



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI, CERCETĂRII,
TINERETULUI ȘI SPORTULUI
OPOSDRU



UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
din BUCUREȘTI

FONDUL SOCIAL EUROPEAN

Investește în oameni!

Programul Operațional Sectorial pentru Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013

Proiect POSDRU/6/1.5/S/19 – Pregătirea competitivă a doctoranzilor în domenii prioritare ale societății bazate pe cunoaștere



UNIVERSITATEA "EFTIMIE MURGU" DIN REȘIȚA

Facultatea de Mecanică și Ingineria Materialelor

Catedra de Mecanică

Nr. Decizie Senat 468 din 19 octombrie 2011

TEZĂ DE DOCTORAT

Contribuții teoretice și experimentale privind optimizarea instalației de extragere a semifabricatelor la turnarea continuă a metalelor

Autor: Ing. Marius TUFOI

COMISIA DE DOCTORAT

Președinte	Prof.univ.dr.ing. Doina Frunzăverde	de la	Univ. „Eftimie Murgu” Reșița
Conducător de doctorat	Prof.univ.dr.ing. Ion Vela	de la	Univ. „Eftimie Murgu” Reșița
Referent	Prof.univ.dr.ing. Ion Ciucă	de la	Univ. Politehnica din București
Referent	Prof.univ.dr.ing. Ioan Nicoară	de la	Univ. Politehnica din Timișoara
Referent	Prof.univ.dr.ing. Dorian Nedelcu	de la	Univ. „Eftimie Murgu” Reșița

Reșița, Octombrie 2011

Prefață

Prezenta lucrare „*Contribuții teoretice și experimentale privind optimizarea instalației de extragere a semifabricatelor la turnarea continuă a metalelor*” prezintă o sinteză a activității de documentare și cercetare, teoretică și experimentală desfășurată de autor pe parcursul activității de doctorat, în cadrul Facultății de Mecanică și Ingineria Materialelor, Universitatea “Eftimie Murgu” din Reșița.

Teza de doctorat își propune să prezinte studiile și cercetările efectuate în vederea optimizării instalațiilor mecanice de extragere a semifabricatelor la turnarea continuă a metalelor.

Finalizarea acestei teze nu ar fi fost posibilă fără sprijinul acordat, într-un fel sau altul, de persoane care s-au implicat în demersul meu și cărora le aduc pe această cale sincere mulțumiri și recunoștință.

În primul rând, mulțumirile se cuvin distinsului conducător științific, prof. univ. dr. ing. Ion VELA, pentru încrederea acordată, precum și pentru atenta și permanenta îndrumare oferită pe parcursul pregătirii individuale avansate, a pregătirii și susținerii examenelor, referatelor și pentru întreaga activitate științifică.

În timpul studiilor doctorale am beneficiat de îndrumarea unor personalități din lumea universitară și științifică, care, prin atentele sugestii și observații acordate au contribuit la finalizarea acestei lucrări și cărora le mulțumesc: domnul prof. univ. dr. ing. Sava IANICI, domnul prof. univ. dr. ing. Tiberiu MĂNESCU, domnul prof. univ. dr. ing. Viorel CÂMPIAN, domnul prof. univ. dr. ing. Gilbert- Rainer GILLICH, domnul prof. univ. dr. ing. Dorian NEDELCU, conf. univ. dr. ing. Constantin MARTA.

Mulțumesc de asemenea domnului prof. univ. dr. ing. Ion CIUCĂ de la Universitatea “Politehnica” București și domnului prof. univ. dr. ing. Ioan NICOARĂ de la Universitatea “Politehnica” Timișoara, care m-au onorat acceptând să facă parte din comisia de doctorat.

De asemenea, mulțumesc conducerii Universității “Eftimie Murgu” din Reșița, Centrului de Elaborare și Management al Proiectelor de Dezvoltare Instituțională, POSDRU din cadrul Universității “Politehnica” București pentru sprijinul acordat pe tot parcursul celor trei ani de studii doctorale.

Pentru extraordinarul suport documentar și material, acordat în vederea realizării cercetării experimentale la mașina de turnare continuă a oțelului, se cuvin

mulțumiri conducerii S.C. TMK Reșița: domnul director general dr. ing. Ioan Vasile ROMULUS, domnul ing. Zoltan SZEKELY, domnul ing. Petrică GALBEN.

În mod deosebit, mulțumesc domnului ing. Aurel MIDAN de la S.C. UCM Turnate Reșița pentru sugestiile pertinente în domeniul statisticii matematice, a simulării numerice cu element finit și a expertizei în aplicații CAD.

Mulțumiri se cuvin domnului drd. ing. Daniel AMARIEI și drd. ing. Cornel MITULEȚU pentru sprijinul acordat în această perioadă, precum și familiei pentru întreaga susținere și înțelegere de care a dat dovadă pe parcursul activității de doctorat.

În final, vă mulțumesc dumneavoastră pentru interesul pe care ați decis să-l arătați prezentei teze de doctorat. Sper ca lectura acesteia să vă dezvăluie elemente pertinente și utile pentru știința ingineriei mecanice.

Autorul

CUPRINS

Introducere	07
Capitolul 1. Evoluția și stadiul actual al cercetărilor în domeniul turnării continue a metalelor	09
1.1 Considerații generale asupra turnării continue a metalelor. Repere istorice	09
1.2 Instalații pentru turnarea continuă verticală a metalelor	15
1.3 Instalații pentru turnarea continuă orizontală a metalelor	19
1.4 Instalații pentru turnarea continuă de construcție specială	21
1.4.1 Turnarea în canalul din obada unei roți de turnare	21
1.4.2 Turnarea între cilindrii orizontali, respectiv verticali	22
1.4.3 Turnarea cu benzi de ghidare superioară și inferioară	24
1.5 Sortimente dimensionale și calitative ale semifabricatelor turnate continuu	24
1.6 Dispozitive de extragere actuale	27
1.7 Defecte ale semifabricatelor la turnarea continuă	28
1.8 Factori tehnologici și constructivi care influențează calitatea suprafeței la semifabricatele turnate continuu	32
1.9 Defectele de formă și factorii de influență asupra probabilității de apariție a acestora	33
1.10 Considerații tehnico-economice la turnarea continuă a metalelor	34
1.10.1 Considerații generale	35
1.10.2 Capacitatea de producție a instalației de turnare continuă	36
Capitolul 2. Obiectivele tezei de doctorat	39
Capitolul 3. Concepția constructiv-funcțională a dispozitivelor originale de extragere a semifabricatelor pentru turnarea continuă orizontală	40
3.1 Aspecte generale privind proiectarea și modelarea dispozitivelor mecanice utilizând tehnici avansate CAD	40
3.2 Tehnici avansate CAD, CAE, CAM	42
3.3 Etapele proiectării	43
3.4 Softuri utilizate pentru proiectare	44
3.5 Concepția dispozitivului de extragere cu bacuri semicilindrice	44
3.6 Analiza structurală a dispozitivului cu bacuri semicilindrice	59
3.7 Concepția dispozitivului de extragere cu cilindrii melcați	65
3.8 Analiza structurală a dispozitivului cu cilindrii melcați	67
3.9 Concepția dispozitivului de extragere cu bacuri concentrice, varianta 1	68
3.10 Analiza structurală a dispozitivului cu bacuri concentrice, varianta 1	70
3.11 Concepția dispozitivului de extragere cu bacuri concentrice, varianta 2	71
3.12 Analiza structurală a dispozitivului cu bacuri concentrice, varianta 2	73

3.13	Determinarea funcției de transmitere de ordinul unu și a caracteristicii mecanice a dispozitivelor	75
3.14	Concluzii și contribuții originale	81
Capitolul 4.	Verificarea constructiv-funcțională prin simulare numerică a dispozitivelor concepute	82
4.1	Simularea numerică. Generalități. Conceptul de simulare	85
4.2	Etapele simulării	86
4.3	Simularea funcționării dispozitivelor.	92
4.4	Analiza cinematică a dispozitivelor concepute	98
4.5	Analiza cinetostatică a dispozitivelor concepute	100
4.6	Analiza cu element finit a stării de tensiune din semifabricat	101
4.7	Concluzii și contribuții personale	102
Capitolul 5.	Optimizarea suprafețelor active de contact ale rotelor cajelor de extragere-îndreptare la mașina de turnare continuă cu fir curbiliniu a oțelului la TMK Reșița	102
5.1	Prezentarea mașinii de turnare continuă a oțelului TMK- Reșița	105
5.2	Determinări experimentale ai parametrilor de turnare și de extragere a semifabricatelor	106
5.3	Analiza statistică a parametrilor măsurați	108
5.4	Interpretarea rezultatelor	110
5.5	Evidențierea defectelor de turnare - metode de corecție	117
5.6	Optimizarea suprafețelor active de contact ale rotelor	117
5.7	Proiectarea rotelor de extragere-îndreptare optimizate	122
5.8	Modelarea rotelor de extragere-îndreptare optimizate	124
5.9	Simularea numerică a rotelor de extragere optimizate	126
5.10	Alegerea soluției geometrice optime a rotelor de extragere	128
5.11	Realizarea practică rolei de extragere cu suprafața activă de contact optimizată	
5.12	Concluzii și contribuții originale	129
Capitolul 6.	Concluzii finale și contribuții personale. Direcții viitoare de cercetare	131
6.1	Concluzii finale	133
6.2	Contribuții originale	134
6.3	Direcții viitoare de cercetare	134
6.4	Diseminarea rezultatelor, lista lucrărilor publicate pe parcursul perioadei de doctorat	139
Bibliografie		145
Anexe	Anexa A Tabelul cu determinări experimentale ai parametrilor de turnare	147
	Anexa B Desenele de ansamblu ale dispozitivelor de extragere originale	161
	Anexa C Desenele de execuție ale rotelor optimizate	162

Introducere

Importanța economică a sectoarelor calde rezultă din utilizarea produselor procesate, reprezentate prin laminate, piese forjate, matrițate, turnate, sinterizate etc. În aproximativ toate domeniile vieții sociale, dar îndeosebi în construcții de mașini, în construcții civile și industriale (poduri, baraje, hale, locuințe). Comerțul mondial cu oțeluri și produse fabricate în sectoarele calde reprezintă un barometru privind întreaga evoluție economică mondială, fiindcă bunurile din această categorie au o largă utilizare.

În ultimi 21 de ani, producția mondială de oțel aproape că s-a dublat, creștere alimentată de țările emergente, nu de cele dezvoltate (Franța, Marea Britanie produc acum mai puțin decât în 1989, SUA, Japonia și Germania au stagnat, iar producția Indiei și Chinei a crescut de 4,5 respectiv, 10 ori). Potrivit datelor Asociației Mondiale a Oțelului, la nivel mondial, în 2010 s-au produs 1,4 miliarde de tone de oțel, iar România se situează pe locul 34 în rândul țărilor producătoare (pe primul loc este China, cu o pondere de 44% în producția mondială, urmează Japonia cu o pondere de 7,8%, SUA cu 5,7% și Rusia cu 4,7%). În primele 4 luni din acest an, la nivel mondial, s-au produs 499,7 milioane de tone de oțel, în creștere cu 8%, față de perioada corespunzătoare a anului anterior; în România s-au produs 1,3 milioane tone, în creștere cu 11,3% față de aceeași perioadă a anului anterior și cu 69% față de primele patru luni din 2009 [7]. Avantajul tehnologic al unor societăți industriale se datorează în primul rând introducerii în procesul de fabricație a unor metode și procedee tehnologice noi, cu productivitate mai ridicată, preț de cost redus, deci cu o eficiență economică superioară. Două scopuri distincte se urmăresc în procesarea produselor din sectoarele calde, și anume:

- modificarea proprietăților fizico-chimice și metalurgice ale materialelor, în concordanță cu necesitățile de performanță cerute;
- modificarea formei, dimensiunilor și calității suprafețelor produselor.

Realizarea gradului de civilizație spre care tinde în prezent societatea este în mod inevitabil condiționată și de consumul de metal în cele mai diverse ramuri ale economiei, aspect ce determină și dezvoltarea unor servicii aferente, diversificarea și creșterea ponderii lor. În țara noastră, producerea oțelului necesită consumarea unor

mari cantități de materii prime, materiale și resurse energetice, care în cea mai mare parte sunt asigurate prin importuri. Pentru procurarea acestora , o parte din producția realizată este livrată la export. Se realizează astfel valorificarea potențialului existent al capacităților de producție și al resurselor umane [8].

Turnarea continuă a metalelor, în special al oțelului, este un procedeu utilizat tot mai mult pe plan național și mondial datorită avantajelor majore pe care le are în comparație cu turnarea clasică. Astfel, modernizarea și optimizarea procesului și a utilajelor de turnare continuă, inclusiv a instalațiilor de extragere a semifabricatelor, constituie o preocupare intensă a cercetărilor din domeniu .

