

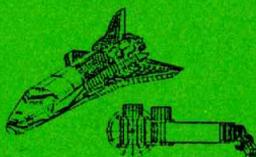
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სამეცნიერო-ტექნიკური
კონფერენციის

ParametricCAD'98

შრომები

26-27 ნოემბერი
1998 წელი
თბილისი



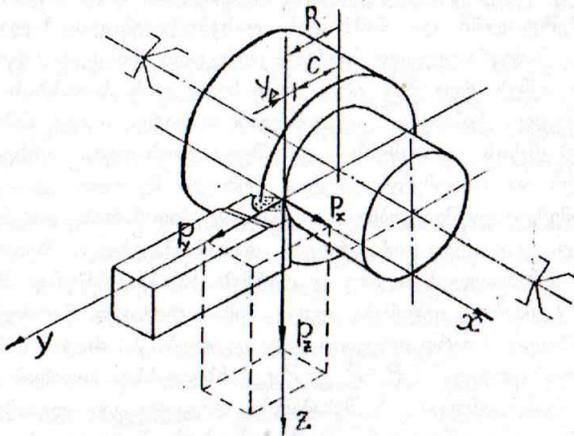
ჭრის ძალის მოღების წერტილში ტექნოლოგიური სისტემის (ჩსილ) სიხისტის ბანსაზღვრის მეთოდების ანალიზი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
 მექანიკა-მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტი, №20 კათედრა
 დოც. გ. შანშიაშვილი, მაგისტრი თ. წიკლაური

ლითონსაჭრელ ჩარხზე ნამზადის დამუშავებული ზედაპირის გეომეტრიული ფორმისა და სიზუსტის განმსაზღვრელი მიმდინარე ზომა R (ნახ.1) შეიძლება გაიყოს ორ ნაწილად და წარმოდგენილი იქნეს (1) ტოლობის სახით.

$$R = C + Y\Delta \quad (1)$$

ამ ტოლობაში C ტექნოლოგიური სისტემის ჩსილ (ჩარხი-სამარჯვე-იარაღი-დეტალი), ე.წ. სტატიკური გაწყობის ზომაა, ხოლო $Y\Delta$ ჭრის ძალის P , ან მისი სამივე P_x , P_y , P_z მდგენელის ერთდროული მოქმედებით, ძალების მოღების წერტილში წარმოქმნილი იარაღისა და ნამზადის ჯამური დრეკადი გადაადგილებაა დასამუშავებელი ზედაპირის ნორმალური y ღერძის მიმართულებაზე.



ნახ.1. ჭრის პროცესის კოორდინატთა სტატიკური სისტემა (xyz), მჭრელ იარაღზე მოქმედი ძალები და მიმდინარე ზომის R წარმოქმნის სქემა (სქემაზე არ არის აღნიშნული ნამზადზე მოქმედი P_x, P_y, P_z -ის ტოლი და საწინააღმდეგო მიმართულების ძალები).

დეტალებიას მაღალმწარმოებლური რეჟიმებით, მაგალითად, ჩარხის ვიბრომდგრადობის და სიმძლავრის მიხედვით დასაშვები მაქსიმალური ჭრის სიღრმით დამუშავების პროცესს თან ახლავს დრეკადი გადაადგილებისას Y_A , როგორც ცვლილების სიჩქარის, ისე სიდიდის მიხედვით სხვა ცვლილებებთან შედარებით დიდ ფარგლებში ცვალებადი შემთხვევითი ხასიათის გადახრები.

ამიტომ, დამუშავების პროცესში შემდეგი პირობების დაცვით

$$Y_A \rightarrow 0 \quad (2)$$

$$Y_A \rightarrow \text{const} \quad (3)$$

არა მარტო უშუალოდ იზრდება მიმდინარე ზომის R სიზუსტე, არამედ არსებითად მარტივდება დეტალების პარტიის დამუშავების პროცესში ტექნოლოგიური დეფორმაციებით და იარაღის გაცვეთით გამოწვეული ჯამური სისტემატიური ცვლილების კონტროლი და კომპენსაციაც სტატიკური გაწყობის ზომის სათანადო კორექტირებით.

დამუშავების შედეგად მიღწეული მიმდინარე ზომის ფაქტიური სიზუსტის გაანგარიშებით განსაზღვრისა და (2) ან (3) პირობის დაცვის დიდმა პრაქტიკულმა მნიშვნელობამ განაპირობა ჩარხების (ტერმინი "ჩარხის" ქვეშ იგულისხმება ტექნოლოგიური სისტემა — ჩხილ) სიზუსტის პრობლემისადმი მიძღვნილი მრავალრიცხოვანი გამოკვლევები და მონოგრაფიები [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 და ა.შ.].

