3	30,00	30,22	30,28	30,26	30,25	30,25
4	40,00	40,28	40,25	40,25	40,21	40,23
5	50,00	50,22	50,24	50,25	50,25	50,28
1	10,00	10,09	10,21	10,18	10,15	10,22
2	20,00	20,19	20,17	20,22	20,20	20,24
3	30,00	30,30	30,24	30,24	30,27	30,27
4	40,00	40,29	40,29	40,27	40,24	40,25
5	50,00	50,27	50,26	50,27	50,25	50,24

Tabelul 2. Poziții fante orizontale

j	x_{Pj}	x_{Rj}^i				
1	10,00	10,14	10,23	10,26	10,18	10,11
2	20,00	20,14	20,22	20,17	20,20	20,17
3	30,00	30,21	30,21	30,18	30,28	30,22
4	40,00	40,22	40,26	40,26	40,25	40,19
5	50,00	50,19	50,25	50,24	50,22	50,27
1	10,00	10,09	10,12	10,20	10,15	10,18
2	20,00	20,20	20,24	20,21	20,19	20,24
3	30,00	30,28	30,27	30,27	30,25	30,26
4	40,00	40,24	40,27	40,27	40,28	40,23
5	50,00	50,21	50,24	50,25	50,26	50,26

Reprezentarea zonei de măsurat așa cum apare ea în programul CALYPSO, este redată în figura 2.3.

Încercările experimentale pentru verificarea preciziei de poziționare s-au desfășurat conform normei de tipizare "Mașini-unelte cu comandă numerică. Verificarea preciziei de poziționare, metodologie", ICPMUA, București, 1978.

Pentru testarea preciziei de poziționare, s-au măsurat pozițiile relative ale celor șase fante obținute prin decupare situate la o distanță nominală de 5 mm una de cealaltă. Măsurările s-au făcut pornind din

centrul primei fante până în centrul fantei măsurate, atât în cazul celor orizontale cât și a celor verticale.

Elementele mobile au fost deplasate, pe fiecare axă, din poziția inițială în poziția finală și invers în poziția inițială, trecând prin aceleași puncte, în ambele sensuri de deplasare. S-au obținut astfel pentru fiecare set de măsurători câte cinci rezultate pentru fiecare sens de deplasare. Pozițiile programate și pozițiile atinse pentru fantele verticale (pentru axa X), sunt prezentate în tabelul 1. În tabelul 2 sunt prezentate pentru fantele orizontale (pentru axa Y).

Pe baza măsurătorilor prezentate anterior s-au calculat apoi abaterea fiecărei poziții, abaterea medie, lățimea împrăștierii, lățimea medie a împrăștierii, abaterea standard etc. În continuare se vor prezenta relațiile de calcul pentru aceste mărimi.

Abaterea Δx_j^i , pentru fiecare poziție se calculează cu relația:

$$\Delta x_j^i = x_{Rj}^i - x_{Pj}, \quad (2.1)$$

unde:

x_{Rj}^i este poziția reală;

x_{Pj} - poziția programată.

Abaterea medie $\bar{\Delta x}_j$, pentru fiecare poziție "j" și fiecare sens, se calculează cu relația:

$$\bar{\Delta x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta x_j^i \quad (2.2)$$

Lățimea împrăștierii D_j pentru fiecare poziție "j" și pentru fiecare sens de deplasare, se calculează cu relația:

$$D_j = \max \Delta x_j^i - \min \Delta x_j^i. \quad (2.3)$$

Lățimea medie a împrăștierii \bar{D}_j , separat pentru fiecare sens de deplasare, se calculează cu relațiile:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{D}_j = (D_1 + D_2)/2, \quad j = 1; \\ \bar{D}_j = (D_{j-1} + D_j + D_{j+1})/3, \quad 2 \leq j \leq m-1; \\ \bar{D}_j = (D_{m-1} + D_m)/2, \quad j = m. \end{array} \right. \quad (2.4)$$