Prezenta lucrare are ca scop studierea, prezentarea și evaluarea unor metode de optimizare a instalațiilor de extragere la turnarea continuă a metalelor, atât la turnarea continuă verticală cât și orizontală. Metodele propuse au la bază ultimele realizări privind dezvoltarea actuală și caracteristicile funcționale ale instalațiilor de extragere actuale ca bază de plecare pentru cercetările ce au fost efectuate.

Capitolul 1. Evoluția și stadiul actual al cercetărilor în domeniul turnării continue a metalelor

1.1 Considerații generale asupra turnării continue a metalelor. Repere istorice

În procesele moderne de producție complet integrate din siderurgie, turnarea continuă a semifabricatelor de oțel câștigă teren în fața procesării clasice, din lingou, datorită preciziei dimensionale, a calității suprafeței, a valorificării superioare a energiei, a preciziei controlului compoziției chimice și a cantității de incluziuni nemetalice ceea ce duce la o puritate a materialului de doar câteva ppm. În contextul evoluției ponderii producției de oțel turnat continuu în diverse țări, în prezent ponderea acestuia în țara noastră este de peste 80 %, fapt datorat reducerii nivelului de producție și mai ales a neutilizării capacităților fluxurilor de producție la turnarea continuă [9,22].

Pe plan mondial, turnarea continuă a fost dezvoltată permanent, ajungându-se ca în țări dezvoltate, de exemplu Japonia, Franța, Germania, ponderea de oțel turnat continuu să fie de peste 90 %, în timp ce media producției de oțel turnat continuu în lume să fie de cca. 65%. Diferența de până la 100 % o reprezintă oțelurile cu probleme foarte mari la turnarea continuă sau situațiile în care nu se poate asigura coriajul pentru semifabricatele turnate continuu.

Dezvoltarea procedeelor de turnare continuă a fost posibilă în condițiile studierii și stăpânirii fenomenelor ce apar, iar scoaterea ridicată de metal (uneori 97...99 %) este posibilă datorită optimizării parametrilor procesului și conducerii lui cu ajutorul calculatorului. De asemenea, nu sunt deloc de neglijat efectele pe plan energetic și ecologic, în cazul aplicării turnării continue, fiind posibilă o economie de 3GJ/t față de turnarea în lingou, simultan cu o reducere importantă a emisiei de praf (cu peste 80 %) și a conținuturilor de NO_x , SO_2 (cu peste 95 % fiecare) [41], [12].

Turnarea în lingouri s-a orientat în general, spre obținerea de lingouri mari de forjă și utilizarea unor clase de oțeluri care nu se pretează la turnarea continuă, atingându-se o scoatere de 80- 84 % de la oțelul lichid la semifabricatele blum / sleb. Pe plan național, proporția de oțel turnat continuu este în continuă creștere, cu o scoatere medie de 90 % . Principalele oțeluri turnate continuu sunt oțelurile cu un

conținut de carbon sub 0,4 % și oțelurile slab aliate. Din gama oțelurilor aliate se toarnă continuu doar oțelurile silicioase pentru electrotehnică cu un conținut de siliciu sub 3,5 %. Circa 60 % din producția de oțel lichid se toarnă în lingouri de 1-23 t cu o scoatere medie sub 80 % [54].

În prezent, prin acest procedeu se toarnă semifabricate și blumuri cu secțiune pătrată și dreptunghiulară cu dimensiunea 75 X 75 mm până la 520 X 400 mm, sleburi cu secțiune de până la 300 X 2460 mm, semifabricate pentru fabricarea de grinzi grele cu secțiunea de până la 480 X 420 mm, țagile rotunde pentru țevi fără sudură cu diametrul de până la 500 mm. Prin procedeul de turnare continuă se toarnă oțeluri carbon și aliate, oțeluri pentru electrotehnică, oțeluri rezistente la coroziune etc. Există încă probleme, fără a căror soluționare nu poate fi realizată turnarea eficientă a diferitelor mărci de oțeluri prin acest procedeu. Una dintre aceste probleme constă în asigurarea unei calități superioare a semifabricatelor turnate continuu, legată de segregarea axială, porozitatea și așa-zisa segregare în formă de V. Alte probleme sunt legate de apariția defectelor de suprafață, a defectelor interne, determinate preponderent, de sufluri și incluziunile nemetalice. În comparație cu lingoul turnat clasic, la turnarea continuă a aceleiași mărci de oțel, cantitatea totală de incluziuni nemetalice în semifabricatele turnate continuu este de regulă mai mare.

Conceptul inițial al turnării continue a metalelor a fost înregistrat la mijlocul secolului XIX-lea, Fig. 1.1

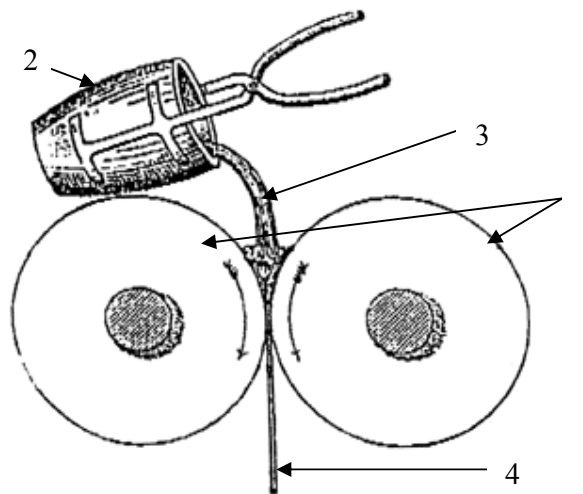


Fig. 1.1. Conceptul de turnare continuă cu două role a lui Bessemer

În figură s-au notat:

1 sunt rolele; 2- oală de turnare; 3- metal lichid; 4- fir turnat.

. Limitată de posibilitățile tehnologice de la acea oră, ideea turnării continue dezvoltată de G.E. Sellers (1840), J. Laing (1843) și H. Bessemer (1846), a fost aplicată doar la metale neferoase cu punct de topire scăzut. Prima propunere de construcție a unei mașini de turnare continuă pentru oțel, cu un design apropiat de cel al mașinilor actuale de turnare continuă, a fost înregistrată în anul 1887 de către germanul R.M. Daelen (German Patent No. 51217 din 30 iulie 1889 [10]. Mașina propusă de Daelen includea un cristalizator de răcit cu apă (deschis la ambele capete), o tonă de răcire secundară, o bară falsă, role de susținere și un utilaj de tăiere a firului.

Se apreciază că turnarea continuă era furnizorul ideal de semifabricate în uzinele mici și mijlocii, fiind o parte importantă a fluxului general siderurgic, Fig. 1.2.

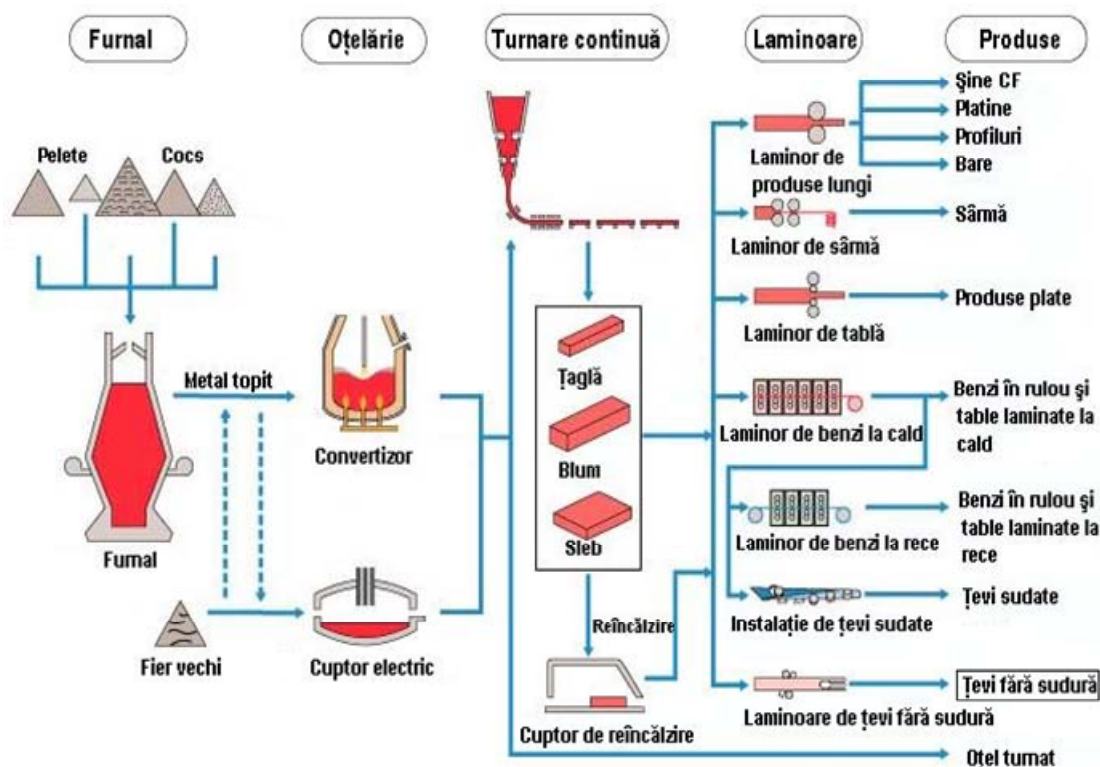


Fig. 1.2. Fluxul general siderurgic

În prezent, turnarea continuă este tot mai des integrată în fluxurile combinatelor siderurgice mari, ajungându-se chiar la situații de eliminare completă a laminarelor degrositoare. Majoritatea soluțiilor prevăd prezența simultană a laminorului degrositor și a turnării continue.

Prima mașină de turnare continuă a fost construită de Low Moor (Anglia) și a fost pusă în funcțiune în anul 1946, fiind o mașină verticală pentru țagle.

După anul 1950 turnarea continuă a început să se dezvolte din ce în ce mai mult, în prezent înregistrându-se peste 7000 de patente în acest domeniu [22]. Principalele îmbunătățiri și dezvoltări din anul 1950 și până în prezent sunt prezentate în continuare [40].

- 1950 – test cu agitatea electromagnetică (EMS) sub cristalizator realizat de S. Junghans;
- 1951 – prima mașină de turnare verticală – semicontinuă - în URSS la uzina „Krasnii Oktiabr”;
- 1952 – la Barrow Steel (Marea Britanie) intră în exploatare industrială o mașină verticală continuă construită de CONCAST. În același an, O. Schaaber în colaborare cu S. Junghans patentează o mașină de turnare continuă cu fir curb;
- 1953 – teste cu agitatea electromagnetică (EMS) în cristalizator la Manesmann (Germania);
- 1954 – la Manesmann (Germania) este utilizată pentru prima dată o oală clasică de turnare echipată cu închizător de dop la turnarea continuă. De asemenea, distribuitorul era echipat cu închizătoare cu dop pentru controlul celor patru fire. La Arlas Steel (Canada) este pusă în funcțiune o mașină de turnare continuă verticală pentru sleburi de oțel inoxidabil construită de CONCAST;
- 1956 – la Barrow Steel (Marea Britanie) firul unei mașini de turnare continuă verticală a fost îndoit și îndreptat în plan orizontal, aceasta constituind prima încercare de realizare a unei mașini de turnare continuă cu fir curb de către Concast-Halliday;
- 1958- se toarnă sleburi cu lățimea de 1000 mm la Bohler în Austria cu o mașină construită de către Manesmann-Demag-Bohler;
- 1959 – la Terni (Italia), Manesmann - Demag-Bohler pune în funcție o mașină de turnare continuă a țaglelor cu 8 fire, prevăzută cu dopuri de închidere atât la oală cât și la distribuitor;
- 1961 – Dilingen (Germania), Concast construiește o mașină de turnare continuă verticală cu îndoire și îndreptare;