შედარებით ადრე შესრულებულ გამოკვლევებში და კერძოდ ნაშრომში [1] ფაქტიურად გაკეთებულია დაშვება, რომ ჭრის ძალის მოდების წერტილში და ნაშხადის დასამუშავებელი ზედაპირის ნორმალური მიმართულებით ჩარხის დრეკადი სისტემა შეიძლება განხილული იქნეს როგორც ერთი თავისუფლების ხარისხის მქონე წრფივი დრეკადი სისტემა. აქედან გამომდინარე, იგივე ნაშრომში ჩარხის სიზუსტის გაზომვისა და შეფასებისათვის არსებითად გამოყენებული და რეკომენდირებულია შემდეგი მეთოდი:

დინამომეტრული მოწყობილობის საშუალებით ჩარხზე დაყენებული ნაშხადიც და იარაღიც იტვირთება დასამუშავებელი ზედაპირის ნორმალური მიმართულებით, ანუ Y ღერძის (ნახ.1) გასწვრივ მოქმედი მხოლოდ P_y ძალით; იზომება იგივე მიმართულებით წარმოქმნილი იარაღის ნაშხადის მიმართ დრეკადი გადაადგილება y ; ძალის წინასწარ შერჩეული დიაპაზონიდან ($P = P_{\min} + P_{\max}$) სხვადასხვა სიდიდის ძალით დატვირთვა (განტვირთვა) და შესაბამისი დრეკადი გადაადგილების y გაზომვა მეორდება იმდენჯერ, რომ გაზომვის შედეგად მიღებული მონაცემების გამოყენებით პრაქტიკულად საკმარისი სიზუსტით აგებული იქნეს ფუნქციის $y = f(P_y)$ გრაფიკი; ძალის სიდიდის მთელ ან ორ დიაპაზონში ($P_y = 0 + P_1$; $P_y = P_1 + P_{\max}$) ფუნქციის $y = f(P_y)$ გაწრფივების შემდეგ განისაზღვრება ჩარხის დრეკადი სისტემის სიზუსტის

დამახასიათებელი მუდმივი რიცხვი j , ანუ სიზუსტის კოეფიციენტი ფარდობით

$$j = \Delta Py / \Delta y \quad (4)$$

სადაც ΔPy და Δy — ფუნქციის $y = f(Py)$ გაწრფივებულ ნაწილში ძალის Py და დრეკადი გადაადგილების y ნაზრდება შესაბამისად. ზოგჯერ მოხერხებულია განისაზღვროს სიზუსტის კოეფიციენტის შებრუნებული სიდიდე $k = 1/j = \Delta y / \Delta Py$; რომელსაც იგივე დრეკადი სისტემის დამოუკიდებელი კოეფიციენტი უწოდებენ.

პროფ. ა.პ.სოკოლოვსკი თავის ექსპერიმენტალურ გამოკვლევებსა და მონოგრაფიაში [3] მივიდა დასკვნამდე, რომ უშუალოდ ნაშხადის დამუშავების პროცესში მოქმედი ჩარხის დრეკადი სისტემის სიზუსტის და დრეკადი გადაადგილების Y_A განსაზღვრისათვის გატვალისწინებული უნდა იქნას ჭრის ძალის სამივე მდგენელის (P_x, P_y, P_z) გავლენა. მანვე არსებითად გამოთქვა მოსაზრება, რომ ჭრის ძალის სამივე მდგენელით დატვირთვისას ჩარხის დრეკადი თვისებები შეიძლება დახასიათდეს სიზუსტის ნორმალური (j_y) და ორთოგონალური (j_z, j_x) კოეფიციენტებით

$$j_y = Py / y_{Py}; \quad j_z = Pz / y_{Pz}; \quad j_x = Px / y_{Px} \quad (5)$$

სადაც y_{Py}, y_{Pz}, y_{Px} — ჯამური დრეკადი გადაადგილების Y_A შემდგენი ნაწილებია ($Y_A = y_{Py} + y_{Pz} + y_{Px}$), რომლებიც წარმოიქმნება შესაბამისად P_x, P_y, P_z ძალების გავლენით ჩარხზე მათი ერთდროული მოქმედების პროცესში (ნახ.1).

სიზუსტის კოეფიციენტებთან მდგომარეობს ინდექსებიდან პირველი მიუთითებს ღერძს, რა მიმართულებითაც იზომება დრეკადი გადაადგილება, ხოლო მეორე ინდექსი — ჭრის ძალის იმ მდგენელის მიმართულებას, რომლის მიხედვითაც განისაზღვრება სიზუსტის შესაბამისი კოეფიციენტის მნიშვნელობა.

მაგრამ ა.პ.სოკოლოვსკიმ, შეიძლება ითქვას, არასაკმარისი დასაბუთებით უარყო ჩარხის სიზუსტის ზემოთნახსენები კოეფიციენტების ცნებათა შემოღება და კვლავ მიზანშეწონილად და შესაძლებლად მიიჩნია ჭრის ძალის მოდების წერტილში ჩარხის სიზუსტის ერთი რიცხვითი სიდიდით დახასიათება. მანვე წამოაყენა იდეა ჩარხის სიზუსტის დამახასიათებელი ეს ერთი რიცხვითი სიდიდე განისაზღვროს: ჭრის ძალის სამივე მდგენელით ერთდროული დატვირთვით, მხოლოდ ჯამური დრეკადი გადაადგილების Y_A -ს გაზომვით და შემდეგი ფარდობის გამოთვლით:

$$j_c = Py / Y_A \quad (6)$$

რაც შედარებით უფრო დეტალური ფორმით შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახითაც:

