
Metode statistice privind controlul proceselor de fabricație

Conf. univ. dr. Sorin Gabriel GRESOI
Universitatea „Artifex” din București

Abstract

Lucrarea este o scurtă introspecție despre utilizarea fișelor de control statistic al proceselor de fabricație, prezentând principalii parametri ce se stabilesc în acest scop.

Key words: control, limite, capabilitate, toleranță

Metodele privind controlul proceselor de fabricație vizează pe de o parte analiza capabilității proceselor, iar pe de alta parte stabilirea unor limite – criterii de control curent și de dirijare a proceselor.

Definind capabilitatea ca o măsura a preciziei cu care procesul realizează caracteristicile de calitate urmărite, metoda statistică va trebui să aprecieze performanțele utilajelor de a realiza o încadrare corespunzătoare a câmpului de împrăștiere (acolo unde caracteristica de calitate ia valori) în câmpul de toleranță (acolo unde caracteristica de calitate trebuie să se încadreze conform normelor de calitate).

Analiza capabilității necesită efectuarea unor demersuri premergătoare, având drept scop:

- Stabilirea caracteristicii sau ansamblului de caracteristici ce urmează a fi controlate (ca deținând importanța majoră în definirea calității globale a produsului);
- Verificarea stabilității procesului de producție;
- Determinarea parametrilor pe baza cărora se va efectua controlul.

În timp ce primul obiectiv se rezolvă, de obicei, pe baza unor tehnici de tratare descriptivă a datelor – grafice, dintre care cea mai utilizată este diagrama Pareto, celelalte două obiective se ating prin aplicarea unor metode complexe, analitice, diferențiate după tipul producției tratate¹:

- Pentru procese de producție de productivitate medie – metoda sondajului de volum mare;
- Pentru procese de productivitate mare – metoda sondajului de volum redus.

În cazul metodei sondajului de volum mare se lucrează pe un eșantion de dimensiune cuprinsă între 100-300 exemplare, apărând necesara verificarea omogenității datelor în vederea estimării corecte a parametrilor statistici specifici procesului de producție.

Metoda sondajelor de volum redus (a probelor curente) presupune relevarea mai multor probe (eșantioane, cca. 25) de dimensiuni mici (4-10 elemente pentru caracteristici măsurabile și 20-60 elemente pentru caracteristici atributive), fiind necesară verificarea omogenității sondajelor din punct de vedere al mediilor și al dispersiilor.

Verificarea normalității repartiției experimentale se va realiza în ambele cazuri prin teste specifice, în al doilea caz pentru fiecare probă în parte.

1. Baron T. șamd – Calitate și Fiabilitate, Ed Tehnică 1988

Determinarea fracțiunii defective probabile p – probabilitatea ca valorile caracteristicii x sa depășească limitele câmpului de toleranță – va caracteriza precizia utilajului, specialiștii considerând ca un proces poate fi apreciat ca fiind controlabil statistic daca $p \leq 0,02$.

$$p = P(X < T_i; X > T_s) = 1 - P(T_i \leq X \leq T_s) = 1 - [F(T_s) - F(T_i)], \text{ unde}$$

T_i, T_s = limite de toleranță inferioară i și superioară s

$F(x) = P(X \leq x)$ este funcția de repartiție specifică a caracteristicii X

Pentru o caracteristică de repartiție normală:

$$P = 1 - [\Phi(z_s) - \Phi(z_i)] = 1 - 2\Phi(z_s), \text{ unde } z_s = (T_s - T_i)/2\sigma$$

σ = abatere medie pătratică a caracteristicii studiate

În practică, se va putea determina fie fracțiunea defectivă probabilă p , pornind de la câmpul de toleranță prescris, fie se va putea planifica un câmp de toleranță $T = 2z_p \cdot \sigma$, unde z_p este variabila Laplace tabelată în funcție de fracțiunea defectivă p aleasă.