- 1962- este introdus fluxul de lubrifiere la SEIF în Franța și Manesmann în Germania, este patentat turnul rotitor de către CONCAST și este pusă în funcțiune la Manesmann prima mașină care prin schimbarea cristalizatoarelor putea turna 4 sleburi cu lățimea de 1500 mm sau 8 blumuri sau 8 țagle pătrate sau rotunde;
- 1963 – prima mașină de turnare continuă cu cristalizator curb pentru blumuri 200 x200 mm este pusă în funcțiune la Manesmann. Cristalizatorul curb pentru turnarea continuă a țaglelor este introdus de CONCAST la firma Moos Sthal. Turnarea continuă centrifugată pentru țagle și blumuri rotunde este introdusă la Societe Metallurgique d'Imphy (Franța);
- 1964 – cristalizatorul curb pentru sleburi late este folosit la Dillingen în Germania de către CONCAST; este pusă în funcțiune la Manesmann prima mașină de turnare continuă cu fir curb pentru sleburi cu îndreptarea progresivă. Aceasta este și prima mașină de turnare continuă cu fir curb și înălțime redusă („super low head”). Înălțimea de la punctul tangență la nivelul meniscului era de doar 4 m. Controlul automat al dopului de închidere la distribuitor este introdus de CONCAST la Barrow Steel (Marea Britanie). Pentru prima dată în lume, toată producția unei uzine este turnată continuu. Acest record este înregistrat de Shelton Iron & Steel (Marea Britanie) care exploata mașini de turnare continuă construite de CONCAST;
- 1965- mașina de turnare continuă cu fir curbat pentru turnarea blumurilor rotunde este pusă în funcțiune de Escheweiler Bergwerksverein (Germania) de Manesmann – Demag; primele tuburi imersate sunt folosite de SAFE în Franța și Manesmann în Germania; îndoirea și îndreptarea progresivă este introdusă de Olson în SUA;
- 1966 – aplicarea protecției jetului de oțel între oală și distribuitor cu tuburi se face la Manesmann, caja de extragere cu mai multe role este aplicată la o mașină pentru turnarea sleburilor, de asemenea, la Manesmann;
- 1967 – masa de oscilare și primul segment sunt solidarizate în vederea schimbării rapide a acestora (Manesmann). Rauraruuki Oy (Finlanda) este prima oțelărie concepută prin proiectare, la care toată producția de oțel urma să fie turnată continuu (tehnologii URSS);
- 1968 – la Algoma în Canada este introdusă la scară industrială turnarea continuă a profilelor (tehnologie BISRA și CONCAST). Turnul rotitor patentat

de CONCAST în 1962 este aplicat în practică de VOEST (Austria). La McLouth Steel (SUA), sleburile turnate continuu sunt pentru prima dată încărcate în stare caldă într-un cuptor cu inducție în vederea transferului la laminare. General Motors în SUA și Davy în Marea Britanie concep și construiesc o mașină semiindustrială de turnare continuă orizontală;

- 1969 – este concepută și experimentată o duză de stropire cu un unghi de 120° de către Manesmann-Demag-Lechler. CONCAST patentează bara falsă permanentă;
- 1971 – la US Steel Gary Works (SUA) este aplicată turnarea continuă prin compresiune. General Motors la Lanring (SUA) și Davy-Loewy la Jarrow (Marea Britanie) instalează și exploatează la scară industrială două mașini de turnare continuă orizontală;
- 1972 – la NCS Hirohata (Japonia) este experimentat un cristalizator pentru sleburi cu înălțime ajustabilă în timpul turnării. Primul turn rotitor tip „fluture” este construit în Peine-Salzgitter (Germania) de Manesmann – Demag. Reducerea timpului de pregătire a mașinii pentru o nouă turnare se realizează de către Manesmann–Demag care a produs sistemul de introducere a barei false pe sus („top feed”) la Peine – Salzgitter;
- 1974 – este concepută și experimentată o duză de stropire cu amestec de aer-apă de către Manesamm – Lechler. La SEIF (Franța), după o tehnologie SEIF-IRSID-CEM, este aplicată la scară industrială agitarea electromagnetică sub cristalizator [8].

Evoluția turnării continue a fost deosebit de spectaculoasă. Astfel, dacă în anul 1970 doar 5% din producția mondială de oțel a fost turnată continuu, în 1974 aceasta a crescut cu 11,4%. În următorii 10 ani ponderea acesteia a crescut cu 63,3 %, ajungând ca în 1991 în țările CEE, 90% din producția de oțel brut să fie turnată continuu [8], [33].

Metalele și aliajele lor elaborate și turnate în lingouri după procedeele obișnuite conțin ca impurități gaze, incluziuni nemetalice și elemente nocive (P, S uneori Sb, Sn, Bi) și prezintă o neomogenitate chimică și structurală accentuată [x].

Aceste deficiențe produc dificultăți în acțiunea de automatizare și raționalizare din industria constructoare de mașini, acțiune care necesită oțeluri și alte aliaje cu proprietăți fizice și mecanice superioare și constante. Această cerință este satisfăcută, în general, dacă se corelează corespunzător factorii turnării cu compoziția chimică a

oțelurilor și dacă aceasta din urmă s-a realizat printr-o elaborare îngrijită (degazare și dezoxidare avansate, valori adecvate pentru temperatura de la începerea topirii până la evacuare).

Asigurarea cerințelor calitative referitoare la conținuturile scăzute de gaze și, respectiv prezentarea mai favorabilă a incluziunilor nemetalice în masa metalică de bază, ca și omogenitatea temperaturii de turnare și creșterea numărului de germeni de cristalizare (uniform distribuiți), cauzati de accentuarea solidificării, se pot obține mai avantajos prin turnarea continuă [52], [49].

Deși, ideea turnării continue a fost formulată încă din secolul trecut de către H. Bessemer, instalațiile au apărut abia după anul 1950. Acestea au cunoscut o extindere rapidă, astfel încât, în prezent o cantitate tot mai mare din oțelul elaborat se toarnă prin acest procedeu. Se estimează astfel, că în anul 2011 circa 90 – 92 % din producția de oțel se va turna continuu.

În țara noastră, primele instalații de turnare continuă a oțelului au fost puse în funcțiune în anul 1978 la SIDEX Galați și SOCOMET Oțelu Roșu, iar în 1980 la SIDRECA Călărași. Ulterior, astfel de instalații au fost implementate la SIDERURGICA Hunedoara, COS Târgoviște și TMK Reșița.

Ca metodă, turnarea continuă se realizează prin introducerea metalului lichid cu o temperatură bine determinată într-o formă cavă cu pereți răciți cu apă, numită cristalizator și evacuarea la capătul opus, a „firului” de metal solidificat.

Construcția și poziția cristalizatorului a generat diversificare foarte largă a procedeelor de turnare continuă. Metodele de turnare continuă sunt :

- 1 este metoda de turnare continuă orizontală a metalelor;
- 2- metoda de turnare continuă verticală a metalelor.

Turnarea continuă se poate aplica cu succes la toate procedeele de elaborare a oțelului: convertizoare cu oxigen, cuptoare cu arc electric și chiar cuptoare Siemens-Martin. În prezent, turnarea continuă este mai des integrată în fluxurile combinatelor siderurgice mari, ajungându-se la situații de eliminare completă a laminoarelor degrosisoare.

Solidificarea oțelului și deci, productivitatea instalației depind de lungimea cristalizatorului și viteza de turnare. Când în cristalizator se realizează numai solidificarea parțială, productivitatea instalației este mai mare.

1.2. Instalații de turnare continuă verticală a metalelor

Instalațiile care realizează obținerea semifabricatului (firului) prin turnare în cristalizator sunt cele mai răspândite la turnarea continuă a metalelor. În funcție de traseul urmat de fir, precum și de construcția cristalizatorului, se disting variantele tehnologice prezentate în continuare. Construcția și poziția cristalizorului a generat o diversificare foarte largă de procedee de turnare continuă, care la rândul ei a dus la apariția diferitelor instalații de turnare continuă verticală. În Fig.1.3. se prezintă schema constructiv funcțională a instalației de turnare continuă cu fir vertical.

În acest caz, turnarea cu cristalizor vertical drept, respectiv curb, după un arc de cerc sau arc de elipsă, turnarea se face de sus în jos, iar cristalizorul execută o mișcare de oscilație în lungul firului.

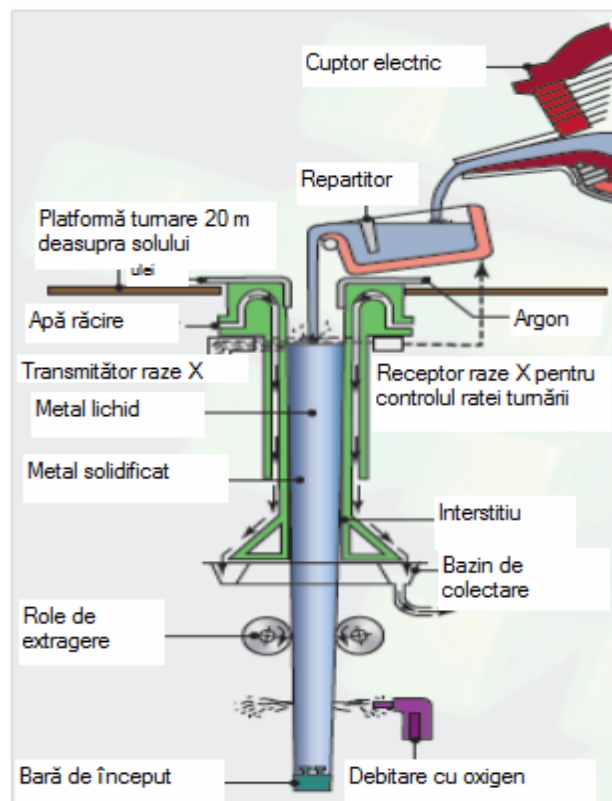


Fig. 1.3. Instalație de turnare continuă verticală cu fir vertical

La turnarea continuă verticală cu fir curbiliniu, firul turnat are traseu vertical în prima fază de răcire secundară, apoi traiectul firului devine curbiliniu pentru ca în final să ajungă orizontal ca și în cazul turnării continue orizontale, (Fig.1.4).

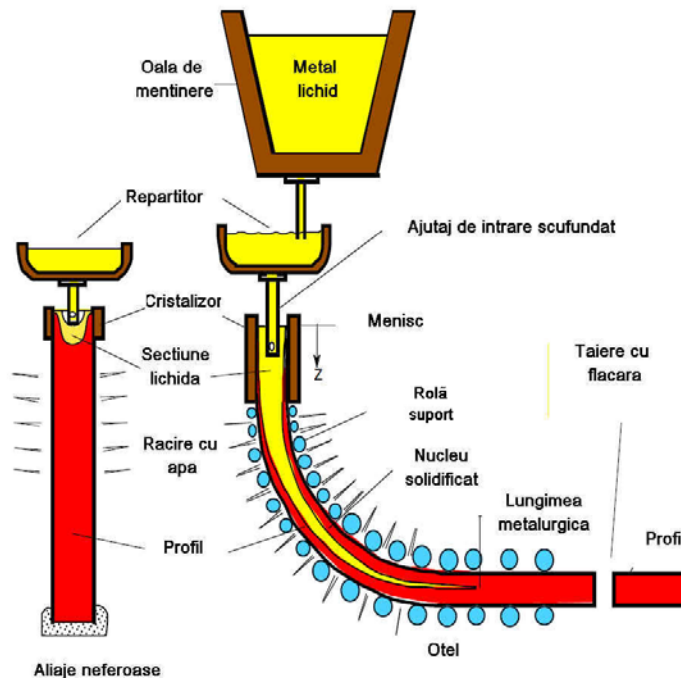


Fig. 1.4. Instalație de turnare continuă verticală cu fir vertical și fir curbiliniu

Schema unei instalații de turnare continuă verticală cu cristalizor de grafit este prezentată în Fig.1.5.

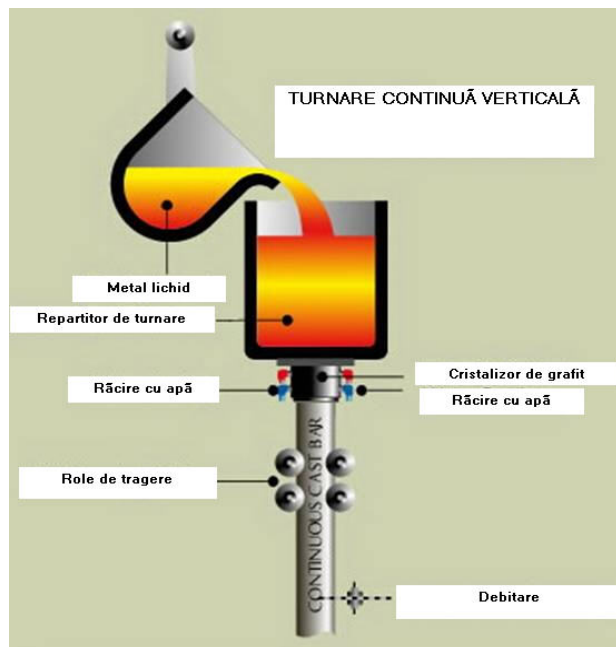


Fig.1.5. Turnare continuă verticală cu cristalizor de grafit

Instalațiile verticale de turnare continuă a metalelor au evoluat industrial, în funcție de traiectoria firului turnat (Fig. 1.6.), după cum urmează:

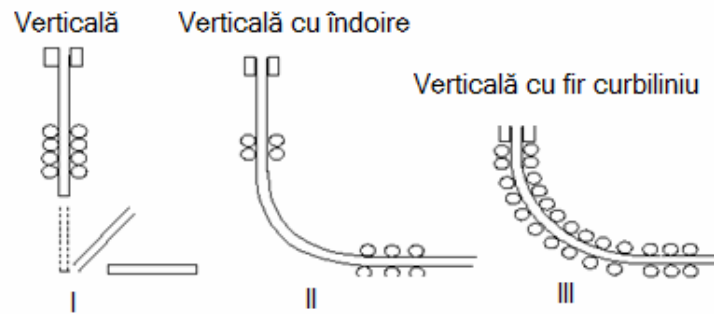


Fig.1.6. Tipuri constructive de instalații pentru turnarea continuă verticală

Tipul I : Instalație cu fir vertical (V);

Tipul II : Instalație cu îndoire a firului, după zona de răcire secundară(VC);

Tipul III : Instalație cu cristalizator curb, cu fir curbiliniu(C).