$$j_c = Py / (y_{Py} + y_{Pz} + y_{Px}) \quad (7)$$

ჩარხის სიხისტის გაზომვისა და შეფასების ა.პ.სოკოლოვსკის მიერ წამოყენებული მეთოდის არსიდან ჩანს, რომ ჩარხის სულ მცირე სამი (როგორც ეს ნაჩვენებია ნაშრომებში [7,8,10], სინამდვილეში გაცილებით მეტი) თავისუფლების ხარისხის მქონე დრეკადი სისტემა იცვლება ერთი თავისუფლების ხარისხის მქონე დრეკადი სისტემით. თუ რა შედეგები მოიტანა ასეთმა შეცვლამ, შეგვიძლია დავადგინოთ არც თუ რთული ანალიზით. დავუშვათ, რომ ჩარხს გააჩნია იდეალურად წრფივი სივრცითი სისტემა და მისი სიხისტის ნორმალური (J_y) და ორთოგონალური (J_z, J_x) კოეფიციენტები ჭრის ძალის მოდების წერტილში ჩარხის დრეკადი თვისებების ამსახველი არსებითად მუდმივი რიცხვითი სიდიდეებია. თუ ასეთი პირობებისათვის მე-6 ან მე-7 გამოსახულებაში დრეკადი გადაადგილების Y_A შემდგენ ნაწილებს (Y_{Py}, Y_{Pz}, Y_{Px}) მე-5 ფარდობათა გამოყენებით გამოვსახავთ ჩარხის სიხისტის ნორმალური და ორთოგონალური კოეფიციენტების საშუალებით, მიღებული გამოსახულების მცირეოდენი გარდაქმნით მივიღებთ შემდეგ გამოსახულებას

$$J_c = (1/J_y + Pz/P_y J_z + Px/P_y J_x)^{-1} \quad (8)$$

ამ გამოსახულებაში სიხისტის ყველა კოეფიციენტი შეეცვალა დამყოლობის კოეფიციენტებით:

$$K_c = 1/J_c, \quad K_y = 1/J_y, \quad K_z = 1/J_z, \quad K_x = 1/J_x$$

და მივიღებთ უფრო მარტივ გამოსახულებას

$$K_c = K_y + k_z P_z / P_y + K_x P_x / P_y \quad (9)$$

მე-8 და მე-9 დამოკიდებულებებიდან ამჟამად ჩანს, რომ მაშინაც კი როცა ნორმალური და ორთოგონალური სიხისტის (დამყოლობის) კოეფიციენტები მუდმივი რიცხვითი სიდიდეებია, მე-6 ფარდობით განსაზღვრული, ა.პ.სოკოლოვსკის მიერ ჩარხის სიხისტედ (ხოლო სხვა ავტორების ნაშრომებში [8,11] ტექნოლოგიურ სიხისტედ) წოდებული რიცხვითი სიდიდე არსებითად არის დამოკიდებული ჭრის ძალის ვექტორის მიმართულებაზე.

თეორიული ანალიზით მიღებულ ამ დასკვნას ადასტურებს მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტალური გამოკვლევები [1,2,3,7], რომელთა მიხედვით მე-6 ფარდობით გამოთვლილი რიცხვითი სიდიდე ჭრის ძალის ვექტორის მიმართულების პრაქტიკულად შესაძლო ფარგლებში ცვლილებისას დეპულაბს თვისებრივად განსხვავებულ მნიშვნელობებს - დადებით, უარყოფით და პრაქტიკულად უსასრულო მნიშვნელობასაც. აქედან კი თავის მხრივ ცხადი ხდება, რომ ყველა იმ შემთხვევაში, როდესაც უცნობია ჩარხის სიხისტის ნორმალური და ორთოგონალური კოეფიციენტების მნიშვნელობები, მე-6 ფარდობის მიხედვით ჩარხის სიხისტის დასადგენად საჭიროა ჭრის ძალის სამივე მდგენელით ერთდროული დატვირთვისას და ჯამური დრეკადი გადაადგილების Y_A

გაზომვის მიზნით იმდენი ექსპერიმენტის ჩატარება და ჩარხის სიხისტის იმდენი მახასიათებლის განსაზღვრა, რამდენი მიმართულებაც შეიძლება მიიღოს ჭრის ძალის ვექტორმა მოცემულ ჩარხზე დეტალების დამუშავების პროცესში. ექსპერიმენტების და ჩარხის სიხისტის მახასიათებლების ეს რაოდენობა რომ თეორიულად უსასრულოა და პრაქტიკულად კი საკმაოდ დიდი, ვფიქრობთ არ საჭიროებს დასაბუთებას.

მაშასადამე, ჭრის ძალების მოდების წერტილში ჩარხის სიხისტის ნორმალური და ორთოგონალური კოეფიციენტების გამოყენებლობამ და სამი თავისუფლების ხარისხის მქონე დრეკადი სისტემის ერთი თავისუფლების ხარისხის მქონე დრეკადი სისტემით შეცვლამ, ჩარხის სიხისტის მახასიათებელთა რაოდენობა სინამდვილეში კი არ შეამცირა, არამედ პირიქით გაზარდა. შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ ფაქტობრივად სწორედ აღნიშნულ ობიექტურ გარემოებათა გამო კვლავ გაგრძელდა კვლევა-ძიება ჭრის ძალის მოდების წერტილში ჩარხის სიხისტის მახასიათებლის განსაზღვრის თეორიული და მეთოდური საფუძვლების შესამუშავებლად.