Pe baza normalității repartiției se poate aproxima și intervalul de împrăștiere a caracteristicii produselor fabricate :

$$L \approx 6\sigma$$

$$L_i = 3\sigma; L_s = 3\sigma$$

deoarece se demonstrează ca 99,7% din valorile înregistrate într-o observare se găsesc în acest interval (*teorema celor 3σ a lui Cebisev*).

Intr-adevăr, dacă X este o caracteristică cu repartiție normală cu parametrii μ și σ^2 , folosind proprietățile acesteia (simetria în $x = \mu$) avem :

$$X \in N(x, \mu, \sigma^2) \quad \text{și } a, b \in \mathbb{R} :$$

$$P\{a \leq X \leq b\} = \int_a^b f_X(x; \mu, \sigma^2) dx = F_0(b - \mu/\sigma) - F_0(a - \mu/\sigma)$$

$$P\{|X - \mu| < \varepsilon\} = 2F_0(\varepsilon/\sigma) - 1$$

$$\text{Dacă } \varepsilon = 3\sigma \Rightarrow$$

$$P\{|X - \mu| < 3\sigma\} = 2F_0(3\sigma/\sigma) - 1 = 2F_0(3) - 1 = 0,9974$$

Metodele de control curent – de dirijare pe flux – vor avea în vedere stabilitatea procesului – evidențierea faptului ca se afla numai sub influența unor cauze de producție întâmplătoare sau și sub impactul unor cauze de producție sistematice, care induc abateri de la specificații, trebuind depistate și eliminate.

Stabilitatea se evaluează din două puncte de vedere :

- Ca poziție a centrelor celor două câmpuri de interes pentru caracteristica studiată: câmpul de toleranță și câmpul de împrăștiere, ceea ce caracterizează reglarea mașinii, și poate fi pusă în evidență cu ajutorul indicatorilor statistici de poziție – medie, mediana, mod ;
- Ca mărime a celor două câmpuri – încadrarea câmpului de împrăștiere în câmpul de toleranță – ceea ce caracterizează precizia mașinii și poate fi evidențiată prin indicatori statici de împrăștiere (variație) : abaterea medie liniară sau pătratică, amplitudine, coeficient de variație.

Procesul de producție va fi considerat stabil, atunci când parametrii statistici ce măsoară centrul de grupare (reglajul), respectiv împrăștierea (precizia) rămân constanți în timp.

Verificarea corelată a celor două deziderate presupune folosirea unor metode combinate de control :

- Metoda mediei aritmetice și abaterii mediei pătratice ;
- Metoda mediei aritmetice și amplitudinii împrăștierii ;
- Metoda medianei și amplitudinii împrăștierii.

Mersul procesului de producție poate fi, astfel, apreciat cu ajutorul probelor formate dintr-un număr mic de piese, luate în ordinea fabricării lor, extrase întâmplător.

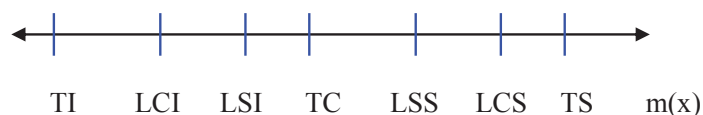
Indicatorul probei nu va coincide decât întâmplător cu indicatorul întregului lot, însă, în cazul stabilității procesului, va trebui să aparțină unor zone de control (zona de încredere sau zona erorilor admise).

Aceasta presupune ca într-o etapă inițială să putem stabili astfel de limite pentru parametrul reglării și pentru cel al preciziei (împrăștierii).

În general, se alege ca probabilități de lucru 99,8% pentru limitele de control și 95% pentru limitele de supraveghere, ceea ce corespunde unor fracțiuni defective de 0,2%, respectiv 5%.

Reprezentând pe o axă poziționarea ca valoare ordonată a limitelor de control și de supraveghere, remarcăm că pentru parametrul împrăștierii nu avem limitare inferioară, precizia putând fi oricât de mică. (fig. 8.2.a și b).