Abaterea standard S_j , separat pentru fiecare sens de deplasare se calculează cu relația:

$$S_j = a_i \times \bar{D}_j \quad 10 \geq i \geq 5. \quad (2.5)$$

Conform normativului amintit, $a_5 = 0,4299$. Lățimea de împrăștiere maximă, R_j , numită și repetabilitate, pentru fiecare sens de deplasare, se calculează cu relația:

$$R_j = 6 S_j. \quad (2.6)$$

În continuare, se trasează câte o curbă a abaterilor medii pentru fiecare caz $\bar{\Delta x}_j \uparrow$ și $\bar{\Delta x}_j \downarrow$ în diagrama pentru verificarea preciziei de poziționare, utilizând valorile obținute cu formulele de mai sus. Se trasează câte două curbe, o pereche de curbe pentru fiecare sens de deplasare, pe diagrama de verificare a

CERCETARE ȘI EXPERTIZĂ INGINEREASCĂ LA CONSTANȚA

preciziei de poziționare, prin unirea punctelor amplasate la distanța $\pm 3S_j$ față de curbele $\bar{\Delta x}_j$.

Tabelul 3. Parametrii caracteristici pentru fantele verticale

Δx_j^i					$\bar{\Delta x}_j$	D_j	\bar{D}_j	$3S_j$	R_j
163	182	270	310	208	226,60	147,00	133,50	172,17	344,35
310	270	270	300	190	268,00	120,00	109,00	140,58	281,15
220	280	260	250	250	252,00	60,00	83,33	107,48	214,95
280	250	250	210	230	244,00	70,00	63,33	81,68	163,36
220	240	250	250	280	248,00	60,00	65,00	83,83	167,66
90	210	180	150	220	170,00	130,00	100,00	128,97	257,94
190	170	220	200	240	204,00	70,00	86,67	111,77	223,55
300	240	240	270	270	264,00	60,00	60,00	77,38	154,76
290	290	270	240	250	268,00	50,00	46,67	60,19	120,37
270	260	270	250	240	258,00	30,00	40,00	51,59	103,18

Tabelul 4. Parametrii caracteristici pentru fantele verticale (continuare)

$\bar{\Delta x}_j \uparrow$	$\bar{\Delta x}_j \downarrow$	$\bar{\Delta x}_j \uparrow$ $+ 3S_j$	$\bar{\Delta x}_j \uparrow$ $- 3S_j$	$\bar{\Delta x}_j \downarrow$ $+ 3S_j$	$\bar{\Delta x}_j \downarrow$ $- 3S_j$
(1)	(4)	(2)	(3)	(5)	(6)
226,60	170,00	398,77	54,43	298,970	41,030
268,00	204,00	408,58	127,42	315,774	92,226
252,00	264,00	359,48	144,53	341,382	186,618
244,00	268,00	325,68	162,32	328,186	207,814
248,00	258,00	331,83	164,17	309,588	206,412
226,60	170,00	398,77	54,43	298,970	41,030

Se calculează sau se determină grafic toleranța poziționării, M , cu relația:

$$M = \max(\bar{\Delta x}_j + 3S) \uparrow \text{ sau } \downarrow - \min(\bar{\Delta x}_j - 3S) \uparrow \text{ sau } \downarrow. \quad (2.7)$$

Insensibilitatea, N , se determină cu relația:

$$N = \max(\bar{\Delta x}_j \uparrow - \bar{\Delta x}_j \downarrow). \quad (2.8)$$

Mărimile definite mai sus, calculate conform relațiilor prezentate, sunt sistematizate în tabelele 3 și 4 în cazul fantelor verticale respectiv 5 și 6 în cazul celor orizontale. Valorile din tabelele sunt introduse în micrometri. Diagramele preciziei de poziționare sunt redată în figura 2.4 pentru fantele verticale, respectiv în figura 2.5 pentru cele orizontale.