60-იან წლებში, თითქმის ერთდროულად გამოქვეყნდა გამოკვლევები [5,6,7,8,9], რომლებშიც გადმოცემულია ჭრის ძალის მოდების წერტილში ჩარხის სიხისტის მახასიათებელთა განსაზღვრის ერთმანეთისაგან რამდენადმე განსხვავებული მიდგომები. ამასთანავე, ყველა მათგანში, პირდაპირ თუ არაპირდაპირ, ვაკეთებულია დაშვება, რომ ჭრის ძალის მოდების წერტილში ჩარხის დრეკადი სისტემას (ან მისი თეორიული მოდელი) განხილული შეიძლება იქნეს, როგორც ორი, სამი ან მეტი თავისუფლების ხარისხის მქონე წრფივი დრეკადი სისტემა. აღიზი ცხადყოფს, რომ დასახელებული გამოკვლევებიდან, წინამდებარე ნაშრომში დასმული ამოცანიდან გამომდინარე, ინტერესს წარმოადგენს "მოსსტანკინში" პროფ. ბ.ს.ბალაკშინის ხელმძღვანელობით შესრულებული, დრეკადი გადაადგილების Y_A მართვის პრობლემისადმი მიძღვნილი გამოკვლევები [6,9], რომლებშიაც ნათლად არის გამოკვეთილი ჭრის ძალის მოდების წერტილში ჩარხის დამყოლობის ნორმალური (K_y) და ორთოგონალური (K_z, K_x) კოეფიციენტების ცნებათა შემოტანა და გამოყენება. ამ კოეფიციენტების საშუალებით დრეკადი გადაადგილების Y_A ჭრის ძალის სამივე მდგენლისაგან დამოკიდებულება წარმოდგენილია შემდეგი გამოსახულებით:

$$Y_A = K_y P_y + K_z P_z + K_x P_x \quad (10)$$

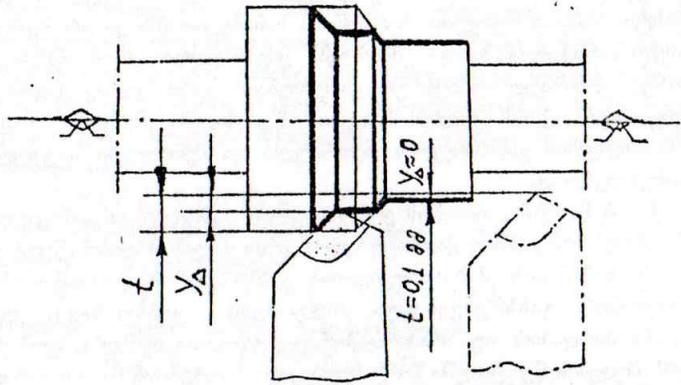
დამყოლობის კოეფიციენტებისათვის ხშირად იყენებენ უფრო მარტივ აღნიშვნებს ($K_y = a, K_z = b, K_x = c$) და მე-10 გამოსახულებას წერენ შემდეგი სახითაც

$$Y_A = a P_y + b P_z + c P_x \quad (11)$$

მე-10 ან მე-11 გამოსახულებაში დამყოლობის კოეფიციენტების a, b, c განსაზღვრისათვის იყენებენ არაპირდაპირ, არსებითად ექსპერიმენტულ-საანგარიშო მეთოდს, რომლის ძირითადი შინაარსი მდგომარეობს

შემდეგში:

მოცემულ ჩარხზე ირჩევენ დამუშავების რეჟიმების (t, S, V) და იარაღის გეომეტრიული პარამეტრების (φ, γ, r...) ტიპურ, დაახლოებით n=10 ÷ 12 ერთობლივობას. შერჩეულ პირობებში ერთი გავლით ამუშავებენ საფესურიან ნაშაღებს (იხ.ნახ.2) და ზომავენ დამუშავებულ ზედაპირზე ფიქსირებული დრეკადი გადაადგილების Y_Δ მნიშვნელობას. დამუშავების იგივე, პრაქტიკულად იდენტურ პირობებში, სამკომპონენტური დინამომეტრის გამოყენებით ზომავენ ჭრის ძალის სამივე P_x, P_y, P_z მდგენელს.



ნახ.2 ჩარხის ჭრის პროცესით დატვირთვისას დრეკადი გადაადგილების Y_Δ დამუშავებულ ზედაპირზე ფიქსირების სქემა

აღნიშნულ ექსპერიმენტებსა და გაზომვებს ასრულებენ დამუშავების ყველა წინასწარ შერჩეულ ტიპურ პირობებში და მიღებული მონაცემების გამოყენებით ადგენენ n რაოდენობის, ე.წ. პირობით განტოლებათა სისტემას (12)

$$\begin{aligned} Y_{\Delta 1} &= aP_{y1} + bP_{z1} + cP_{x1} \\ Y_{\Delta 1} &= aP_{y2} + bP_{z2} + cP_{x2} \end{aligned} \quad (12)$$

$$Y_{\Delta i} = aP_{yi} + bP_{zi} + cP_{xi}$$

სადაც a, b და c ჭრის ძალის მოდების წერტილში ჩარხის დამყოლობის კოეფიციენტების უცნობი რიცხვითი სიდიდეებია.

