

ASUPRA CAPABILITĂȚII PROCESELOR TEHNOLOGICE DE FABRICARE

RUSU ȘTEFAN, Prof.univ.Dr.-Ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Utilaj Tehnologic

IONESCU TONE, Prof.univ.Dr.-Ing., Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Utilaj Tehnologic

VIȘAN CAMELIA, Prof.Ing., Grupul Școlar “Sf. Pantelimon” București, doctorand Inginerie Industrială la Universitatea Tehnică de Construcții București

ABSTRACT

In the paper are defined the terms and the indices of the manufacturing process capability with a necessary corrections taking into account the possible deviations from Gauss law. Are advanced some considerations about the extended capability concept of manufacturing process for an integrated characterization of the technological process performances.

1. INTRODUCERE.

Performanțele proceselor tehnologice de fabricare (PTF) sunt estimate cu ajutorul unor concepte definite pe baza modului rațional de concepere a secvenței tehnologice de fabricare, a succesiunii logice a etapelor prelucrării complete a piesei, a consumului de timp tehnologic total pentru execuția comenzii de fabricație contractate, a capacității de a asigura în termeni economici precizia de prelucrare pretinsă, a calității logisticii tehnologice asociate procesului, a fluenței transiterii tuturor informațiilor de conducere a procesului în toate nodurile matricii structurale, a ritmicității asigurării resurselor materiale necesare desfășurării procesului tehnologic, a modului de gestiune a fluxurilor materiale și informaționale incluse în proces etc. Unele dintre aceste concepte au un caracter integrator [6] .

Datorită cerințelor severe de competitivitate în sistemele industriale, procesele tehnologice de fabricare actuale presupun efectuarea, periodică sau în caz de necesitate, a unor analize privind performanțele/stabilitatea procesului de fabricare din punct de vedere al fidelității reproducerii unor caracteristici de interes, definatorii pentru un produs/proces.

Apariția unor perturbații sau factori de instabilitate în desfășurarea procesului tehnologic conduce la realizarea unor piese cu caracteristici în afara câmpului de toleranță prescris. În aceste condiții se impune identificarea cauzelor generatoare ale perturbațiilor, aplicarea controlului statistic și interpretarea rezultatelor acestui control și efectuarea unor analize de capabilitate.

Pe baza concluziilor desprinse din analizele efectuate se vor putea lua decizii tehnologice care vizează înlăturarea efectelor perturbațiilor exterioare sau ale factorilor de instabilitate intrinseci procesului de fabricație și aducerea caracteristicilor de interes în câmpul de împrăștiere ce asigură calitatea procesului tehnologic. Așa a apărut conceptul de “capabilitate” a unui proces tehnologic, introdus încă din 1939 de W.A. Shewhart [2,3,4].

2. CAPABILITATEA PROCESELOR TEHNOLOGICE DE FABRICARE, DEFINIȚII SI TERMENI.

Se iau în considerare următoarele definiții, în general, acceptate [1,2,4]:

- **Capabilitatea procesului tehnologic** reprezintă capacitatea acestuia de a realiza piese cu caracteristici în limitele toleranțelor prescrise în condiții precizate referitoare la factorii de influență ai procesului și în condiții de risc tehnologic asumat la un anumit nivel ; subliniind alte nuanțe ale conceptului, W.A. Shewart [2,4,5] definește capabilitatea preprocesului tehnologic ca fiind proprietatea acelu proces de a asigura un câmp de variabilitate al unei anumite caracteristici măsurabile de calitate mai mic decât cel specificat prin proiecte, norme interne sau alte documente tehnologice (un asemenea proces este privit ca fiind un *proces în stare de stabilitate statistică*) .
- **Toleranța specificată (ITS)** reprezintă toleranța prescrisă în execuția unui produs, valoarea ei fiind determinată de respectarea funcționalității produsului pentru o perioadă de timp aprioric stabilită [1,3,4,5]. Într-un alt limbaj, toleranța specificată este o măsură a preciziei funcționale impuse piesei/produsului.
- **Toleranța naturală (INT)** a procesului reprezintă calitatea procesului de a realiza o anumită caracteristică de precizie într-un interval de împrăștiere determinat de caracteristicile procesului și de condițiile tehnologice în care se desfășoară acel proces; (**INT**) este o caracteristică proprie (sau “naturală”) a unui anumit proces și este o măsură a preciziei tehnologice realizabile prin acel proces în condiții date.
- **Limitele toleranței specificate (ITS)**, notate prin T_i , respectiv T_s , reprezintă valorile extreme (inferioară și superioară) ale câmpului (**ITS**), între care se mai asigură funcționalitatea produsului conceput. Evident:

$$ITS = T_s - T_i \quad (1)$$

- **Limitele toleranței naturale (INT)**, notate prin L_i , respectiv L_s , reprezintă, analog, valorile extreme ale împrăștierii caracteristicii pe precizie obținabile prin aplicarea procesului tehnologic investigat. Similar :

$$INT = L_s - L_i \quad (2)$$

Se acceptă, generalizat, că un proces tehnologic aflat în stare de stabilitate statistică este *capabil* să realizeze o caracteristică de precizie, pe mulțimea pieselor dintr-un lot de fabricație, dacă împrăștierea naturală obținută în condiții tehnologice cunoscute și definită prin (**INT**) este mai mică decât împrăștierea prescrisă funcțional și dată prin (**ITS**).

3. INDICATORI DE CAPABILITATE DE PRIMĂ GENERAȚIE.

Pe baza ultimei afirmații din paragraful precedent, apare un prim *indicator de capabilitate* C_p (numit și “*indice de potențial al procesului*”), dat de :

$$C_p = \frac{ITS}{INT} = \frac{T_s - T_i}{L_s - L_i} \quad (3)$$

Dacă $C_p \geq 1$, atunci avem un proces capabil relativ la caracteristica de precizie/calitate examinată (FIG.1.). În literatura de specialitate [2,3,4,5] se admite dacă $C_p < 1$, procesul tehnologic are o performanță necorespunzătoare, dacă $C_p \in [1,00 ; 1,33]$, o performanță modestă, dacă $C_p \in (1,33 ; 1,67]$, procesul are o performanță bună, dacă $C_p \in (1,67 ; 2,00)$, o performanță foarte bună, iar dacă $C_p \geq 2,00$, procesul este de performanță excelentă. Valorile menționate mai sus nu sunt arbitrare, ele sunt deduse probabilistic pe baza legii normale Gauss pentru repartiția valorilor caracteristicii de precizie/calitate.