Acest prim set de determinări s-a făcut pentru parametrii sistemului necompensat (valorile parametrilor de reglaj ai reguletoarelor de poziție existente pe mașină în starea inițială):

Tabelul 5. Parametrii caracteristici pentru fantele verticale

Δx_j^i					$\bar{\Delta x}_j$	D_j	\bar{D}_j	$3S_j$	R_j
140	230	260	180	110	184,00	150,00	115,00	148,32	296,63
140	220	170	200	170	180,00	80,00	110,00	141,87	283,73
210	210	180	280	220	220,00	100,00	83,33	107,48	214,95
220	260	260	250	190	236,00	70,00	83,33	107,48	214,95
190	250	240	220	270	234,00	80,00	75,00	96,73	193,46
90	120	200	150	180	148,00	110,00	80,00	103,18	206,35
200	240	210	190	240	216,00	50,00	63,33	81,68	163,36
280	270	270	250	260	266,00	30,00	43,33	55,89	111,77
240	270	270	280	230	258,00	50,00	43,33	55,89	111,77
210	240	250	260	260	244,00	50,00	50,00	64,49	128,97

Tabelul 6. Parametrii caracteristici pentru fantele verticale (continuare)

$\bar{\Delta x}_j \uparrow$	$\bar{\Delta x}_j \downarrow$	$\bar{\Delta x}_j \uparrow$ $+ 3S_j$	$\bar{\Delta x}_j \uparrow$ $- 3S_j$	$\bar{\Delta x}_j \downarrow$ $+ 3S_j$	$\bar{\Delta x}_j \downarrow$ $- 3S_j$
(1)	(4)	(2)	(3)	(5)	(6)
184,00	148,00	332,32	35,68	251,176	44,824
180,00	216,00	321,87	38,13	297,681	134,319
220,00	266,00	327,48	112,53	321,887	210,113
236,00	258,00	343,48	128,52	313,887	202,113
234,00	244,00	330,73	137,27	308,485	179,515
184,00	148,00	332,32	35,68	251,176	44,824

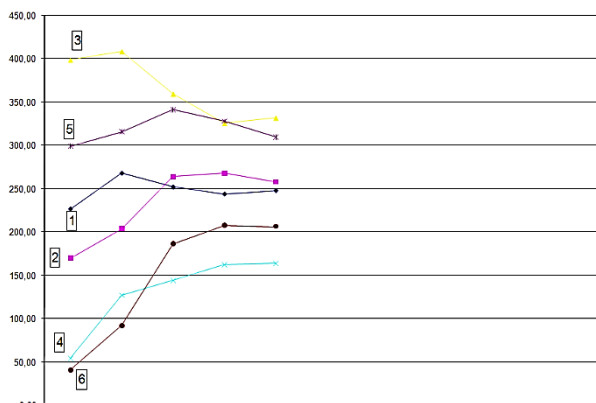


Fig. 2.4. Diagramele de verificare a preciziei de poziționare pentru fantele verticale - varianta necompensată.

CERCETĂRI PRIVIND PRECIZIA DE POZIȚIONARE A MAȘINILOR DE ȘTANȚAT CNC

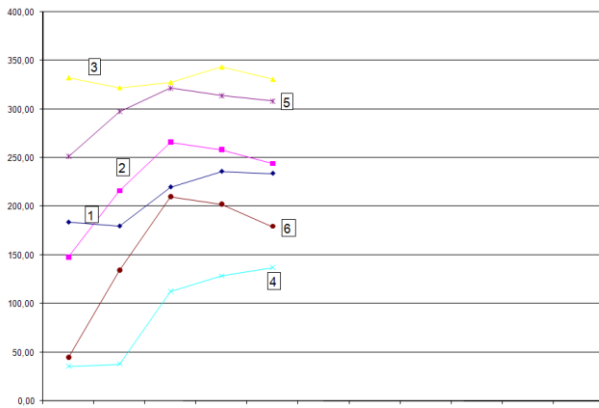


Fig. 2.5. Diagrame de verificare a preciziei de poziționare pentru fantele orizontale - varianta necompensată.

$K_{pp} = 1,32$ – constanta de proporționalitate a regulatorului de poziție, $K_{ip} = 0,5$ – constanta de integrare a regulatorului de poziție, $K_{dp} = 0$ – constanta derivativă a regulatorului de poziție, $K_{pv} = 5$ – constanta de proporționalitate a regulatorului de viteză, $K_{iv} = 0$ – constanta de integrare a regulatorului de viteză, $K_{dv} = 0$ – constanta derivativă a regulatorului de viteză.

Valorile parametrilor de reglaj sunt identici pentru ambele axe.

