



MINISTERUL EDUCAȚIEI

**Universitatea Națională de Știință și Tehnologie
POLITEHNICA București**

Școala Doctorală de Inginerie Industrială și Robotică

PUȘCAȘ P. Neta (POPESCU)

TEZĂ DE DOCTORAT

***Conducător științific,*
Prof. univ. dr. ing. Nicolae IONESCU**

- 2024 -



MINISTERUL EDUCAȚIEI

**Universitatea Națională de Știință și Tehnologie
POLITEHNICA București**

Școala Doctorală de Inginerie Industrială și Robotică

PUȘCAȘ P. Neta (POPESCU)

TEZĂ DE DOCTORAT

**Contribuții la modelarea și evaluarea
preciziei unor grupuri de produse
prelucrate prin deformare plastică
la rece în sisteme industriale**

***Conducător științific,*
Prof. univ. dr. ing. Nicolae IONESCU**

- 2024 -



MINISTERUL EDUCAȚIEI
Universitatea Națională de Știință și Tehnologie
POLITEHNICA București
Școala Doctorală de Inginerie Industrială și Robotică

CSUD - POLITEHNICA București
Decizie nr. 71 din 24.10.2024

PUȘCAȘ P. Neta (POPESCU)

TEZĂ DE DOCTORAT

*** Rezumat ***

**Contribuții la modelarea și evaluarea preciziei unor
grupuri de produse prelucrate prin deformare
plastică la rece în sisteme industriale**

**Contributions to the modeling and precision evaluation
of some groups of products processed
by cold plastic deformation in industrial systems**

COMISIA DE DOCTORAT

Președinte	Prof. univ. dr. ing. Marian GHEORGHE	POLITEHNICA București
Conducător științific	Prof. univ. dr. ing. Nicolae IONESCU	
Referent	Prof. univ. dr. ing. Laurențiu SLĂTINEANU	Universitatea Tehnică “Gheorghe Asachi” din Iași
Referent	Prof. univ. dr. ing. Viorel PĂUNOIU	Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați
Referent	Prof. univ. dr. ing. Gheorghe SINDILĂ	POLITEHNICA București

Cuprins

<i>Cuvânt înainte</i>	3
Introducere	4
Legendă	5
<i>Partea I. Stadiul actual al cercetării – dezvoltării unor elemente privind calitatea produselor și prelucrările prin îndoire la rece</i>	
<i>Capitolul 1. Elemente generale privind calitatea produselor și costurile calității</i>	7
1.1. Conceptul de calitate	7
1.2. Principiile managementului calității	8
1.3. Costurile calității	11
1.3.1. Categoriile de costuri ale calității	11
1.3.2. Costuri ale calității utilizate în practica economică	13
1.3.3. Costuri de toleranță	15
1.3.4. Model de cost în condiții de fabricare cu zero defecte	15
<i>Capitolul 2. Categoriile, parametri de proces și elemente tehnologice privind prelucrările prin îndoire la rece</i>	17
2.1. Categoriile de prelucrări prin îndoire la rece	17
2.2. Forța de îndoire	20
2.3. Starea de tensiune și revenirea elastică la îndoire	23
2.4. Stratul neutru la îndoire	27
<i>Capitolul 3. Concluzii privind stadiul actual al cercetării-dezvoltării unor elemente privind calitatea produselor și prelucrările prin îndoire la rece</i>	29
<i>Partea a II-a. Contribuții la cercetarea teoretică – experimentală privind modelarea și evaluarea preciziei unor grupuri de produse prelucrate prin deformare plastică la rece în sisteme industriale</i>	
<i>Capitolul 4. Direcțiile, obiectivul principal și metodologia de cercetare – dezvoltare privind modelarea și evaluarea preciziei unor grupuri de produse prelucrate prin deformare plastică la rece în sisteme industriale</i>	33
4.1. Direcții de cercetare – dezvoltare	33
4.2. Obiectivul principal al activității de cercetare – dezvoltare	33
4.3. Metodologia de cercetare – dezvoltare	33

<i>Capitolul 5. Caracteristici ale unor grupuri de piese și semifabricate pentru prelucrări prin deformare plastică la rece</i>	<i>37</i>
5.1. Lungimea desfășuratei pieselor îndoite la rece	37
5.2. Caracteristici ale unor grupuri de piese și elemente ale sistemelor tehnologice	38
5.3. Lungimea teoretică a desfășuratei piesei și lungimea semifabricatului	40
5.4. Etape de lucru la proiectarea asistată a unor produse și elemente tehnologice	43
<i>Capitolul 6. Cercetări teoretico – experimentale privind piesele din grupurile obiectiv și semifabricatele asociate prelucrate prin deformare plastică la rece în sisteme industriale</i>	<i>45</i>
6.1. Elemente de calcul și lungimea teoretică a desfășuratei pentru piesele din grupurile obiectiv	45
6.2. Elemente structurale ale unui proces tehnologic de prelucrare și categorii de semifabricate pentru piesele din grupurile obiectiv	51
6.3. Elemente ale operațiilor și sistemelor tehnologice de prelucrare a semifabricatelor pentru piesele din grupurile obiectiv	54
6.4. Cercetări teoretico – experimentale privind determinarea lungimii și a abaterii tehnologice asociate semifabricatelor pentru piesele din grupurile obiectiv	58
6.5. Cercetări teoretico - experimentale privind evaluarea preciziei unor caracteristici efective ale semifabricatelor pentru piesele din grupurile obiectiv	61
<i>Capitolul 7. Cercetări privind evaluarea preciziei unor caracteristici ale pieselor din grupurile obiectiv, prelucrate prin deformare plastică la rece în sisteme industriale ...</i>	<i>77</i>
7.1. Elemente de referință pentru evaluarea preciziei efective a unor caracteristici geometrice ale pieselor din grupurile obiectiv	77
7.2. Elemente tehnologice privind prelucrarea prin îndoire la rece a pieselor din grupurile obiectiv	79
7.2.1. Elemente tehnologice generale privind prelucrarea prin deformare plastică la rece a pieselor din grupurile obiectiv	79
7.2.2. Elemente tehnologice specifice privind desfășurarea operației de îndoire pentru piesele din grupurile obiectiv	81
7.3. Serii de piese obiectiv și evaluarea preciziei unor caracteristici efective	86
<i>Capitolul 8. Concluzii finale și contribuții principale la modelarea și evaluarea preciziei unor grupuri de produse prelucrate prin deformare plastică la rece în sisteme industriale</i>	<i>101</i>
Bibliografie	107
Anexa nr. 1	8 p.
Anexa nr. 2	2 p.
Anexa nr. 3	5 p.
Anexa nr. 4	5 p.

Cuvânt înainte

Studiul și dezvoltarea de elemente privind modelarea și evaluarea preciziei unor grupuri de produse prelucrate prin deformare plastică la rece în sisteme industriale reprezintă motivația și direcția studiilor de doctorat, finalizate prin prezenta teză de doctorat.

Programul de doctorat a constat din pregătirea, prezentarea și susținerea examenelor și a rapoartelor științifice, aprofundarea studiului, elaborarea metodologiei de cercetare – dezvoltare, efectuarea de cercetări teoretico – experimentale, realizarea și publicarea de lucrări științifice, elaborarea prezentei teze de doctorat “Contribuții la modelarea și evaluarea preciziei unor grupuri de produse prelucrate prin deformare plastică la rece în sisteme industriale”.

Exprim alese mulțumiri domnilor Prof. univ. dr. ing. Nicolae IONESCU și Prof. univ. dr. ing. Iosif TEMPEA, conducătorii de doctorat, pentru coordonarea științifică a întregii activități de doctorat, sprijinul, deplina încredere și disponibilitate acordate.

Adresez mulțumiri de excepție domnului Ing. ec. Valeriu-Vasile VELCIU, președintele companiei “Electrotel” S.A. Alexandria, pentru prețioasa colaborare și timpul dăruit, prin acordul și sprijinul de a utiliza resurse ale companiei în cadrul cercetării experimentale doctorale. De asemenea, mulțumesc foarte mult întregului colectiv de ingineri, tehnicieni și operatori pentru efortul, profesionalismul și bunăvoința continuu manifestate în activitatea complexă de realizare a cercetărilor experimentale.

Mulțumesc foarte mult domnilor Prof. univ. dr. ing. Păun ANTONESCU, Prof. univ. dr. ing. Constantin OCNĂRESCU, Prof. univ. dr. ing. George ADÎR, Conf. univ. dr. ing. Iulian TABĂRĂ, Prof. univ. dr. ing. Daniel Liviu GHICULESCU, Prof. univ. dr. ing. Sergiu TONOIU, Șef lucr. univ. dr. ing. Sergiu NANU și Șef lucr. univ. dr. ing. Petre TIRIPLICĂ, de la Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București, pentru disponibilitatea și recomandările adresate în cadrul unor activități importante de evaluare a examenelor, rapoartelor științifice și a tezei de doctorat.

Adresez sincere mulțumiri domnilor Prof. univ. dr. ing. Marian GHEORGHE de la Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București, Prof. univ. dr. ing. Laurențiu SLĂTINEANU de la Universitatea Tehnică “Gheorghe Asachi” din Iași, Prof. univ. dr. ing. Viorel PĂUNOIU de la Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați și Prof. univ. dr. ing. Gheorghe SINDILĂ de la Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București pentru comentariile și recomandările adresate în cadrul Comisiei de evaluare și susținere publică a tezei de doctorat.

Sunt profund recunoscătoare familiei mele pentru înțelegerea și ajutorul manifestate pe toată perioada studiilor de doctorat.

Neta Pușcaș (Popescu)

Introducere

Modelarea și evaluarea proceselor și sistemelor de fabricare prin deformare plastică la rece sunt componente principale în activitatea complexă de dezvoltare a producției industriale. Precizia și repetabilitatea în cadrul proceselor și sistemelor tehnologice sunt deziderate ale dezvoltării Industry 5.0.

* * *

Prezenta teză de doctorat analizează și dezvoltă o serie de elemente teoretice și aplicative importante privind modelarea și evaluarea preciziei unor grupuri de produse prelucrate prin deformare plastică la rece în sisteme industriale.

În prima parte a tezei de doctorat, pe baza analizei stadiului actual al cercetării – dezvoltării, se prezintă elemente relevante privind calitatea produselor, precum și categorii, parametri de proces și elemente tehnologice privind prelucrările prin îndoire la rece.

În partea a doua a tezei de doctorat, pe baza datelor și concluziilor desprinse din analiza stadiului actual, se consideră a fi de perspectivă o serie de direcții de cercetare – dezvoltare și se determină obiectivul principal al activității de cercetare-dezvoltare doctorale avansate, respectiv, **modelarea și evaluarea preciziei unor grupuri de produse prelucrate prin deformare plastică la rece în sisteme industriale.**

Metodologia și programul de cercetări teoretico - experimentale sunt concepute astfel încât activitățile experimentale componente să se desfășoare în *condiții de cercetare industriale*, respectiv, prin integrarea de resurse și elemente ale unor procese și sisteme tehnologice - semifabricate, mașini/centre CNC, scule de prelucrare, mijloace de control etc. - existente și aplicate în companii industriale.

Se realizează structurarea unor grupuri de piese obiectiv pentru prelucrări prin deformare plastică la rece, se dezvoltă elemente teoretice privind lungimea desfășuratei piesei și a semifabricatului corespunzător. Se prezintă etape de lucru la proiectarea asistată a unor produse și elemente tehnologice.

În continuare, se dezvoltă cercetări teoretico – experimentale privind piesele din grupurile obiectiv și semifabricatele asociate prelucrate prin deformare plastică la rece în sisteme industriale, respectiv, elemente privind lungimea teoretică a desfășuratei piesei, structura unui proces tehnologic de prelucrare, categorii de semifabricate, operațiile și sistemele tehnologice de prelucrare a semifabricatelor, determinarea lungimii și a abaterii tehnologice, precum și evaluarea preciziei unor caracteristici efective ale semifabricatelor.

De asemenea, se dezvoltă cercetări privind evaluarea preciziei unor caracteristici ale pieselor din grupurile obiectiv, prelucrate prin deformare plastică la rece în sisteme industriale, respectiv, elemente de referință, elemente tehnologice privind prelucrarea prin îndoire la rece, precum și analiza rezultatelor privind evaluarea preciziei unor serii de piese obiectiv.

Se prezintă concluziile finale și contribuțiile principale aduse de teza de doctorat la modelarea și evaluarea preciziei unor grupuri de produse prelucrate prin deformare plastică la rece în sisteme industriale, importanța științifică a tezei de doctorat, importanța practică a tezei de doctorat, precum și dezvoltarea grupurilor de produse și a tehnologiilor de fabricare industriale, în perspectivă, printr-o activitate de cercetare - dezvoltare continuă, complexă și profundă.

Legendă

Nr. crt.	Abrev.	Semnificație/ Significance
1	Ag.m.v	Grup de piese obiectiv
2	ASQC	Societatea Americană pentru Controlul Calității/ American Society for Quality Control
3	B	Lățimea semifabricatului primar
4	B ₀	Lățimea semifabricatului
5	CC	Quality Circles
6	C _{AC}	Costul alocat
7	C _C	Costul calității
8	C _{CAP}	Costul capitalizat
9	C _d	Costul defectărilor
10	C _D	Costul direct
11	C _{DL}	Costul direct al manoperei
12	C _{DLB}	Costul beneficiilor directe ale manoperei
13	CE	Costurile de evaluare
14	C _{EC}	Costul energiei
15	C _{ee}	Costurile defectărilor externe
16	C _{ei}	Costurile defectărilor interne
17	C _{G&A}	Costul general și de administrare
18	C _{IC}	Costul indirect
19	C _m	Costul fabricării produsului / Cost de toleranță
20	C _{MAT}	Costul materialului
21	CNC	Comandă numerică computerizată/ Computerized Numerical Control
22	C _p	Costurile de prevenire
23	C _{pi}	Centre de prelucrare
24	C _r	Costul redus
25	CR	Costul real
26	CST	Test de forfecare ciclică
27	d ₀	Coeficient al modelului costului de fabricație
28	d ₁	Coeficient al modelului costului de toleranță
29	EN	Normativ European / European Normative
30	EOQ	Organizația Europeană pentru Calitate
31	F	Forță de îndoire
32	g	Grosimea materialului
33	ISO	Organizația Internațională pentru Standardizare / International Organization for Standardization
34	JIT	Just In Time
35	l _{Ni}	Lungime nominală
36	l _{φc}	Lungimea arcului de cerc
37	L	Lungimea desfășuratei piesei/ fibrei neutre a unei piese

38	L_i / l_i	Lungimea segmentului de dreaptă (după caz)
39	L_0	Lungimea semifabricatului
40	$L_s / L_s(m)$	Lungimea semifabricatului (după caz)
41	$L_s(m)^r$	Lungimea de referință a semifabricatului
42	$L's$	Lungimea semifabricatului-test
43	L_{s0}	Lungimea medie a valorilor efective L_{sp}
44	L_{sp}	Lungime de valori efective
45	$L_t / L_t(m)$	Lungimea teoretică a desfășurării piesei/fibre neutre a unei piese (după caz)
46	m	Numărul de racordări (îndoiri) elementare ale piesei
47	M	Moment de încovoiere
48	QCC	Cercurile de Control ale Calității/ Quality Control Circles
49	r_c / r	Raza interioară a racordării (după caz)
50	r_N	Rază nominală
51	R_a	Rugozitatea suprafeței
52	s	Abaterea medie de sondaj /estimația abaterii standard
53	$Sg.m.v$	Serie de semifabricate efective
54	STD	Sistem Tehnologic de Debitare
55	STI	Sistem Tehnologic de Îndoire
56	STP-D	Sistem Tehnologic de Perforare și Decupare
57	t	Statistica de evaluare
58	t_{cr}	Valoarea critică a distribuției Student
59	T	Forță axială sau Grosimea materialului semifabricatului (după caz)
60	TCT	Test de întindere-compresiune
61	TQC	Controlul Calității Totale / Total Quality Control
62	$e/unit$	Unit testing
63	$u.m./buc.$	Unități monetare pe bucată
64	v	Numărul variantei experimentale din grup
65	WQC	Company Wide Quality
66	x	Coeficient de determinare a fibrei neutre în raport cu fibra interioară a racordării
67	$\Delta L / \Delta L(m)$	Abaterea tehnologică asociată semifabricatelor (după caz)
68	$\Delta L(m)^r$	Abaterea de referință
69	Δ_y	Lățimea limitei de specificație pentru caracteristica de calitate y
70	Y_s^r	Mărime de referință
71	φ_c	Unghiul la centru al arcului de cerc
72	σ_y	Abaterea standard a funcției de proiectare y
73	ρ	Raza arcului de cerc

Partea I.

Stadiul actual al cercetării – dezvoltării unor elemente privind calitatea produselor și prelucrările prin îndoire la rece

Capitolul 1. Elemente generale privind calitatea produselor și costurile calității

1.1. Conceptul de calitate

Termenul de calitate este definit ca fiind gradul în care un set de caracteristici intrinseci ale unui obiect îndeplinește cerințele [I01, T05].

Se poate nuanța faptul că un lucru perceptibil sau imaginabil, prin trăsăturile sale distinctive intrinseci, îndeplinește obligatoriu sau implicit anumite nevoi sau așteptări. *Caracteristicile intrinseci* sunt cele care există, adică nu sunt alocate. Astfel, de exemplu, prețul nu este o caracteristică de calitate. *Cerințele*, care sunt elemente cuprinse în cereri adresate, trebuie să fie formulate astfel încât să acopere toate nevoile asociate produsului sau serviciului care se creează. *Așteptările* sunt nevoi sau cerințe implicite, respectiv, nu sunt exprimate/ solicitate pentru că se subînțeleg, adică, se așteaptă ca personalul de vânzări să fie politicos, bunurile și serviciile să respecte legile relevante etc. Furnizarea de produse sau servicii este asociată cu trei parametri fundamentali care determină vânzările sau utilitatea acestora: *preț*, *calitate* și *livrare*. Cerințele clienților, privind solicitarea unui produs/ serviciu, se referă la raportul calitate-preț și la termenul de livrare. O organizație supraviețuiește dacă atrage și păstrează clienți mulțumiți. Prețul este o funcție de cost, marja de profit și forțele pieței, livrarea este o funcție a eficienței și eficacității organizației, iar calitatea este determinată de măsura în care un produs/ serviciu satisface cu succes nevoile și cerințele utilizatorului în timpul utilizării [T05].

Măsura în care un produs/ serviciu satisface nevoile/ cerințele/ așteptările este ilustrată în Fig. 1.1. Calitatea este o expresie a decalajului dintre standardul așteptat (nevoie, cerință) și standardul oferit; standardul oferit reprezintă nivelul de performanță al produsului/ serviciului considerat. Calitatea așteptată este realizată când standardul oferit coincide cu standardul așteptat. Când cele două standarde sunt decalate, există motive de nemulțumire și oportunități de îmbunătățire [T05].

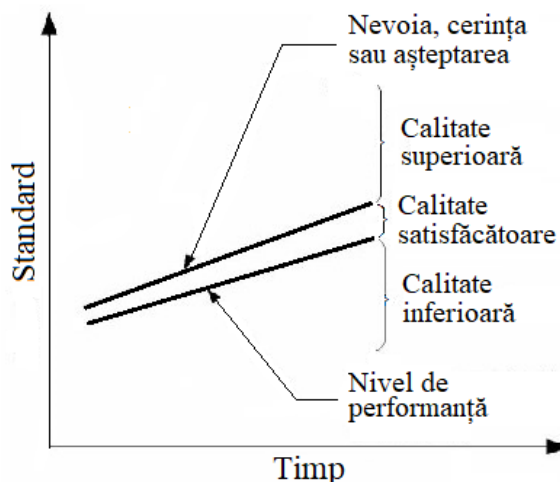


Fig. 1.1. Măsura în care un produs/ serviciu satisface nevoile/ cerințele/ așteptările (adaptare după T05)]

Caracteristicile intrinseci ale unui produs/ serviciu, create pentru a satisface nevoile/ cerințele/ așteptările clienților, sunt caracteristici de calitate; acestea sunt caracteristici fizice și funcționale, cum ar fi greutatea, forma, viteza, capacitatea, fiabilitatea, gustul etc. Prețul și livrarea nu sunt caracteristici intrinseci ale unui produs/ serviciu, ci sunt caracteristici atribuite, tranzitorii; impactul calității se menține mult timp după ce influențele prețului și livrării s-au atenuat. Caracteristicile de calitate care sunt definite într-o specificație tehnică sunt cerințe de calitate [T05].

Piața economică mondială se remarcă prin dinamism și schimbare în raport cu evoluția exigenței consumatorilor. Producătorii trebuie să situeze consumatorii în centrul atenției, prin identificarea, la momentul oportun, a schimbării preferințelor acestora.

În condițiile unei piețe active ce oferă spațiul necesar întâlnirii preferințelor consumatorilor cu producătorii, într-un mediu concurențial tot mai intens, ofertanții trebuie să găsească răspunsuri la întrebările: ce?, cât?, cum?, pentru cine?, de ce ? – să producă [A04].

Permanentă și fluctuantă tensiune între nevoile oamenilor și resursele limitate determină comportamente raționale diferite [A04]:

- comportamentul rațional al consumatorului îl determină să aleagă acel bun economic care să-i ofere satisfacție maximă cu minim de cheltuieli; practic, el compară utilitatea marginală a dozei suplimentare achiziționate cu prețul unitar (um/buc.).
- comportamentul rațional al producătorului îl provoacă să producă o cantitate cât mai mare de bunuri economice în limita resurselor pe care le deține pentru a obține maxim de profit.

În ambele situații se compară rezultatul obținut cu efortul depus. Calitatea produselor și a serviciilor, ca expresie a gradului de utilitate, conferă atât garanția unei activități productive de calitate (calitatea producției), cât și a unui personal angajat de excepție, ambele participând la dezvoltarea oricărei firme/ organizații. Conceptul de calitate a producției are o sferă largă de cuprindere, de la concepție, nivel tehnic, tehnologii de fabricație și până la rezultatele obținute, măsurate în calitatea produselor, ca expresie finală a calității proceselor de producție [B01].

1.2. Principiile managementului calității

Principiile managementului calității [I01, I02] reprezintă îndrumări pentru creșterea performanței în cadrul organizațiilor, benefice pentru industriile de producție și servicii, organizații non-profit etc.

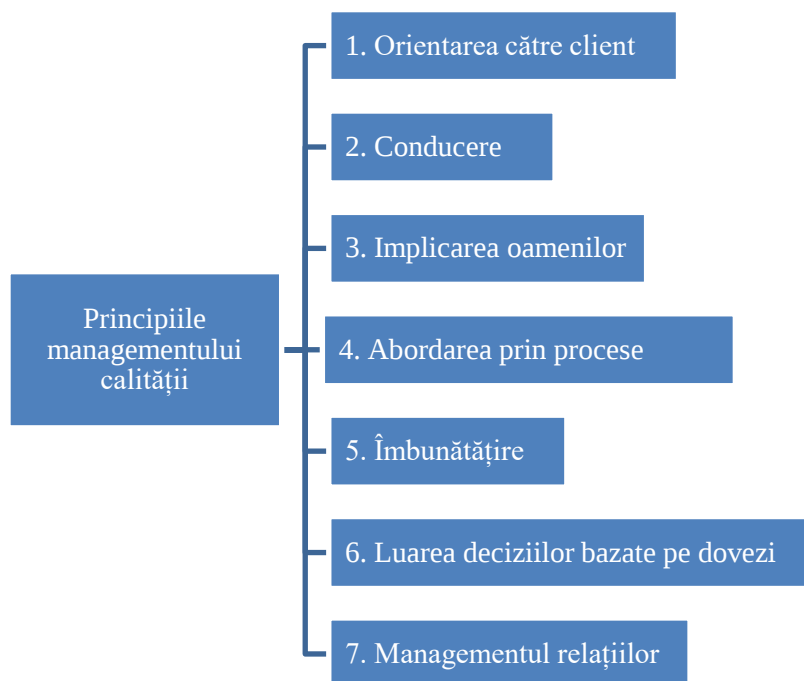


Fig. 1.2. Principiile managementului calității (pe baza [I01, P01, Q01])

Principiile managementului calității (Fig. 1.2) se referă la direcții de acțiune și rezultate care contribuie la creșterea performanței organizațiilor, dintre care se prezintă cele ce urmează [W01]:

orientarea către client (customer focus), în sensul că, în raport cu satisfacerea nevoilor clienților, fiecare organizație întreprinde acțiuni de cunoaștere a nevoilor și feedback-ului clienților, pentru a depăși așteptările acestora;

conducere (leadership), în sensul că managementul de top al organizației demonstrează angajament față de calitate, prin asigurarea unui mediu în care oamenii sunt implicați și motivați pentru a atinge obiectivele organizației;

implicarea oamenilor (engagement of people), respectiv, toate nivelurile organizației să fie implicate în sistemul de management al calității, astfel încât, oamenii competenți și împuterniciți sporesc capacitatea organizației de a crea și de a oferi valoare;

abordare prin procese (process approach), în sensul că un rezultat consistent și predictibil este mai eficient când activitățile sunt înțelese și administrate ca procese interconectate în sistem;

îmbunătățire (improvement), respectiv, organizațiile trebuie să își îmbunătățească continuu performanța generală, prin eforturi privind toate elementele sistemului și promovarea unei culturi a îmbunătățirii;

luarea deciziilor bazate pe dovezi (evidence-based decision making), în sensul că deciziile să se bazeze pe colectarea, analiza și evaluarea datelor și informațiilor relevante;

managementul relațiilor (relationship management), respectiv, organizația să își gestioneze relațiile cu furnizorii, partenerii și celelalte părți interesate, pentru a-și optimiza contribuția la performanța organizației.

Principiile managementului calității nu au o ordine de prioritate generală [I02]. Relevanța fiecărui principiu al calității este diferită de la o organizație la alta, se poate modifica în timp, în funcție de evoluția condițiilor specifice ale organizației care le implementează.

Principiul implicării oamenilor

Principiul *implicării oamenilor*, care se referă la faptul că implicarea oamenilor va permite ca abilitățile lor să fie valorificate în beneficiul organizației. Prin implicarea largă a oamenilor, se vor remarca rezultate pozitive importante, care includ: responsabilitatea de a rezolva problemele, identificarea de noi oportunități pentru îmbunătățirea competențelor, cunoștințele și experiența, creșterea schimbului de cunoștințe între grupuri și echipe, accent puternic pe crearea de valoare pentru clienți, nivel superior al satisfacției [Q01].

Industria 5.0, care reclamă dezvoltarea centrată pe om, completează progresele realizate în industria 4.0 cu elemente suport pentru activitatea oamenilor, în sensul îndepărtării de automatizarea excesivă. Aceasta permite oamenilor să intervină unde este necesar, prin gândire critică și adaptabilitate, în raport cu *precizia și repetabilitatea* sistemelor [W05].

Principiul abordării prin procese

Principiul *abordării prin procese*, care se referă la faptul că activitățile de afaceri sunt procese interdependente atât la implementare, cât și la întreținerea sistemului, implică mai întâi definirea proceselor și a rezultatului dorit care vor conduce, apoi, la: capacitatea de a identifica și măsura intrările și ieșirile procesului, capacitatea de a identifica interfețele procesului cu funcțiile organizației, evaluarea riscurilor potențiale și a consecințelor proceselor asupra clienților sau altor părți interesate, stabilirea autorității și responsabilităților pentru gestionarea procesului [Q01].

Abordarea prin procese oferă transparență, aduce eficiență sporită și rezultate consistente. În general, există un număr mare de procese: *procesul de proiectare, procesul de măsurare, procesul de audit intern, procesul de livrare, procesul de instruire, procesul de distribuție, procesul de comunicare cu clienții, procesul de monitorizare, procesul de trasabilitate, procesul de reclamații, procesul de cercetare a pieței* etc. Preluarea intrărilor și transformarea lor în ieșiri nu se întâmplă de la sine. Rezultatul unui proces devine adesea intrarea altuia. Chiar și procesele dintr-o afacere mică sunt numeroase și complexe. Utilizarea abordării procesului este o întreprindere grea. Sunt multe întâlniri, cu o mulțime de angajați, cu discuții și dezbateri, cu idei și puncte de vedere diferite. Este o muncă importantă care necesită angajament și energie. Gestionarea complexității prin diagrame este o modalitate utilă, care reduce texte ample [Q01].

Acțiunile specifice privind aplicarea principiului de *abordare prin procese* sunt următoarele: definirea obiectivelor sistemului, a proceselor necesare, a autorității responsabile pentru gestionarea acestora; stabilirea, în perioada de pregătire a acțiunilor și în raport cu nivelul capacității organizației, a resurselor și restricțiilor; evaluarea interdependenței proceselor și a efectului modificărilor proceselor; asigurarea că informațiile necesare sunt disponibile pentru operare, îmbunătățirea proceselor, monitorizare, analiza și evaluarea performanței sistemului general; gestionarea riscurilor care pot afecta acțiunile și rezultatele sistemului de management al calității [I06].

Principiul îmbunătățirii

Îmbunătățirea continuă, ca obiectiv al oricărei organizații, implică procesele, sistemele și angajații din întreaga organizație. Îmbunătățirile, incrementale sau inovatoare, reclamă evaluări periodice, pe baza unor criterii de excelență stabilite. Este necesar un set stabilit de măsuri și obiective pentru a urmări și ghida îmbunătățirile. Este important să fie posibilă recunoașterea îmbunătățirilor. Îmbunătățirea continuă este susținută prin activități de prevenire. Îmbunătățirea contează cu adevărat în cadrul eforturilor organizației de a satisface clienții, de a-și crește performanța [Q01].

Acțiunile specifice privind aplicarea principiului *îmbunătățirii* sunt următoarele: promovarea stabilirii de îmbunătățiri obiective la toate nivelurile organizației; formarea de oameni la toate nivelurile privind aplicarea instrumentelor și metodologiilor de bază pentru atingerea obiectivelor de îmbunătățire; asigurarea că oamenii sunt competenți pentru promovarea și finalizarea cu succes a proiectelor de îmbunătățire; dezvoltarea de procese pentru implementarea proiectelor de îmbunătățire în toată organizația; urmărirea, revizuirea și auditarea planificării, implementării, finalizării și rezultatelor proiectelor de îmbunătățire; integrarea considerentelor de îmbunătățire în dezvoltarea de bunuri noi sau modificate, servicii și procese; recunoașterea și aprecierea îmbunătățirilor.

Pentru a îmbunătăți calitatea conținutului informațional, o cercetare în condițiile industriale ale unei companii de fabricare a unor produse de tip echipament minier și de construcții propune personalizarea strategiilor de management pentru introducerea produselor în producția de volum redus [J01], respectiv:

- asigurarea unui plan de testare și verificare a producției;
- revizuirea rolului managementului introducerii produsului;
- dezvoltarea unui plan de coordonare a proiectării și producției;
- dezvoltarea unui plan de gestionare a noilor cunoștințe.

În cadrul studiului de caz realizat, se arată faptul că adaptarea și implementarea metodei de cercetare și dezvoltare la compania considerată, pentru a facilita îmbunătățirea calității conținutului informațional, a interfeței proiectare-produție, s-a desfășurat în trei etape cheie: pre-implementare, post-implementare și rafinare ulterioară. Rezultatele se pot aplica și la companii sau industrii cu producții de volum redus. Dar, se recomandă atenție la generalizarea rezultatelor către alte companii sau industrii [J01].

Industria 5.0 reclamă proiectarea viitoarelor infrastructuri de producție prin *modelare* și *dezvoltare* capabile să cuprindă complexitatea interacțiunilor [G02].

În Industria 5.0, strategiile avansate de control sunt orientate pentru *precizie*, care devine crucială pe măsură ce producția devine din ce în ce mai complexă, iar o arie strategică de perspectivă este *fabricarea cu defecte zero* [R02].

1.3. Costurile calității

1.3.1. Categoriile de costuri ale calității

Studiile și analizele efectuate în diverse organizații, au relevat importanța costurilor calității, alocând acestora 5 – 40 % din cifra de afaceri. Costurile calității au devenit astfel un instrument de optimizare a proceselor și activităților importante în obținerea calității produselor, dar și un excelent indicator de evaluare a eficienței managementului din organizație. Costurile calității nu reprezintă neapărat măsura absolută a performanțelor unei firme dar, prin intermediul lor, se pot identifica activitățile ineficiente și punctele critice ale proceselor aflate în plină desfășurare. Prin acțiuni corective și de îmbunătățire a activităților ce se desfășoară în diferite sectoare ale organizației, se asigură urmărirea și evaluarea dinamică a eficienței măsurilor care s-au aplicat [F01].

Pentru prima dată în anul 1946, compania “General Electric” a introdus sistemul de management bazat pe costurile calității. În anul 1953, la cel de-al VII-lea Congres al ASQC au fost definite costurile calității, respectiv:

- costurile datorate rebuturilor;
- costurile de remediere a produselor;
- costurile inspecțiilor și a testelor efectuate;
- costurile deficiențelor constatate de consumatori;
- costurile asigurării calității incluzând și programele de instruire în domeniul calității;
- costurile aferente auditului calității produselor;
- controlul și analiza statistică.

Organizația Europeană pentru Calitate definește costurile calității ca reprezentând cheltuielile datorate activităților de prevenire și de evaluare precum și pierderile cauzate de defectele interne și externe [A05].

Elemente fundamentale privind calitatea, organizația, proiectele etc., care includ referiri la constrângerile de timp, cost și resurse se prezintă în standardul EN ISO 9000:2015 [I01].

Joseph Moses Juran abordează pe larg problematica costurilor calității în lucrarea “Quality Control Handbook” și le grupează în 11 categorii. În concepția acestuia, primele trei categorii de costuri intră în categoria mare de definirea și proiectarea unor produse corespunzătoare pentru utilizare (*fitness for use*). Celelalte grupe de costuri, de la 4 la 11, sunt costuri de asigurarea conformității cu specificațiile (*conformance to specification*), definite pe baza studiilor de piață. Aceste costuri să fie definite în termeni tehnici, sub forma specificațiilor [B07].

Armand Vallin Feigenbaum a introdus și a definit conceptul Total Quality Control (TQC) ca pe un sistem ce însumează eforturile din toate compartimentele întreprinderii (marketing, inginerie, producție și service). Realizarea, menținerea și îmbunătățirea calității în condiții de eficiență, reprezintă scopul satisfacerii totale a clientului. Se propun patru categorii de costuri și face distincția între costurile de defectare internă și costurile de defectare [A05]: costuri de prevenire; costuri de evaluare și control; costuri de defectare internă; costuri de defectare externă.

La recomandarea ASQC, cele patru categorii de costuri au fost acceptate de marea majoritate a întreprinderilor. Astfel, a apărut un sistem de gestiune a costurilor calității pe baza celor trei aspecte evidențiate de Feigenbaum [A05]: cerințele consumatorului determină calitatea; toți sunt răspunzători pentru calitate, începând cu conducerea de vârf a întreprinderii și până la ultimul angajat; toate compartimentele întreprinderii, nu numai producția, participă la realizarea calității.

Philip B. Crosby, fondator al Quality College Florida, afirmă că ceea ce costă este non-calitatea în timp ce calitatea nu costă (*quality is free*). Totodată Crosby este inițiatorul conceptului zero defecte, singurul nivel acceptabil al calității. În opinia lui Crosby, totul trebuie bine făcut de prima dată și de fiecare dată, iar măsura calității nu este oferită de indicatori, ci de prețul neîndeplinirii [P14].

Defectele au două cauze principale: nivelul inefficient de cunoștințe și neatenția [A05].

Philip B. Crosby înlocuiește termenul de cost cu cel de preț și definește prețurile conformității și neconformității, respectiv:

- prețul conformității, care include toate cheltuielile necesare pentru asigurarea conformității produsului cu cerințele, cuantificabile și necuantificabile;
- prețul neconformității, care include toate cheltuielile datorate faptului că produsul nu este conform cu cerințele, cuantificabile și necuantificabile.

Kaoru Ishikawa, o autoritate incontestabilă în domeniul calității din Japonia, a dezvoltat teoriile experților americani, precum Juran, Deming și Feigenbaum, și a continuat să promoveze ideea că toate compartimentele și toți salariații dintr-o întreprindere trebuie să participe la realizarea calității datorită aplicării unui management participativ. Ishikawa a contribuit la dezvoltarea managementului calității și a emis teoria Cercurilor de control ale calității QCC, devenite mai apoi Cercurile calității, cu o largă răspândire în Japonia [I03]. Astfel fluxul informațional este în dublu sens, între: grupurile participative de primul nivel (comitetul strategic); grupurile de progres de la al doilea nivel (persoane cheie ale întreprinderii); cercurile calității pe al treilea nivel.

Referitor la conceptul Total Quality Control (TQC), Ishikawa a prezentat elemente privind componentele de bază (Fig. 1.3), din care se pot rezuma câteva idei importante [I03, S04]: calitatea este mai importantă decât obținerea imediată a unui profit; orientarea politicii calității să se realizeze înspre client și nu spre producător; desființarea barierelor între compartimente și internalizarea relației client-furnizor; utilizarea metodelor statistice; promovarea unui management participativ.

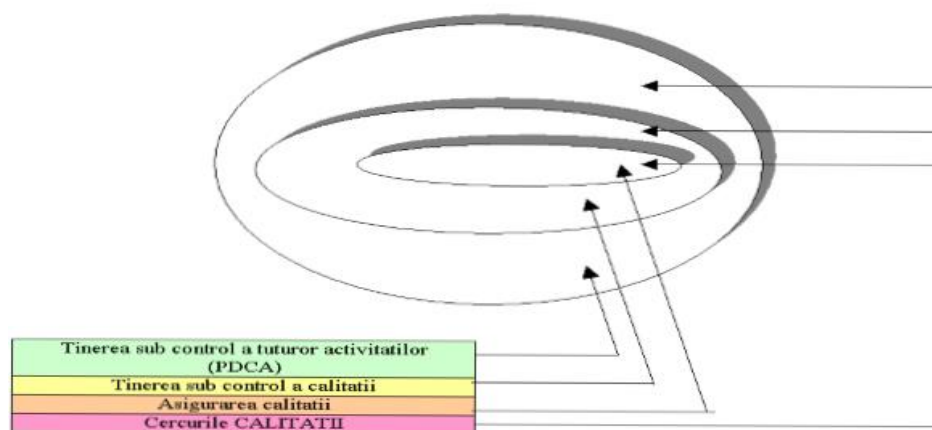


Fig. 1.3. Componentele de bază ale TQC (adaptare după [I03])

1.3.2. Costuri ale calității utilizate în practica economică

Cauzele care determină apariția costurilor calității se prezintă în Tabelul 1.1.

Tabelul 1.1 (Adaptare după [R01])

Nr. crt.	Costurile calității	Cauzele apariției costurilor calității
1	Costurile de prevenire	☞ Definirea produselor și proceselor. ☞ Elaborarea documentelor referitoare la managementul calității și la sistemul calității (planurile calității, manualul calității, procedurile sistemului calității). ☞ Programe de îmbunătățire a calității. ☞ Sensibilizarea, motivarea și instruirea personalului în domeniul calității. ☞ Evaluarea furnizorilor. ☞ Analiza comparativă a calității cu cea a firmelor concurente. ☞ Auditul calității. ☞ Ținerea sub control a proceselor (Aplicarea metodelor de control statistic). ☞ Etalonarea echipamentelor. ☞ Implementarea unui sistem al calității. ☞ Alte măsuri ce vizează asigurarea calității.
2	Costurile de evaluare	✓ Inspecțiile și încercările materialelor respectiv a produselor achiziționate. ✓ Inspecțiile și încercările pe fluxul de fabricație. ✓ Recepția produselor finite. ✓ Achiziționarea și întreținerea echipamentelor de inspecție. ✓ Documentația referitoare la inspecții, documentări. ✓ Analiza datelor obținute prin inspecții și documentări. ✓ Salariile personalului care realizează inspecțiile și încercările. ✓ Materialele și produsele distruse cu ocazia efectuării încercărilor.

3	Costurile defectărilor interne	☒ Rebuturile. ☒ Remedieri, recondiționări și reparații. ☒ Produse declassate. ☒ Analiza defectărilor pentru stabilirea cauzelor acestora. ☒ Pierderile de timp datorate întreruperii procesului de producție. ☒ Pierderi de timp datorate conflictelor de muncă (cauze interne). ☒ Pierderi datorate absenteismului (din cauze interne). ☒ Neconformitatea materiilor prime, nedescoperită la recepția acestora. ☒ Operațiile suplimentare pentru sortarea componentelor în vederea separării acestora de cele neconforme. ☒ Neutilizarea completă a capacității de lucru.
4	Costurile defectărilor externe	☒ Reclamațiile clienților (personal, teste, expertize). ☒ Produsele returnate de către beneficiari (transport, inspecție, depozitare). ☒ Primele de asigurare pentru a acoperi răspunderea juridică a întreprinderii față de beneficiar. ☒ Despăgubiri pentru daune. ☒ Penalizări datorate întârzierii livrărilor. ☒ Asigurarea service-ului în perioada de garanție și post-garanție. ☒ Înlocuirea produselor/ serviciilor în perioada de garanție. ☒ Pierderea unor clienți. ☒ Reduceri de preț.

La nivel mondial, există o tendință de regrupare a costurilor calității [R01]. Astfel, costurile conformității sunt:

- o costurile de prevenire (C_p), generate de preîntâmpinarea apariției defectărilor;
- o costurile de evaluare (C_e), generate de activitățile de încercări, inspecții și examinări pentru verificarea conformităților;

iar costurile neconformității includ:

- o costurile defectărilor interne (C_{ei}), rezultate în urma corectării tuturor neconformităților descoperite înainte de livrarea produselor la beneficiari;
- o costurile defectărilor externe (C_{ee}) sau costuri datorate corectării neconformităților descoperite după livrarea produselor la beneficiari.

Expresia bănească a situației statice și dinamice a costurilor calității produselor este indicată în bilanțul costurilor calității. Acest instrument este utilizat în managementul calității. El oferă posibilitatea direcționării activităților de asigurare a calității în sensul reducerii semnificative a diferenței între costul real (CR) al produsului/serviciului și costul redus (Cr) al acestuia [R01].

Costul calității (C_c) este valabil dacă în realizarea bunurilor/serviciilor nu ar exista vreun serviciu sub standarde sau defect de fabricație (rel.1.1) [R01],

$$C_c = CR - Cr = C_{ei} + C_{ee} + C_p + C_e = C_d + C_p + C_e \quad (1.1)$$

Bilanțul costurilor calității oferă date importante în analiza costurilor calității [R01], respectiv:

- analiza comparativă a diferitelor categorii de costuri ale calității și ponderea acestora în costurile totale (analiza pe orizontală);

- analiza evoluției costurilor calității pe total și pe categorii de costuri (analiza pe verticală).

Se recomandă ca aceste analize și interpretări ale costurilor calității să se realizeze pe termen lung, pentru a se observa evoluția lor în timp. În dinamică, analiza costurilor calității permite evidențierea interdependenței dintre categoriile de costuri, respectiv, dintre acestea și costurile totale.

Determinarea costurilor calității este dificilă din mai multe considerente [R01]:

- în contabilitatea firmei aceste costuri nu se pot evidenția;
- unele costuri privind calitatea nu se pot cuantifica, ele fiind doar estimate;
- între momentul apariției deficienței și cel al depistării acesteia există un decalaj;
- în momentul utilizării produsului/serviciului de către client, apar diverse defecte în perioada de garanție și post-garanție;
- există un ecart între momentul acțiunii preventive și momentul apariției defectului;
- depistarea și evaluarea costurilor calității implică și abordarea unor metode care să reducă numărul acestora, astfel încât să se poată oferi un produs/serviciu de calitate consumatorului.

1.3.3. Costuri de toleranță

Procesul de implementare a îmbunătățirii continue a calității include costul de fabricare - care reprezintă costul suportat înainte ca produsul să fie vândut clientului, precum și costul de garanție, respectiv, costul după ce produsul este vândut clientului, acesta fiind compus din elemente care reflectă cheltuieli de reparație sau înlocuire, pierderea vânzărilor viitoare, scăderea cotei de piață etc. [H01].

În ingineria fabricării și a calității, costurile de fabricare sunt modelate, frecvent, ca funcție de toleranța caracteristicilor de calitate ale produsului. Cu cât toleranța este mai mică, cu atât caracteristicile de calitate ale produsului sunt mai robuste. Dar, aceasta implică echipamente de prelucrare mai precise și operatori mai calificați, rezultând astfel costuri de fabricare mai mari. Costurile de toleranță asociate cu costurile de fabricare ajută întreprinderile să evalueze și să optimizeze strategiile de control al calității produselor [H01].

Costul fabricării unui produs depinde de mărimea valorilor caracteristice de calitate ale produsului care, la rândul lor, sunt legate de toleranța funcției de proiectare. Toleranța funcției de proiectare poate fi calculată pe baza abaterii standard a caracteristicilor de calitate ale produsului [H01]. Astfel:

$$C_m = d_0 + d_1 \Delta y \quad (1.2)$$

$$\Delta y = 3\sigma_y \quad (1.3)$$

unde: C_m reprezintă costul fabricării produsului/ cost de toleranță; d_0 și d_1 - coeficienții modelului costului de fabricare/ cost de toleranță; Δy - lățimea limitei de specificație pentru caracteristica de calitate y ; σ_y - abaterea standard a funcției de proiectare y .

1.3.4. Model de cost în condiții de fabricare cu zero defecte

Un model de cost pentru fezabilitatea investiției în tehnologiile de control al calității în condiții de *fabricare cu zero defecte*, este constituit din două componente majore, și anume cost direct, respectiv, cost indirect [L01].

Costul direct, C_D , este

$$C_D = C_{DL} + C_{DLB} + C_{EC} + C_{MAT}, \text{ în e/unit} \quad (1.4)$$

unde: C_{DL} reprezintă costul direct al manoperei; C_{DLB} - beneficiile costului direct al manoperei; C_{EC} - costul energiei; C_{MAT} - costul materialului.

Costul indirect, C_{IC} , este

$$C_{IC} = C_{CAP} + C_{AC} + C_{G\&A}, \text{ în e/unit} \quad (1.5)$$

unde: C_{CAP} reprezintă costul capitalizat; C_{AC} - costul alocat al procesului; $C_{G\&A}$ - costul general și de administrare.

Costurile defectărilor interne și externe scad dacă se măresc costurile prevenirii și costurile evaluării, asigurându-se un înalt nivel al calității, prin respectarea sintagmei costuri/calitate.

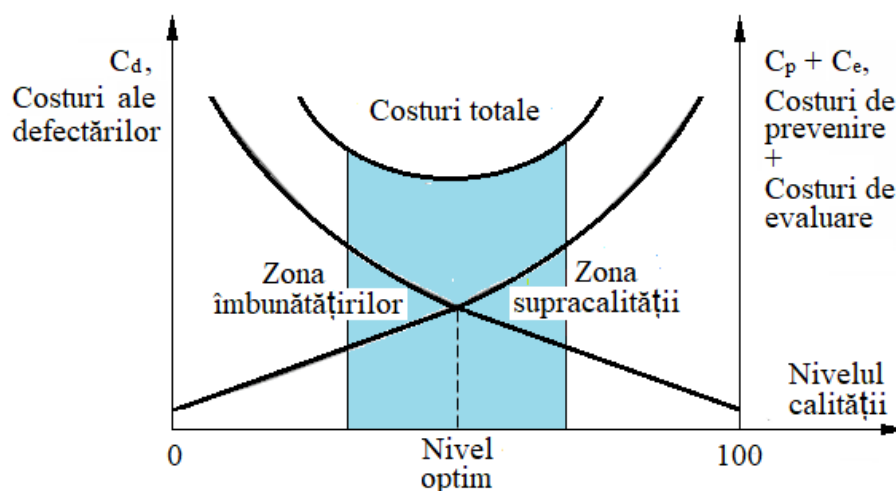


Fig. 1.4. Optimizarea costurilor calității (adaptare după [M01])

Evoluția costurilor defectărilor în funcție de nivelul calității (Fig. 1.4), evidențiază un punct de pe curba costurilor totale în care aceste costuri sunt minime. Corespunzător costului minim, nivelul calității este optim, formându-se zona calității acceptabile (zona colorată).

Capitolul 2. Categori, parametri de proces și elemente tehnologice privind prelucrările prin îndoire la rece

2.1. Categori de prelucrări prin îndoire la rece

Prelucrările prin îndoire la rece se execută pe mașini/ prese/ centre (press brakes/ centres), echipate cu diverse scule și dispozitive. Sculele sunt poansoane și plăci de îndoire (matrițe) de diferite forme și dimensiuni. Condițiile tehnologice de prelucrare se determină în raport cu proprietăți ale materialelor, dimensiuni de gabarit, toleranțe, condiții ergonomice, factori de cost, evitarea interferențelor dintre semifabricat/ piesa de prelucrat, scule și alte elemente (adaptare după [D03]).

Elemente privind sistemul tehnologic de prelucrare prin îndoire la rece în V se prezintă în Fig. 2.1, respectiv, elemente de tip: berbec (ram) și masă (table) ale mașinii, dimensiune post de lucru (station width), spațiu liber (free space), poanson de îndoire (punch), placă de îndoire (V – die), semifabricat (blank), piesă (bent part), unghi de îndoire (bend angle), unghi al plăcii de îndoire (V - die angle), deschidere/ lățime a plăcii de îndoire (V - die width), cursă a poansonului (punch displacement), coordonate (X, Y).

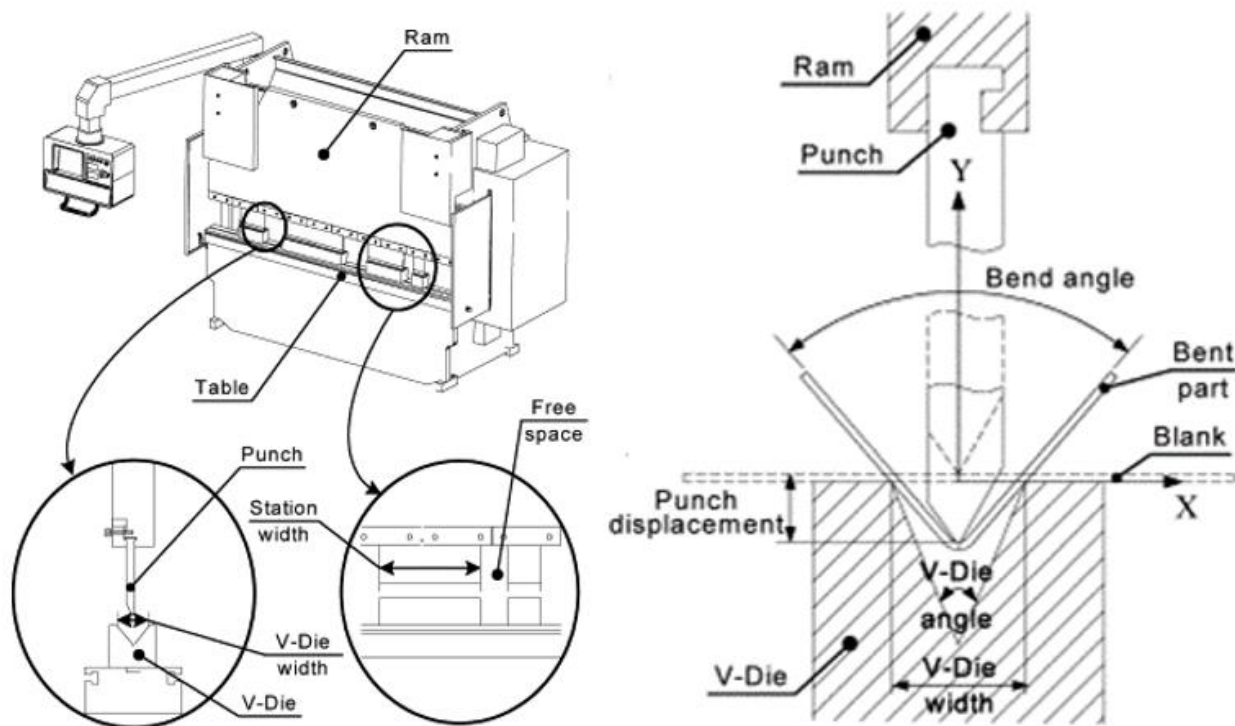


Fig. 2.1. Elemente privind sistemul tehnologic de prelucrare prin îndoire la rece (adaptare după [D03])

În cadrul unei scheme de îndoire, după cum se prezintă în Fig. 2.2, se disting: semifabricatul - definit prin caracteristici de material și geometrice, elemente active/ scule de tip poanson și placă activă, forță de îndoire etc. (adaptare după [C02])

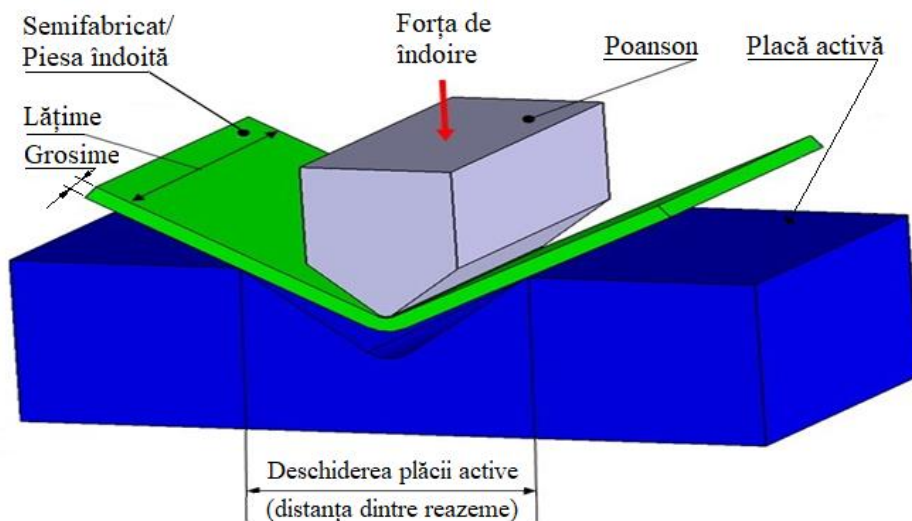


Fig. 2.2. Elemente ale unei scheme de îndoire (adaptare după [C02])

Procedeele de îndoire în V reprezentative sunt îndoirea în V liberă (V – air bending) și îndoirea în V cu calibrare/ de precizie (V - bottom bending), cu schemele de prelucrare asociate ilustrate în Fig. 2.3 și, respectiv, Fig. 2.4, unde sunt evidențiate elementele: poanson (punch), placă activă/ de îndoire (die), viteza de lucru (v), forța de îndoire (F). semifabricat (blank) și piesa îndoită (bent part).

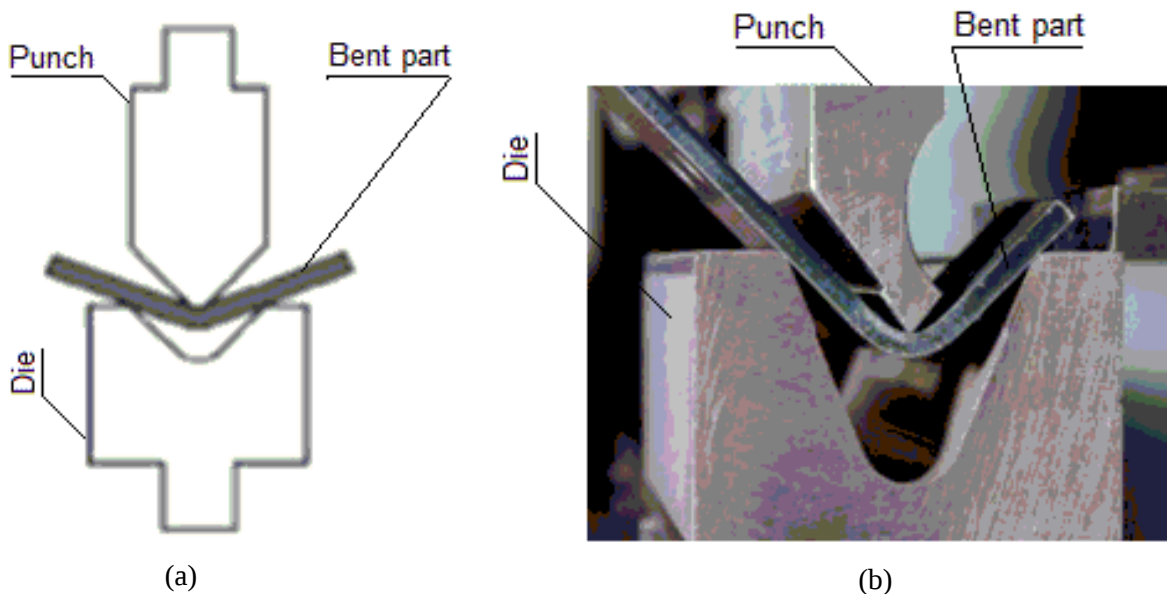


Fig. 2.3. Elemente privind îndoirea în V liberă (a, b) (adaptare după [A06])

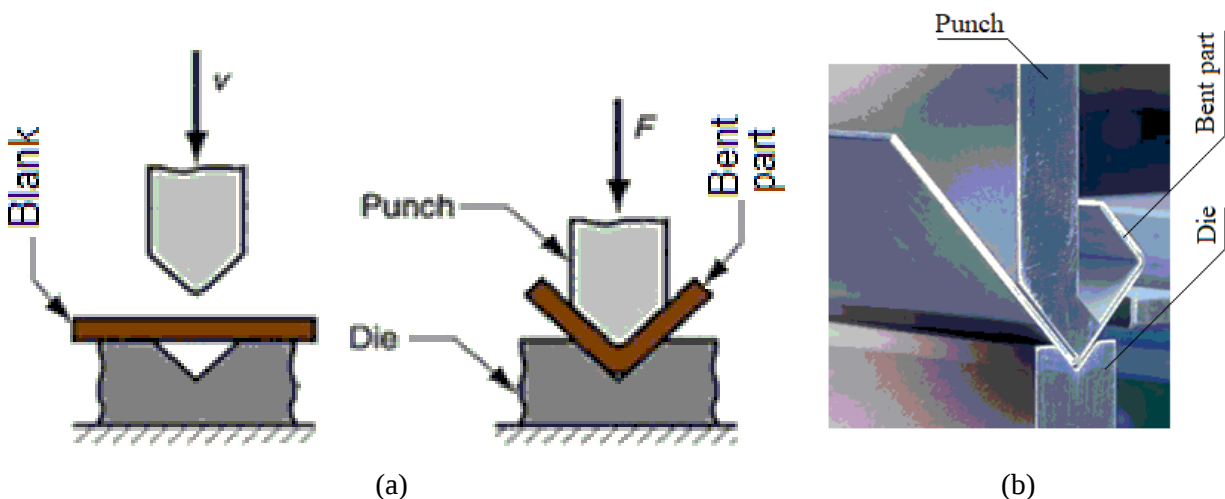


Fig. 2.4. Elemente privind îndoirea în V cu calibrare/ de precizie (adaptare după [I04, W02])

Se subliniază următoarele: îndoirea în V liberă este un procedeu flexibil, care se aplică industrial pentru o gamă largă de materiale și grosimi ale semifabricatelor, cu valori reduse ale costurilor sculelor de prelucrare – dat fiind că o aceeași sculă se poate utiliza la diferite operații, cu reglări care conduc la reveniri elastice controlabile; îndoirea în V cu calibrare/ de precizie, la care piesa de prelucrat este apăsată complet pe placa de îndoire, se aplică industrial pentru prelucrarea unor piese de precizie ridicată, precum și pentru realizarea unei durificări superficiale a materialului [A06].

O schemă de prelucrare prin îndoire în L de margine (edge bending) este ilustrată în Fig. 2.5 (a) unde sunt evidențiate elementele: poanson (punch), placă activă (die), fixator/ tampon de presiune (pressure pad), viteza de lucru (v), forța de fixare a semifabricatului (F_h), forța de îndoire (F) [I04]. Se subliniază că îndoirea în L de margine este un procedeu care se aplică industrial pentru realizarea unor margini îndoite, după cum se exemplifică în Fig. 2.5 (b).

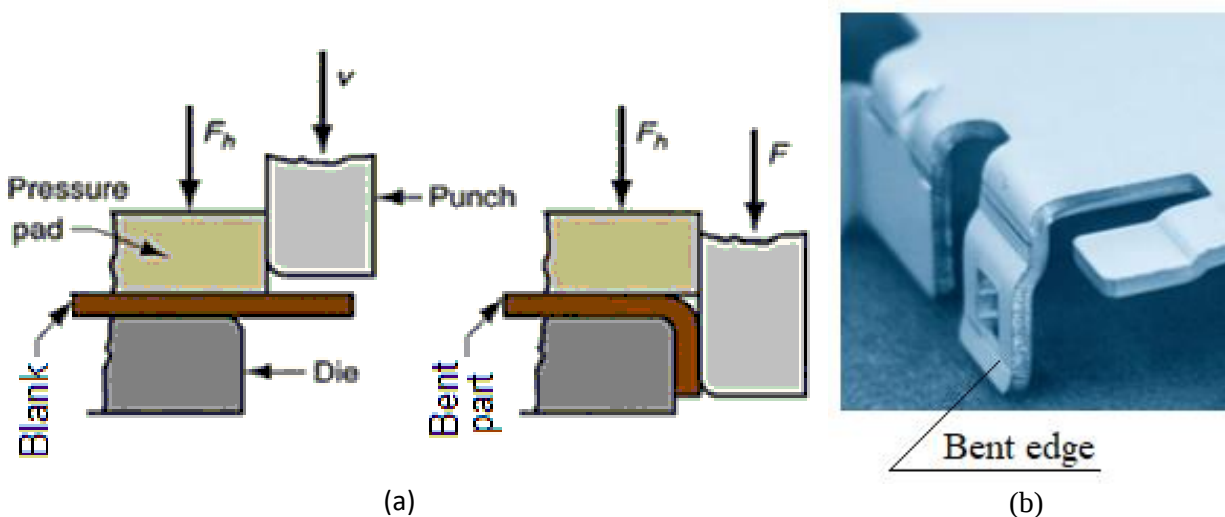


Fig. 2.5. Elemente privind îndoirea în L de margine (a) și partea unei piese cu margine îndoită (bent edge) – prin îndoire în L de margine (b) (adaptare după [I04] și, respectiv, [N01])

Analiza unor scheme de îndoire în L, Z, U, V, după cum se prezintă în Fig. 2.6, respectiv, îndoire în L (a1, a2), îndoire în Z (b1, b2), îndoire în U (c1, c2, c3), îndoire în V cu flanșă (d), reliefează sculele de îndoire de tip poanson (punch) și placă de îndoire (die), precum și următoarele caracteristici: la îndoirea în L (a1, a2), se disting îndoire L sus (Up L-bend) și, respectiv, îndoire L jos (Down L-bend); la îndoirea în Z (b1, b2), adâncimea treptei este limitată, pentru a evita fisurări în zonele îndoite; la îndoirea în U jos (c1, c2) se utilizează două poansoane, iar la îndoirea în U sus (c3) – un poanson; la îndoirea în V cu flanșă (d), se utilizează două poansoane, unul pentru presarea semifabricatului (realizarea flanșei), iar celălalt – pentru îndoirea în V (adaptare după [L04]).

