

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ЕДНОФАКТОРНИЯ И МНОГОФАКТОРНИЯ РЕГРЕСИОНЕН И КОРЕЛАЦИОНЕН АНАЛИЗ В ИЗСЛЕДВАНЕ НА ОТКЛОНЕНИЯТА ПРИ ПРАЦЕС „СТРУГОВАНЕ“

Даниела Димова*, Христо Якимов

Технически университет – Габрово, ул. Х. Димитър 4, Габрово, България

*кореспондиращ автор: dimova@tugab.bg

APPLICATION OF SINGLE-FACTOR AND MULTIFACTOR REGRESSION AND CORRELATION ANALYSIS IN THE STUDY OF DEVIATIONS IN THE "TURNING" PROCESS

Daniela Dimova*, Hristo Yakimov

Technical University of Gabrovo, 4 H. Dimitar Street, Gabrovo, Bulgaria

*Corresponding author: dimova@tugab.bg

Abstract

Studying the interrelationships between process-essential quantities allows for making the right decisions to improve the quality of the manufactured part. Appropriate quantitative methods are suitable for the study. Our proposal is to use the possibilities of statistical analysis, specifically single-factor and multifactor regression and correlation analysis. The object of the study are the deviations from the dimensions in the cross section ΔD , the deviations from cylindricity T_{cyl} and radial runout. These quantities can be considered as effective quantities, dependent variables, which are functions of various independent variable factors. Of all the factors, the most significant for the specific study have been selected.

Keywords: dimensional deviations, quantitative methods, statistical analysis, regression and correlation analysis

ВЪВЕДЕНИЕ

В съвременното машино и уредостроене огромен дял от обработките са свързани със стружкообразуване и, в последствие, стружкоотвеждане. Най-често срещаните обработки са: струговане, свредловане, фрезоване, стърване, дълбане, шлифоване, протегляне и други. Сред посочените, челна позиция заема методът струговане. Характерно за метода струговане е приложението му за обработване на вътрешни и външни цилиндрични повърхнини, обработка на профилни, конусни повърхнини, както и резбонарязване. Главното движение нарязане V_c е ротационно – извършвано от

заготовката, а подавателните V_f и установъчни (x_n, y_n, z_n) движения се извършват от инструмента. Точността при процеса струговане варира от 15^{-та} за груба обработка и достига 7^{-ма} при чистова обработка. От гледна точка на грапавостта R_z , тя варира от 160 μm при груба обработка до 1,5 μm при чистова обработка. Повърхнините подлежащи на обработка чрез струговане биват праволинейни (успоредни на една от осите X, Y, Z , или съгласувано между осите, т. н. конусна обработка), криволинейни.

Както във всички обработки, така при процеса „Струговане“ основните изисквания в един детайл са: качество, време за

изработка, себестойност.

Познаването на взаимовръзките между същественият за този процес величини дава възможност да се подобри качеството на детайла, което способства за качеството на крайния продукт и за конкурентоспособността на фирмата.

Подходящи са различни количествени методи. Нашето предложение е да се използват възможностите на статистическия анализ и, конкретно, на еднофакторния и многофакторния регресионен и корелационен анализ.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Модел за отклонението от размера в напречно сечение ΔD , Модел за отклонението от цилиндричност $T_{цил}$ и Модел за радиалното биене.

Обект на изследването ни са отклоненията от размера в напречно сечение ΔD , отклоненията от цилиндричност $T_{цил}$ и радиалното биене. Тези величини могат да бъдат разгледани като резултативни величини, зависими променливи, които са функции от различни независими променливи – фактори. От всички фактори се подбират най-същественият за конкретното изследване.

Всяка една от величините, които са обект на изследването, притежава допустимо поле на отклонението при даден детайл. Когато отклонението е в допустимо поле, изработената единица не се тълкува като брак, но сборът от отклоненията създава условия за детайл, участващ в последваща сглобена единица или възел с различни експлоатационни качества.

Възникват две задачи - да се установи влиянието на всеки от избраните съществени фактори върху една от трите изследвани величини, а също и съвкупното влияние на всички избрани фактори върху нея.

Първата може да се реализира чрез създаване на еднофакторни регресионни модели за всяка зависимост, а втората чрез конструиране на три многофакто-

рни регресионни модели за всяка от трите изследвани величини.