პირობით განტოლებათა სისტემას (12), უმცირეს კვადრატთა მეთოდის შესაბამისად გარდაქმნიან საშუალებით, სამგანტოლებიან ე.წ. ნორმალურ განტოლებათა სისტემად, რომელსაც განსახილველ შემთხვევაში აქვს შემდეგი სახე:

$$\begin{aligned} a \sum_{i=1}^n P_{y_i}^2 + b \sum_{i=1}^n P_{y_i} \cdot P_{z_i} + c \sum_{i=1}^n P_{x_i} \cdot P_{y_i} &= \sum_{i=1}^n Y_{\Delta_i} \cdot P_{y_i} \\ a \sum_{i=1}^n P_{y_i} \cdot P_{z_i} + b \sum_{i=1}^n P_{z_i}^2 + c \sum_{i=1}^n P_{x_i} \cdot P_{z_i} &= \sum_{i=1}^n Y_{\Delta_i} \cdot P_{z_i} \quad (13) \\ a \sum_{i=1}^n P_{x_i} \cdot P_{y_i} + b \sum_{i=1}^n P_{x_i} \cdot P_{z_i} + c \sum_{i=1}^n P_{x_i}^2 &= \sum_{i=1}^n Y_{\Delta_i} \cdot P_{x_i} \end{aligned}$$

განტოლებათა სისტემის (13) ამოხსნით დებულობენ ჭრის პროცესით ანუ ჭრის ძალის სამივე მდგენელით ერთდროული დატვირთვისას ჭრის ძალის მოდების წერტილში ჩარხის დამყოლობის ნორმალურ (a) და ორთოგონალურ (b, c) კოეფიციენტებს.

ნაშრომებში [6,9], სადაც წამოყენებული და (ან) გამოყენებულია დამყოლობის a, b და c კოეფიციენტების განსაზღვრის ზემოთ აღწერილი მეთოდი, არსებითად ღიად, ანუ გადაწყვეტის გარეშე დატოვებული შემდეგი ამოცანა:

ექსპერიმენტებისა და გაზომვათა შერჩეულ პირობებში და ნორმალურ განტოლებათა სისტემის (13) ამოხსნის შედეგად როგორი სიზუსტით შეიძლება იქნენ მიღებული დამყოლობის a, b და c კოეფიციენტები, ანდა დრეკადი გადაადგილების Y_Δ და ჭრის ძალების (P_x, P_y, P_z) გაზომვის როგორი სიზუსტეა საჭირო იმისათვის, რომ განტოლებათა სისტემაში (13) ამოხსნით მიღებული დამყოლობის კოეფიციენტები შეიცავდნენ პრაქტიკულად დასაშვებ ცდომილებებს.

ამ ამოცანის გადაწყვეტის გარეშე ცხადია შეუძლებელია დამყოლობის კოეფიციენტების აღწერილი მეთოდის საფუძვლად დადებული დაშვების (არსებითად ჰიპოთეზის) შემოწმებაც იმის შესახებ, რომ შესრულებულ ექსპერიმენტებში და გატოლებათა სისტემაში (13) ასახული ჭრის

ძალის ვექტორის $P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2}$ მიმართულების ცვლილების მიუღ დაპაზონში დამყოლობის კოეფიციენტები (a, b, c) მუდმივი რიცხვითი სიდიდეებია და მასთანადაე, ჩარხის შესაბამისი დრეკადი სისტემა წრფივი.

აღნიშნული ამოცანის გადაწყვეტის მიზნით ვიყენებთ ცხრილ 1-ში ასახული ექსპერიმენტების მონაცემებს. მაგრამ, იმის გამო, რომ შესაბამის ნაშრომში [9] (საიდანაც ნახსენებია ცხრილ 1-ის მონაცემები) ჭრის ძალის მდგენელები (P_x, P_y, P_z) და დრეკადი გადაადგილების (Y_Δ) გაზომვათა ფაქტიურ ცდომილებების შესახებ საიმედო და კონკრეტული მონაცემები არსებითად არააფერია მოტანილი, დამყოლობის კოეფიციენტების (a, b, c) და მათი სიზუსტის გამოკვლევისათვის ვიყენებთ მანქანური ინტეგრირის მეთოდს. ამ მეთოდის საკანონო უპირველეს ამოცანას

წარმოადგენს ე.წ. საკვლევი ობიექტის საწყისი მათემატიკური მოდელის ფორმირება. განსახილველ შემთხვევაში მის ქვეშ იგულისხმება ჭრის ძალის მოდების წერტილში დრეკადი გადაადგილების Y_A ჭრის ძალის მდგენელებისაგან დამოკიდებულება (11), რომელშიც დამყოლობის a, b და c კოეფიციენტები დადგენილი შეიძლება იყოს თუნდაც პირველი მიახლოებით (თუმცა ცხადია, რომ სასურველია ისინი განსაზღვრული იქნენ პრაქტიკულად რასდენადაც შესაძლებელია მაღალი სიზუსტით).