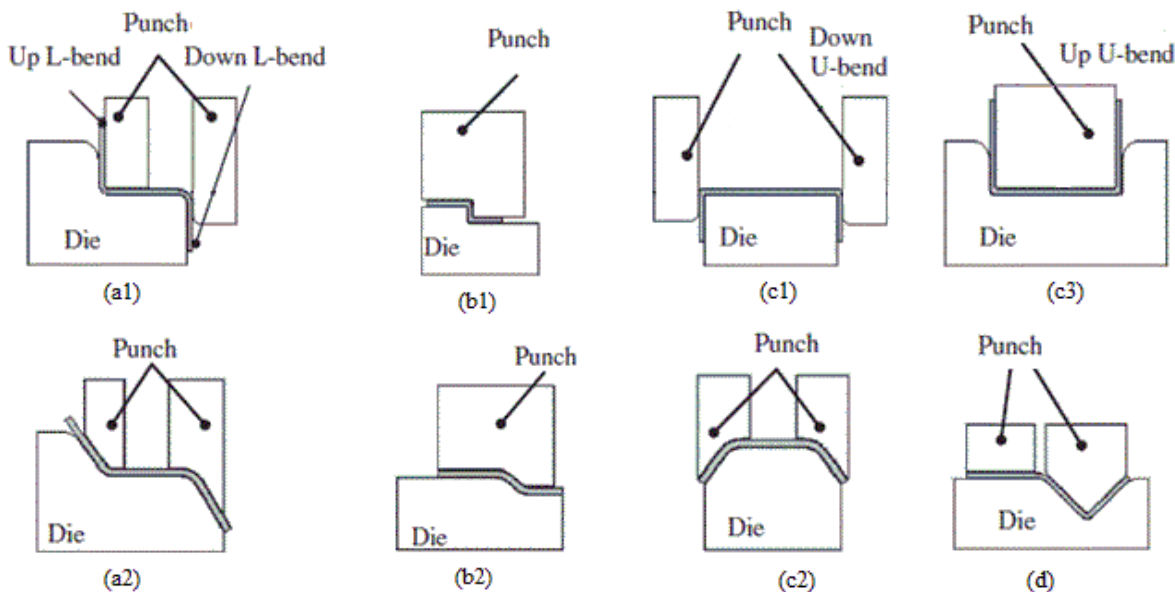
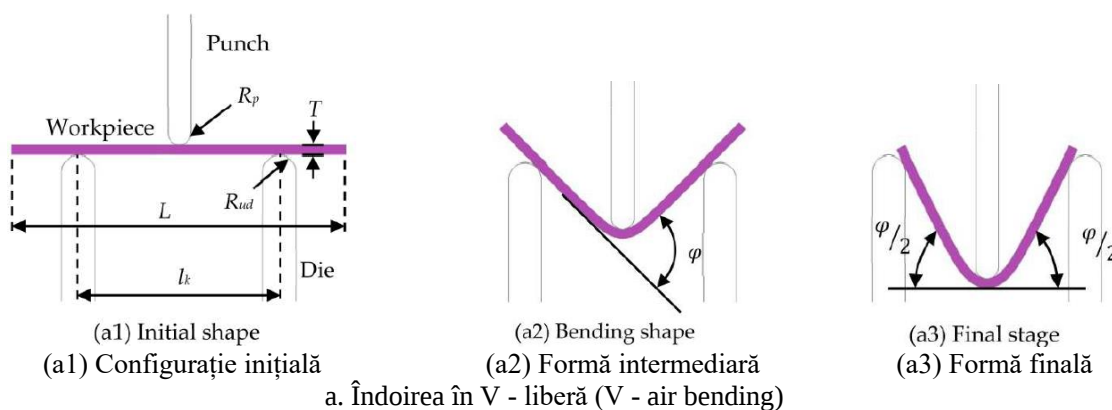


Fig. 2.6. Elemente privind îndoirea în L (a1, a2), îndoirea în Z (b1, b2), îndoirea în U (c1, c2, c3), îndoirea în V cu flanșă (d) (adaptare după [L04])

2.2. Forța de îndoire

Pentru calculul forței de deformare la prelucrarea prin îndoire s-au dezvoltat diferite formule care au la bază teoria îndoirii, dar care sunt insuficiente pentru a prezice forța de îndoire reală. Se propune o nouă formulă pentru calculul forței de deformare la prelucrarea prin îndoire în V, forța de îndoire în V, în care deformarea este considerată într-o zonă mai largă, pe baza unei cercetări care cuprinde simulare cu element finit și experimente de laborator [D02]. O serie de elemente privind condițiile de cercetare se prezintă în Fig. 2.7 și Tabelul 2.1.



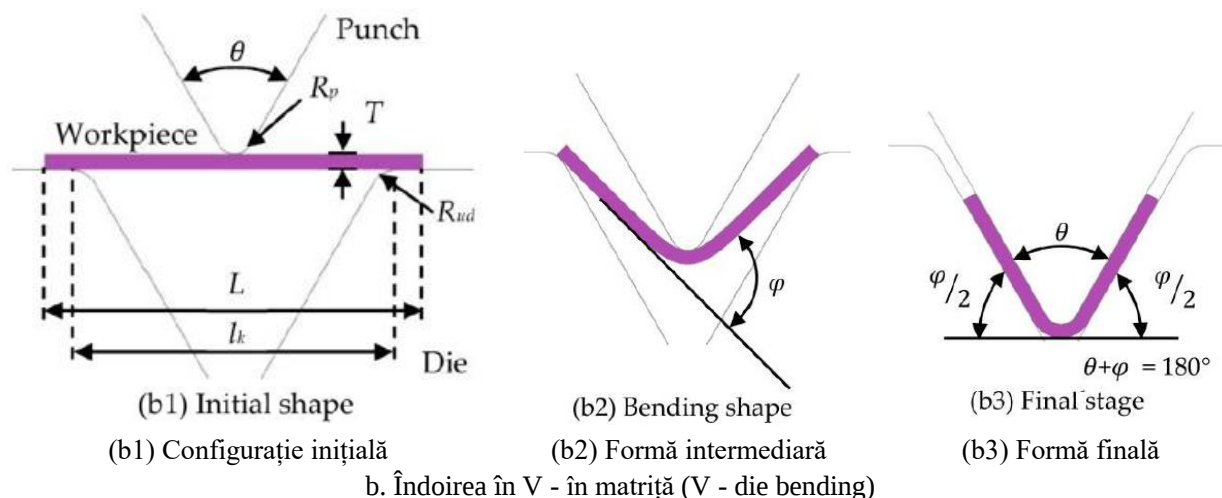


Fig. 2.7. Elemente privind îndoirea în V: semifabricat (workpiece); placă activă (die); poanson (punch); parametrii T , L , l_k , R_p , R_{ud} , θ , φ - semnificațiile din schițe (adaptare după [D02])

Tabelul 2.1. Elemente privind condițiile de cercetare (adaptare după [D02])

Semifabricat				Scule de îndoire
Material	AA1100-O (aliaj de Al/ tablă)	SPCC (oțel cu %C mediu/ tablă)	Grosime, T ; Lățime, b ; Lungime, L	Raza de racordare a poansonului, R_p ; Unghiul la vârf al poansonului, θ ; Raza de racordare a plăcii active, R_{ud} ; Viteza poansonului, v
Limita de curgere, σ_Y (MPa)	88	208	T : 2 – 6 mm; b : 30 mm; L : 70 mm	R_p : 3 - 30 mm; θ : 30 - 150°; R_{ud} : 5 mm; v : 5 mm/min
Rezistența maximă la rupere, σ_{uts} (MPa)	92,5	346		
Modulul de elasticitate, E (MPa)	68 900	208 000		

Expresia forței de îndoire în V, dezvoltată în condițiile de mai sus [D02], este

$$F_b = \frac{4m\sigma_{uts}\frac{bT^2}{4}\cos^2\frac{\varphi}{2}}{l_k - 2(R_{ud} + R_p + T)\sin\frac{\varphi}{2}} + 2\sigma_y(L_o b)\cos\frac{\varphi}{2} \quad (2.1)$$

unde: F_b este forța de îndoire în V (N); l_k – deschiderea plăcii de îndoire (mm); m – coeficient în funcție de duritatea materialului semifabricatului ($m = 1,6 - 1,8$); φ - unghiul de îndoire (grd); L_o - lungimea zonei de îndoire (mm); b , T , R_p , R_{ud} , σ_{uts} , σ_y - semnificațiile din Tabelul 2.1.

În cadrul aplicațiilor industriale se recomandă diferite relații de calcul al forței de îndoire. Astfel, la prelucrarea pe prese de îndoire (press brake/ abkant), pentru calculul forței de îndoire în V [H03], în condițiile din Fig. 2.8, se recomandă formula (2.2), respectiv,

$$F = \frac{R_m t^2}{V} \left(1 + \frac{4t}{V}\right) L \quad (2.2)$$

unde: F este forța de îndoire (N); R_m - rezistența maximă la rupere a materialului semifabricatului (N/mm^2); t și L – grosimea și, respectiv, lungimea semifabricatului (tip tablă) (mm); V - deschiderea plăcii de îndoire (mm).

Se recomandă ca valoarea minimă a deschiderii plăcii de îndoire să fie după cum se prezintă în Tabelul 2.2.

Tabelul 2.2. Deschiderea minimă a plăcii de îndoire [H03]

Grosimea semifabricatului (tip tablă/ bandă), t (mm)	0,5 – 2,5	3 - 8	9 - 10	peste 12
Deschiderea minimă a plăcii de îndoire, V (mm)	6t	8t	10t	12t

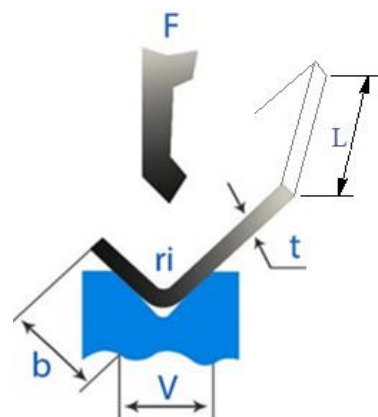


Fig. 2.8. Schemă a îndoirii în V (adaptare după [H03])

De asemenea, pentru calculul forței de îndoire în V [I05], se recomandă formula

$$F = \frac{K_{bf} T S w t^2}{D} \quad (2.3)$$

unde: F este forța de îndoire (N); TS - rezistența maximă la rupere a materialului semifabricatului (N/mm^2); t și w – grosimea și, respectiv, lățimea semifabricatului (tip tablă) (mm) - în direcția liniei de îndoire; V - deschiderea plăcii de îndoire (mm); $K_{bf} = 1,33$ la îndoirea în V și $K_{bf} = 0,33$ la îndoirea în V de margine.

Pentru determinarea forței de îndoire, proiectanții de matrițe utilizează ecuații simple [F02, S06] ca, de exemplu,

$$F = K S w t^2 / L \quad (2.4)$$

unde: F este forța de îndoire (N); K – factor de deschidere a plăcii active; S - rezistența maximă la rupere a materialului semifabricatului (MPa); t și w – grosimea și, respectiv, lățimea semifabricatului (tip tablă) (mm); L - deschiderea plăcii de îndoire (mm).

Se menționează că, în ec. (2.4), factorul de deschidere a plăcii active, K, variază în funcție de condițiile de îndoire; erorile de calcul sunt semnificative atunci când semifabricatul prezintă găuri sau tăieturi pe suprafețele de îndoire deoarece modelul de tensiuni nu este normal [F02].

La prelucrarea pe matrițe cu elemente active rigide [S01], la îndoirea în V liberă, forța de îndoire este

$$F = k B g \sigma_r \quad (2.5)$$

la îndoirea în U liberă, forța de îndoire este

$$F = 2,5 k B g \sigma_r \quad (2.6)$$

iar, la îndoirea cu calibrare sau la prelucrările prin îndoire pentru care nu sunt stabilite formule specifice, forța de îndoire este

$$F = q A \quad (2.7)$$

unde: F este forța de îndoire (N); k - coeficient de influență; B și g - lățimea și, respectiv, grosimea semifabricatului (tip tablă) (mm); σ_r - rezistența la rupere a materialului semifabricatului (daN/mm^2); q - presiune de calibrare/ îndoire (N/mm^2); A – aria suprafeței piesei de sub poanson care urmează să fie calibrată/ îndoită (mm^2).

În ec. (2.7), funcție de calitatea materialului, grosimea g etc., valoarea coeficientului k este de 0,23 – 0,053, iar valoarea presiunii q este de 10 – 100 (N/mm²); după caz [S01].

La îndoirea pieselor care prezintă alezaje în zona de îndoire (Fig. 2.9), forța de îndoire este mai mică decât în cazul pieselor fără alezaje [F02], respectiv

$$F = F_{perfect} \alpha \left(\frac{t}{Rh} \right)^{We} \quad (2.8)$$

unde: F este forța de îndoire (N); $F_{perfect}$ este forța de îndoire în cazul piesei fără alezaje (N); α – factor de unghi; t – grosimea semifabricatului (tip tablă) (mm); Rh – raza alezajului (mm); We – diferența dintre lățimea semifabricatului și dimensiunea alezajului (mm).

Se menționează că, în ec. (2.8), factorul de unghi, α , are valori de 0,7 – 1, când diferența dintre unghiul plăcii active și unghiul poansonului variază de la valoare semnificativă la zero [F02].

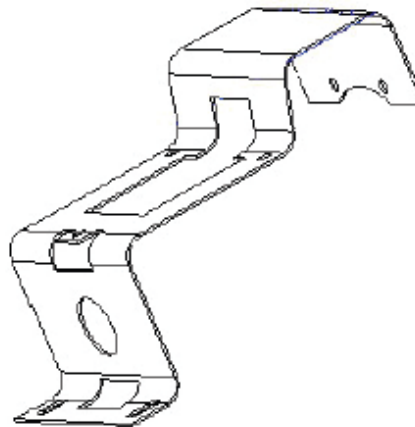


Fig. 2.9. Exemplu de piesă cu alezaje în zona de îndoire [F02]

2.3. Starea de tensiune și revenirea elastică la îndoire

În procesele de deformare plastică la rece, semifabricatele de tip tablă sunt solicate la sarcini multiaxiale. Îndoirea este prelucrarea de bază care acoperă diferite stări de sollicitare de la stările de deformare uniaxiale la cele plane. Starea de efort în partea centrală a zonei de îndoire este apropiată de starea de deformare plană, iar partea de margine este aproape de starea uniaxială. Stările de întindere și de compresiune sunt corespunzător distribuite pe părțile exterioare și interioare ale semifabricatului. Comportamentul asimetriei compresiune - tracțiune este specific materialelor avansate, cum ar fi oțelul avansat de înaltă rezistență - QP980, DP980 etc. Revenirea elastică depinde de caracteristicile materialului semifabricatului [H04, Z01, Z02]. O serie de elemente relevante sunt după cum urmează.

Pentru evaluarea revenirii elastice la prelucrarea prin îndoire în U, se aplică un test, pe o platformă experimentală și în condiții specifice [Z02]. Unele caracteristici ale semifabricatului, sculelor și regimului de lucru se prezintă în Tabelul 2.3 și, respectiv, Fig. 2.10.

Tabel 2.3. Caracteristici ale semifabricatului
(adaptare după [Z02])

Material	Caracteristici geometrice	
	Grosime, mm	Lățime x lungime, mm
QP980 (0.20 % C; 2,4 % Mn; 1,31 % Si)	1,2	25 x 200
DP980 (0.15 % C; 2,5 % Mn; 0,31 % Si)	1	

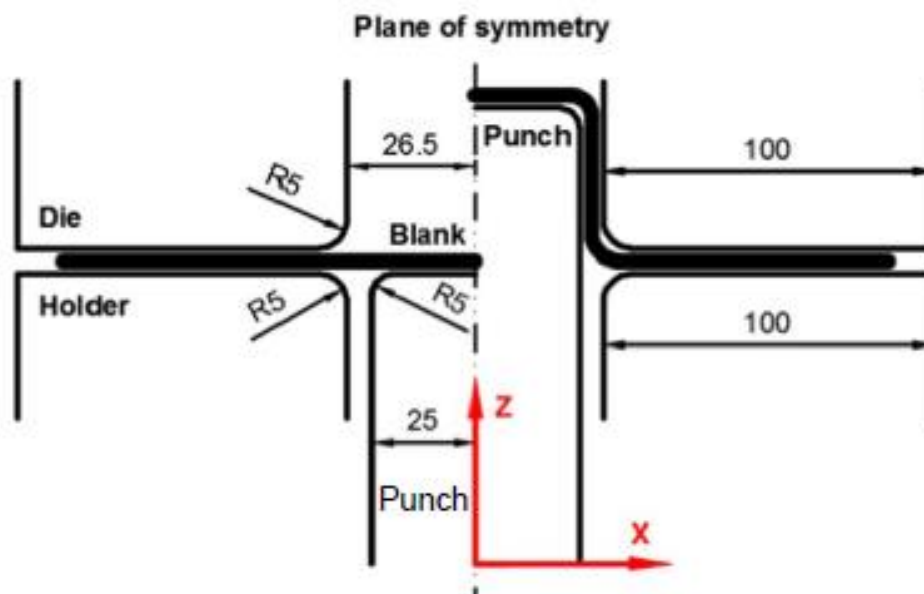


Fig. 2.10. Elemente și dimensiuni ale echipamentului de îndoire în U: fixator (holder), poanson de îndoire (punch), placă de îndoire (die); lubrifiere: ulei pe suprafețele epruvetei și sculelor; viteza de lucru a poansonului: 5 mm/s, cursa de lucru: 60 mm [Z02]

Rezultatele privind revenirea elastică a epruvetelor deformate se prezintă în Fig. 2.11.

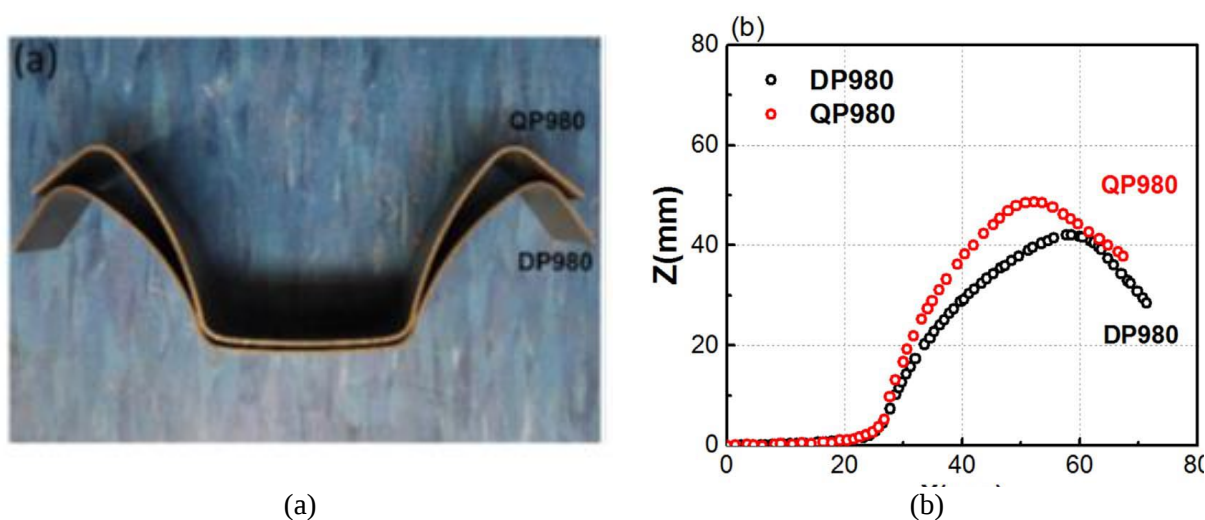


Fig. 2.11. Epruvete deformate prin îndoire în U, cu revenire elastică (a) și dimensiuni măsurate ale profilului efectiv (b) [Z02]

Se evidențiază faptul că rezultatele testelor de întindere – compresiune (TCT) și ale testelor de forfecare ciclică (CST) sunt utile pentru predicția revenirii elastice a materialului din procesele de deformare plastică la rece, dar la materialele cu un grad ridicat de rezistență la deformare, predicția revenirii elastice este mai complexă [Z02].

De asemenea, distribuția stării de tensiune în zona de curgere la îndoirea în V, la diferite stadii ale solicitării de pe suprafețele interioară și exterioară [Z01] se prezintă în Fig. 2.12.

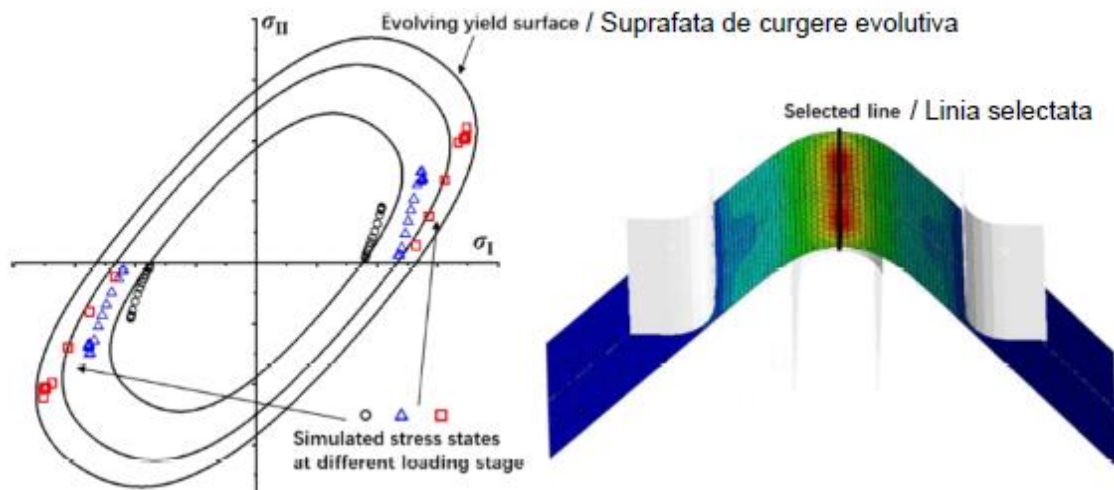


Fig. 2.12. Distribuția stării de tensiune în zona de curgere la îndoirea în V, la diferite stadii ale solicitării de pe suprafețele interioară și exterioară ale liniei selectate [Z01]

Materialul prelucrat suferă, în zona de îndoire, forțe/ tensiuni/ deformații de întindere ale suprafeței exterioare și forțe/ tensiuni/ deformații de compresie ale suprafeței interioare. La o supraîncărcare de energie peste capacitatea materialului, încep să se formeze fisuri pe suprafața exterioară [I04]. Alungirea relativă pe suprafața exterioară este dată de ecuația

$$e = \frac{1}{\frac{2R}{T} + 1} \quad (2.10)$$

unde: e este alungirea relativă, T - grosimea materialului (mm), iar R - raza de raordare (mm).

Raza minimă de îndoire, care se poate realiza în timpul îndoirii [I04], este dată de ecuația

$$\frac{R_{min}}{t} = \frac{1}{2r} - 1 \quad (2.11)$$

unde: R_{min} este raza minimă de îndoire (mm), t este grosimea materialului (mm), iar r – reducerea relativă a ariei secțiunii transversale a zonei îndoite.

Anumite materiale permit o rază minimă de valoare zero, adică faptul că un material poate fi pliat pe el însuși, care se realizează la o reducere cu 50% a ariei secțiunii zonei de îndoire [I04]. Solicitarea materialului la întindere – compresie în timpul procesului de îndoire este ilustrată și de structura metalografică a zonei îndoite a semifabricatului [H05], după cum se prezintă în Fig. 2.13.

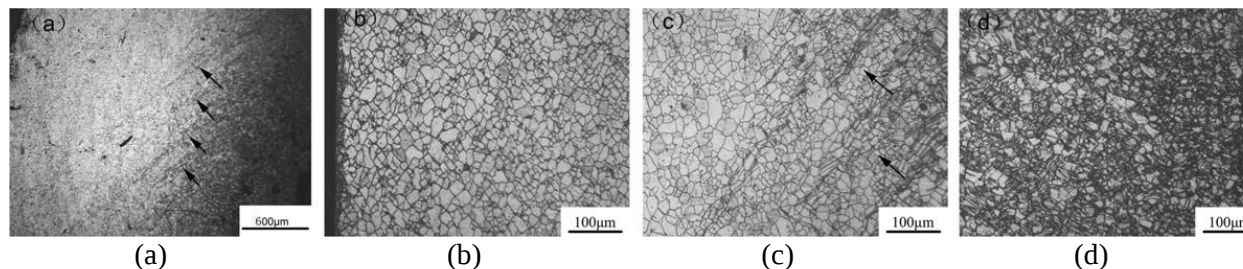


Fig. 2.13. Structura metalografică în zona îndoită a semifabricatului, corepunzător în: întreaga grosime (a), regiunea exterioară (b); regiunea mijlocie (c); regiunea interioară (d) [H05]

La prelucrarea prin îndoire, se produc deformări elastice și plastice ale semifabricatului.

Când forța exterioară ce acționează tangențial pe suprafața semifabricatului supus deformării depășește limita de elasticitate a materialului, se produce o deformare plastică. Deformarea plastică la rece se realizează la temperaturi inferioare de recristalizare și este urmată de fenomenul de ecruisare, care conduce la creșterea rezistenței la deformare plastică și scăderea plasticității. Densitatea maximă de atomi din structura cristalină a zonei deformate plastic la rece produce o deplasare ireversibilă a atomilor (direcții de alunecare). Atomii din zona deformată plastic la rece vor ocupa noi poziții de echilibru (v. Fig. 2.14) [L08].

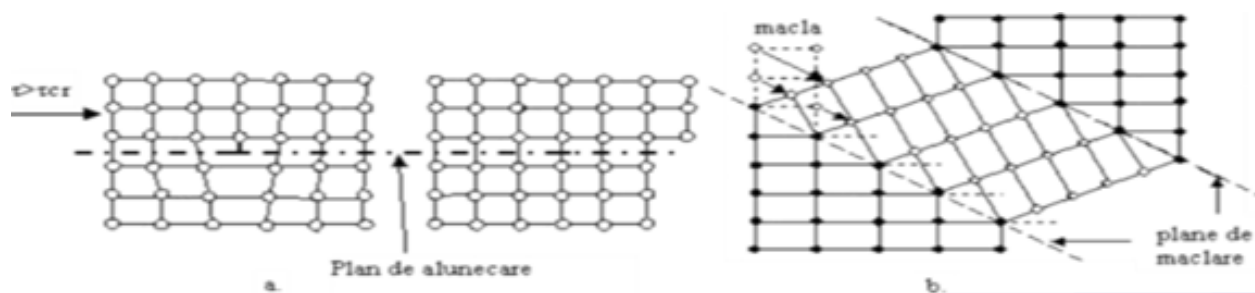


Fig. 2.14. Mecanisme de deformare plastică: a. alunecare intragranulară; b. maclare [L08]

În procesul de îndoire, în zona stratului neutru deformarea plastică determină o stare de tensiune care depășește limita de elasticitate, iar în vecinătatea stratului neutru starea de tensiune rămâne în domeniul elastic. După îndepărtarea forțelor care au determinat îndoirea piesei apare un fenomen de destindere a acesteia, numit revenire elastică sau arcuire. Practic, se produce o revenire a materialului la: o rază R_f după revenirea elastică diferită de raza de îndoire R_0 a piesei aflate sub sarcina de îndoire; unghi de îndoire α_x după revenirea elastică diferit de unghiul de îndoire α_0 al piesei aflate sub sarcina de îndoire (Fig. 2.15) (adaptare după [C02]).

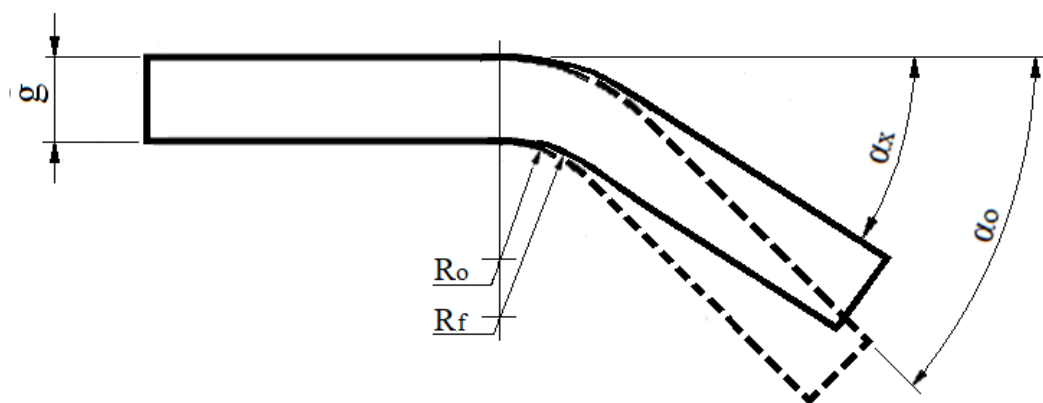


Fig. 2.15. Revenirea elastică după îndoire (adaptare după [C02])

Dacă raportul dintre lățimea și grosimea semifabricatului este mai mare de 8, atunci se consideră că se produc doar deformări ale fibrelor longitudinale paralele cu axa neutră [C02].

Se subliniază că revenirea elastică este caracterizată de cei doi indicatori geometrici: raza de revenire elastică și unghiul de revenire elastică. Forma piesei îndoite este influențată de fenomenul de revenire prin modificarea unghiului de îndoire. La piesele cu rază mare de îndoire, raza de revenire devine neglijabilă [C02].

Un studiu experimental privind revenirea elastică a pieselor la îndoirea liberă în V la rece, în funcție de diverși factori de influență [P12], a fost realizat în condiții de cercetare după cum se prezintă în Tabelul 2.4.

Tabelul 2.4. Elemente privind condițiile de cercetare (adaptare după [P12])

Semifabricat		Scule de îndoire și parametri de proces
Material: AISI1045 (oțel cu 0.45 %C/ tablă)	Grosime x Lungime (mm): 1 x 110	Deschiderea plăcii active (mm): 50 Raza de racordare a plăcii active (mm): 5 Raza de racordare a poansonului (mm): 16
<i>Caracteristici</i>	Lățime, w (mm): 25; 35; 45; 55; 65	Cursa poansonului (mm): 5; 10; 15; 20; 25
Limita de curgere (MPa): 173	Orientare, θ (grd): 0; 22.5; 45; 67.5; 90	Viteza poansonului, v (mm/s): 0.255; 0.333; 0.499; 0.666; 0.788
Modulul de elasticitate (GPa): 207		Timp de menținere, Ht (min): 1; 1.5; 2; 2.5; 3
Temperatura de topire (°C): 1537		

Rezultatele prelucrării datelor experimentale sunt prezentate tabelar și grafic – ca dependențe dintre revenirea elastică a piesei îndoite și cursa poansonului, pentru diferite orientări ale semifabricatului, lățimi ale semifabricatului, viteze ale poansonului, timpi de menținere (menținere a piesei îndoite sub presiune, între poanson și placa activă). Astfel, se constată că revenirea elastică *crește* în raport cu: (1) *creșterea* cursei poansonului, (2) *creșterea* orientării semifabricatului ($\theta = 0^\circ$: direcția liniei de îndoire coincide cu direcția de laminare), (3) *creșterea* lățimii semifabricatului și, respectiv, cu (4) *scăderea* timpului de menținere. De asemenea, se arată că parametrul de proces cu influența cea mai mare asupra revenirii elastice este cursa poansonului.

2.4. Stratul neutru la îndoire

O serie de elemente privind stratul neutru/ linia sau fibra neutră la îndoire [B04, H05 etc.] se prezintă după cum urmează.

O bară cu secțiune transversală dreptunghiulară este deformată (Fig. 2.16) sub acțiunea combinată a unui moment de încovoiere (M) și a unei forțe axiale (T), prin care se generează tensiuni (stress) și deformații (strain), astfel încât, linia neutră se deplasează pe o anumită distanță de linia centrală. [B04].

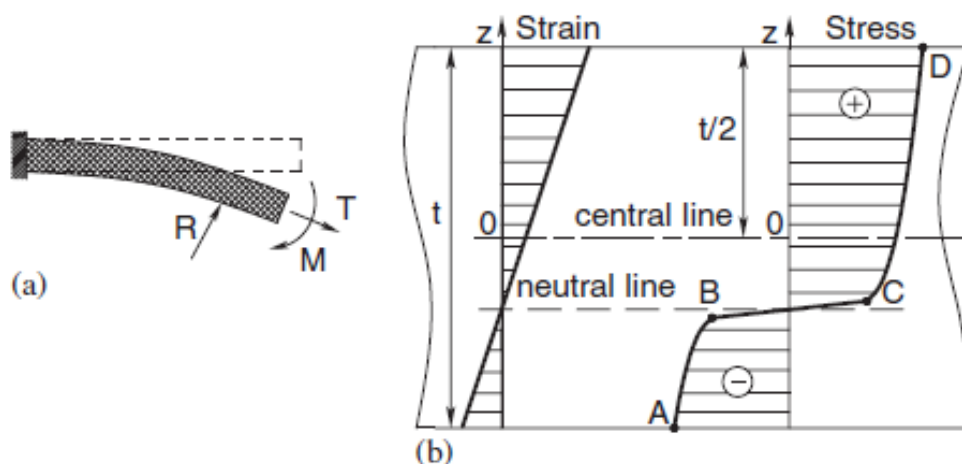


Fig. 2.16. Îndoirea simplă a unei bare încastrate: schiță privind bara deformată (a) și diagrame de deformații și tensiuni prin grosime (b) [B04]

În cadrul unor cercetări privind evoluția stratului neutru la îndoire [H05, L03], se prezintă faptul că, în conformitate cu teorema invarianței de volum, factorul k (de definire a poziției fibrei neutre față de fibra interioară a racordării) este

$$k = 0.5\beta^2 - (1 - \beta)R_i/t \quad (2.12)$$

unde

$$\beta = (t_1 - t)/t \quad (2.13)$$

în care: β este coeficientul de îngroșare, R_i - raza de îndoire interioară (mm), t - grosimea inițială a semifabricatului (mm), iar t_1 - grosimea piesei după îndoire.

Într-o prezentare privind îndoirea tablelor în condiții industriale [C02], se arată că, dacă fibra neutră are raza de curbura R_{fn} , iar $R_{fn} = R + 0.45g$, atunci lungimea fibrei neutre în zona îndoită este

$$B = (R + 0.45g) \frac{2\pi\alpha}{360} \quad (2.14)$$

unde: B este lungimea fibrei neutre în zona îndoită (mm), g - grosimea materialului (mm), iar α - unghiul de îndoire (grd).

Deformările produse în zona îndoită sunt complexe. Pentru determinarea lungimii semifabricatului se are în vedere faptul că, în general, există o serie de variabile [R01]: natura materialului (proprietățile fizice, chimice și mecanice); grosimea semifabricatului; raza de îndoire interioară; unghiul de îndoire; poziția liniilor de îndoire față de direcția liniilor de laminare; bavuri sau/și fisuri ale marginilor semifabricatului; alte variabile – vibrații, precizia reglării, utilizarea de scule cu grad mare de uzură, forțe mari de deformare etc.

Pentru piese îndoite cu rază de îndoire diferită de zero, lungimea desfășurată a piesei se calculează ca lungime a stratului neutru [S01], respectiv,

$$L = \sum_{i=1}^{i=k} l_i + \sum_{i=1}^{i=k-1} l_{\varphi_i} \quad (2.15)$$

unde

$$l_{\varphi_i} = \frac{\pi \varphi_i}{180} (r_i + xg) \quad (2.16)$$

în care: L este lungimea desfășurată a piesei (mm), l_i – lungimea porțiunii rectilinii i a stratului neutru (mm), k – numărul porțiunilor rectilinii, l_{φ_i} – lungimea porțiunii îndoite i a stratului neutru (mm), φ_i - unghiul de îndoire al porțiunii îndoite i a stratului neutru (grd), r_i - raza de îndoire interioară a porțiunii îndoite i a stratului neutru (mm), x - coeficient de definire a poziției stratului neutru în raport cu fibra interioară a porțiunii îndoite, g - grosimea materialului (mm).

Capitolul 3. Concluzii privind stadiul actual al cercetării-dezvoltării unor elemente privind calitatea produselor și prelucrările prin îndoire la rece

Din analiza stadiului actual al cercetării-dezvoltării privind calitatea produselor și prelucrările prin îndoire la rece, se desprind concluzii importante, după cum urmează.

- Calitatea produselor/ serviciilor se referă la o serie de elemente care sunt asociate acestora, respectiv, la: categoriile caracteristică intrinsecă, cerință, așteptare; la relațiile dintre caracteristici și cerințe, dintre preț, calitate și livrare; impactul nonconformităților etc. (v. § 1.1).

- Caracteristicile intrinseci se consideră a fi cele care există, respectiv, nu sunt alocate, sunt create pentru a satisface nevoile/ cerințele/ așteptările clienților, sunt caracteristici de calitate; acestea sunt proprietăți chimice, fizice sau mecanice, funcționale sau tehnologice - greutatea, forma, puterea, capacitatea de lucru, fiabilitatea etc. (v. § 1.1).

- Cerințele, ca elemente cuprinse în cereri adresate, acoperă nevoile asociate produsului/ serviciului. Așteptările, ca nevoi/ cerințe implicite, nu sunt exprimate pentru că se subînțeleg. Furnizarea de produse/ servicii este asociată cu preț, calitate și livrare care determină vânzările sau utilitatea acestora: Cerințele clienților se referă la raportul calitate-preț și la termenul de livrare (v. § 1.1).

- Prețul este o funcție de cost, marja de profit și forțele pieței, livrarea este o funcție a eficienței și eficacității organizației, iar calitatea este determinată de măsura în care un produs/ serviciu satisface cu succes nevoile și cerințele utilizatorului (v. § 1.1).

- Relația continuă dintre nevoi și resurse limitate determină comportamente diferite: comportamentul rațional al consumatorului îl determină să aleagă bunul economic care îi satisface cerințele cu minim de cheltuieli; comportamentul rațional al producătorului îl conduce la a realiza o cantitate maximă de bunuri economice, în condiții de resurse limitate, pentru a obține maxim de profit (v. § 1.1).

- Principiile managementului calității, care reprezintă îndrumări pentru creșterea performanței în cadrul organizațiilor, benefice pentru industriile de producție și servicii, organizații non-profit etc., sunt: orientarea către client, conducere, implicarea oamenilor, abordare prin procese, îmbunătățire, luarea deciziilor bazate pe dovezi, managementul relațiilor (v. § 1.2).

- Principiul abordării prin procese se referă la faptul că activitățile de afaceri sunt procese interdependente. atât la implementare, cât și la întreținerea sistemului. Acest principiu reclamă definirea proceselor și a rezultatului dorit, privind capacitatea de a identifica și măsura intrările, ieșirile și interfețele procesului cu funcțiile organizației, evaluarea riscurilor potențiale și a consecințelor proceselor asupra clienților sau altor părți interesate, stabilirea autorității și responsabilităților pentru gestionarea procesului (v. § 1.2).

- În general, într-o organizație, există un număr mare de procese, interdependente la diferite niveluri: procesul de proiectare, procesul de măsurare, procesul de audit intern, procesul de livrare, procesul de instruire, procesul de distribuție, procesul de comunicare cu clienții, procesul de monitorizare, procesul de trasabilitate, procesul de reclamații, procesul de cercetare a pieței etc. (v. § 1.2).

- De ansamblu, pentru aplicarea principiului abordării prin procese, sunt necesare acțiuni specifice, respectiv, definirea obiectivelor, determinarea resurselor și condiționărilor, monitorizare, gestionarea riscurilor, evaluarea performanței etc. (v. § 1.2).

- Dezvoltarea proceselor este o activitate complexă, care implică competențe și responsabilitate, resurse, cu influență determinantă asupra evoluției afacerii și organizației.

- Principiul îmbunătățirii implică procesele, sistemele și angajații din întreaga organizație. Sunt necesare acțiuni pentru a urmări și orienta îmbunătățirile. Îmbunătățirea continuă reclamă evaluări și raportări periodice, inclusiv, recunoașterea, pe baza unor criterii de excelență. Îmbunătățirea continuă este susținută prin activități de prevenire (v. § 1.3).

- Acțiunile specifice privind aplicarea principiului *îmbunătățirii* sunt: promovarea de îmbunătățiri obiective la toate nivelurile organizației, formarea specifică de personal la toate nivelurile; asigurarea nivelului de competență pentru realizarea proiectelor specifice; recunoașterea și aprecierea îmbunătățirilor (v. § 1.2).

- Costurile calității sunt un instrument de optimizare a proceselor pentru realizarea calității produselor/ serviciilor, dar și un indicator principal de evaluare a eficienței managementului din organizație. Analiza structurii costurilor calității conduce la identificarea activităților ineficiente ale proceselor în desfășurare. Prin acțiuni corective și de îmbunătățire a activităților se asigură urmărirea și evaluarea dinamică a eficienței măsurilor care s-au aplicat (v. § 1.3).

- Costurile de fabricare sunt modelate, frecvent, în funcție de toleranța caracteristicilor de calitate ale produsului. Caracteristicile de calitate ale produsului cu toleranțe mici sunt mai robuste, dar, acestea reclamă procese și sisteme tehnologice mai complexe, respectiv, costuri de fabricare mai mari. Costurile de toleranță sunt elemente suport importante pentru companii, în a evalua și optimiza strategiile de control al calității produselor (v. § 1.3).

- Prevenirea defectelor produselor se realizează din etapa de proiectare a acestora, prin participarea întregului personal al organizației la procesul de îmbunătățire continuă a calității tuturor activităților desfășurate (v. § 1.3).

- Calitatea produselor/ serviciilor din orice firmă este asigurată când toți angajații sunt formați în scopul îmbunătățirii acesteia. Întreg fluxul de producție, de la intrarea materialelor în companie și până la ieșirea produselor din companie, trebuie să fie însoțit de documente de calitate, care atestă că produsele sunt progresiv executate în conformitate cu documentația tehnico - economică (v. § 1.3).

- Asigurarea și realizarea caracteristicilor de calitate ale produselor și serviciilor sunt acțiuni necesare, care interferează continuu cu acțiunile care vizează performanțe economice – cost minim sau productivitate maximă etc. (v. § 1.3).

- Industria 5.0: reclamă dezvoltarea centrată pe om, completează progresele realizate în industria 4.0 cu elemente suport pentru activitatea oamenilor, în sensul îndepărtării de automatizarea excesivă ceea ce permite oamenilor să intervină unde este necesar, prin gândire critică și adaptabilitate, în raport cu *precizia* și *repetabilitatea* sistemelor; stipulează proiectarea viitoarelor infrastructuri de producție prin *modelare* și *dezvoltare* capabile să cuprindă complexitatea interacțiunilor; aplică strategiile avansate de control orientate pentru *precizie*, care este crucială pe măsură ce producția devine din ce în ce mai complexă, iar o arie strategică de perspectivă este *fabricarea cu defecte zero* (v. § 1.2, 1.3).

- Sistemele tehnologice de prelucrare prin îndoire la rece CNC includ scule și dispozitive specifice. Sculele sunt poansoane și plăci de îndoire de diferite forme și dimensiuni (v. § 2.1).

- Condițiile tehnologice de prelucrare prin îndoire la rece se determină în raport cu proprietăți ale materialelor, dimensiuni de gabarit, toleranțe, condiții ergonomice, factori de cost, evitarea interferențelor dintre semifabricat/ piesa de prelucrat, scule și alte elemente (v. § 2.1).

- În cadrul schemelor de îndoire, se disting: semifabricatul - definit prin caracteristici de material și geometrice, elemente active/ scule de tip poanson și placă activă, forță de îndoire etc. Procedeele de îndoire în V reprezentative sunt îndoirea în V liberă și îndoirea în V cu calibrare/ de precizie (v. § 2.1).

- Îndoirea în V liberă este un procedeu flexibil, care se aplică industrial pentru o gamă largă de materiale și grosimi ale semifabricatelor, cu valori reduse ale costurilor sculelor de prelucrare. Îndoirea în V cu calibrare/ de precizie se aplică industrial pentru prelucrarea unor piese de precizie ridicată, precum și pentru realizarea unei durificări superficiale a materialului (v. § 2.1).

- La prelucrarea prin îndoire în L de margine, care se aplică industrial pentru realizarea unor margini îndoite, partea activă a sistemului tehnologic include elemente cu rol de fixator/ tampon de presiune (v. § 2.1).

- La analiza detaliată a unor scheme de îndoire, se disting diverse caracteristici specifice, cum sunt: la îndoirea în L sus și, respectiv, la îndoirea L jos, fiecare cu un poanson; la îndoirea în Z, unde adâncimea treptei este limitată, pentru a evita fisurări în zonele îndoite; la îndoirea în U jos, unde se utilizează două poansoane, precum și la îndoirea în U sus – cu un poanson; la îndoirea în V cu flanșă, unde se utilizează două poansoane, unul pentru presarea semifabricatului/ realizarea flanșei, iar celălalt – pentru îndoirea în V (v. § 2.1).

- Pentru calculul forței de deformare la prelucrarea prin îndoire, s-au dezvoltat diferite formule care au la bază teoria îndoirii, dar - insuficiente pentru a prezice forța de îndoire reală (v. § 2.2).

- În cadrul unei cercetări care cuprinde simulare cu element finit și experimente de laborator, se propune o formulă pentru calculul forței de deformare la prelucrarea prin îndoire în V care ia în considerare: grosimea, lățimea și lungimea zonei de îndoire; rezistența maximă la rupere și duritatea materialului semifabricatului; deschiderea plăcii de îndoire; unghiul de îndoire; razele de racordare ale poansonului și plăcii active (v. § 2.2).

- În cadrul aplicațiilor industriale se recomandă diferite expresii ale forței de îndoire. Astfel, la prelucrarea pe prese de îndoire, pentru calculul forței de îndoire, se recomandă diverse formule care iau în considerare, după caz: grosimea și lățimea/ lungimea semifabricatului; rezistența maximă la rupere a materialului semifabricatului; deschiderea plăcii de îndoire; caracteristici ale schemei de îndoire. Proiectanții de matrițe utilizează ecuații simple pentru determinarea forței de îndoire, care iau în considerare: grosimea, lățimea semifabricatului; rezistența maximă la rupere a materialului semifabricatului; deschiderea plăcii de îndoire; factorul de deschidere a plăcii active (v. § 2.2).

- La prelucrarea pe matrițe cu elemente active rigide: la prelucrările prin îndoire în V și, sau în U libere, expresia forței de îndoire include grosimea și lățimea semifabricatului, rezistența la rupere a materialului semifabricatului, influența naturii materialului și a raportului dintre deschiderea plăcii de îndoire și grosimea materialului; la îndoirea cu calibrare sau la prelucrările prin îndoire pentru care nu sunt stabilite formule specifice, forța de îndoire este produsul dintre presiunea de calibrare și aria suprafeței piesei de sub poanson care urmează să fie calibrată/ îndoită (v. § 2.2).

• La îndoirea pieselor care prezintă alezaje în zona de îndoire, forța de îndoire este mai mică decât în cazul pieselor fără alezaje (v. § 2.2).

• În procesele de deformare plastică la rece, semifabricatele de tip tablă sunt solicitate la sarcini multiaxiale. Îndoirea este prelucrarea de bază care acoperă diferite stări de solicitare (v. § 2.3).

• La prelucrarea prin îndoire, starea de efort în partea centrală a zonei de îndoire este apropiată de starea de deformare plană, iar partea de margine este aproape de starea uniaxială. Stările de întindere și de compresiune sunt corespunzător distribuite pe părțile exterioare și interioare ale semifabricatului. Comportamentul asimetriei compresiune - tracțiune este specific materialelor avansate, cum ar fi oțelul avansat de înaltă rezistență (v. § 2.3).

• Revenirea elastică a semifabricatelor și pieselor supuse prelucrării prin îndoire la rece depinde de o serie de factori: caracteristicile materialului semifabricatului, forța de îndoire, lungimea și viteza de îndoire etc. (v. § 2.3).

• Materialul prelucrat suferă, în zona de îndoire, forțe/ tensiuni/ deformații de întindere ale suprafeței exterioare și forțe/ tensiuni/ deformații de compresiune ale suprafeței interioare. La o supraîncărcare de energie peste capacitatea materialului, încep să se formeze fisuri pe suprafața exterioară (v. § 2.3).

• La prelucrarea prin îndoire, se produc deformări elastice și plastice ale semifabricatului. Când forța exterioară ce acționează tangențial pe suprafața semifabricatului supus deformării depășește limita de elasticitate a materialului, se produce o deformare plastică. Deformarea plastică la rece se realizează la temperaturi inferioare de recristalizare și este urmată de fenomenul de ecruisare, care conduce la creșterea rezistenței la deformare plastică și scăderea plasticității (v. § 2.3).

• În procesul de îndoire, în zona stratului neutru deformarea plastică determină o stare de tensiune care depășește limita de elasticitate, iar în vecinătatea stratului neutru starea de tensiune rămâne în domeniul elastic. După îndepărtarea forțelor care au determinat îndoirea piesei, se produce o revenire a materialului la o rază și la un unghi diferite de cele ale piesei aflate sub sarcina de îndoire (v. § 2.3).

• O analiză aprofundată privind dependențele dintre revenirea elastică a piesei îndoită și cursa poansonului, pentru diferite orientări ale semifabricatului, lățimi ale semifabricatului, viteze ale poansonului, timpi de menținere, arată că revenirea elastică crește în raport cu: creșterea cursei poansonului, creșterea orientării semifabricatului, creșterea lățimii semifabricatului și, respectiv, cu scăderea timpului de menținere. De asemenea, se arată că parametrul de proces cu influența cea mai mare asupra revenirii elastice este cursa poansonului (v. § 2.3).

• Deformările produse în zona îndoită sunt complexe. Pentru determinarea lungimii semifabricatului se are în vedere faptul că, în general, există o serie de variabile: natura materialului - proprietățile fizice, chimice și mecanice; grosimea semifabricatului; raza de îndoire interioară; unghiul de îndoire; poziția liniilor de îndoire față de direcția liniilor de laminare; bavuri sau/și fisuri ale marginilor semifabricatului; alte variabile – vibrații, precizia reglării, utilizarea de scule cu grad mare de uzură, forțe mari de deformare etc. (v. § 2.4).

• Procesele și sistemele tehnologice de prelucrare prin îndoire la rece, de importanță majoră în numeroase tehnologii de fabricare a produselor, intră în problematica actuală și de perspectivă a cercetării științifice. Satisfacerea caracteristicilor de calitate impuse produselor, precum și a restricțiilor economice impuse producției industriale, reclamă dezvoltarea de cercetări științifice tehnico – economice pentru cunoașterea detaliată a proceselor fenomenologice și aplicarea industrială a elementelor dezvoltate, în raport și cu deziderate importante ale Industriei 5.0 – modelare, precizie, repetabilitate, fabricare cu defecte zero etc.

Partea a II-a.

**Contribuții la cercetarea teoretico – experimentală
privind modelarea și evaluarea preciziei unor
grupuri de produse prelucrate prin deformare
plastică la rece în sisteme industriale**

Capitolul 4. Direcțiile, obiectivul principal și metodologia de cercetare-dezvoltare privind modelarea și evaluarea preciziei unor grupuri de produse prelucrate prin deformare plastică la rece în sisteme industriale

4.1. Direcții de cercetare-dezvoltare

Pe baza celor desprinse din analiza stadiului actual privind calitatea produselor și prelucrările prin deformare plastică la rece, se apreciază a fi de perspectivă direcții de cercetare-dezvoltare referitoare la:

- modelarea produselor, proceselor și sistemelor de prelucrare prin deformare plastică la rece;
- baze de date privind grupurile de produse și tehnologiile de grup;
- studii de caz privind proiectarea și fabricarea grupurilor de produse;
- configurarea, reglarea și evaluarea sistemelor tehnologice de fabricare a grupurilor de produse.

4.2. Obiectivul principal al activității de cercetare-dezvoltare

Având în vedere datele și concluziile desprinse din analiza stadiului actual, precum și direcțiile de cercetare-dezvoltare, se determină ca obiectiv principal al activității de cercetare-dezvoltare doctorale avansate: **modelarea și evaluarea preciziei unor grupuri de produse prelucrate prin deformare plastică la rece în sisteme industriale.**

Se subliniază că programul doctoral de cercetări teoretico - experimentale este conceput astfel încât activitățile experimentale componente să se desfășoare în *condiții de cercetare industriale*, respectiv, prin integrarea de resurse și elemente ale unor procese și sisteme tehnologice - semifabricate, mașini/ centre CNC, scule de prelucrare, mijloace de control etc. - existente și aplicate în companii industriale, cu suportul aplicativ determinant al acestora.

4.3. Metodologia de cercetare-dezvoltare

Metodologia de cercetare-dezvoltare este structurată ca un ansamblu de elemente de referință, după cum urmează.

• Grupuri de piese obiectiv

Pe baza analizei unor produse care se fabrică industrial, se constituie o serie de *grupuri de piese obiectiv* care să fie prelucrate în condiții de cercetare industriale.

Componentele grupurilor de piese obiectiv se modelează în cadrul unei aplicații software de tip AutoCAD.

Se prezintă materialul și caracteristicile geometrice prescrise componentelor grupurilor de piese obiectiv.

● **Semifabricate, prelucrări și operații de prelucrare prin deformare plastică la rece**

Se selectează și se utilizează semifabricate primare sub formă de tablă laminată la rece de aceeași grosime și calitate cu cele prescrise pieselor obiectiv corespondente, în condițiile de cercetare industriale considerate.

Pe baza analizei caracteristicilor prescrise suprafețelor componente ale pieselor din grupurile obiectiv și a condițiilor tehnologice experimentale de cercetare, se prevăd și se aplică prelucrări prin deformare plastică la rece de tip retezare, perforare, decupare și îndoire.

Se analizează și se aplică varianta de concentrare a prelucrărilor necesare în operații tehnologice și, corespunzător, proces tehnologic de prelucrare prin deformare plastică la rece, în condițiile de cercetare industriale considerate.

Se evidențiază categoriile de semifabricate intermediare care se creează, implicit, în timpul unor operații tehnologice.

● **Experiențe – test și experiențe principale**

Activitățile experimentale de prelucrare prin deformare plastică la rece, din structura programului doctoral de cercetare, sunt desfășurate efectiv sub formă de experiențe – test și experiențe principale, în condițiile de cercetare industriale considerate.

În cadrul experiențelor – test se determină valori de referință asociate unor dimensiuni obiectiv, iar în cadrul experiențelor principale se produc serii de semifabricate și, corespunzător, serii de piese, care se analizează în raport cu obiectivul principal al activității doctorale.

● **Lungimea teoretică a desfășuratei piesei și lungimea semifabricatului**

Se calculează lungimea teoretică a fibrei neutre/ desfășuratei pieselor din grupurile obiectiv.

Pentru piesele din grupurile obiectiv, pe baza analizei rezultatelor unor experiențe – test, realizate în condițiile de cercetare industriale considerate, se determină lungimile semifabricatelor necesare, astfel încât, după prelucrările prin tăiere și îndoire aplicate asupra acestora, piesele produse să satisfacă condițiile de precizie prescrise.

● **Serii de semifabricate**

Pentru piesele din grupurile obiectiv, se definesc și se execută, prin experiențe principale, în condițiile de cercetare industriale considerate, serii de semifabricate.

La fiecare serie de semifabricate, lungimea semifabricatului și, implicit, abaterea tehnologică se evaluează prin verificarea cerințelor privind precizia efectivă în raport cu prevederile standard, precum și precizia de repetabilitate a valorii mărimilor analizate - în cadrul unui test statistic care se poate aplica la seriile/ sondajele de volum redus, cu prezentarea unor eventuale elemente care influențează rezultatele.

Pentru evidențierea relațiilor principale dintre elementele care definesc caracteristicile de precizie considerate: se reprezintă grafic unele rezultate; se analizează posibilitatea creșterii gradului de generalitate prin determinarea unor funcții de regresie.

● Serii de piese

Pe baza elementelor specifice dezvoltate progresiv, în legătură cu piesele din grupurile obiectiv, se definesc și se execută, prin experiențe principale, în condițiile de cercetare industriale considerate, serii de piese.

La fiecare serie de piese, dimensiunile liniare și razele de racordare se evaluează prin verificarea cerințelor privind precizia efectivă în raport cu prevederile standard, precum și precizia de repetabilitate a valorii mărimilor analizate - în cadrul unui test statistic care se poate aplica la seriile/ sondajele de volum redus, cu prezentarea unor eventuale elemente care influențează rezultatele.

Pentru evidențierea relațiilor principale dintre elementele care definesc caracteristicile de precizie considerate se reprezintă grafic unele rezultate.

● Variante ale programului de cercetare experimentală

Programul de cercetare experimentală se desfășoară în două variante generale, respectiv, la două companii industriale. Astfel, pentru realizarea experiențelor - test și a experiențelor principale, respectiv, a seriilor de semifabricate și de piese, prelucrările prin tăiere și prin îndoire necesare se efectuează în cadrul unor procese și sisteme tehnologice de prelucrare prin deformare plastică la rece dezvoltate în cele două companii industriale.

● Structura procesului tehnologic de fabricare a pieselor din grupurile obiectiv

Se consideră procesul tehnologic de fabricare a pieselor din grupurile obiectiv structurat pe baza principiului concentrării operațiilor, care conduce la cheltuieli de cercetare minime, prin utilizarea de resurse specifice – semifabricate primare, mașini/ centre CNC, scule de prelucrare, mijloace de control etc. – existente în companiile industriale.

● Elemente ale schemelor tehnologice de prelucrare a semifabricatelor și a pieselor din grupurile obiectiv

Se analizează, se determină și se simulează scheme tehnologice de prelucrare prin tăiere și, respectiv, prin îndoire la rece a semifabricatelor și a pieselor din grupurile obiectiv, astfel încât să se utilizeze schemele tehnologice de prelucrare care se aplică frecvent în cadrul companiilor industriale considerate.

● Elemente ale sistemelor tehnologice de cercetare experimentală

Sistemele tehnologice de cercetare experimentală se configurează având în vedere caracteristicile pieselor și semifabricatelor asociate - material, grosime, dimensiuni de gabarit etc., caracteristicile prelucrărilor prin tăiere și prin îndoire necesare pentru realizarea semifabricatelor și pieselor, cerințele generale privind sistemele tehnologice, precum și condițiile de cercetare industriale considerate.

Astfel, sistemele tehnologice de prelucrare prin deformare plastică la rece se structurează încât fiecare să cuprindă, ca utilaj/ mașină/ centru:

- foarfecă ghilotină hidraulică CNC, pentru efectuarea prelucrărilor prin tăiere de tip retezare,
- mașină de ștanțat CNC sau centru de ștanțare CNC, pentru efectuarea prelucrărilor prin tăiere de tip perforare/ decupare,
- presă hidraulică de îndoire CNC, pentru efectuarea prelucrărilor prin îndoire,

precum și elemente de orientare–fixare/ apăsare, elemente de prelucrare (scule) de tip poanson și placă activă, elemente de reglare, programe CNC de operare, specifice, după caz.

De asemenea, pentru controlul unor caracteristici geometrice efective ale semifabricatelor și pieselor, se utilizează mijloace tehnologice de măsurare de tip șubler digital, set de lere, proiector de profil, după caz.

Se menționează că o serie de caracteristici ale elementelor componente principale ale sistemelor tehnologice efective de cercetare experimentală se prezintă în capitolele următoare, după caz.

Capitolul 5. Caracteristici ale unor grupuri de piese și semifabricate pentru prelucrări prin deformare plastică la rece

Elementele principale privind dezvoltarea de caracteristici ale unor grupuri de piese și semifabricate pentru prelucrări prin deformare plastică la rece, care includ și elemente publicate ale autoarei [P05], se prezintă în cele ce urmează.

5.1. Lungimea desfășuratei pieselor îndoite la rece

Lungimea desfășuratei unei piese îndoite la rece se determină ca lungime a fibrei neutre a piesei (v. și § 2.4).

În cazurile în care fibra neutră este constituită din n segmente de dreaptă de lungimi egale sau diferite, l_i , $i = \overline{1, n}$, și m arce de cerc de lungimi egale sau diferite l_{φ_c} , $c = \overline{1, m}$, atunci lungimea fibrei neutre a piesei, respectiv, lungimea desfășuratei piesei, L , este

$$L = \sum_{i=1}^n l_i + \sum_{c=1}^m l_{\varphi_c} \quad (5.1)$$

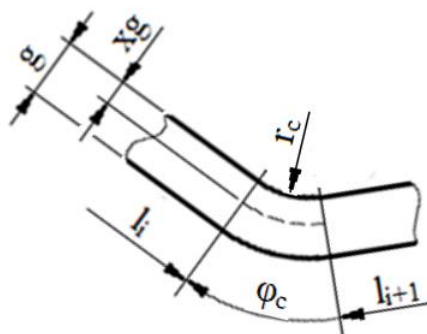


Fig. 5.1. Caracteristici ale fibrei neutre a pieselor îndoite

Dacă un arc de cerc al fibrei neutre are unghiul la centru $\varphi_c < \text{grd.} >$ (Fig. 5.1), atunci raza ρ_c și lungimea l_{φ_c} ale arcului de cerc considerat sunt:

$$\rho_c = r_c + xg \quad (5.2)$$

$$l_{\varphi_c} = \frac{\pi \varphi}{180} \rho_c \Leftrightarrow l_{\varphi_c} = \frac{\pi \varphi}{180} (r_c + xg) \quad (5.3)$$

unde: r_c este raza interioară a racordării (mm), g - grosimea materialului (mm), x - coeficientul de determinare a poziției fibrei neutre în raport cu fibra interioară a racordării.

În condițiile de mai sus (v. și Fig. 5.1), lungimea desfășurată/ fibrei neutre a piesei este:

$$L = \sum_{i=1}^n l_i + \frac{\pi}{180} \sum_{c=1}^m \varphi_c (r_c + xg) \quad (5.4)$$

unde: L este lungimea desfășurată a piesei (mm), g - grosimea semifabricatului, l_i – lungimea brațului drept i, $i = \overline{1, n}$; φ_c - unghiul la centru (grd.), r_c – raza interioară (mm) și x – coeficient adimensional de determinare a poziției fibrei neutre corespunzătoare racordării c, $c = \overline{1, m}$.

5.2. Caracteristici ale unor grupuri de piese și elemente ale sistemelor tehnologice

(1) Grupuri de piese obiectiv

În cadrul programului de cercetare teoretico-experimentală, se definesc grupuri de piese obiectiv cu anumite caracteristici constructive, prin selectarea de componente din structura unor produse industriale.

O serie de caracteristici constructive prescrise pieselor din grupurile obiectiv se prezintă în Anexa nr. 1.

În funcție de grosimea piesei, se constituie grupuri de piese obiectiv, Ag, definite astfel:

$$Ag = \{Ag.m.v \mid m = 1, 2, 4; v = 1, 2\}, g \in \{1; 1,5; 2; 2,5; 3\} \quad (5.5)$$

unde: g este grosimea comună a pieselor din grup, în mm, m – numărul de îndoiri elementare componente ale piesei din grup, iar v – numărul variantei experimentale din grup.

Se menționează că variantele experimentale v, v: 1, 2, se referă la faptul că programul de cercetare experimentală s-a desfășurat, în principal, la o companie industrială (v: 1) și, apoi, la o a doua companie industrială (v: 2), respectiv, în sisteme tehnologice relativ diferite.

(2) Caracteristici constructive prescrise pieselor din grupurile Ag

(2.a) Caracteristici de material

Materialul prescris tuturor pieselor din grupurile Ag este DC01 (1.0330) EN 10130:2007, respectiv un oțel nealiat, cu un conținut scăzut de carbon [E01].

O serie de caracteristici de material, în conformitate cu prevederile standard în vigoare, se prezintă în Tabelul 5.1.