Зависимата променлива - резултат при многофакторния модел се обозначава с X_1 .

Настоящата статия разглежда 6 променливи фактора $X_2...X_7$, които са фундаментални за осъществяване на процеса „Струговане“ и за последващо определяне отклоненията от размера в напречно сечение ΔD , определяне отклоненията от цилиндричност $T_{цил}$, определяне радиалното биене.

Променливите фактори са:

X_2 – Дълбочина на рязане a_p

Дълбочината на рязане се измерва в направление, перпендикулярно на направлението на подаването. При грубо струговане се избира с оглед осигуряване на най-голяма производителност и снемане на прибавката за обработване Z за един ход ($a_p = Z$). Когато прибавката е голяма и не може да се свали за един работен ход, обработването се извършва за i работни хода, така че $\sum a_{pi} = Z$ [1]

Дълбочината на рязане при струговане се изчислява по формулата:

$$a_p = \frac{D-d}{2} \quad (1.1)$$

където:

a_p – Дълбочина на рязане;
 D - Обработван диаметър;
 d - обработен диаметър.

X_3 – Подавателно движение

В процеса „Струговане“ подавателното движение представлява относителното движение на програмируемата точка на инструмента за единица време V_f [mm/min] или за един оборот от главното движение на рязане V_f [mm/tr].

X_4 - Скорост на рязане

Работната (действителната) скорост на рязане е резултатната скорост от скоростта на главното движение V_c и скоростта на подавателното движение V_f [1].

$$\vec{V}_e = \vec{V}_c + \vec{V}_f \quad (1.2)$$

Тъй като $V_f \ll V_c$, за скорост на рязане се приема скоростта на главното движение. Тя се изразява с относителното преместване на режещия ръб на инструмента спрямо обработваната повърхнина на детайла или обратно в посока на главното движение. При въртливо движение скоростта на рязане се определя с формулата: [1]

$$V_c = 10^{-3} \pi D n, \text{ m/min} \quad (1.3),$$

където:

D - диаметър на обработваната повърхнина или на режещия инструмент, mm;

n - честота на въртене на обработвания детайл или на режещия инструмент, min-1.

X₅ – Геометрична характеристика на инструмента

Геометричните елементи на инструмента се изменят в процеса на работа, тъй като се изменя положението на координатните равнини. Рязането се извършва при наличие едновременно на главно и подавателно движение със скорости съответно $\vec{V}_c$ и $\vec{V}_f$. От тях се определят големината и положението на вектора на скоростта $\vec{V}_e$ на работното движение. Изменение на статичните ъгли на стругарския нож в процеса на работа се наблюдава и когато върхът на инструмента не лежи на линията, определена от центрите на машината, и когато оста на инструмента не е перпендикулярна на оста на обработваната заготовка [2].

За да се осъществи процесът на рязане, е необходимо работният главен заден ъгъл да е положителен ($\alpha_{oc} > 0$), което означава $\alpha_0 > \eta_0$. При струговане ъгълът η_0 е сравнително малък, поради много малките стойности на отношението (f/D) и посоченото условие се постига лесно [1].

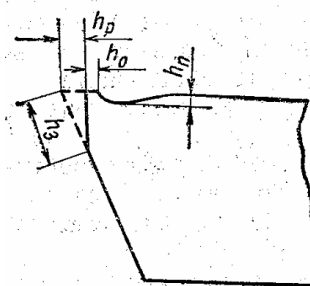
X₆ – Размерно износване на инструмента

В процеса на рязане чрез стружкоотнемане основен критерий за качеството на

обработваните изделия е износването на режещия инструмент. Само по себе си износването е сложен физико-химичен процес, при който най-общо поради високите температури и налягания, инструмента променя своята първоначална геометрия, което води до промяна на силите на рязане, пластичната деформация, допълнително отделяне на топлина и др. Най-често срещаните износвания на инструментите са по предната повърхнина – при контакта със стружката или по задната повърхнина при контакт с повърхнината на рязане, като и двете износвания водят до промяна размерите на заготовката и качеството на повърхнината.

Най-честите износвания биват:

- Химично;
- Адхезионно;
- Дифузионно;
- Абразивно;
- Ударно.