ცხრილი 1

დრეკადი გადაადგილების Y_A ჭრის ძალის P_x, P_y, P_z მდგენელებისაგან დამოკიდებულების ექსპერიმენტალური გამოკვლევის შედეგები [9]

$\varphi=30^\circ; \gamma=10^\circ; \alpha=12^\circ; \lambda=0^\circ; r=1$ მმ $\varphi=45^\circ; \gamma=8^\circ; \alpha=12^\circ; \lambda=8^\circ; r=1$ მმ

ა)

ღის	P_x	P_y	P_z	Y_A
	კგ	კგ	კგ	მკმ
1	89	217	295	97
2	86	205	279	89
3	83	197	270	82
4	78	181	266	69
5	71	165	258	67
6	61	142	230	44
7	53	124	198	34
8	47	115	200	42
9	41	108	195	41
10	37	106	192	42

ბ)

ღის	P_x	P_y	P_z	Y_A
	კგ	კგ	კგ	მკმ
1	73	113	228	20
2	71	108	218	16
3	72	111	222	17
4	70	108	214	17
5	68	102	208	15
6	61	82	193	15
7	54	85	175	15
8	49	87	185	22
9	42	81	183	20
10	35	81	185	1

$\varphi=90^\circ; \gamma=0^\circ; \alpha=0^\circ; \lambda=8^\circ; r=1$ მმ

ა)

ღის	P_x	P_y	P_z	Y_A
	კგ	კგ	კგ	მკმ
1	170	75	263	-22
2	161	72	240	-18
3	154	73	259	-21
4	148	69	248	-21
5	140	67	240	-17
6	134	81	238	-6
7	122	75	230	-10
8	118	89	219	8
9	104	83	210	1
10	102	92	226	12
11	101	105	222	25
12	75	117	215	40

$\varphi=110^\circ; \alpha=8^\circ; \gamma=0^\circ; \lambda=0^\circ; r=2$ მმ

ბ)

ღის	P_x	P_y	P_z	Y_A
	კგ	კგ	კგ	მკმ
1	71	52	192	-5
2	63	57	186	5
3	66	59	190	4
4	59	57	184	5
5	56	55	180	10
6	59	68	183	10
7	57	66	180	5
8	56	72	172	16
9	46	68	162	15
10	42	79	153	21
11	36	86	146	28
12	26	100	135	40

გამოკვლევის ყველა სერიაში (ა, ბ, გ, დ) გამოყენებულია: ჩარხი-სახარატო 1620; ნაშაღი $\varnothing (50-70) \times 250$; ფლ.45; იარაღის მჭრელი ნაწილის მასალა T15K6; ყველა სერიაში ცდის რიგითი ნომრის მიხედვით ჭრის სიღრმე მცირდება $t=4.8$ მმ-დან $t=1.34$ მმ-მდე, მიწოდება იზრდება $S=0.2$ მმ/ბრ-დან $S=0.71$ მმ/ბრ-მდე; ჭრის სიჩქარე $V=90-130$ მ/წთ; (იარაღის გეომეტრიული პარამეტრები იხ.ცხრილის ა, ბ, გ, დ ნაწილები)

ნაშრომიდან [9] ნასესხები ექსპერიმენტალური მონაცემების (იხ. ცხრილი 1) გამოყენებით მრავალრიცხოვანმა გამოთვლებმა და ანალიზმა დაგვარწმუნა, რომ ნორმალური განტოლებათა სისტემიდან (13) პრაქტიკულად საკმარისი სიზუსტის ამონახსნების მისაღებად შესაბამისი პირობით განტოლებათა სისტემა (12) შედგენილი უნდა იქნეს რომ ჭრის ძალის ვექტორის მიმართულების რაც შეიძლება ფართო დიაპაზონში ცვლილების პირობებისათვის. მაგრამ, თუ გავითვალისწინებთ, ჭრის ძალის მიმართულების ცვლილების დიაპაზონის მნიშვნელოვან გაფართოებას თან სდევს ჩარხის დრეკადი სისტემის ელემენტების დატვირთვის გადანაწილება და ზემოთაღნიშნული დაშვების (დამყოლობის კოეფიციენტების ჭრის ძალის მიმართულებისაგან დამოუკიდებლობის) დაუცველობის შესაძლებლობის ზრდა, ჭრის ძალის ვექტორის მიმართულების ცვლილების დიაპაზონი არ შეიძლება აღემატებოდეს $15^\circ-20^\circ$ -ის ფარგლებს.

გამოთვლებმა გვიჩვენა, რომ აღნიშნულ მოთხოვნებს მთლიანად აკმაყოფილებს ცხრილი 1-ის (გ) სერიის ექსპერიმენტების მონაცემები და აგრეთვე (ა) და (ბ) სერიის ექსპერიმენტების მონაცემებიც, თუ კი გავაერთიანებთ პირობით განტოლებათა ერთი სისტემის შესადგენად. ამიტომ, ცხრილი 1-ის მონაცემების გამოყენებით პირობითი (12) და ნორმალური (13) განტოლებათა სისტემები შევადგინოთ ორი შემთხვევისა და პირობებისათვის, კერძოდ (1), როდესაც ცხრილი 1-ის ექსპერიმენტების სერიების მიხედვით ძირითადი ცვლადი პარამეტრი-იარაღის მთავარი კუთხე გვერდში იცვლება $\varphi=30^\circ-45^\circ$ -ს ფარგლებში და (2), როდესაც იგივე კუთხე ტოლია $\varphi=90^\circ$.