Instalațiile cu fir vertical tip I, se pretează la turnarea cu viteză scăzută a semifabricatelor cu secțiuni mari și a țevelor cu diametru mare. Ele se dezvoltă pe o diferență de nivel mare (în înălțime sau în adâncime), complicând și ridicând costurile construcției. În cazul instalațiilor de tip I există și alte dezavantaje:

- limitarea lungimii semifabricatelor turnate;
- în cazul unui deranjament chiar de scurtă durată la agregatul de tăiere, trebuie întreruptă turnarea oțelului;
- în cazul unor avarii este dificilă revenirea oalei de turnare la nivelul lingotierelor de rezervă (acest dezavantaj dispare pentru instalațiile din varianta tehnologică „în groapă”).

La instalațiile de tipul II cu solidificare verticală și curbarea firului la orizontală, se reduce parțial înălțimea de construcție (în medie cu 20%), care ajunge până la 30 m.

La astfel de instalații, prin curbarea și îndreptarea firului se pot introduce tensiuni interne și chiar fisuri locale în material, datorită rezistenței mecanice reduse la temperaturile de ieșire din zona de răcire secundară (850 - 950°C). Acest lucru impune obținerea unor semifabricate de oțel cu grosimi maxime de 250 – 275 mm pentru secțiunile pătrate și dreptunghiulare. Pentru secțiunile circulare limita este și mai coborâtă.

O reducere în continuare a înălțimii instalației, evidențiată la tipul II , fixează limita superioară a acesteia la 25 m. Și în aceste cazuri, la turnarea semifabricatelor

apare pericolul apariției tensiunilor și fisurilor în material. Tipul II este recomandat la obținerea unor sortimente variate calitativ și dimensional.

Utilizarea mașinilor la turnarea continuă de tipul III conduce la o reducere a cheltuielilor de investiții cu 20% pentru hală și pentru instalațiile auxiliare. Reducerea înălțimii față de tipul I este de 60 – 70%. Micșorarea presiunii ferostatice din coloana de metal lichid a permis mărirea vitezei de turnare, facilitată și de mărirea capacității de răcire a cristalizatorului, simultan cu mărirea secțiunii de turnare. Acest tip de instalație reprezintă varianta cea mai răspândită în prezent [41].

1.3. Instalații pentru turnarea continuă orizontală a metalelor

Prin acest procedeu (Fig. 1.7.), firul turnat are traseu orizontal ceea ce impune evacuarea metalului topit la partea de jos și lateral din cuptorul de menținere unde se atașează cristalizatorul.

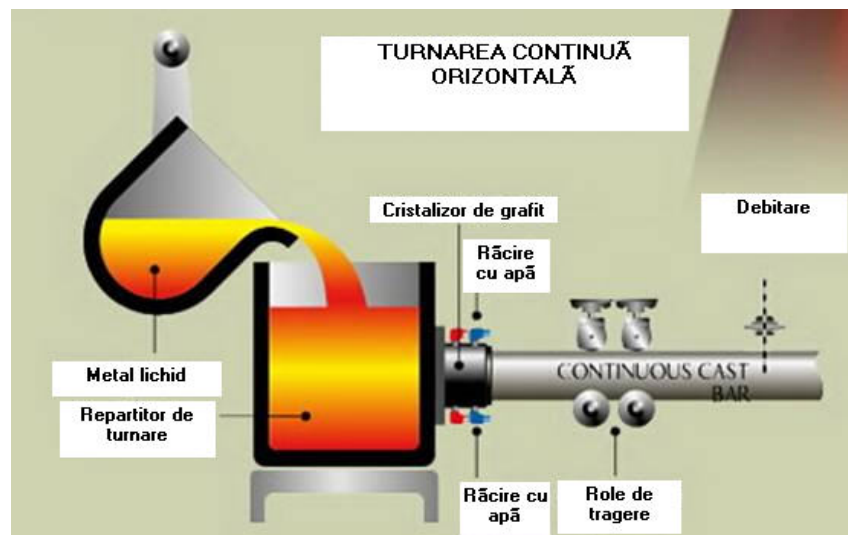


Fig.1.7. Turnare continuă orizontală cu cristalizor de grafit

Solidificarea oțelului lichid are loc de la exterior către mijlocul semifabricatului și ușor asimetric, peretele solidificat inferior fiind mai gros. În același timp se produce desprinderea prin contracție a peretelui superior de la suprafața cristalizatorului.

Extragerea firului turnat continuu întâmpină rezistența forțelor de frecare dintre metalul solidificat și cristalizator, care poate fi la un moment dat suficient de mare încât să genereze ruperea transversală. Datorită acestui impediment, extragerea este intermitentă, alternând pașii de avans și pauzele [18].

Poziția orizontală a cristalizatorului creează problema stabilirii filmului de lubrifiant lichid, de tipul uleiului, soluția cea mai convenabilă fiind autolubrifierea.

La turnarea continuă orizontală se pretează foarte bine metalele și aliajele neferoase precum și fonta cenușie, datorită temperaturilor de topire mai joase. În schimb, oțelul erodează și dizolvă puternic grafitul cristalizatorului, compromițând deopotrivă produsul și instalația. Totuși, avantajele oferite de turnarea continuă orizontală asigură următoarele:

- cheltuieli mici de investiții;
- suprafețe ocupate reduse;
- elasticitate mare a programului de producție;
- calitate bună a produselor;
- preț de cost satisfăcător.

La turnarea cu cristalizor orizontal drept, montat la partea inferioară a unui cuptor de așteptare, evacuarea firului de metal se face prin mișcări intermitente.

Schema unei instalații de turnare continuă orizontală este prezentată în Fig. 1.8. unde se observă părțile componente ale instalației .

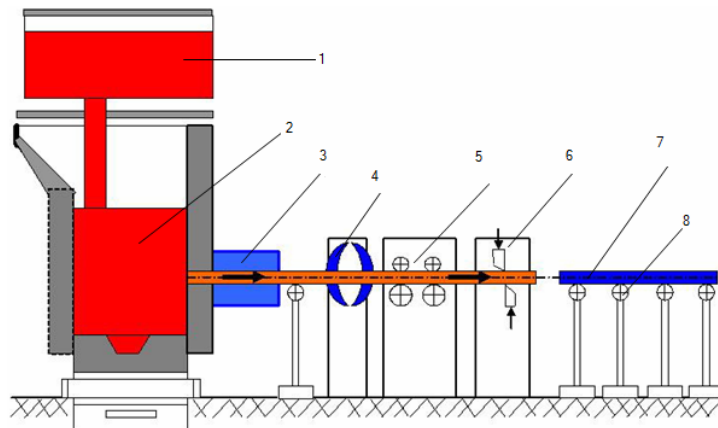


Fig. 1.8. Instalație de turnare continuă cu sistem de extragere echipat cu role

unde:

- 1 este cuptorul de menținere inductiv cu canal;
- 2 - cristalizor, sistem de răcire primară;
- 3 - susținere intermediară;
- 4 - răcitor, sistem de răcire secundară;
- 5 - sistem de extragere cu role acționate electromecanic;
- 6 - sistem de debitare, ghilotină, ferăstrău, pânză disc, oxigaz;

7 - susținere finală, pat de role pentru răcire și control;

8 – semifabricat.

1.4. Instalații pentru turnarea continuă de construcție specială

1.4.1. Turnarea în canalul din obada unei roți de turnare, căptușit la exterior cu o bandă metalică de ghidare întinsă, roata de turnare este acționată în mișcare, antrenând deopotrivă firul de metal turnat și banda de ghidare. După parcurgerea unui arc de cerc de lungime determinată firul părăsește canalul de turnare, Fig.1.9.

În instalația *Rigamonti*, Fig.1.9.a., se toarnă secțiuni dreptunghiulare din aluminiu și aliajele sale, destinate laminării la benzi subțiri și foarte subțiri. Evacuarea laterală, printr-o dublă curbare a firului turnat limitează secțiunea în sus. În jos, limitarea provine de la dificultățile de alimentare cu metal lichid. Viteza de turnare este reglabilă în funcție de grosimea benzii între 3-10 m/min [33].

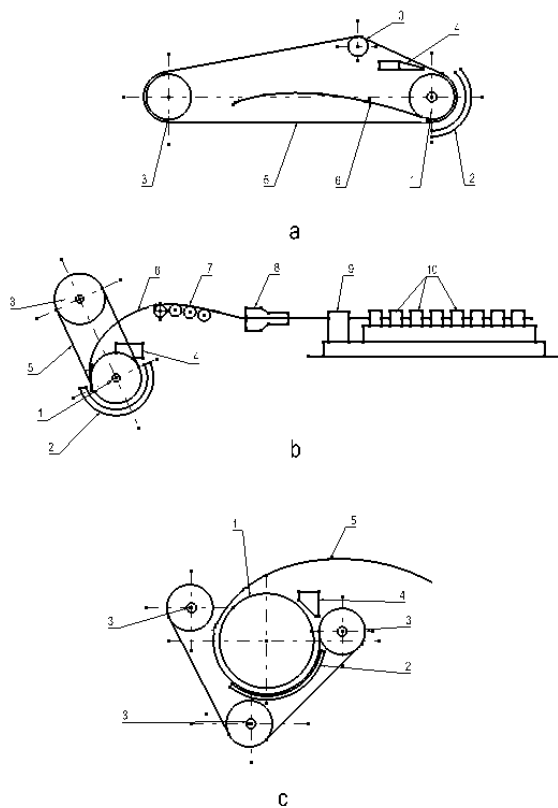


Fig. 1.9. Tipuri de instalații de turnare continuă cu roată de turnare

și bandă de ghidare a - instalația Rigamonti; b – instalația Properzi; c – instalația S.C.R.

1-roată de turnare; 2-țeavă de stropire; 3- roată de întoarcere; 4- jgheab de alimentare; 5- bandă de ghidare; 6-fir turnat; 7-role de ghidare; 8-foarfece volant; 9-mașină de îndreptat; 10-laminor continuu.

Instalația *Properzi*, Fig.1.9.b., are de departe cea mai largă răspândire în acest domeniu. Inițial, concepută pentru turnarea aluminiului și aliajelor sale și ulterior pentru turnarea plumbului și zincului, ea a inclus în ultimi 10 ani cuprul și aliajele sale. Perfecționările și adaptarea ulterioară pentru cupru se datorează în bună măsură firmei Southwire Co. (S.U.A.), care a împrumutat numele său instalațiilor construite (modelele SCR=Southwire Continuous Rod). Semifabricatele produse au secțiune trapezoidală cu colțuri racordate, laminându-se direct în sârmă.

Modelele S.C.R. se caracterizează printr-o construcție diferită, prezentată schematic în Fig.1.9.c. Ea se bazează pe un vechi patent al constructorului Daniels, care realizează două avantaje:

- mărirea unghiului de lucru al roții de turnare;
- evacuarea firului în plan vertical, evitând răsucirea (curbarea spațială).

Aceste două avantaje au asigurat mărirea secțiunii semifabricatului turnat și implicit mărirea productivității instalațiilor [22].

1.4.2.Turnarea între cilindri orizontali, respectiv verticali, care asigură simultan evacuarea firului și o ușoară laminare. Turnarea cu cilindri orizontali se face de sus în jos, de jos în sus (pe baza principiului vaselor comunicante) sau cu fir orizontal (axele cilindrilor formează un plan vertical).

Elementul de bază al instalației de turnare continuă cu cilindri îl constituie cilindrii de turnare cu diametre cuprinse între 500-600 mm și răciți la interior cu apă. Ei sunt realizați dintr-un miez din oțel, străbătut de două canale longitudinale pentru aducerea, respectiv evacuarea apei de răcire, fig1.10.

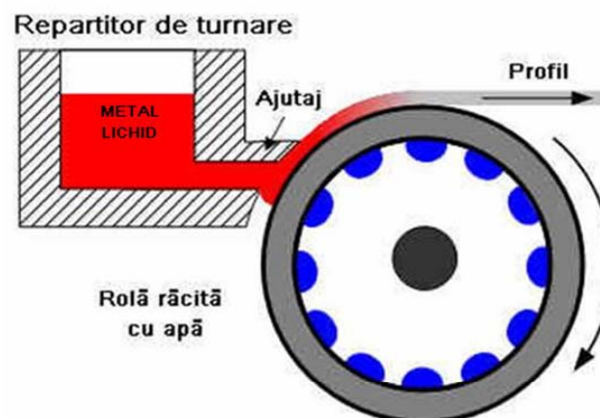


Fig. 1.10. Instalație de turnare continuă orizontală cu o singură rolă

Canale radiale le leagă pe acestea cu canelurile circulare de la periferia miezului, în lungul cărora circulă apa. Pe miez se fretează o bucsă de 25 – 30 mm grosime din oțel înalt aliat, care vine în contact cu metalul lichid și care evacuează spre apă căldura de solidificare, Fig.1.11. Cilindrii sunt acționați la un capăt prin bare de cuplare sau cu mufă – rozetă de la motorul cu turație variabilă sau prin variator de turație, printr-un reductor cu două ieșiri.