Фиг. 1. Схема на измерване на износването по режещия инструмент [3]:

h_3 – износване по задната повърхнина на режещия клин; h_n – дълбочина на падинката; h_p – размерно износване

X₇ – Сила на захващане

Силите на затягане при процесите свързани със стружкоотнемане са с висока степен на важност. В процеса на струговане се наблюдава за сили на затягане на заготовката и сили на подпиране на заготовката, при големи линейни размери на заготовките.

Прекомерните сили на затягане на заготовката влияят негативно, както на плътни заготовки поради деформация на повърхностния слой на детайла, така и да детайли тип втулка, като геометрична

деформация на заготовката поради малки разлики между вътрешен и външен диаметър (тънкостенност). Същото негативно влияние се наблюдава и при закрепване на детайлите на две опори, като превишените сили могат да доведат до изкълчване на заготовката и последващи отклонения във формата.

Малки сили на затягане на детайли при високи периферни скорости могат да доведат до „отпускане“ на детайла, поради създадените центробежни сили върху челюстите на патронника, което води до нестабилност и повлияване на качеството на изделиято.

Методика за изследване

Методиката за изследване на зависимостта на величините „отклонение от размера в напречно сечение ΔD “, „отклонение от цилиндричност $T_{цил}$ “ и „радиално биене“ от избрани шест фактори се основава на регресионния и корелационен анализ.

Когато е необходимо да се изследва зависимостта между фактор X и резултат Y в генерална съвкупност с обем N , напр. цялото производство на един детайл, но не можем да обхванем в изследването всички обработвани детайли, налага се да формираме извадка с обем n . Единиците в извадката имат стойности за независимата променлива X_i и за зависимата – Y_i , където $i=1, \dots, n$.

Зависимостта, установена от извадката, представяме [3]:

$$y_i = \hat{y}_i + e_i \quad (1.3)$$

Теоретичните стойности $\hat{y}_i$, представляват оценки на величините от регресионния модел в генералната съвкупност.

Случайният компонент включва случайната грешка и грешката на модела, дължаща се на невключването в модела на множество фактори, които влияят, в някаква степен, върху Y , и се изразява: $e_i = y_i - \hat{y}_i$.

В практическата дейност могат да бъдат използвани различни регресионни

модели, като права $\hat{y}_i = a + bx_i$ или крива, например:

$$\hat{y} = a + bx + cx^2 - \text{парабола}$$

$$\hat{y} = a + \frac{b}{x} - \text{хипербола}$$

$$\hat{y} = a.b^x - \text{експоненциална функция}$$

$$\hat{y} = a.x^b - \text{степенна функция и др.}$$

Прилагайки метода на най-малките квадрати, може да се изчислят коефициентите на регресионните модели на еднофакторните зависимости за всяка резултативна величина от избран фактор, която може да бъде линейна или нелинейна.

Коефициентът на корелация измерва силата (теснотата) на корелационната зависимост между фактора и резултата. Използва се най-често коефициентът на Браве:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (1.5)$$

където:

x_i са стойностите за фактора;

$\bar{x}$ – средната стойност на фактора;

y_i – стойностите за резултата;

$\bar{y}$ – средната стойност на резултата.

Стандартната грешка на оценката се използва за измерване на разсейването на наблюдаваните от извадката стойности y_i около извадковата линия на регресията. Тя измерва средният размер на отклоненията на стойностите на оценките, изчислени от регресионното уравнение $\hat{y}_i$ и фактическите стойности y_i .

Стандартната грешка на оценката се изчислява по формулата [3]:

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p}}, \quad (1.6)$$

където y_i са фактическите стойности,

$\hat{y}_i$ – стойностите, изчислени от регресионното уравнение $\hat{y}_i$,

n – размер на извадката,

$n-p$ – степен на свобода, около регресионната линия, в която p е броят на параметрите, коефициентите в регресионното уравнение.

Интерес представлява също съвкупно влияние на шесте фактора върху резултативната величина, което представяме чрез многофакторен линейен регресионен модел.

Нека с X_1 е означен резултатът (зависимата променлива), като X_1 може да приема различна стойност при всяко изпитание. С $X_2, X_3, \dots, X_7$ са означени факторите, които също приемат различни стойности при различните изпитания. Получените емпирични стойности се поместват в таблица.