ექსპერიმენტების აღნიშნული (1) და (2) პირობებისათვის შედგენილი ნორმალურ განტოლებათა სისტემების ამოხსნის შედეგად მიღებულმა დამყოლობის a, b და c კოეფიციენტებმა მიიღეს ცხრილი 2-ის მე-3 სვეტში ჩაწერილი მნიშვნელობები, ხოლო საძიებელმა საწყისმა მათემატიკურმა მოდელებმა, იგივე (პირველი და მეორე) პირობებისათვის შესაბამისად მიიღო (14) და (15) გამოსახულებათა სახე:

$$Y_A = 0.87 P_y - 0.15 P_z - 0.6 P_x \quad (14)$$

$$Y_A = 0.89 P_Y - 0.26 P_Z - 0.12 P_X^* \quad (15)$$

საწყისი მათემატიკური მოდელის ფორმირების შემდეგ, მექანიკური იმიტაციის მეთოდით კვლევის შემდეგი ეტაპია დრეკადი გადაადგილების (Y_A) და ჭრის ძალების (P_X, P_Y, P_Z) გაზომვის ცდომილებათა პრაქტიკულად შესაძლო ზღვრულ მნიშვნელობათა სიმრავლის შერჩევა. ეს სიმრავლე მოტანილია ცხრილი 2-ის ზედა ნაწილში. მოკლედ იმის შესახებ, თუ რა მოსაზრებები უდევს საფუძვლად გაზომვის ზღვრულ ცდომილებათა შერჩეულ და ცხრილ 2-ში მოყვანილ მნიშვნელობებს. ცნობილია, რომ საშუალომნიშვნელოანი Y/IM ტიპის დინამომეტრების საშუალებით (რომელიც გამოყენებული იქნა ცხრილ 1-ში ასახულ ექსპერიმენტებში P_X, P_Y, P_Z ძალების გასაზომად) ჭრის ძალების გაზომვის სიზუსტე არ აღემატება 3%-ს, თანაც ეს ძირითადად ეხება ჭრის ძალის P_Z მდგენელის გაზომვას. P_X და P_Y ძალების გაზომვისას კი მოსალოდნელია გაზომვის მნიშვნელოვნად (დაახლოებით 2-ჯერ) უფრო დაბალი სიზუსტე. ამიტომ P_Z ძალის ზღვრულ ცდომილებებზე შევიჩინეთ 3 და 5%, ხოლო P_X და P_Y ძალების ზღვრულ ცდომილებებზე 3, 5 და 10%.

საერთოდ ცნობილ სიძნელებთან არის დაკავშირებული დრეკადი გადაადგილების Y_A საჭირო სიზუსტით გაზომვა არა მარტო უშუალოდ დამუშავების პროცესში, არამედ მისი დამუშავებულ ზედაპირზე ფიქსირების მეთოდის (იხ. ნახ 2) შემთხვევაშიც რომელიც გამოყენებულია ცხრილ 1-ში ასახულ ექსპერიმენტებში. ასეთ შემთხვევაში Y_A -ს გაზომვის სიზუსტეზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს: დამუშავებული ზედაპირის ხორკლიანობა და მისი არასტაბილურობა ზედაპირის, როგორც გრძივი, ისე განივ კვეთებში; ჩარხის დრეკად სისტემაში ჰისტერეზისული მოვლენის და, დამუშავებული ზედაპირის განივ კვეთში Y_A -ს არასტაბილურობა მაშინაც კი, როდესაც ჭრის სიღრმე და დამუშავების რეჟიმის სხვა პარამეტრებიც პრაქტიკულად არ იცვლებიან; Y_A -ს გაზომვისათვის გამოყენებული მზომი იარაღის (კერძოდ ცხრილ 1-ში ასახულ ექსპერიმენტების გამოყენებული 2მკმ-ნი დანაყოფის ფასის მქონე პერკეტული კავის) სიზუსტე და სხვ. დნიშნულ გარემოებათა გათვალისწინებით Y_A -ს გაზომვის ზღვრულ ცდომილებებზე შევიჩინეთ 5 და 10%.

ნახსენები ოთხივე სიდიდის (P_X, P_Y, P_Z, Y_A) გაზომვის ცდომილებები შემთხვევითი ხასიათის ცდომილებებია და შეუძლიათ მიიღონ როგორც დადებითი ასევე უარყოფითი ნიშანი. ჩვენს გამოკვლევაში (იხ. ცხრილი 2) ამ ნიშანთა ცვლილების 24 ვარიანტია შერჩეული. იმიტაციური კვლევის ყველა ცალკეულ "ექსპერიმენტში" ნახსენები ოთხივე სიდიდის %-ში გამოსახული გადახრები ჩაწერილია ცხრილი 2-ის ზედა ნაწილის სვეტებში.