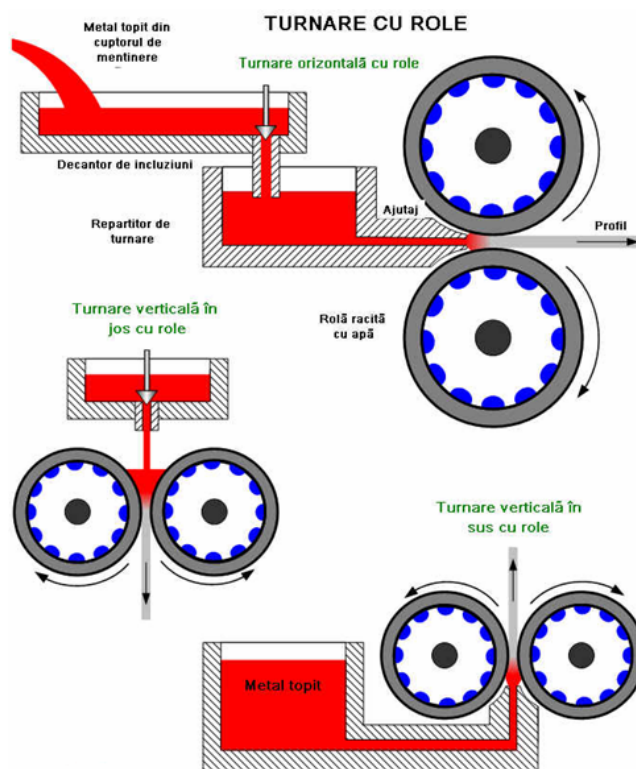


Fig. 1.11. Instalație de turnare continuă cu role

Cilindrii se rotesc în lagăre de rulare sau în cuzineți antifricțiune. Întreaga construcție este susținută într-un cadru rigid de oțel

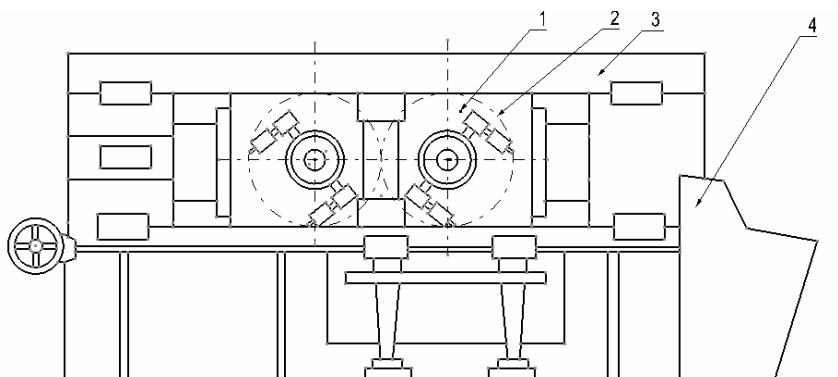


Fig.1.12. Instalație de turnare continuă cu cilindrii de tip Hunter

1- cilindru de turnare; 2- cutie hidraulică; 3-cadru; 4-pupitru de comandă

În Fig.1.12. este prezentată instalația de turnare cu cilindri de tip Hunter. Suprafața cilindrilor trebuie menținută într-o stare de curățenie perfectă, ceea ce impune acoperirea ei în timpul nefuncționării cu o rășină sintetică de protecție. În timpul turnării acest strat se înlocuiește cu un strat de oxid de aluminiu, format natural din metalul topit. Pentru asigurarea condițiilor optime de turnare, cilindrii se ung cu ulei neinflamabil sau cu o soluție pe bază de oxid de magneziu [54].

1.4.3. Turnarea cu benzi de ghidare superioară și inferioară, orizontale sau înclinate și ghidaje laterale. Benzile în circuit închis se deplasează și antrenează firul turnat. În afara acestora există o serie de alte procedee, care se practică însă la scară redusă și nu au ajuns la o maturitate industrială, Fig.1.13.

Turnarea continuă cu benzi metalice de ghidare utilizează benzi stropite cu apă care joacă rol de cristalizor. Instalația concepută inițial cu fir vertical, a trecut mai târziu la fir orizontal sau ușor înclinat. Semifabricatele turnate cu benzi acoperă un registru larg calitativ și dimensional. Se produc astfel benzi, secțiuni pătrate și dreptunghiulare, țevi și benzi placate. Modelul cu aria cea mai răspândită aparține firmei Hazelett Corporation (S.U.A.) și este destinat semifabricatelor din aluminiu [x].

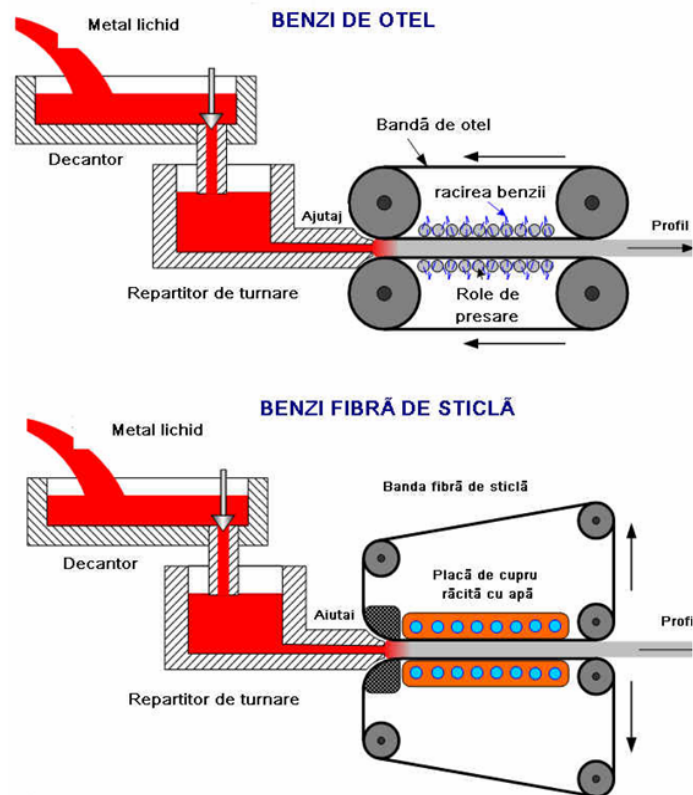


Fig.1.13. Instalații de turnare continuă cu benzi

În Fig. 1.14. se prezintă o schemă a instalației de tip Hazlett. Alimentarea cu metal lichid are loc dintr-un cuptor de menținere deschis sau cu atmosferă controlată, cu posibilitatea reglării automate a nivelului băii de metal topit. La pornirea turnării jgheabul de alimentare se preîncălzește prin inducție. Între benzile de ghidare este introdusă bara de pornire, de formă corespunzătoare secțiunii turnate. Semifabricatul se evacuează cu role de antrenare, după care urmează zona de răcire secundară.

Existența ei face ca firul turnat să poată fi evacuat din benzile de ghidare incomplet solidificat. Această măsură permite realizarea unor viteze mărite de turnare și implicit sporirea productivității. În continuarea zonei de răcire este amplasat foarfecele volant pentru tăierea la lungimile de livrare. Semifabricate turnate pe instalațiile Hazlett se caracterizează prin suprafață de foarte bună calitate și absența fisurilor de turnare, caracteristice aliajelor dure Fig.1.15 [23].

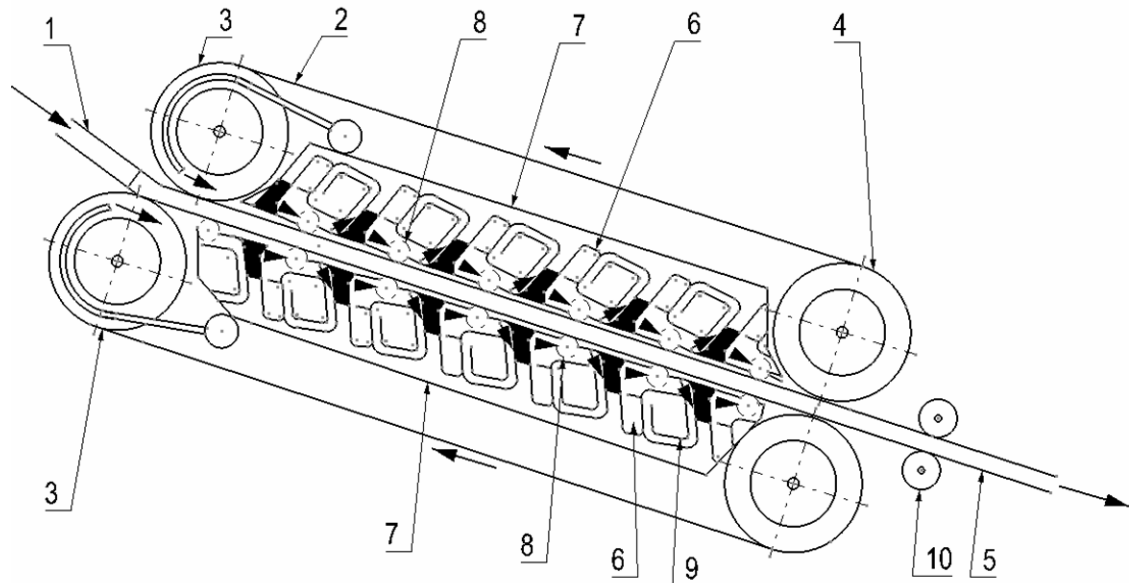


Fig.1.14. Mașină de turnare orizontală de tip Hazlett- schematic

1- jgheab de turnare; 2- bandă metalică de ghidare; 3- disc de acționare; 4- disc de întoarcere; 5- bandă turnată; 6-alimentare cu apă; 7-bloc detașabil de răcire; 8-rolă de presiune; 9-evacuare apă; 10-rolă de antrenare.

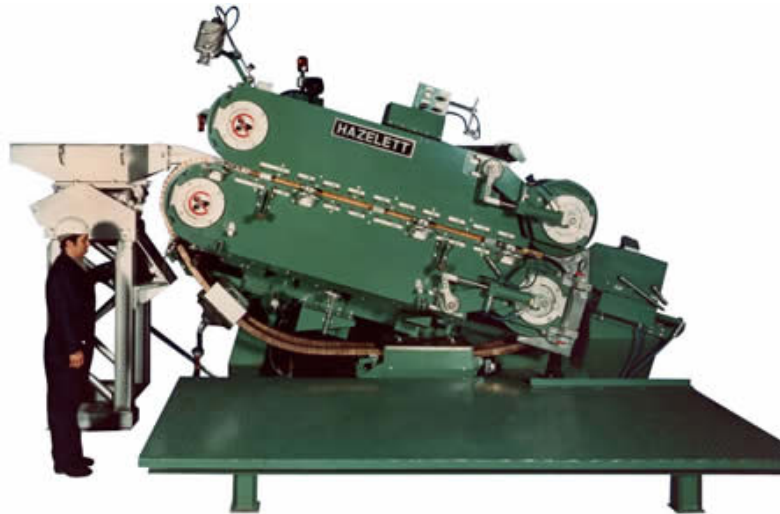


Fig.1.15. Mașină de turnare orizontală metale neferoase de tip Hazlett

Lungimea cristalizorului (Fig.1.16.), corelată cu viteza de deplasare a firului (viteza de turnare), asigură solidificarea parțială sau totală a secțiunii. În prima variantă se obțin productivități sporite având în vedere că impune însă o grosime minimă de crustă solidificată care să reziste presiunii statice a metalului lichid din interiorul conului de solidificare. Desăvârșirea solidificării are loc în afara cristalizorului prin stropire directă cu apă sub presiune (zona de răcire secundară).



Fig.1.16. Cristalizor pentru semifabricat de tip sleb

Fenomenul termic care determină procesul de solidificare are la bază legea transmisiei căldurii pe direcția metal lichid – metal solidificat – peretele cristalizorului – apă de răcire. Crusta de metal solidificat este într-o primă etapă în contact cu peretele cristalizorului, după care se desprinde, lăsând un strat subțire separator de aer. Transmisia de căldură are loc :

_____ - prin conductibilitate în crusta solidificată;

- prin conductibilitate în peretele cristalizorului;
- prin convecție între cristalizor și apa de răcire.

În zona de desprindere se adaugă transmisia simultan prin radiație, conductibilitate și convecție în interstițiul de aer, Fig. 1.17.

Metoda de turnare continuă a oțelului și a metalelor neferoase s-a impus datorită avantajelor pe care aceasta le are față de turnarea clasică în lingouri: scoaterea de metal este îmbunătățită, se obține o calitate superioară a suprafeței semifabricatelor, o segregare mai redusă, se elimină consumul de lingotiere și poduri de turnat oțel, se elimină necesitatea de poduri rulante cu striper și a mașinilor de extragere a lingourilor din lingotiere, se elimină necesitatea mașinilor pentru curățarea și vopsirea lingotierelor [x].