Toleranța poziționării $M_{x,y}$ și insensibilitatea $N_{x,y}$ pentru axele X și Y sunt:

– $M_x = 367,55 \mu\text{m}$, $N_x = 64 \mu\text{m}$ – pentru axa X, respectiv:

– $M_y = 307,80 \mu\text{m}$, $N_y = 46 \mu\text{m}$ – pentru axa Y.

După cum se observă, aceste rezultate sunt mult mai mari decât valoarea declarată de producător de $40 \mu\text{m}$ (în ceea ce privește toleranța poziționării). Se poate argumenta că o mare parte dintre aceste erori se datorează uzurii și jocurilor apărute în transmisiile mecanice, în timp, deoarece mașina de ștanțat cu comandă numerică analizată are o durată de utilizare de peste 10 ani.

Cercetările teoretice și simulările au relevat însă faptul că acordarea corespunzătoare a parametrilor de reglaj poate reduce erorile de poziționare. Desigur, erorile datorate jocurilor și uzurii își vor păstra valorile anterioare, dar, contribuția erorilor datorată dezacordării reglatoarelor axelor numerice în bilanțul total al erorilor de poziționare poate fi redusă. Mai mult, deoarece acordarea corespunzătoare influențează semnificativ și comportarea dinamică, aceasta poate contribui, indirect, la reducerea erorilor amintite mai sus. Altfel spus, reducerea oscilațiilor în funcționare influențează și mărimea erorilor datorate jocurilor și uzurii.

În continuare se vor prezenta rezultatele încercărilor experimentale desfășurate după acordarea axelor numerice ale mașinii de ștanțat cu comandă numerică. Determinările experimentale și măsurările s-au repetat după realizarea compensării prin acordarea corespunzătoare a axelor numerice ale mașinii. Conform

rezultatelor cercetărilor teoretice, în cazul regimului de poziționare, cea mai mare influență asupra comportării dinamice și preciziei cinematice a axelor numerice o au reglatoarele automate de pe buclele de reglaj de poziție.

Tabelul 7. Parametrii caracteristici pentru fantele verticale după compensare

Δx_j^i					$\bar{\Delta x}_j$	D_j	\bar{D}_j	$3S_j$	R_j
60	50	30	40	10	38,00	50,00	40,00	51,59	103,18
20	40	30	10	30	26,00	30,00	36,67	47,29	94,58
40	10	30	20	30	26,00	30,00	43,33	55,89	111,77
10	20	20	80	40	34,00	70,00	40,00	51,59	103,18
30	30	20	40	30	30,00	20,00	45,00	58,04	116,07
30	50	40	50	20	38,00	30,00	25,00	32,24	64,49
40	50	40	60	50	48,00	20,00	33,33	42,99	85,98
50	70	20	50	30	44,00	50,00	40,00	51,59	103,18
60	20	10	50	60	40,00	50,00	53,33	68,78	137,57
70	10	50	10	60	40,00	60,00	55,00	70,93	141,87

Tabelul 8. Parametrii caracteristici pentru fantele verticale după compensare (continuare)

$\bar{\Delta x}_j \uparrow$	$\bar{\Delta x}_j \downarrow$	$\bar{\Delta x}_j \uparrow + 3S_j$	$\bar{\Delta x}_j \uparrow - 3S_j$	$\bar{\Delta x}_j \downarrow + 3S_j$	$\bar{\Delta x}_j \downarrow - 3S_j$
(1)	(4)	(2)	(3)	(5)	(6)
38,00	38,00	89,59	-13,59	70,243	5,757
26,00	48,00	73,29	-21,29	90,990	5,010
26,00	44,00	81,89	-29,89	95,588	-7,588
34,00	40,00	85,59	-17,59	108,784	-28,784
30,00	40,00	88,04	-28,04	110,934	-30,934
38,00	38,00	89,59	-13,59	70,243	5,757