Tabelul 5.1. Caracteristici ale materialului DC01 (1.0330) (adaptare după [E01])

Calitatea suprafeței	Compoziție chimică, %				Caracteristici mecanice		
	C max	P max	S max	Mn max	Rezistența la curgere, R_e , MPa	Rezistența la rupere, R_m , MPa	Alungire relativă, A_{80} , min, %
A	0.12	0.045	0.045	0.60	140 - 280	270 - 410	28

(2.b) Caracteristici geometrice

În cadrul unui grup Ag, grosimea prescrisă pieselor componente este aceeași, și anume: $g = 1$ mm în grupul A1; $g = 1,5$ mm în grupul A1,5; $g = 2$ mm în grupul A2; $g = 2,5$ mm în grupul A2,5; $g = 3$ mm în grupul A3.

În cadrul unui grup Ag.m.v, numărul de racordări/ îndoiri elementare, m, este același, respectiv, $m = 1$ în grupul Ag.1.v, $m = 2$ în grupul Ag.2.v sau $m = 4$ în grupul Ag.4.v.

Razele de îndoire interioare prescrise, r_c , sunt egale cu grosimea g , respectiv, $\frac{r_c}{g} = \frac{r}{g} = 1$.

Unghiurile la centru, φ_c , sunt de aceeași valoare prescrisă, și anume $\varphi_c = 90^\circ$.

Dimensiunile liniare de tip lungime, L_i , sunt de valori prescrise 10, 12,5, ..., 55 mm, după caz.

Lățimea piesei, b , este de valoare prescrisă 50, 70, 75 sau 95 mm, după caz.

Alezajele componente, în număr de până la 15, au diametrul prescris de $\varnothing 5,4$ mm și/sau $\varnothing 7$ mm, după caz.

Calitatea suprafeței: A, respectiv, sunt acceptabile defecte precum pori, adâncituri ușoare, urme mici, zgârieturi minore și colorare ușoară care nu afectează formabilitatea sau aplicarea acoperirilor de suprafață [E01].

Rugozitatea suprafeței: normală, respectiv, $0,6 \mu\text{m} < Ra \leq 1,9 \mu\text{m}$ [E01].

Precizia caracteristicilor dimensionale prescrise pieselor din grupurile obiectiv este în conformitate cu prevederile standard în vigoare [S07].

De asemenea:

- lungimile de calcul liniare l_i din structura fibrei neutre, care sunt direct corespondente dimensiunilor liniare de tip lungimi prescrise, L_i , se determină prin rezolvarea lanțurilor de dimensiuni corespunzătoare, astfel încât $l_i = L_i - 2g$ la fiecare parte liniară extremă a piesei, adiacentă cu o singură îndoire, respectiv, $l_i = L_i - 4g$ la fiecare parte liniară intermediară a piesei, adiacentă cu două îndoiri;

- coeficientul de determinare a poziției fibrei neutre în raport cu fibra interioară este de valoare constantă, respectiv, $x = 0,45$ [C02].

(3) Lungimea desfășuratei unei piese din grupurile Ag

Prin particularizări corespunzătoare în relația de calcul (5.4), pe baza elementelor corespondente din paragraful anterior, lungimea L a desfășuratei/ fibrei neutre a unei piese din grupurile Ag este:

$$L = \sum_{i=1}^n l_i + 0.725\pi mr \quad (5.6)$$

unde: L este lungimea desfășuratei piesei (mm), l_i – lungimea brațului drept i , $i = \overline{1, n}$, r – raza interioară (mm), m – numărul de racordări (îndoiri) prescrise piesei.

(4) Caracteristici ale unor elemente ale sistemelor tehnologice

În cadrul programului de cercetări teoretice - experimentale, pentru fabricarea pieselor din grupurile Ag și în raport cu cerințele privind procesele și sistemele tehnologice industriale, se consideră semifabricate primare de tip tablă plată laminată la rece, decapată, din materialul DC01 (1.0330) de grosime g, procese și sisteme tehnologice de prelucrare prin deformare plastică la rece care includ prelucrări prin tăiere și prin îndoire existente în două companii industriale (v: 1, 2), după caz.

De asemenea, pentru fiecare piesă Ag.m.v din grupurile obiectiv, se consideră un *semifabricat* plat de grosime g, lățime b și lungime Ls, unde g și b sunt de valori nominale egale cu cele prescrise pieselor corespundente [v. § 5.2 – (1), (2)], iar Ls – urmează a se determina în vederea realizării acestor *semifabricate* prin tăiere/ retezare, din semifabricate primare sau intermediare.

Sistemele tehnologice de prelucrare prin deformare plastică la rece se structurează astfel încât să includă mașini cu comandă numerică de tip Foarfecă ghilotină hidraulică CNC HVR 3100x10, Mașină de ștanțat Trumpf TC 200R, Mașină de ștanțat tip Boschert, Centru de ștanțare CNC TruPunch 3000R, Presă de îndoire CNC G. Bend, Presă de îndoire CNC ERM 30135 [C01] (v. și § 6, § 7, Anexa nr. 2), precum și elemente active de tip poanson și placă activă, de orientare și fixare/ apăsare etc. din structura normală, după caz.

Pentru controlul dimensional al semifabricatelor și, respectiv, al pieselor prelucrate, se utilizează mijloace de măsurare de tip șubler digital cu valoarea diviziunii de 0,01 mm, precum și set de lere și profilometru pentru raze de racordare.

5.3. Lungimea teoretică a desfășuratei piesei și lungimea semifabricatului

(1) Lungimea teoretică a desfășuratei piesei

Se consideră o piesă din grupurile Ag și, corespunzător, desfășurata (plană) a piesei.

Lungimea teoretică, Lt, a desfășuratei piesei/ fibrei neutre a piesei se determină ca lungime a fibrei neutre definite de valorile nominale l_{N_i} și r_N ale mărimilor de calcul l_i și r , respectiv, de valorile nominale ale caracteristicilor geometrice prescrise piesei, având în vedere că la fiecare caracteristică geometrică abaterile limită prescrise sunt de valori opuse [v. § 5.2 - (1)].

Astfel, prin particularizări corespunzătoare în relația de calcul (5.6), pe baza elementelor corespundente l_{N_i} și r_N , lungimea teoretică Lt a desfășuratei/ fibrei neutre a unei piese din grupurile Ag este:

$$L_t = \sum_{i=1}^n l_{N_i} + 0,725\pi m r_N \quad (5.7)$$

(2) Lungimea semifabricatului

Un obiectiv specific este de a determina lungimea, L_s , a *semifabricatului* asociat unei piese din grupurile obiectiv Ag , astfel încât, după prelucrările prin tăiere și îndoire necesare, piesele produse să satisfacă condițiile de conformitate impuse [S07], urmare a verificării specifice a caracteristicilor geometrice efective - în raport cu prevederile standard.

Se consideră *lungimea semifabricatului* L_s care este în legătură cu *lungimea teoretică a fibrei neutre/ desfășuratei piesei*, L_t , definită anterior.

(2.1) Lungimea semifabricatului pentru piesele cu o singură îndoire elementară componentă

În cadrul unui grup Ag , la piesa cu o singură îndoire elementară componentă ($m = 1$), respectiv, $Ag.1.v$, pentru determinarea *lungimii semifabricatului* se procedează după cum urmează.

Se realizează un prim semifabricat - test astfel încât dimensiunea acestuia să fie de valoare efectivă, $L's$, foarte apropiată de valoarea lungimii teoretice a desfășuratei piesei, L_t , respectiv,

$$L's \cong L_t \quad (5.8)$$

Semifabricatul - test de lungime $L's$ s-a prelucrat prin îndoire; s-a constatat că piesa - test astfel realizată, ca urmare a verificării specifice a dimensiunilor sale liniare efective, nu este conformă.

În continuare, se realizează alte câteva semifabricate - test cu lungimi diferite de $L's$, respectiv, diferite de L_t , și, dintre acestea, se rețin semifabricatele cu lungimi de valori efective L_{sp} , $p = 1, 2, \dots, p_0$, care conduc, după prelucrarea prin îndoire necesară, la piese conforme. Se determină valoarea medie L_{s0} a valorilor L_{sp} , respectiv:

$$L_{s0} = \frac{1}{p_0} \sum_{p=1}^{p_0} L_{sp} \quad (5.9)$$

și se adoptă valoarea L_{s0} ca *lungime a semifabricatului* necesar.

Se consideră abaterea tehnologică ΔL ca diferență dintre *lungimea teoretică a desfășuratei piesei*, L_t , și *lungimea semifabricatului* L_{s0} , respectiv:

$$\Delta L = L_t - L_{s0} \quad (5.10)$$

În cazul de față, al unei piese cu o singură îndoire elementară componentă, $m = 1$, din cadrul grupului Ag , pentru mărimile L_t , L_{s0} , ΔL se pot utiliza și notațiile $L_t(1)$, $L_s(1)_0$, respectiv, $\Delta L(1)$. Astfel, rel. (5.10) devine:

$$\Delta L(1) = L_t(1) - L_s(1)_0 \quad (5.11)$$

Se apreciază că abaterea tehnologică ΔL , respectiv, $\Delta L(1)$ exprimă, în principal, influența unor elemente din procesul și sistemul tehnologic de prelucrare prin îndoire asupra mărimilor care determină lungimea l_ϕ a arcului de cerc al fibrei neutre din zona îndoită.

(2.2) Lungimea semifabricatului pentru piesele cu m îndoiri elementare componente

În cadrul unui grup Ag, la piesa cu un număr de m îndoiri elementare componente, respectiv, Ag.m.v, $m = 2$ sau 4, pentru mărimile L_t , L_s , ΔL se pot utiliza și notațiile $L_t(m)$, $L_s(m)$, respectiv, $\Delta L(m)$. Astfel, rel. (5.11) devine:

$$\Delta L(m) = L_t(m) - L_s(m), m = 2, 4 \quad (5.12)$$

Deoarece schema de îndoire este aceeași (v. cele de mai sus), se consideră inițial că, la fiecare piesă cu un număr de m îndoiri elementare componente, dintr-un grup de piese Ag, abaterea $\Delta L(m)$ rezultă prin compunerea a m mărimi egale cu $\Delta L(1)$, respectiv:

$$\Delta L(m) = m\Delta L(1), m = 2, 4 \quad (5.13)$$

Astfel, pentru fiecare piesă cu un număr de m îndoiri elementare componente din grupurile Ag, lungimea semifabricatului $L_s(m)$ se determină în funcție de mărimile $L_t(m)$, $\Delta L(1)$ și m , pe baza relațiilor (5.12) și (5.13), respectiv:

$$L_s(m) = L_t(m) - \Delta L(m), m = 2, 4 \quad (5.14)$$

sau, echivalent:

$$L_s(m) = L_t(m) - m\Delta L(1), m = 2, 4 \quad (5.15)$$

În continuare, se realizează un semifabricat - test astfel încât lungimea acestuia să fie de valoare efectivă, $L's(m)$, foarte apropiată de valoarea lungimii $L_s(m)$, calculată prin aplicarea rel. (5.15), respectiv,

$$L's(m) \cong L_s(m), m = 2, 4 \quad (5.16)$$

sau, echivalent:

$$L's(m) \cong L_t(m) - m\Delta L(1), m = 2, 4 \quad (5.17)$$

Semifabricatul - test de lungime $L's(m)$ se supune prelucrărilor prin îndoire.

Dacă piesa realizată din semifabricatul de lungime $L's(m)$ este conformă, atunci se adoptă valoarea $L's(m)$ ca *lungime (nominală) a semifabricatului* necesar.

În cazurile în care piesa realizată din semifabricatul de lungime $L's(m)$ nu este conformă, se execută alte câteva semifabricate - test cu lungimi diferite de $L's(m)$ și, dintre acestea, se rețin semifabricatele cu lungimi de valori efective $L_s(m)_q$, $q = 1, 2, \dots, q_0$, care conduc, după prelucrările prin îndoire necesare, la dimensiuni conforme ale pieselor. Se determină valoarea medie $L_s(m)_0$ a valorilor $L_s(m)_q$, respectiv,

$$L_s(m)_0 = \frac{1}{q_0} \sum_{q=1}^{q_0} L_s(m)_q \quad (5.18)$$

și se adoptă valoarea $L_s(m)_0$ ca *lungime (nominală) a semifabricatului* necesar.

5.4. Etape de lucru și aplicații privind proiectarea asistată a unor produse și elemente tehnologice

O serie de etape de lucru privind proiectarea asistată a pieselor din grupurile obiectiv, a semifabricatelor și a unor elemente tehnologice asociate se prezintă în cele ce urmează.

- Proiectarea asistată a produselor, prin utilizarea unei aplicații de tip AutoCAD [C01] (Fig. 5.2).

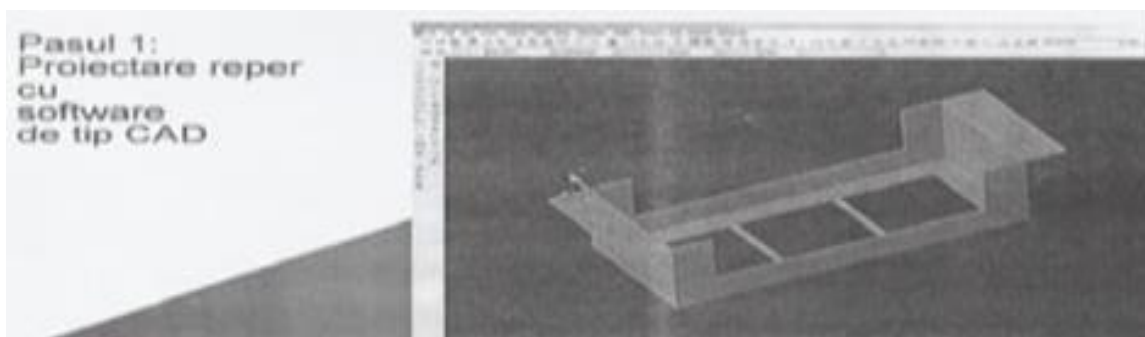


Fig. 5.2. Proiectarea asistată a produselor [C01]

- Determinarea desfășuratelor pieselor considerate, prin utilizarea unei aplicații DELEM Profile - T, având în vedere materialul, grosimea și raza interioară de îndoire – asociate piesei, precum și raza poansonului activ [C01, P05] (v. Fig. 5.3).

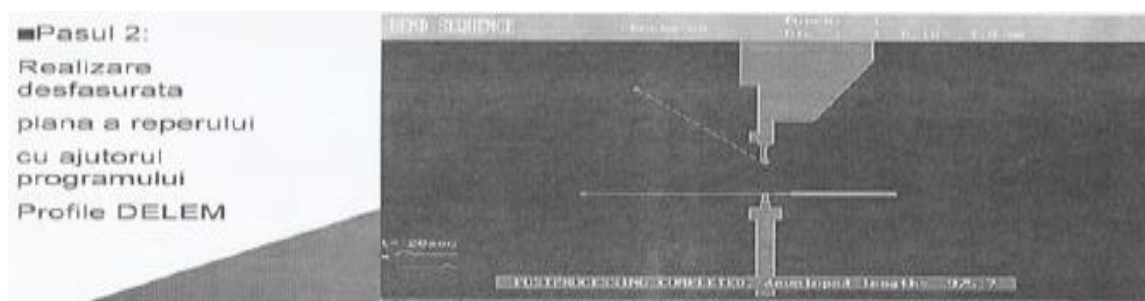


Fig. 5.3. Determinarea desfășuratei piesei prin aplicarea programului Profile DELEM Profile-T [C01]

- Croirea optimă a semifabricatelor inițiale (de tip tablă, v. § 6), prin utilizarea unei aplicații ToPs 300 Trumpf - Modul Nesting, cu poziționarea reperelor considerate la o distanță egală cu lățimea poansonului de debitare [C01] (Fig. 5.4).

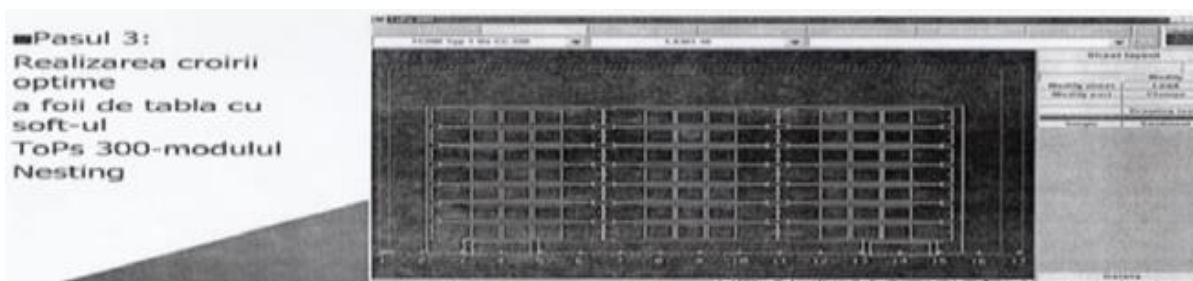


Fig. 5.4. Croirea optimă a semifabricatelor inițiale, prin utilizarea unei aplicații ToPs 300 Trumpf - Modul Nesting [C01]

- Proiectarea schemei tehnologice, prin utilizarea unei aplicații ToPs 300 Trumpf - Modul Technology, cu selectarea sculelor, optimizarea traseelor acestora, simularea procesului etc. [C01] (Fig. 5.5).

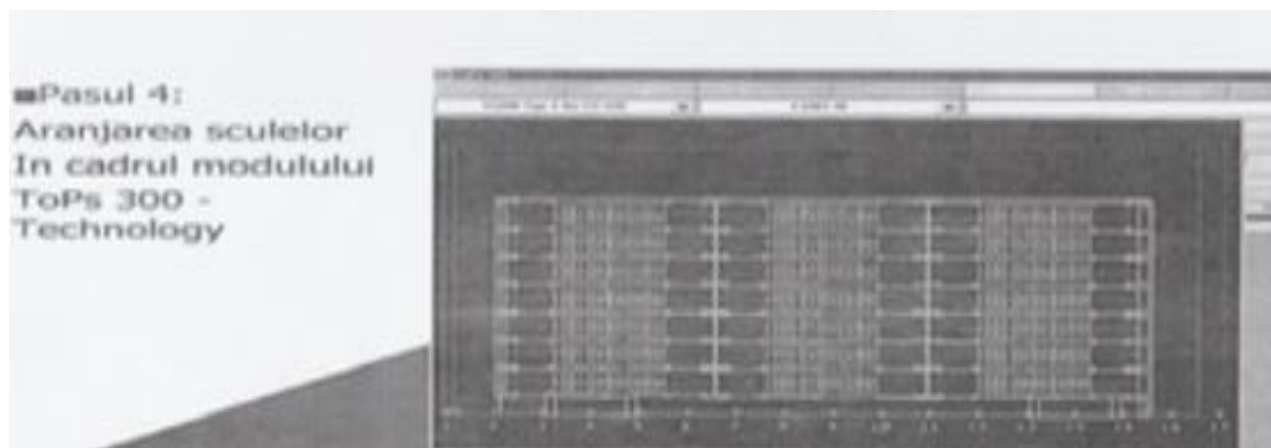


Fig. 5.5. Proiectarea schemei tehnologice, prin utilizarea unei aplicații ToPs 300 Trumpf - ModulTechnology [C01]

- Realizarea programelor CN, care cuprinde secvențele tehnologice de ștanțare și îndoire asociate produselor considerate, sculele de prelucrare, timpii efectivi de prelucrare etc. [C01] (Fig. 5.6).

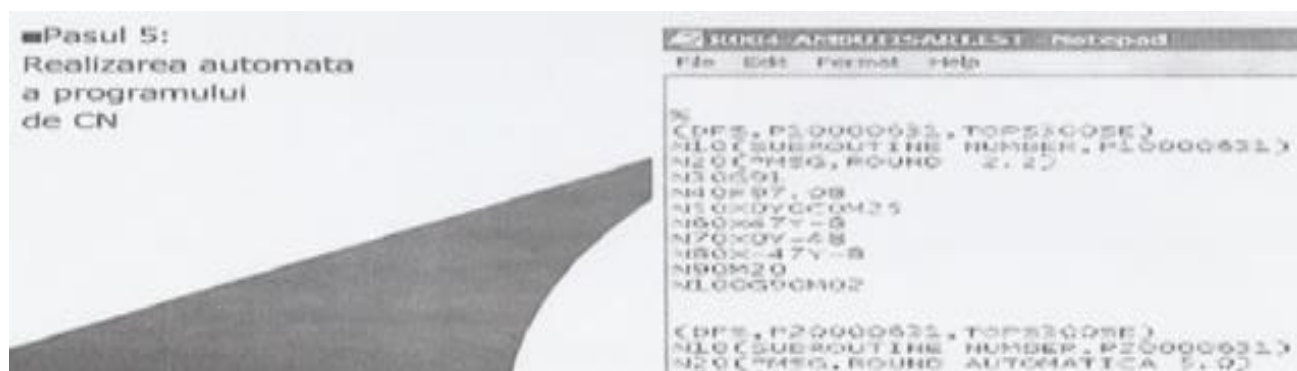


Fig. 5.6. Realizarea automată a programelor CN [C01]

Capitolul 6. Cercetări teoretico – experimentale privind piesele din grupurile obiectiv și semifabricatele asociate prelucrate prin deformare plastică la rece în sisteme industriale

Elementele principale ale cercetărilor privind dezvoltarea unor entități tehnologice pentru piesele din grupurile obiectiv, prelucrate prin deformare plastică la rece în sisteme cu comandă numerică, care includ și elemente publicate ale autoarei [P03 – P11], se prezintă în cele ce urmează.

6.1. Elemente de calcul și lungimea teoretică a desfășuratei pentru piesele din grupurile obiectiv

Se consideră grupurile de piese obiectiv Ag.m.v [v. § 5.2 - (1), (2)].

O serie de caracteristici prescrise și alte elemente specifice pentru calculul lungimii teoretice a desfășuratei la piesele obiectiv din grupurile Ag.m.v sunt după cum se prezintă în Tabelul 6.0 și în Fig. 6.1 - 6.5. Se subliniază că programul de cercetare experimentală s-a desfășurat în două variante ($v = 1, 2$), respectiv, la o companie industrială ($v = 1$) și, apoi, la o a doua companie industrială ($v = 2$), respectiv, în sisteme tehnologice relativ diferite.

Tabelul 6.0. Sinteză a unor caracteristici ale pieselor obiectiv din grupurile Ag.m.v

	Număr de ordine, h			g_N , mm	r_N , mm	φ_N , °	m	x	Varianta experimentală (compania industrială), v
	1	2	3						
Cod piesă, Ag.m.v	A1.1.1	A1.2.1	A1.4.1	1	1	90	1, 2 sau 4	0,45	1
	A1.5.1.1	A'1.5.2.1	A''1.5.2.1	1,5	1,5		1 sau 2		
	A2.1.1	A2.2.1	A2.4.1	2	2		1, 2 sau 4		
	A2.5.1.1	A2.5.2.1	A2.5.4.1	2,5	2,5		1, 2 sau 4		
	A3.1.1	A'3.2.1	A''3.2.1	3	3		1 sau 2		
	A1.1.2	A1.2.2	A1.4.2	1	1	90	1, 2 sau 4	0,45	2
	A1.5.1.2	A'1.5.2.2	A''1.5.2.2	1,5	1,5		1 sau 2		
	A2.1.2	A2.2.2	A2.4.2	2	2		1, 2 sau 4		
	A2.5.1.2	A2.5.2.2	A2.5.4.2	2,5	2,5		1, 2 sau 4		
	A3.1.2	A'3.2.2	A''3.2.2	3	3		1 sau 2		

Lungimea teoretică a desfășuratei piesei în cadrul grupului A1

Grupul de piese A1, ca parte a grupurilor Ag [v. rel. (5.5), Tabel 6.0], este constituit din piese cu grosimea $g = 1$ mm, numărul de îndoiri elementare $m = 1, 2$ sau 4 și variantele experimentale $v = 1, 2$, respectiv:

$$A1 = \{A1.m.v \mid m = 1, 2, 4; v = 1, 2\} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow A1 = \{A1.1.1, A1.1.2, A1.2.1, A1.2.2, A1.4.1, A1.4.2\} \quad (6.1)$$

O serie de caracteristici constructive prescrise pieselor din grupul A1 se prezintă în desenele nr. 10-2-L, 10-2-U și 10-2-Ω din Anexa nr. 1.

Schițele care evidențiază o serie de caracteristici geometrice prescrise pieselor din grupul A1 se prezintă în Fig. 6.1.

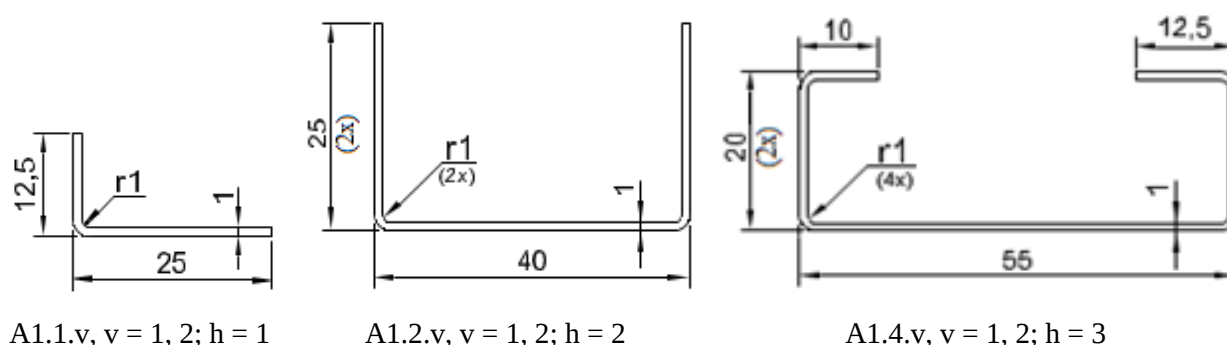


Fig. 6.1. Caracteristici geometrice prescrise pieselor din grupul A1

Pentru piesele din grupul A1, prin particularizări în rel. (5.7) pe baza datelor specifice, s-au calculat valorile lungimilor teoretice ale desfășuratelor corespundente, care se prezintă în Tabelul 6.1 (v. și [P06, P11]).

Tabelul 6.1. Lungimile teoretice ale desfășuratelor pieselor din grupul A1

Cod piesă, Ag.m.v		Număr de ordine piesă, h	Caracteristici geometrice prescrise și elemente de calcul principale					Lungimea teoretică a desfășuratei piesei, Lt, mm
v = 1	v = 2		g_N , mm; r_N , mm	φ_{N_0}	x	m	Alte date	
A1.1.1	A1.1.2	1	1; 1	90	0.45	1	v. Anexa nr. 1 și Fig. 6.1	35,7765
A1.2.1	A1.2.2	2				2		86,553
A1.4.1	A1.4.2	3				4		110,606

Lungimea teoretică a desfășuratei piesei în cadrul grupului A1,5

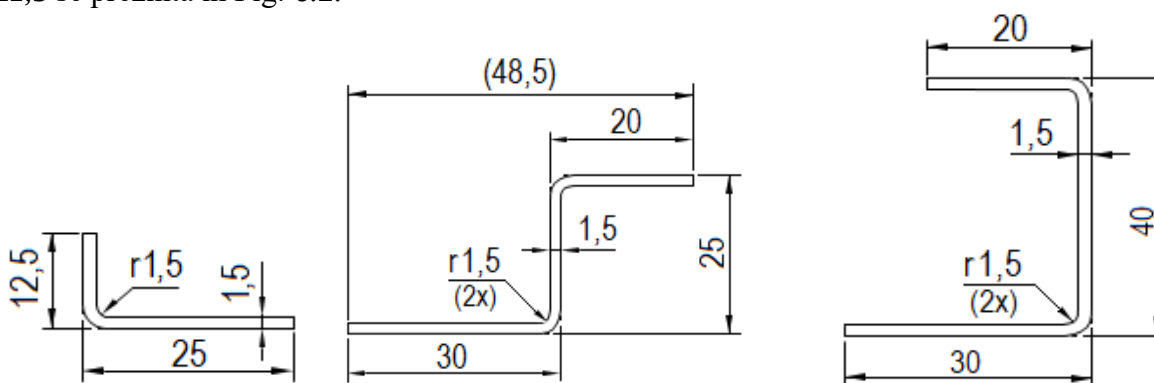
Grupul de piese A1,5, ca parte a grupurilor Ag [rel. (5.5), Tabel 6.0], este constituit din piese cu grosimea $g = 1,5$ mm, numărul de îndoiri elementare $m = 1$ sau 2 și variantele experimentale $v = 1, 2$, respectiv:

$$A1,5 = \{A1,5.m.v \mid m = 1, 2; v = 1, 2\} \Leftrightarrow A1,5 = \{A1,5.1.1, A1,5.1.2, A'1,5.2.1, A'1,5.2.2, A''1,5.2.1, A''1,5.2.2\} \quad (6.2)$$

unde piesele A'1,5.2 și A''1,5.2 diferă prin forma geometrică, respectiv, A'1,5.2 este de formă Z, iar A''1,5.2 - de formă U.

O serie de caracteristici constructive prescrise pieselor din grupul A1,5 se prezintă în desenele nr.15-2-L, 15-2-Z și 15-2-U din Anexa nr. 1.

Schițele care evidențiază o serie de caracteristici geometrice prescrise pieselor din grupul A1,5 se prezintă în Fig. 6.2.



A1,5.1.v, $v = 1, 2$; $h = 1$ A'1,5.2.v (formă Z), $v = 1, 2$; $h = 2$ A''1,5.2.v (formă U), $v = 1, 2$; $h = 3$

Fig. 6.2. Caracteristici geometrice prescrise pieselor din grupul A1,5

Pentru piesele din grupul A1,5, prin particularizări în rel. (5.7) pe baza datelor specifice, s-au calculat valorile lungimilor teoretice ale desfășuratelor corespundente, care se prezintă în Tabelul 6.2 (v. și [P03, P05, P08]).

Tabelul 6.2. Lungimile teoretice ale desfășuratelor pieselor din grupul A1,5

Cod piesă, Ag.m.v		Număr de ordine piesă, h	Caracteristici geometrice prescrise și elemente de calcul principale					Lungimea teoretică a desfășuratei piesei, Lt, mm
v = 1	v = 2		gn, mm; rn, mm	φ_{N_o}	x	m	Alte date	
A1,5.1.1	A1,5.1.2	1	1,5; 1,5	90	0.45	1	v. Anexa nr. 1 și Fig. 6.2	34,9148
A'1,5.2.1	A'1,5.2.2	2				2		69,8295
A''1,5.2.1	A''1,5.2.2	3				2		84,8295

Lungimea teoretică a desfășuratei piesei în cadrul grupului A2

Grupul de piese A2, ca parte a grupurilor Ag [rel. (5.5), Tabel 6.0], este constituit din piese cu grosimea $g = 2$ mm, numărul de îndoiri elementare $m = 1, 2$ sau 4 și variantele experimentale $v = 1, 2$, respectiv:

$$\begin{aligned} A2 &= \{A2.m.v \mid m = 1, 2, 4; v = 1, 2\} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow A2 &= \{A2.1.1, A2.1.2, A2.2.1, A2.2.2, A2.4.1, A2.4.2\} \end{aligned} \quad (6.3)$$

O serie de caracteristici constructive prescrise pieselor din grupul A2 se prezintă în desenele nr. 20-2-L, 20-2-U și 20-2-Ω din Anexa nr. 1.

Schițele care evidențiază o serie de caracteristici geometrice prescrise pieselor din grupul A2 se prezintă în Fig. 6.3.

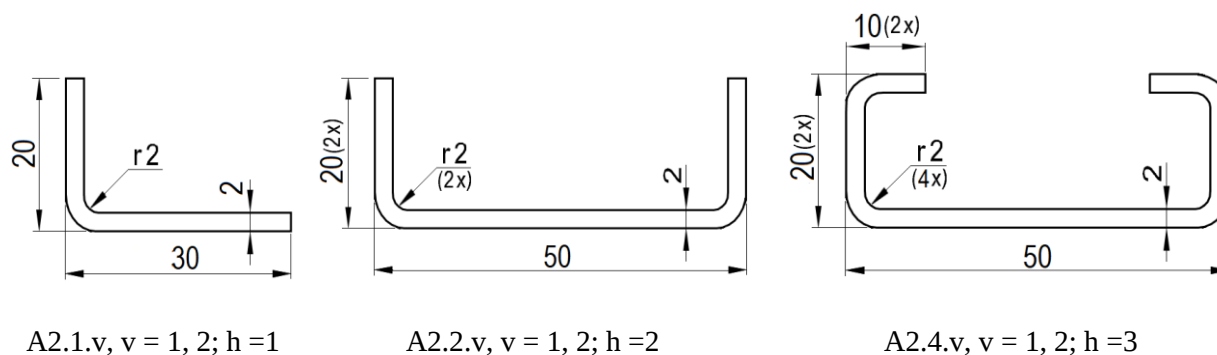


Fig. 6.3. Caracteristici geometrice prescrise pieselor din grupul A2

Pentru piesele din grupul A2, prin particularizări în rel. (5.7) pe baza datelor specifice, s-au calculat valorile lungimilor teoretice ale desfășuratelor corespundente, care se prezintă în Tabelul 6.3 (v. și [P04, P10]).

Tabelul 6.3. Lungimile teoretice ale desfășuratelor pieselor din grupul A2

Cod piesă, Ag.m.v		Număr de ordine piesă, h	Caracteristici geometrice prescrise și elemente de calcul principale					Lungimea teoretică a desfășuratei piesei, Lt, mm
v = 1	v = 2		g _N , mm; r _N , mm	φ _N , °	x	m	Alte date	
A2.1.1	A2.1.2	1	2; 2	90	0.45	1	v. Anexa nr. 1 și Fig. 6.3	46,553
A2.2.1	A2.2.2	2				2		83,106
A2.4.1	A2.4.2	3				4		96,212

Lungimea teoretică a desfășuratei piesei în cadrul grupului A2,5

Grupul de piese A2,5, ca parte a grupurilor Ag [rel. (5.5), Tabel 6.0], este constituit din piese cu grosimea $g = 2,5$ mm, numărul de îndoiri elementare $m = 1, 2$ sau 4 și variantele experimentale $v = 1, 2$, respectiv:

$$\begin{aligned} A2,5 &= \{A2,5.m.v \mid m = 1, 2, 4; v = 1, 2\} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow A2,5 &= \{A2,5.1.1, A2,5.1.2, A2,5.2.1, A2,5.2.2, A2,5.4.1, A2,5.4.2\} \end{aligned} \quad (6.4)$$

O serie de caracteristici constructive prescrise pieselor din grupul A2,5 se prezintă în desenele nr. 25-2-L, 25-2-U și 25-2-Ω din Anexa nr. 1.

Schițele care evidențiază o serie de caracteristici geometrice prescrise pieselor din grupul A2,5 se prezintă în Fig. 6.4.

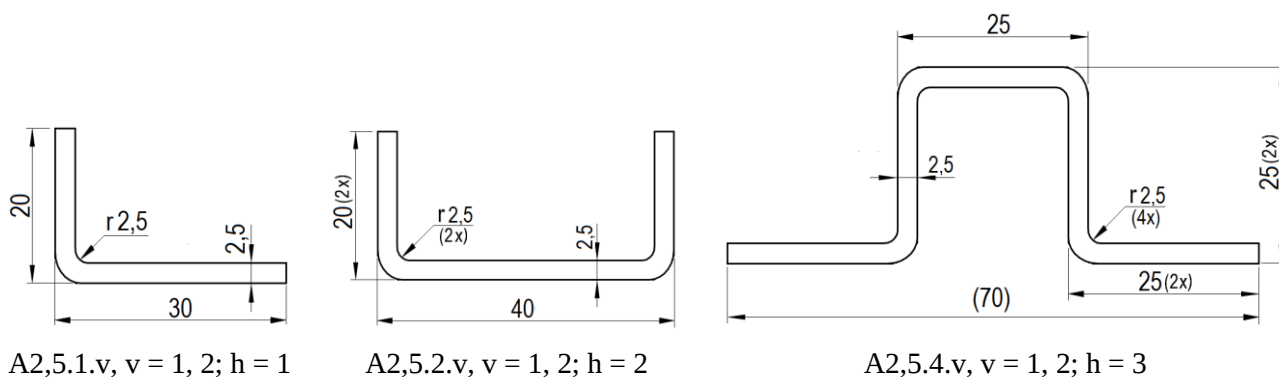


Fig. 6.4. Caracteristici geometrice prescrise pieselor din grupul A2,5

Pentru piesele din grupul A2,5, prin particularizări în rel. (5.7) pe baza datelor specifice, s-au calculat valorile lungimilor teoretice ale desfășuratelor corespundente, care se prezintă în Tabelul 6.4 (v. și [P04, P07]).

Tabelul 6.4. Lungimile teoretice ale desfășuratelor pieselor din grupul A2,5

Cod piesă, Ag.m.v		Număr de ordine piesă, h	Caracteristici geometrice prescrise și elemente de calcul principale					Lungimea teoretică a desfășuratei piesei, Lt, mm
v = 1	v = 2		gN, mm; rN, mm	$\varphi_{N,0}$	x	m	Alte date	
A2,5.1.1	A2,5.1.2	1	2,5; 2,5	90	0.45	1	v. Anexa nr. 1 și Fig. 6.4	45.69125
A2,5.2.1	A2,5.2.2	2				2		71.3825
A2,5.4.1	A2,5.4.2	3				4		107.765

Lungimea teoretică a desfășuratei piesei în cadrul grupului A3

Grupul de piese A3, ca parte a grupurilor Ag [rel. (5.5), Tabel 6.0], este constituit din piese cu grosimea $g = 3$ mm, numărul de îndoiri elementare $m = 1$ sau 2 și variantele experimentale $v = 1, 2$, respectiv:

$$\begin{aligned} A3 &= \{A3.m.v \mid m = 1, 2, 4; v = 1, 2\} \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow A3 = \{A3.1.1, A3.1.2, A'3.2.1, A'3.2.2, A''3.2.1, A''3.2.2\} \end{aligned} \quad (6.5)$$

unde piesele A'3,2.v și A''3.2.v diferă prin forma geometrică, respectiv, A'3,2.v este de formă U, iar A''3.2.v - de formă Z.

O serie de caracteristici constructive prescrise pieselor din grupul A3 se prezintă în desenele nr. 30-2-L, 30-2-U și 30-2-Z din Anexa nr. 1.

Schițele care evidențiază o serie de caracteristici geometrice prescrise pieselor din grupul A3 se prezintă în Fig. 6.5.

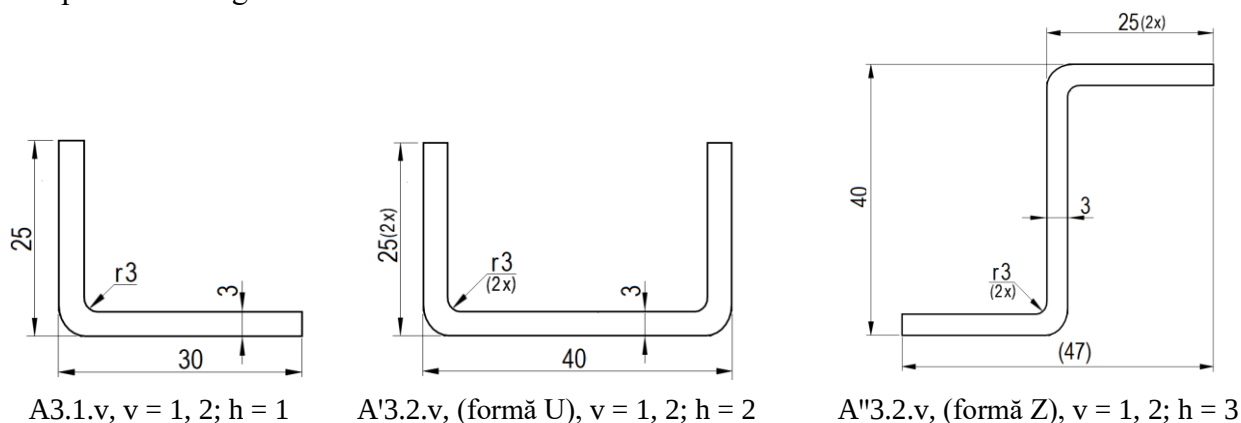


Fig. 6.5. Caracteristici geometrice prescrise asociate pieselor din grupul A3

Pentru piesele din grupul A3, prin particularizări în rel. (5.7) pe baza datelor specifice, s-au calculat valorile lungimilor teoretice ale desfășuratelor corespundente, care se prezintă în Tabelul 6.5 (v. și [P06, P09]).

Tabelul 6.5. Lungimile teoretice ale desfășuratelor pieselor din grupul A3

Cod piesă, Ag.m.v		Număr de ordine piesă, h	Caracteristici geometrice prescrise și elemente de calcul principale					Lungimea teoretică a desfășuratei piesei, Lt mm
v = 1	v = 2		g_N , mm; r_N , mm	φ_N , $^\circ$	x	m	Alte date	
A3.1.1	A3.1.2	1	3; 3	90	0.45	1	v. Anexa nr. 1 și Fig. 6.5	49.8295
A'3.2.1	A'3.2.2	2				2		79.659
A''3.2.1	A''3.2.2	3				2		79.659

6.2. Elemente structurale ale unui proces tehnologic de prelucrare și categorii de semifabricate pentru piesele din grupurile obiectiv

Se consideră grupurile de piese obiectiv Ag.m.v [v. § 5.2 - (1), (2), 6.1].

Elemente privind determinarea unor dimensiuni asociate semifabricatelor pentru grupurile de piese obiectiv Ag.m.v se prezintă în § 5.3 - (2).

Elemente structurale ale unui proces tehnologic de prelucrare, precum și categorii de semifabricate pentru grupurile de piese obiectiv sunt definite după cum se prezintă în continuare.

(1) Elemente structurale ale unui proces tehnologic de prelucrare

În cadrul programului de cercetări teoretico - experimentale, se consideră procesul tehnologic de prelucrare prin deformare plastică la rece a pieselor din grupurile obiectiv structurat pe baza principiului concentrării operațiilor care implică cheltuieli de cercetare minime, prin utilizarea de resurse specifice – semifabricate primare, mașini/ centre cu comandă numerică, scule de prelucrare, mijloace de control etc. – existente în companiile industriale ($v = 1, 2$) [D01, C01]. Astfel, se structurează varianta economică a procesului tehnologic de prelucrare prin deformare plastică la rece a pieselor din grupurile obiectiv, care include operațiile tehnologice principale: Selectare/ Debitare, Perforare – decupare și, respectiv, Îndoire.

(2) Semifabricate primare/ formate de tablă

Pentru realizarea semifabricatelor necesare pieselor din fiecare grup Ag.m.v, în cadrul companiilor industriale ($v = 1, 2$) sunt identificate, ca semifabricate primare, formate de tablă laminată la rece, decapată, de grosime g , lățime B^* și lungime L^* , care îndeplinesc condițiile de calitate în conformitate cu prevederile EN 10130:2700-DC01-A-m [(v. și § 5.3 – (2))] și care se denumesc semifabricate primare sau formate de tablă $g \times B^* \times L^*$.

(3) Semifabricate $g \times b \times L_s$

În legătură cu o piesă obiectiv Ag.m.v bine definită - A1.1.v sau A"1,5.2.v etc. [v. § 6.1], elementele fizice care rezultă în cadrul operației tehnologice Perforare - decupare se consideră *semifabricate* - pentru operația Îndoire, respectiv, *semifabricate* $g \times b \times L_s$ sau, echivalent, $g \times b_h \times L_{sh,h'}$ (Fig. 6.6), unde grosimea g și lățimea b sau b_h sunt cele prescrise piesei obiectiv h , $h = 1, 2$ sau 3 [v. § 6.1], iar lungimea L_s sau, echivalent, $L_{sh,h'}$ se determină la diferite valori (v. § 5.3-(2), în cadrul unor experiențe-test și, respectiv, experiențe principale, în număr de v_h ,

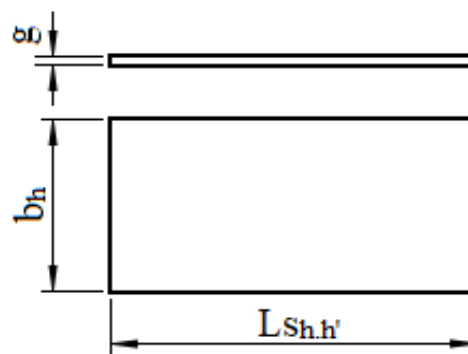


Fig. 6.6. Semifabricate $g \times b_h \times L_{sh,h'}$

$$L_s = L_{sh,h'}, L_s = L_s(m)_0 \text{ sau } L'_s(m), m = 1, 2, 4, v = 1, 2, h = 1, 2, 3 \text{ și } h' = 1, 2, \dots, v_h \quad (6.6)$$

Valorile dimensiunii $L_{sh,h'}$ și numărul de *semifabricate* $g \times b_h \times L_{sh,h'}$ se determină în raport cu necesarul pentru experiențe – test și, respectiv, experiențe principale.

Se consideră că, pentru o aceeași piesă h , numărul v_h de semifabricate $g \times b_h \times L_{sh,h'}$, $h' = 1, 2, \dots, v_h$, este, în general, de valoare 8 – 10.

Astfel, de ansamblu:

$$v = \begin{cases} 8 - 10, & \text{pentru fiecare piesă } h \text{ din grupul } Ag.m.v \\ 24 - 30, & \text{pentru piesele dintr-un grup } Ag.m.v \\ 120 - 150, & \text{pentru piesele din grupurile } Ag.m.v \end{cases} \begin{cases} h = 1, 2, 3; \\ g = 1, 1.5, 2, 2.5, 3; \\ m = 1, 2, 4; v = 1 \text{ sau/și } 2 \end{cases} \quad (6.7)$$

Spre exemplificare:

- pentru piesa A1.4.1 ($h = 3$, Fig. 6.1) *semifabricatele* $g \times b \times L_s$ sunt *semifabricate* $1 \times 70 \times L_{s3,h'}$, $h' = 1, 2, \dots, v_3$, respectiv, *semifabricat* $1 \times 70 \times L_{s3,1}$, *semifabricat* $1 \times 70 \times L_{s3,2}$, ..., *semifabricat* $1 \times 70 \times L_{s3,v_3}$, dintre care primele câteva *semifabricate* sunt pentru experiențe – test, iar celelalte – pentru experiențele principale;

- pentru cele trei piese ($h = 1, 2, 3$) din grupul A1.m.1, *semifabricatele* $g \times b \times L_s$ sunt: *semifabricate* $1 \times 50 \times L_{s1,h'}$, *semifabricate* $1 \times 70 \times L_{s2,h'}$ și *semifabricate* $1 \times 70 \times L_{s3,h'}$, $h' = 1, 2, \dots, v_h$, din care, la fiecare categorie ($h = 1, 2, 3$), primele câteva *semifabricate* sunt pentru experiențe – test, iar celelalte – pentru experiențele principale.

(4) Semifabricate $g \times B_0 \times L_0$

Pentru piesele obiectiv de aceeași grosime prescrisă g , din grupul $Ag.m.v$, semifabricatul necesar se determină ca format de grosime g , lățime B_0 și lungime L_0 , respectiv, ca semifabricat $g \times B_0 \times L_0$, care se structurează astfel încât să fie satisfăcute cerințele tehnico – economice experimentale ($v = 1$ sau 2), dintre care se menționează următoarele:

- poziționarea de *semifabricate* $g \times b_h \times L_{sh,h'}$ după direcțiile axelor ortogonale de coordonate, X, Y , din plan orizontal, cu punți tehnologice intermediare de lățime t - comune la două semifabricate succesive, precum și adaosuri laterale de lățime t_{lat} ;

- asigurarea unui grad ridicat de utilizare a materialului;

- realizarea semifabricatului $g \times B_0 \times L_0$, la operația tehnologică Selectare/ Debitare, ca format de tablă $g \times B^* \times L^*$ sau prin debitare din asemenea format.

De remarcat faptul că fiecare semifabricat $g \times B_0 \times L_0$ include adaosuri de prelucrare de minimum $0,5t$ la suprafețele plane definite de dimensiunile b și L_s sau, echivalent, b_h și $L_{sh,h'}$, $h = 1, 2, 3$ și $h' = 1, 2, \dots, v_h$.

În raport cu cele de mai sus, dimensiunile B_0 și L_0 ale fiecărui semifabricat $g \times B_0 \times L_0$ se determină pe baza relațiilor:

$$\begin{aligned} 2t_{lat} + \sum[v'b + (v' - 1)t] &\leq B_0 \leq B^* \text{ și} \\ 2t_{lat} + \sum[v''L_s + (v'' - 1)t] &\leq L_0 \leq L^*, t_{lat} \geq t \end{aligned} \quad (6.8)$$

unde elementele b , v' , L_s , v'' și v''' au semnificații și valori numerice care se definesc după caz.

Se subliniază că, în legătură cu o piesă obiectiv h , lungimea L_s sau, echivalent, $L_{s,h,h'}$ are valoarea inițială $L_{s,h,1}$ egală cu lungimea teoretică a desfășuratei L_t sau, echivalent, $L_{t,h}$ [(v. § 5.3, 6.1], iar valorile următoare $L_{s,h,h'}$, $h' = 1, 2, \dots, v_h$, după cum se determină în cadrul experiențelor – test și principale [(v. § 5.3, 6.3)], ceea ce se reflectă la semifabricatul $g \times B_0 \times L_0$ corespunzător.

O serie de elemente privind semifabricatele $g \times B_0 \times L_0$ și $g \times b_h \times L_{s,h,h'}$ se prezintă în Fig. 6.7 și Tabelul 6.6.

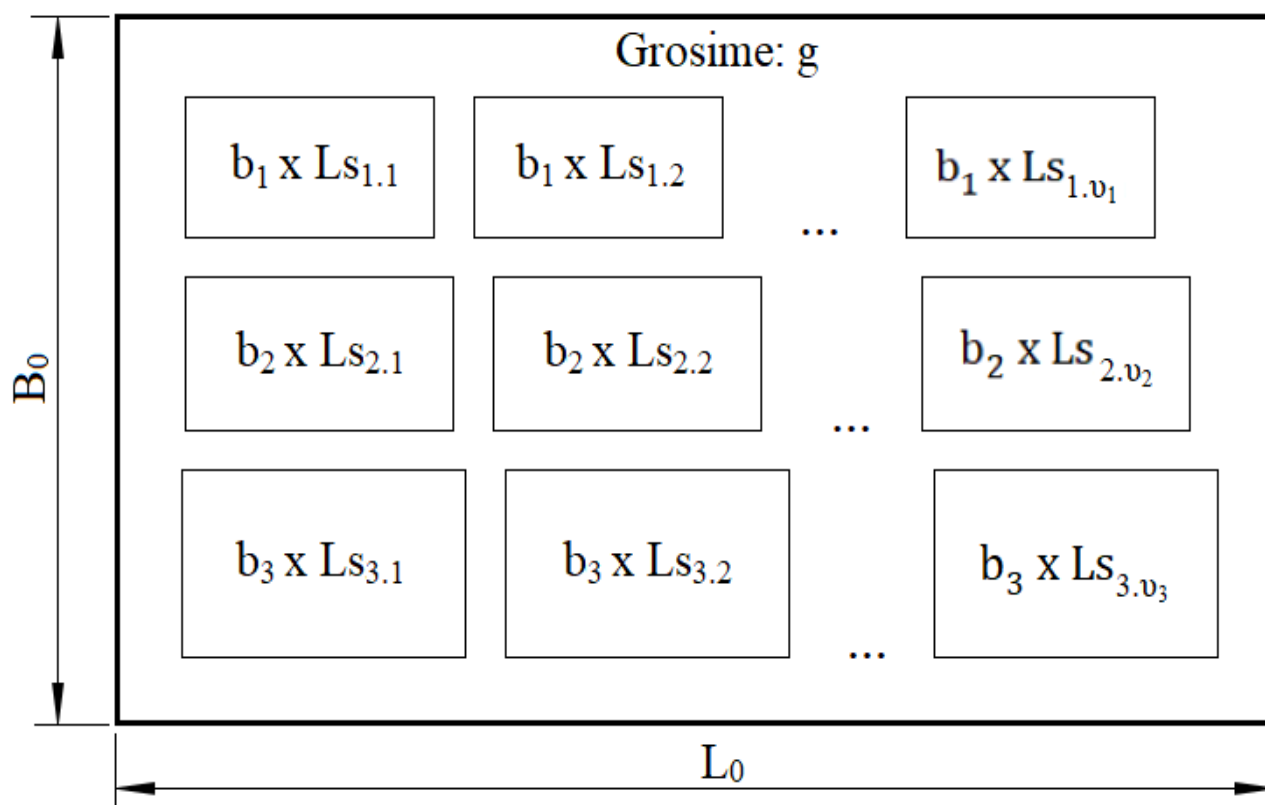


Fig. 6.7. Exemplu de configurare a unui semifabricat $g \times B_0 \times L_0$
în semifabricate $g \times b_h \times L_{s,h,h'}$, $h = 1, 2, 3$, $h' = 1, 2, \dots, v_h$

Tabelul 6.6. Elemente privind dimensiunile și numărul de semifabricate
pentru piesele obiectiv din grupurile Ag.m.v

Cod piesă, A1.m.v	Semifabricat $g \times B_0 \times L_0$, mm	Semifabricate $g \times b_h \times L_{s_{h,h'}}$, mm/ v_h , $h = 1, 2, 3$ și $h' = 1, 2, \dots, v_h$		
	$g \times B_0 \times L_0$	$g \times b_1 \times L_{s_{1,h'}}$	$g \times b_2 \times L_{s_{2,h'}}$	$g \times b_3 \times L_{s_{3,h'}}$
A1.m.v	$1 \times B_0 \times L_0$	$1 \times 50 \times L_{s_{1,h'}}$	$1 \times 70 \times L_{s_{2,h'}}$	$1 \times 70 \times L_{s_{3,h'}}$
A1,5.m.v	$1,5 \times B_0 \times L_0$	$1,5 \times 70 \times L_{s_{1,h'}}$	$1,5 \times 70 \times L_{s_{2,h'}}$	$1,5 \times 70 \times L_{s_{3,h'}}$
A2.m.v	$2 \times B_0 \times L_0$	$2 \times 95 \times L_{s_{1,h'}}$	$2 \times 95 \times L_{s_{2,h'}}$	$2 \times 95 \times L_{s_{3,h'}}$
A2,5.m.v	$2,5 \times B_0 \times L_0$	$2,5 \times 75 \times L_{s_{1,h'}}$	$2,5 \times 75 \times L_{s_{2,h'}}$	$2,5 \times 75 \times L_{s_{3,h'}}$
A3.m.v	$3 \times B_0 \times L_0$	$3 \times 70 \times L_{s_{1,h'}}$	$3 \times 70 \times L_{s_{2,h'}}$	$3 \times 70 \times L_{s_{3,h'}}$

6.3. Elemente ale operațiilor și sistemelor tehnologice de prelucrare a semifabricatelor pentru piesele din grupurile obiectiv

Cercetările experimentale privind dezvoltarea unor semifabricate pentru piesele din grupurile obiectiv Ag.m.v cuprind operațiile Debitare și Perforare – decupare ale procesului tehnologic de prelucrare (v. § 6.2).

Operațiile tehnologice Debitare și Perforare – decupare, în cauză, se execută în sisteme tehnologice, din două companii industriale (v: 1, 2), care includ, după caz, o mașină sau un centru CNC de ștanțare, elemente de orientare–fixare, elemente active, elemente de control etc., dintre care se menționează cele urmează.

Operația tehnologică Debitare cuprinde separarea, prin retezare, din formate de tablă $g \times B^* \times L^*$, a semifabricatelor $g \times B_0 \times L_0$. Operația se execută într-un sistem tehnologic, STD, care include:

- Foarfecă ghilotină hidraulică CNC HVR 3100 x 10 (v. § 5.2 - (4) și Anexa nr. 2);
- program CNC de operare.

Operația tehnologică Perforare - decupare cuprinde prelucrări, prin perforare, ale alezajelor de diametre prescrise $\varnothing 5,4$ sau $\varnothing 7$, în număr de 2, 3, ..., 15, după caz, din structura semifabricatelor/ pieselor obiectiv, precum și prelucrări, prin decupare, ale suprafețelor plane laterale ale semifabricatelor, respectiv, de separare, din semifabricate $g \times B_0 \times L_0$, a semifabricatelor $g \times b \times L_s$ sau, echivalent, $g \times b_h \times L_{s_{h,h'}}$. Operația se execută într-un sistem tehnologic, STP-D, care include:

- Mașină de ștanțat Trumpf TC 200R sau Mașină de ștanțat tip Boschert sau Centru de ștanțare CNC TruPunch 3000R (v. § 5.2 - (4) și Anexa nr. 2);
- scule de tip poanson - placă activă cu profil circular de tăiere, pentru prelucrările prin perforare din cadrul operației;
- scule de tip poanson - placă activă cu profil rectangular de tăiere, pentru prelucrările prin decupare din cadrul operației;
- program CNC de operare.

Dimensiunile din structura semifabricatelor, realizate în cadrul operațiilor tehnologice Debitare și Perforare – decupare, se verifică prin măsurare cu șublere digitale cu valoarea diviziunii de 0,01 mm.

O serie de elemente tehnologice specifice privind semifabricatele pentru fiecare grup de piese obiectiv Ag se prezintă în continuare.

(a) Elemente tehnologice specifice privind semifabricatele pentru grupul de piese obiectiv A1

Pentru fiecare piesă obiectiv h din grupul A1, $h = 1, 2, 3$ (Fig. 6.1), semifabricatele $1 \times b \times L_s$ sunt $S 1 \times b \times L_s$ sau, echivalent, $S 1 \times b_h \times L_{S_{h,h'}}$ [v. și § 6.2-(3)], respectiv:

$$S 1 \times b \times L_{S_{h,h'}} = \{S 1 \times 50 \times L_{S_{1,h'}}; S 1 \times 70 \times L_{S_{2,h'}}; S 1 \times 70 \times L_{S_{3,h'}} | h' = 1, 2, \dots, v_h, v_h = 8 - 10\} \quad (6.9)$$

Semifabricatul $1 \times B_0 \times L_0$ se configurează, după cum se prezintă în § 6.2-(4), pentru $b_1 = 50$ mm, $b_2 = b_3 = 70$ mm, precum și, inițial, pentru $L_{S_{h,1}} = L_{th}$, respectiv, $L_{S_{1,1}} = 35,7765$ mm, $L_{S_{2,1}} = 86,553$ mm, $L_{S_{3,1}} = 110,606$ mm (v. Tabelul 6.1); $t = 5$ mm, $t_{lat} = 10$ mm; $v_h = 10$.

O secvență din programul CNC de operare tehnologică privind semifabricatul $1 \times B_0 \times L_0$ se prezintă în Fig. 6.8.

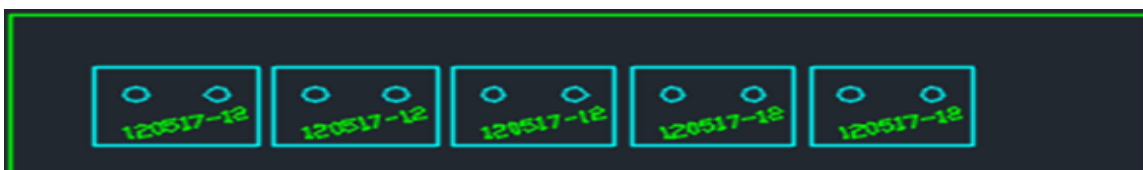


Fig. 6.8. Semifabricat parțial $1 \times B_0 \times L_0$ în cadrul programului CNC de operare [C01]

În raport cu cele de mai sus, în cadrul sistemului tehnologic STD, se execută operația Debitare, asupra formatului de tablă $1 \times B^* \times L^*$ selectat, respectiv, se realizează efectiv, prin rețezare, semifabricatul $1 \times B_0 \times L_0$.

Analog, în cadrul sistemului tehnologic STP-D, se execută operația Perforare - decupare, asupra semifabricatului $1 \times B_0 \times L_0$, și anume, se prelucrează succesiv: prin perforare - alezajele cu diametrul prescris, în mm, de $\varnothing 5,4$ (6x); prin decupare/ tăiere - suprafețele plane laterale ale semifabricatelor la dimensiunile prescrise $b_h \times L_{S_{h,h'}}$, în mm, de $50 \times L_{S_{1,1}}$, $70 \times L_{S_{2,1}}$ și, respectiv, $70 \times L_{S_{3,1}}$, cu poansoane la care profilul rectangular de tăiere este cu lungime x lățime, în mm, de 56×5 sau $76,2 \times 5$. Astfel, se realizează efectiv semifabricate $1 \times b_h \times L_{S_{h,h'}}$.

(b) Elemente tehnologice specifice privind semifabricatele pentru grupul de piese obiectiv A1,5

Pentru fiecare piesă obiectiv h din grupul A1,5, $h = 1, 2, 3$ (Fig. 6.2), semifabricatele $1,5 \times b \times L_s$ sunt $S 1,5 \times 70 \times L_{S_{h,h'}}$ [v. și § 6.2-(3)], respectiv:

$$S 1,5 \times 70 \times L_{S_{h,h'}} = \{S 1,5 \times 70 \times L_{S_{1,h'}}; S 1,5 \times 70 \times L_{S_{2,h'}}; S 1,5 \times 70 \times L_{S_{3,h'}} | h' = 1, 2, \dots, v_h, v_h = 8 - 10\} \quad (6.10)$$

Semifabricatul $1,5 \times B_0 \times L_0$ se configurează, după cum se prezintă în § 6.2-(4), pentru $b_1 = b_2 = b_3 = 70$ mm, precum și, inițial, pentru $L_{sh,1} = L_{th}$, respectiv, $L_{s1,1} = 34,9148$ mm, $L_{s2,1} = 69,8285$ mm, $L_{s3,1} = 84,8285$ mm (v. Tabelul 6.2); $t = 5$ mm, $t_{lat} = 10$ mm; $v_h = 10$.

O secvență din programul CNC de operare tehnologică privind semifabricatul $1,5 \times B_0 \times L_0$ se prezintă în Fig. 6.9.

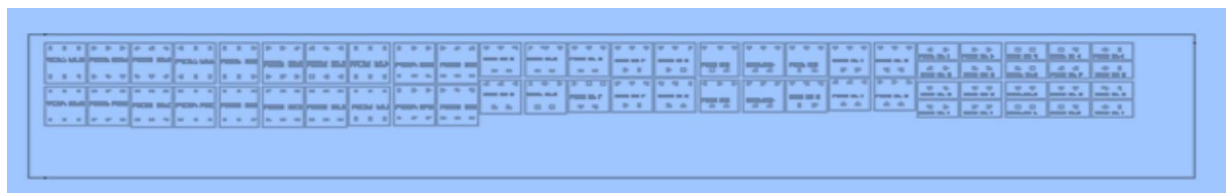


Fig. 6.9. Semifabricat $1,5 \times B_0 \times L_0$ în cadrul programului CNC de operare [C01]

În cadrul sistemului tehnologic STD, se execută operația Debitare, asupra formatului de tablă $1,5 \times B^* \times L^*$ selectat, respectiv, se realizează efectiv, prin retezare, semifabricatul $1,5 \times B_0 \times L_0$.