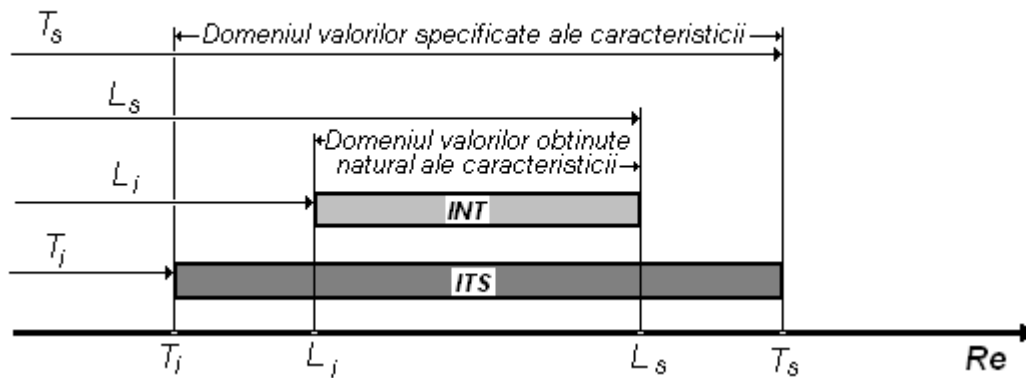


Fig. 1

Nu e suficientă, însă, numai condiția $C_p \geq 1$. Dacă $L_i, L_s \notin \text{int} \{ T_i, T_s \}$, atunci se pot obține valori ale caracteristicii de precizie examinate care nu mai corespund cerințelor funcționale (FIG. 2.), adică rezultă o fracțiune defectivă, sau, cu alte cuvinte, piese rebut recuperabile sau nerecuperabile, în funcție de tipul acestor piese, arbore sau alezaj. În consecință, apare *condiția centrării toleranței (INT)* față de toleranța (*ITS*), condiție ce poate fi scrisă sub forma :

$$(INT) \subset (ITS) \quad (4)$$

sau:

$$T_i < L_i < L_s < T_s \quad (5)$$

Pentru a continua analiza, este de menționat că în studiile consultate privind capabilitatea proceselor [1,2,3], se admite că valoarea medie m_X a distribuției valorilor caracteristicii de precizie/calitate în câmpul (*INT*) coincide cu valoarea centrală a (*INT*), că distribuția amintită este gaussiană și că dispersia acestor valori ale caracteristicii este 6σ , unde σ este abaterea medie pătratică standard a repartiției, dată de :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m_X)^2} \quad (6)$$

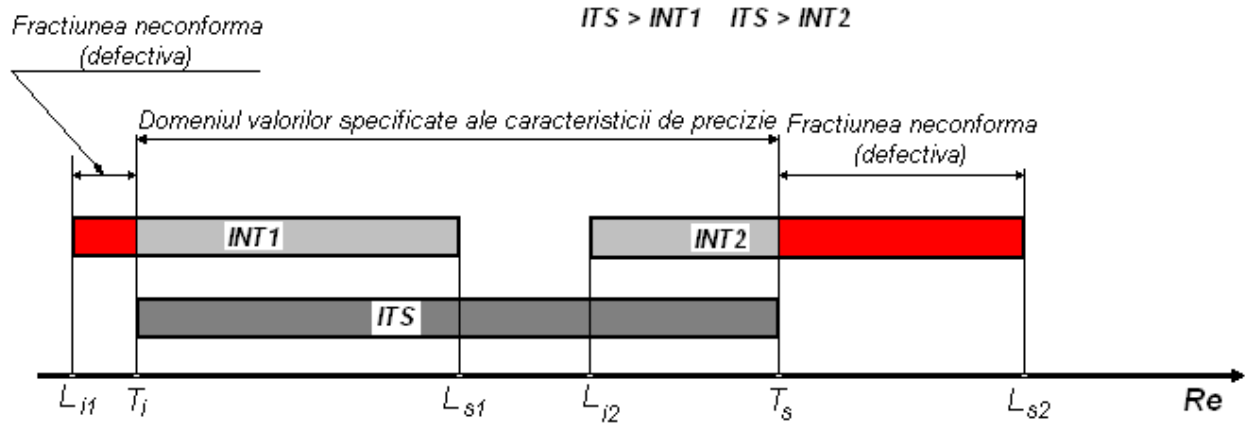


Fig. 2

unde n este numărul valorilor caracteristicii de precizie obținut în urma unui șir de experimentări, iar x_i reprezintă valoarea curentă din șirul respectiv de experimentări.

În aceste condiții avem :

$$L_i = m_X - 3\sigma ; \quad L_s = m_X + 3\sigma , \quad (7)$$

astfel încât :

$$C_p = \frac{ITS}{INT} = \frac{T_s - T_i}{6\sigma} \quad (8)$$

Cu această pregătire, se definește un indicator care se referă la “capabilitatea relativă la centrare”, dat de :

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{|m_X - T_i|}{3\sigma}, \frac{|m_X - T_s|}{3\sigma} \right\} \quad (9)$$

În ipoteza în care valoarea medie, suprapusă peste valoarea centrală, a toleranței (INT) coincide cu aceeași valoare medie a toleranței (ITS), atunci cele două segmente $|m_X - T_i|$ și $|m_X - T_s|$ sunt egale (caz ideal) – FIG. 3. De regulă, însă, egalitatea amintită este doar ipotetică.