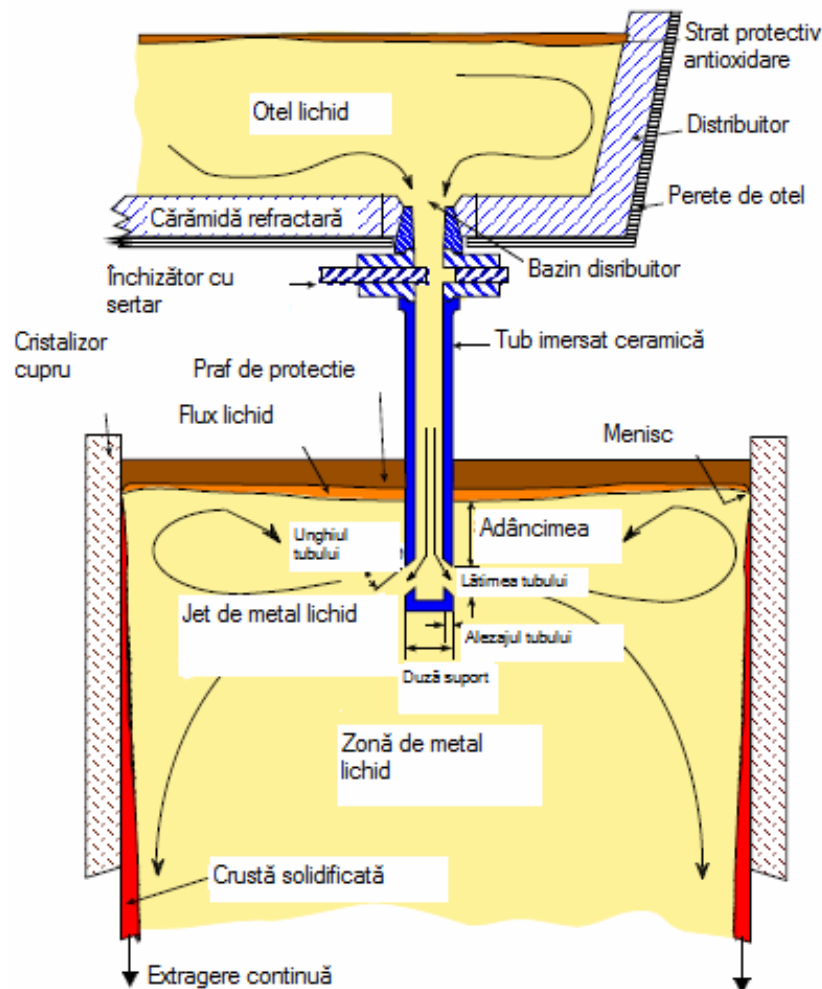


Fig.1.17. Turnarea continuă verticală cu cristalizor de cupru

1.5 Sortimente dimensionale și calitative ale semifabricatelor turnate continuu

Avantajele oferite de turnarea continuă, au determinat extinderea procedului pe sortimente dimensionale și calitative tot mai largi. Astfel, se toarnă semifabricate cu secțiuni pătrată sau dreptunghiulară, cu raportul laturilor până la 2 – 3 (țagle, blumuri), în limitele a 100 x 100 : 350 x 350 mm, secțiunea minimă fiind de 80 x 80 mm.

Sub această valoare apar dificultăți la centrarea jetului în cristalizator, care conduc la solidificarea inegală pe laturi, precum și la pericolul erupțiilor la ieșirea din cristalizator și respectiv, la uzura asimetrică a pereților cristalizatorului.

De asemenea, există rezerve datorită coroaiei insuficient realizabil cu aceste secțiuni mici. Secțiunile maxime se situează în jur de 400 x 400 mm. În mod excepțional și izolat s-au turnat semifabricate cu secțiunea de 450 x 650 mm.

Bramele turnate continuu au secțiunile cuprinse în intervalul 700 x 100 : 2500 x 300 mm. Izolat, se toarnă și brame cu grosimi de 350 mm și lățimi de 2900 mm. În cazul turnării bramelor cu lățimi peste 2300 mm apar probleme cu repartizare a metalului în distribuitor, deoarece un traseu pre lung în acesta determină o scădere inadmisibilă de temperatură. Soluția tehnologică este turnarea cu două orificii și tuburi imersate pentru fiecare fir.

Semifabricatele cu secțiuni rotunde, hexagonale și ortogonale se toarnă în cantități reduse, în limitele dimensionale $\varnothing$ 100 – 300 mm.

În ultimii ani s-a reușit turnarea semifabricatelor încadrate în domeniul raportului $\varnothing$ exterior/ $\varnothing$ interior, 400/100 -750/350 mm.

O altă noutate o reprezintă turnarea secțiunilor fasonate, destinate de exemplu, laminării grinzilor “I” cu tălpi late (Fig.1.18).

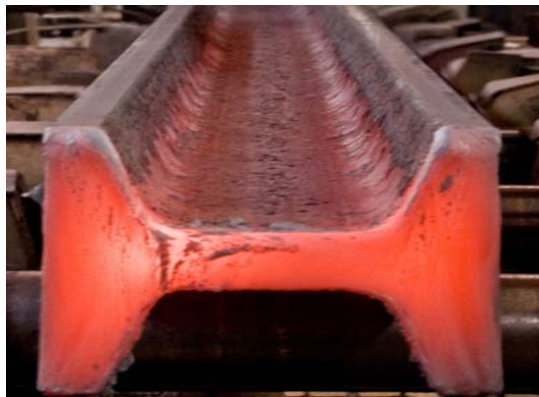


Fig.1.18. Semifabricat cu profil de tip grindă “I” turnat continuu

1.6. Dispozitive de extragere actuale

În general, atât pe plan mondial cât și național, la extragerea profilelor la instalațiile de turnare continuă orizontală se utilizează un sistem care este alcătuit dintr-o pereche (sau mai multe) de role paralele acționate electromecanic și care execută o mișcare de rotație secvențială cu ajutorul unui mecanism motor pas cu pas-reductor. Sistemul de extragere cu role are câteva deficiențe majore: gabarit mare al ansamblului motor pas cu pas-reductor necesitând și un mecanism pneumatic sau hidraulic pentru strângerea pe profil a rolor, care sunt randalinate pentru a putea extrage bara din matriță, fapt ce duce la urme vizibile pe profilul extras .

Pe lângă sistemul clasic de extragere cu role (Fig.1.18) se utilizează și alte sisteme de extragere a semifabricatelor așa cum a fost prezentat în capitolul I. Acestea se prezintă mai detaliat în continuare. Există diferite metode de extragere care se utilizează în paralel cu metoda clasică de extragere cu role, dezvoltate de firme din domeniu cum sunt: Siemens, Concast, Mannesmann Demag, Nippon Kokan KK, și altele.

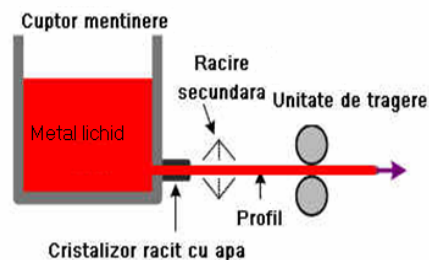


Fig. 1.18. Instalație

orizontală cu role

de turnare continuă

Fiecare dintre aceste firme a cercetat și dezvoltat diferite metode de extragere a semifabricatelor la turnarea continuă orizontală și verticală. Aceste metode, mai noi, sunt extragerea cu saboți de extragere (Fig.1.19).

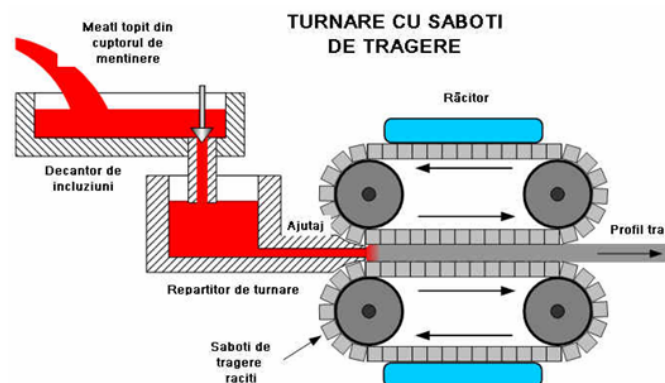


Fig.1.19. Instalație de turnare continuă orizontală cu saboți de extragere

extragerea cu benzi de oțel sau fibră de sticlă, precum și cele clasice sunt prezentate mai jos prin intermediul schițelor de principiu și al imaginilor care urmează. În Fig.1.20. se prezintă instalația de turnare continuă orizontală cu perechi de role.

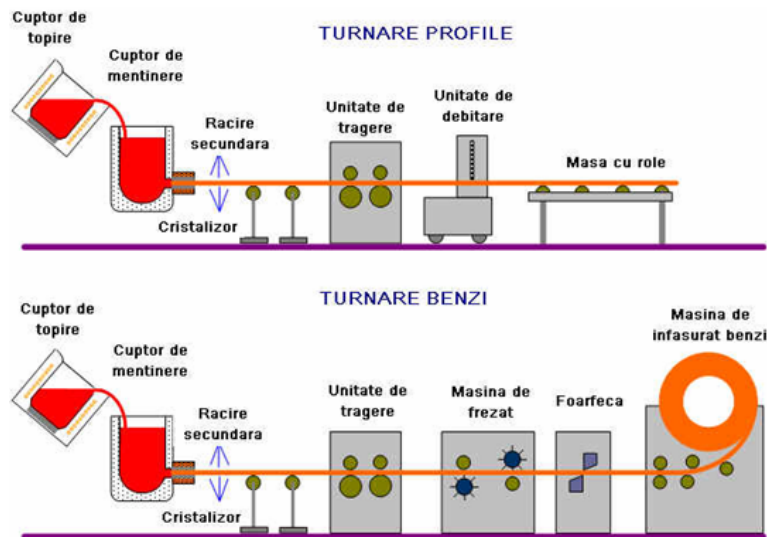


Fig. 1.20. Instalație de turnare continuă orizontală cu perechi de role

La nivel național, firmele din domeniu cum sunt: Arcelor Mittal cu filialele din Galați, Roman, Iași, Hunedoara, TMK cu filialele din Reșița și Slatina, Mechel Tîrgoviște și Oțelul Roșu, utilizează exclusiv instalații de extragere echipate cu role.

Există cercetări și proiecte de cercetare în derulare privind realizarea de metode noi de extragere la turnarea continuă la Institutul de Cercetări Metalurgice, I.C.M. București.

În Fig.1.21,1.22 și 1.23 sunt prezentate instalații pentru turnarea continuă a metalelor feroase și neferoase unde se observă dispozitivele de extragere a semifabricatelor echipate cu role de extragere, iar în Fig.1.23 se prezintă dispozitivul de extragere-îndreptare echipat cu role la o instalație de turnare continuă a oțelului. Instalațiile de extragere la turnarea continuă prezentate mai sus prezintă o serie de dezavantaje:

- gabarit mare al ansamblului motor-reductor;
- necesitatea unui sistem pneumatic sau hidraulic pentru asigurarea forței de strângere pe profil;
- rolele de extragere sunt randalinate ceea ce duce la apariția de urme vizibile pe profil, afectând calitatea semifabricatului;
- necesitatea unei comenzi riguroase a sistemului pneumatic sau hidraulic pentru a evita deformarea profilului tras;

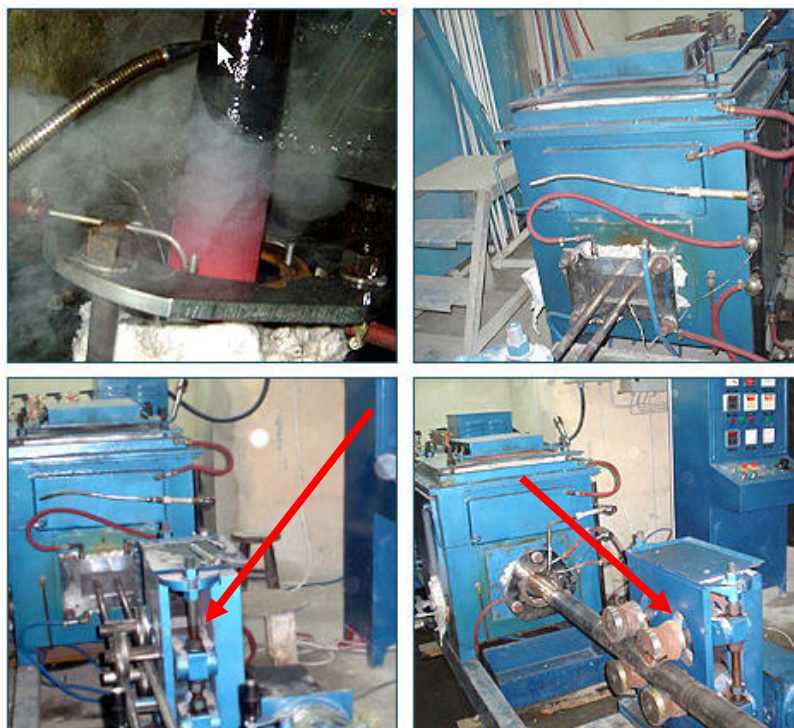


Fig. 1.21. Instalație de turnare continuă orizontală echipată cu perechi de role pentru extragere

- necesitatea în cazul semifabricatelor de dimensiuni mari, a mai multe perechi de role ce trebuiesc sincronizate, ceea ce duce la o complexitate mai mare a instalației de extragere;
- în cazul tragerii cu benzi metalice sau din fibră de sticlă apare o uzură rapidă a acestora datorită solicitărilor dinamice mari la care sunt supuse ;
- dimensiuni mari ale instalației de extragere cu saboți precum și necesitatea unei instalații suplimentare de răcire a saboților.