Analog, în cadrul sistemului tehnologic STP-D, se execută operația Perforare - decupare, asupra semifabricatului $1,5 \times B_0 \times L_0$, și anume, se prelucrează succesiv: prin perforare - alezajele cu diametrele prescrise, în mm, de $\varnothing 7$ (7x) și $\varnothing 5,4$ (6x); prin decupare/ tăiere - suprafețele plane laterale ale semifabricatelor la dimensiunile prescrise $b_h \times L_{sh,h'}$, în mm, de $70 \times L_{s1,1}$, $70 \times L_{s2,1}$ și, respectiv, $70 \times L_{s3,1}$, cu poanson la care profilul rectangular de tăiere este cu lungime x lățime de $76,2 \times 5$ mm. Astfel, se realizează efectiv semifabricate $1,5 \times b_h \times L_{sh,h'}$.

(c) Elemente tehnologice specifice privind semifabricatele pentru grupul de piese obiectiv A2

Pentru fiecare piesă obiectiv h din grupul A2, $h = 1, 2, 3$ (Fig. 6.3), semifabricatele $2 \times b \times L_s$ sunt $S 2 \times 95 \times L_{sh,h'}$ [v. și § 6.2-(3)], respectiv:

$$S 2 \times 95 \times L_{sh,h'} = \{S 2 \times 95 \times L_{s1,h'}; S 2 \times 95 \times L_{s2,h'}; S 2 \times 95 \times L_{s3,h'} | h' = 1, 2, \dots, v_h, v_h = 8 - 10\} \quad (6.11)$$

Semifabricatul $2 \times B_0 \times L_0$ se configurează, după cum se prezintă în § 6.2-(4), pentru $b_1 = b_2 = b_3 = 95$ mm, precum și, inițial, pentru $L_{sh,1} = L_{th}$, respectiv, $L_{s1,1} = 46,553$ mm, $L_{s2,1} = 83,106$ mm, $L_{s3,1} = 93,212$ mm (v. Tabelul 6.3); $t = 5$ mm, $t_{lat} = 10$ mm; $v_h = 10$.

O secvență din programul CNC de operare tehnologică privind semifabricatul $2 \times B_0 \times L_0$ se prezintă în Fig. 6.10.

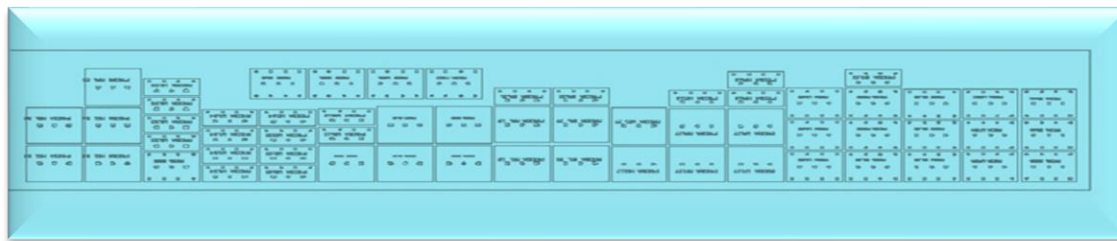


Fig. 6.10. Semifabricat $2 \times B_0 \times L_0$ în cadrul programului CNC de operare [C01]

În cadrul sistemului tehnologic STD, se execută operația Debitare, asupra formatului de tablă $2 \times B^* \times L^*$ selectat, respectiv, se realizează efectiv, prin retezare, semifabricatul $2 \times B \times L$.

Analog, în cadrul sistemului tehnologic STP-D, se execută operația Perforare - decupare, asupra semifabricatului $2 \times B_0 \times L_0$, și anume, se prelucrează succesiv: prin perforare - alezajele cu diametrele prescrise, în mm, de $\varnothing 5,4$ (12x) și $\varnothing 7$ (9x); prin decupare/ tăiere - suprafețele plane laterale ale semifabricatelor la dimensiunile prescrise $b_h \times L_{sh,h'}$, în mm, de $95 \times L_{s1,1}$, $95 \times L_{s2,1}$ și, respectiv, $95 \times L_{s3,1}$, cu poanson la care profilul rectangular de tăiere este cu lungime $\times$ lățime de $76,2 \times 5$ mm. Astfel, se realizează efectiv semifabricate $2 \times 95 \times L_{sh,h'}$.

(d) Elemente tehnologice specifice privind semifabricatele pentru grupul de piese obiectiv A2,5

Pentru fiecare piesă obiectiv h din grupul A2,5, $h = 1, 2, 3$ (Fig. 6.4), semifabricatele $2,5 \times b \times L_s$ sunt $S_{2,5 \times 75 \times L_{sh,h'}}$ [v. și § 6.2-(3)], respectiv:

$$S_{2,5 \times 75 \times L_{sh,h'}} = \{S_{2,5 \times 75 \times L_{s1,h'}}; S_{2,5 \times 75 \times L_{s2,h'}}; S_{2,5 \times 75 \times L_{s3,h'}} | h' = 1, 2, \dots, v_h, v_h = 8 - 10\} \quad (6.12)$$

Semifabricatul $2,5 \times B_0 \times L_0$ se configurează, după cum se prezintă în § 6.2-(4), pentru $b_1 = b_2 = b_3 = 75$ mm, precum și, inițial, pentru $L_{sh,1} = L_{th}$, respectiv, $L_{s1,1} = 46,69125$ mm, $L_{s2,1} = 71,3825$ mm, $L_{s3,1} = 107,765$ mm (v. Tabelul 6.4); $t = 5$ mm, $t_{lat} = 10$ mm; $v_h = 10$.

O secvență din programul CNC de operare tehnologică privind semifabricatul $2,5 \times B_0 \times L_0$ se prezintă în Fig. 6.11.

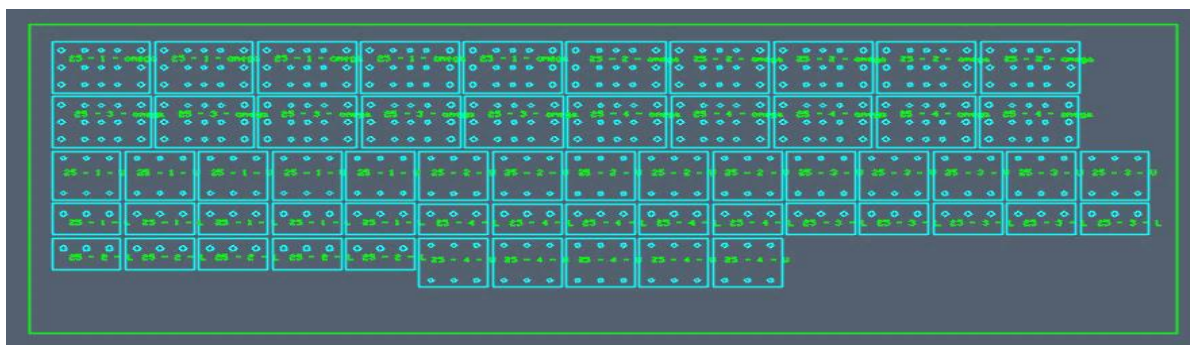


Fig. 6.11. Semifabricatul $2,5 \times B \times L$ în cadrul programului CNC de operare [C01]

În cadrul sistemului tehnologic STD, se execută operația Debitare, asupra formatului de tablă $2,5 \times B^* \times L^*$ selectat, respectiv, se realizează efectiv, prin retezare, semifabricatul $2,5 \times B_0 \times L_0$.

Analog, în cadrul sistemului tehnologic STP-D, se execută operația Perforare - decupare, asupra semifabricatului $2,5 \times B_0 \times L_0$, și anume, se prelucrează succesiv: prin perforare - alezajele cu diametrele prescrise, în mm, de $\varnothing 7$ (9x) și $\varnothing 5,4$ (15x); prin decupare/ tăiere - suprafețele plane laterale ale semifabricatelor la dimensiunile prescrise $b_h \times L_{sh,h'}$, în mm, de $75 \times L_{s1,1}$, $75 \times L_{s2,1}$ și, respectiv, $75 \times L_{s3,1}$, cu poanson la care profilul rectangular de tăiere este cu lungime $\times$ lățime de 56×5 mm. Astfel, se realizează efectiv semifabricate $2,5 \times 75 \times L_{sh,h'}$.

(e) Elemente tehnologice specifice privind semifabricatele pentru grupul de piese obiectiv A3

Pentru fiecare piesă obiectiv h din grupul A3, $h = 1, 2, 3$ (Fig. 6.5), *semifabricatele* $3 \times b \times L_s$ sunt $S 3 \times 70 \times L_{sh,h'}$ [v. și § 6.2-(3)], respectiv:

$$S 3 \times 70 \times L_{sh,h'} = \{S 3 \times 70 \times L_{s1,h'}; S 3 \times 70 \times L_{s2,h'}; S 3 \times 70 \times L_{s3,h'} | h' = 1, 2, \dots, v_h, v_h = 8 - 10\} \quad (6.13)$$

Semifabricatul $3 \times B_0 \times L_0$ se configurează, după cum se prezintă în § 6.2-(4), pentru $b_1 = b_2 = b_3 = 70$ mm, precum și, inițial, pentru $L_{sh,1} = L_{th}$, respectiv, $L_{s1,1} = 42,8295$ mm, $L_{s2,1} = 79,659$ mm, $L_{s3,1} = 107,765$ mm (v. Tabelul 6.5); $t = 5$ mm, $t_{lat} = 10$ mm; $v_h = 10$.

În cadrul sistemului tehnologic STD, se execută operația Debitare, asupra formatului de tablă $3 \times B^* \times L^*$ selectat, respectiv, se realizează efectiv, prin retezare, semifabricatul $3 \times B_0 \times L_0$.

Analog, în cadrul sistemului tehnologic STP-D, se execută operația Perforare - decupare, asupra semifabricatului $3 \times B_0 \times L_0$, și anume, se prelucurează succesiv: prin perforare - alezajele cu diametrul prescris, în mm, de $\varnothing 7$ (15x); prin decupare/ tăiere - suprafețele plane laterale ale semifabricatelor la dimensiunile prescrise $b_h \times L_{sh,h'}$, în mm, de $70 \times L_{s1,1}$, $70 \times L_{s2,1}$ și, respectiv, $70 \times L_{s3,1}$, cu poanson la care profilul rectangular de tăiere este cu lungime $\times$ lățime de 56×5 mm. Astfel, se realizează efectiv semifabricate $3 \times 70 \times L_{sh,h'}$.

6.4. Cercetări teoretico – experimentale privind determinarea lungimii și a abaterii tehnologice asociate semifabricatelor pentru piesele din grupurile obiectiv

Se consideră grupurile de piese obiectiv Ag [v. § 5.2-(1), (2), 6.1].

În raport cu elemente de definiție și metodologice de determinare [v. § 5.3-(2)], lungimea L_s și abaterea ΔL asociate semifabricatelor $g \times b \times L_s$ sau, echivalent, $g \times b_h \times L_{sh,h'}$ pentru piesele din fiecare grup Ag, s-au determinat pe baza rezultatelor unor *experiențe – test*.

Practic, după cum se prezintă în § 5.3-(2), 6.2-(3) și 6.3:

- în legătură cu o piesă obiectiv Ag.1.v ($m = 1$, $h = 1$), lungimea L_s sau, echivalent, $L_s(m)$ s-a determinat ca valoare medie $L_s(1)_0$ pe baza unor valori experimentale [rel. (5.9)], obținute în fazele de decupare ale unor operații tehnologice de tip Perforare – decupare, iar abaterea $\Delta L(1)$ s-a determinat prin calcul [rel. (5.11)];
- în legătură cu o piesă obiectiv Ag.m.v, $m = 2$ sau 4 ($h = 2, 3$), lungimea $L_s(m)$ și abaterea $\Delta L(m)$ s-au determinat prin calcul, în ordinea $\Delta L(2)$, $L_s(2)$, $\Delta L(4)$, $L_s(4)$ [rel. (5.12) – (5.17)] sau similar cazului anterior, respectiv, experimental și prin calcul, în ordinea $L_s(4)_0$, $\Delta L(4)$ [rel.(5.18), (5.12)].

Valorile efective ale lungimii L_s și ale abaterii tehnologice ΔL asociate semifabricatelor pentru piesele din grupurile obiectiv

Valorile efective ale lungimii L_s și ale abaterii tehnologice ΔL asociate semifabricatelor $S \times b_h \times L_{sh}$ pentru fiecare dintre piesele din grupurile obiectiv Ag , care au fost determinate după cum s-a arătat mai sus, se prezintă în Tabelele 6.7 – 6.11 (v. și [P03 – P11]).

Tabelul 6.7. Valorile efective ale lungimii L_s și abaterii ΔL asociate semifabricatelor $S 1 \times b_h \times L_{sh}$ pentru piesele din grupul A1.m.v

Cod piesă, A1.m.v	g_N , mm; r_N , mm; φ_N , °; x	m	Număr de ordine piesă, h	Lungimea teoretică a desfășurării piesei, L_t , mm	Semifabricat	Var. exp. v	Lungimea L_s , mm, și abaterea ΔL , mm, în ordinea determinării, respectiv, v = 1: $L_s(1)_0$, $\Delta L(1)$, $\Delta L(2)$, $L's(2)$, $\Delta L(4)$, $L's(4)$; v = 2: $L_s(1)_0$, $\Delta L(1)$, $\Delta L(2)$, $L's(2)$, $L_s(4)_0$, $\Delta L(4)$			
A1.1.1	1; 1; 90; 0,45	1	1	35,7765	$S1 \times 50 \times L_{s1}$	1	$L_s(1)_0$	35,46	$\Delta L(1)$	0,3165
A1.1.2						2		35,70		0,0765
A1.2.1		2	2	86,553	$S1 \times 70 \times L_{s2}$	1	$\Delta L(2)$	0,633	$L's(2)$	85,92
A1.2.2						2		0,153		86,40
A1.4.1		4	3	110,606	$S1 \times 70 \times L_{s3}$	1	$\Delta L(4)$	1,266	$L's(4)$	109,34
A1.4.2						2	$L_s(4)_0$	110,42	$\Delta L(4)$	0,1860

Tabelul 6.8. Valorile efective ale lungimii L_s și abaterii ΔL asociate semifabricatelor $S 1,5 \times 70 \times L_{sh}$ pentru piesele din grupul A1,5.m.v

Cod piesă, A1,5.m.v	g_N , mm; r_N , mm; φ_N , °; x	m	Număr de ordine piesă, h	Lungimea teoretică a desfășurării piesei, L_t , mm	Semifabricat	Var. exp. v	Lungimea L_s , mm, și abaterea ΔL , mm, în ordinea determinării, respectiv, $L_s(1)_0$, $\Delta L(1)$, $\Delta L(2)$, $L's(2)$, $\Delta L(2)$, $L's(2)$ v = 1 și, apoi, v = 2			
A1,5.1.1	1,5; 1,5; 90; 0,45	1	1	34,9148	$S1,5 \times 70 \times L_{s1}$	1	$L_s(1)_0$	34,02	$\Delta L(1)$	0,8948
A1,5.1.2						2		34,85		0,0648
A'1,5.2.1		2	2	69,8295	$S1,5 \times 70 \times L_{s2}$	1	$\Delta L(2)$	1,7895	$L's(2)$	68,04
A'1,5.2.2						2		0,1295		69,70
A''1,5.2.1		2	3	84,8295	$S1,5 \times 70 \times L_{s3}$	1	$\Delta L(2)$	1,7895	$L's(2)$	83,04
A''1,5.2.2						2		0,1295		84,70

Tabelul 6.9. Valorile efective ale lungimii L_s și abaterii ΔL asociate semifabricatelor
 $S\ 2 \times 95 \times L_{sh}$ pentru piesele din grupul A2.m.v

Cod piesă, A2.m.v	g_N , mm; r_N , mm; φ_N , °; x	m	Număr de ordine piesă, h	Lungimea teoretică a desfășurării piesei, L_t , mm	Semifabricat	Var. exp. v	Lungimea L_s , mm, și abaterea ΔL , mm, în ordinea determinării, respectiv, v = 1: $L_s(1)_0$, $\Delta L(1)$, $\Delta L(2)$, $L's(2)$, $\Delta L(4)$, $L's(4)$; v = 2: $L_s(1)_0$, $\Delta L(1)$, $\Delta L(2)$, $L's(2)$, $L_s(4)_0$, $\Delta L(4)$			
A2.1.1	2; 2; 90; 0,45	1	1	46.553	$S2 \times 95 \times L_{s1}$	1	$L_s(1)_0$	46,06	$\Delta L(1)$	0,493
A2.1.2						2		46,30		0,253
A2.2.1		2	2	83,106	$S2 \times 95 \times L_{s2}$	1	$\Delta L(2)$	0,986	$L's(2)$	82.12
A2.2.2						2		0,506		82,60
A2.4.1		4	3	96,212	$S2 \times 95 \times L_{s3}$	1	$\Delta L(4)$	1,972	$L's(4)$	94.24
A2.4.2						2	$L_s(4)_0$	96,08	$\Delta L(4)$	0,132

Tabelul 6.10. Valorile efective ale lungimii L_s și abaterii ΔL asociate semifabricatelor
 $S\ 2,5 \times 75 \times L_{sh}$ pentru piesele din grupul A2,5.m.v

Cod piesă, A2,5.m.v	g_N , mm; r_N , mm; φ_N , °; x	m	Număr de ordine piesă, h	Lungimea teoretică a desfășurării piesei, L_t , mm	Semifabricat	Var. exp. v	Lungimea L_s , mm, și abaterea ΔL , mm, în ordinea determinării, respectiv, $L_s(1)_0$, $\Delta L(1)$, $\Delta L(2)$, $L's(2)$, $\Delta L(4)$, $L's(4)$, v = 1 și, apoi, v = 2			
A2,5.1.1	2,5; 2,5; 90; 0,45	1	1	45.69125	$S2,5 \times 75 \times L_{s1}$	1	$L_s(1)_0$	45.52	$\Delta L(1)$	0,17125
A2,5.1.2						2		45.60		0,09125
A2,5.2.1		2	2	71.3825	$S2,5 \times 75 \times L_{s2}$	1	$\Delta L(2)$	0,3425	$L's(2)$	71.04
A2,5.2.2						2		0,1825		71.20
A2,5.4.1		4	3	107.765	$S2,5 \times 75 \times L_{s3}$	1	$\Delta L(4)$	0.685	$L's(4)$	107.08
A2,5.4.2						2		0,365		107.40

Tabelul 6.11. Valorile efective ale lungimii L_s și abaterii ΔL asociate semifabricatelor
S 3 x 70 x L_h pentru piesele din grupul A3.m.v

Cod piesă, A3.m.v	g_N , mm; r_N , mm; φ_N , °; x	m	Număr de ordine piesă, h	Lungimea teoretică a desfășurării piesei, L_t , mm	Semifabricat	Var. exp. v	Lungimea L_s , mm, și abaterea ΔL , mm, în ordinea determinării, respectiv, $L_s(1)_0$, $\Delta L(1)$, $\Delta L(2)$, $L's(2)$, $\Delta L(2)$, $L's(2)$, $v = 1$ și, apoi, $v = 2$			
A3.1.1	3; 3; 90; 0,45	1	1	49.8295	S3x70xL	1	$L_s(1)_0$	49.92	$\Delta L(1)$	- 0.0905
A3.1.2						2		49,69		0,1395
A'3.2.1		2	2	79.659	S3x70xL	1	$\Delta L(2)$	- 0,181	$L's(2)$	79.84
A'3.2.2						2		0,279		79.38
A"3.2.1		2	3	79.659	S3x70xL	1	$\Delta L(2)$	- 0,181	$L's(2)$	79.84
A"3.2.2						2		0,279		79.38

6.5. Cercetări teoretico - experimentale privind evaluarea preciziei unor caracteristici efective ale semifabricatelor pentru piesele din grupurile obiectiv

Se consideră grupurile de piese obiectiv Ag.m.v [v. § 5.2-(1), (2), 6.1].

Precizia unor caracteristici efective ale semifabricatelor pentru piesele din grupurile obiectiv se evaluează în cadrul unui program de *experiențe principale*, după cum urmează.

a. Caracteristici de referință asociate semifabricatelor pentru piesele din grupurile obiectiv

În legătură cu fiecare piesă obiectiv Ag.m.v, pentru lungimea $L_s(m)$ și abaterea $\Delta L(m)$ asociate semifabricatelor $g \times b \times L_s(m)$ sau, echivalent, $g \times b_h \times L_{sh,h'}$ (v. § 6.2), se consideră a fi lungime de referință, $L_s(m)^r$, și, corespunzător, abatere de referință, $\Delta L(m)^r$, valorile $L_s(1)_0$, $L's(2)$ sau $L's(4)$ și, respectiv, $\Delta L(1)$, $\Delta L(2)$ sau $\Delta L(4)$, după cum s-au determinat și se prezintă în § 6.4, Tabelele 6.7- 6.11, cu sublinierea că:

$$\Delta L(m)^r = L_t(m) - L_s(m)^r, m = 1, 2 \text{ sau } 4 \quad (6.15)$$

Pentru lungimea semifabricatului $L_s(m)$, pe lângă lungimea de referință $L_s(m)^r$, sunt caracteristici de referință și abaterile limită a_{inf}^r , a_{sup}^r sau valorile limită $L_s(m)_{min}$, $L_s(m)_{max}$ corespundente,

$$L_s(m)_{min} = L_s(m)^r + a_{inf}^r, L_s(m)_{max} = L_s(m)^r + a_{sup}^r \quad (6.16)$$

În legătură cu piesele din grupurile obiectiv Ag.m.v, abaterile limită $a_{\inf}^r$, $a_{\sup}^r$ se consideră egale cu abaterile limită pentru dimensiunile liniare ale pieselor plate în conformitate cu prevederile standard în vigoare [S07], după cum se prezintă în Tabelul 6.12.

Tabelul 6.12. Abaterile limită la lungimea semifabricatului pentru piesele din grupurile obiectiv (adaptare după [S07])

Grosimea semifabricatului g, mm	1			1.5, 2, 2.5, 3		
Clasa de precizie	1	2	3	1	2	3
Dimensiunea de referință, mm	Abaterile limită, mm					
(25; 63]	± 0.25	± 0.5	± 1	± 0.3	± 0.6	± 1.2
(63; 160]	± 0.3	± 0.6	± 1.2	± 0.4	± 0.8	± 1.5

b. Caracteristici efective asociate semifabricatelor pentru piesele din grupurile obiectiv

În legătură cu fiecare piesă obiectiv Ag.m.v, se realizează n' *experiențe principale*, respectiv, $n' = 7$ semifabricate $g \times b \times L_s(m)$ sau, echivalent, $g \times b_h \times L_{sh,h'}$, în aceleași condiții, și anume, în aceeași operație tehnologică (Perforare - decupare) și același sistem tehnologic (STP-D), după cum se prezintă în § 6.3, cu reglarea sistemului tehnologic referitoare la lungimea semifabricatului - în raport cu lungimea de referință $L_s(m)^r$. La fiecare semifabricat, se determină, prin măsurare - valoarea efectivă a lungimii semifabricatului, $L_s(m)_j$ sau, echivalent, $L_{sh,h'}$, $h' = j$, iar prin calcul - valoarea abaterii $\Delta L(m)_j$, $\Delta L(m)_j = L_t(m) - L_s(m)_j$. Dintre aceste n' semifabricate, se selectează o *serie de n semifabricate*, $n = 5$, la care dimensiunile efective $L_s(m)_j$ sunt cele mai apropiate de lungimea de referință, $L_s(m)^r$ sau, echivalent, de lungimea teoretică a desfășuratei piesei $L_t(m)$.

În legătură cu fiecare piesă obiectiv Ag.m.v, *seria de n = 5 semifabricate efective*, care se realizează în condițiile de mai sus, se notează cu Sg.m.v ($n = 5$) și se caracterizează astfel:

$$Sg.m.v (n = 5) = \{S (g \times b \times L_s(m)_j, \Delta L(m)_j) | \Delta L(m)_j = L_t(m) - L_s(m)_j, j = \overline{1, n}, n = 5\} \quad (6.17)$$

c. Evaluarea preciziei unor caracteristici asociate semifabricatelor din seriile Sg.m.v ($n = 5$)

În legătură cu fiecare piesă obiectiv Ag.m.v, precizia lungimii semifabricatului $L_s(m)$ și, implicit, a abaterii $\Delta L(m)$, în cadrul seriei Sg.m.v ($n = 5$), se evaluează prin verificarea condiției privind precizia efectivă în raport cu prevederile standard, precum și prin verificarea preciziei de repetabilitate în cadrul unui test statistic care se poate aplica la seriile/ sondajele de volum redus, după cum urmează.

La fiecare serie de semifabricate Sg.m.v ($n = 5$), se calculează abaterea efectivă $a_s(m)$ a dimensiunii experimentale $L_s(m)$ față de dimensiunea de referință corespondentă $L_s(m)^r$,

$$a_s(m) = L_s(m) - L_s(m)^r, \text{ respectiv, } a_s(m)_j = L_s(m)_j - L_s(m)^r, j = \overline{1, n}, n = 5 \quad (6.18)$$

Se remarcă faptul că pentru abaterea $a_s(m)$, valoarea de referință $a_s(m)^r$ este $a_s(m)^r = 0$.

(1) *Evaluarea condiției privind precizia efectivă a dimensiunii semifabricatului $L_s(m)$ în raport cu prevederile standard în vigoare*

În legătură cu o piesă obiectiv Ag.m.v, la fiecare semifabricat din seria Sg.m.v ($n = 5$), se evaluează condiția privind precizia efectivă [G03] a dimensiunii $L_s(m)_j$ în raport cu prevederile standard în vigoare (v. Tabelul 6.12), respectiv:

$$a_s(m)_j \in [a_{\inf}^r; a_{\sup}^r] \Leftrightarrow L_s(m)_j \in [L_s(m)_{\min}; L_s(m)_{\max}], j = \overline{1, n}, n = 5 \quad (6.19)$$

În funcție de valorile abaterilor limită $a_{\inf}^r, a_{\sup}^r$ care satisfac rel. (6.19), se asociază dimensiunii $L_s(m)$ clasa de precizie 1, 2 sau 3.

(2) *Evaluarea condiției privind precizia de repetabilitate a unor caracteristici ale semifabricatelor în cadrul testului t Student*

Pentru a evalua precizia de repetabilitate a lungimii semifabricatului $L_s(m)$ și, implicit, a abaterii $\Delta L(m)$, precum și a abaterii $a_s(m)$, se aplică un test corespunzător sondajelor de volum redus, și anume *testul t Student* [E02].

Astfel, în legătură cu o piesă obiectiv Ag.m.v, la fiecare serie de semifabricate Sg.m.v ($n = 5$), se consideră mărimea Y_s , $Y_s = L_s(m)$ sau $a_s(m)$ sau $\Delta L(m)$, după caz.

În continuare, se calculează valoarea medie $\overline{Y_s}$ și abaterea standard de sondaj (estimația abaterii standard), s , respectiv:

$$\overline{Y_s} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Y_{sj}, s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (Y_{sj} - \overline{Y_s})^2}{n-1}}, n = 5 \quad (6.20)$$

De asemenea, se calculează parametrul/ statistica de evaluare, t ,

$$t = \frac{|\overline{Y_s} - Y_s^r|}{s/\sqrt{n}}, n = 5 \quad (6.21)$$

Se determină valoarea critică (tabelată) a distribuției Student, t_{cr} , în funcție de nivelul de încredere/ semnificație sau, echivalent, de probabilitatea asociată mărimii studiate și de numărul gradelor de libertate ($n-1$).

În continuare, se consideră un nivel de încredere de 0.05, respectiv, o probabilitate de 95% și pentru $n = 5$, respectiv, numărul gradelor de libertate, $n-1$, egal cu 4, rezultă $t_{cr} = 2,132$ [E02].

Se evaluează condiția privind precizia efectivă de repetabilitate a mărimii $\overline{Y_s}$ în raport cu mărimea de referință Y_s^r ,

$$t \leq t_{cr}, t_{cr} = 2,132 \quad (6.22)$$

Dacă condiția (6.22) este satisfăcută ($\checkmark$), rezultă că lungimea semifabricatului $L_s(m)$ și, implicit, abaterea $\Delta L(m)$, precum și abaterea $a_s(m)$ prezintă o precizie de repetabilitate acceptabilă.

d. Rezultate privind caracteristicile efective asociate seriilor de semifabricate Sg.m.v (n = 5)

Caracteristicile geometrice de referință, caracteristicile geometrice efective (v. și [P07- P09, P11]), precum și elementele de evaluare a preciziei, care sunt asociate seriilor de semifabricate Sg.m.v (n = 5) pentru piesele din grupurile Ag.m.v, determinate în raport cu cele de mai sus, sunt prezentate în Tabelele 6.11 – 6.20 (v. și Anexa nr. 3).

Tabelul 6.13. Caracteristicile de referință și efective asociate seriilor de semifabricate S1.m.1 (n = 5) pentru piesele din grupul A1.m.1

A1.m.1	Lt(m), mm	Ls(m), as(m), $\Delta L(m)$, m = 1, 2, 4	Ls(m) ^r , as(m) ^r , $\Delta L(m)$ ^r , mm	Ls(m) _j , as(m) _j și $\Delta L(m)$ _j , mm j = $\overline{1, n}$, n = 5					Clasa de precizie	$\frac{\overline{Ls(m)}}{\overline{as(m)}},$ $\frac{\overline{\Delta L(m)}}{\overline{\Delta L(m)}},$ mm	s/ $\sqrt{n}$, mm	t ≤ t _{cr}
A1.1.1	35.7765	Ls(1)	35.46	35.47	35.45	35.47	35.47	35.47	1	35.466	0.00400	✓
		as(1)	0	0.01	-0.01	0.01	0.01	0.01		0.006		
		$\Delta L(1)$	0.3165	0.3065	0.3265	0.3065	0.3065	0.3065		0.3105		
A1.2.1	86.553	Ls(2)	85.92	85.92	85.92	85.94	85.92	85.93	1	85.926	0.00400	✓
		as(2)	0	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01		0.006		
		$\Delta L(2)$	0.633	0.633	0.633	0.613	0.633	0.623		0.627		
A1.4.1	110.606	Ls(4)	109.34	109.34	109.33	109.35	109.33	109.35	1	109.34	0.00447	✓
		as(4)	0	0.00	-0.01	0.01	-0.01	0.01		0.00		
		$\Delta L(4)$	1.266	1.266	1.276	1.256	1.276	1.256		1.266		

Tabelul 6.14. Caracteristicile de referință și efective asociate seriilor de semifabricate S1.m.2 (n = 5) pentru piesele din grupul A1.m.2

A1.m.2	Lt(m), mm	Ls(m), as(m), $\Delta L(m)$, m = 1, 2, 4	Ls(m) ^r , as(m) ^r , $\Delta L(m)$ ^r , mm	Ls(m) _j , as(m) _j și $\Delta L(m)$ _j , mm j = $\overline{1, n}$, n = 5					Clasa de precizie	$\frac{\overline{Ls(m)}}{\overline{as(m)}},$ $\frac{\overline{\Delta L(m)}}{\overline{\Delta L(m)}},$ mm	s/ $\sqrt{n}$, mm	t ≤ t _{cr}
A1.1.2	35.7765	Ls(1)	35.70	35.74	35.72	35.72	35.71	35.71	1	35.72	0.00548	
		as(1)	0	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01		0.02		
		$\Delta L(1)$	0.0765	0.0365	0.0565	0.0565	0.0665	0.0665		0.0565		
A1.2.2	86.553	Ls(2)	86.40	86.41	86.40	86.41	86.41	86.41	1	86.408	0.00200	
		as(2)	0	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01		0.008		
		$\Delta L(2)$	0.153	0.143	0.153	0.143	0.143	0.143		0.145		
A1.4.2	110.606	Ls(4)	110.42	110.42	110.42	110.42	110.41	110.42	1	110.418	0.00200	✓
		as(4)	0	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00		-0.002		
		$\Delta L(4)$	0.186	0.186	0.186	0.186	0.196	0.186		0.188		

Tabelul 6.15. Caracteristicile de referință și efective asociate seriilor de semifabricate S1,5.m.1 (n = 5) pentru piesele din grupul A1,5.m.1

A1,5.m.1	Lt(m), mm	Ls(m), as(m), $\Delta L(m)$, m = 1, 2, 2	Ls(m) ^r , as(m) ^r , $\Delta L(m)$ ^r , mm	Ls(m) _j , as(m) _j și $\Delta L(m)$ _j , mm $j = \overline{1, n}, n = 5$					Clasa de precizie	$\frac{\overline{Ls(m)},}{\overline{as(m)},}$ $\frac{\overline{\Delta L(m)},}{\overline{\Delta L(m)},}$, mm	$s/\sqrt{n}$, mm	$t \leq t_{cr}$
A1,5.1.1	34.9148	Ls(1)	34.02	34.02	34.05	34.03	34.05	34.02	1	34.034	0.00678	✓
		as(1)	0	0.00	0.03	0.01	0.03	0.00		0.014		
		$\Delta L(1)$	0.8948	0.8948	0.8648	0.8848	0.8648	0.8948		0.8808		
A1,5.2.1	69.8295	Ls(2)	68.04	68.07	68.05	68.05	68.06	68.06	1	68.058	0.00374	
		as(2)	0	0.03	0.01	0.01	0.02	0.02		0.018		
		$\Delta L(2)$	1.7895	1.7595	1.7795	1.7795	1.7695	1.7695		1.7715		
A1,5.2.1	84.8295	Ls(2)	83.04	83.04	83.03	83.06	83.01	83.01	1	83.03	0.00949	✓
		as(2)	0	0.00	-0.01	0.02	-0.03	-0.03		-0.01		
		$\Delta L(2)$	1.7895	1.7895	1.7995	1.7695	1.8195	1.8195		1.7995		

Tabelul 6.16. Caracteristicile de referință și efective asociate seriilor de semifabricate S1,5.m.2 (n = 5) pentru piesele din grupul A1,5.m.2

A1,5.m.2	Lt(m), mm	Ls(m), as(m), $\Delta L(m)$, m = 1, 2, 2	Ls(m) ^r , as(m) ^r , $\Delta L(m)$ ^r , mm	Ls(m) _j , as(m) _j și $\Delta L(m)$ _j , mm $j = \overline{1, n}, n = 5$					Clasa de precizie	$\frac{\overline{Ls(m)},}{\overline{as(m)},}$ $\frac{\overline{\Delta L(m)},}{\overline{\Delta L(m)},}$, mm	$s/\sqrt{n}$, mm	$t \leq t_{cr}$
A1,5.1.2	34.9148	Ls(1)	34.85	34.86	34.86	34.87	34.87	34.87	1	34.866	0.00245	
		as(1)	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02		0.016		
		$\Delta L(1)$	0.0648	0.0548	0.0548	0.0448	0.0448	0.0448		0.0488		
A1,5.2.2	69.8295	Ls(2)	69.70	69.71	69.72	69.71	69.73	69.70	1	69.714	0.00510	
		as(2)	0	0.01	0.02	0.01	0.03	0.00		0.014		
		$\Delta L(2)$	0.1295	0.1195	0.1095	0.1195	0.0995	0.1295		0.1155		
A1,5.2.2	84.8295	Ls(2)	84.70	84.70	84.68	84.69	84.71	84.71	1	84.698	0.00583	✓
		as(2)	0	0.00	-0.02	-0.01	0.01	0.01		-0.002		
		$\Delta L(2)$	0.1295	0.1295	0.1495	0.1395	0.1195	0.1195		0.1315		

Tabelul 6.17. Caracteristicile de referință și efective asociate seriilor de semifabricate S2.m.1 (n = 5) pentru piesele din grupul A2.m.1

A2.m.1	Lt(m), mm	Ls(m), a _s (m), ΔL(m), m = 1, 2, 4	Ls(m) ^r , a _s (m) ^r , ΔL(m) ^r , mm	Ls(m) _j , a _s (m) _j și ΔL(m) _j , mm j = $\overline{1, n}$, n = 5					Clasa de precizie	$\frac{\overline{Ls(m)},}{a_s(m)},$ $\frac{\overline{\Delta L(m)},}{mm}$	s/√n, mm	t ≤ t _{cr}
A2.1.1	46.553	Ls(1)	46.06	46.09	46.12	46.1	46.09	46.08	1	46.096	0.00678	
		a _s (1)	0	0.03	0.06	0.04	0.03	0.02		0.036		
		ΔL(1)	0.493	0.463	0.433	0.453	0.463	0.473		0.457		
A2.2.1	83.106	Ls(2)	82.12	82.1	82.15	82.22	82.15	82.17	1	82.158	0.01934	✓
		a _s (2)	0	-0.02	0.03	0.10	0.03	0.05		0.038		
		ΔL(2)	0.986	1.006	0.956	0.886	0.956	0.936		0.948		
A2.4.1	96.212	Ls(4)	94.24	94.23	94.28	94.26	94.27	94.2	1	94.248	0.01463	✓
		a _s (4)	0	-0.01	0.04	0.02	0.03	-0.04		0.008		
		ΔL(4)	1.972	1.982	1.932	1.952	1.942	2.012		1.964		

Tabelul 6.18. Caracteristicile de referință și efective asociate seriilor de semifabricate S2.m.2 (n = 5) pentru piesele din grupul A2.m.2

A2.m.2	Lt(m), mm	Ls(m), a _s (m), ΔL(m), m = 1, 2, 4	Ls(m) ^r , a _s (m) ^r , ΔL(m) ^r , mm	Ls(m) _j , a _s (m) _j și ΔL(m) _j , mm j = $\overline{1, n}$, n = 5					Clasa de precizie	$\frac{\overline{Ls(m)},}{a_s(m)},$ $\frac{\overline{\Delta L(m)},}{mm}$	s/√n, mm	t ≤ t _{cr}
A2.1.2	46.553	Ls(1)	46.3	46.31	46.29	46.32	46.35	46.34	1	46.322	0.01068	✓
		a _s (1)	0	0.01	-0.01	0.02	0.05	0.04		0.022		
		ΔL(1)	0.253	0.243	0.263	0.233	0.203	0.213		0.231		
A2.2.2	83.106	Ls(2)	82.6	82.63	82.60	82.61	82.66	82.63	1	82.626	0.01030	
		a _s (2)	0	0.03	0.00	0.01	0.06	0.03		0.026		
		ΔL(2)	0.506	0.476	0.506	0.496	0.446	0.476		0.480		
A2.4.2	96.212	Ls(4)	96.08	96.18	96.19	96.23	96.23	96.24	1	96.214	0.01208	
		a _s (4)	0	0.10	0.11	0.15	0.15	0.16		0.134		
		ΔL(4)	0.132	0.032	0.022	-0.018	-0.018	-0.028		-0.002		

Tabelul 6.19. Caracteristicile de referință și efective asociate seriilor de
semifabricate S2,5.m.1 (n = 5) pentru piesele din grupul A2,5.m.1

A2,5.m.1	Lt(m), mm	Ls(m), a _s (m), ΔL(m), m = 1, 2, 4	Ls(m) ^r , a _s (m) ^r , ΔL(m) ^r , mm	Ls(m) _j , a _s (m) _j și ΔL(m) _j , mm j = $\overline{1, n}$, n = 5					Clasa de precizie	$\overline{Ls(m)}$, $\overline{a_s(m)}$, $\overline{\Delta L(m)}$, mm	s/ $\sqrt{n}$, mm	t ≤ t _{cr}
A2,5.1.1	45.69125	Ls(1)	45.52	45.53	45.58	45.53	45.54	45.54	1	45.544	0.00678	
		a _s (1)	0	0.01	0.06	0.01	0.02	0.02		0.024		
		ΔL(1)	0.17125	0.16125	0.11125	0.16125	0.15125	0.15125		0.14725		
A2,5.2.1	71.3825	Ls(2)	71.04	71.05	71.03	71.09	71.01	71.05	1	71.046	0.01934	✓
		a _s (2)	0	0.01	-0.01	0.05	-0.03	0.01		0.006		
		ΔL(2)	0.3425	0.3325	0.3525	0.2925	0.3725	0.3325		0.3365		
A2,5.4.1	107.765	Ls(4)	107.08	106.98	107.09	107.08	107.11	107.09	1	107.070	0.01463	✓
		a _s (4)	0	-0.10	0.01	0.00	0.03	0.01		-0.010		
		ΔL(4)	0.685	0.785	0.675	0.685	0.655	0.675		0.695		

Tabelul 6.20. Caracteristicile de referință și efective asociate seriilor de
semifabricate S2,5.m.2 (n = 5) pentru piesele din grupul A2,5.m.2

A2,5.m.2	Lt(m), mm	Ls(m), a _s (m), ΔL(m), m = 1, 2, 4	Ls(m) ^r , a _s (m) ^r , ΔL(m) ^r , mm	Ls(m) _j , a _s (m) _j și ΔL(m) _j , mm j = $\overline{1, n}$, n = 5					Clasa de precizie	$\overline{Ls(m)}$, $\overline{a_s(m)}$, $\overline{\Delta L(m)}$, mm	s/ $\sqrt{n}$, mm	t ≤ t _{cr}
A2,5.1.2	45.69125	Ls(1)	45.60	45.61	45.62	45.63	45.61	45.63	1	45.62	0.00447	
		a _s (1)	0	0.01	0.02	0.03	0.01	0.03		0.02		
		ΔL(1)	0.09125	0.08125	0.07125	0.06125	0.08125	0.06125		0.07125		
A2,5.2.2	71.3825	Ls(2)	71.20	71.20	71.16	71.16	71.16	71.16	1	71.168	0.00800	
		a _s (2)	0	0.00	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04		-0.032		
		ΔL(2)	0.1825	0.1825	0.2225	0.2225	0.2225	0.2225		0.2145		
A2,5.4.2	107.765	Ls(4)	107.40	107.36	107.4	107.4	107.42	107.34	1	107.384	0.01470	✓
		a _s (4)	0	-0.04	0.00	0.00	0.02	-0.06		-0.016		
		ΔL(4)	0.365	0.405	0.365	0.365	0.345	0.425		0.381		

Tabelul 6.21. Caracteristicile de referință și efective asociate seriilor de
semifabricate S3.m.1 (n = 5) pentru piesele din grupul A3.m.1

A3.m.1	Lt(m), mm	Ls(m), as(m), $\Delta L(m)$, m = 1, 2, 2	Ls(m) ^r , as(m) ^r , $\Delta L(m)$ ^r , mm	Ls(m) _j , as(m) _j și $\Delta L(m)$ _j , mm $j = \overline{1, n}, n = 5$					Clasa de precizie	$\frac{\overline{Ls(m)}}{\overline{as(m)}},$ $\frac{\overline{\Delta L(m)}}{\overline{\Delta L(m)}},$ mm	$s/\sqrt{n}$, mm	$t \leq t_{cr}$
A3.1.1	49.8295	Ls(1)	49.92	49.94	49.97	49.87	49.88	49.84	1	49.90	0.02387	✓
		as(1)	0	0.02	0.05	-0.05	-0.04	-0.08		-0.02		
		$\Delta L(1)$	-0.0905	-0.1105	-0.1405	-0.0405	-0.0505	-0.0105		-0.0705		
A3.2.1	79.659	Ls(2)	79.84	79.75	79.78	79.79	79.82	79.83	1	79.794	0.01435	
		as(2)	0	-0.09	-0.06	-0.05	-0.02	-0.01		-0.046		
		$\Delta L(2)$	-0.181	-0.091	-0.121	-0.131	-0.161	-0.171		-0.135		
A3.2.1	79.659	Ls(2)	79.84	79.87	79.87	79.83	79.85	79.85	1	79.854	0.00748	✓
		as(2)	0	0.03	0.03	-0.01	0.01	0.01		0.014		
		$\Delta L(2)$	-0.181	-0.211	-0.211	-0.171	-0.191	-0.191		-0.195		

Tabelul 6.22. Caracteristicile de referință și efective asociate seriilor de
semifabricate S3.m.2 (n = 5) pentru piesele din grupul A3.m.2

A3.m.2	Lt(m), mm	Ls(m), as(m), $\Delta L(m)$, m = 1, 2, 2	Ls(m) ^r , as(m) ^r , $\Delta L(m)$ ^r , mm	Ls(m) _j , as(m) _j și $\Delta L(m)$ _j , mm $j = \overline{1, n}, n = 5$					Clasa de precizie	$\frac{\overline{Ls(m)}}{\overline{as(m)}},$ $\frac{\overline{\Delta L(m)}}{\overline{\Delta L(m)}},$ mm	$s/\sqrt{n}$, mm	$t \leq t_{cr}$
A3.1.2	49.8295	Ls(1)	49.69	49.68	49.65	49.64	49.63	49.72	1	49.664	0.01631	✓
		as(1)	0	-0.01	-0.04	-0.05	-0.06	0.03		-0.026		
		$\Delta L(1)$	0.1395	0.1495	0.1795	0.1895	0.1995	0.1095		0.1655		
A3.2.2	79.659	Ls(2)	79.38	79.34	79.36	79.43	79.38	79.37	1	79.376	0.01503	✓
		as(2)	0	-0.04	-0.02	0.05	0.00	-0.01		-0.004		
		$\Delta L(2)$	0.279	0.319	0.299	0.229	0.279	0.289		0.283		
A3.2.2	79.659	Ls(2)	79.38	79.40	79.36	79.34	79.37	79.41	1	79.376	0.01288	✓
		as(2)	0	0.02	-0.02	-0.04	-0.01	0.03		-0.004		
		$\Delta L(2)$	0.279	0.259	0.299	0.319	0.289	0.249		0.283		

e. Analiză privind rezultatele evaluării preciziei unor caracteristici asociate semifabricatelor pentru piesele din grupurile obiectiv

În raport cu elementele dezvoltate în programul de cercetare teoretico – experimentală privind precizia unor caracteristici asociate seriilor de semifabricate Sg.m.v ($n = 5$) pentru piesele din grupurile obiectiv Ag.m.v, după cum se prezintă în § a – d, inclusiv Tabelele 6.11 – 6.20 de mai sus, se evidențiază cele ce urmează (v. și Anexa nr. 3).

(1) Evaluarea condiției privind precizia efectivă a lungimii semifabricatului $L_s(m)$ în raport cu lungimea de referință $L_s(m)^r$ și cu prevederile standard în vigoare (v. Tabelul 6.12), respectiv, evaluarea condiției (6.20) privind valorile experimentale ale lungimii semifabricatului $L_s(m)_j$, $j = \overline{1, n}$, $n = 5$, arată că, la toate seriile de semifabricate Sg.m.v ($n = 5$) pentru piesele din grupurile obiectiv Ag.m.v (v. Tabelele 6.11 – 6.20), lungimea semifabricatului $L_s(m)$ efectivă a fost realizată în clasa 1 de precizie.

Datorită relațiilor de legătură cu dimensiunea $L_s(m)$ – v. rel. (6.14), (6.16), (6.20), abaterea $\Delta L(m)$ și abaterea $a_s(m)$, ca mărimi efective, se pot considera, implicit, în clasa 1 de precizie.

(2) Evaluarea condiției privind precizia de repetabilitate a lungimii semifabricatului $L_s(m)$ și, implicit, a abaterii $\Delta L(m)$, precum și a abaterii $a_s(m)$, în cadrul testului statistic t Student, respectiv, evaluarea condiției (6.23), arată următoarele:

- la majoritatea seriilor de semifabricate Sg.m.v ($n = 5$) pentru piesele corespondente din grupurile obiectiv Ag.m.v, condiția (6.23) este satisfăcută ($\checkmark$) (v. Tabelele 6.11 – 6.20), astfel încât lungimea semifabricatului $L_s(m)$ și, implicit, abaterea $\Delta L(m)$, precum și abaterea $a_s(m)$ se caracterizează printr-o precizie de repetabilitate acceptabilă;

- la seriile de semifabricate Sg.m.v ($n = 5$) pentru piesele corespondente din grupurile obiectiv Ag.m.v, la care condiția (6.23) nu este satisfăcută (v. Tabelele 6.11 – 6.20), se consideră că principala cauză este eroarea de reglare a sistemului tehnologic (STP-D) în raport cu lungimea de referință $L_s(m)^r$, la prelucrările de decupare prin care se realizează dimensiunea $L_s(m)$, în cadrul operației tehnologice Perforare – decupare (v. § 6.3).

Astfel, în cadrul operației tehnologice Perforare – decupare (v. § 6.3), este necesar ca la reglarea sistemului tehnologic, în raport cu lungimea de referință Y_s^r , respectiv, $L_s(m)^r$, să se asigure că abaterea $|\bar{Y}_s - Y_s^r|$, respectiv, $|\bar{L}_s(m) - L_s(m)^r|$ și mărimea $s/\sqrt{n}$ sunt de valori apropiate, iar valoarea efectivă a parametrului t satisface condiția specifică (6.23).

Exemplificare

În continuare, se exemplifică elemente ale analizei preciziei de repetabilitate privind lungimea semifabricatului în cadrul seriilor de semifabricate S1.1.1 ($n = 5$) și S1.1.2 ($n = 5$).

La seria de semifabricate S1.1.1 ($n = 5$), pentru piesa obiectiv A1.1.1 (v. Tabel 6.11, Fig. 6.12), $|\bar{L}_s(1) - L_s(1)^r| = 0,006 \text{ mm}$ și $s/\sqrt{n} = 0,004 \text{ mm}$, astfel încât, $t = 1,5$, respectiv, $|\bar{L}_s(1) - L_s(1)^r|$ și $s/\sqrt{n}$ sunt de valori apropiate, iar $t < t_{cr} = 2,132$ ($\checkmark$).

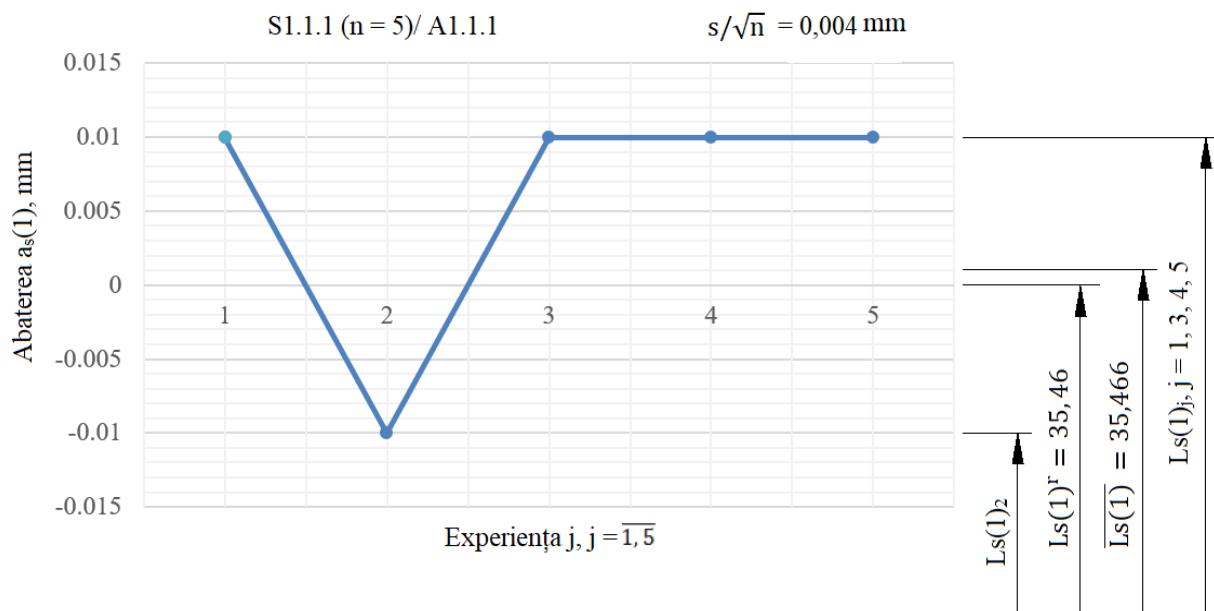


Fig. 6. 12. Elemente ale analizei preciziei de repetabilitate la seria de semifabricate S1.1.1 (n = 5) pentru piesa obiectiv A1.1.1

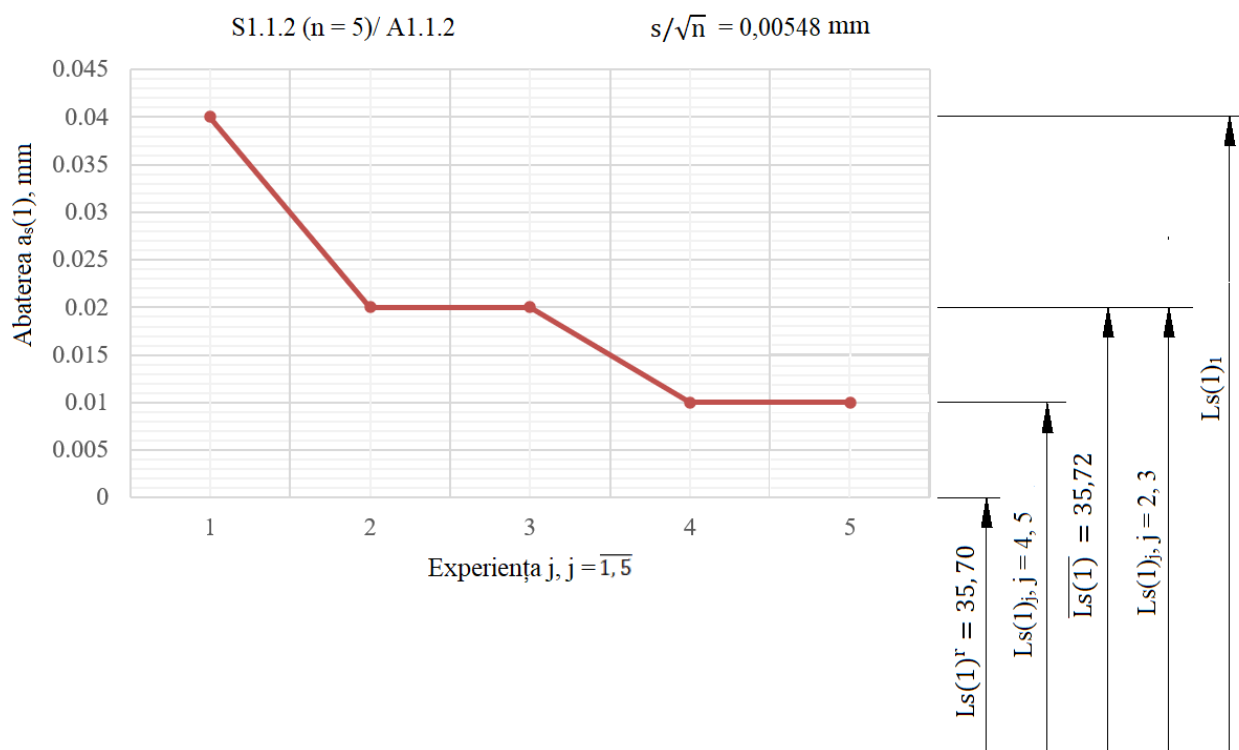


Fig. 6. 13 Elemente ale analizei preciziei de repetabilitate la seria de semifabricate S1.1.2 (n = 5) pentru piesa obiectiv A1.1.2

În cazul seriei de semifabricate S1.1.2 (n = 5), pentru piesa obiectiv A1.1.2 (v. Tabel 6.12, Fig. 6.13), $|\overline{Ls(1)} - Ls(1)^r| = 0,02 \text{ mm}$ și $s/\sqrt{n} = 0,00548 \text{ mm}$, astfel încât, $t = 3,651$, respectiv, $|\overline{Ls(1)} - Ls(1)^r|$ și $s/\sqrt{n}$ nu sunt de valori apropiate, adică $t > t_{cr} = 2,132$.

f. Analiză privind determinarea unor relații de dependență dintre caracteristici ale semifabricatelor pentru piesele din grupurile obiectiv

Pe baza rezultatelor obținute în cadrul experiențelor principale și prezentate anterior (v. § a - e), se studiază posibilitatea de a determina relații/ funcții de dependență dintre caracteristici ale semifabricatelor, ca funcții de regresie [E07], pentru grupurile de piese obiectiv Ag.m.v, după cum urmează.

În legătură cu seriile de semifabricate Sg.m.v ($n = 5$), se consideră mărimile Y_s , $Y_s = L_s(m)$, $a_s(m)$ sau $\Delta L(m)$, respectiv, mărimile $\overline{Y_s}$, respectiv, $\overline{L_s(m)}$, $\overline{a_s(m)}$, $\overline{\Delta L(m)}$ - ca valori medii definite și calculate pe baza rezultatelor experimentale, după cum se prezintă în § c, d și e de mai sus.

Se analizează variația valorilor medii $\overline{Y_s}$, respectiv, a valorilor medii $\overline{L_s(m)}$, $\overline{a_s(m)}$, $\overline{\Delta L(m)}$ - prezentate în Tabelele 6.11 – 6.20. Se constată următoarele:

abaterea $\overline{a_s(m)}$ prezintă, în cadrul tuturor seriilor de semifabricate Sg.m.v ($n = 5$), o variație relativ restrânsă, respectiv, în intervalul de valori -0,046 ... 0,134 mm;

grosimea g a semifabricatului este o caracteristică principală în cadrul seriilor de semifabricate Sg.m.v ($n = 5$);

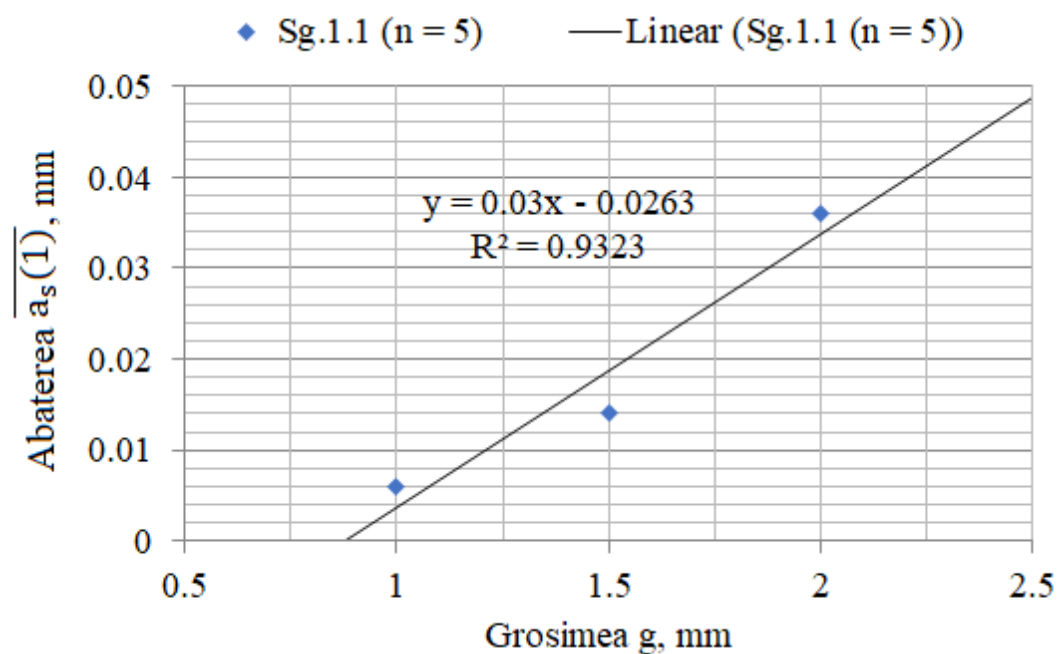
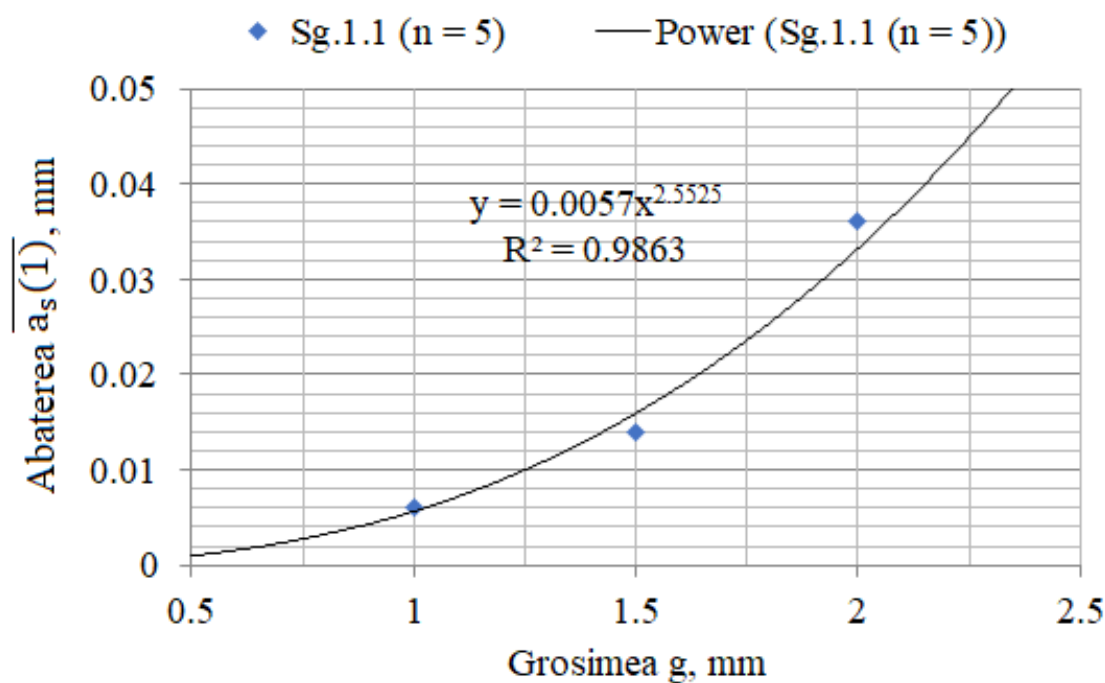
abaterea $\overline{a_s(m)}$ prezintă variații concludente în funcție de grosimea g a semifabricatului la anumite grupuri de serii Sg.m.v ($n = 5$), respectiv, Sg.1.1 ($n = 5$), Sg.2.1 ($n = 5$) și Sg.2.2 ($n = 5$), $g = 1, 1.5$ și 2 mm.