Valorile C_{pk} care disociază între performanțele de capabilitate ale proceselor tehnologice sunt identice cu cele date anterior pentru indicatorul C_p . Cei doi indicatori C_p și C_{pk} sunt considerați “indicatori de capabilitate de primă generație” deoarece evaluează și exprimă capabilitatea unui proces tehnologic relativ la o anumită caracteristică de precizie/calitate măsurabilă, în ipotezele subliniate mai sus.

Reamintim, aici, că în cazul ipotezei distribuției gaussiene a valorilor caracteristicii de precizie/calitate, în intervalul $[m_X - 3\sigma, m_X + 3\sigma]$ se regăsesc aproximativ 99,73% din valorile caracteristicii și că, deci, toleranța/împrăștierea (INT) = 6σ devine firesc un domeniu de variabilitate reală a caracteristicii.

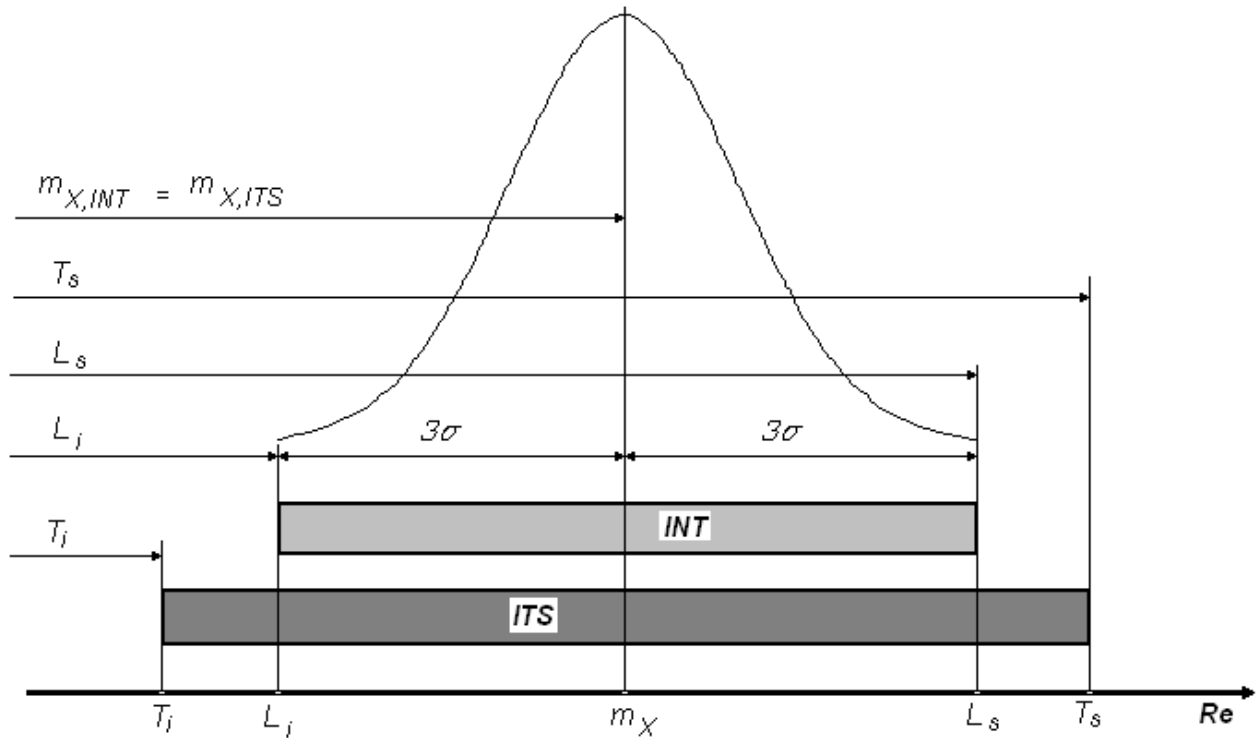


Fig. 3

4. INDICATORII “CORECTAȚI” AI CAPABILITATII PROCESELOR TEHNOLOGICE DE FABRICARE.

Distribuția amintită a valorilor caracteristicii de precizie/calitate nu respectă întotdeauna legea lui Gauss, existând numeroși factori perturbatori în desfășurarea proceselor tehnologice de fabricare care să determine abateri de la normalitatea repartiției valorilor.

Dacă această distribuție a valorilor caracteristicii de precizie/calitate nu mai respectă legea lui Gauss, atunci, într-un prim pas, în relațiile anterioare abaterea medie pătratică σ este înlocuită cu abaterea medie pătratică standard s , dată de :

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m_X)^2} \quad (10)$$

Toate relațiile de calcul anterioare rămân similare, iar indicatorii de capabilitate corespunzători se vor nota prin \hat{C}_p , respectiv \hat{C}_{pk} , dați de :

$$\hat{C}_p = \frac{ITS}{INT} = \frac{T_s - T_i}{6s} \quad (11)$$

$$\hat{C}_{pk} = \min \left\{ \frac{|m_X - T_i|}{3s}, \frac{|m_X - T_s|}{3s} \right\} \quad (12)$$

Dacă valoarea medie, suprapusă peste valoarea centrală, a toleranței (INT) nu coincide cu aceeași valoare medie a toleranței (ITS), adică există un segment $\Delta m_X = m_{X,INT} - m_{X,ITS}$ cu $|\Delta m_X| \neq 0$ (FIG.4.), atunci indicatorii de capabilitate relativă la centrare C_{pk} , respectiv \hat{C}_{pk} devin :