Poziționarea limitelor de control și de supraveghere



LCI – limita inferioară de control

LCS – limita superioară de control

LSI – limita inferioară de supraveghere

LSS – limita superioară de supraveghere

TI – limita inferioară a câmpului de toleranță

TS – limita superioară a câmpului de toleranță

TC – Centrul câmpului de toleranță

Demersul practic efectiv constă în prelevarea periodică din proces a unor probe de volum n , înregistrându-se valorile efective atinse de caracteristica pentru fiecare produs i din cel n : $X_1, \dots, X_n$.

Calculându-se pentru fiecare probă indicatorii statistici necesari (medie sau mediana, abatere medie pătratică sau amplitudinea împrăștierii), și comparându-se cu limitele de control/supraveghere stabilite aprioric, în etapa studiului preliminar de capabilitate, se identifică în ce măsură procesul corespunde sau nu ca reglaj și precizie, luându-se măsuri suplimentare de supraveghere în cazul în care parametrii se găsesc în intervalul dintre limitele de supraveghere și cele de control, oprindu-se și identificându-se cauza perturbatoare, dacă parametrii se găsesc în afara limitelor de control.

Combinatii ale stărilor procesului de fabricație ca precizie si reglaj

Tabelul 1

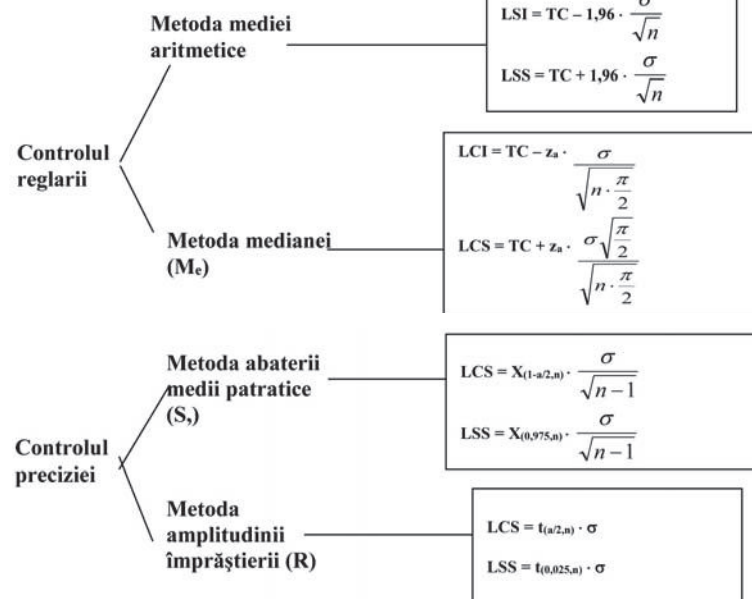
Parametrul reglării X, M _e Parametrul Preciziei σ, R	LSI ≤ m ≤ LSS LSI ≤ M _e ≤ LSS	LCI ≤ m < LSI LCI ≤ M _e < LCS Sau LSS < m ≤ LCS LSS < M _e < LCS	m < LCI M _e < LCI Sau m > LCS M _e > LCS
σ ≤ LSS R ≤ LSS	*proces stabil ca reglaj si precizie *continua I	*proces stabil ca precizie, la limita stabilitatii pentru reglaj *continua II	*proces instabil ca reglaj, stabil ca precizie *procesul se opreste V
LSS < σ ≤ LCS LSS < R ≤ LCS	III	IV	VI
σ > LCS R > LCS	VII	VIII	IX

□ proces stabil

□ proces la limita stabilității

■ proces instabil

Fig. 2. Calculul limitelor de control
si de supraveghere pentru
controlul curent pe flux



Nota: n – volumul eșantionului; σ - abaterea medie pătratică este evaluata prin studii precedente; α - prag de semnificație ales ; de obicei α ∈ {0,002 ; 0,05}; z_α – valoare tabelata a funcției Laplace

$$X(1-a/2,n) = \sqrt{x^2(1-a/2,n)} = \text{valoare tabelata din tabelul funcției } X^2$$

$t_{a/2,n}$ = valoare tabelata din tabelul funcției Student

Fișele de control statistic sunt instrumente practice prin care se aplică aceste metode în întreprinderi, diagramele de control constând în reprezentarea grafică a indicatorilor statistici urmăriți comparativ cu limitele de control/supraveghere admise.