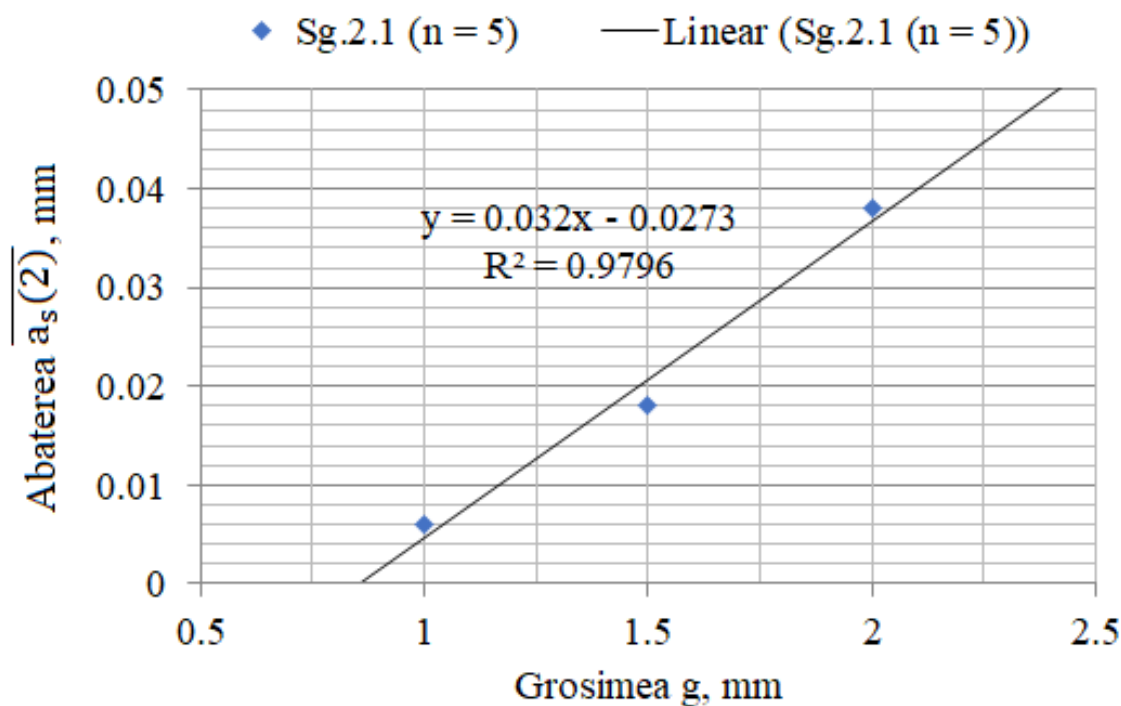
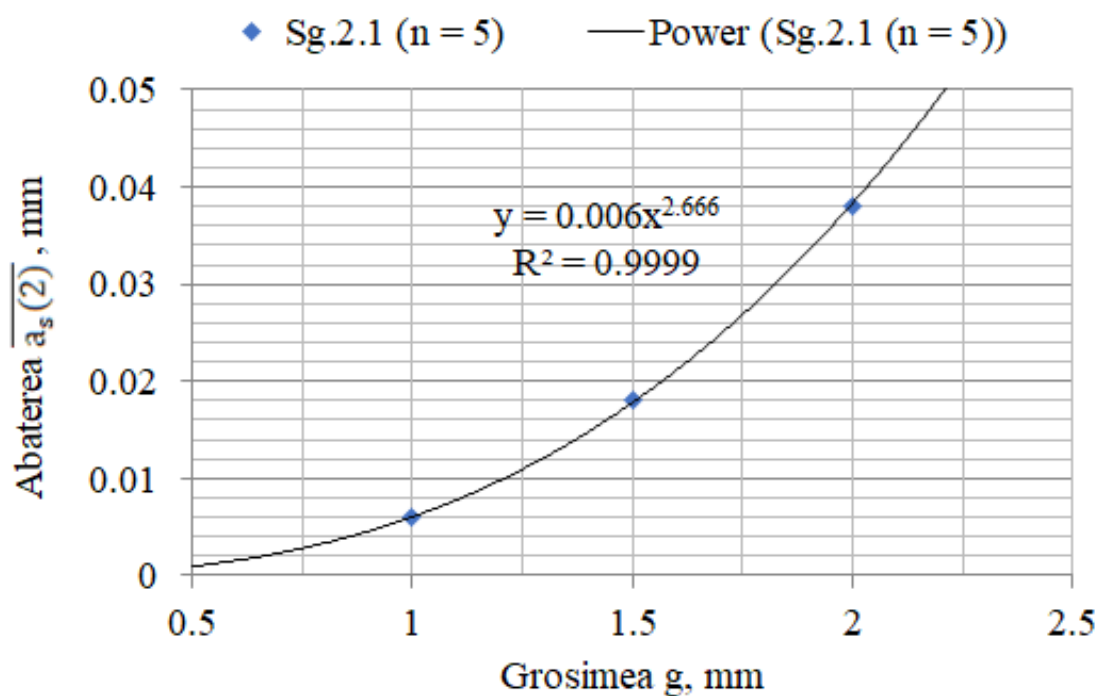
Astfel, pentru grupurile de serii de semifabricate Sg.1.1 ($n = 5$), Sg.2.1 ($n = 5$) și Sg.2.2 ($n = 5$), $g = 1, 1.5, 2$ mm, se determină relații de dependență, f , ca funcții de regresie, dintre abaterea $\overline{a_s(m)}$ - ca variabilă dependentă (de ieșire), în mm, și grosimea g a semifabricatului - ca variabilă independentă (de intrare), în mm, respectiv,

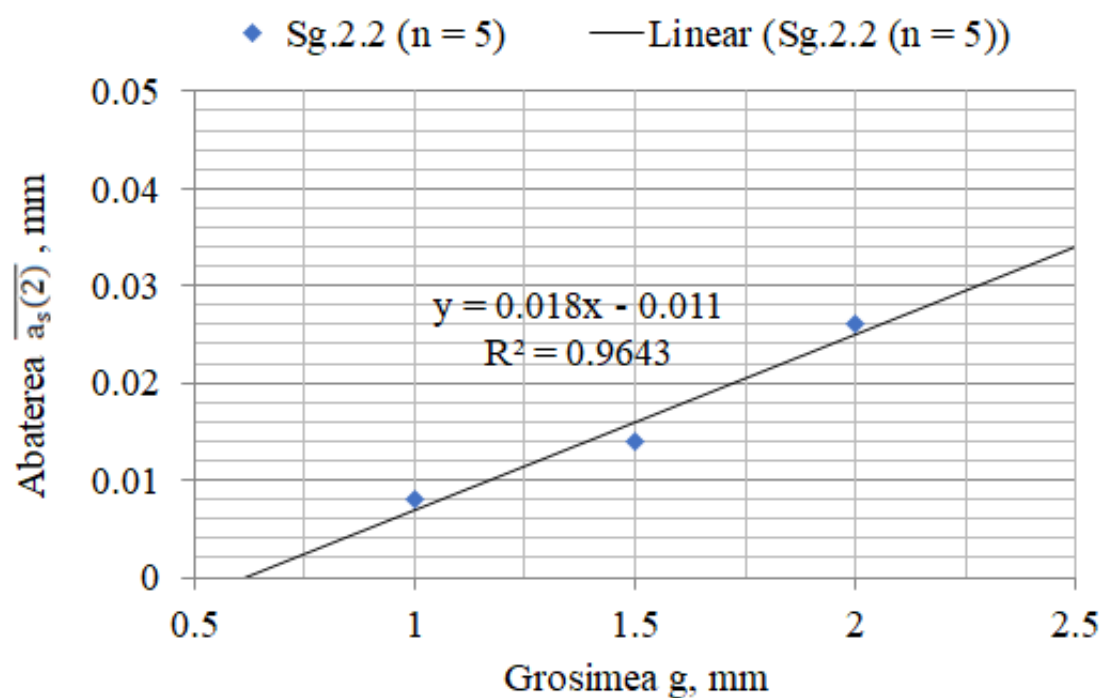
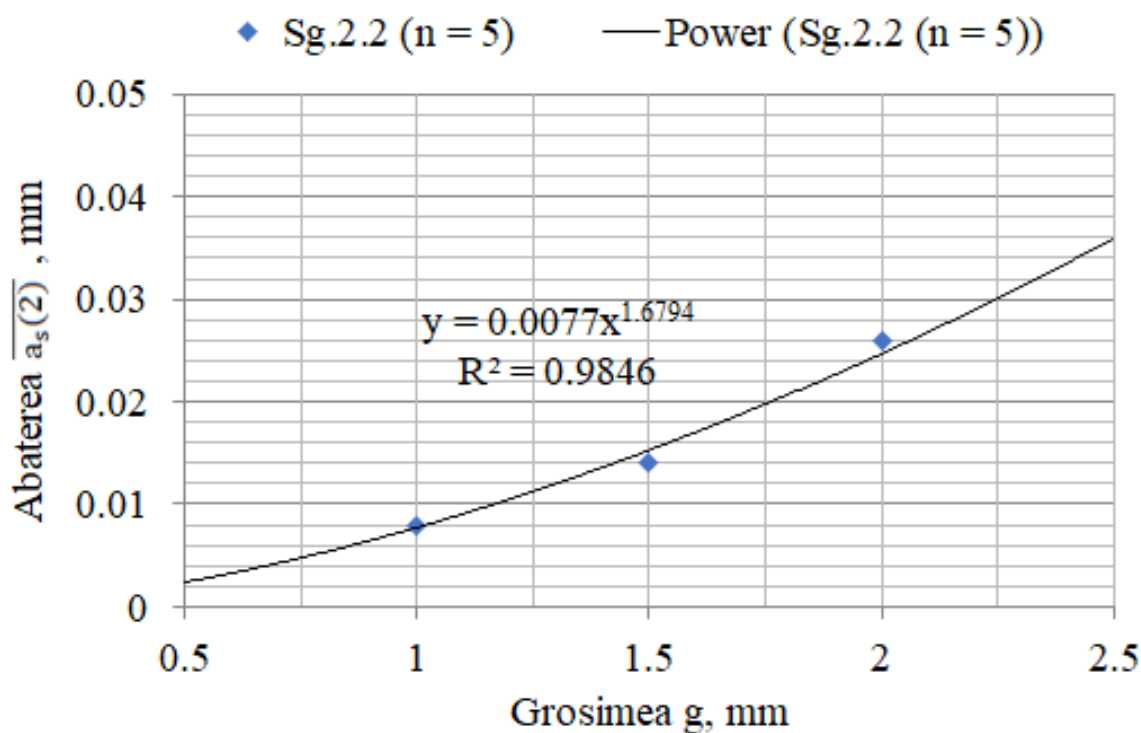
$$\overline{a_s(m)} = f(g), m = 1 \text{ sau } 2, g = 1, 1.5, 2 \quad (6.23)$$

Pentru funcțiile de regresie (6.23), se aleg și se determină modele de funcții *liniare* și funcții *putere*.

În raport cu cele de mai sus, funcțiile de regresie (6.23) determinate corespunzător pentru seriile de semifabricate Sg.1.1 ($n = 5$), Sg.2.1 ($n = 5$) și Sg.2.2 ($n = 5$), $g = 1, 1.5, 2$ mm, sunt după cum se prezintă în Fig. 6.14 – 6.19, unde variabila dependentă y și variabila independentă x reprezintă abaterea $\overline{a_s(m)}$ și, respectiv, grosimea g a semifabricatului.

Fig. 6.14. Funcția de regresie *liniară* pentru grupul de serii Sg.1.1 (n = 5)Fig. 6.15. Funcția de regresie *putere* pentru grupul de serii Sg.1.1 (n = 5)

Fig. 6.16. Funcția de regresie *liniară* pentru grupul de serii Sg.2.1 (n = 5)Fig. 6.17. Funcția de regresie *putere* pentru grupul de serii Sg.2.1 (n = 5)

Fig. 6.18. Funcția de regresie *liniară* pentru grupul de serii Sg.2.2 (n = 5)Fig. 6.19. Funcția de regresie *putere* pentru grupul de serii Sg.2.2 (n = 5)

Adecvanța funcțiilor de regresie determinate pentru dependența dintre abaterea $\overline{a_s(m)}$ și grosimea g a semifabricatului se analizează pe baza coeficientului de determinare R^2 , a cărui valoare maximă (optimă) este egală cu 1 [C03].

La funcțiile de regresie *putere* determinate (v. Fig. 6.15, 6.17, 6.19), indicatorul R^2 este de valori superioare celor ale indicatorului R^2 corespunzător funcțiilor de regresie *liniare* determinate (v. Fig. 6.14, 6.16, 6.18).

Astfel, se adoptă funcțiile de regresie $f(g)$ *putere* determinate, după cum urmează.

Pentru grupurile de serii de semifabricate Sg.1.1 ($n = 5$), Sg.2.1 ($n = 5$) și Sg.2.2 ($n = 5$), $g = 1, 1.5, 2$ mm, pe baza rel. (6.23) și a elementelor din figurile 6.15, 6.17, 6.19, funcțiile de regresie (de tip *putere*) asociate, ca relații dintre abaterea $\overline{a_s(m)}$, în mm, și grosimea g , în mm, sunt:

$$\overline{a_s(1)} = 0.0057g^{2.5525}, g = 1, 1.5, 2, m = 1, v = 1 \quad (6.24)$$

$$\overline{a_s(2)} = 0.006g^{2.666}, g = 1, 1.5, 2, m = 2, v = 1 \quad (6.25)$$

și, respectiv,

$$\overline{a_s(2)} = 0.0077g^{1.6794}, g = 1, 1.5, 2, m = 2, v = 2 \quad (6.26)$$

Pe baza rel. (6.18), rezultă că:

$$\overline{a_s(m)} = \overline{Ls(m)} - Ls(m)^r$$

sau, echivalent:

$$\overline{Ls(m)} = Ls(m)^r + \overline{a_s(m)} \quad (6.27)$$

Astfel, pe baza rel (6.24) - (6.27), se pot determina și funcțiile de regresie $\overline{Ls(m)}$, după cum urmează.

Pentru seriile de semifabricate Sg.1.1 ($n = 5$), $g = 1, 1.5, 2$ mm, $m = 1$, $v = 1$, funcția de regresie asociată, ca relație dintre lungimea medie a semifabricatului $\overline{Ls(1)}$, în mm, și grosimea g , în mm, este:

$$\overline{Ls(1)} = Ls(1)^r + 0.0057g^{2.5525}, g = 1, 1.5, 2, m = 1, v = 1 \quad (6.28)$$

Pentru seriile de semifabricate Sg.2.1 ($n = 5$), $g = 1, 1.5, 2$ mm, $m = 2$, $v = 1$, funcția de regresie asociată, ca relație dintre lungimea medie a semifabricatului $\overline{Ls(2)}$, în mm, și grosimea g , în mm, este:

$$\overline{Ls(2)} = Ls(2)^r + 0.006g^{2.666}, g = 1, 1.5, 2, m = 2, v = 1 \quad (6.29)$$

Pentru seriile de semifabricate Sg.2.2 ($n = 5$), $g = 1, 1.5, 2$ mm, $m = 2$, $v = 2$, funcția de regresie asociată, ca relație dintre lungimea medie a semifabricatului $\overline{Ls(2)}$, în mm, și grosimea g , în mm, este:

$$\overline{Ls(2)} = Ls(2)^r + 0.0077g^{1.6794}, \quad g = 1, 1.5, 2, \quad m = 2, \quad v = 2 \quad (6.30)$$

Se apreciază că rezultatele exprimate prin rel. (6.28) - (6.30) se pot aplica industrial pentru piese/ semifabricate cu valori ale grosimii g din intervalul $[1; 2]$, în mm, după cum se prezintă în Tabelul 6.23.

Tabelul 6.23. Elemente referitoare la aplicarea industrială a funcțiilor de regresie determinate

Caracteristici prescrise piesei (-lor)					Lungimea semifabricatului		Condiții industriale, v
g _N , mm	r _N , mm	φ _N , °	m	x	Valoarea de referință, Ls(m) ^r , mm	Valoarea medie, $\overline{Ls(m)}$, (estimată), mm	
1 - 2	g _N	90	1	0,45	Ls(1) ^r	$\overline{Ls(1)} = Ls(1)^r + 0.0057g^{2.5525}$	1
			2		Ls(2) ^r	$\overline{Ls(2)} = Ls(2)^r + 0.006g^{2.666}$	2
			2		Ls(2) ^r	$\overline{Ls(2)} = Ls(2)^r + 0.006g^{2.666}$	2
Alte caracteristici geometrice și caracteristici de material prescrise: apropiate de cele prescrise pieselor din grupurile Ag.1 și, respectiv, Ag.2, g = 1, 1.5, 2 mm, după caz.							

Capitolul 7. Cercetări privind evaluarea preciziei unor caracteristici ale pieselor din grupurile obiectiv, prelucrate prin deformare plastică la rece în sisteme industriale

Elementele principale ale cercetărilor privind evaluarea preciziei efective a unor caracteristici geometrice ale pieselor din grupurile obiectiv, prelucrate prin deformare plastică la rece în sisteme tehnologice cu comandă numerică, care includ și elemente publicate ale autoarei [P05, P07 – P11], se prezintă în cele ce urmează.

7.1. Elemente de referință pentru evaluarea preciziei efective a unor caracteristici geometrice ale pieselor din grupurile obiectiv

Grupurile de piese obiectiv Ag.m.v sunt după cum se prezintă în § 5.2 și § 6.1 unde, în codul unei piese, Ag.m.v: g reprezintă grosimea piesei, în mm, $g = 1, 1.5, 2, 2.5$ sau 3; m - numărul de îndoiri elementare, $m = 1, 2$ sau 4; v - varianta experimentală (compania industrială), $v = 1, 2$, cu mențiunea că o serie de caracteristici constructive prescrise pieselor din grupurile obiectiv se prezintă și în Anexa nr. 1.

Se consideră că, în structura pieselor obiectiv din grupurile Ag.m.v, dimensiunile liniare, L, și razele de racordare interioare, r, după cum sunt reprezentate în Fig. 6.1 – 6.5, reprezintă caracteristici geometrice reprezentative în ceea ce privește evaluarea preciziei efective, ca urmare a influenței efective a unor elemente de orientare – fixare, de reglare, active etc. ale sistemelor tehnologice în timpul operațiilor specifice de prelucrare prin deformare plastică la rece.

Pentru dimensiunile liniare L și razele de racordare r, se consideră a fi caracteristici de referință: valorile nominale - L_N, r_N - și abaterile limită prescrise - a_{inf}, a_{sup} , respectiv, a'_{inf}, a'_{sup} -, sau valorile limită prescrise - L_{min}, L_{max} , respectiv, r_{min}, r_{max} -,

$$L_{min} = L_N + a_{inf}, L_{max} = L_N + a_{sup} \quad (7.1)$$

$$r_{min} = r_N + a'_{inf}, r_{max} = r_N + a'_{sup} \quad (7.2)$$

unde abaterile limită prescrise sunt în conformitate cu prevederile standard în vigoare [S07].

Sinteze privind valorile nominale ale dimensiunilor liniare L și razelor de racordare r, precum și abaterile limită corespundente prescrise pieselor din grupurile Ag.m.v se prezintă în Tabelele 7.1 și 7.2.

Se remarcă faptul că, în structura unei piese obiectiv, Ag.m.v: dimensiunile liniare L sunt de valori nominale, L_N , identice (...x) sau diferite, iar numărul lor total este $m+1$; razele de racordare r sunt de valori nominale, r_N , identice, iar numărul lor total este m.

Tabelul 7.1. Sinteză privind valorile nominale ale lărimii, dimensiunilor liniare și
razelor de racordare interioare prescrise pieselor din grupurile Ag.m.v

v = 1	v = 2	g _N , mm	m	h	b _N , mm	L _N , mm								r _N , mm
Ag.m.v														
A1.1.1	A1.1.2	1	1	1	50		12.5		25					1
A1.2.1	A1.2.2		2	2	70				25 (2x)		40			
A1.4.1	A1.4.2		4	3	70	10	12.5	20 (2x)					55	
A1.5.1.1	A1.5.1.2	1,5	1	1	70		12.5		25					1.5
A'1.5.2.1	A'1.5.2.2		2	2	70			20	25	30				
A"1.5.2.1	A"1.5.2.2		2	3	70			20		30	40			
A2.1.1	A2.1.2	2	1	1	95			20		30				2
A2.2.1	A2.2.2		2	2	95			20 (2x)				50		
A2.4.1	A2.4.2		4	3	95	10 (2x)		20 (2x)				50		
A2.5.1.1	A2.5.1.2	2,5	1	1	75			20		30				2.5
A2.5.2.1	A2.5.2.2		2	2	75			20 (2x)			40			
A2.5.4.1	A2.5.4.2		4	3	75				25 (5x)					
A3.1.1	A3.1.2	3	1	1	70				25	30				3
A'3.2.1	A'3.2.2		2	2	70				25 (2x)		40			
A"3.2.1	A"3.2.2		2	3	70				25 (2x)		40			

Tabelul 7.2. Abaterile limită pentru dimensiunile liniare L și
razele de racordare r prescrise pieselor din grupurile obiectiv
(adaptare după [S07])

Grosimea semifabricatului, g, mm	1			1.5, 2, 2.5, 3		
Clasa de precizie	1	2	3	1	2	3
Dimensiunea nominală, L _N , mm	Abaterile limită, mm					
10; 12,5; 20; 25	± 0.4	± 0.8	± 1.6	± 0.5	± 1	± 2
30; 40; 50; 55	± 0.5	± 1	± 2	± 0.6	± 1.2	± 2.4
Raza nominală, r _N , mm	Abaterile limită, mm					
1	± 0.4	± 0.6	-	-	-	-
1.5, 2, 2.5, 3	-	-	-	± 0.6	-	-

7.2. Elemente tehnologice privind prelucrarea prin îndoire la rece a pieselor din grupurile obiectiv

7.2.1. Elemente tehnologice generale privind prelucrarea prin deformare plastică la rece a pieselor din grupurile obiectiv

În cadrul programului de cercetări teoretico – experimentale, procesul tehnologic de prelucrare prin deformare plastică la rece a pieselor obiectiv, din grupurile Ag.m.v, include operațiile tehnologice principale Selectare/ Debitare, Perforare – decupare și Îndoire, după cum se prezintă în § 6.2 - (1).

În cadrul operației Selectare/ Debitare, sistem tehnologic STD, din formate de tablă $g \times B^* \times L^*$ s-au realizat semifabricate $g \times B_0 \times L_0$. În cadrul operației Perforare – decupare, sistem tehnologic STP-D, din semifabricate $g \times B_0 \times L_0$, pentru o piesă obiectiv Ag.m.v bine definită s-au realizat *semifabricate* $g \times b \times L_s$ sau, echivalent, $g \times b_h \times L_{sh,h'}$, și anume, practic: lățimea b sau b_h – corespunzător valorii prescrise piesei h , $h = 1, 2$ sau 3 , iar lungimea L_s - la diferite valori, $L_{sh,h'}$, $h' = 1, 2, \dots, v_h$, $v_h = 8 - 10$, după cum se prezintă în § 6.2 - (2), (3), (4), 6.3, 6.4 și 6.5.

Operația tehnologică Îndoire cuprinde prelucrări de tip îndoire la rece, prin care *semifabricatele* $g \times b_h \times L_{sh,h'}$ sunt transformate în piese finite Ag.m.v. Operația se execută în sisteme tehnologice, STI, din două companii industriale (v : 1, 2), care includ, după caz, o presă hidraulică de îndoire, elemente de orientare–fixare, elemente active, elemente de control etc., dintre care se menționează:

- Presă hidraulică de îndoire CNC G Bend sau Presă hidraulică de îndoire CNC ERM 30135 (v. Anexa nr. 2);
- scule de tip poanson - placă activă cu profil unghiular racordat, pentru prelucrările/ fazele prin îndoire din cadrul operației;
- program CNC de operare.

Elementele active, poanon și placă activă, din structura sistemelor tehnologice de prelucrare prin îndoire la rece a unei piese obiectiv din grupurile Ag.m.v, se selectează având în vedere caracteristicile piesei - material, formă, grosime, raza de racordare interioară, dimensiuni liniare, schema de îndoire, respectiv, forța de îndoire, precum și caracteristicile sculelor disponibile tehnico - economic.

Caracteristicile elementelor active se referă la calitatea materialului constitutiv, dimensiunile de gabarit, parametrii geometrici ai părții unghiulare active etc. Codul poansonului exprimă raza de racordare (R), unghiul și înălțimea de poziționare (H) asociate părții active, iar codul plăcii de îndoire exprimă deschiderea (V) și unghiul părții active, precum și înălțimea totală (H) a plăcii.

Se realizează o configurare generală a elementelor active – poanson și placă activă, din structura sistemelor tehnologice de prelucrare prin îndoire la rece a pieselor din grupurile obiectiv Ag.m.v, după cum se prezintă în Fig. 7.1.

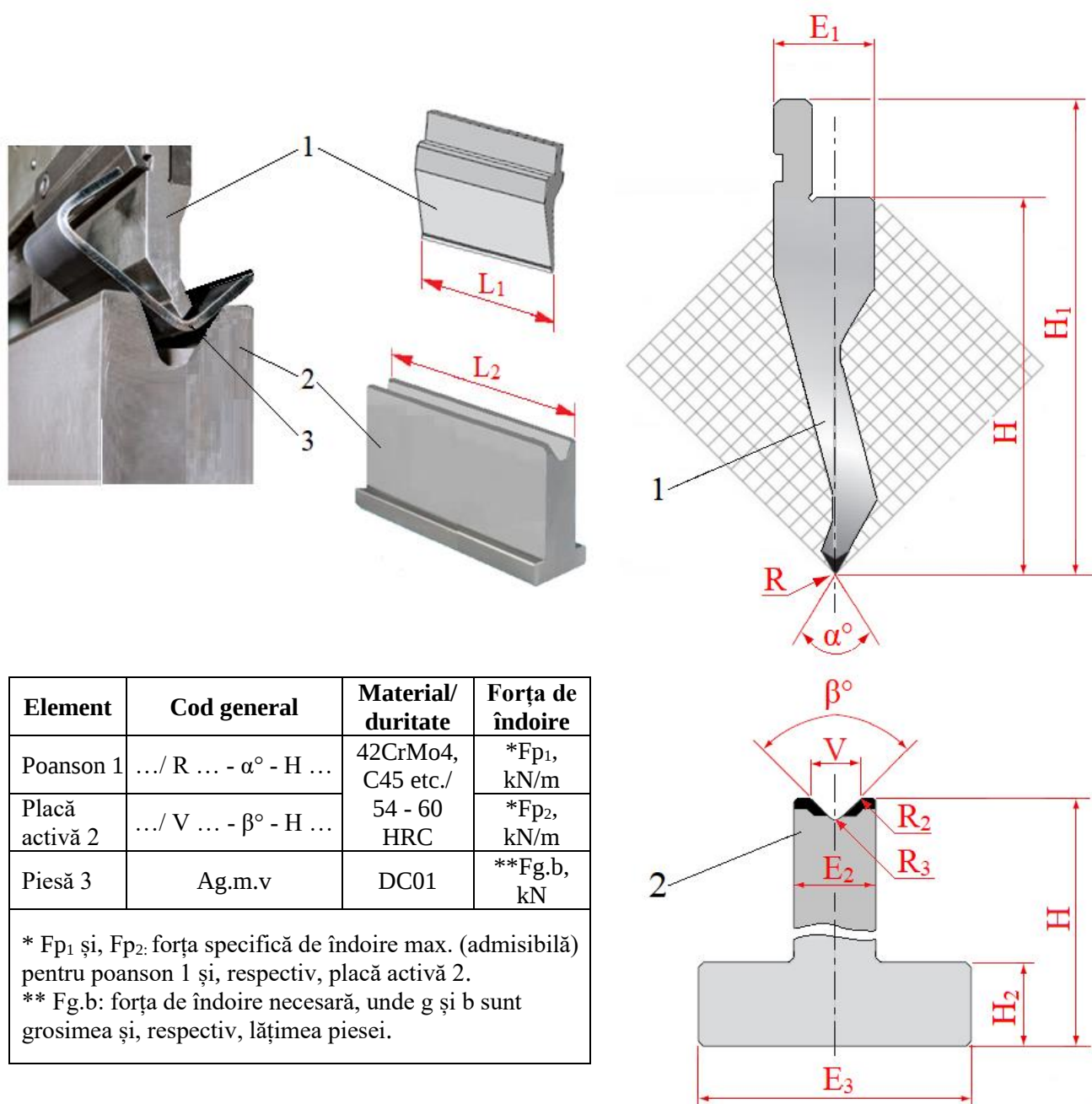


Fig. 7.1. Configurare generală a poansonului 1 și plăcii active 2 din structura sistemelor tehnologice de prelucrare prin îndoire a pieselor 3 din grupurile obiectiv Ag.m.v (pe baza unor date din [C01, S08])

Pentru fiecare piesă obiectiv Ag.m.v, succesiunea celor m îndoiri elementare și, corespunzător, pozițiile de lucru, respectiv, schemele tehnologice de îndoire se determină astfel încât prelucrările să se realizeze dinspre extremități către partea centrală a semifabricatului/piesei.

În raport cu instrucțiunile din programele CNC de operare, se efectuează reglarea sistemelor tehnologice.

7.2.2. Elemente tehnologice specifice privind desfășurarea operației de îndoire pentru piesele din grupurile obiectiv

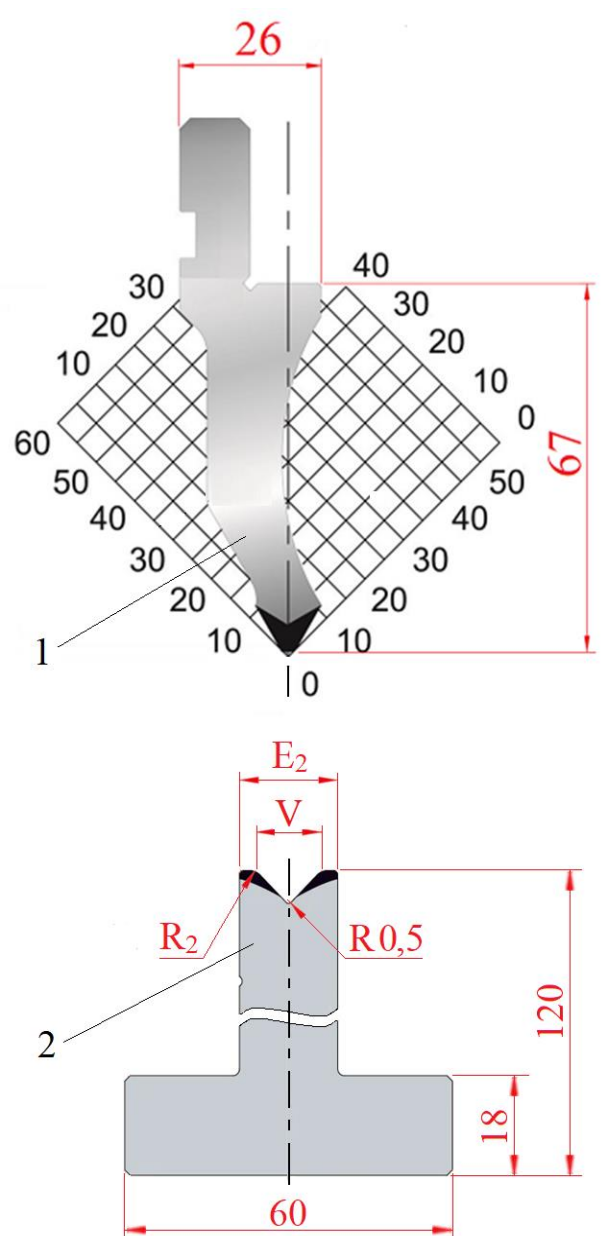
a. Caracteristici ale elementelor active din structura sistemelor tehnologice de prelucrare prin îndoire la rece a pieselor din grupurile obiectiv

Se determină o serie de caracteristici ale elementelor active – poanson și placă activă - din structura sistemelor tehnologice de prelucrare prin îndoire la rece a pieselor din grupurile obiectiv, după cum se prezintă în Tabelul 7.3 pentru grupurile A1.m.v și A1,5.m.v, respectiv, în Tabelul 7.4 pentru grupurile A2.m.v, A2,5.m.v și A3.m.v.

Tabelul 7.3. Caracteristici ale poansonului și plăcii active din structura sistemelor tehnologice de prelucrare prin îndoire la rece a pieselor din grupurile A1.m.v și A1,5.m.v (pe baza unor date din [D01, E03, E04, A06, F03, H09])

• Grup de piese	A1.m.v	A1,5.m.v
• Cod poanson 1	1270/ R 0,25 - 88° - H 94,36	1282/ R1,5 – 35° – H 90
• Cod placă activă 2	3073/ V 6 - 30° - H 120	3085/ V10 – 88° – H 120
• Lungime (lățime) poanson 1 și placă activă 2: $L_1 = 415$ mm, $L_2 = 415$ mm. • Forța specifică de îndoire maximă (admisibilă) pentru poansonul 1 și placa activă 2: F_p, $F_p = \min (F_{p1}, F_{p2})$, kN/m		
• F_p , kN/m	34.3	68.6

Tabelul 7.4. Caracteristici ale poansonului și plăcii active din structura sistemelor tehnologice de prelucrare prin îndoire la rece a pieselor din grupurile A2.m.v, A2,5.m.v și A3.m.v (pe baza unor date din [D01, E05, F03, S08, H09])

• Grup de piese		A2.m.v	A2,5.m.v	A3.m.v
• Cod poanson 1		1027/ R2 – 60° – H 67		
• Cod placă activă 2		3055/ V 12 – 88° – H 120	3056/ V 16 – 88° – H 120	3058/ V 25 – 88° – H 120
• Lungime (lățime) poanson 1 și placă activă 2: $L_1 = 415 \text{ mm}$, $L_2 = 415 \text{ mm}$. • Forța specifică de îndoire maximă (admisibilă), pentru poansonul 1 și placa activă 2: F_p, $F_p = \min (F_{p1}, F_{p2})$, kN/m				
• Dimensiuni V, E ₂ , R ₂ , mm	V	12	16	25
	E ₂	18	24	35
	R ₂	2,75	2,75	3
• F _p , kN/m		78.4		

b. Scheme tehnologice de prelucrare prin îndoire la rece a pieselor din grupurile obiectiv

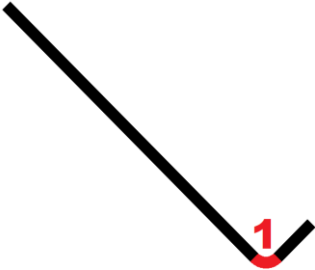
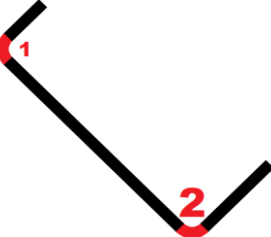
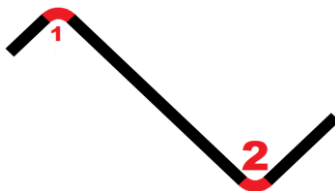
În raport cu cele de mai sus, se configurează schemele tehnologice de prelucrare prin îndoire la rece care se aplică pentru a realiza piesele din grupurile obiectiv Ag.m.v, după cum se prezintă în Tabelele 7.5 și 7.6.

Dintre elementele principale privind schemele tehnologice elaborate, se menționează următoarele:

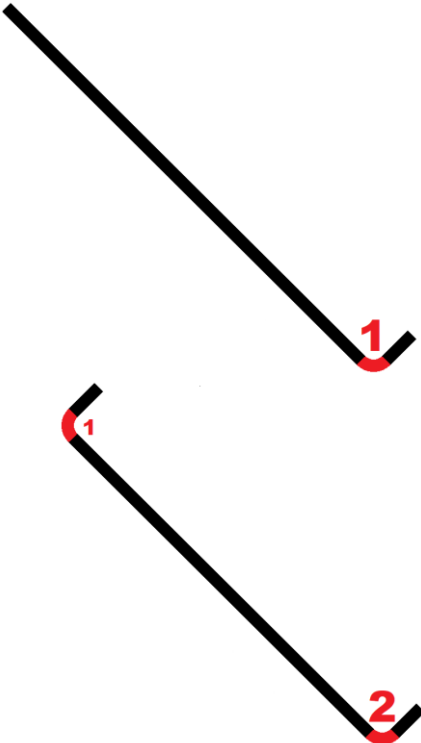
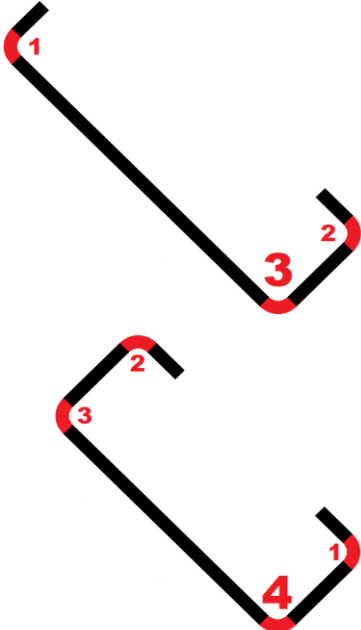
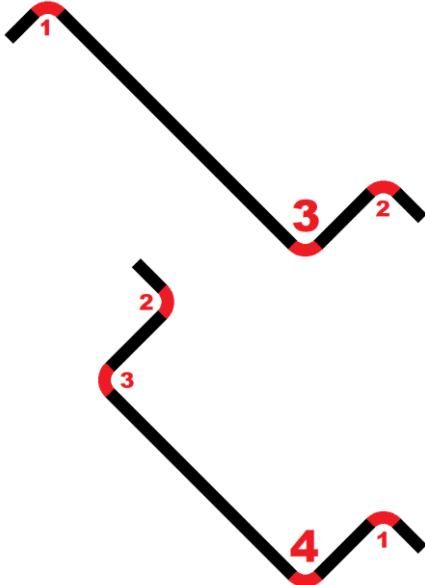
îndoirile elementare în număr de $m = 2$ sau $m = 4$ se realizează succesiv;

îndoirile elementare în număr de $m = 4$ se realizează dinspre extremități către partea centrală a semifabricatului/ piesei (v. § a de mai sus), în ordinea 1, 2, 3, 4.

Tabelul 7.5. Scheme tehnologice de prelucrare prin îndoire la rece a pieselor din grupurile obiectiv Ag.1.v și Ag.2.v

Piese Ag.m.v: § 6.4, 7.1; Semifabricate $g \times b \times L_s(m)$: § 6.4, 6.5; $v = 1, 2$				
m	1	2		
Ag.m.v	Ag.1.v, $g = 1; 1,5; 2; 2,5; 3$	A1.2.v, A"1,5.2.v, A2.2.v, A2,5.2.v, A'3.2.v		A'1,5.2.v, A"3.2.v
Semifabricat				
Scheme de îndoire				
			sau	

Tabelul 7.6. Scheme tehnologice de prelucrare prin îndoire la rece
a pieselor din grupurile obiectiv Ag.4.v

Piese Ag.m.v: § 6.4, 7.1; Semifabricate g x b x Ls(m): § 6.4, 6.5; v = 1, 2			
m	4		
Ag.4.v	A1.4.v, A2.4.v		A2,5.4.v
Semifabricat			
Scheme de îndoire			
		sau	

c. Secvențe din simularea operației de îndoire în cadrul programelor CNC de operare

Secvențe din simularea operației de îndoire a unor piese obiectiv din grupurile Ag.m.v se prezintă, spre exemplificare, în Fig. 7.2 - 7.4.

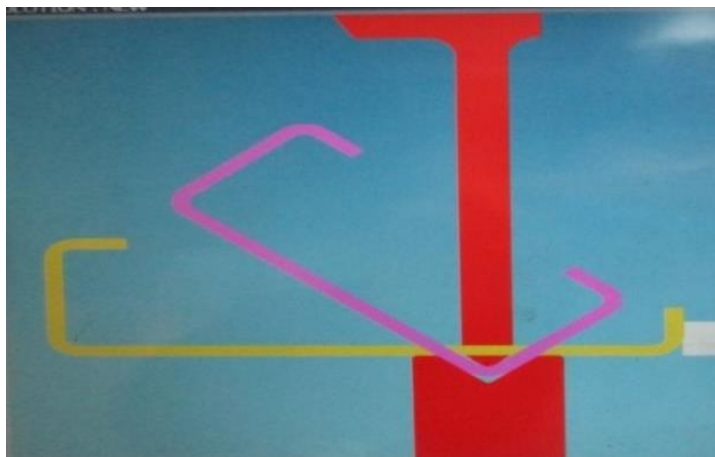


Fig. 7.2. Secvență din simularea operației de îndoire a pieselor A1.4.2 [C01]



Fig. 7.3. Secvențe din simularea operației de îndoire a pieselor A'1,5.2.2 [C01, P05]

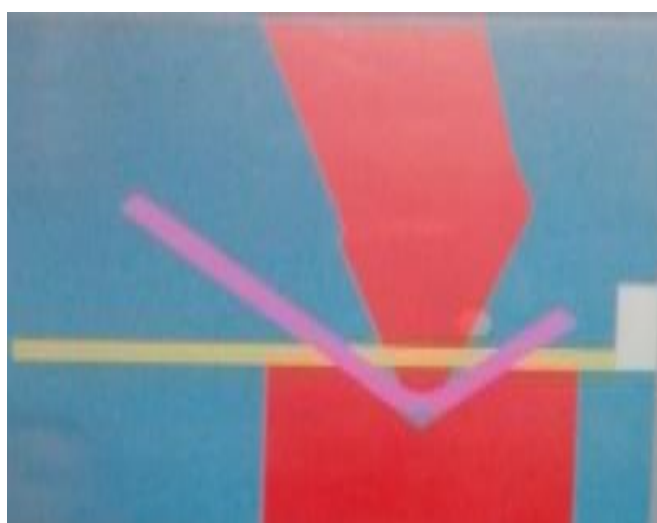


Fig. 7.4. Secvență din simularea operației de îndoire a pieselor A3.1.2 2 [C01, P08]

7.3. Serii de piese obiectiv și evaluarea preciziei unor caracteristici efective

a. Serii de piese efective

În legătură cu fiecare piesă Ag.m.v din grupurile obiectiv, se realizează *n experiențe principale*, respectiv, *o serie de n piese*, $n = 5$, în aceleași condiții, și anume, prin prelucrarea seriei de semifabricate Sg.m.v ($n = 5$) corespondente, în aceeași operație tehnologică (Îndoire) și același sistem tehnologic (STI), după cum se prezintă în § 7.2, cu reglarea sistemului tehnologic de prelucrare prin îndoire în raport cu valorile nominale L_N și r_N ale dimensiunilor liniare L și, respectiv, razelor de racordare r prescrise.

Astfel, în legătură cu fiecare piesă obiectiv Ag.m.v, *seria de $n = 5$ piese efective*, care se realizează în condițiile de mai sus, se notează cu Ag.m.v ($n = 5$).

Exemple de componente ale seriilor de piese efective Ag.m.v ($n = 5$) se prezintă în Fig. 7.5.

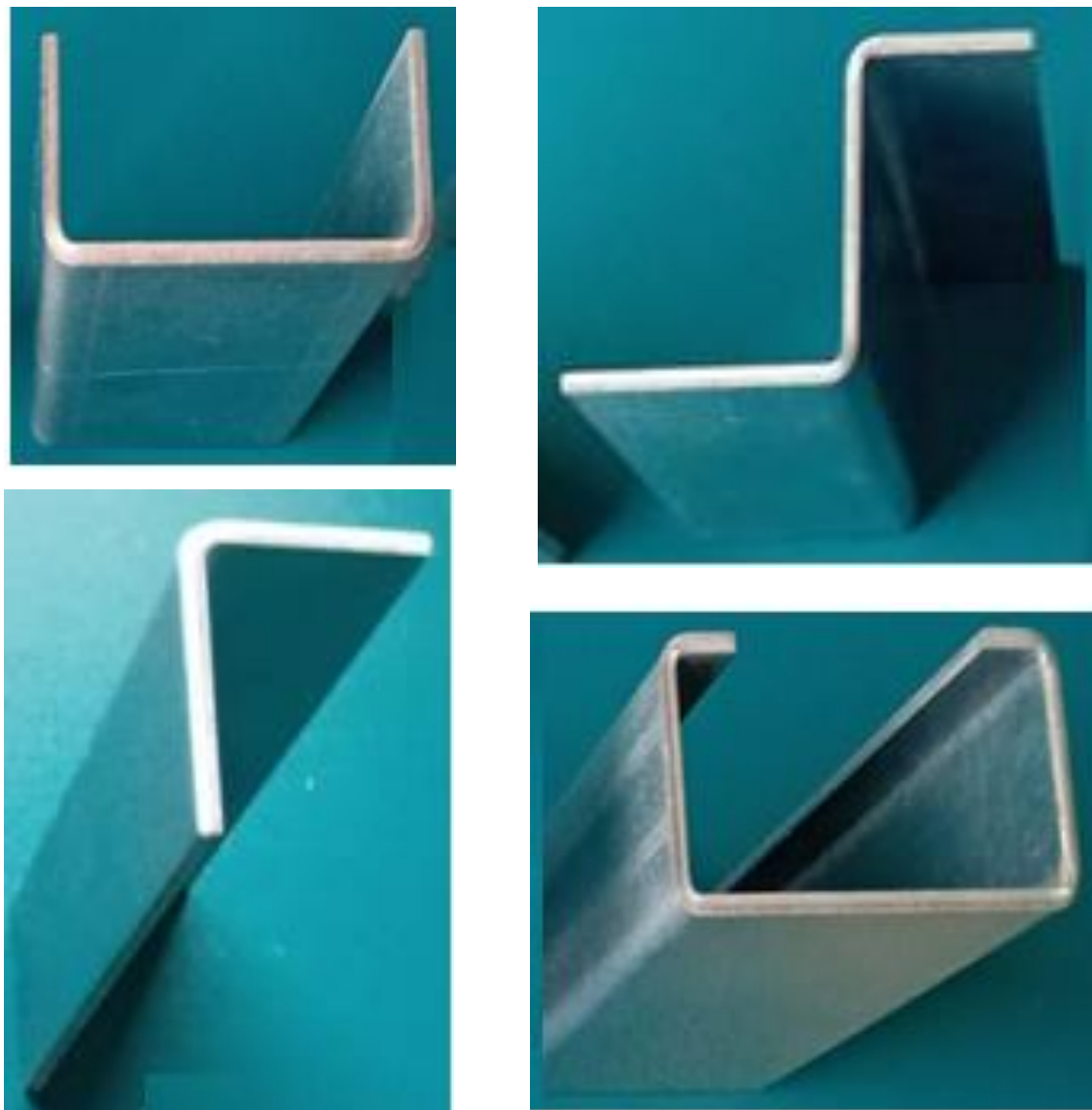


Fig. 7.5. Componente ale seriilor de piese Ag.m.v ($n = 5$), cu număr de îndoiri:
 $m = 1$ (formă L), $m = 2$ (formă U), $m = 2$ (formă Z), $m = 4$ (formă Ω)

b. Evaluarea preciziei dimensiunilor liniare și a razelor de racordare în cadrul seriilor de piese efective Ag.m.v (n = 5)

Precizia efectivă a dimensiunilor liniare L și a razelor de racordare r , la seriile de piese considerate, se evaluează prin verificarea condiției privind precizia efectivă în raport cu prevederile standard, precum și prin verificarea preciziei de repetabilitate în cadrul unui test statistic care se poate aplica la seriile/ sondajele de volum redus, după cum urmează.

S-au determinat, prin măsurare, dimensiunile liniare L_j - la toate piesele efective din fiecare serie Ag.m.v (n = 5), precum și raza(ele) de racordare r_k - la unele piese efective, arbitrar alese, din fiecare serie Ag.m.2 (n = 5), $m = 1, 2$ sau 4 .

Se determină, prin calcul, abaterile efective a_j și a'_k :

$$a = L - L_N, \text{ respectiv, } a_j = L_j - L_N, j = \overline{1, n}, n = 5 \quad (7.3)$$

$$a' = r - r_N, \text{ respectiv, } a'_k = r_k - r_N, k = \overline{1, m}, m = 1, 2 \text{ sau } 4 \quad (7.4)$$

(1) Evaluarea condiției privind precizia efectivă a dimensiunilor liniare L și a razelor de racordare r în raport cu prevederile standard în vigoare

În legătură cu o piesă obiectiv Ag.m.v, la fiecare piesă efectivă din seria Ag.m.v (n = 5), se evaluează condiția privind precizia efectivă [G03] a dimensiunilor L_j în raport cu prevederile standard în vigoare (v.Tabelul 7.2), respectiv:

$$a_j \in [a_{\inf}; a_{\sup}] \Leftrightarrow L_j \in [L_{\min}; L_{\max}], j = \overline{1, n}, n = 5 \quad (7.5)$$

La fiecare piesă efectivă din seria Ag.m.2 (n = 5) la care se măsoară raza(ele) de racordare (v. cele de mai sus), se evaluează condiția privind precizia efectivă [G03] a razei(elor) de racordare r_k în raport cu prevederile standard în vigoare (v.Tabelul 7.2), respectiv:

$$a'_k \in [a'_{\inf}; a'_{\sup}] \Leftrightarrow r_k \in [r_{\min}; r_{\max}], k = \overline{1, m}, m = 1, 2 \text{ sau } 4 \quad (7.6)$$

În funcție de valorile abaterilor limită $a_{\inf}$, și $a_{\sup}$, respectiv, $a'_{\inf}$ și $a'_{\sup}$ care satisfac corespunzător rel. (7.5) sau rel. (7.6), se asociază dimensiunii liniare L și, respectiv, razei de racordare r clasa de precizie 1, 2 sau 3, după caz.

(2) Evaluarea condiției privind precizia de repetabilitate a dimensiunilor liniare L și a unor raze de racordare r în cadrul testului t Student

Pentru a evalua precizia de repetabilitate a unei dimensiuni liniare L sau a unei raze de racordare r și, implicit, a abaterii a sau, respectiv, a' , se aplică un test corespunzător sondajelor de volum redus, și anume *testul t Student* [E02].

Practic, se evaluează precizia de repetabilitate: la fiecare dimensiune liniară L de la toate piesele efective din fiecare serie Ag.m.v (n = 5); a razei de racordare r de la o piesă efectivă, arbitrar aleasă, din fiecare serie Ag.m.2 (n = 5), $m = 2$ sau 4 [v. și § a – (1)].

Astfel, se consideră mărimea Y , după caz: la fiecare serie de piese efective Ag.m.v (n = 5),

$$Y = L \text{ și/sau } a;$$

și, respectiv, la fiecare serie de piese efective Ag.m.2 (n = 5):

$$Y = r \text{ și/sau } a'.$$

În legătură cu o mărime Y , de valoare nominală Y_N , la un grup de valori experimentale măsurate Y_e , $e = \overline{1, E}$, se calculează valoarea medie $\bar{Y}$, abaterea standard de sondaj s și parametrul/ statistica de evaluare t , respectiv,

$$\bar{Y} = \frac{1}{E} \sum_{e=1}^E Y_e, \quad s = \sqrt{\frac{\sum_{e=1}^E (Y_e - \bar{Y})^2}{E-1}}, \quad t = \frac{|\bar{Y} - Y_N|}{s/\sqrt{E}}$$

care devin, pentru $Y = L$ și, corespunzător, $e = j$, $E = n$:

$$\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n L_j, \quad s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (L_j - \bar{L})^2}{n-1}}, \quad t = \frac{|\bar{L} - L_N|}{s/\sqrt{n}}, \quad n = 5 \quad (7.7)$$

iar, pentru $Y = r$ și, corespunzător, $e = k$, $E = m$:

$$\bar{r} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m r_k, \quad s = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m (r_k - \bar{r})^2}{m-1}}, \quad t = \frac{|\bar{r} - r_N|}{s/\sqrt{m}}, \quad m = 2 \text{ sau } 4 \quad (7.8)$$

Se determină valoarea critică (tabelată) a distribuției Student, t_{cr} , în funcție de nivelul de încredere/ semnificație sau, echivalent, de probabilitatea asociată mărimii studiate și de numărul gradelor de libertate $(n-1)$ [E02].

În continuare, se consideră un nivel de încredere de 0.05, respectiv, o probabilitate de 95% și: pentru $n = 5$, respectiv, numărul gradelor de libertate, $n-1$, egal cu 4, rezultă $t_{cr} = 2,132$; pentru $m = 4$, respectiv, numărul gradelor de libertate, $m-1$, egal cu 3, rezultă $t_{cr} = 2,353$; pentru $m = 2$, respectiv, numărul gradelor de libertate, $m-1$, egal cu 1, rezultă $t_{cr} = 6,354$ [E02].

Se evaluează condiția privind precizia efectivă de repetabilitate a mărimii $\bar{Y}$ în raport cu valoarea nominală Y_N :

$$t \leq t_{cr} \quad (7.9)$$

Dacă condiția (7.9) este satisfăcută ($\checkmark$), rezultă că dimensiunea liniară L sau raza de racordare r și, implicit, abaterea a sau, respectiv a' , după caz, prezintă o precizie de repetabilitate acceptabilă.

c. Rezultate privind caracteristicile efective asociate dimensiunilor liniare de la seriile de piese Ag.m.v ($n = 5$)

Dimensiunile liniare L_j s-au verificat, la toate piesele efective (v. și § 7.3 - b), prin măsurare cu șubler digital cu valoarea diviziunii de 0,01 mm.

Caracteristicile geometrice nominale (de referință), caracteristicile geometrice efective (v. și [P07 - P11]), precum și elemente de evaluare a preciziei care sunt asociate dimensiunilor liniare L de la seriile de piese Ag.m.v ($n = 5$), determinate în raport cu cele de mai sus, sunt prezentate în Tabelele 7.7 – 7.16, unde, dimensiunile liniare L se notează și cu $L(\dot{m})$, respectiv, $L(1)$ sau $L(2)$, după cum *cuprind* o zonă îndoită sau două zone îndoite; similar, $a(\dot{m})$, respectiv, $a(1)$ sau $a(2)$ (v. și Anexa nr. 4).

Tabelul 7.7. Caracteristici nominale și efective ale dimensiunilor liniare
de la seriile de piese A1.m.1 (n = 5)

A1.m.1 (n = 5)	L(m), a(m)	L _N , a _N , mm	L _j , mm, a _j , mm, j = 1, n, n = 5					L _{jmin} , a _{jmin} , mm	L _{jmax} , a _{jmax} , mm	Clasa de precizie	$\bar{L}$, $\bar{a}$, mm	$s/\sqrt{n}$, mm	$t \leq$ t_{cr}
A1.1.1 (n = 5)	L(1)	12.5	12.46	12.48	12.68	12.57	12.49	12.46	12.68	1	12.536	0.04057	✓
	a(1)	0	-0.04	-0.02	0.18	0.07	-0.01	-0.04	0.18		0.036		
	L(1)	25	24.67	24.69	24.48	24.61	24.67	24.48	24.69	2	24.624	0.03842	
	a(1)	0	-0.33	-0.31	-0.52	-0.39	-0.33	-0.52	-0.31		-0.376		
A1.2.1 (n = 5)	L(1)	25	24.84	24.86	24.86	24.91	24.86	24.84	24.91	1	24.866	0.01166	
	a(1)	0	-0.16	-0.14	-0.14	-0.09	-0.14	-0.16	-0.09		-0.134		
	L(1)	25	24.91	24.89	24.89	24.91	24.88	24.88	24.91	1	24.896	0.00600	
	a(1)	0	-0.09	-0.11	-0.11	-0.09	-0.12	-0.12	-0.09		-0.104		
	L(2)	40	39.54	39.56	39.55	39.50	39.68	39.50	39.68	1	39.566	0.03027	
	a(2)	0	-0.46	-0.44	-0.45	-0.50	-0.32	-0.50	-0.32		-0.434		
A1.4.1 (n = 5)	L(1)	10	9.90	9.79	9.88	9.92	9.91	9.79	9.92	1	9.880	0.02345	
	a(1)	0	-0.10	-0.21	-0.12	-0.08	-0.09	-0.21	-0.08		-0.120		
	L(1)	12.5	12.38	12.43	12.38	12.45	12.44	12.38	12.45	1	12.416	0.01503	
	a(1)	0	-0.12	-0.07	-0.12	-0.05	-0.06	-0.12	-0.05		-0.084		
	L(2)	20	19.88	20.13	19.94	19.91	19.88	19.88	20.13	1	19.948	0.04684	✓
	a(2)	0	-0.12	0.13	-0.06	-0.09	-0.12	-0.12	0.13		-0.052		
	L(2)	20	19.84	20.00	19.90	19.90	19.82	19.82	20.00	1	19.892	0.03137	
	a(2)	0	-0.16	0.00	-0.10	-0.10	-0.18	-0.18	0.00		-0.108		
	L(2)	55	54.16	53.98	53.98	53.99	54.08	53.98	54.16	3	54.038	0.03583	
	a(2)	0	-0.84	-1.02	-1.02	-1.01	-0.92	-1.02	-0.84		-0.962		

Tabelul 7.8. Caracteristici nominale și efective ale dimensiunilor liniare
de la seriile de piese A1.m.2 (n = 5)

A1.m.2 (n = 5)	L(m), a(m)	L _N , a _N , mm	L _j , mm, a _j , mm, j = 1, n, n = 5					L _{jmin} , a _{jmin} , mm	L _{jmax} , a _{jmax} , mm	Clasa de precizie	$\bar{L}$, $\bar{a}$, mm	$s/\sqrt{n}$, mm	$t \leq$ t_{cr}
A1.1.2 (n = 5)	L(1)	12.5	12.45	12.5	12.49	12.48	12.49	12.45	12.50	1	12.482	0.00860	✓
	a(1)	0	-0.05	0.00	-0.01	-0.02	-0.01	-0.05	0.00		-0.018		
	L(1)	25	24.92	24.89	24.89	24.91	24.92	24.89	24.92	1	24.906	0.00678	
	a(1)	0	-0.08	-0.11	-0.11	-0.09	-0.08	-0.11	-0.08		-0.094		
A1.2.2 (n = 5)	L(1)	25	24.97	24.85	24.99	24.98	24.86	24.85	24.99	1	24.930	0.03082	
	a(1)	0	-0.03	-0.15	-0.01	-0.02	-0.14	-0.15	-0.01		-0.070		
	L(1)	25	24.97	24.89	25.04	24.97	25.03	24.89	25.04	1	24.980	0.02683	✓
	a(1)	0	-0.03	-0.11	0.04	-0.03	0.03	-0.11	0.04		-0.020		
	L(2)	40	39.87	40.46	39.89	39.9	39.87	39.87	40.46	1	39.998	0.11565	✓
	a(2)	0	-0.13	0.46	-0.11	-0.10	-0.13	-0.13	0.46		-0.002		
A1.4.2 (n = 5)	L(1)	10	9.73	9.88	9.91	9.8	9.83	9.83	9.91	1	9.830	0.03146	
	a(1)	0	-0.27	-0.12	-0.09	-0.20	-0.17	-0.27	-0.09		-0.170		
	L(1)	12.5	12.43	12.45	12.41	12.4	12.46	12.40	12.46	1	12.430	0.01140	
	a(1)	0	-0.07	-0.05	-0.09	-0.10	-0.04	-0.10	-0.04		-0.070		
	L(2)	20	20.02	19.87	19.96	19.94	19.94	19.87	20.02	1	19.946	0.02400	✓
	a(2)	0	0.02	-0.13	-0.04	-0.06	-0.06	-0.13	0.02		-0.054		
	L(2)	20	19.94	19.83	19.86	19.92	19.93	19.83	19.94	1	19.896	0.02159	
	a(2)	0	-0.06	-0.17	-0.14	-0.08	-0.07	-0.17	-0.06		-0.104		
	L(2)	55	55.25	55.18	55.08	55.22	55.15	55.08	55.25	1	55.176	0.02943	
	a(2)	0	0.25	0.18	0.08	0.22	0.15	0.08	0.25		0.176		

Tabelul 7.9. Caracteristici nominale și efective ale dimensiunilor liniare
de la seriile de piese A1,5.m.1 (n = 5)

A1,5.m.1 (n = 5)	L($\bar{m}$), a($\bar{m}$)	L _N , a _N , mm	L _j , mm, a _j , mm, j = 1, n, n = 5					L _{jmin} , a _{jmin} , mm	L _{jmax} , a _{jmax} , mm	Clasa de precizie	$\bar{L}$, $\bar{a}$, mm	s/ $\sqrt{n}$, mm	t ≤ t _{cr}
A1,5.1.1 (n = 5)	L(1)	12.5	12.55	12.51	12.53	12.52	12.55	12.51	12.55	1	12.532	0.00800	
	a(1)	0	0.05	0.01	0.03	0.02	0.05	0.01	0.05		0.032		
	L(1)	25	24.30	24.32	24.33	24.33	24.33	24.30	24.33	2	24.322	0.00583	
	a(1)	0	-0.70	-0.68	-0.67	-0.67	-0.67	-0.70	-0.67		-0.678		
A'1,5.2.1 (n = 5)	L(1)	20	19.99	20.04	19.93	20.03	19.92	19.92	20.04	1	19.982	0.02478	✓
	a(1)	0	-0.01	0.04	-0.07	0.03	-0.08	-0.08	0.04		-0.018		
	L(1)	30	30.03	30.02	29.99	28.76	28.56	28.56	30.03	3	29.472	0.33307	✓
	a(1)	0	0.03	0.02	-0.01	-1.24	-1.44	-1.44	0.03		-0.528		
	L(2)	25	23.61	23.50	23.65	24.80	25.18	23.50	25.18	3	24.148	0.34982	
	a(2)	0	-1.39	-1.50	-1.35	-0.20	0.18	-1.50	0.18		-0.852		
A''1,5.2.1 (n = 5)	L(1)	20	19.98	19.93	19.85	19.93	19.92	19.85	19.98	1	19.922	0.02083	
	a(1)	0	-0.02	-0.07	-0.15	-0.07	-0.08	-0.15	-0.02		-0.078		
	L(1)	30	30.03	30.07	30.01	29.99	30.04	29.99	30.07	1	30.028	0.01356	✓
	a(1)	0	0.03	0.07	0.01	-0.01	0.04	-0.01	0.07		0.028		
	L(2)	40	38.70	38.58	38.79	38.85	38.78	38.58	38.85	3	38.740	0.04658	
	a(2)	0	-1.30	-1.42	-1.21	-1.15	-1.22	-1.42	-1.15		-1.260		

Tabelul 7.10. Caracteristici nominale și efective ale dimensiunilor liniare
de la seriile de piese A1,5.m.2 (n = 5)

A1,5.m.2 (n = 5)	L($\bar{m}$), a($\bar{m}$)	L _N , a _N , mm	L _j , mm, a _j , mm, j = 1, n, n = 5					L _{jmin} , a _{jmin} , mm	L _{jmax} , a _{jmax} , mm	Clasa de precizie	$\bar{L}$, $\bar{a}$, mm	s/ $\sqrt{n}$	t ≤ t _{cr}
A1,5.1.2 (n = 5)	L(1)	12.5	12.52	12.50	12.50	12.52	12.52	12.50	12.52	1	12.512	0.00490	
	a(1)	0	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.02		0.012		
	L(1)	25	25.2	25.18	25.19	25.16	25.18	25.16	25.20	1	25.182	0.00663	
	a(1)	0	0.20	0.18	0.19	0.16	0.18	0.16	0.20		0.182		
A'1,5.2.2 (n = 5)	L(1)	20	19.95	19.91	19.94	19.95	19.93	19.91	19.95	1	19.936	0.00748	
	a(1)	0	-0.05	-0.09	-0.06	-0.05	-0.07	-0.09	-0.05		-0.064		
	L(1)	30	30.00	29.97	30.01	29.99	29.95	29.95	30.01	1	29.984	0.01077	✓
	a(1)	0	0.00	-0.03	0.01	-0.01	-0.05	-0.05	0.01		-0.016		
	L(2)	25	25.38	25.42	25.35	25.35	25.39	25.35	25.42	1	25.378	0.01319	
	a(2)	0	0.38	0.42	0.35	0.35	0.39	0.35	0.42		0.378		
A''1,5.2.2 (n = 5)	L(1)	20	19.93	19.87	19.91	19.93	19.93	9.83	19.93	1	19.914	0.01166	
	a(1)	0	-0.07	-0.13	-0.09	-0.07	-0.07	-0.13	-0.07		-0.086		
	L(1)	30	30.02	29.98	29.99	30.01	30.00	29.98	30.02	1	30.000	0.00707	✓
	a(1)	0	0.02	-0.02	-0.01	0.01	0.00	-0.02	0.02		0.000		
	L(2)	40	40.42	40.53	40.47	40.43	40.46	40.42	40.53	2	40.462	0.01934	
	a(2)	0	0.42	0.53	0.47	0.43	0.46	0.42	0.53		0.462		

Tabelul 7.11. Caracteristici nominale și efective ale dimensiunilor liniare
de la seriile de piese A2.m.1 (n = 5)