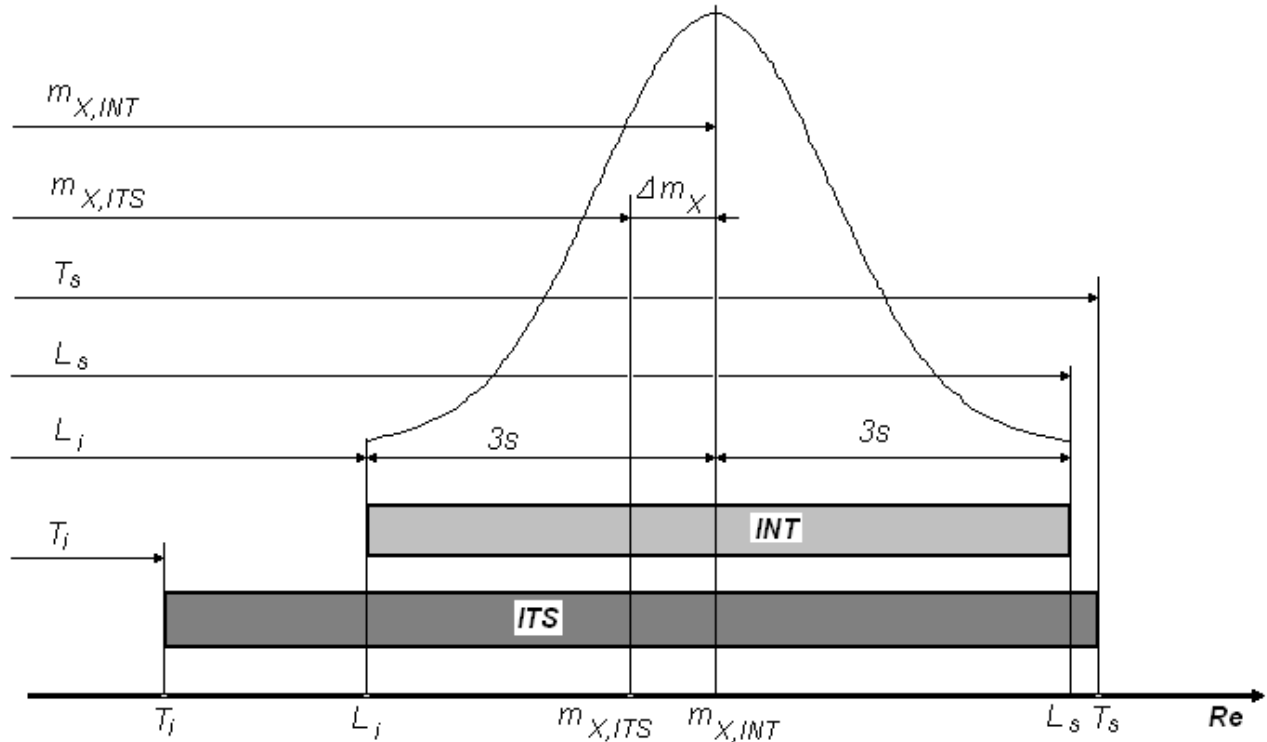


Fig. 4

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{|m_{X,INT} - T_i|}{3\sigma}, \frac{|m_{X,INT} - T_s|}{3\sigma} \right\} =$$

$$\min \left\{ \frac{|m_{X,ITS} + \Delta m_X - T_i|}{3\sigma}, \frac{|m_{X,ITS} + \Delta m_X - T_s|}{3\sigma} \right\} \quad (13)$$

respectiv :

$$\hat{C}_{pk} = \min \left\{ \frac{|m_{X,INT} - T_i|}{3s}, \frac{|m_{X,INT} - T_s|}{3s} \right\} = \min \left\{ \frac{|m_{X,ITS} + \Delta m_X - T_i|}{3s}, \frac{|m_{X,ITS} + \Delta m_X - T_s|}{3s} \right\} \quad (14)$$

S-a notat, in relațiile de mai sus, prin $m_{X,INT}$ – valoarea medie a câmpului de împrăștiere natural (*INT*), iar prin $m_{X,ITS}$ – valoarea medie a câmpului de toleranță specificat (*ITS*). Ambele valori medii continuă a fi considerate ca fiind coincidente cu valorile centrale ale câmpurilor respective, ceea ce în cazul distribuțiilor gaussiene, simetrice este adevărat.

Într-o logică similară se pot ajusta expresiile indicatorilor de capabilitate luând în considerare parametrii distribuțiilor negausiene ale valorilor caracteristicii de precizie/calitate (abaterea de la normalitate, amplitudinea