При посочените шест фактора, регресионният модел има следния вид:

$$\hat{X}_1 = a_0 + a_{1,234567}X_2 + a_{1,324567}X_3 + a_{1,423567}X_4 + a_{1,523467}X_5 + a_{1,623457}X_6 + a_{1,723456}X_7$$

Определянето на стойностите на коефициентите a_i може да стане по два начина. Множествената линейна регресия да се сведе до серия от единични модели, по посочената по-горе методика, което е единият възможен подход за изследване и анализ. Всеки от единичните модели изразява зависимостта на резултата само от един от факторите, като тази зависимост може да бъде линейна или нелинейна.

Другият подход е чрез решаване на система нормални уравнения. За да се получи конкретният вид на модела е необходимо да се реши системата нормални уравнения с неизвестни a_i , които се явяват частни регресионни коефициенти в модела.

Частният регресионен коефициент a_i показва какво изменение в резултата съответства на единица изменение в съответния фактор.

$$\begin{aligned} \sum X_1 &= Na_0 + a_{1,234567} \sum X_2 + a_{1,324567} \sum X_3 + a_{1,423567} \sum X_4 + \\ &+ a_{1,523467} \sum X_5 + a_{1,623457} \sum X_6 + a_{1,723456} \sum X_7 \\ \sum X_1 X_2 &= a_0 \sum X_2 + a_{1,234567} \sum X_2^2 + a_{1,324567} \sum X_3 X_2 + a_{1,423567} \sum X_4 X_2 + \\ &+ a_{1,523467} \sum X_5 X_2 + a_{1,623457} \sum X_6 X_2 + a_{1,723456} \sum X_7 X_2 \\ \sum X_1 X_3 &= a_0 \sum X_3 + a_{1,234567} \sum X_3 X_2 + a_{1,324567} \sum X_3^2 + a_{1,423567} \sum X_4 X_3 + \\ &+ a_{1,523467} \sum X_5 X_3 + a_{1,623457} \sum X_6 X_3 + a_{1,723456} \sum X_7 X_3 \\ \sum X_1 X_4 &= a_0 \sum X_4 + a_{1,234567} \sum X_4 X_2 + a_{1,324567} \sum X_3 X_4 + a_{1,423567} \sum X_4^2 + \\ &+ a_{1,523467} \sum X_5 X_4 + a_{1,623457} \sum X_6 X_4 + a_{1,723456} \sum X_7 X_4 \\ \sum X_1 X_5 &= a_0 \sum X_5 + a_{1,234567} \sum X_5 X_2 + a_{1,324567} \sum X_3 X_5 + a_{1,423567} \sum X_4 X_5 + \\ &+ a_{1,523467} \sum X_5^2 + a_{1,623457} \sum X_6 X_5 + a_{1,723456} \sum X_7 X_5 \\ \sum X_1 X_6 &= a_0 \sum X_6 + a_{1,234567} \sum X_6 X_2 + a_{1,324567} \sum X_3 X_6 + a_{1,423567} \sum X_4 X_6 + \\ &+ a_{1,523467} \sum X_5 X_6 + a_{1,623457} \sum X_6^2 + a_{1,723456} \sum X_7 X_6 \\ \sum X_1 X_7 &= a_0 \sum X_7 + a_{1,234567} \sum X_7 X_2 + a_{1,324567} \sum X_3 X_7 + a_{1,423567} \sum X_4 X_7 + \\ &+ a_{1,523467} \sum X_5 X_7 + a_{1,623457} \sum X_6 X_7 + a_{1,723456} \sum X_7^2 \end{aligned}$$

В резултат на разчети по описаната методика, се получава конкретния вид на функцията - модел.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предстоящите изпитания ще дадат възможност да се направят необходимите измервания и разчети, с цел да се получи конкретния вид на всяка от трите функции-модела. Така получените модели дават възможност да се определят средната и пределната ефективност на всеки от факторите.

Познавайки вида и степента на всяка зависимост, ние можем да подобряваме параметрите, така че да постигнем търсено ниво на качеството и конкурентоспособност на всяко изделие, включващо при производството му операция „Струговане“.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Alexandrova I. "CNC Machine, tools and technologies" University Publishing House "Vasil Aprilov", 2023 ISBN 978-954-683-680-9 [p.99]
- [2] Alexandrova I. "Cutting Materials" University Publishing House "Vasil Aprilov", 2015 ISBN 978-954-683-532-1.
- [3] Gatev K., Introduction to statistics, "LIA", Sofia, 1995 ISBN 954-8843-01-3.