A2.m.1 (n = 5)	L(m), a(m)	L _N , a _N , mm	L _j , mm, a _j , mm, j = 1, n, n = 5					L _{jmin} , a _{jmin} , mm	L _{jmax} , a _{jmax} , mm	Clasa de precizie	$\bar{L}$, $\bar{a}$, mm	$s/\sqrt{n}$, mm	t ≤ t _{cr}
A2.1.1 (n = 5)	L(1)	20	20.09	20.01	20.02	20.07	20.08	20.01	20.09	1	20.054	0.01631	
	a(1)	0	0.09	0.01	0.02	0.07	0.08	0.01	0.09		0.054		
	L(1)	30	29.60	29.71	29.64	29.64	29.56	29.56	29.71	1	29.630	0.02490	
	a(1)	0	-0.40	-0.29	-0.36	-0.36	-0.44	-0.44	-0.29		-0.370		
A2.2.1 (n = 5)	L(1)	20	19.98	19.95	20.1	19.96	19.96	19.95	20.10	1	19.990	0.02793	✓
	a(1)	0	-0.02	-0.05	0.10	-0.04	-0.04	-0.05	0.10		-0.010		
	L(1)	20	19.99	19.91	20.1	19.94	19.99	19.91	20.10	1	19.986	0.03234	✓
	a(1)	0	-0.01	-0.09	0.10	-0.06	-0.01	-0.09	0.10		-0.014		
	L(2)	50	49.08	49.25	48.89	49.12	49.12	48.89	49.25	2	49.092	0.05809	
	a(2)	0	-0.92	-0.75	-1.11	-0.88	-0.88	-1.11	-0.75		-0.908		
A2.4.1 (n = 5)	L(1)	10	9.95	9.82	9.75	9.79	10.22	9.75	10.22	1	9.906	0.08536	✓
	a(1)	0	-0.05	-0.18	-0.25	-0.21	0.22	-0.25	0.22		-0.094		
	L(1)	10	9.96	9.75	9.73	9.82	10.20	9.73	10.20	1	9.892	0.08691	✓
	a(1)	0	-0.04	-0.25	-0.27	-0.18	0.20	-0.27	0.20		-0.108		
	L(2)	20	20.02	20.08	20.02	20.05	19.95	19.95	20.08	1	20.024	0.02159	✓
	a(2)	0	0.02	0.08	0.02	0.05	-0.05	-0.05	0.08		0.024		
	L(2)	20	20.50	20.03	19.98	20.06	19.96	19.96	20.50	1	20.106	0.10008	✓
	a(2)	0	0.50	0.03	-0.02	0.06	-0.04	-0.04	0.50		0.106		
	L(2)	50	47.98	48.35	48.5	48.27	47.62	47.62	48.50	3	48.144	0.15597	
	a(2)	0	-2.02	-1.65	-1.50	-1.73	-2.38	-2.38	-1.50		-1.856		

Tabelul 7.12. Caracteristici nominale și efective ale dimensiunilor liniare
de la seriile de piese A2.m.2 (n = 5)

A2.m.2 (n = 5)	L(m), a(m)	L _N , a _N , mm	L _j , mm, a _j , mm, j = 1, n, n = 5					L _{jmin} , a _{jmin} , mm	L _{jmax} , a _{jmax} , mm	Clasa de precizie	$\bar{L}$, $\bar{a}$, mm	$s/\sqrt{n}$, mm	t ≤ t _{cr}
A2.1.2 (n = 5)	L(1)	20	20.03	20.05	20.00	20.04	20.00	20.00	20.05	1	20.024	0.01030	
	a(1)	0	0.03	0.05	0.00	0.04	0.00	0.00	0.05		0.024		
	L(1)	30	29.81	29.80	29.84	29.81	29.81	29.80	29.84	1	29.814	0.00678	
	a(1)	0	-0.19	-0.20	-0.16	-0.19	-0.19	-0.20	-0.16		-0.186		
A2.2.2 (n = 5)	L(1)	20	19.97	20.02	20.00	19.97	19.94	19.94	20.02	1	19.980	0.01378	✓
	a(1)	0	-0.03	0.02	0.00	-0.03	-0.06	-0.06	0.02		-0.020		
	L(1)	20	20.01	19.83	19.98	20.00	19.97	19.83	20.01	1	19.958	0.03277	✓
	a(1)	0	0.01	-0.17	-0.02	0.00	-0.03	-0.17	0.01		-0.042		
	L(2)	50	49.63	49.76	49.62	49.54	49.67	49.54	49.76	1	49.644	0.03586	
	a(2)	0	-0.37	-0.24	-0.38	-0.46	-0.33	-0.46	-0.24		-0.356		
A2.4.2 (n = 5)	L(1)	10	9.86	9.93	9.82	10.00	9.89	9.82	10.00	1	9.900	0.03082	
	a(1)	0	-0.14	-0.07	-0.18	0.00	-0.11	-0.18	0.00		-0.100		
	L(1)	10	9.87	9.87	9.83	9.98	9.94	9.83	9.98	1	9.898	0.02709	
	a(1)	0	-0.13	-0.13	-0.17	-0.02	-0.06	-0.17	-0.02		-0.102		
	L(2)	20	20.03	20.05	20.04	19.97	20.05	19.97	20.05	1	20.028	0.01497	✓
	a(2)	0	0.03	0.05	0.04	-0.03	0.05	-0.03	0.05		0.028		
	L(2)	20	20.00	20.03	20.03	20.09	20.01	20.00	20.09	1	20.032	0.01562	✓
	a(2)	0	0.00	0.03	0.03	0.09	0.01	0.00	0.09		0.032		
	L(2)	50	50.69	50.77	50.84	50.56	50.72	50.56	50.84	2	50.716	0.04654	
	a(2)	0	0.69	0.77	0.84	0.56	0.72	0.56	0.84		0.716		

Tabelul 7.13. Caracteristici nominale și efective ale dimensiunilor liniare
de la seriile de piese A2,5.m.1 (n = 5)

A2,5.m.1 (n = 5)	L($\bar{m}$), a($\bar{m}$)	L _N , a _N , mm	L _j , mm, a _j , mm, j = 1, n, n = 5					L _{jmin} , a _{jmin} , mm	L _{jmax} , a _{jmax} , mm	Clasa de precizie	$\bar{L}$, $\bar{a}$, mm	s/ $\sqrt{n}$, mm	t ≤ t _{cr}
A2,5.1.1 (n = 5)	L(1)	20	19.86	20.04	19.86	19.98	19.79	19.79	20.04	1	19.906	0.04534	✓
	a(1)	0	-0.14	0.04	-0.14	-0.02	-0.21	-0.21	0.04		-0.094		
	L(1)	30	30.19	30.07	30.50	30.10	30.2	30.07	30.50	1	30.212	0.07625	
	a(1)	0	0.19	0.07	0.50	0.10	0.20	0.07	0.50		0.212		
A2,5.2.1 (n = 5)	L(1)	20	19.77	19.84	19.95	19.92	19.92	19.77	19.95	1	19.880	0.03302	
	a(1)	0	-0.23	-0.16	-0.05	-0.08	-0.08	-0.23	-0.05		-0.120		
	L(1)	20	19.98	19.88	19.93	20.01	19.98	19.88	20.01	1	19.956	0.02293	✓
	a(1)	0	-0.02	-0.12	-0.07	0.01	-0.02	-0.12	0.01		-0.044		
	L(2)	40	40.17	40.35	40.2	40.25	40.23	40.17	40.35	1	40.240	0.03066	
	a(2)	0	0.17	0.35	0.20	0.25	0.23	0.17	0.35		0.240		
A2,5.4.1 (n = 5)	L(1)	25	24.80	24.98	24.96	24.97	25.19	24.80	25.19	1	24.980	0.06205	✓
	a(1)	0	-0.20	-0.02	-0.04	-0.03	0.19	-0.20	0.19		-0.020		
	L(1)	25	24.95	24.89	24.9	25.04	25.14	24.89	25.14	1	24.984	0.04718	✓
	a(1)	0	-0.05	-0.11	-0.10	0.04	0.14	-0.11	0.14		-0.016		
	L(2)	25	25.02	25.11	25.04	25.13	25.34	25.02	25.34	1	25.128	0.05687	
	a(2)	0	0.02	0.11	0.04	0.13	0.34	0.02	0.34		0.128		
	L(2)	25	24.96	25.05	24.98	24.75	24.52	24.52	25.05	2	24.852	0.09692	✓
	a(2)	0	-0.04	0.05	-0.02	-0.25	-0.48	-0.48	0.05		-0.148		
	L(2)	25	25.17	25.11	24.98	25.11	25.30	24.98	25.30	1	25.134	0.05183	
	a(2)	0	0.17	0.11	-0.02	0.11	0.30	-0.02	0.30		0.134		

Tabelul 7.14. Caracteristici nominale și efective ale dimensiunilor liniare
de la seriile de piese A2,5.m.2 (n = 5)

A2,5.m.2 (n = 5)	L($\bar{m}$), a($\bar{m}$)	L _N , a _N , mm	L _j , mm, a _j , mm, j = 1, n, n = 5					L _{jmin} , a _{jmin} , mm	L _{jmax} , a _{jmax} , mm	Clasa de precizie	$\bar{L}$, $\bar{a}$, mm	s/ $\sqrt{n}$, mm	t ≤ t _{cr}
A2,5.1.2 (n = 5)	L(1)	20	19.92	19.86	19.8	19.88	19.93	19.80	19.93	1	19.878	0.02332	
	a(1)	0	-0.08	-0.14	-0.20	-0.12	-0.07	-0.20	-0.07		-0.122		
	L(1)	30	30.27	30.31	30.42	30.3	30.3	30.27	30.42	1	30.320	0.02588	
	a(1)	0	0.27	0.31	0.42	0.30	0.30	0.27	0.42		0.320		
A2,5.2.2 (n = 5)	L(1)	20	19.99	19.95	19.88	19.98	19.95	19.88	19.99	1	19.950	0.01924	
	a(1)	0	-0.01	-0.05	-0.12	-0.02	-0.05	-0.12	-0.01		-0.050		
	L(1)	20	19.99	20.00	20.00	19.92	20.02	19.92	20.02	1	19.986	0.01720	✓
	a(1)	0	-0.01	0.00	0.00	-0.08	0.02	-0.08	0.02		-0.014		
	L(2)	40	40.33	40.29	40.36	40.36	40.25	40.25	40.36	1	40.318	0.02131	
	a(2)	0	0.33	0.29	0.36	0.36	0.25	0.25	0.36		0.318		
A2,5.4.2 (n = 5)	L(1)	25	24.82	24.79	24.88	24.92	24.9	24.79	24.92	1	24.862	0.02458	
	a(1)	0	-0.18	-0.21	-0.12	-0.08	-0.10	-0.21	-0.08		-0.138		
	L(1)	25	24.93	25.05	24.98	24.89	25.1	24.89	25.10	1	24.990	0.03834	✓
	a(1)	0	-0.07	0.05	-0.02	-0.11	0.10	-0.11	0.10		-0.010		
	L(2)	25	25.56	25.6	25.59	25.49	25.42	25.42	25.60	2	25.532	0.03397	
	a(2)	0	0.56	0.60	0.59	0.49	0.42	0.42	0.60		0.532		
	L(2)	25	24.87	24.92	24.88	25.09	25.1	24.87	25.10	1	24.972	0.05093	✓
	a(2)	0	-0.13	-0.08	-0.12	0.09	0.10	-0.13	0.10		-0.028		
	L(2)	25	24.85	24.81	24.88	24.88	24.92	24.81	24.92	1	24.868	0.01828	
	a(2)	0	-0.15	-0.19	-0.12	-0.12	-0.08	-0.19	-0.08		19.878		

Tabelul 7.15. Caracteristici nominale și efective ale dimensiunilor liniare
de la seriile de piese A3.m.1 (n = 5)

A3.m.1 (n = 5)	L($\dot{m}$), a($\dot{m}$)	L _N , a _N , mm	L _j , mm, a _j , mm, j = 1, n, n = 5					L _{jmin} , a _{jmin} , mm	L _{jmax} , a _{jmax} , mm	Clasa de precizie	$\bar{L}$, $\bar{a}$, mm	s/ $\sqrt{n}$, mm	t ≤ t _{cr}
A3.1.1 (n = 5)	L(1)	25	24.88	24.91	25.14	25.10	25.03	24.88	25.14	1	25.012	0.05113	✓
	a(1)	0	-0.12	-0.09	0.14	0.10	0.03	-0.12	0.14		0.012		
	L(1)	30	30.95	30.91	30.66	30.66	30.76	30.66	30.95	2	30.788	0.06111	
	a(1)	0	0.95	0.91	0.66	0.66	0.76	0.66	0.95		0.788		
A'3.2.1 (n = 5)	L(1)	25	25.07	25.02	25.02	25.01	24.85	24.85	25.07	1	24.994	0.03750	✓
	a(1)	0	0.07	0.02	0.02	0.01	-0.15	-0.15	0.07		-0.006		
	L(1)	25	24.98	24.88	24.96	24.96	24.93	24.88	24.98	1	24.942	0.01744	
	a(1)	0	-0.02	-0.12	-0.04	-0.04	-0.07	-0.12	-0.02		-0.058		
	L(2)	40	41.16	41.25	41.20	41.21	41.21	41.16	41.25	3	41.206	0.01435	
	a(2)	0	1.16	1.25	1.20	1.21	1.21	1.16	1.25		1.206		
A"3.2.1 (n = 5)	L(1)	25	24.94	25.03	25.07	25.03	24.64	24.64	25.07	1	24.942	0.07845	✓
	a(1)	0	-0.06	0.03	0.07	0.03	-0.36	-0.36	0.07		-0.058		
	L(1)	25	24.97	24.87	25.00	25.04	25.19	24.87	25.19	1	25.014	0.05221	✓
	a(1)	0	-0.03	-0.13	0.00	0.04	0.19	-0.13	0.19		0.014		
	L(2)	40	41.92	41.49	41.69	41.57	41.54	41.49	41.92	3	41.642	0.07690	
	a(2)	0	1.92	1.49	1.69	1.57	1.54	1.49	1.92		1.642		

Tabelul 7.16. Caracteristici nominale și efective ale dimensiunilor liniare
de la seriile de piese A3.m.2 (n = 5)

A3.m.2 (n = 5)	L($\dot{m}$), a($\dot{m}$)	L _N , a _N , mm	L _j , mm, a _j , mm, j = 1, n, n = 5					L _{jmin} , a _{jmin} , mm	L _{jmax} , a _{jmax} , mm	Clasa de precizie	$\bar{L}$, $\bar{a}$, mm	s/ $\sqrt{n}$, mm	t ≤ t _{cr}
A3.1.2 (n = 5)	L(1)	25	25.05	25.06	25.06	25.05	25.08	25.05	25.08	1	25.060	0.00548	
	a(1)	0	0.05	0.06	0.06	0.05	0.08	0.05	0.08		0.060		
	L(1)	30	30.60	30.57	30.52	30.45	30.39	30.39	30.60	1	30.506	0.03855	
	a(1)	0	0.60	0.57	0.52	0.45	0.39	0.39	0.60		0.506		
A'3.2.2 (n = 5)	L(1)	25	24.89	24.78	24.91	24.89	24.96	24.78	24.96	1	24.886	0.02943	
	a(1)	0	-0.11	-0.22	-0.09	-0.11	-0.04	-0.22	-0.04		-0.114		
	L(1)	25	24.94	24.89	24.94	24.85	24.99	24.85	24.99	1	24.922	0.02396	
	a(1)	0	-0.06	-0.11	-0.06	-0.15	-0.01	-0.15	-0.01		-0.078		
	L(2)	40	40.75	40.89	40.78	40.96	40.80	40.75	40.96	2	40.836	0.03881	
	a(2)	0	0.75	0.89	0.78	0.96	0.80	0.75	0.96		0.836		
A"3.2.2 (n = 5)	L(1)	25	25.01	24.96	24.82	25.07	25.02	24.82	25.07	1	24.976	0.04273	✓
	a(1)	0	0.01	-0.04	-0.18	0.07	0.02	-0.18	0.07		-0.024		
	L(1)	25	25.00	25.02	25.00	25.05	25.07	25.00	25.07	1	25.028	0.01393	✓
	a(1)	0	0.00	0.02	0.00	0.05	0.07	0.00	0.07		0.028		
	L(2)	40	41.15	41.01	40.83	41.17	41.21	40.83	41.21	3	41.074	0.06969	
	a(2)	0	1.15	1.01	0.83	1.17	1.21	0.83	1.21		1.074		

d. Rezultate privind caracteristicile efective ale razelor de racordare din cadrul seriilor de
piese Ag.m.2 (n = 5)

Razele de racordare r_k s-au verificat - la unele piese efective, arbitrar alese, din fiecare serie Ag.m.2 (n = 5), m = 1, 2 sau 4 (v. și § 7.3 - b) - prin măsurare, la un profilometru de tip Contour Projector XL 827, cu mărire X 31,25 și rezoluția de 0,001 mm (v. Fig. 7.6) [D04] sau/și cu lere specifice din seturi de valori nominale ..., 0,9, 1, 1,1, ..., 2,9, 3, 3,5, ... mm, cu mențiunea că, în fiecare caz, s-a reținut valoarea cea mai depărtată de valoarea nominală, după caz.

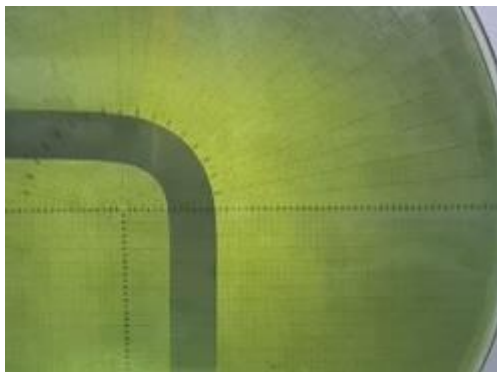


Fig. 7.6. Imagine/ captură de ecran în procesul de măsurare
a razei de racordare la profilometru [D04]

Caracteristicile geometrice nominale (de referință), caracteristicile geometrice efective, precum și elemente de evaluare a preciziei care sunt asociate razelor de racordare din cadrul seriilor de piese Ag.m.2 (n = 5), determinate în raport cu cele de mai sus, sunt prezentate în Tabelele 7.17 – 7.21.

Tabelul 7.17. Caracteristici nominale și efective ale razelor de racordare
din cadrul seriilor de piese A1.m.2 (n = 5)

A1.m.2 (n = 5)	$r, a',$ mm	$r_N, a'_N,$ mm	$r_k, \text{ mm},$ $a'_k, \text{ mm},$ $k = \overline{1, m}, m = 1, 2, 4$				Clasa de precizie	$\bar{r}, \bar{a'},$ mm	$s/\sqrt{m},$ mm	$t \leq t_{cr}$
A1.1.2 (n = 5)	r	1	1.1				1	1,1	-	-
	a'	0	0,1					0,1		
A1.2.2 (n = 5)	r	1	1.1	1.05			1	1.075	0.02500	✓
	a'	0	0,1	0,05				0,075		
A1.4.2 (n = 5)	r	1	1.1	1	1	1.1	1	1,05	0.02887	✓
	a'	0	0,1	0	0	0,1		0,05		

Tabelul 7.18. Caracteristici nominale și efective ale razelor de racordare
din cadrul seriilor de piese A1,5.m.2 (n = 5)

A1,5.m.2 (n = 5)	$r, a',$ mm	$r_N, a'_N,$ mm	$r_k, \text{ mm},$ $a'_k, \text{ mm},$ $k = \overline{1, m}, m = 1, 2, 2$			Clasa de precizie	$\bar{r}, \bar{a'},$ mm	$s/\sqrt{m},$ mm	$t \leq t_{cr}$
A1.5.1.2 (n = 5)	r	1.5	1.64			1	1.64	-	-
	a'	0	0.14				0.14		
A'1,5.2.2 (n = 5)	r	1.5	1.61	1.64		1	1.625	0.0115	
	a'	0	0.11	0.14			0.125		
A''1,5.2.2 (n = 5)	r	1.5	1.6	1.62		1	1.61	0.0100	
	a'	0	0,1	0.12			0,11		

Tabelul 7.19. Caracteristici nominale și efective ale razelor de racordare
din cadrul seriilor de piese A2.m.2 (n = 5)

A2.m.2 (n = 5)	r_N , a'_N , mm	r_k , mm, a'_k , mm, $k = \overline{1, m}$, $m = 1, 2, 4$				Clasa de precizie	$\bar{r}$, $\bar{a}'$, mm	$s/\sqrt{m}$, mm	$t \leq t_{cr}$
A2.1.2 (n = 5)	2	1.66				1	1.66	-	-
	0	0.34					0.34		
A2.2.2 (n = 5)	2	2.05	2.05			1	2.05		
	0	0.05	0.05				0.05		
A2.4.2 (n = 5)	2	1.62	1.6	1.6	1.64	1	1.615	0.00957	
	0	-0.38	-0.40	-0.40	-0.36		-0.385		

Tabelul 7.20. Caracteristici nominale și efective ale razelor de racordare
din cadrul seriilor de piese A2,5.m.2 (n = 5)

A2,5.m.2 (n = 5)	r_N , a'_N , mm	r_k , mm, a'_k , mm, $k = \overline{1, m}$, $m = 1, 2, 4$				Clasa de precizie	$\bar{r}$, $\bar{a}'$, mm	$s/\sqrt{m}$, mm	$t \leq t_{cr}$
A2,5.1.2 (n = 5)	2.5	2.25				1	2.25	-	-
	0	-0.25					-0.25		
A2,5.2.2 (n = 5)	2.5	2.2	2.2			1	2.2		
	0	-0.3	-0.3				-0.3		
A2,5.4.2 (n = 5)	2.5	2.2	2.25	2.25	2.2	1	2.225	0.01443	
	0	-0.30	-0.25	-0.25	-0.30		-0.275		

Tabelul 7.21. Caracteristici nominale și efective ale razelor de racordare
din cadrul seriilor de piese A3.m.2 (n = 5)

A3.m.2 (n = 5)	r_N , a'_N , mm	r_k , mm, a'_k , mm, $k = \overline{1, m}$, $m = 1, 2, 2$		Clasa de precizie	$\bar{r}$, $\bar{a}'$, mm	$s/\sqrt{m}$, mm	$t \leq t_{cr}$
A3.1.2 (n = 5)	3	2.45		1	2.45	-	-
	0	-0.55			-0.55		
A'3.2.2 (n = 5)	3	2.50	2.50	1	2.50		
	0	-0.50	-0.50		-0.50		
A''3.2.2 (n = 5)	3	2.40	2.40	1	2.40		
	0	-0.60	-0.60		-0.60		

e. Analiză privind rezultatele evaluării preciziei efective a dimensiunilor liniare și a unor raze de racordare din structura pieselor componente ale grupurilor obiectiv

În raport cu elementele dezvoltate în programul de cercetare teoretico – experimentală privind precizia efectivă a unor caracteristici asociate seriilor de piese Ag.m.v ($n = 5$), inclusiv, Ag.m.2 ($n = 5$), după cum se prezintă în § a, b, c, se evidențiază cele ce urmează (v. și Anexa nr. 4).

(1) Evaluarea condiției privind precizia efectivă a dimensiunilor liniare L și a razelor de racordare r

Evaluarea condiției privind precizia efectivă a dimensiunilor liniare L și a razelor de racordare r în raport cu prevederile standard în vigoare (v. Tabelul 7.2), respectiv, evaluarea condițiilor (7.5) și (7.6) privind valorile dimensiunilor efective L_j și, respectiv, r_k arată următoarele:

- la seriile de piese Ag.m.v ($n = 5$) (v. Tabelele 7.7 – 7.16), dimensiunile liniare L efective au fost realizate în clasa de precizie 1, 2 sau 3, după caz;
- la piesele considerate din seriile Ag.m.2 ($n = 5$) (v. Tabelele 7.17 – 7.21), razele de racordare r efective au fost realizate în clasa 1 de precizie.

Datorită relațiilor de legătură (7.3), (7.4), (7.5), abaterile efective a_j și a'_k se pot considera, implicit, în clasa de precizie a dimensiunii liniare și, respectiv, razei de racordare corespondente.

(2) Evaluarea condiției privind precizia de repetabilitate a dimensiunilor liniare L și a unor raze de racordare r în cadrul testului t Student

Evaluarea condiției privind precizia de repetabilitate a dimensiunilor liniare L , a razelor de racordare r și, implicit, a abaterilor corespondente a , a' , în cadrul testului statistic t Student, respectiv, evaluarea condiției (7.9), evidențiază următoarele:

- condiția (7.9) privind dimensiunile liniare L este satisfăcută ($\checkmark$) (v. Tabelele 7.7 – 7.16) în cadrul unor serii de piese efective Ag.m.v ($n = 5$), astfel încât, în aceste cazuri, dimensiunile liniare L și, implicit, abaterile corespondente a se caracterizează printr-o precizie efectivă de repetabilitate acceptabilă;
- condiția (7.9) privind razele de racordare r este satisfăcută ($\checkmark$) (v. Tabel 7.17) la piesele efective evaluate dintre cele ale seriilor A1.m.2 ($n = 5$), astfel încât, în aceste cazuri, razele de racordare r și, implicit, abaterile corespondente a' se caracterizează printr-o precizie efectivă de repetabilitate acceptabilă;
- în cadrul seriilor de piese efective Ag.m.v ($n = 5$) la care condiția (7.9) privind o dimensiune liniară L nu este satisfăcută (v. Tabelele 7.7 – 7.16), se consideră că principala cauză este eroarea de reglare a sistemului tehnologic (STI) în raport cu valoarea nominală L_N corespondentă, la faza(ele) de îndoire prin care se realizează dimensiunea L , în cadrul operației tehnologice Îndoire (v. § 7.2.1);

• în cadrul seriilor de piese efective Ag.m.v ($n = 5$) la care condiția (7.9) privind o rază de racordare r nu este satisfăcută (v. Tabel 7.18 – 7.21), se consideră că principala cauză este eroarea de reglare a sistemului tehnologic (STI) în raport cu valoarea nominală r_N corespundătoare, la faza de îndoire prin care se realizează raza de racordare r , în cadrul operației tehnologice Îndoire (v. § 7.2.1).

Astfel, în cadrul operației tehnologice Îndoire (v. § 7.2), este necesar ca la reglarea sistemului tehnologic, în raport cu valorile nominale Y_N , să se asigure că, la fiecare Y_N , abaterea $|\bar{Y} - Y_N|$ și mărimea $s/\sqrt{n}$ sau $s/\sqrt{m}$ corespundătoare sunt de valori apropiate, iar valoarea efectivă a parametrului t satisface condiția specifică (7.9), unde $Y = L$ sau, respectiv, r , după caz.

Exemplificare

Se exemplifică elemente ale analizei preciziei de repetabilitate privind dimensiuni liniare L în cadrul seriilor de piese efective A1.1.1 ($n = 5$), A1.1.2 ($n = 5$) și A2,5.4.1 ($n = 5$), precum și raza(ele) de racordare r în cadrul piesei efective evaluate din seria A1.1.2 ($n = 5$), A1.2.2 ($n = 5$), A1.4.2 ($n = 5$), A2,5.1.2, A2,5.2.2, respectiv, A2,5.4.2, după cum urmează.

La seria de piese efective A1.1.1 ($n = 5$) (v. Tabel 7.7, Fig. 7.7):

• la dimensiunea liniară $L_{12,5}$: $|\bar{L} - L_N| = 0,036$ mm și $s/\sqrt{n} = 0,04057$ mm, astfel încât $t = 0,396$, respectiv, $|\bar{L} - L_N|$ și $s/\sqrt{n}$ sunt de valori apropiate, iar $t < t_{cr} = 2,132$ (✓);

• la dimensiunea liniară L_{25} : $|\bar{L} - L_N| = 0,376$ mm și $s/\sqrt{n} = 0,03842$ mm, astfel încât $t = 9,786$, respectiv, $|\bar{L} - L_N|$ și $s/\sqrt{n}$ nu sunt de valori apropiate, iar $t > t_{cr} = 2,132$.

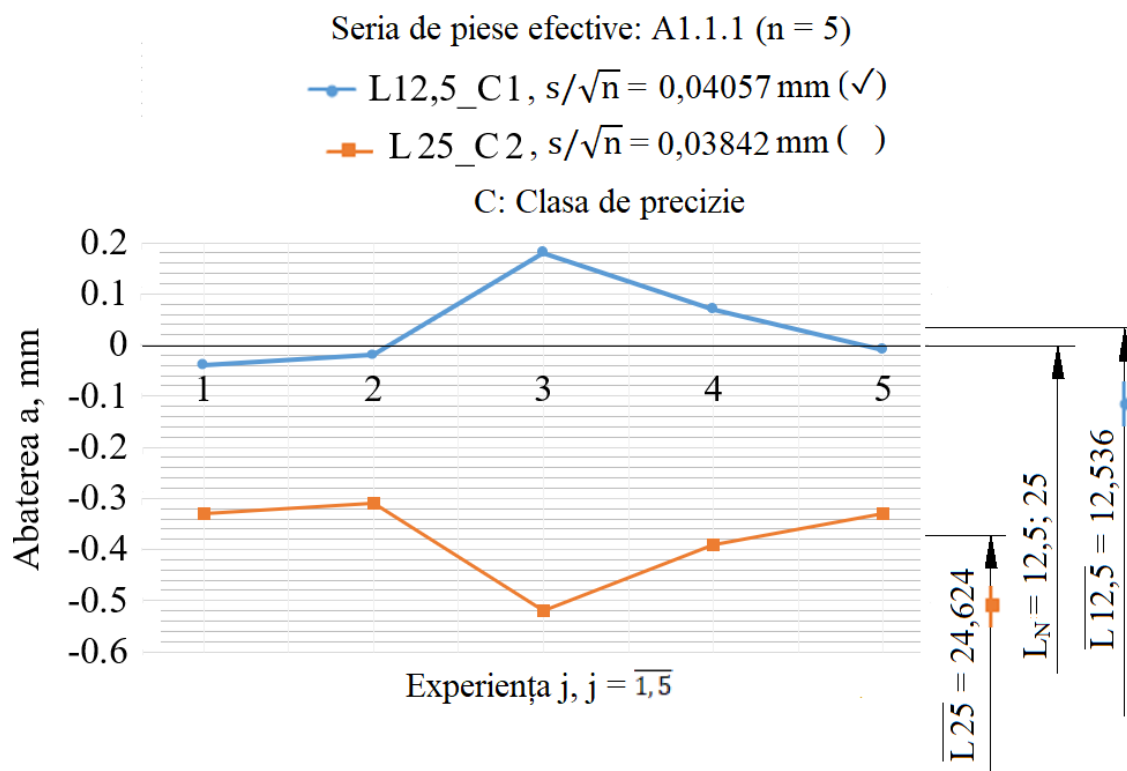


Fig. 7.7. Elemente ale analizei preciziei de repetabilitate a dimensiunilor liniare $L_{12,5}$ și L_{25} la seria de piese efective A1.1.1 ($n = 5$)

În cadrul seriei de piese efective A1.1.2 ($n = 5$) (v. Tabel 7.8, Fig. 7.8):

- la dimensiunea liniară L 12.5: $|\bar{L} - L_N| = 0,018 \text{ mm}$ și $s/\sqrt{n} = 0,00860 \text{ mm}$ ($\checkmark$), astfel încât $t = 2,092$, respectiv, $|\bar{L} - L_N|$ și $s/\sqrt{n}$ sunt de valori apropiate, iar $t < t_{cr} = 2,132$ ($\checkmark$);

- la dimensiunea liniară prescrisă L 25: $|\bar{L} - L_N| = 0,094 \text{ mm}$ și $s/\sqrt{n} = 0,00678 \text{ mm}$, astfel încât $t = 13,859$, respectiv, $|\bar{L} - L_N|$ și $s/\sqrt{n}$ nu sunt de valori apropiate, iar $t = 13,859$, $t > t_{cr} = 2,132$.

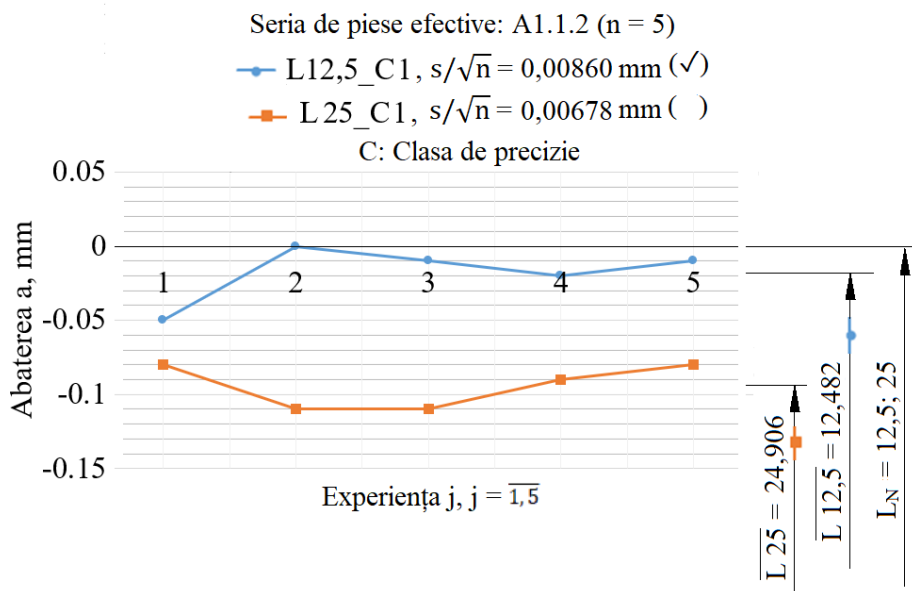


Fig. 7.8. Elemente ale analizei preciziei de repetabilitate a dimensiunilor liniare L 12,5 și L 25 la seria de piese efective A1.1.2 ($n = 5$)

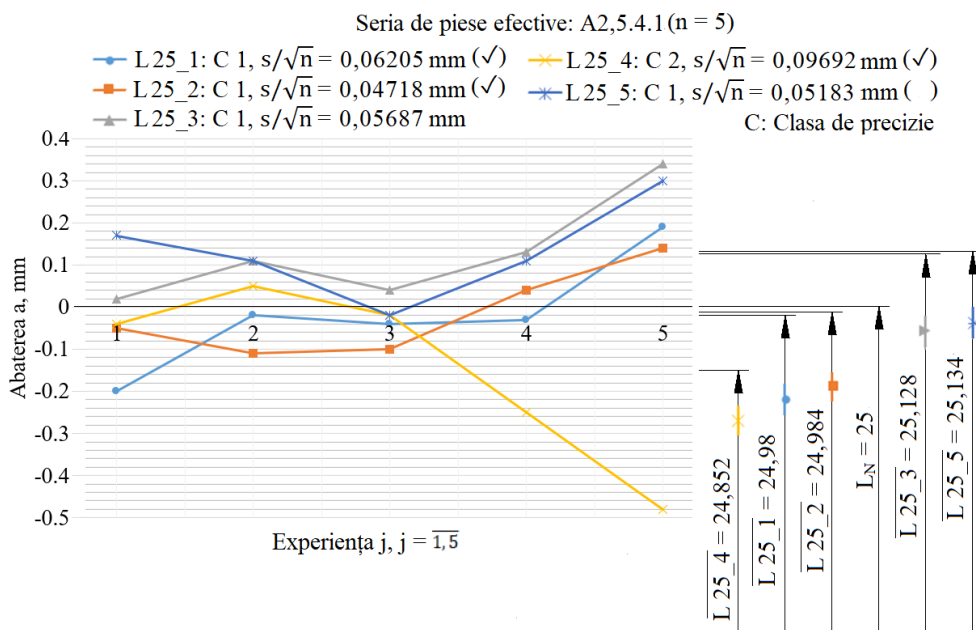


Fig. 7.9. Elemente ale analizei preciziei de repetabilitate a dimensiunilor liniare L 25_1, L 25_2, L 25_3, L 25_4 și L 25_5 la seria de piese efective A2,5.4.1 ($n = 5$)

În cadrul seriei de piese efective A2,5.4.1 ($n = 5$) (v. Tabel 7.13, Fig. 7.9): la trei dintre dimensiunile liniare L 25, $|\bar{L} - L_N|$ și $s/\sqrt{n}$ sunt de valori apropiate, astfel încât $t < t_{cr}$ ($\checkmark$); la două dintre dimensiunile liniare L 25, $|\bar{L} - L_N|$ și $s/\sqrt{n}$ nu sunt de valori apropiate, respectiv, $t > t_{cr}$.

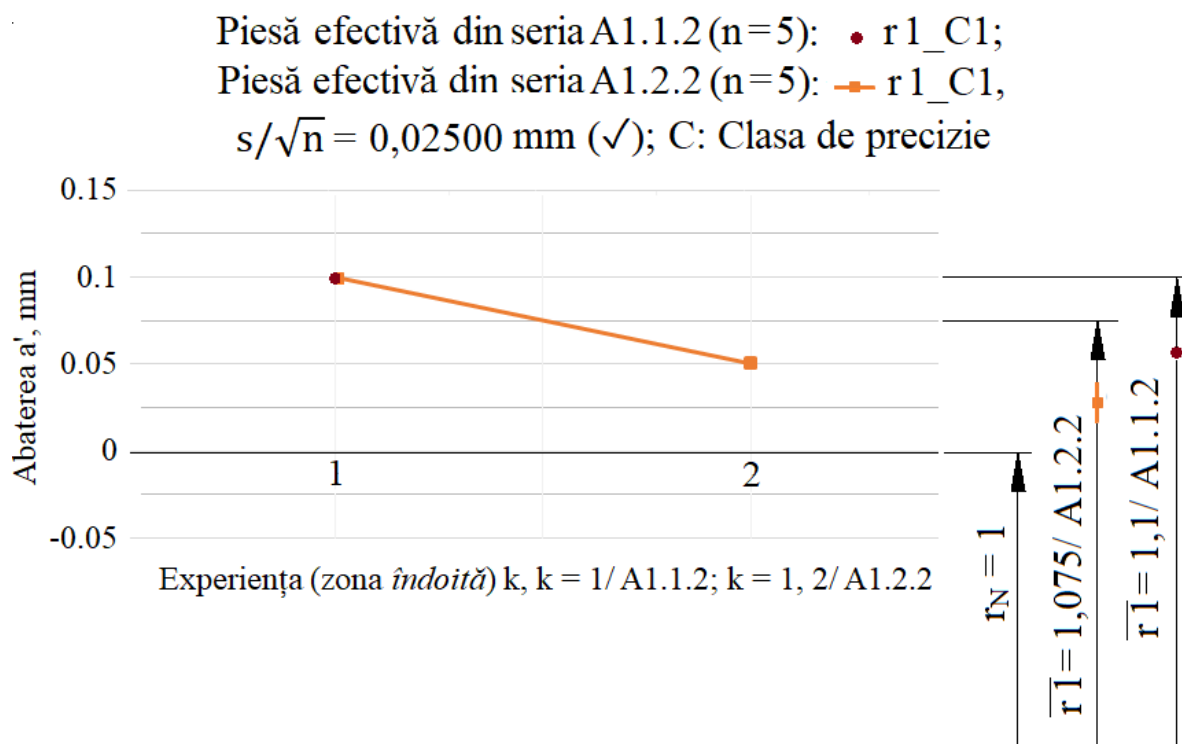


Fig. 7.10. Elemente ale analizei preciziei de repetabilitate a razei de racordare, $r1$, la o piesă efectivă din seriile A1.1.2 ($n = 5$), respectiv, A1.2.2 ($n = 5$)

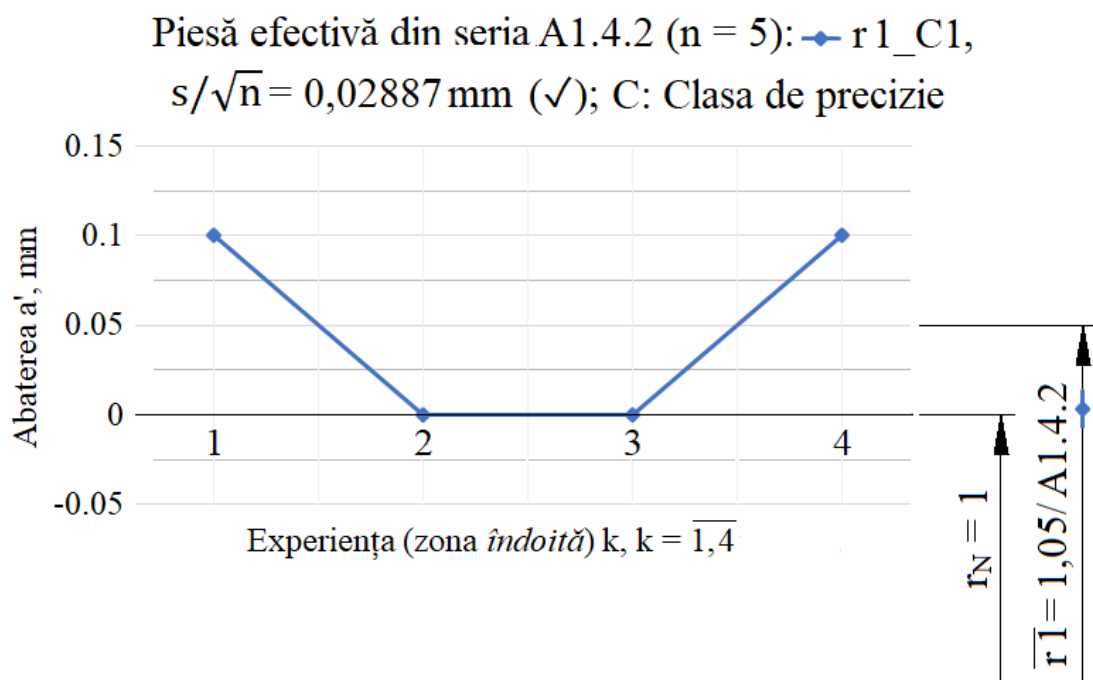


Fig. 7.11. Elemente ale analizei preciziei de repetabilitate a razei de racordare, $r1$, la o piesă efectivă din seria A1.4.2 ($n = 5$)

La raza de racordare, $r1$, a piesei efective analizate din seria A1.2.2 ($n = 5$) (v. Tabel 7.17, Fig. 7.10): $|\bar{r} - r_N|$ și $s/\sqrt{n}$ sunt de valori astfel încât $t < t_{cr}$ ($\checkmark$). Analog, la raza de racordare, $r1$, a piesei efective analizate din seria A1.4.2 ($n = 5$) (v. Tabel 7.17, Fig. 7.11): $|\bar{r} - r_N|$ și $s/\sqrt{n}$ sunt de valori astfel încât $t < t_{cr}$ ($\checkmark$).

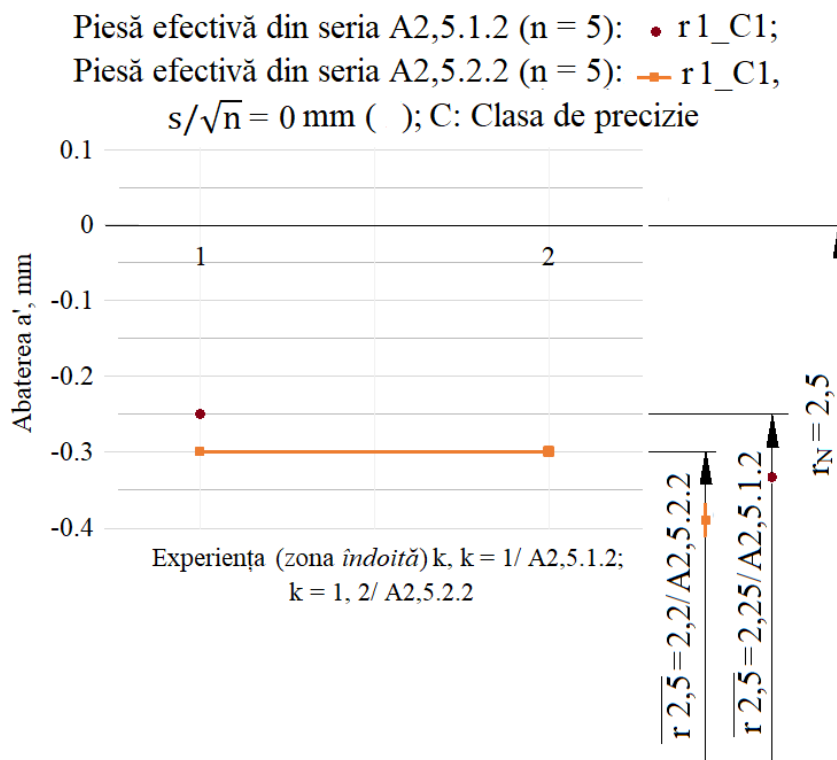


Fig. 7.12. Elemente ale analizei preciziei de repetabilitate a razei de racordare, $r_{2,5}$, la o piesă efectivă din seria A2,5.1.2 ($n = 5$), respectiv, A2,5.2.2 ($n = 5$)

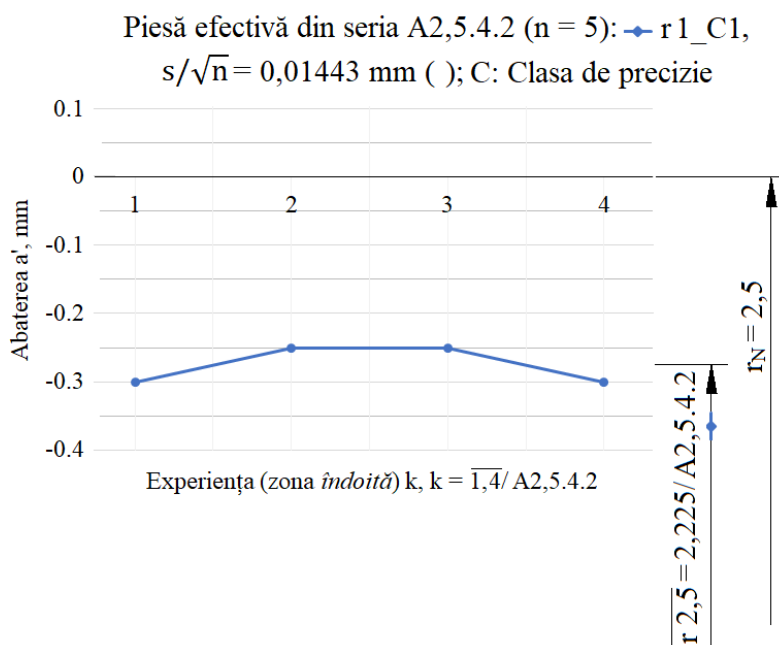


Fig. 7.13. Elemente ale analizei preciziei de repetabilitate a a razei de racordare, $r_{2,5}$, la o piesă efectivă din seria A2,5.4.2 ($n = 5$)

La raza de racordare, $r_{2,5}$, a piesei efective analizate din seria A2,5.2.2 ($n = 5$) (v. Tabel 7.20, Fig. 7.12): $|\bar{r} - r_N|$ și $s/\sqrt{n}$ sunt de valori astfel încât $t > t_{cr}$. Analog, la raza de racordare, $r_{2,5}$, a piesei efective analizate din seria A2,5.4.2 ($n = 5$) (v. Tabel 7.20, Fig. 7.13).

Capitolul 8. Concluzii finale și contribuții principale la modelarea și evaluarea preciziei unor grupuri de produse prelucrate prin deformare plastică la rece în sisteme industriale

(1) Din analiza stadiului actual al cercetării – dezvoltării unor elemente privind calitatea produselor și prelucrările prin îndoire la rece, s-au desprins concluzii importante, care sunt prezentate în capitolul 3.

(2) Având în vedere datele și concluziile din analiza stadiului actual privind calitatea produselor și prelucrările prin îndoire la rece, s-au considerat a fi de perspectivă direcțiile de cercetare-dezvoltare după cum se prezintă în § 4.1.

(3) În raport cu stadiul actual și direcțiile de cercetare-dezvoltare privind calitatea produselor și prelucrările prin îndoire la rece, s-a determinat ca obiectiv principal al activității doctorale avansate de cercetare-dezvoltare (v. și § 4.2): **modelarea și evaluarea preciziei unor grupuri de produse prelucrate prin deformare plastică la rece în sisteme industriale.**

(4) Concluziile relevante privind activitatea de cercetare și dezvoltare de doctorat pentru atingerea obiectivului său principal, în raport și cu elementele de referință metodologice (v. § 4.3), sunt după cum urmează.

- Lungimea desfășuratei/ fibrei neutre a unei piese îndoită s-a definit prin considerarea cazului general al succesiunii componentelor acesteia - segmente de dreaptă și arce de cerc (v. § 5.1).

- Grupurile de piese obiectiv Ag sau, echivalent, Ag.m.v se constituie și, respectiv, se codifică în funcție de grosimea, g, comună a pieselor din grup, numărul de îndoiri elementare, m, ale piesei din grup și numărul variantei experimentale, v, din grup, unde v se referă la faptul că programul de cercetare experimentală s-a desfășurat la o companie industrială (v: 1) și, apoi, la o a doua companie industrială (v: 2), respectiv, în sisteme tehnologice relativ diferite [v. § 5.2 – (1)].

- Piesele din grupurile obiectiv s-au selectat dintre produse industriale. Materialul prescris tuturor pieselor din grupurile obiectiv este de tip oțel nealiat, cu un conținut scăzut de carbon (0,12%), corespunzător calității DC01 EN 10130:2007. Referitor la caracteristicile geometrice prescrise pieselor obiectiv, se evidențiază următoarele: în cadrul unui grup Ag, grosimea pieselor este aceeași, respectiv, de 1, 1.5, 2, 2.5 sau 3 mm; la zonele de racordare/îndoire, razele interioare sunt egale cu grosimea, iar unghiul la centru este de 90°; dimensiunile liniare de tip lungime sunt de valori 10, 12.5, ..., 55 mm, după caz; lățimea piesei, b, este de valori 50, 70, 75 sau 95 mm, după caz; precizia dimensională și rugozitatea suprafeței sunt în conformitate cu prevederile standard în vigoare; coeficientul de determinare a poziției fibrei neutre în raport cu fibra interioară este $x = 0,45$ [v. § 5.2 – (2)].

- Prin particularizări în relația de calcul generală, s-a determinat expresia lungimii desfășuratei/ fibrei neutre corespunzătoare pieselor din grupurile obiectiv [v. § 5.2 – (3)].

- Pentru fabricarea pieselor din grupurile obiectiv, se consideră semifabricate primare de tip tablă plată laminată la rece, decapată, din materialul DC01 (1.0330), de grosime g [v. § 5.2 – (4)].

○ Pentru fiecare piesă din grupurile obiectiv, se consideră un *semifabricat* de grosime și lățime egale cu cele prescrise piesei, precum și de lungime L_s – care urmează a se determina [v. § 5.2 – (4)].

○ S-au evidențiat elemente ale sistemelor tehnologice de prelucrare și mijloace de control privind semifabricatele și, respectiv, piesele din grupurile obiectiv [v. § 5.2 – (4)].

○ S-a determinat modelul analitic al lungimii teoretice, L_t , a desfășuratei/ fibrei neutre a unei piese din grupurile obiectiv, prin considerarea valorilor nominale ale mărimilor de calcul [v. § 5.3 – (1)].

○ S-a dezvoltat o metodologie de determinare a lungimii, L_s , a semifabricatului asociat unei piese din grupurile obiectiv, precum și a abaterii tehnologice corespunzătoare, ΔL , pe baza rezultatelor prelucrării, prin tăiere și îndoire, a unor semifabricate – test, astfel încât piesele produse să satisfacă condițiile de conformitate [v. § 5.3 – (2)].

○ S-au prezentat etapele de lucru principale privind proiectarea asistată a pieselor din grupurile obiectiv, a semifabricatelor și a unor elemente tehnologice asociate (v. § 5.4).

○ Pentru calculul lungimii teoretice, L_t , a desfășuratei/ fibrei neutre a pieselor din grupurile obiectiv, s-au definit câte trei piese diferite pentru aceeași grosime de material, respectiv, în total, 15 piese reprezentative ca tipo-dimensiuni, la care s-au prezentat codurile, caracteristicile geometrice prescrise și alte elemente relevante (v. § 6.1).

○ S-au calculat și prezentat lungimile teoretice, L_t , ale desfășuratelor celor 15 piese reprezentative din grupurile obiectiv (v. § 6.1).

○ În cadrul programului de cercetări teoretico - experimentale, procesul tehnologic de prelucrare prin deformare plastică la rece a pieselor, din grupurile obiectiv, s-a structurat pe baza principiului concentrării operațiilor, care implică cheltuieli de cercetare minime, prin utilizarea de resurse specifice – semifabricate primare, mașini/ centre cu comandă numerică, scule de prelucrare, mijloace de control etc. – existente în companiile industriale (v: 1, 2), astfel încât include operațiile tehnologice principale: Selectare/ Debitare, Perforare – decupare și, respectiv, Îndoire [v. § 6.2 – (1)].

○ S-au identificat semifabricate primare de dimensiuni $g \times B^* \times L^*$, respectiv, formate de tablă laminată la rece, decapată, de dimensiuni care îndeplinesc condițiile dimensionale și de calitate generale în cadrul companiilor industriale considerate [v. § 6.2 – (2)].

○ Elementele fizice care rezultă în operația tehnologică Debitare se consideră a fi semifabricate intermediare $g \times B_0 \times L_0$, iar cele care rezultă în operația tehnologică Perforare - decupare - *semifabricate* $g \times b \times L_s$ [v. § 6.2 – (4), (3)].

○ Se evaluează numărul necesar de *semifabricate* $g \times b \times L_s$ pentru experiențe – test și experiențe principale [v. § 6.2 – (3)].

○ Se dezvoltă și se prezintă condiții analitice, precum și elemente privind configurarea semifabricatelor intermediare $g \times B_0 \times L_0$, în funcție de numărul necesar de *semifabricate* $g \times b \times L_s$ pentru experiențe – test și experiențe principale [v. § 6.2 – (4)].

○ În cadrul cercetărilor experimentale privind realizarea semifabricatelor necesare, operația tehnologică Debitare, care cuprinde separarea, prin retezare, din formate de tablă primare $g \times B^* \times L^*$, a semifabricatelor intermediare $g \times B_0 \times L_0$, s-a executat într-un sistem tehnologic care a inclus o Foarfecă ghilotină hidraulică CNC HVR 3100 x 10 [v. § 5.2 - (4)] și program CNC de operare.

Operația tehnologică Perforare – decupare cuprinde prelucrări, prin perforare, ale alezajelor de diametre prescrise $\varnothing 5,4$ sau $\varnothing 7$, în număr de 2, 3, ..., 15, după caz, din structura semifabricatelor/ pieselor obiectiv, precum și prelucrări, prin decupare, ale suprafețelor plane laterale ale semifabricatelor, respectiv, de separare, din semifabricate $g \times B_0 \times L_0$, a *semifabricatelor* $g \times b \times L_s$.

Operația tehnologică Perforare – decupare s-a executat într-un sistem tehnologic, care a inclus: o Mașină de ștanțat Trumpf TC 200R sau o Mașină de ștanțat tip Boschert sau un Centru de ștanțare CNC TruPunch 3000R; scule de tip poanson - placă activă cu profil circular de tăiere, pentru prelucrările prin perforare; scule de tip poanson - placă activă, cu profil rectangular de tăiere pentru prelucrările prin decupare; program CNC de operare (v. § 6.3).

- Corespunzător fiecărui grup de piese obiectiv Ag, se prezintă o serie de elemente tehnologice specifice privind semifabricatele: codificare, dimensiuni, număr și o secvență din programul CNC de operare tehnologică [v. § 6.3 - (a), (b) - (e)].

- În cadrul cercetărilor teoretico – experimentale pentru determinarea lungimii L_s și a abaterii tehnologice ΔL asociate *semifabricatelor* $g \times b \times L_s$, s-au efectuat experiențele - test necesare. Rezultatele, respectiv, valorile efective ale lungimii L_s și abaterii ΔL se prezintă pentru fiecare piesă din grupul obiectiv Ag.m.v (v. § 6.4).

- În cadrul cercetărilor teoretico - experimentale privind evaluarea preciziei unor caracteristici efective ale semifabricatelor, în legătură cu fiecare piesă obiectiv Ag.m.v: pentru lungimea și abaterea tehnologică asociate *semifabricatelor* $g \times b \times L_s$, se consideră a fi lungime de referință și, corespunzător, abatere de referință, valoarea efectivă a lungimii L_s și valoarea efectivă a abaterii tehnologice ΔL după cum s-au determinat anterior, iar pentru lungimea semifabricatului L_s sunt caracteristici de referință și abaterile limită în conformitate cu prevederile standard în vigoare sau valorile limită corespundente; s-au efectuat experiențe principale, respectiv, s-au realizat, în aceleași condiții, n' *semifabricate* $g \times b \times L_s$ (v. § 6.5 - a, b).

- Dintre cele n' *semifabricate* $g \times b \times L_s$ realizate, se selectează o *serie de* $n = 5$ *semifabricate*, Sg.m.v ($n = 5$), la care dimensiunile efective sunt cele mai apropiate de lungimea de referință sau, echivalent, de lungimea teoretică a desfășuratei piesei. Precizia lungimii semifabricatului L_s și, implicit, a abaterii ΔL , în cadrul seriei Sg.m.v ($n = 5$), s-a evaluat prin verificarea condiției privind precizia efectivă în raport cu prevederile standard, precum și prin verificarea preciziei de repetabilitate în cadrul testului t Student - care se poate aplica la seriile/ sondajele de volum redus. Caracteristicile de referință și caracteristicile efective considerate, inclusiv elementele de evaluare a preciziei, sunt prezentate sintetic pentru fiecare serie de semifabricate Sg.m.v ($n = 5$) - corespunzătoare piesei obiectiv Ag.m.v (v. § 6.5 – c, d).

- La toate seriile de semifabricate Sg.m.v ($n = 5$) pentru piesele din grupurile obiectiv Ag.m.v, evaluarea condiției privind precizia efectivă a lungimii semifabricatului L_s în raport cu lungimea de referință și cu prevederile standard în vigoare, arată că lungimea semifabricatului L_s efectivă a fost realizată în clasa 1 de precizie. Datorită relațiilor de legătură cu dimensiunea L_s , abaterea ΔL efectivă și abaterea a_s efectivă sunt, implicit, în clasa 1 de precizie (v. § 6.5 – e).

- Evaluarea condiției privind precizia de repetabilitate a lungimii semifabricatului L_s și, implicit, a abaterii ΔL , precum și a abaterii a_s , în cadrul testului statistic t Student, arată că, la majoritatea seriilor de semifabricate Sg.m.v ($n = 5$) pentru piesele corespundente din grupurile obiectiv Ag.m.v, condiția este satisfăcută ($\checkmark$), astfel încât L_s și, implicit, abaterea ΔL , precum și abaterea a_s se caracterizează printr-o precizie de repetabilitate acceptabilă (v. § 6.5 – e).

- Se exemplifică elemente ale analizei preciziei de repetabilitate privind lungimea semifabricatului în cadrul seriilor de semifabricate S1.1.1 ($n = 5$) și S1.1.2 ($n = 5$) (v. § 6.5, e).

- Pe baza rezultatelor obținute în cadrul experiențelor principale, s-a studiat posibilitatea de a determina relații/ funcții de dependență dintre caracteristici ale semifabricatelor, ca funcții de regresie, pentru grupurile de piese obiectiv Ag.m.v. Analiza realizată, cu evidențierea condițiilor de definire, precum și cu prezentarea analitică și grafică a rezultatelor principale, arată că funcțiile de regresie de tip *putere* determinate sunt adecvate pentru a exprima relațiile de dependență dintre lungimea și grosimea semifabricatului. Se sintetizează elementele principale referitoare la aplicarea industrială a funcțiilor de regresie determinate (v. § 6.5 - f).

○ În structura pieselor obiectiv din grupurile Ag.m.v, dimensiunile liniare, L , și razele de racordare interioare, r , reprezintă caracteristici geometrice reprezentative în ceea ce privește evaluarea preciziei efective, ca urmare a influenței efective asupra acestora a unor elemente de orientare – fixare, de reglare, active etc. ale sistemelor tehnologice în timpul operațiilor specifice de prelucrare prin deformare plastică la rece (v. § 7.1).

○ Se sintetizează elementele principale privind valorile nominale ale dimensiunilor liniare L și ale razelor de racordare r , precum și abaterile limită corespondente prescrise pieselor din grupurile Ag.m.v. Se subliniază că, în structura unei piese obiectiv, Ag.m.v: dimensiunile liniare L sunt de valori nominale, L_N , identice sau diferite, iar numărul lor total este $m+1$; razele de racordare r sunt de valori nominale, r_N , identice, iar numărul lor total este m (v. § 7.1).

○ În cadrul cercetărilor experimentale privind realizarea pieselor din grupurile obiectiv, operația tehnologică Îndoire cuprinde prelucrări, de tip îndoire la rece, prin care semifabricatele $g \times b \times L_s$ sunt transformate în piese finite Ag.m.v. Operația s-a executat în sisteme tehnologice din două companii industriale (v: 1, 2), care includ, după caz, o Presă hidraulică de îndoire CNC G Bend sau Presă hidraulică de îndoire CNC ERM 30135; elemente de orientare, elemente active etc. și program CNC de operare, unde elementele active, de tip poanson și placă activă cu profil unghiular racordat, s-au selectat având în vedere caracteristicile piesei - material, formă, grosime, raza de racordare interioară, dimensiuni liniare, schema de îndoire -, respectiv, forța de îndoire, precum și caracteristicile sculelor disponibile tehnico – economic (v. § 7.2.1).

○ Se realizează o configurare generală a elementelor active – poanson și placă activă, din structura sistemelor tehnologice de prelucrare prin îndoire la rece a pieselor din grupurile obiectiv Ag.m.v, cu privire la codificare, materialul constitutiv, caracteristici geometrice definitorii, forța de îndoire admisibilă (v. § 7.2.1).

○ În legătură cu fiecare piesă obiectiv Ag.m.v, succesiunea celor m îndoiri elementare și, corespunzător, pozițiile de lucru, respectiv, schemele tehnologice de îndoire se determină astfel încât prelucrările să se realizeze dinspre extremități către partea centrală a semifabricatului/ piesei (v. § 7.2.1).

○ Pentru desfășurarea efectivă a operației de îndoire, respectiv, pentru realizarea pieselor Ag.m.v din grupurile obiectiv, se determină caracteristicile efective ale elementelor active - poanson și placă activă - din structura sistemelor tehnologice de prelucrare considerate, care se prezintă în funcție de grosimea g a semifabricatului (v. § 7.2.2 - a).

○ Se configurează schemele tehnologice de prelucrare prin îndoire la rece care se aplică pentru a realiza piesele Ag.m.v din grupurile obiectiv, astfel încât, îndoirile elementare în număr de $m = 2$ sau $m = 4$ se realizează succesiv, iar îndoirile elementare în număr de $m = 4$ se realizează dinspre extremități către partea centrală a semifabricatului/ piesei. Se prezintă secvențe din simularea operației de îndoire a pieselor obiectiv Ag.m.v (v. § 7.2.2 – b, c).

○ În legătură cu fiecare piesă Ag.m.v din grupurile obiectiv, se realizează n experiențe principale, respectiv, o serie de 5 piese, Ag.m.v ($n = 5$), în aceleași condiții, și anume, prin prelucrarea seriei de semifabricate Sg.m.v ($n = 5$) corespondente, în aceeași operație tehnologică (Îndoire) și același sistem tehnologic, cu reglarea sistemului tehnologic de prelucrare prin îndoire în raport cu valorile nominale ale dimensiunilor liniare L și, respectiv, razelor de racordare r prescrise (v. § 7.3 - a).