Fig. 1.22. Instalație de extragere echipată cu role la turnarea verticală

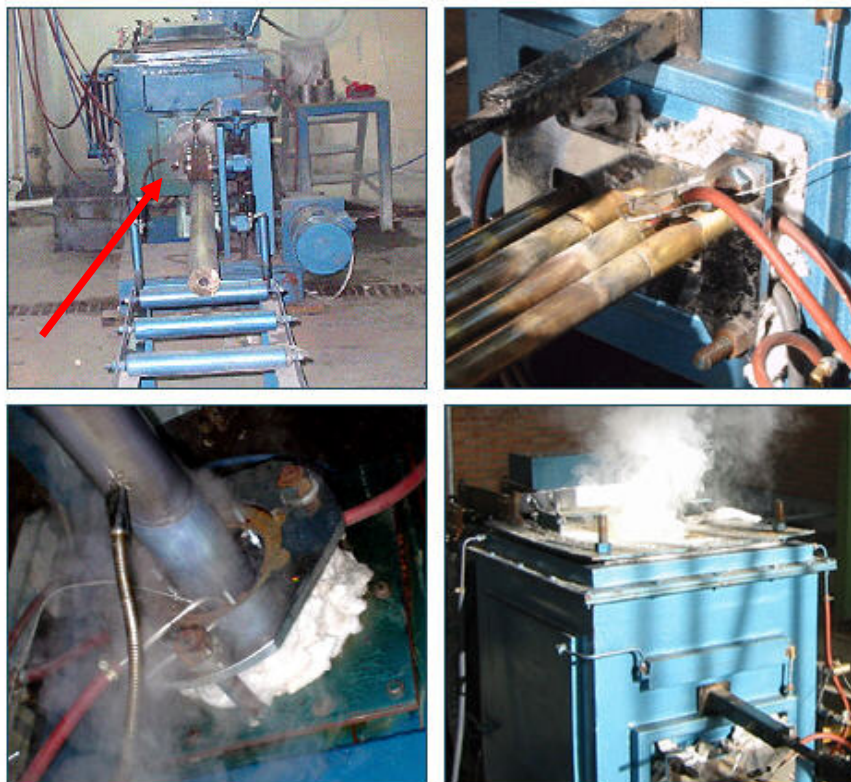


Fig. 1.23. Instalație de turnare continuă orizontală echipată cu role pentru extragerea metalelor neferoase

1.7. Defecte ale semifabricatelor la turnarea continuă

Defectele la turnarea continuă a oțelului apar în timpul solidificării semifabricatului turnat continuu și a răcirii acestuia, conducând adeseori, la importante pierderi metalice. Pentru a prevenii aceste pierderi, scopul tehnologiilor metalurgice și a soluțiilor constructive este de a depista cauzele de apariție, de prevenire și îndepărtare a lor [8].

Defectele semifabricatului turnat continuu pot fi clasificate în trei mari categorii (tabelul 1.1.) [9]:

- defecte de suprafață;
- defecte interne;
- defecte de formă.

Defectele de suprafață a semifabricatelor turnate sunt următoarele: fisuri transversale de colț, fisuri longitudinale de colț, fisuri transversale, fisuri longitudinale, fisuri stelare, mărci de oscilație adânci, sufluri, macroincluziuni [10].

Tabel 1.1. Defecte ale semifabricatelor la turnarea continuă

TIP DEFECT	DEFECT	CAUZE
Defecte de formă	formă romboidală	1. metalurgice- temperaturi de turnare în afara limitelor tehnologice; 2. legate de instalație-viteză de extracție greșită, nealinierea rolor sau uzura lor.
	umflare	
	formă concavă	
	discontinuități ale formei	
Defecte interne	porozități	1. metalurgice- temperatura sau viteza de extracție ridicată, răcire secundară defectuoasă. 2. legate de instalație-forma cristalizorului, deformarea sau uzura cristalizorului
	incluziuni	
	segregații	
	fisuri	
Defecte de suprafață	sufuri	1. metalurgice- temperaturi de turnare ridicate, răcire intensă. 2. legate de instalație-deformări ale cristalizorului, curbare sau îndreptare la temperaturi joase, răcire secundară defectuoasă, dinamică necorespunzătoare a jetului de metal topit.
	crăpături	
	interstiții	
	scoarțe	
	incluziuni nemetalice	
	crustă dublă	

1.8. Factorii tehnologici și constructivi care influențează calitatea suprafeței la semifabricatele turnate continuu

În urma analizei tuturor factorilor tehnologici și constructivi care influențează calitatea suprafeței semifabricatelor turnate continuu, rezultă diagrama cauză – efect (diagrama Ishikawa). Aceasta permite identificarea factorilor cu cea mai mare pondere de influență asupra calității produsului metalurgic. Totodată, diagrama poate sta și la baza construirii sistemelor expert cu ajutorul rețelelor Bayesiene.

Detalierea principalilor factori tehnologici și constructivi care influențează calitatea suprafeței semifabricatelor turnate continuu sunt:

- compoziția chimică a oțelului;
- parametrii cristalizorului;
- răcirea secundară;
- geometria mașinii.

În practica tehnologică s-au identificat două clase de oțeluri a căror compoziție chimică poate conduce la apariția unor defecte de suprafață. Acestea sunt oțelurile peritectice și oțelurile microaliate.

Referitor la geometria mașinii de turnare, ecartul valorilor de exploatare a parametrilor constructivi ai mașinii de turnare continuă prezintă o importanță deosebită asupra calității suprafeței semifabricatului cât și asupra calității interne a acestuia.

Alinierea și geometria rolelor de extragere-îndreptare sunt factori determinanți, mai ales în cazul primului segment, la care o abatere de aliniere poate introduce tensiuni suplimentare în crusta de oțel pe care o susțin.

1.9. Defectele de formă și factorii de influență asupra probabilității de apariție a acestora

Aceste defecte apar mai frecvent, în cazul turnării continue a țagelor (Fig.1.24.) și sunt următoarele:

- romboitatea, care apare în cazul profilului rectangular al semifabricatului;
- ovalitatea, care apare în cazul profilului circular al semifabricatului.

Această deformare a semifabricatelor se datorează apariției și dezvoltării inegale a crustei marginale formate din pereții cristalizatorului, în special la colțuri [x].

Deformarea secțiunii semifabricatului nu constituie o problemă în cazul turnării continue a sleburilor. În anumite cazuri, poate apărea o deplasare a extradadosului slebului cauzată de conicitatea redusă a cristalizatorului, de insuficiența suportului lateral sau de răcirea slabă a colțurilor. Această deformare poate crea probleme în procesul de prelucrare ulterioară a semifabricatului (cuptorul de încălzire, laminare etc.).

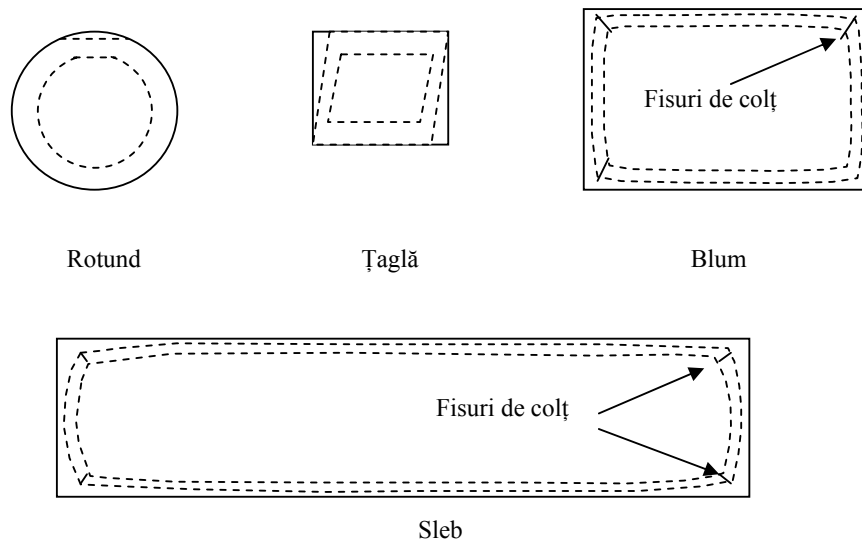


Fig. 1.24. Defecte de formă ale semifabricatelor turnate continuu

Probleme deosebite pot să apară în cazul turnării continue a țagelor. Astfel, descentrarea tubului imersat, dirijarea defectuoasă a jetului de turnare sau răcirea

neuniformă pot genera creșterea neuniformă a crustei în catalizator, cu consecințe negative asupra formării semifabricatului. În acest mod, este posibilă apariția în două colțuri opuse pe diagonală și a căror suprafață se desprinde de catalizator Fig. 1.24.

Nealinierea și geometria rolor permite dezvoltarea acestui defect, care este aproape întotdeauna însoțit de apariția unui alt defect și anume, fisurile longitudinale.

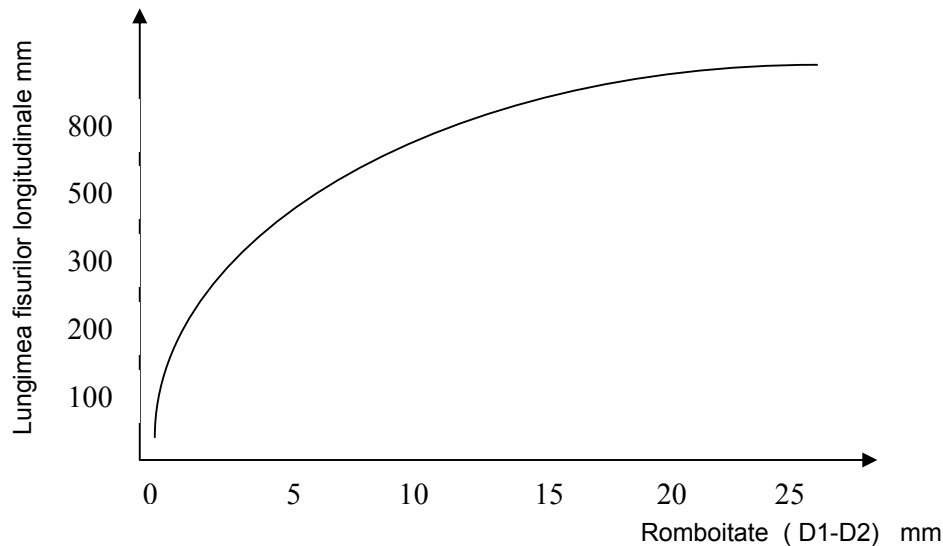


Fig. 1.25. Relația dintre romboiditate și probabilitatea de apariție a fisurilor longitudinale.

Pentru țagile, alinierea corectă a rolor și a duzelor de stropire la ieșirea din catalizator, corelată cu o răcire uniformă și intensă, poate conduce la corectarea acestui defect. Relația dintre romboiditate și probabilitatea de apariție a fisurilor longitudinale este prezentată în Fig. 1.25. și este definită cu relația:

$$R = D_1 - D_2 \quad (1.1)$$

Rezultă că, odată cu creșterea romboidității semifabricatului turnat continuu crește și dimensiunea fisurilor longitudinale.

1.10 Considerații tehnico-economice la turnarea continuă a metalelor

Implementarea turnării continue a metalelor și obținerea semifabricatelor finite prin acest procedeu prezintă următoarele avantaje tehnico-economice:

- creșterea capacității de elaborare a agregatelor primare de obținere a oțelului;
- diminuarea diferențelor calitative care există la obținerea oțelului lichid prin diferite procedee de elaborare;

- reducerea costurilor de producție în urma modernizării agregatelor și a instanțelor de metalurgie secundară (rafinare);
- obținerea de beneficii ca urmare a producției suplimentare rezultate din creșterea scoaterii de oțel.

Cu toate acestea, eficiența turnării continue este determinată, în primul rând, de asigurarea turnării unor secvențe lungi, fapt impus de costurile ridicate ale rafinării și în mod deosebit, de cele proprii, aferente funcționării și ratei de amortizare. Rentabilitatea procedeului depinde de condițiile tehnico-economice de funcționare.