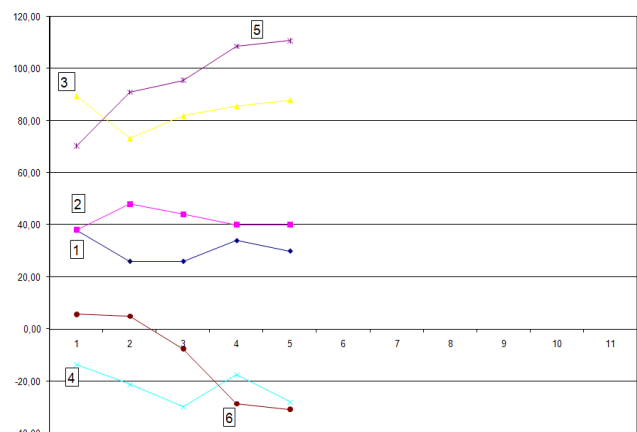


Fig. 2.6. Diagrame de verificare a preciziei de poziționare pentru fantele verticale – varianta compensată

Tabelul 9. Parametrii caracteristici pentru fantele horizontale după compensare

Δx_j^i					$\bar{\Delta x}_j$	D_j	\bar{D}_j	$3S_j$	R_j
20	60	50	80	50	52,00	60,00	55,00	70,93	141,87
20	30	50	40	0	28,00	50,00	53,33	68,78	137,57
10	60	40	50	40	40,00	50,00	46,67	60,19	120,37
50	10	20	30	30	28,00	40,00	36,67	47,29	94,58
30	40	20	40	20	30,00	20,00	30,00	38,69	77,38
50	60	40	50	40	48,00	20,00	40,00	51,59	103,18
70	30	80	40	20	48,00	60,00	43,33	55,89	111,77
60	30	50	10	40	38,00	50,00	56,67	73,08	146,17
50	20	40	80	70	52,00	60,00	46,67	60,19	120,37
30	40	30	50	20	34,00	30,00	45,00	58,04	116,07

Tabelul 10. Parametrii caracteristici pentru fantele horizontale după compensare (continuare)

$\bar{\Delta x}_j \uparrow$	$\bar{\Delta x}_j \downarrow$	$\bar{\Delta x}_j \uparrow$ $+3S_j$	$\bar{\Delta x}_j \uparrow$ $-3S_j$	$\bar{\Delta x}_j \downarrow$ $+3S_j$	$\bar{\Delta x}_j \downarrow$ $-3S_j$
(1)	(4)	(2)	(3)	(5)	(6)
52,00	48,00	122,93	-18,93	99,588	-3,588
28,00	48,00	96,78	-40,78	103,887	-7,887
40,00	38,00	100,19	-20,19	111,083	-35,083
28,00	52,00	75,29	-19,29	112,186	-8,186
30,00	34,00	68,69	-8,69	92,036	-24,036
52,00	48,00	122,93	-18,93	99,588	-3,588

Astfel, determinările experimentale au fost reluate pentru următorii parametri ai reguletoarelor de poziție și viteză (valori identice pentru ambele axe):

$$K_{pp} = 0,3535, K_{ip} = 0, K_{dp} = 0,01, K_{pv} = 5, K_{iv} = 0, K_{dv} = 0,01.$$

Parametrii caracteristici pentru fantele verticale și horizontale după compensare sunt prezentate în tabelele 7-10, iar diagramele preciziei de poziționare în figurile 2.6 și 2.7. Pozițiile pentru fantele verticale și horizontale după compensare nu au mai fost prezentate.

Noile valori pentru toleranța poziționării, $M_{x,y}$, și insensibilitatea, $N_{x,y}$, pentru axele X și Y sunt:

- $M_x = 141,868 \mu\text{m}$, $N_x = 22 \mu\text{m}$ – pentru axa X; respectiv:
- $M_y = 158,016 \mu\text{m}$, $N_y = 24 \mu\text{m}$ – pentru axa Y.

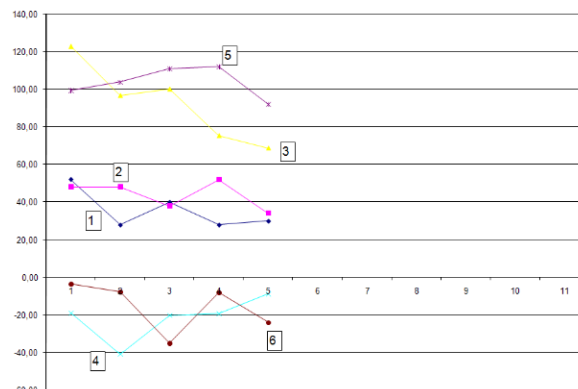


Fig. 2.7. Diagramele de verificare a preciziei de poziționare pentru fantele horizontale – varianta compensată.