○ S-au determinat, prin măsurare, dimensiunile liniare L_j - la toate piesele efective din fiecare serie Ag.m.v ($n = 5$), precum și raza de racordare r_k - la unele piese efective arbitrar alese din fiecare serie Ag.m.2 ($n = 5$), $m = 1, 2$ sau 4 , cu mențiunea că dimensiunile s-au măsurat cu șubler digital, cu valoarea diviziunii de $0,01$ mm, iar razele de racordare - la un profilometru cu mărire $X 31,25$ și rezoluția de $0,001$ mm, sau cu lere specifice din seturi de valori nominale ..., $0,9, 1, 1,1, \dots, 2,9, 3, 3,5, \dots$ mm, cu sublinierea că, în fiecare caz, s-a reținut valoarea cea mai depărtată de valoarea nominală (§ 7.3 - b, c, d).

○ La fiecare piesă efectivă din fiecare serie Ag.m.v ($n = 5$) și la fiecare piesă efectivă din seria Ag.m.2 ($n = 5$) la care se măsoară raza(ele) de racordare, se evaluează condiția privind precizia efectivă a dimensiunilor liniare L_j și a razei(lor) de racordare r_k în raport cu prevederile standard în vigoare (§ 7.3 - b).

○ Se evaluează precizia de repetabilitate la fiecare dimensiune liniară L de la toate piesele efective din fiecare serie Ag.m.v ($n = 5$), precum și a razei de racordare r de la o piesă efectivă, arbitrar, aleasă, din fiecare serie Ag.m.2 ($n = 5$), $m = 2$ sau 4 , în cadrul testului t Student - care se poate aplica la seriile/ sondajele de volum redus (§ 7.3 - b).

○ Rezultatele cercetării teoretio-experimentale desfășurate, respectiv, caracteristicile geometrice nominale (de referință), caracteristicile geometrice efective, precum și elemente de evaluare a preciziei care sunt asociate dimensiunilor liniare și razelor de racordare sunt sintetic prezentate pentru toate seriile Ag.m.v ($n = 5$) evaluate (§ 7.3 - c, d, e).

○ Se evidențiază următoarele: la seriile de piese Ag.m.v, dimensiunile liniare L efective au fost realizate în clasa de precizie 1, 2 sau 3, după caz; la piesele evaluate din seriile Ag.m.2 ($n = 5$), razele de racordare r efective au fost realizate în clasa 1 de precizie; datorită relațiilor de legătură cu dimensiunile la care se referă, abaterile efective se pot considera, implicit, în clasa de precizie a dimensiunii liniare și, respectiv, razei de racordare corespondente (§ 7.3 - e).

○ Evaluarea condiției privind precizia de repetabilitate a dimensiunilor liniare L , a razelor de racordare r și, implicit, a abaterilor corespondente, în cadrul testului statistic t Student, evidențiază următoarele: condiția privind precizia de repetabilitate a dimensiunilor liniare L este satisfăcută (✓) în cadrul unor serii de piese efective Ag.m.v ($n = 5$), astfel încât, în aceste cazuri, dimensiunile liniare L și, implicit, abaterile corespondente se caracterizează printr-o precizie efectivă de repetabilitate acceptabilă; similar, condiția privind precizia de repetabilitate a razelor de racordare r este satisfăcută (✓) la piesele efective evaluate dintre cele ale seriilor A1.m.2 ($n = 5$), astfel încât, în aceste cazuri, razele de racordare r și, implicit, abaterile corespondente se caracterizează printr-o precizie efectivă de repetabilitate acceptabilă; în cadrul seriilor de piese efective Ag.m.v ($n = 5$) la care condiția privind precizia de repetabilitate nu este satisfăcută, se consideră că principala cauză este eroarea de reglare a sistemului tehnologic în raport cu valorile nominale corespondente ale dimensiunii L și, respectiv, razei de racordare r , la faza(ele) de îndoire din cadrul operației tehnologice Îndoire (v. § 7.3 - e).

○ Se exemplifică elemente ale analizei preciziei de repetabilitate privind dimensiuni liniare L și raza(ele) de racordare r din cadrul unor serii de piese efective (v. § 7.3, e).

(5) La realizarea obiectivului principal al activității doctorale de cercetare-dezvoltare, prezenta teză de doctorat aduce o serie de **contribuții**, dintre care cele mai importante sunt după cum urmează.

- Studiul sintetic al stadiului actual al cercetării - dezvoltării privind calitatea produselor și prelucrările prin îndoire la rece.

- Modelarea unor grupuri de piese și semifabricate obiectiv, prin configurare metodologică, teoretică și experimentală, în funcție de grosimea comună și de numărul de îndoiri elementare prescrise pieselor, precum și de varianta experimentală.
- Dezvoltarea aplicativă a modelelor analitice prin determinarea lungimii teoretice, a lungimii și abaterii tehnologice asociate unor semifabricate pentru piesele din grupurile obiectiv.
- Modelarea, prelucrarea experimentală prin tăiere și evaluarea preciziei unor serii de semifabricate pentru piesele din grupurile obiectiv, în sisteme industriale.
- Definirea elementelor de referință și a elementelor tehnologice principale pentru prelucrarea prin deformare plastică la rece a pieselor din grupurile obiectiv.
- Modelarea, prelucrarea experimentală prin îndoire la rece și evaluarea preciziei unor serii de piese din grupurile obiectiv, în sisteme industriale.

* * *

Prezenta teză de doctorat, prin problematică, modul de abordare și rezultate, dezvoltă condițiile pentru modelarea și evaluarea preciziei unor grupuri de produse prelucrate prin deformare plastică la rece în sisteme industriale.

Importanța științifică a prezentei teze de doctorat este susținută de contribuțiile aduse la studiul, dezvoltarea de modele teoretice analitice, cercetarea experimentală și evaluarea preciziei efective a unor grupuri de produse prelucrate prin deformare plastică la rece în sisteme industriale.

Importanța practică a prezentei teze de doctorat rezidă în aceea că metodologia de cercetare – dezvoltare, modelele și mijloacele de lucru, datele și rezultatele efective ale cercetărilor experimentale realizate, în condiții industriale, reprezintă un sistem - suport util studenților, cadrelor didactice, organizațiilor, specialiștilor și companiilor industriale, după caz.

Problematica dezvoltării grupurilor de produse și a tehnologiilor de fabricare industriale, în perspectivă, necesită o activitate de cercetare-dezvoltare continuă, complexă și profundă.

Bibliografie

- [A01] Abrudan I., Sisteme flexibile de fabricație. Concepte de proiectare și management, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1996
- [A02] An W., Liu C., Xiong Q., Li Z., 2023, Shear localization in polycrystalline metal at high-strain rates with dynamic recrystallization: Crystal plasticity modeling and texture effect, International Journal of Plasticity 165 (June 2023) 103616, DOI: [10.1016/j.ijplas.2022.103616](https://doi.org/10.1016/j.ijplas.2022.103616).
- [A03] An Y., Spanjer W., Chezan T., Heijne J., Investigating deformation and work hardening behavior of stacked sheet metal specimens in compression test, influence of friction and interfacial shear resistance, Journal of Materials Processing Technology, (2023), Volume 321, 118145, <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-materials-processing-technology/vol/321>.
- [A04] Angelescu C., ș.a., Economie, Editura Economică, București, 2000
- [A05] ***, Articole, www.clubafaceri.ro/info_articole/managementul_calitatii (accesat la 23.03.2024)
- [A06] ***, Air Bending vs. Bottom Bending: Choosing the Right Method for CNC Press Brakes, 2023, <https://accuracylaser.com/air-bending-v-bottom-bending/> (accesat la 18.12.2023)
- [A07] ***, Abkantwerkzeuge Typ Amada, <https://www.abkantwerkzeuge-blech-abkanten.at/typ-amada/t-matrizen/t-matrizen-30/>
- [A08] ***, Artizono, https://artizono.com/calculating-bending-force-formulas/?utm_content=cmp_true (accesat la 23.03.2024)
- [B01] Baron T., Calitate și fiabilitate, Editura Tehnică, București, 1988
- [B02] Boljanovic V., Sheet Metal Forming Processes and Die Design, Industrial Press Inc., New York, USA, pp. 61–70, 2004, ISBN 0-8311-3182-9
- [B03] Boljanovic V., Sheet Metal Forming Processes and Die Design, Industrial Press Inc., South Norwalk, CT, USA, pp. 61–70, 2014
- [B04] Burchitz I.A., Meinders T., Adaptive through-thickness integration for accurate springback prediction, Int. J. Numer. Meth. Engng 2008, 75:533–554, DOI: 10.1002/nme.2260, WOS: 000257903100002
- [B05] Burduș E., Popa I., Fundamentele managementului Organizației, Editura Pro Universitaria, București, 2018
- [B06] Bari I. T., Tratat de economie politică globală, Editura Economică, București, 2010
- [B07] Bacirov I. C., Juran J.M., A Man for History Quality - Quality Assurance, No. 74, S.U.A., 2013
- [B08] Burak S., Smooth Trajectory Generation and Precision Control of 5-Axis CNC Machine Tools, PhD Thesis, University of British Columbia, Vancouver, Canada, 2009
- [B09] ***, BOSCHERT, TWIN / TRI, <https://boschert.de/index.php/en/sheet-metal-work/punching-machines/twin> (accesat la 15.12.2023)
- [C01] ***, Companii (v1, v2), Aplicații AutoCAD, DELEM Profile – T, ToPs 300 Trumpf - Modul Nesting, ToPs 300 Trumpf - Modul Technology, Aplicații CNC, 2019
- [C02] ***, Color Metal, Îndoirea tablelor, <https://color-metal.ro/ro/indoirea-tablelor-descrierea-procedurii>
- [C03] ***, Coefficient of determination (R-squared), https://en.wikipedia.org/wiki/Coefficient_of_determination
- [C04] ***, Common Mistakes to Avoid when Bending Metal, <https://www.mac-tech.com/common-mistakes-to-avoid-when-bending-metal/>
- [C05] Coppieters S., Traphöner H., Stiebert F., Balan T., Large strain flow curve identification sheet metal, Journal of Materials Processing Technology, 2023, Volume 308, 117725, <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-materials-processing-technology/vol/308>.
- [D01] ***, Documentații și sisteme de producție - companii industriale (v: 1, 2)

- [D02] DOUNGMARDA K., THIPPRAKMAS S., A New Bending Force Formula for the V-Die Bending Process, *Metals*, 2023, 13, 587, DOI: [10.3390/met13030587](https://doi.org/10.3390/met13030587), WOS: 00096013060000
- [D03] DUFLU J., VANCZA J., AERENS R., Computer aided process planning for sheet metal bending: A state of the art, *Computers in Industry* 56 (2005) 747–771, DOI: 10.1016/j.compind. 2005.04.001, WOS: 000231894200006
- [D04] ***, Documentație și sisteme de producție Dr. Kocher SRL
- [D05] DRĂGAN L., Toleranțe, ajustaje și control, Editura Risoprint, Cluj-Napoca, 2011
- [D06] ***, DALPHIL DUNAMIS LTD, Hydraulic Guillotine Shearing Machine, <https://dalphildunamis.com/hydraulic-guillotine-shearing-machine/> (accesat la 15.12.2023)
- [E01] ***, EN 10130:2007 DC01(1.0330) - Cold rolled low carbon steel flat products for cold forming - Technical delivery conditions
- [E02] ***, Engineering Statistics Handbook, Critical Values of the Student's t Distribution, <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda3672.htm>
- [E03] ***, EUROSTAMP TOOLING, AMADA PUNCHES, <https://www.eurostamp srl.it/en/press-brake-tooling/punches-88-amada/9763-1270-punches-88>
- [E04] ***, Eurostamp_Amada-poansoane, https://www.a-g-o.com/wp-content/uploads/2020/08/Eurostamp_AMADA-poansoane.pdf
- [E05] ***, Eurostamp Tooling, Italienische Ekzellenz, https://www.hesse-maschinen.com/machine-manager/en/brands/210/brochures/eurostamp_katalog_2022_01-8584-default-acb36531af13e5ce1_f7265b5e5e720ab86b55985.pdf
- [E06] EMMENS W.C., BOOGAARD A.H., An overview of stabilizing deformation mechanism in incremental sheet forming, *J. of Mat. Processing Technology*, vol. 209, Issue 8, 2009, pp 3688-3695
- [E07] ***, Excel 2019, https://ro.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Excel
- [F01] FILIP R., IAMANDI I.-E., Management internațional, Suport de curs, ASE, București, 2012
- [F02] FARSI M.A., AREZOO B., Bending Force and Spring-Back in V-Die-Bending of Perforated Sheet-Metal Components, *J. of the Brazilian Soc. of Mech. Sci. & Eng.*, Vol.33, 1, pp 45-51, 2011, DOI: 10.1590/S1678-58782011000100007, WOS: 000290390200007
- [F03] ***, FAB tooling, Amada punches and dies, <https://fabtooling.com/products/1282>, <https://fabtooling.com/products/3085>, <https://fabtooling.com/products/1027>, <https://fabtooling.com/products/3055>
- [F07] FENG Y.-k., SHI S.-g., WANG Z.-y., WONG Z.-j., Research on mechanism of springback control by viscous medium with different mechanical properties, *Journal of Materials Processing Technology*, 2022, Volume 304, 117548, <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-materials-processing-technology/vol/304>.
- [F08] FRĂȚILĂ D., Tehnologii de fabricație, Editura UTPRESS, Cluj-Napoca, 2019
- [G01] GUSTAFSSON D., PARAREDA S., ORTIZ-MEMBRADO L., MATEO A., Simulation of metal punching and trimming using minimal experimental characterization, *Journal of Materials Processing Technology*, 2023, Volume 320, 118148
- [G02] GAIARDI S., SPELLINI S., LORA M., FUMMI F., Modeling in Industry 5.0: What Is There and What Is Missing: Special Session 1: Languages for Industry 5.0, Forum on Specification and Design Languages, IEEE, DOI: [10.1109/FDL53530.2021.9568371](https://doi.org/10.1109/FDL53530.2021.9568371), 2021
- [G03] GHEORGHE M., BAZELE ingineriei și managementului, Tehnologii și sisteme flexibile de fabricație, *Manufacturing processes 2*, Note de curs, UPB, 2021 - 22.
- [H01] HAN Y., XI W., YANG S., WANG W., WU J, Robust Design Based on Cost-Quality Model in Micro-Manufacturing, *Eksplotacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 2024, 26(3), DOI: [10.17531/ein/190380](https://doi.org/10.17531/ein/190380), WOS:001283283700004
- [H02] HARTMANN C., WEISS H.A., LECHNER P., VOLK W., Measurement of strain, strain rate and crack evolution in shear cutting, *Journal of Materials Processing Technology*, (2021) Volume 288, 116872, <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-materials-processing-technology/vol/288>.

- [H03] ***, Harsle, <https://www.harsle.com/how-to-calculate-the-bending-force-for-your-press-brake-machine> (accesat la 23.03.2024)
- [H04] Hosford W.F., Duncan J.L., Sheet Metal Forming: A Review, J. of the Minerals Metals & Materials Society, Vol. 5, 1, pp 39-44, 1999, DOI: 10.1007/s11837-999-0221-5, WOS: 000083706000009
- [H05] Hou Y., Min J., Guo N., Shen Y., Lin J., 2021, Evolving asymmetric yield surfaces of quenching and partitioning steels: characterization and modeling, J. Mater. Process. Technol., 290, 116979, DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2020.116979
- [H06] Huang G., Wang L., Zhang H., Wang Y., Shi Z., Pan F., Evolution of neutral layer and microstructure of AZ31B magnesium alloy sheet during bending, Materials Letters 98 (2013) 47–50, DOI:10.1016/j.matlet.2013.02.055, WOS:000320078300013
- [H07] ***, Hydraulic press brake G-Bend, G-TurboBend Press Brake, <https://www.boschertusa.com/press-brakes-and-shears/boschert-gizelis-g-turbobend> (accesat la 23.03.2024)
- [H08] ***, Hydraulic press brake CNC ERM 30135, <https://www.machineseeker.com/haco-atlantic+erm+30135/i-7753751> (accesat la 23.03.2024)
- [H09] ***, HARSLE, Standard lengths <https://tooling.harsle.com/product/1047-amada-promecam-acute-punch/>
- [I01] ***, ISO 9000:2015(en) Quality management systems - Fundamentals and vocabulary <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9000:ed-4:v1:en> (accesat la 05.08.2024)
- [I02] ***, ISO Standards, <https://www.iso.org/quality-management/principles> (accesat la 05.08.2024)
- [I03] Ishikawa K., What is Total Quality Control?, The Japan Way, New York, 1985
- [I04] Ikumapayi O.M., Akinlabi E.T., Madushele N., Fatoba S. O., A Brief Overview of Bending Operation, 2019, Advances in Manufacturing Engineering, Lecture Notes in Mechanical Engineering, https://doi.org/10.1007/978-981-15-5753-8_14
- [I05] ***, Inlearc, Robot Bending Technology, <https://www.tthk.ee/inlearcs/5-robot-bending-technology/>, <http://www.custompartnet.com/calculator/v-bending-force> (accesat la 05.08.2024)
- [I06] ***, ISO Quality, Quality management principles, <https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/store/en/PUB100080.pdf> (accesat la 05.08.2024)
- [J01] Javadi S., Chirumalla K., Customizing Management Strategies for Product Introduction in Low-Volume Manufacturing: Enhancing Information Content Quality, Sustainability 2024, 16, 1330, DOI: [10.3390/su16031330](https://doi.org/10.3390/su16031330), WOS: 001160310900001
- [L01] Lario L., Mateos J., Psarommatis F., Ortiz A., A cost model for the investment feasibility of quality inspection technologies in the Zero Defect Manufacturing era, International Journal of Production Research, Open Access, 2024, DOI: [10.1080/00207543.2024.2383780](https://doi.org/10.1080/00207543.2024.2383780), WOS: 001278762300001
- [L02] Li J.Y., Nee A.Y.C., Cheok B.T., Integrated Feature-Based Modelling and Process Planning of Bending Operations in Progressive Die Design, Int J Adv Manuf Technol (2002) 20:883–895, WOS: 000180440300003
- [L03] Liang B.W., Cold stamping process manual, Beijing, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2000
- [L04] Lin A.C., Dean K. Sheu D.K., Sequence planning for bending operations in progressive dies, International Journal of Production Research, 2012, Vol. 50, No. 24, PP 7493 – 752, DOI: 10.1080/00207543.2011.653697, WOS: 000310604200028
- [L05] Lane P.R., Globalizarea financiară și criza, Trinity College Dublin and CEPR, 2012.
- [L06] Li K., Melkote S. N., Effect of plastic side flow on surface roughness in micro- turning process, International Journal of Machine Tools Manufacture, 2006
- [L07] Lei W.-T., Hsu, Y.-Y., Accuracy enhancement of five-axis CNC machines through real-time error

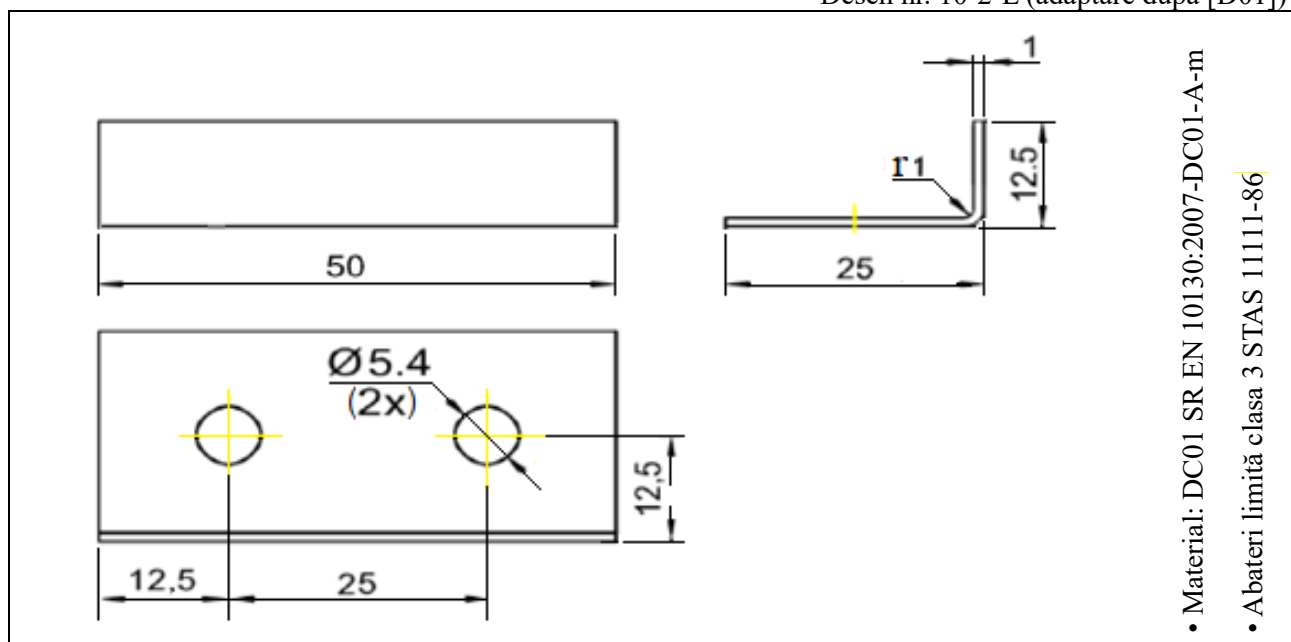
- [L08] Liu S., Xia Y., Liu Y., Shi Z., Tool path planning of consecutive free-form sheet metal stamping with deep learning, Journal of Materials Processing Technology, 2022, Volume 303, 117530, <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-materials-processing-technology303>
- [L09] Lucrețiu R., Sheet – Bending, Biblioteca digitală, București, 2011.
- [M01] ***, Managementul calității <https://www.stiucum.com/management/managementul-calitatii/Optimizarea-nivelului-de-calit52783.php> (accesat la 21.05.2016)
- [M02] Maeda T., Noma N., Kuwabara T., Barlat F., Korkolis YP., Measurement of the strength differential effect of DP980 steel sheet and experimental validation using pure bending test, Journal of Materials Processing Technology, 2018 Elsevier 256:247-253
- [M03] Mia M., Anwar S., Yang X., Development of interactive friction model for machining considering the instantaneous interface characteristics, Journal of Materials Processing Technology, 2023, Volume 322, 118203, <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-materials-processing-technology>
- [M04] Mornout C.J.A., Güvenç O., Tasan C.C., Cavity growth – or lack thereof – in imperfectly roll bonded, Journal of Materials Processing Technology, 2024, Volume 328, 118385, <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-materials-processing-technology/vol/328>
- [M08] Modad, O.A.A., Ryska J, Chehade A., Ayoub G., Revolutionizing sheet metal stamping through industry 5.0 digital twins: a comprehensive review, Journal of Intelligent Manufacturing, DOI: 10.1007/s10845-024-02453-9, 2024
- [N01] ***, Norck, Precision Edge Bending Services, <https://www.norck.com/collections/edge-bending>
- [O01] Ocnărescu C., Teoria Mecanismelor, Editura Bren, București, 2002
- [P01] ***, Principiile managementului calității, <https://www.calitate-management.ro/principiile-QMS.htm> (accesat la 29.07.2024)
- [P02] Pugna A., Ingineria și managementul calității, Curs, UP Timișoara, 2017
- [P03] **Pușcaș (Popescu) N.**, Research and development prospects of the quality of mettalic products achieved on CNC machines, ICMSAV 2016 & COMAT 2016, Transilvania University Press of Brașov, p. 139, Brașov, 24-25 November 2016, ISSN 1884-9336
- [P04] **Pușcaș (Popescu) N.**, Determination of the drawings of bent metallic products achieved on CNC machines, ICMSAV 2016 & COMAT 2016, Transilvania University Press of Brașov, p.145, Brașov, 24-25 November 2016, ISSN 1884-9336
- [P05] **Pușcaș (Popescu) N.**, Studies, researches and development prospects on the quality of metal products made on CNC machines, Nextgen, International Journal of New Technology and Research (IJNTR), Journal Volume- III, pp. 44-48, Issue- IX September 2017, ISSN: 2454-4116
- [P06] **Pușcaș (Popescu) N.**, Determination on the drawings of bent metallic products created on CNC machine, Nextgen, International Journal of New Technology and Research (IJNTR), Journal Volume- III, pp. 49-52, Issue- IX September 2017, ISSN: 2454-4116
- [P07] **Pușcaș (Popescu) N.**, The quality of metal products made on CNC machines, The fourth edition of the International Conference, New Trends, in Cercetări și perspective de dezvoltare a calității produselor metalice realizate pe mașini cu comandă numerică, Environmental and Materials Engineering, TEME 2017, Galați, 25-27 of October 2017, Editura Galați University Press, pp.52-61, Fascicle IX Metallurgy and Materials Science, ISSUES 200, March. 2017, no. 1, ISSN 1453-083X
- [P08] **Pușcaș (Popescu) N.**, Studies and researches on the quality of the metallic products stamped and bent on numerically controlled machines, National Scientific Conference with International Participation, CONFERENG 2017, University of Târgu-Jiu Constantin Brâncuși, Târgu Jiu, Dec. 08th- 09th 2017, Ed. Academica Brâncuși, pp..198-210, Engineering Series, Issue 3/2017, ISSN 1842-4856
- [P09] **Pușcaș (Popescu) N.**, The quality of metallic products stamped and bent on CNC machines, National Scientific Conference with International Participation, CONFERENG 2017, University of Târgu-Jiu Constantin Brâncuși, Târgu-Jiu, December 08th- 09th 2017, Editura Academica Brâncuși, pp..211- 224, Engineering Series, Issue 3/2017, ISSN 1842-4856

- [P10] **Pușcaș (Popescu) N.**, Tempea I., The quality of metal products bent on CNC machines, The 9th International Conference on Advanced Concepts In Mechanical Engineering, ACME2020, Session ACME-03, Mechatronics. CAD. Mechanical Vibrations, June 4-5, 2020, Iași, România, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Volume 997/2020 – 012056
- [P11] **Pușcaș (Popescu) N.**, Tempea I., Researches, studies and development prospects of the quality of metallic parts made on CNC machines, The 9th International Conference on Advanced Concepts in Mechanical Engineering, ACME2020, Session ACME-03, Mechatronics. CAD. Mechanical Vibrations, June 4-5, 2020, Iași, România, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Volume 997/2020 – 012057
- [P12] Pritima D., Veerappan G., Patel V.D., Parthasarathy N.R., Analysis of spring back behaviour during bending of AISI 1045 sheet metal, Materials Today: Proceedings 59 (2022) 1575–1580, DOI: 10.1016/j.matpr.2022.04.160, WOS: 000806189700006 (Proceedings Paper, Virtual International Conference on Technological Advancements in Mechanical Engineering)
- [P13] Pap L., Utilizarea mașinilor cu comandă numerică pentru prelucrarea matrițelor, Universitatea Transilvania, Brașov, 2010
- [P14] Parker G., Tradus de Voicu D., Costurile calității, Editura Codex, București, 1998
- [P15] Popescu L. G., Calitatea totală, componenta strategiei competitive a firmei, Academia Română, 2002
- [P16] Pätzold I., Stahl J., Golle R., Volk W., Reducing the shear affected zone to improve the edge formability using a two-stage shear cutting simulation, Journal of Materials Processing Technology, 2023, Volume 313, 117872, <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-materials-processing-technology>
- [Q01] ***, 7 Quality Management Principles, <https://www.mangolive.com/quality-management-principles-process-approach>
- [R01] Rusu C., ș.a., Bazele managementului calității, Manual de inginerie economică, Editura Dacia, Cuj-Napoca, 2002
- [R02] Rame R., Purwanto P., Sudarno S., Industry 5.0 and sustainability: An overview of emerging trends and challenges for a green future, Innovation and Green Development, 3 (2024) 100173, DOI: 10.1016/j.igd.2024.100173
- [S01] Sindilă G., Tehnologii de prelucrare prin deformare plastică la rece, Editura Bren, București, 2020
- [S02] Smith L.M., Averill R.C., Lucas J.P., Stoughton T.B., Martin P.H., Influence of traverse normal stress on sheet metal formability, International Journal of Plasticity, Volume 19, Issue 10, October 2003, pp 1567-1583
- [S03] Shintaku Y., Tsutsumi S., Terada K., 2022, A CDM-like constitutive law for predicting degradation of strength and ductility of steel subjected to cyclic loading, International Journal of Plasticity 153 (2022), 103237, DOI: [10.1016/j.ijplas.2022.103237](https://doi.org/10.1016/j.ijplas.2022.103237)
- [S04] Stanciu L., Managementul calității totale, Editura Cartea Universitară, București, 2003
- [S05] ***, SR EN 10130:2007, Produse plate laminate la rece din oțel cu conținut scăzut de carbon pentru formare la rece. Condiții tehnice de livrare
- [S06] Suchy I., Handbook of Die Design, 2nd edition, McGraw-Hill, 2006, DOI: 10.1036/0071462716 \
- [S07] ***, STAS 11111-86 Abateri limită pentru dimensiuni fără indicații de toleranță ale pieselor obținute prin tăiere, îndoire sau ambutisare
- [S08] ***, Scule stil Amada Promecam, <https://www.sm-tech.ro/rolleri-scule-abkant/cataloge-scule-abkant-rolleri/>
- [S09] Suh S.-H., Kang S. K., Chung D.-H., Stroud I., Theory and Design of CNC Systems, Ed. Springer, London, 2008.
- [S10] Stanciu L., Managementul calității totale, Editura Cartea Universitară, București, 2003
- [T01] Tekkaya B., Meurer M., Döle M., Kōnemam M., Modeling of microstructural workpiece rim zone modification during machining, Journal of Materials Processing Technology, 2023, Volume 311, 117815, <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-materials-processing-technology>

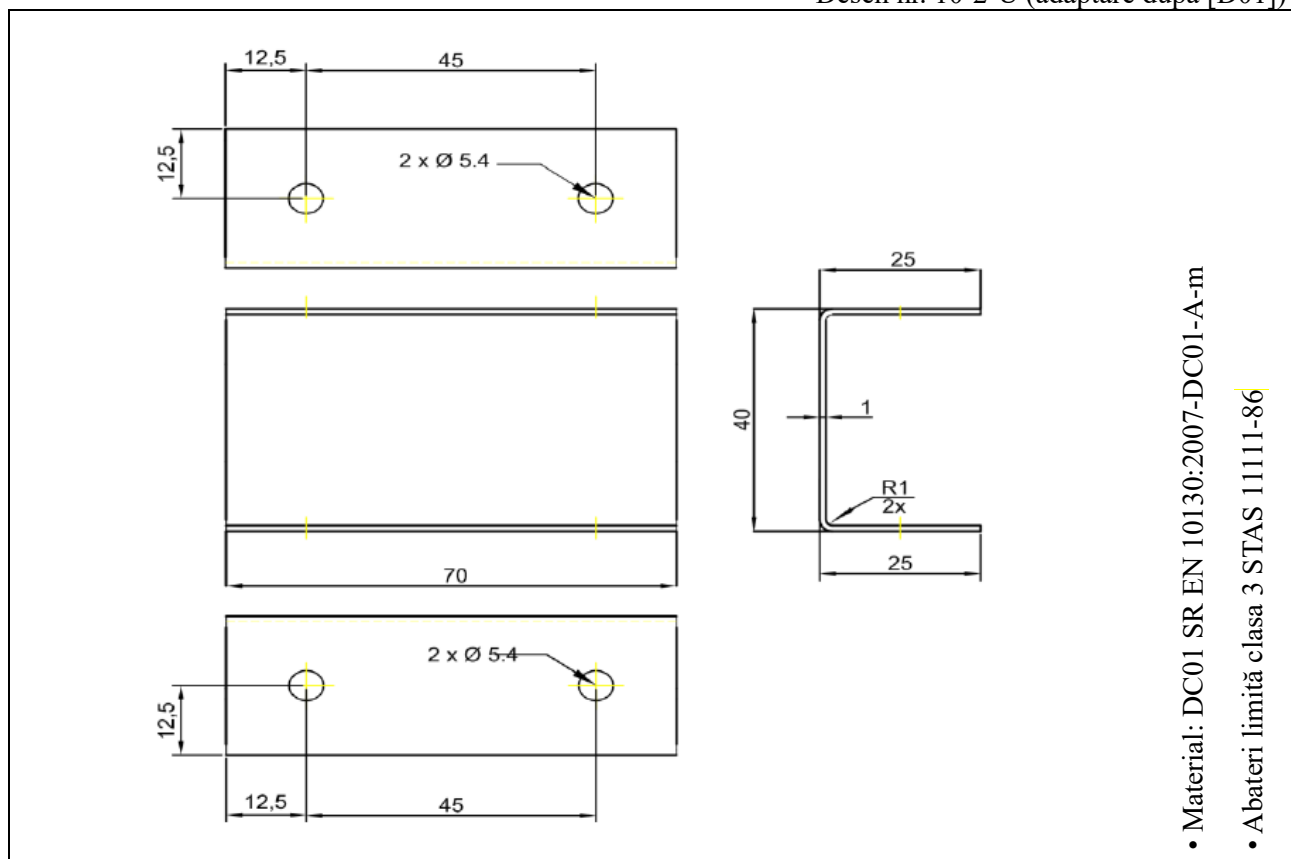
- [T02] Tisza M. (2013), Recent development trends in sheet metal forming, *Int. J. Microstructure and Materials Properties*, Vol. 8, Nos. 1/2, pp.125–140
- [T03] Tan Z., Persson B., Magnusson C., Empiric model for controlling spring-back in V-die bending of sheet metals, *J Mater Process Technol*, 1992;34(1–4):449–55, DOI:10.1016/0924-0136(92)90140-N, WOS: A1992JQ97700057
- [T04] Tekaslan O., Gerger N., Seker U., Determination of spring-back of stainless steel sheet metal in V bending dies, *Mater. Des.*, 2008, 29, 1043–1050, DOI: [10.1016/j.matdes.2007.04.004](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2007.04.004), WOS: 000255088000015
- [T05] ***, Transition Support, https://transition-support.com/what_is_quality.html (accesat la 29.07.2024)
- [T06] Tempea I., Dugășescu I., Neacșa M., *Mecanisme*, Ed. Printech, 2006, ISBN (10) 973-718-560-9
- [T07] ***, TRUMPF, https://trumansystems.com/app/uploads/2019/05/TC-200-R_E.pdf (accesat la 15.12.2023)
- [T08] ***, TRUMPF, TruPunch 3000, https://www.trumpf.com/ro_RO/produse/masini-si-sisteme/masini-de-stantat/trupunch-3000/ (accesat la 15.12.2023)
- [V01] 6 I., ș.a., *Prelucrabilitatea materialelor metalice*, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1996
- [W01] ***, What are the principles of ISO 9000:2015? <https://www.quora.com/What-are-the-principles-of-ISO-9000-2015>
- [W02] Wang S., Gao H., Wang X., Hu J., Rolling force model of V - shaped variable thickness rolling based on energy approach, *Journal of Materials Processing Technology*, (2024) Volume 326, 118336, <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-materials-processing-technology/vol/336>.
- [W03] ***, Wila, Bottom Bending, <https://www.wilatooling.com/applications/bottom-bending/> (accesat la 18.12.2023)
- [W04] Wu F., Liu Z., Guo B., Sun Y., Chen J., Research on the burr-free interrupted cutting model of metals, *Journal of Materials Processing Technology*, (2021), Volume 295, 117190, <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-materials-processing-technology/vol/295>.
- [W05] ***, What is Industry 5.0, <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/industry-5-0#Industry50Strategies>
- [Y01] Yi M., Tang W., Zhu Y., Liang C., A holistic review on fatigue properties of additively manufactured metals, *Int'l J. of Plasticity* 329 (2024) 118425, DOI: [10.1016/j.ijplas.2024.118425](https://doi.org/10.1016/j.ijplas.2024.118425).
- [Y02] Yilbas B.S., Laser cutting of thick sheet metals: Effects of cutting parameters on kerf size variations, *J. Mater. Process. Technol.*, 2008
- [Z01] Zhang C., Lou Y., 2024, Influences of the evolving plastic behavior of sheet metal on V-bending and springback analysis considering different stress states, *International Journal of Plasticity* 173 (2024) 103889, DOI: [10.1016/j.ijplas.2024.103889](https://doi.org/10.1016/j.ijplas.2024.103889)
- [Z02] Zheng L., Wang Z., Meng B., Wan M., A unified ductile fracture criterion suitable for sheet and bulk metals considering multiple void deformation modes, *International Journal of Plasticity*, 164 (2023) 103572 Doi: [10.1016/j.ijplas.2023.103572](https://doi.org/10.1016/j.ijplas.2023.103572).
- [Z03] Zhu H., Ou H., A new analytical model force prediction in incremental sheet forming, *Journal of Materials Processing Technology*, (2023), Volume 318, 118037, <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-materials-processing-technology/vol/318>.
- [Z04] Zhu H., Lui L., Research in the CNC incremental forming of straight -wall parts based on a virtual auxiliary body, *Journal of Materials Processing Technology*, (2021) Volume 288, 116841 <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-materials-processing-technology/vol/288>.
- [Z05] Zou D.Q., Li S.H., He J., Gu B., Li Y.F., 2018, The deformation induced martensitic transformation and mechanical behavior of quenching and partitioning steels under complex loading process, *Mater. Sci. Eng. A* 715, 243–256, DOI: [10.1016/j.msea.2018.01.011](https://doi.org/10.1016/j.msea.2018.01.011)

Anexa nr. 1. Caracteristici constructive prescrise pieselor din grupurile obiectiv

Desen nr. 10-2-L (adaptare după [D01])

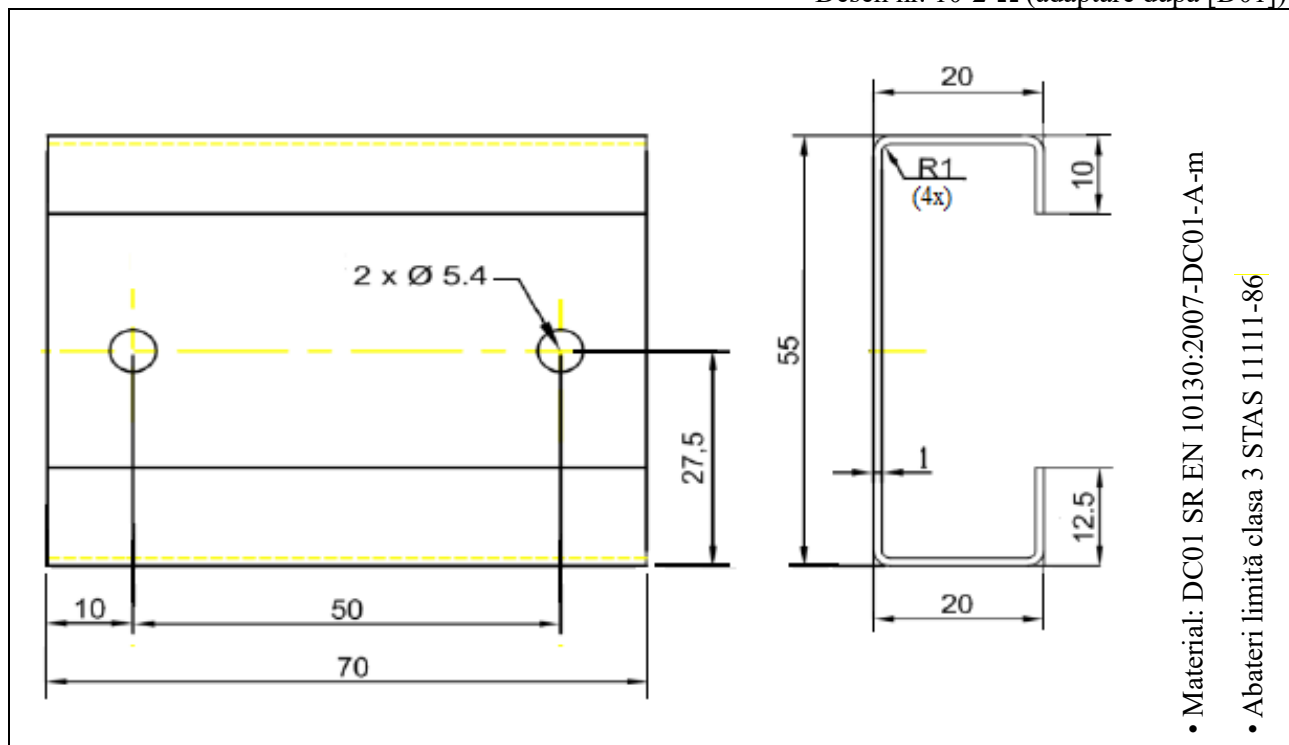


Desen nr. 10-2-U (adaptare după [D01])

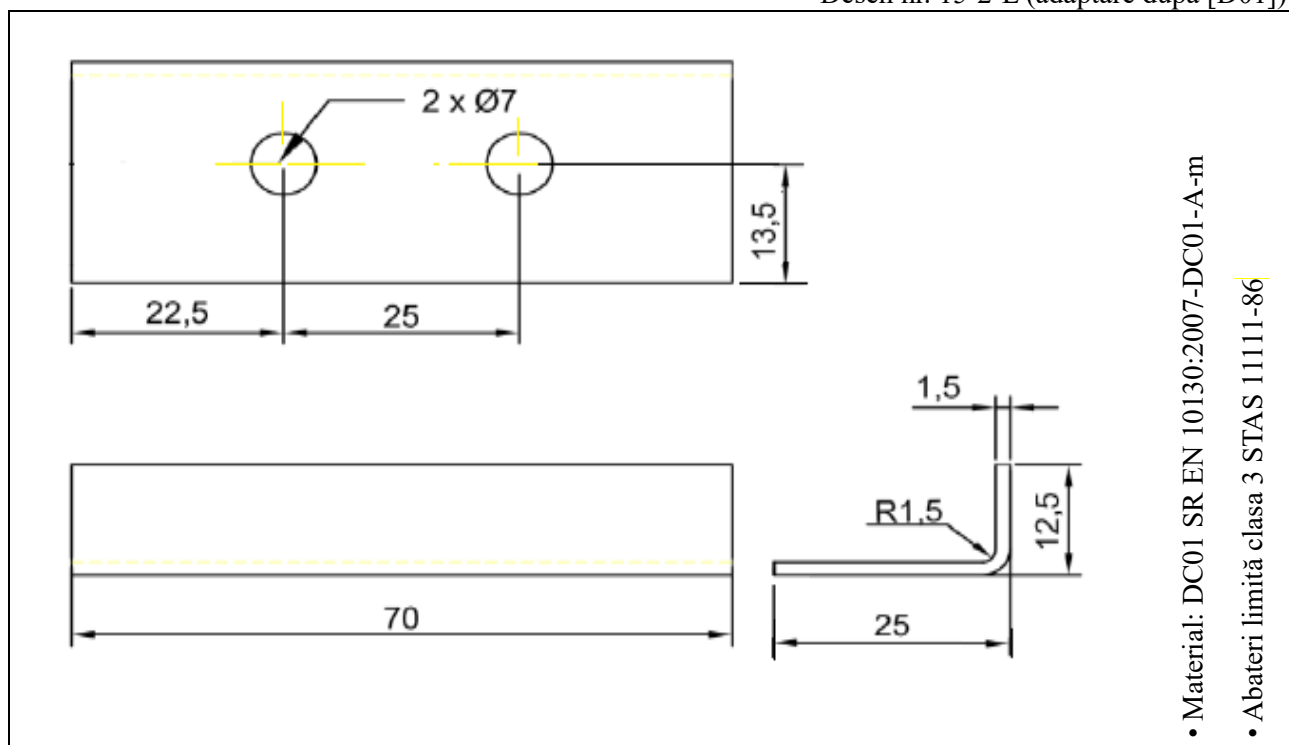


Anexa nr. 1

Desen nr. 10-2-Ω (adaptare după [D01])

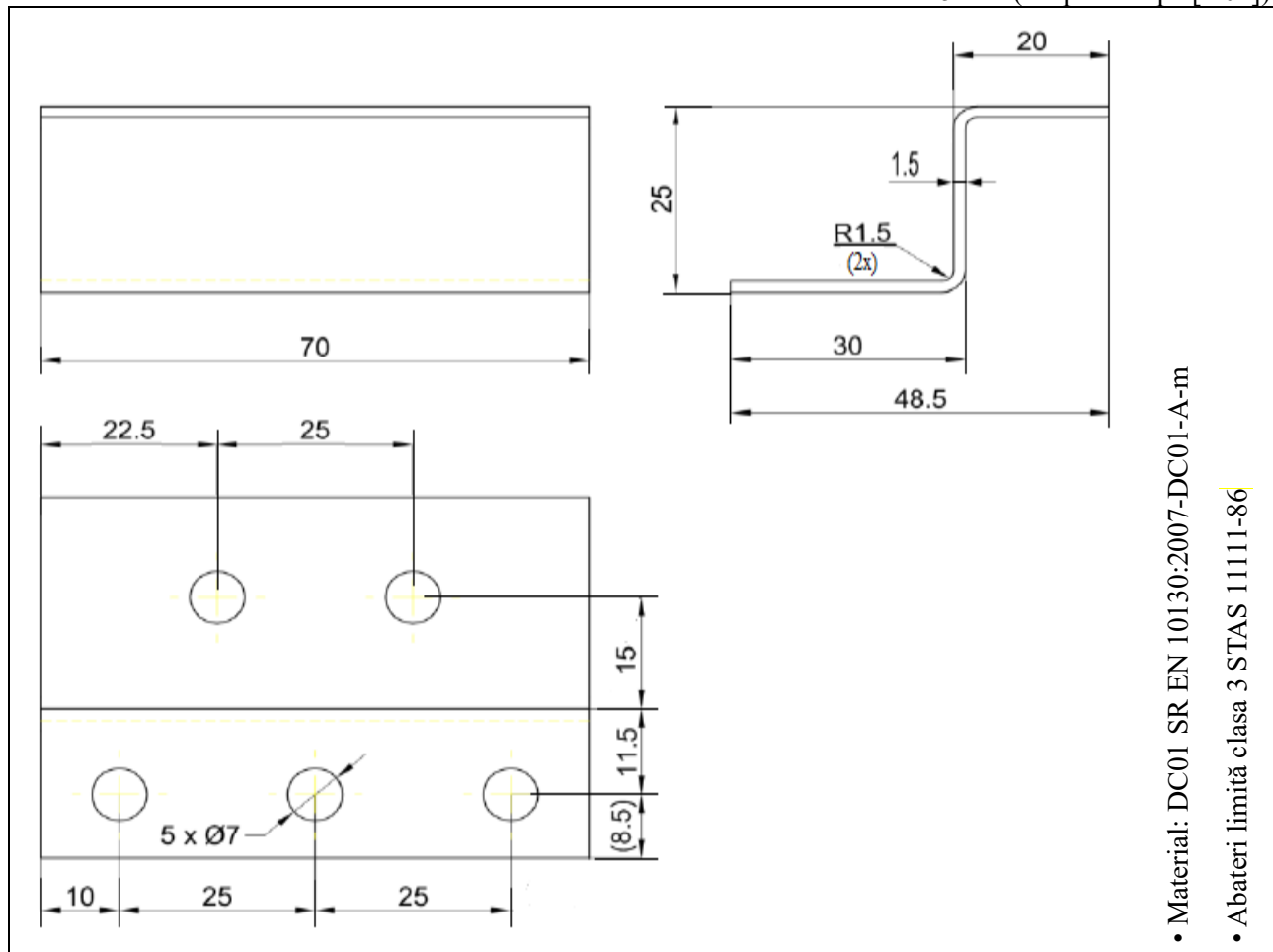


Desen nr. 15-2-L (adaptare după [D01])



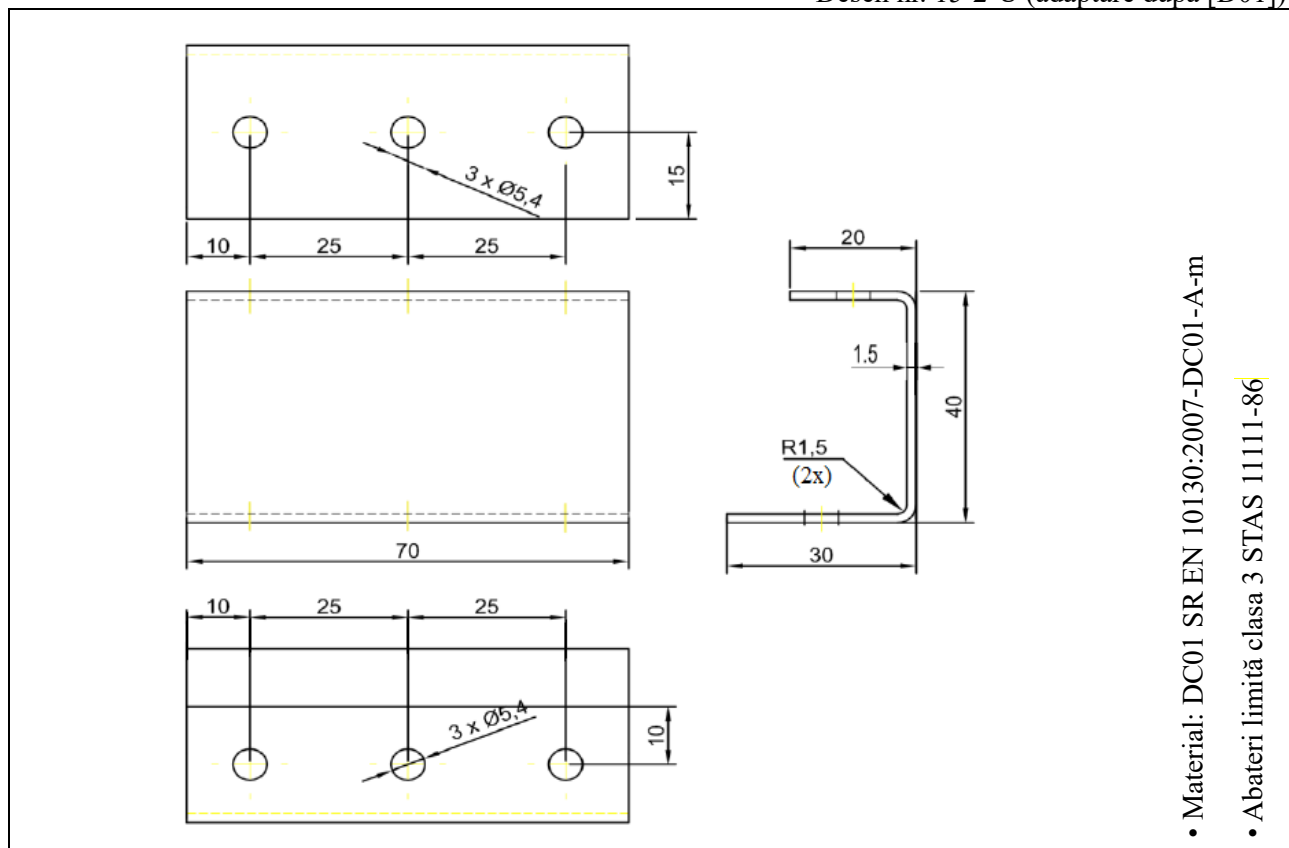
Anexa nr. 1

Desen nr. 15-2-Z (adaptare după [D01])

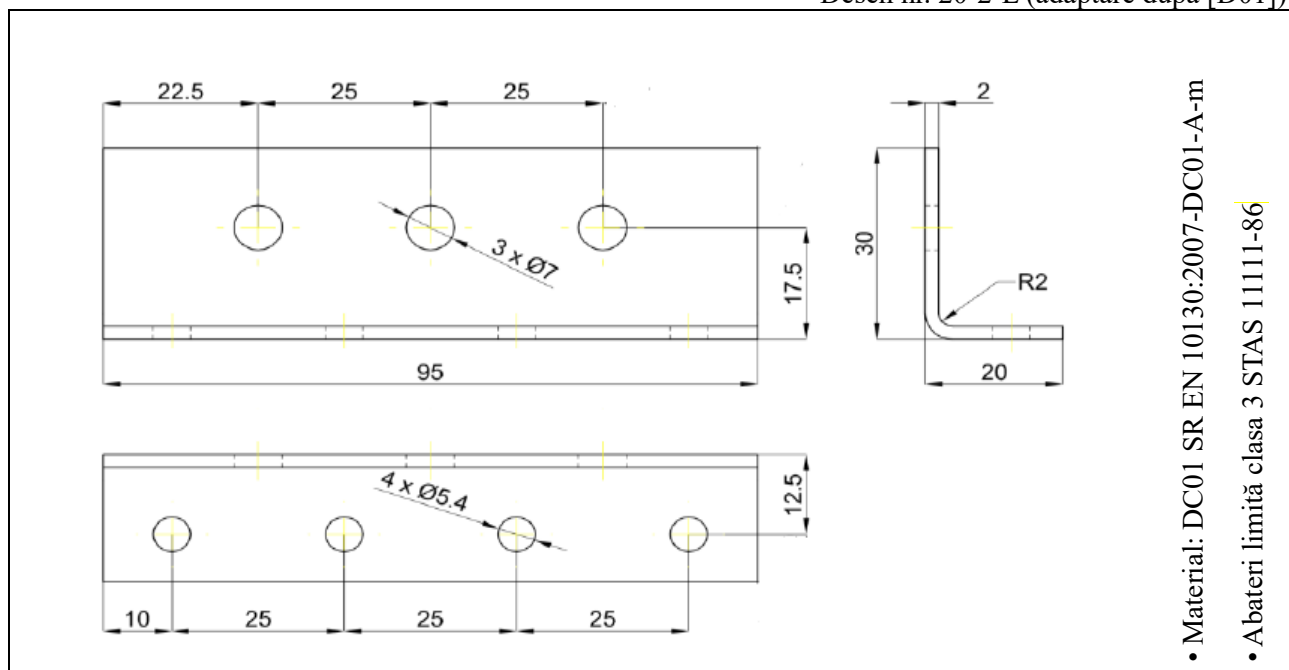


Anexa nr. 1

Desen nr. 15-2-U (adaptare după [D01])

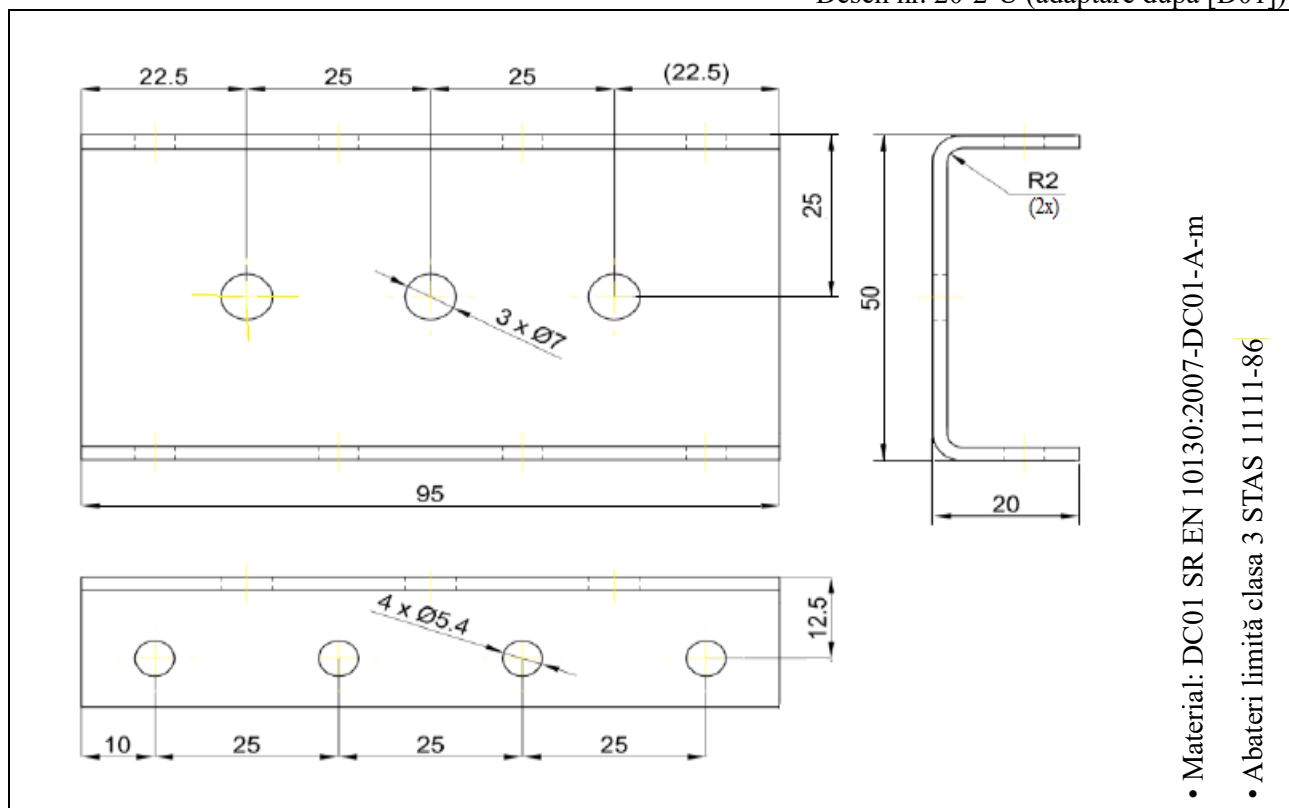


Desen nr. 20-2-L (adaptare după [D01])

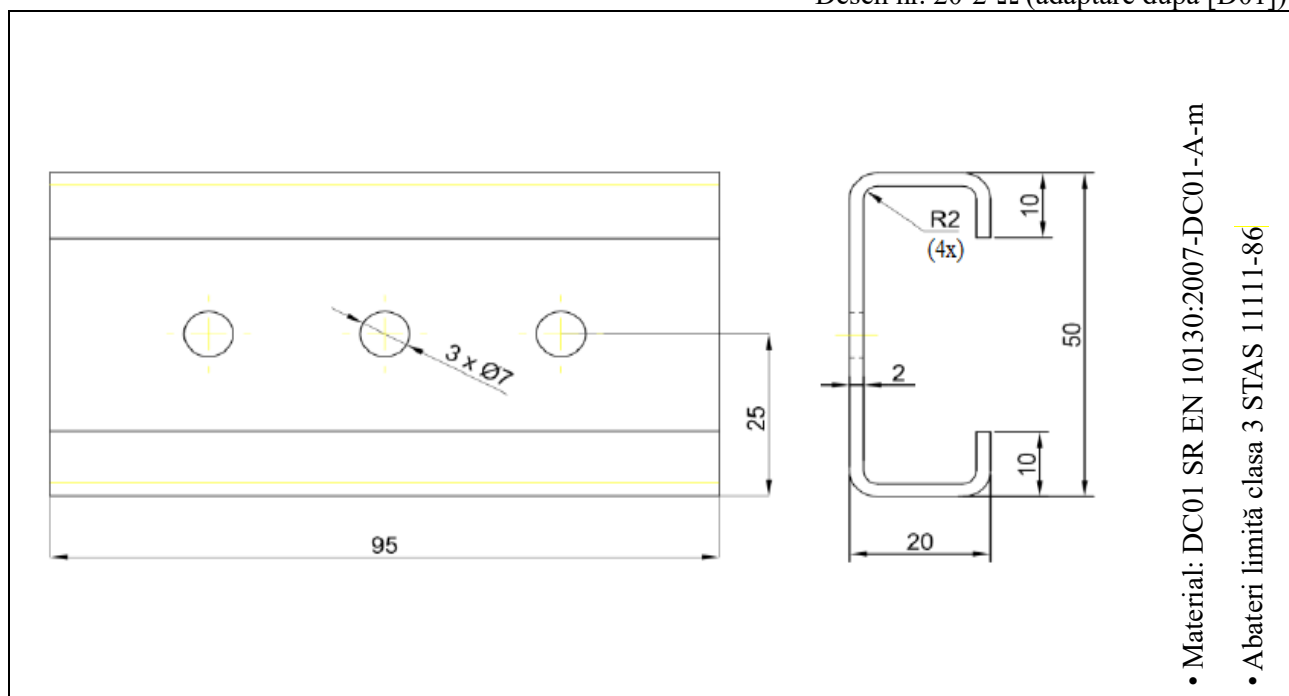


Anexa nr. 1

Desen nr. 20-2-U (adaptare după [D01])

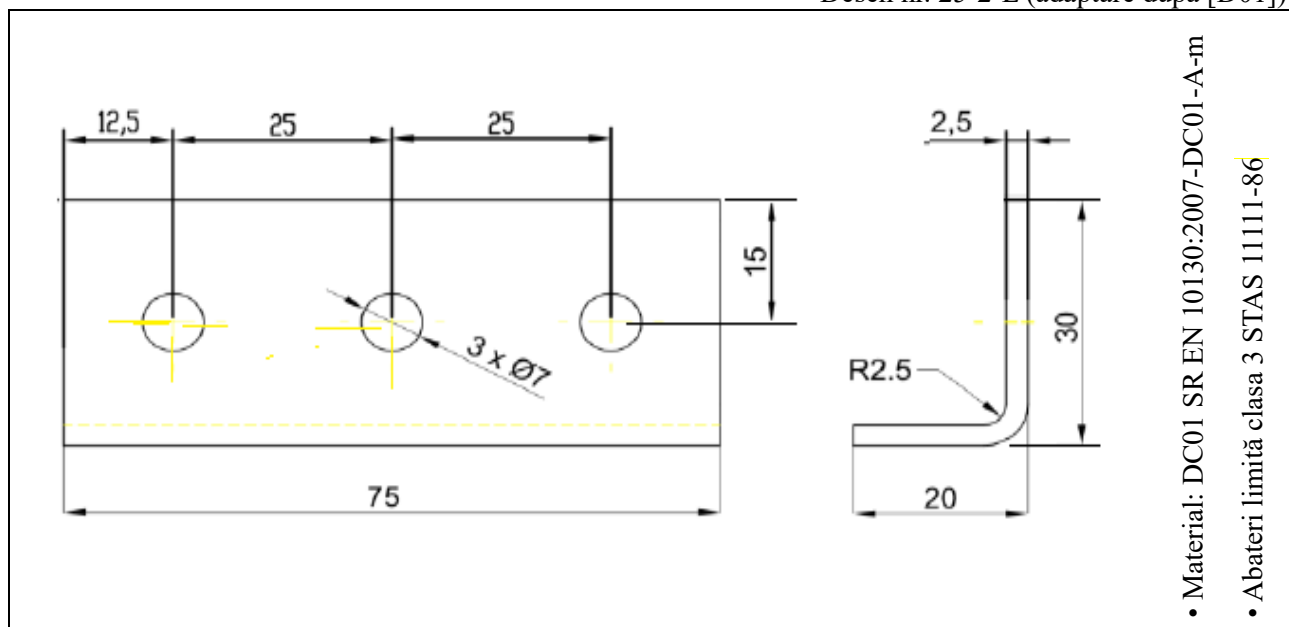


Desen nr. 20-2-Ω (adaptare după [D01])