câmpului de împrăștiere, valoarea medie, asimetria, dispersia relativă etc.). O tratare mai completă a posibilelor corecții întâlnite în practica proceselor tehnologice de fabricare va fi realizată în studii viitoare. Spațiul aici acordat ne permite doar să amintim, prin selecție, trei indicatori corecți de capabilitate și anume :

- *indicatorul corectat de potențial* introdus de Luceno [3,4], având forma:

$$\hat{C}_{pc} = \frac{T_s - T_i}{6\sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \frac{1}{n} \sum |x_i - m|}, \quad (15)$$

unde $m = \frac{T_i + T_s}{2}$, iar multiplicatorul $6\sqrt{\pi/2}$ reprezintă corecția lui 6, atunci când legea de repartiție a valorilor caracteristicii de precizie nu este gaussiană ;

- *indicatorul corectat care ține seama de aplatizarea curbei de distribuție*, introdus de Crișan[1,4] și având forma :

$$\hat{C}_C = \frac{T_s - T_i}{6s\sqrt{1 + |3 - b_2|}}, \quad (16)$$

unde b_2 este coeficientul de aplatizare, dat de :

$$b_2 = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m_X)^4}{s^2}; \quad (17)$$

dacă $b_2=3$, atunci indicatorul \hat{C}_C se confundă cu \hat{C}_p (cazul distribuției normale) ;