Se observă o reducere semnificativă atât a toleranței poziționării cât și a insensibilității după acordarea reguletoarelor de poziție ale axelor numerice.

O sinteză a rezultatelor, ilustrând comportarea lanțurilor cinematice de avans înainte și după compensare, este prezentată în tabelul 11.

Toleranța poziționării pentru axa X după compensare reprezintă 39% din valoarea inițială (erorile s-au redus cu 61%) iar insensibilitatea reprezintă 34% din valoarea inițială (erorile s-au redus cu 66%).

Valorile pentru axa Y sunt 51% pentru toleranța poziționării (reducere cu 49%), respectiv 52% (reducere cu 48%) pentru insensibilitate.

Tabelul 11. Rezultate comparative

	Toleranța poziționării [μm]		Insensibilitate [μm]		Reducere erori [%]	
	X	Y	X	Y	X	Y
Înainte	367,55	307,80	64	46	-	-
După	141,868	158,06	22	24	61	49
					66	48

3. CONCLUZII

Deși erorile datorate jocurilor și uzurii sistemelor mecanice ale mașinii de ștanțat cu comandă numerică își mențin o influență semnificativă în bilanțul de erori în regim de poziționare, se poate afirma că acordarea axelor numerice influențează semnificativ valorile erorilor de poziționare, în sensul reducerii acestora.

Astfel, ca o concluzie generală privind cercetările experimentale, rezultatele măsurătorilor evidențiază că după compensare, precizia de poziționare a sistemului axelor numerice al mașinii de ștanțat cu comandă numerică se îmbunătățește semnificativ, fapt care validează în foarte mare măsură abordarea propusă.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Behrens, B.A., Lau, P., *Key Performance Indicators for Sheet Metal Forming Processes*, Production Engineering, Springer Berlin, Volume 2, Number 1, 2008.
- [2] Bitzel, H., et. al., *The Fascinating World of Sheet Metal*, published by Trumpf GmbH + CO, Ditzingen, Germany;
- [3] Choi, J.C., Kim, C., *A Compact and Practical CAD/CAM System for the Blanking or Piercing of Irregular Shaped-sheet Metal Products for Progressive Working*, Journal of Materials Processing Technology, 110, 2001.
- [4] Ciurana, J., Ferrer, I., Gao, J.X., *Activity Model and Computer Aided System for Defining Sheet Metal Process Planning*, Journal of Materials Processing Technology, Volume 173, Issue 2, 2006.
- [5] Wang, C.H., Bourne, D.A., *Design and Manufacturing of Sheet-metal Parts: Using Features to Aid Process Planning and Resolve Manufacturability Problems*, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Volume 13, Issue 3, 1997.
- [6] Wang, S.M., Liu, Y.L., Kang, Y., *An Efficient Error Compensation System for CNC Multi-axis Machines*, International Journal of Machine Tools & Manufacture 42, ISSN 0890-6955, p.1235-1245, 2002. 7.
- [7] Bologa, O., Breaz, R.-E., Racz, S.-G., Crenganiș, M., *Decision-making Tool for Moving from 3-axes to 5-axes CNC Machine-tool*, Procedia Computer Science, 91, pp. 184–192, 2016.
- [8] Tera, M., Breaz, R.E., Bologa, O., Racz, G., *Using a CNC Milling Machine for Incremental Forming*, Proceedings in Manufacturing Systems, Volume 9, Issue 2, pp. 99-104, 2014.

Despre autor

Șef de lucrări dr. ing. **Anca-Lucia CHICEA**
Universitatea “Lucian Blaga” din Sibiu, Sibiu, România

Autoarea este cadru didactic la “Lucian Blaga” din Sibiu, Facultatea de Inginerie, Departamentul de Mașini și Echipamente Industriale. Printre direcțiile de cercetare abordate putem menționa: bazele sistemelor mecatronice, echipamente tehnologice pentru prelucrări prin așchiere și presare, producerea dispozitivelor medicale, implanturilor și protezelor utilizând tehnici și tehnologii de fabricație asistată de calculator.