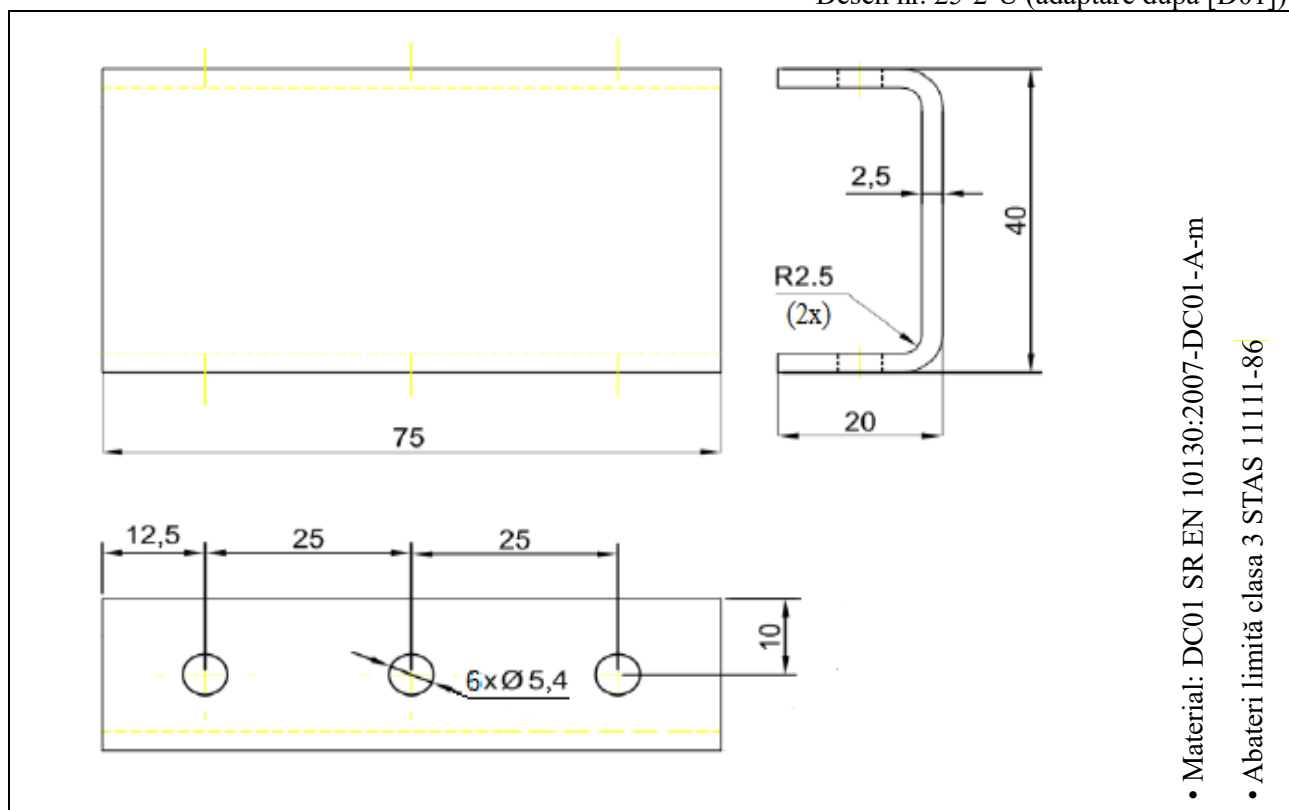


Anexa nr. 1

Desen nr. 25-2-L (adaptare după [D01])

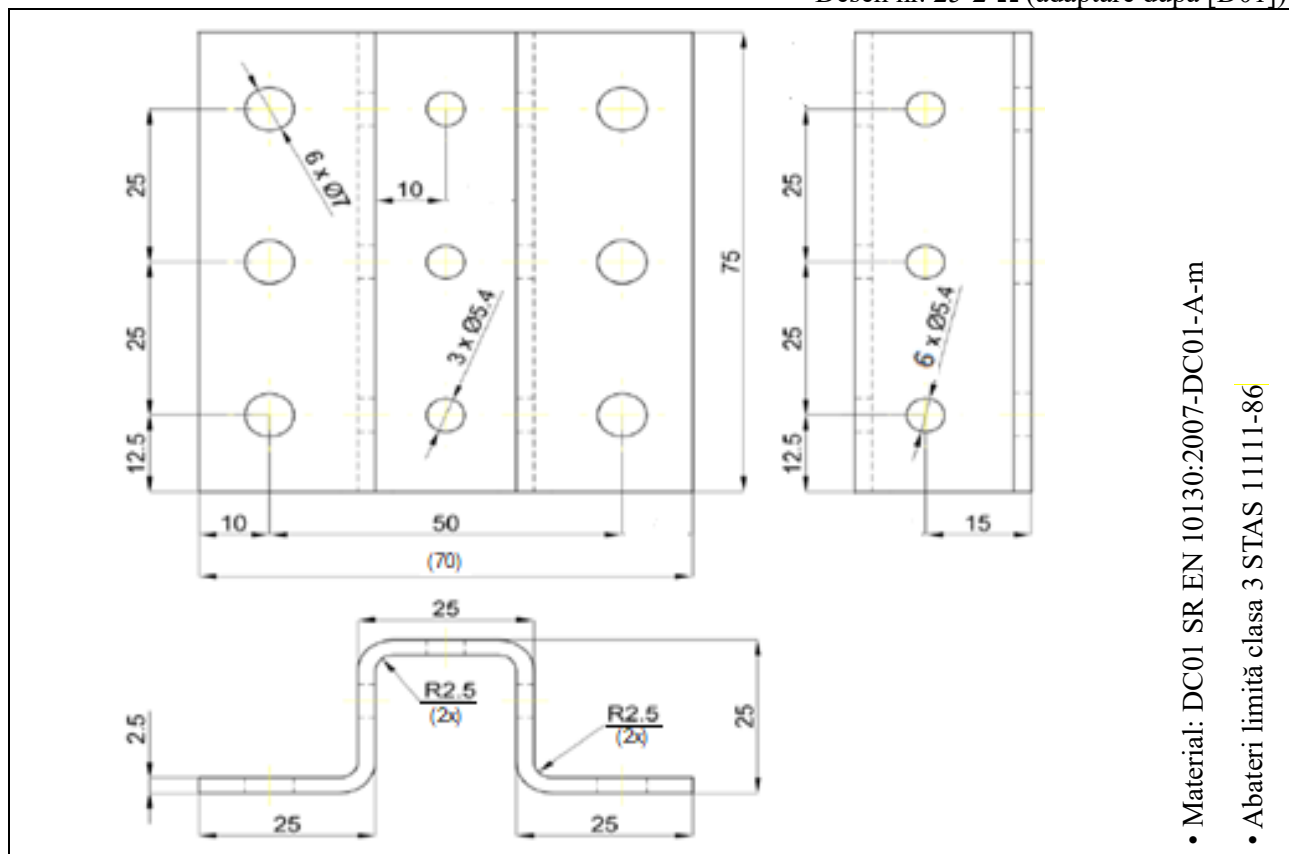


Desen nr. 25-2-U (adaptare după [D01])

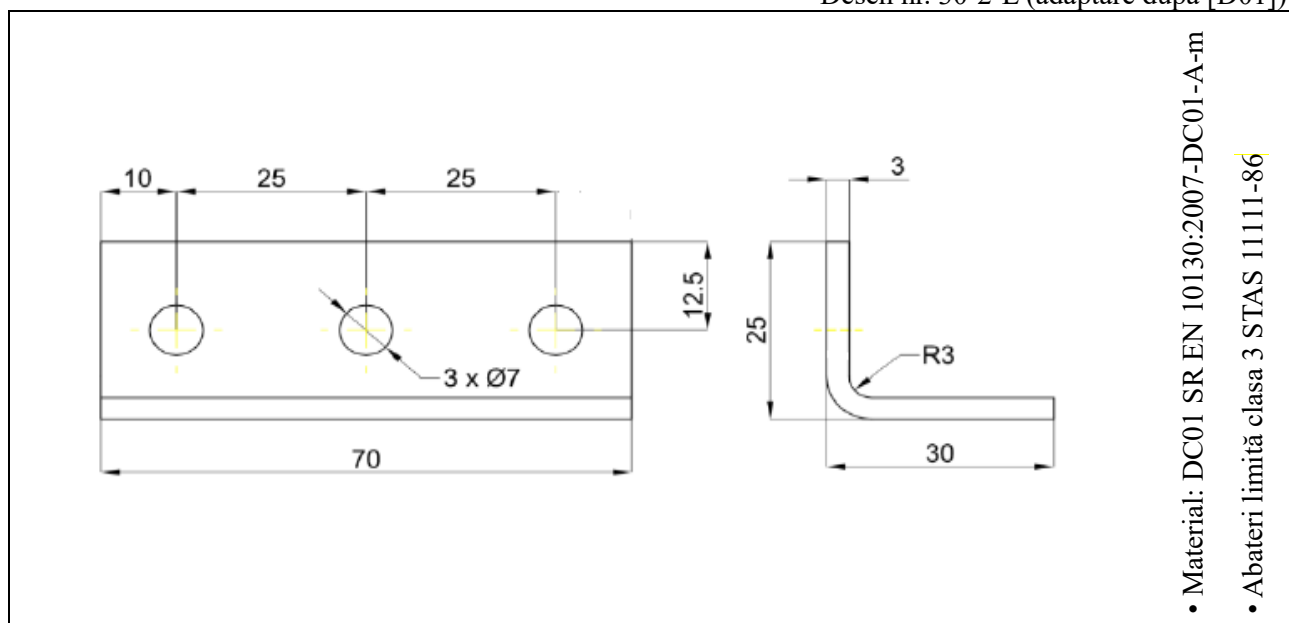


Anexa nr. 1

Desen nr. 25-2-Ω (adaptare după [D01])



Desen nr. 30-2-L (adaptare după [D01])



Anexa nr. 2. Date constructiv-funcționale privind mașini/ centre de prelucrare prin deformare plastică la rece

(1) Foarfecă ghilotină hidraulică/ Hydraulic Guillotine Shearing Machine CNC HVR 3100 x 10

Date constructiv – funcționale(adaptare după [DO6])		
	Grosimea max. a tablei	10 mm
	Unghiul de tăiere	0,5 – 2 grd
	Forță max. de tăiere	22 t
	Cursa lamei - cuțit	0,05 – 1,3 mm
	Număr de curse pe min.	12 - 22 1/min
	Cursa limitatorilor	10 00 mm
	Puterea motorului	22 kW
	Masa	10 000 kg
	Dimensiuni: 4500 x 2900 x 2150 mm	

(2) Mașină de ștanțat/ TRUMATIC Trumpf TC 200R

Date constructiv – funcționale (adaptare după [T07])		
	Grosimea max. a tablei	6,4 mm
	Masa maximă a piesei	150 kg
	Zona de lucru	2050 x 1250 mm
	Forță max. de ștanțare	165 kN
	Număr max. de scule	17
	Cadență max.	ștanțare 600 1/min
		marcare 1300 1/min
	Precizia de poziționare	± 0,1 mm
	Repetabilitate	± 0,03 mm
	Putere electrică	14 kVA
	Dimensiuni: 6000 x 5825 x 2080 mm	

(3) Mașină de ștanțat tip Boschert / CNC Punching Machine BOSCHERT TWIN/TRI 500 x 1000

Date constructiv – funcționale (adaptare după [B09])		
	Grosimea max. a tablei	12,7/ 6 mm
	Masa maximă a piesei	200 kg
	Alezaj ștanțat max.	Ø 105 mm
	Forță max. de ștanțare	280 kN
	Număr max. de scule	17
	Cadență max.	standard 250 1/min
		rapidă 800 1/min
	Precizia de poziționare	± 0,05 mm
	Repetabilitate	± 0,03 mm
	Putere motor hidraulic	4,8/ 11 kW
	Masa	7500 kg
	Dimensiuni: 4480 x 4088 x 2100 mm	

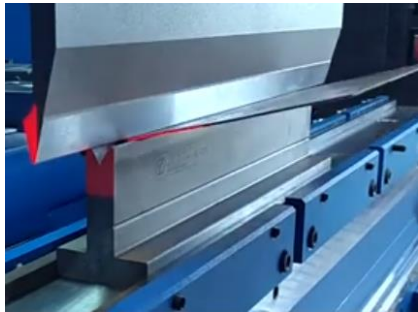
Anexa nr. 1**(4) Centru de ștanțare/ Punching centre CNC TruPunch 3000R**

Date constructiv – funcționale (adaptare după [T08])

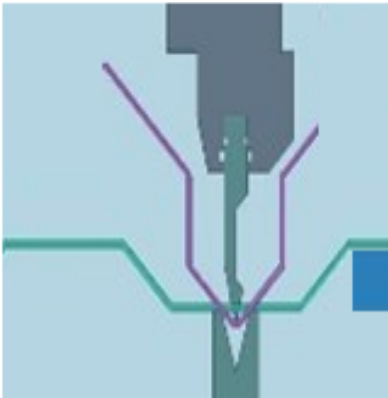


Grosime max. a tablei		6,4 mm
Masa maximă a piesei		150 kg
Forță max. de ștanțare		180 kN
Cadență max.	ștanțare	800 1/min
	inscripționare	1000 1/min
Zonă de lucru	regim ștanțare axa X	2500 mm
	regim de ștanțare axa Y	1250 mm
Timp schimbare sculă MultiTool		0,5 s
Număr de scule		18
Putere electrică medie		3,3 kW
Dimensiuni: 6282 x 6548 x 2200 mm		

(5) Presă de îndoire CNC G. Bend/ Boschert Gizelis G-TurboBend Press Brake

Date constructiv – funcționale (adaptare după [H07])		
		
	Forță de îndoire max.	40 - 400 kN
Lungimea de lucru max.		1550 mm
Cursa de lucru max.		250 mm
Viteza de lucru		20 mm/s
Masa		4500 kg
Putere electrică		11 kW
Dimensiuni: 2300 x 1550 x 2500 mm		

(6) Presă de îndoire/ HACO Atlantic 30135 CNC ERM 30135

Date constructiv – funcționale (adaptare după [H08])		
		
	Forță de îndoire max.	135 t
Lungimea de lucru max.		3100 mm
Cursa de lucru max.		200 mm
Viteza de lucru		10 mm/s
Masa		7800 kg
Putere electrică		15 kW
Dimensiuni: 3500 x 1700 x 2500 mm		

POLITEHNICA București	Teză de doctorat	Contribuții la modelarea și evaluarea preciziei unor grupuri de produse prelucrate prin deformare plastică la rece în sisteme industriale	PUȘCAȘ P.Neta (POPESCU)
Anexa nr. 3. Elemente ale analizei preciziei seriilor de semifabricate pentru piesele din grupurile obiectiv			

g, mm	1		
Clasa de precizie	1	2	3
Ls(m), mm	Abaterile limită, mm		
(25; 63]	± 0.25	± 0.5	± 1
(63; 160]	± 0.3	± 0.6	± 1.2
v. Capitol 6, Tabel 6.12			

Tabelul 6.13*. Elemente ale analizei preciziei la seriile de semifabricate
S1.m.1 (n = 5) pentru piesele din grupul A1.m.1

A1.m.1	Lt(m), mm	Ls(m), as(m), ΔL(m), m = 1, 2, 4	Ls(m) ^r , as(m) ^r , ΔL(m) ^r , mm	Ls(m) _j , as(m) _j și ΔL(m) _j , mm j = 1, n, n = 5					Clasa de precizie	$\frac{\overline{Ls(m)}}{as(m)},$ $\frac{\overline{\Delta L(m)}}{\Delta L(m)},$ mm
A1.1.1	35.7765	Ls(1)	35.46	35.47	35.45	35.47	35.47	35.47	1	35.466
		as(1)	0	0.01	-0.01	0.01	0.01	0.01		0.006
		ΔL(1)	0.3165	0.3065	0.3265	0.3065	0.3065	0.3065		0.3105
A1.2.1	86.553	Ls(2)	85.92	85.92	85.92	85.94	85.92	85.93	1	85.926
		as(2)	0	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01		0.006
		ΔL(2)	0.633	0.633	0.633	0.613	0.633	0.623		0.6270
A1.4.1	110.606	Ls(4)	109.34	109.34	109.33	109.35	109.33	109.35	1	109.34
		as(4)	0	0.00	-0.01	0.01	-0.01	0.01		0.000
		ΔL(4)	1.266	1.266	1.276	1.256	1.276	1.256		1.2660

$$n = 5 \quad \sqrt{n} = 2.236068 \quad t_{cr} = 2.132$$

$$|\bar{Y}_s - Y_{s^r}| \quad s \quad s/\sqrt{n} \quad t \quad t \leq t_{cr}$$

$$0.006 \quad 0.00894 \quad 0.00400 \quad 1.5000 \quad \checkmark$$

$$0.006 \quad 0.00894 \quad 0.00400 \quad 1.5000 \quad \checkmark$$

$$0.000 \quad 0.01000 \quad 0.00447 \quad 0.000 \quad \checkmark$$

Tabelul 6.14*. Elemente ale analizei preciziei la seriile de semifabricate
S1.m.2 (n = 5) pentru piesele din grupul A1.m.2

A1.m.2	Lt(m), mm	Ls(m), as(m), ΔL(m), m = 1, 2, 4	Ls(m) ^r , as(m) ^r , ΔL(m) ^r , mm	Ls(m) _j , as(m) _j și ΔL(m) _j , mm j = 1, n, n = 5					Clasa de precizie	$\frac{\overline{Ls(m)}}{as(m)},$ $\frac{\overline{\Delta L(m)}}{\Delta L(m)},$ mm
A1.1.2	35.7765	Ls(1)	35.70	35.74	35.72	35.72	35.71	35.71	1	35.720
		as(1)	0	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01		0.020
		ΔL(1)	0.0765	0.0365	0.0565	0.0565	0.0665	0.0665		0.0565
A1.2.2	86.553	Ls(2)	86.40	86.41	86.40	86.41	86.41	86.41	1	86.408
		as(2)	0	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01		0.008
		ΔL(2)	0.153	0.143	0.153	0.143	0.143	0.143		0.1450
A1.4.2	110.606	Ls(4)	110.42	110.42	110.42	110.42	110.41	110.42	1	110.42
		as(4)	0	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00		-0.002
		ΔL(4)	0.186	0.1860	0.1860	0.1860	0.1960	0.1860		0.1880

$$n = 5 \quad \sqrt{n} = 2.236068 \quad t_{cr} = 2.132$$

$$|\bar{Y}_s - Y_{s^r}| \quad s \quad s/\sqrt{n} \quad t \quad t \leq t_{cr}$$

$$0.020 \quad 0.01225 \quad 0.00548 \quad 3.6515$$

$$0.008 \quad 0.00447 \quad 0.00200 \quad 4.0000$$

$$0.002 \quad 0.00447 \quad 0.00200 \quad 1.0000 \quad \checkmark$$

Anexa nr. 3

g, mm	1,5		
Clasa de precizie	1	2	3
Ls(m), mm	Abaterile limită, mm		
(25; 63]	± 0.3	± 06	± 1,2
(63; 160]	± 0.4	± 0.8	± 1.5
v. Capitol 6, Tabel 6.12			

Tabelul 6.15*. Elemente ale analizei preciziei la seriile de semifabricate
S1,5.m.1 (n = 5) pentru piesele din grupul A1,5.m.1

A1,5.m.1	Lt(m), mm	Ls(m), as(m), ΔL(m), m = 1, 2, 4	Ls(m) ^r , as(m) ^r , ΔL(m) ^r , mm	Ls(m) _j , as(m) _j și ΔL(m) _j , mm j = 1, n, n = 5					Clasa de precizie	$\overline{Ls(m)}$, $\overline{as(m)}$, $\overline{\Delta L(m)}$, mm
A1,5.1.1	34.9148	Ls(1)	34.02	34.02	34.05	34.03	34.05	34.02	1	34.034
		as(1)	0	0.00	0.03	0.01	0.03	0.00		0.014
		ΔL(1)	0.8948	0.8948	0.8648	0.8848	0.8648	0.8948		0.8808
A1,5.2.1	69.8295	Ls(2)	68.04	68.07	68.05	68.05	68.06	68.06	1	68.058
		as(2)	0	0.03	0.01	0.01	0.02	0.02		0.018
		ΔL(2)	1.7895	1.7595	1.7795	1.7795	1.7695	1.7695		1.7715
A1,5.2.1	84.8295	Ls(2)	83.04	83.04	83.03	83.06	83.01	83.01	1	83.030
		as(2)	0	0.00	-0.01	0.02	-0.03	-0.03		-0.010
		ΔL(2)	1.7895	1.7895	1.7995	1.7695	1.8195	1.8195		1.7995

$$n = 5 \quad \sqrt{n} = 2.236068 \quad t_{cr} = 2.132$$

$$|\overline{Y_s} - Y_s^r| \quad s \quad s/\sqrt{n} \quad t \quad t \leq t_{cr}$$

$$0.014 \quad 0.01517 \quad 0.00678 \quad 2.0642 \quad \checkmark$$

$$0.018 \quad 0.00837 \quad 0.00374 \quad 4.8107$$

$$0.010 \quad 0.02121 \quad 0.00949 \quad 1.0541 \quad \checkmark$$

Tabelul 6.16*. Elemente ale analizei preciziei la seriile de semifabricate
S1,5.m.2 (n = 5) pentru piesele din grupul A1,5.m.2

A1,5.m.2	Lt(m), mm	Ls(m), as(m), ΔL(m), m = 1, 2, 4	Ls(m) ^r , as(m) ^r , ΔL(m) ^r , mm	Ls(m) _j , as(m) _j și ΔL(m) _j , mm j = 1, n, n = 5					Clasa de precizie	$\overline{Ls(m)}$, $\overline{as(m)}$, $\overline{\Delta L(m)}$, mm
A1,5.1.2	34.9148	Ls(1)	34.85	34.86	34.86	34.87	34.87	34.87	1	34.866
		as(1)	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02		0.016
		ΔL(1)	0.0648	0.0548	0.0548	0.0448	0.0448	0.0448		0.0488
A1,5.2.2	69.8295	Ls(2)	69.70	69.71	69.72	69.71	69.73	69.70	1	69.714
		as(2)	0	0.01	0.02	0.01	0.03	0.00		0.014
		ΔL(2)	0.1295	0.1195	0.1095	0.1195	0.0995	0.1295		0.1155
A1,5.2.2	84.8295	Ls(2)	84.7	84.7	84.68	84.69	84.71	84.71	1	84.698
		as(2)	0	0.00	-0.02	-0.01	0.01	0.01		-0.002
		ΔL(2)	0.1295	0.1295	0.1495	0.1395	0.1195	0.1195		0.1315

$$n = 5 \quad \sqrt{n} = 2.236068 \quad t_{cr} = 2.132$$

$$|\overline{Y_s} - Y_s^r| \quad s \quad s/\sqrt{n} \quad t \quad t \leq t_{cr}$$

$$0.016 \quad 0.00548 \quad 0.00245 \quad 6.5320$$

$$0.014 \quad 0.01140 \quad 0.00510 \quad 2.7456$$

$$0.002 \quad 0.01304 \quad 0.00583 \quad 0.3430 \quad \checkmark$$

g, mm	2
-------	---

Clasa de precizie	1	2	3
Ls(m), mm	Abaterile limită, mm		
(25; 63]	± 0.3	± 06	± 1,2
(63; 160]	± 0.4	± 0.8	± 1.5
v. Capitol 6, Tabel 6.12			

Tabelul 6.17*. Elemente ale analizei preciziei la seriile de semifabricate
S2.m.1 (n = 5) pentru piesele din grupul A2.m.1

A2.m.1	Lt(m), mm	Ls(m), as(m), ΔL(m), m = 1, 2, 4	Ls(m) ^r , as(m) ^r , ΔL(m) ^r , mm	Ls(m) _j , as(m) _j și ΔL(m) _j , mm j = $\overline{1, n}$, n = 5					Clasa de precizie	$\overline{Ls(m)}$, $\overline{as(m)}$, $\overline{\Delta L(m)}$, mm
A2.1.1	46.553	Ls(1)	46.06	46.09	46.12	46.1	46.09	46.08	1	46.096
		as(1)	0	0.03	0.06	0.04	0.03	0.02		0.036
		ΔL(1)	0.493	0.463	0.433	0.453	0.463	0.473		0.457
A2.2.1	83.106	Ls(2)	82.12	82.1	82.15	82.22	82.15	82.17	1	82.158
		as(2)	0	-0.02	0.03	0.10	0.03	0.05		0.038
		ΔL(2)	0.986	1.006	0.956	0.886	0.956	0.936		0.948
A2.4.1	96.212	Ls(2)	94.24	94.23	94.28	94.26	94.27	94.2	1	94.248
		as(4)	0	-0.01	0.04	0.02	0.03	-0.04		0.008
		ΔL(4)	1.972	1.982	1.932	1.952	1.942	2.012		1.964

$$n = 5 \quad \sqrt{n} = 2.236068 \quad t_{cr} = 2.132$$

$$|\bar{Y}_S - Y_S^r| \quad s \quad s/\sqrt{n} \quad t \quad t \leq t_{cr}$$

$$0.036 \quad 0.01517 \quad 0.00678 \quad 5.3079$$

$$0.038 \quad 0.04324 \quad 0.01934 \quad 1.9649 \quad \checkmark$$

$$0.008 \quad 0.03271 \quad 0.01463 \quad 0.5469 \quad \checkmark$$

Tabelul 6.18*. Elemente ale analizei preciziei la seriile de semifabricate
S2.m.2 (n = 5) pentru piesele din grupul A2.m.2

A2.m.2	Lt(m), mm	Ls(m), a _s (m), ΔL(m), m = 1, 2, 4	Ls(m) ^r , a _s (m) ^r , ΔL(m) ^r , mm	Ls(m) _j , a _s (m) _j și ΔL(m) _j , mm j = $\overline{1, n}$, n = 5					Clasa de precizie	$\overline{Ls(m)}$, $\overline{a_s(m)}$, $\overline{\Delta L(m)}$, mm
A2.1.2	46.553	Ls(1)	46.3	46.31	46.29	46.32	46.35	46.34	1	46.322
		a _s (1)	0	0.01	-0.01	0.02	0.05	0.04		0.022
		ΔL(1)	0.253	0.243	0.263	0.233	0.203	0.213		0.231
A2.2.2	83.106	Ls(2)	82.6	82.63	82.6	82.61	82.66	82.63	1	82.626
		a _s (2)	0	0.03	0.00	0.01	0.06	0.03		0.026
		ΔL(2)	0.506	0.476	0.506	0.496	0.446	0.476		0.480
A2.4.2	96.212	Ls(2)	96.08	96.18	96.19	96.23	96.23	96.24	1	96.214
		a _s (4)	0	0.10	0.11	0.15	0.15	0.16		0.134
		ΔL(4)	0.132	0.032	0.022	-0.018	-0.018	-0.028		-0.002

$$n = 5 \quad \sqrt{n} = 2.236068 \quad t_{cr} = 2.132$$

$$|\bar{Y}_S - Y_S^r| \quad s \quad s/\sqrt{n} \quad t \quad t \leq t_{cr}$$

$$0.022 \quad 0.02387 \quad 0.01068 \quad 2.0605 \quad \checkmark$$

$$0.026 \quad 0.02302 \quad 0.01030 \quad 2.5253$$

$$0.134 \quad 0.02702 \quad 0.01208 \quad 11.0899$$

g, mm	2,5		
Clasa de precizie	1	2	3
Ls(m), mm	Abaterile limită, mm		

(25; 63]	± 0.3	± 0.6	± 1,2
(63; 160]	± 0.4	± 0.8	± 1.5
v. Capitol 6, Tabel 6.12			

Tabelul 6.19*. Elemente ale analizei preciziei la seriile de semifabricate S2,5.m.1 (n = 5) pentru piesele din grupul A2,5.m.1

A2,5.m.1	Lt(m), mm	Ls(m), as(m), ΔL(m), m = 1, 2, 4	Ls(m) ^r , as(m) ^r , ΔL(m) ^r , mm	Ls(m) _j , as(m) _j și ΔL(m) _j , mm j = 1, n, n = 5					Clasa de precizie	$\frac{\overline{Ls(m)}}{as(m)},$ $\frac{\Delta L(m)}{\Delta L(m)},$ mm
A2,5.1.1	45.69125	Ls(1)	45.52	45.53	45.58	45.53	45.54	45.54	1	45.544
		as(1)	0	0.01	0.06	0.01	0.02	0.02		0.024
		ΔL(1)	0.1713	0.1613	0.1113	0.1613	0.1513	0.1513		0.1473
A2,5.2.1	71.3825	Ls(2)	71.04	71.05	71.03	71.09	71.01	71.05	1	71.046
		as(2)	0	0.01	-0.01	0.05	-0.03	0.01		0.006
		ΔL(2)	0.3425	0.3325	0.3525	0.2925	0.3725	0.3325		0.3365
A2,5.4.1	107.765	Ls(2)	107.08	106.98	107.09	107.08	107.11	107.09	1	107.07
		as(4)	0	-0.10	0.01	0.00	0.03	0.01		-0.010
		ΔL(4)	0.685	0.785	0.675	0.685	0.655	0.675		0.6950

$$n = 5 \quad \sqrt{n} = 2.236068 \quad t_{cr} = 2.132$$

$$|\bar{Y}_S - Y_S^r| \quad s \quad s/\sqrt{n} \quad t \quad t \leq t_{cr}$$

$$0.024 \quad 0.02074 \quad 0.00927 \quad 2.5880$$

$$0.006 \quad 0.02966 \quad 0.01327 \quad 0.4523 \quad \checkmark$$

$$0.010 \quad 0.05148 \quad 0.02302 \quad 0.4344 \quad \checkmark$$

Tabelul 6.20*. Elemente ale analizei preciziei la seriile de semifabricate S2,5.m.2 (n = 5) pentru piesele din grupul A2,5.m.2

A2,5.m.2	Lt(m), mm	Ls(m), as(m), ΔL(m), m = 1, 2, 4	Ls(m) ^r , as(m) ^r , ΔL(m) ^r , mm	Ls(m) _j , as(m) _j și ΔL(m) _j , mm j = 1, n, n = 5					Clasa de precizie	$\frac{\overline{Ls(m)}}{as(m)},$ $\frac{\Delta L(m)}{\Delta L(m)},$ mm
A2,5.1.2	45.69125	Ls(1)	45.6	45.61	45.62	45.63	45.61	45.63	1	45.620
		as(1)	0	0.01	0.02	0.03	0.01	0.03		0.020
		ΔL(1)	0.0913	0.0813	0.0713	0.0613	0.0813	0.0613		0.0713
A2,5.2.2	71.3825	Ls(2)	71.2	71.2	71.16	71.16	71.16	71.16	1	71.168
		as(2)	0	0.00	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04		-0.032
		ΔL(2)	0.1825	0.1825	0.2225	0.2225	0.2225	0.2225		0.2145
A2,5.4.2	107.765	Ls(2)	107.4	107.36	107.4	107.4	107.42	107.34	1	107.38
		as(4)	0	-0.04	0.00	0.00	0.02	-0.06		-0.016
		ΔL(4)	0.365	0.405	0.365	0.365	0.345	0.425		0.3810

$$n = 5 \quad \sqrt{n} = 2.236068 \quad t_{cr} = 2.132$$

$$|\bar{Y}_S - Y_S^r| \quad s \quad s/\sqrt{n} \quad t \quad t \leq t_{cr}$$

$$0.020 \quad 0.01000 \quad 0.00447 \quad 4.4721$$

$$0.032 \quad 0.01789 \quad 0.00800 \quad 4.0000$$

$$0.016 \quad 0.03286 \quad 0.01470 \quad 1.0887 \quad \checkmark$$

g, mm	3		
Clasa de precizie	1	2	3
Ls(m), mm	Abaterile limită, mm		
(25; 63]	± 0.3	± 0.6	± 1,2
(63; 160]	± 0.4	± 0.8	± 1.5
v. Capitol 6, Tabel 6.12			

Tabelul 6.21*. Elemente ale analizei preciziei la seriile de semifabricate
S3.m.1 (n = 5) pentru piesele din grupul A3.m.1

n = 5 $\sqrt{n} = 2.236068$ $t_{cr} = 2.132$

A3.m.1	Lt(m), mm	Ls(m), as(m), ΔL(m), m = 1, 2, 4	Ls(m) ^r , as(m) ^r , ΔL(m) ^r , mm	Ls(m) _j , as(m) _j și ΔL(m) _j , j = 1, n, n = 5 mm					Clasa de precizie	$\frac{\overline{Ls(m)}}{as(m)},$ $\frac{\overline{\Delta L(m)}}{\Delta L(m)}$, mm
A3.1.1	49.8295	Ls(1)	49.92	49.94	49.97	49.87	49.88	49.84	1	49.900
		as(1)	0	0.02	0.05	-0.05	-0.04	-0.08		-0.020
		ΔL(1)	-0.0905	-0.111	-0.141	-0.041	-0.051	-0.011		-0.071
A3.2.1	79.659	Ls(2)	79.84	79.75	79.78	79.79	79.82	79.83	1	79.794
		as(2)	0	-0.09	-0.06	-0.05	-0.02	-0.01		-0.046
		ΔL(2)	-0.181	-0.091	-0.121	-0.131	-0.161	-0.171		-0.135
A3.2.1	79.659	Ls(2)	79.84	79.87	79.87	79.83	79.85	79.85	1	79.854
		as(2)	0	0.03	0.03	-0.01	0.01	0.01		0.014
		ΔL(2)	-0.181	-0.211	-0.211	-0.171	-0.191	-0.191		-0.195

$|\overline{Ys} - Ys^r|$ s $s/\sqrt{n}$ t $t \leq t_{cr}$

0.020 0.05339 0.02387 0.8377 ✓

0.046 0.03209 0.01435 3.2050

0.014 0.01673 0.00748 1.8708 ✓

Tabelul 6.22*. Elemente ale analizei preciziei la seriile de semifabricate
S3.m.2 (n = 5) pentru piesele din grupul A3.m.2

n = 5 $\sqrt{n} = 2.236068$ $t_{cr} = 2.132$

A3.m.2	Lt(m), mm	Ls(m), as(m), ΔL(m), m = 1, 2, 4	Ls(m) ^r , as(m) ^r , ΔL(m) ^r , mm	Ls(m) _j , as(m) _j și ΔL(m) _j , j = 1, n, n = 5 mm					Clasa de precizie	$\frac{\overline{Ls(m)}}{as(m)},$ $\frac{\overline{\Delta L(m)}}{\Delta L(m)}$, mm
A3.1.2	49.8295	Ls(1)	49.69	49.68	49.65	49.64	49.63	49.72	1	49.664
		as(1)	0	-0.01	-0.04	-0.05	-0.06	0.03		-0.026
		ΔL(1)	0.1395	0.1495	0.1795	0.1895	0.1995	0.1095		0.1655
A3.2.2	79.659	Ls(2)	79.38	79.34	79.36	79.43	79.38	79.37	1	79.376
		as(2)	0	-0.04	-0.02	0.05	0.00	-0.01		-0.004
		ΔL(2)	0.279	0.319	0.299	0.229	0.279	0.289		0.2830
A3.2.2	79.659	Ls(2)	79.38	79.40	79.36	79.34	79.37	79.41	1	79.376
		as(2)	0	0.02	-0.02	-0.04	-0.01	0.03		-0.004
		ΔL(2)	0.279	0.259	0.299	0.319	0.289	0.249		0.2830

$|\overline{Ys} - Ys^r|$ s $s/\sqrt{n}$ t $t \leq t_{cr}$

0.026 0.03647 0.01631 1.5942 ✓

0.004 0.03362 0.01503 0.2661 ✓

0.004 0.02881 0.01288 0.3105 ✓

g, mm	1		
Clasa de precizie	1	2	3
L_N , mm	Abaterile limită, mm		
(10; 25]	± 0.4	± 0.8	± 1.6
(25; 55]	± 0.5	± 1	± 2
v. Capitol 7, Tabel 7.2			

Tabelul 7.7*- 7.8*. Elemente ale analizei preciziei la seriile de piese A1.m.v (n=5)

$$\sqrt{n} = 2.236068 \quad (n = 5) \quad t_{cr} = 2.132$$

A1.m.1	L(m), a(m)	L _N , a _N , mm	L _j , a _j , mm, j = 1, n, n=5						L _{jmin} , a _{jmin} , mm	L _{jmax} , a _{jmax} , mm	Clasa de precizie	L̄, ā, mm	L̄ – L _N	s	s/√n	t	t ≤ t _{cr}
A1.1.1	L(1)	12.5	12.46	12.48	12.68	12.57	12.49	12.46	12.68	1	12.536	0.036	0.090719	0.04057	0.8873	✓	
	a(1)	0	-0.04	-0.02	0.18	0.07	-0.01	-0.04	0.18		-0.036						
	L(1)	25	24.67	24.69	24.48	24.61	24.67	24.48	24.69	2	24.624	0.376	0.085907	0.03842	9.7869		
	a(1)	0	-0.33	-0.31	-0.52	-0.39	-0.33	-0.52	-0.31		-0.376						
A1.2.1	L(1)	25	24.84	24.86	24.86	24.91	24.86	24.84	24.91	1	24.866	0.134	0.026077	0.01166	11.4904		
	a(1)	0	-0.16	-0.14	-0.14	-0.09	-0.14	-0.16	-0.09		-0.134						
	L(1)	25	24.91	24.89	24.89	24.91	24.88	24.88	24.91	1	24.896	0.104	0.013416	0.00600	17.3333		
	a(1)	0	-0.09	-0.11	-0.11	-0.09	-0.12	-0.12	-0.09		-0.104						
	L(2)	40	39.54	39.56	39.55	39.50	39.68	39.50	39.68	1	39.566	0.434	0.067676	0.03027	14.3398		
	a(2)	0	-0.46	-0.44	-0.45	-0.50	-0.32	-0.50	-0.32		-0.434						
A1.4.1	L(1)	10	9.90	9.79	9.88	9.92	9.91	9.79	9.92	1	9.880	0.120	0.052440	0.02345	5.1168		
	a(1)	0	-0.10	-0.21	-0.12	-0.08	-0.09	-0.21	-0.08		-0.120						
	L(1)	12.5	12.38	12.43	12.38	12.45	12.44	12.38	12.45	1	12.416	0.084	0.033615	0.01503	5.5876		
	a(1)	0	-0.12	-0.07	-0.12	-0.05	-0.06	-0.12	-0.05		-0.084						
	L(2)	20	19.88	20.13	19.94	19.91	19.88	19.88	20.13	1	19.948	0.052	0.104738	0.04684	1.1102	✓	
	a(2)	0	-0.12	0.13	-0.06	-0.09	-0.12	-0.12	0.13		-0.052						
	L(2)	20	19.84	20.00	19.90	19.90	19.82	19.82	20.00	1	19.892	0.108	0.070143	0.03137	3.4429		
	a(2)	0	-0.16	0.00	-0.10	-0.10	-0.18	-0.18	0.00		-0.108						
L(2)	55	54.16	53.98	53.98	53.99	54.08	53.98	54.16	3	54.038	0.962	0.080125	0.03583	26.8468			
a(2)	0	-0.84	-1.02	-1.02	-1.01	-0.92	-1.02	-0.84		-0.962							
A1.m.2																	
A1.1.2	L(1)	12.5	12.5	12.5	12.49	12.5	12.49	12.45	12.50	1	12.482	0.018	0.019235	0.00860	2.0925	✓	
	a(1)	0	-0.05	0.00	-0.01	-0.02	-0.01	-0.05	0.00		-0.018						
	L(1)	25	24.9	24.89	24.89	24.9	24.92	24.89	24.92	1	24.906	0.094	0.015166	0.00678	13.8595		
	a(1)	0	-0.08	-0.11	-0.11	-0.09	-0.08	-0.11	-0.08		-0.094						
A1.2.2	L(1)	25	25	24.85	24.99	25	24.86	24.85	24.99	1	24.930	0.070	0.068920	0.03082	2.2711		
	a(1)	0	-0.03	-0.15	-0.01	-0.02	-0.14	-0.15	-0.01		-0.070						
	L(1)	25	25	24.89	25.04	25	25.03	24.89	25.04	1	24.980	0.020	0.060000	0.02683	0.7454	✓	
	a(1)	0	-0.03	-0.11	0.04	-0.03	0.03	-0.11	0.04		-0.020						
	L(2)	40	39.9	40.46	39.89	39.9	39.87	39.87	40.46	1	39.998	0.002	0.258592	0.11565	0.0173	✓	
	a(2)	0	-0.13	0.46	-0.11	-0.10	-0.13	-0.13	0.46		-0.002						
A1.4.2	L(1)	10	9.73	9.88	9.91	9.8	9.83	9.83	9.91	1	9.830	0.170	0.070356	0.03146	5.4030		
	a(1)	0	-0.27	-0.12	-0.09	-0.20	-0.17	-0.27	-0.09		-0.170						
	L(1)	12.5	12.4	12.45	12.41	12.4	12.46	12.40	12.46	1	12.430	0.070	0.025495	0.01140	6.1394		
	a(1)	0	-0.07	-0.05	-0.09	-0.10	-0.04	-0.10	-0.04		-0.070						
	L(2)	20	20	19.87	19.96	19.9	19.94	19.87	20.02	1	19.946	0.054	0.053666	0.02400	2.2500		
	a(2)	0	0.02	-0.13	-0.04	-0.06	-0.06	-0.13	0.02		-0.054						
	L(2)	20	19.9	19.83	19.86	19.9	19.93	19.83	19.94	1	19.896	0.104	0.048270	0.02159	4.8177		
	a(2)	0	-0.06	-0.17	-0.14	-0.08	-0.07	-0.17	-0.06		-0.104						
L(2)	55	55.3	55.18	55.08	55.2	55.15	55.08	55.25	3	55.176	0.176	0.065803	0.02943	5.9807			
a(2)	0	0.25	0.18	0.08	0.22	0.15	0.08	0.25		0.176							

Anexa nr. 4

g, mm	1,5		
Clasa de precizie	1	2	3
L_N , mm	Abaterile limită, mm		
(10; 25]	± 0.5	± 1	± 2
(25; 55]	± 0.6	± 1.2	± 2.4
v. Capitol 7, Tabel 7.2			

Tabelul 7.9 *-7.10*. Elemente ale analizei preciziei la seriile de piese A1,5.m.v (n=5)

$$\sqrt{n} = 2.236068 \quad (n = 5) \quad t_{cr} = 2.132$$

A1,5.m.1	L($\bar{m}$), a($\bar{m}$)	L _N , a _N , mm	L _j , a _j , mm, j = $\overline{1, n}$, n =5					L _{jmin} , a _{jmin} , mm	L _{jmax} , a _{jmax} , mm	Clasa de precizie	$\bar{L}$, $\bar{a}$, mm
A1,5.1.1	L(1)	12.5	12.6	12.51	12.53	12.5	12.55	12.51	12.55	1	12.532
	a(1)	0	0.05	0.01	0.03	0.02	0.05	0.01	0.05		0.032
	L(1)	25	24.3	24.32	24.33	24.3	24.33	24.30	24.33	2	24.322
	a(1)	0	-0.70	-0.68	-0.67	-0.67	-0.67	-0.70	-0.67		-0.678
A'1,5.2.1	L(1)	20	20	20.04	19.93	20	19.92	19.92	20.04	1	19.982
	a(1)	0	-0.01	0.04	-0.07	0.03	-0.08	-0.08	0.04		-0.018
	L(1)	30	30	30.02	29.99	28.8	28.56	28.56	30.03	3	29.472
	a(1)	0	0.03	0.02	-0.01	-1.24	-1.44	-1.44	0.03		-0.528
	L(2)	25	23.6	23.50	23.65	24.80	25.18	23.50	25.18	3	24.148
	a(2)	0	-1.39	-1.50	-1.35	-0.20	0.18	-1.50	0.18		-0.852
A''1,5.2.1	L(1)	20	20	19.93	19.85	19.9	19.92	19.85	19.98	1	19.922
	a(1)	0	-0.02	-0.07	-0.15	-0.07	-0.08	-0.15	-0.02		-0.078
	L(1)	30	30	30.07	30.01	30	30.04	29.99	30.07	1	30.028
	a(1)	0	0.03	0.07	0.01	-0.01	0.04	-0.01	0.07		0.028
	L(2)	40	38.7	38.58	38.79	38.9	38.78	38.58	38.85	3	38.740
	a(2)	0	-1.30	-1.42	-1.21	-1.15	-1.22	-1.42	-1.15		-1.260
A1,5.m.2											
A1,5.1.2	L(1)	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.52	12.50	12.52	1	12.512
	a(1)	0	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.02		0.012
	L(1)	25	25.2	25.18	25.19	25.2	25.18	25.16	25.20	1	25.182
	a(1)	0	0.20	0.18	0.19	0.16	0.18	0.16	0.20		0.182
A'1,5.2.2	L(1)	20	20	19.91	19.94	20	19.93	19.91	19.95	1	19.936
	a(1)	0	-0.05	-0.09	-0.06	-0.05	-0.07	-0.09	-0.05		-0.064
	L(1)	30	30	29.97	30.01	30	29.95	29.95	30.01	1	29.984
	a(1)	0	0.00	-0.03	0.01	-0.01	-0.05	-0.05	0.01		-0.016
	L(2)	25	25.4	25.42	25.35	25.4	25.39	25.35	25.42	1	25.378
	a(2)	0	0.38	0.42	0.35	0.35	0.39	0.35	0.42		0.378
A''1,5.2.2	L(1)	20	19.9	19.87	19.91	19.9	19.93	9.83	19.93	1	19.914
	a(1)	0	-0.07	-0.13	-0.09	-0.07	-0.07	-0.13	-0.07		-0.086
	L(1)	30	30	29.98	29.99	30	30.00	29.98	30.02	1	30.000
	a(1)	0	0.02	-0.02	-0.01	0.01	0.00	-0.02	0.02		0.000
	L(2)	40	40.4	40.53	40.47	40.4	40.46	40.42	40.53	2	40.462
	a(2)	0	0.42	0.53	0.47	0.43	0.46	0.42	0.53		0.462

$$|\bar{L} - L_N| \quad s \quad s/\sqrt{n} \quad t \quad t \leq t_{cr}$$

0.032	0.017889	0.00800	4.0000	
0.678	0.013038	0.00583	116.2760	
0.018	0.055408	0.02478	0.7264	✓
0.528	0.744762	0.33307	1.5853	✓
0.852	0.782221	0.34982	2.4355	
0.078	0.046583	0.02083	3.7441	
0.028	0.030332	0.01356	2.0642	✓
1.260	0.104163	0.04658	27.0483	
0.012	0.010954	0.00490	2.4495	
0.182	0.014832	0.00663	27.4375	
0.064	0.016733	0.00748	8.5524	
0.016	0.024083	0.01077	1.4856	✓
0.378	0.029496	0.01319	28.6561	
0.086	0.026077	0.01166	7.3744	
0.000	0.015811	0.00707	0.0000	✓
0.462	0.043243	0.01934	23.8895	

g, mm	2		
Clasa de precizie	1	2	3

Anexa nr. 4

L_N , mm	Abaterile limită, mm		
(10; 25]	± 0.5	± 1	± 2
(25; 55]	± 0.6	± 1.2	± 2.4
v. Capitol 7, Tabel 7.2			

Tabelul 7.11 *-7.12*. Elemente ale analizei preciziei la seriile de piese A2.m.v (n=5)

$$\sqrt{n} = 2.236068 \quad (n = 5) \quad t_{cr} = 2.132$$

A2.m.1	$L(\bar{m})$, $a(\bar{m})$	L_N , a_N , mm	L_j, a_j , mm, $j = \overline{1, n}, n = 5$							L_{jmin} , a_{jmin} , mm	L_{jmax} , a_{jmax} , mm	Clasa de precizie	$\bar{L}, \bar{a}$, mm
A2.1.1	L(1)	20	20.1	20.01	20.02	20.1	20.08	20.01	20.09			1	20.054
	a(1)	0	0.09	0.01	0.02	0.07	0.08	0.01	0.09				0.054
	L(1)	30	29.6	29.71	29.64	29.6	29.56	29.56	29.71			1	29.630
	a(1)	0	-0.40	-0.29	-0.36	-0.36	-0.44	-0.44	-0.29				-0.370
A2.2.1	L(1)	20	20	19.95	20.1	20	19.96	19.95	20.10			1	19.990
	a(1)	0	-0.02	-0.05	0.10	-0.04	-0.04	-0.05	0.10				-0.010
	L(1)	20	20	19.91	20.1	19.9	19.99	19.91	20.10			1	19.986
	a(1)	0	-0.01	-0.09	0.10	-0.06	-0.01	-0.09	0.10				-0.014
	L(2)	50	49.1	49.25	48.89	49.1	49.12	48.89	49.25			2	49.092
	a(2)	0	-0.92	-0.75	-1.11	-0.88	-0.88	-1.11	-0.75				-0.908
A2.4.1	L(1)	10	9.95	9.82	9.75	9.79	10.22	9.75	10.22			1	9.906
	a(1)	0	-0.05	-0.18	-0.25	-0.21	0.22	-0.25	0.22				-0.094
	L(1)	10	9.96	9.75	9.73	9.82	10.20	9.73	10.20			1	9.892
	a(1)	0	-0.04	-0.25	-0.27	-0.18	0.20	-0.27	0.20				-0.108
	L(2)	20	20	20.08	20.02	20.1	19.95	19.95	20.08			1	20.024
	a(2)	0	0.02	0.08	0.02	0.05	-0.05	-0.05	0.08				0.024
	L(2)	20	20.50	20.03	19.98	20.1	19.96	19.96	20.50			1	20.106
	a(2)	0	0.50	0.03	-0.02	0.06	-0.04	-0.04	0.50				0.106
	L(2)	50	48	48.35	48.5	48.3	47.62	47.62	48.50			3	48.144
	a(2)	0	-2.02	-1.65	-1.50	-1.73	-2.38	-2.38	-1.50				-1.856
A2.m.2													
A2.1.2	L(1)	20	20	20.05	20	20	20	20.00	20.05			1	20.024
	a(1)	0	0.03	0.05	0.00	0.04	0.00	0.00	0.05				0.024
	L(1)	30	29.8	29.8	29.84	29.8	29.81	29.80	29.84			1	29.814
	a(1)	0	-0.19	-0.20	-0.16	-0.19	-0.19	-0.20	-0.16				-0.186
A2.2.2	L(1)	20	20	20.02	20.00	20	19.94	19.94	20.02			1	19.980
	a(1)	0	-0.03	0.02	0.00	-0.03	-0.06	-0.06	0.02				-0.020
	L(1)	20	20	19.83	19.98	20.00	19.97	19.83	20.01			1	19.958
	a(1)	0	0.01	-0.17	-0.02	0.00	-0.03	-0.17	0.01				-0.042
	L(2)	50	49.6	49.76	49.62	49.54	49.67	49.54	49.76			1	49.644
	a(2)	0	-0.37	-0.24	-0.38	-0.46	-0.33	-0.46	-0.24				-0.356
A2.4.2	L(1)	10	9.86	9.93	9.82	10.00	9.89	9.82	10.00			1	9.900
	a(1)	0	-0.14	-0.07	-0.18	0.00	-0.11	-0.18	0.00				-0.100
	L(1)	10	9.87	9.87	9.83	9.98	9.94	9.83	9.98			1	9.898
	a(1)	0	-0.13	-0.13	-0.17	-0.02	-0.06	-0.17	-0.02				-0.102
	L(2)	20	20	20.05	20.04	20	20.05	19.97	20.05			1	20.028
	a(2)	0	0.03	0.05	0.04	-0.03	0.05	-0.03	0.05				0.028
	L(2)	20	20.00	20.03	20.03	20.1	20.01	20.00	20.09			1	20.032
	a(2)	0	0.00	0.03	0.03	0.09	0.01	0.00	0.09				0.032
	L(2)	50	50.7	50.77	50.84	50.6	50.72	50.56	50.84			2	50.716
	a(2)	0	0.69	0.77	0.84	0.56	0.72	0.56	0.84				0.716

$ \bar{L} - L_N $	s	$s/\sqrt{n}$	t	$t \leq t_{cr}$
0.054	0.036469	0.01631	3.3110	
0.370	0.055678	0.02490	14.8596	
0.010	0.062450	0.02793	0.3581	✓
0.014	0.072319	0.03234	0.4329	✓
0.908	0.129885	0.05809	15.6320	
0.094	0.190866	0.08536	1.1012	✓
0.108	0.194345	0.08691	1.2426	✓
0.024	0.048270	0.02159	1.1118	✓
0.106	0.223786	0.10008	1.0592	✓
1.856	0.348755	0.15597	11.8999	
0.024	0.023022	0.01030	2.3311	
0.186	0.015166	0.00678	27.4242	
0.020	0.030822	0.01378	1.4510	✓
0.042	0.073280	0.03277	1.2816	✓
0.356	0.080187	0.03586	9.9273	
0.100	0.068920	0.03082	3.2444	
0.102	0.060581	0.02709	3.7649	
0.028	0.033466	0.01497	1.8708	✓
0.032	0.034928	0.01562	2.0486	✓
0.716	0.104067	0.04654	15.3845	

g, mm	2,5		
Clasa de precizie	1	2	3
L_N , mm	Abaterile limită, mm		
(10; 25]	± 0.5	± 1	± 2

(25; 55]	± 0.6	± 1.2	± 2.4
v. Capitol 7, Tabel 7.2			

Tabelul 7.13 *-7.14*. Elemente ale analizei preciziei la seriile de piese A2,5.m.v (n=5)

$$\sqrt{n} = 2.236068 \quad (n = 5) \quad t_{cr} = 2.132$$

A2,5.m.1	L(m), a(m)	L _N , a _N , mm	L _j , a _j , mm, j = 1, n, n = 5						L _{jmin} , a _{jmin} , mm	L _{jmax} , a _{jmax} , mm	Clasa de precizie	L̄, ā, mm	L̄ - L _N	s	s/√n	t	t ≤ t _{cr}
A2,5.1.1	L(1)	20	19.9	20.04	19.86	20	19.79	19.79	20.04	1	1	19.906	0.094	0.101390	0.04534	2.0731	✓
	a(1)	0	-0.14	0.04	-0.14	-0.02	-0.21	-0.21	0.04			-0.094					
	L(1)	30	30.2	30.07	30.5	30.1	30.2	30.07	30.50	1	1	30.212	0.212	0.170499	0.07625	2.7803	
	a(1)	0	0.19	0.07	0.50	0.10	0.20	0.07	0.50			0.212					
A2,5.2.1	L(1)	20	19.8	19.84	19.95	19.9	19.92	19.77	19.95	1	1	19.880	0.120	0.073824	0.03302	3.6347	
	a(1)	0	-0.23	-0.16	-0.05	-0.08	-0.08	-0.23	-0.05			-0.120					
	L(1)	20	20	19.88	19.93	20	19.98	19.88	20.01	1	1	19.956	0.044	0.051284	0.02293	1.9185	✓
	a(1)	0	-0.02	-0.12	-0.07	0.01	-0.02	-0.12	0.01			-0.044					
	L(2)	40	40.2	40.35	40.2	40.3	40.23	40.17	40.35	1	1	40.240	0.240	0.068557	0.03066	7.8279	
	a(2)	0	0.17	0.35	0.20	0.25	0.23	0.17	0.35			0.240					
A2,5.4.1	L(1)	25	24.80	24.98	24.96	25	25.19	24.80	25.19	1	1	24.980	0.020	0.138744	0.06205	0.3223	✓
	a(1)	0	-0.20	-0.02	-0.04	-0.03	0.19	-0.20	0.19			-0.020					
	L(1)	25	25	24.89	24.9	25	25.14	24.89	25.14	1	1	24.984	0.016	0.105499	0.04718	0.3391	✓
	a(1)	0	-0.05	-0.11	-0.10	0.04	0.14	-0.11	0.14			-0.016					
	L(2)	25	25	25.11	25.04	25.1	25.34	25.02	25.34	1	1	25.128	0.128	0.127161	0.05687	2.2508	
	a(2)	0	0.02	0.11	0.04	0.13	0.34	0.02	0.34			0.128					
	L(2)	25	25	25.05	24.98	24.8	24.52	24.52	25.05	2	2	24.852	0.148	0.216726	0.09692	1.5270	✓
	a(2)	0	-0.04	0.05	-0.02	-0.25	-0.48	-0.48	0.05			-0.148					
A2,5.4.1	L(2)	25	25.2	25.11	24.98	25.1	25.3	24.98	25.30	1	1	25.134	0.134	0.115888	0.05183	2.5855	
	a(2)	0	0.17	0.11	-0.02	0.11	0.30	-0.02	0.30			0.134					
A2,5.m.2																	
A2,5.1.2	L(1)	20	19.9	19.86	19.8	19.9	19.93	19.80	19.93	1	1	19.878	0.122	0.052154	0.02332	5.2307	
	a(1)	0	-0.08	-0.14	-0.20	-0.12	-0.07	-0.20	-0.07			-0.122					
	L(1)	30	30.3	30.31	30.42	30.3	30.3	30.27	30.42	1	1	30.320	0.320	0.057879	0.02588	12.3627	
	a(1)	0	0.27	0.31	0.42	0.30	0.30	0.27	0.42			0.320					
A2,5.2.2	L(1)	20	20	19.95	19.88	20	19.95	19.88	19.99	1	1	19.950	0.050	0.043012	0.01924	2.5994	
	a(1)	0	-0.01	-0.05	-0.12	-0.02	-0.05	-0.12	-0.01			-0.050					
	L(1)	20	20	20.00	20.00	19.9	20.02	19.92	20.02	1	1	19.986	0.014	0.038471	0.01720	0.8137	✓
	a(1)	0	-0.01	0.00	0.00	-0.08	0.02	-0.08	0.02			-0.014					
	L(2)	40	40.3	40.29	40.36	40.4	40.25	40.25	40.36	1	1	40.318	0.318	0.047645	0.02131	14.9245	
	a(2)	0	0.33	0.29	0.36	0.36	0.25	0.25	0.36			0.318					
A2,5.4.2	L(1)	25	24.8	24.79	24.88	24.9	24.9	24.79	24.92	1	1	24.862	0.138	0.054955	0.02458	5.6151	
	a(1)	0	-0.18	-0.21	-0.12	-0.08	-0.10	-0.21	-0.08			-0.138					
	L(1)	25	24.9	25.05	24.98	24.9	25.1	24.89	25.10	1	1	24.990	0.010	0.085732	0.03834	0.2608	✓
	a(1)	0	-0.07	0.05	-0.02	-0.11	0.10	-0.11	0.10			-0.010					
	L(2)	25	25.6	25.6	25.59	25.5	25.42	25.42	25.60	2	2	25.532	0.532	0.075961	0.03397	15.6606	
	a(2)	0	0.56	0.60	0.59	0.49	0.42	0.42	0.60			0.532					
	L(2)	25	24.9	24.92	24.88	25.1	25.1	24.87	25.10	1	1	24.972	0.028	0.113886	0.05093	0.5498	✓
	a(2)	0	-0.13	-0.08	-0.12	0.09	0.10	-0.13	0.10			-0.028					
A2,5.4.2	L(2)	25	24.9	24.81	24.88	24.9	24.92	24.81	24.92	1	1	24.868	0.132	0.040866	0.01828	7.2227	
	a(2)	0	-0.15	-0.19	-0.12	-0.12	-0.08	-0.19	-0.08			-0.132					

g, mm	3		
Clasa de precizie	1	2	3
L _N , mm	Abaterile limită, mm		
(10; 25]	± 0.5	± 1	± 2
(25; 55]	± 0.6	± 1.2	± 2.4

Tabelul 7.15 *-7.16*. Elemente ale analizei preciziei la seriile de piese A3.m.v (n=5)

 $\sqrt{n} = 2.236068$ (n = 5) $t_{cr} = 2.132$

A3.m.1	L(m), a(m)	L _N , a _N , mm	L _j , a _j , mm, j = 1, n, n = 5							L _{jmin} , a _{jmin} , mm	L _{jmax} , a _{jmax} , mm	Clasa de precizie	L̄, ā, mm	L̄ - L _N	s	s/√n	t	t ≤ t _{cr}
A3.1.1	L(1)	25	24.88	24.91	25.14	25.10	25.03	24.88	25.14			1	25.012	0.012	0.114324	0.05113	0.2347	✓
	a(1)	0	-0.12	-0.09	0.14	0.10	0.03	-0.12	0.14				0.012					
	L(1)	30	30.95	30.91	30.66	30.66	30.76	30.66	30.95			2	30.788	0.788	0.136638	0.06111	12.8955	
	a(1)	0	0.95	0.91	0.66	0.66	0.76	0.66	0.95				0.788					
A3.2.1	L(1)	25	25.07	25.02	25.02	25.01	24.85	24.85	25.07			1	24.994	0.006	0.083845	0.03750	0.1600	✓
	a(1)	0	0.07	0.02	0.02	0.01	-0.15	-0.15	0.07				-0.006					
	L(1)	25	24.98	24.88	24.96	24.96	24.93	24.88	24.98			1	24.942	0.058	0.038987	0.01744	3.3265	
	a(1)	0	-0.02	-0.12	-0.04	-0.04	-0.07	-0.12	-0.02				-0.058					
	L(2)	40	41.16	41.25	41.20	41.21	41.21	41.16	41.25			3	41.206	1.206	0.032094	0.01435	84.0260	
	a(2)	0	1.16	1.25	1.20	1.21	1.21	1.16	1.25				1.206					
A3.2.1	L(1)	25	24.94	25.03	25.07	25.03	24.64	24.64	25.07			1	24.942	0.058	0.175414	0.07845	0.7393	✓
	a(1)	0	-0.06	0.03	0.07	0.03	-0.36	-0.36	0.07				-0.058					
	L(1)	25	24.97	24.87	25.00	25.04	25.19	24.87	25.19			1	25.014	0.014	0.116748	0.05221	0.2681	✓
	a(1)	0	-0.03	-0.13	0.00	0.04	0.19	-0.13	0.19				0.014					
	L(2)	40	41.92	41.49	41.69	41.57	41.54	41.49	41.92			3	41.642	1.642	0.171959	0.07690	21.3517	
	a(2)	0	1.92	1.49	1.69	1.57	1.54	1.49	1.92				1.642					
A3.m.2																		
A3.1.2	L(1)	25	25.05	25.06	25.06	25.05	25.08	25.05	25.08			1	25.060	0.060	0.012247	0.00548	10.9545	
	a(1)	0	0.05	0.06	0.06	0.05	0.08	0.05	0.08				0.060					
	L(1)	30	30.60	30.57	30.52	30.45	30.39	30.39	30.60			1	30.506	0.506	0.086197	0.03855	13.1263	
	a(1)	0	0.60	0.57	0.52	0.45	0.39	0.39	0.60				0.506					
A3.2.2	L(1)	25	24.89	24.78	24.91	24.89	24.96	24.78	24.96			1	24.886	0.114	0.065803	0.02943	3.8739	
	a(1)	0	-0.11	-0.22	-0.09	-0.11	-0.04	-0.22	-0.04				-0.114					
	L(1)	25	24.94	24.89	24.94	24.85	24.99	24.85	24.99			1	24.922	0.078	0.053572	0.02396	3.2557	
	a(1)	0	-0.06	-0.11	-0.06	-0.15	-0.01	-0.15	-0.01				-0.078					
	L(2)	40	40.75	40.89	40.78	40.96	40.80	40.75	40.96			2	40.836	0.836	0.086776	0.03881	21.5424	
	a(2)	0	0.75	0.89	0.78	0.96	0.80	0.75	0.96				0.836					
A3.2.2	L(1)	25	25.01	24.96	24.82	25.07	25.02	24.82	25.07			1	24.976	0.024	0.095551	0.04273	0.5616	✓
	a(1)	0	0.01	-0.04	-0.18	0.07	0.02	-0.18	0.07				-0.024					
	L(1)	25	25.00	25.02	25.00	25.05	25.07	25.00	25.07			1	25.028	0.028	0.031145	0.01393	2.0103	✓
	a(1)	0	0.00	0.02	0.00	0.05	0.07	0.00	0.07				0.028					
	L(2)	40	41.15	41.01	40.83	41.17	41.21	40.83	41.21			3	41.074	1.074	0.155820	0.06969	15.4122	
	a(2)	0	1.15	1.01	0.83	1.17	1.21	0.83	1.21				1.074					