- *indicatorul corectat integrator* introdus de Kerstin Vännman [1,2,4] și având forma :

$$\hat{C}_p(u, v) = \frac{\frac{T_s - T_i}{2} - u \left| m_X - \frac{T_i + T_s}{2} \right|}{3\sqrt{s^2 + v(m_X - T_0)}}, \quad (18)$$

unde u și v sunt două numere naturale care, prin particularizare, permit obținerea altor indicatori de capabilitate anterior menționați; de exemplu, pentru $u = v = 0$, avem $\hat{C}_p(0,0) = \hat{C}_p$ (indicatorul de potențial), iar pentru $u = 1, v = 0$, avem $\hat{C}_p(1,0) = \hat{C}_{pk}$ (indicatorul de centrare).

5. CONCLUZII.

Într-o lume tehnologică mereu mai concurențială nu mai e loc de procese tehnologice de fabricare care să ignore cerințele competitivității și, implicit, ale performanțelor procesuale intrinseci care să susțină această competitivitate. Capabilitatea proceselor tehnologice de fabricare este una dintre aceste performanțe, ceea ce justifică focusarea cercetărilor actuale în domeniu și continua lor aprofundare. Nu este însă singura performanță. Am putea adăuga, doar la o primă analiză, stabilitatea/durabilitatea procesului tehnologic de fabricare sau capacitatea acestui proces de a onora comenzi diverse de producție cu un consum minim de timp tehnologic. În fond reacția promptă a unui sistem industrial la îndeplinirea unei comenzi lansate de piață este un atribut cert de competitivitate pentru acel sistem/proces. Într-o înțelegere mai integratoare a performanțelor unui proces tehnologic de fabricare, am putea afirma că acest proces este *capabil* dacă asigură precizia/calitatea de execuție impusă, dacă efectuează comanda de producție într-un timp tehnologic minim, dacă își conservă pe durata fabricației stabilitatea/durabilitatea necesare, dacă pretinde costuri minime de producție. Un asemenea concept de *capabilitate extinsă* a procesului tehnologic de fabricare poate fi avansat doar în condițiile unui management tehnologic performant care să includă percepțiile calității totale, ale producției flexibile, adaptive, ale producției sustenabile etc.[6]. În acest context, definirea riguroasă și corectarea particularizată a indicatorilor inițiali de capabilitate este nu numai binevenită, dar creează și premisele completării lor specifice și adecvate cu aspectele presupuse de *capabilitatea extinsă* a proceselor tehnologice de fabricare.

BIBLIOGRAFIE.

- [1] CRIȘAN D.M. : “*Contribuții privind capabilitatea proceselor de fabricație*”, teză de doctorat, Universitatea POLI-TEHNICA București, Catedra Tehnologia Construcțiilor de Mașini, 2002.
- [2] MILITARU C., CRIȘAN D.M. : “*Capabilitatea proceselor de fabricație*”, Editura TIPARG, 184 pag., ISBN 973-8029-68-6, Pitești, 2002.
- [3] PANDE P.S., NEUMAN R.P., CAVANAGH R.R. : “*Six sigma*”, Editura ALL, 412 pag., ISBN 978-973-571-777-3, București, 2009.
- [4] PETRESCU E., VODĂ V. : “*Evaluarea și exprimarea capabilității unui proces de fabricație*”, revista Calitate și Management, nr. 5, anul 4, pag. 41-47, București, 2005.
- [5] RUSU ȘT. : “*Management tehnologic*”, Editura MATRIX ROM, 162 pag., ISBN 973-685-820-0, București, 2004.
- [6] VODĂ V. : “*Abordarea șase sigma*”, revista Calitatea (ARC), nr.1, pag. 20-24, București, 2004.