გაზომვის აღნისნულ ცდომილებათა გათვალისწინებით და საწყისი მათემატიკური მოდელის (იხ. მე-14 და მე-15 გამოსახულებები) გამოყენები ზემოთნახსენები პირველი (როდესაც $\varphi=30^\circ+45^\circ$) და მეორე (როდესაც $\varphi=90^\circ$) პირობებისათვის: შევადგინოთ პირობითი განტოლებათა სისტემის 24 - 24 (სულ 48) ვარიანტი; სათანადო პროგრამების შერჩევითა და კომპიუტერის გამოყენებით შევასრულეთ პირობით განტოლებათა სისტემის ყველა ცალკეული ვარიანტის სამუცნობიან, სამგანტოლებიან ნორმალურ განტოლებათა სისტემად (13) გარდაქმნა და მათი ამოხსნა დამყოლობის a, b , და c კოეფიციენტების მნიშვნელობათა შესაბამისი სიმრავლის დადგენის მიზნით.

ასეთნაირად, არსებითად ჩარხის დრეკადი სისტემის საწყის მათემატიკურ მოდელზე „ექსპერიმენტების“ (იმიტაციური კვლევის) შედეგად მივიღეთ დამყოლობის a, b , და c კოეფიციენტების მნიშვნელობათა სიმრავლე, „ექსპერიმენტში“ დამუშავებული (სინამდვილეში შერჩეული) ჭრის P_X, P_Y, P_Z ძალების და დრეკადი გადაადგილების Y_A გაზომვების ზღვრული ცდომილებებისაგან დამოკიდებულებით. დამყოლობის კოეფიციენტების სწორედ ამ სიმრავლიდან ამორჩეული ზღვრული (მინიმალური და მაქსიმალური) მნიშვნელობებია ჩაწერილი ცხრილი 2-ის მე-4, მე-5, და მე-6 სვეტებში. მათთან ერთად ფრჩხილებში მითითებულია, თუ %-ში რა ნაწილს შეადგენენ შესაბამისი დამყოლობის კოეფიციენტების გაბნევის ველები $\omega_a, \omega_b, \omega_c$ (ანუ დამყოლობის კოეფიციენტების მაქსიმალურ და მინიმალურ მნიშვნელობათა სხვაობები) საწყისი მოდელისათვის დადგენილი იგივე კოეფიციენტებთან (იხ. ცხრილი 2-ის მე-3 სვეტი) შედარებით.

ცხრილ 2-ში ასახული გამოკვლევის შედეგები საშუალებას გვაძლევს გამოვთქვათ შემდეგი დასკვნები და (ან) მოსაზრებები:

1. 1620 მოდელის სახარატო ჩარხზე ჭრის ძალის მოდების წერტილში და დამუშავებული ზედაპირის ნორმალური მიმართულებით დამყოლობის ერთის მხრივ ნორმალურ (a) და მეორეს მხრივ ორთოგონალურ კოეფიციენტებს (b, c) აქვთ ერთმანეთის საწინააღმდეგო ნიშანი. დამყოლობის ორთოგონალური კოეფიციენტების უარყოფითი ნიშანი იმაზე კი არ მოუთითებს, რომ ჩარხის დრეკადი სისტემის დამყოლობის თვისებაა უარყოფითი, არამედ იმაზე, რომ ერთის მხრივ p_y ძალით და მეორეს მხრივ p_x და p_z ძალებით სხვადასხვა სიბრტყეში და მიმართულებით იტვირთებიან ჩარხის დრეკადი სისტემის სხვადასხვა ელემენტები და ძალების მოდების წერტილში შეუძლიათ გამოიწვიონ ერთმანეთის საწინააღმდეგო მიმართულების დრეკადი გადაადგილებები.
2. ჭრის P_X, P_Y, P_Z ძალების და დრეკადი გადაადგილების Y_A გაზომვების, შესაბამისად 3 და 5 % ის ცდომილების შემთხვევაში,

გამოშვებული ჩარხების დამყობის (ან სინისტის) კოეფიციენტების განსაზღვრისათვის საჭიროა შემუშავებული იქნეს შედარებით მარტივი და ეკონომიური მეთოდი.

ლიტერატურა

1. Вотиннов К.В. Жесткость станков. Лонитомаш, 1940
2. Жесткость металлорежущих станков, Машгиз, м-л, 1952, 120с.
3. Соколовский А.П. Научные основы технологии машиностроения, машгиз, м-л, 1955, 500с.
4. Flusty J. Staticka tuhost obvabecich stroju. Strojnický sborník, svazek 7, Praha, 1953.
5. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения, "Машиностроение", М., 1966, 552с.
6. Самоподнастраивающиеся станки. Управление упругими перемещениями на станках. "Машиностроение", М.1967, 297с.
7. Трошенкий С.П. расчеты точности обработки на металлорежущих станках. "Машиностроение", М. 1964, 200с.
8. Кудинов В.А. динамика станков. "Машиностроение", М., 1967. 357с.
9. Крамаренко Ю.Б. Исследование тех. возможностей создания универсальных систем автоматической стабилизации упругих перемещении на токарных станках с целью повышения точности и производительности обработки. Дисс. на соиск. уч.степени канд. тех. наук, МОССТАНКИН, 1967.
10. Лоладзе Т.Н. Шаншиашвили Г.Д. Принципы управления размерной точности при обработке деталей на металлорежущих станках, Сб. трудов "Автоматизация программирования и кодирование в машиностроении", М., "Наука", 1969, 134-148с.
11. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. "Машиностроение", М., 1986, 338с.