Trebuie să adăugăm faptul ca, plecând de la teoria fiselor de control create de W.A. Shewhart, mulți autori reconsideră utilitatea acestora mai ales în faza de analiză a procesului și de instalare a stării de control statistic.

Scopul construirii fiselor (X, R), în aceasta perioada consta în evidențierea așa-numitelor „comportări nenaturale” ale acestuia, precum și în găsirea unor acțiuni corective. Observăm ca aceasta relevare a fiselor, deși poate fi cuantificată statistic, își are cauzele în procesul însuși și ca urmare, acțiunea corectivă - privită ca o intervenție la nivelul centrării și/sau precizării procesului-este o problema pur tehnologică.

De aceea, „nici o lucrare de control statistic al calității nu poate furniza cunoașterea necesară a diferitelor procese de fabricație. Totuși o anumită indicație poate fi dată asupra aspectelor statistice de interpretare a fiselor de control cu scopul de a detecta cauzele de variație excesivă”.

Subliniem de asemenea, limitarea practică a acestor fișe ca urmare a caracterului lor unidimensional, în sensul că se pot aplica numai la o singură caracteristică măsurabilă a reperului luat în studiu.

Datorită caracterului mult mai complex al calității produselor moderne – determinată printr-un ansamblu de caracteristici – fișele de control vor fi utilizate numai în cadrul unei analize speciale a unor caracteristici de calitate care fac obiectul unui program separat de investigație sau în cazul în care procesul tehnologic nu dispune de mijloace automatizate de reglare iar posibilitatea de culegere și prelucrare a datelor în timp util se poate face fără dificultate.

De asemenea, în instituirea cu succes a unei astfel de cercetări nu trebuie uitată componenta de asigurare metrologică, una din cauzele comportamentului nenatural al fiselor de control fiind eroarea de măsurare.

O formă specifică de fișă de control care evita în primul rând dezavantajul legat de calcul și care se poate constitui într-un instrument de autocontrol este fișa de control pentru valori individuale. Aceasta presupune folosirea directă a valorilor individuale măsurate (fără calculul statisticilor de selecție), prin reprezentarea acestora pe diagrama de control.

Procesul este considerat normal (satisfăcător scopului propus) dacă are loc una din situațiile :

- În fiecare grup de n valori înregistrate, toate valorile sunt cuprinse între limitele de supraveghere ;
- În fiecare grup de n valori, nici o valoare nu cade în afara limitelor de control, cel mult o valoare cade în fiecare din zonele de atenționare, restul în intervalul de supraveghere.

Procesul este considerat nesatisfăcător dacă are loc una din situațiile :

- O valoare iese din limitele de control;
- Doua valori din același grup cad în zone de atenționare

Fără sa necesite efectuarea unor calcule, ci doar măsurare și reprezentare grafică pe fisele standardizate, urmate de anunțarea tehnologului de linie în cazul constatării unor abateri de la regulile prin care procesul este considerat satisfăcător, acest procedeu se constituie într-un instrument efectiv al autocontrolului.

Bibliografie

- Baron T. șamd – Calitate și fiabilitate, Ed Tehnică 1988
- Gresoi Sorin, Managementul și gestiunea calitatii, editura Pro Universitaria 2011
- Redeu Al., Purcărea E.I., Stanciu C. – “Managementul calității. Tehnici și instrumente”, Ed. ASE, 1999;