1.11 Capacitatea de producție a instalației de turnare continuă

Capacitatea de producție a instalației de turnare continuă reprezintă elementul esențial al rentabilității procedeului. Capacitatea de producție anuală C_{pa} a instalației de turnare continuă se determină cu relația:

$$C_{pa} = n_{ze} \cdot n_{sz} \cdot G_s \text{ t/an} \quad (1.2)$$

unde: n_{ze} este numărul de zile efective de funcționare, zile/an;

n_{sz} – numărul de șarje turnate zilnic, șarje/zi;

G_s – greutatea medie a șarjei, tone.

Dar,

$$n_{sz} = k_n \cdot 1440 / (t_{mt} + t_p), \text{ șarje/zi} \quad (1.3)$$

unde: k_n este un coeficient de neuniformitate, care în cazul instalațiilor de turnare continuă cu funcționarea secvențială are valoarea de 0,7...0,9;

t_{mt} - durata maximă a turnării, [min].;

t_p - durata pauzei între turnări, [min].

Valoarea mărimii t_{mt} depinde de capacitatea oalei de turnare. Din relațiile (1.2) și (1.3) rezultă că valoarea capacității de producție crește în raport cu scăderea valorii t_p (în cazul turnării secvențiale, timpul de pauză corespunzător se diminuează în același raport cu numărul șarjelor turnate în cadrul fiecărei secvențe) [8].

Durata unei operații de turnare t_1 este limitată la 60...70 min, indiferent de cantitatea de oțel [P] care trebuie turnată, pentru a nu se răci oțelul prea mult în oala de turnare și în pâlnia intermediară. Pentru o cantitate mai mare de oțel este necesar un număr mai mare de fire (de cristalizoare în care se toarnă concomitent).

Numărul m de fire se determină cu relația:

$$m = \frac{1000 \cdot P}{g \cdot v_{tr} \cdot t_1} \quad (1.4)$$

unde: g este greutatea liniară a produsului turnat (kg/m), iar $n = 1 \dots 8$.

Dacă se notează cu t_2 durata dintre două turnări, numărul de turnări N în 24 h este dat de relația:

$$N = \frac{24}{t_1 + t_2} \quad (1.5)$$

iar productivitatea P_{24} a unei instalații de turnare continuă este:

$$P_{24} = \eta \cdot n \cdot P \quad (1.6)$$

Ca urmare, asigurarea condițiilor necesare creșterii duratei turnării secvențiale reprezintă o cerință esențială, dependentă de: asigurarea ritmicității elaborării șarjelor; limitarea apariției fenomenului de obturare [10].

Comparativ cu turnarea clasică, turnarea continuă prezintă importante avantaje metalurgice:

- reduce substanțial neomogenitatea chimică și structurală a produsului turnat datorită răcirii rapide (zona a II-a este puțin extinsă, iar elementele nu au timp să segege);
- oferă posibilitatea de a controla ușor mărimea grăunților, prin intensitatea răcirii (se obțin grăunți primari, relativ mici);
- incluziunile nemetalice sunt mai puține, mai mici și mai uniform distribuite în semifabricat (datorită vitezei mari de răcire, ele nu au timp să coaguleze sau să se aglomereze);
- scoaterea de oțel este mare, ajungând la peste 96% față de 75...85% la turnarea clasică, datorită faptului că se formează o singură retasură, la sfârșitul turnării unei secvențe;
- suprafața semifabricatelor este de bună calitate, eliminându-se în cea mai mare parte, defectele de suprafață.

De asemenea, turnarea continuă prezintă și alte avantaje de ordin economic, cum ar fi:

- utilizarea mai intensă a instalațiilor (t_2 mic);
- asigurarea unei deserviri mai ritmice a laminoarelor;
- eliminarea laminoarelor primare (slebingurile, blumingurile);

- micșorarea cheltuielilor materiale (cu maselotierele, lingotierele, podurile de turnare) și de manoperă;
- posibilitatea mecanizării și automatizării complete.

Din datele statistice parcurse se constată o creștere a consumului de oțel, după 1989 de 22 %. De aceea, apare necesitatea reactualizării concepției privind utilajul de turnare care cuprind inclusiv metode de extragere și îndreptare a semifabricatelor turnate continuu, materialele refractare utilizate, și tehnologia practică, în concordanță cu obiectivele de calitate și de consum ale producătorilor de oțel. Eficiența turnării continue constă în următoarele aspecte:

- reducerea în mod considerabil a cheltuielilor de producție;
- se realizează importante economii de energie și combustibil care se consumă la încălzirea și laminarea preliminară a lingourilor;
- creșterea procentului de scoatere.

Astfel, considerarea unor soluții de îmbunătățire a performanțelor instalațiilor de turnare continuă reprezintă o necesitate a saltului calitativ și economic în domeniul producției de semifabricate metalice. Se urmăresc astfel următoarele deziderate:

- creșterea calității suprafeței semifabricatelor;
- reducerea abaterilor dimensionale și de formă a profilelor metalice turnate continuu;
- reducerea costurilor energetice.

Capitolul 2. Obiectivele tezei de doctorat

Prezenta lucrare are ca scop studierea, evaluarea, optimizarea și prezentarea unor dispozitive mecanice de extragere a semifabricatelor la turnarea continuă a metalelor, atât la turnarea continuă verticală cât și orizontală în scopul creșterii calității suprafețelor, a preciziei de formă geometrică și dimensională, reducerea consumurilor energetice și cheltuielilor de exploatare, precum și creșterea productivității.

Obiectivele urmarite:

- ✓ realizarea unei sinteze bibliografice privind stadiul actual al cercetărilor în domeniu instalațiilor de turnare continuă a metalelor și dispozitivelor de extragere a semifabricatelor;
- ✓ identificarea defectelor semifabricatelor metalice turnate continuu;
- ✓ analiza posibilităților de reducere a defectelor semifabricatelor metalice turnate continuu;
- ✓ conceperea și proiectarea unor dispozitive originale de extragere a semifabricatelor metalice pentru turnarea continuă orizontală utilizând proiectarea asistată de calculator;
- ✓ analiza structurală a dispozitivelor concepute;
- ✓ verificarea constructiv-funcțională prin simulare a dispozitivelor concepute;
- ✓ analiza cinematică și cinetostatică a dispozitivelor mai sus amintite;
- ✓ optimizarea suprafețelor active de contact ale roților cajelor de extragere-îndreptare la mașina de turnare continuă a oțelului cu fir curbiliniu, de la TMK Reșița, în vederea creșterii calității suprafeței, a preciziei formei geometrice și dimensionale, reducerea consumurilor energetice și a cheltuielilor de exploatare, precum și creșterea productivității și a producției;
- ✓ realizarea unei role de extragere-îndreptare, cu suprafețe de contact active multiple, pentru mașina de turnare continuă a oțelului de la TMK Reșița.

Capitolul 3. Concepția constructiv-funcțională a dispozitivelor originale de extragere a semifabricatelor pentru turnarea continuă orizontală

3.1. Aspecte privind proiectarea și modelarea dispozitivelor mecanice utilizând tehnici avansate CAD

Pentru eliminarea acestor dezavantaje precum și pentru îmbunătățirea calității suprafețelor semifabricatelor turnate contunuu se propune optimizarea instalației de extragere la turnarea continuă orizontală prin conceperea de noi dispozitive de extragere mecanică. Totodată, se propune optimizarea geometriei rolor de extragere-îndreptare la turnarea continuă a oțelului la TMK Reșița în vederea îmbunătățirea calității suprafeței și geometriei semifabricatelor.

Întrucât proiectul CAD (Computer Aided Design) stă la baza fabricației digitale, se va detalia în cele ce urmează acest domeniu pentru înțelegerea acestei tehnici. Prima generație de pachete CAD erau simple programe de desenare 2D asistată de calculator, de fapt, echivalentele electronice ale planșetei din atelierul de proiectare de atunci. Pentru modelele tipice, utilizarea acestui tip de program ar necesita crearea individuală a câtorva sau a mai multor vederi ale obiectelor, ca și cum ar fi prezentate pe planșa de proiectare.

Proiectarea, reprezentarea 3D, rămânea în mintea proiectantului, nu în baza de date a calculatoarelor. Transformările mentale ale obiectelor 3D în imagini 2D au fost necesare pe toată durata utilizării acestor pachete, respectând prescripțiile și condițiile impuse de geometria descriptivă și de regulile desenului tehnic – la fel ca în cazul desenatului la planșetă.

Deși astfel de sisteme prezintă avantaje față de desenarea tradițională la planșetă (cel puțin repetitivitatea și destul de rapida posibilitate de modificare, totuși lucrul la planșetele electronice nu era cu mult mai eficient și nu împiedica adnotările asupra desenului, pentru o revizuire. Dimpotrivă, era mult prea simplu și fără control. Necesitatea dezvoltării programelor de modelare 3D a venit natural, date fiind limitările pachetelor de desenare 2D.

Dezvoltarea tridimensională a început cu așa-numita reprezentare wireframe (rețea). Modelele wireframe sunt modele sunt formate din puncte și muchii. Muchiile

modelelor wireframe sunt utilizate, similar liniilor din desenele 2D, pentru reprezentarea tranzițiilor suprafețelor și caracteristicilor.

Deși, modelele wireframe necesită o putere de calcul foarte mică pentru reprezentare și, pot fi utilizate în general, pentru realizarea unor reprezentări destul de bune ale modelelor 3D, ele prezintă dezavantajul posibilelor ambiguități de formă datorate reprezentării 2D (Fig.3.1.). De exemplu, nu ne putem da seama dacă o muchie sau un colț este perceput ca fiind înaintea colțului opus.

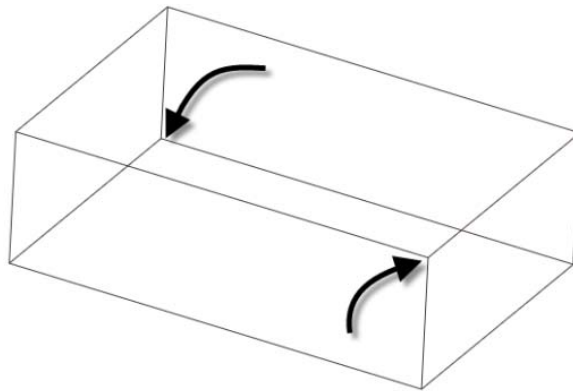


Fig.3.1. Incertitudine - în cazul reprezentării wireframe

Modelarea suprafețelor reprezintă dezvoltarea logică în modelarea geometrică pe calculator pentru respectarea schemei de modelare wireframe 3D prin organizarea și gruparea muchiilor ce mărginesc suprafețele. Astfel putem observa dacă o față este înaintea alteia, putând vizualiza și înțelege mai bine modelul 3D. Proiectanții trebuie în continuare să examineze interactiv modelele de suprafețe pentru a se asigura că diversele suprafețe dintr-un model sunt sau nu adiacente. Multe dintre conceptele utilizate în wireframe-ul 3D și programele de modelare a suprafețelor sunt încorporate în schema modelării solidelor, dar modelarea solidelor este cea care oferă majoritatea avantajelor ca instrument de proiectare.

În schema de prezentare a modelării solidelor, definirea solidelor include noduri, muchii și suprafețe, aceasta fiind o reprezentare matematică clară a unui volum complet definit și plin (cu grosime). Spre deosebire de metoda modelării suprafețelor, programele de modelare a solidelor conțin reguli de topologie pentru a se asigura că toate suprafețele sunt prinse împreună în mod corespunzător și nu există ambiguități în modelul 3D.

3.2. Tehnici avansate CAD, CAE, CAM

La începutul anilor 1980 a apărut o nouă paradigmă denumită inginerie concurentă, bazată pe tehnicile CAD (Computer Aided Design), CAE (Computer Aided Engineering) , CAM (Computer Aided Manufacturing). Cu ajutorul ingineriei concurente, proiectanții, analiștii, inginerii de fabricație, și inginerii de organizare colaborează strâns chiar din fazele incipiente ale proiectării. Astfel, toate aspectele proiectării pot fi evaluate și eventualele probleme pot fi identificate încă de la început dar și pe parcursul procesului de proiectare. Prin utilizarea principiilor ingineriei simultane a apărut un nou tip de tehnică de modelare pe calculator. Tehnica este cunoscută sub denumirea tehnica de modelare parametrică bazată pe caracteristici (parametric feature based modeling). Avantajul major al acestei tehnici de modelare este capacitatea acesteia de a produce proiecte foarte flexibile. Modificările pot fi efectuate cu ușurință, iar alternativele de proiectare pot fi evaluate cu un efort minim. Diverse pachete software oferă abordări diferite ale modelării parametrice, dar rezultatul final este un design flexibil, definit de variabilele de proiectare și caracteristicile parametrice.

Abordarea modelării parametrice bazată pe caracteristici dispune de o tehnologie înaltă de modelare a solidelor. Modelarea parametrică automatizează procedurile de proiectare și revizuire prin utilizarea caracteristicilor parametrice.

Caracteristicile parametrice controlează geometria modelelor prin utilizarea variabilelor de proiectare. Termenul parametric înseamnă că definițiile geometrice ale design-ului, cum ar fi dimensiunile, pot fi modificate în orice moment pe parcursul procesului de proiectare prin intermediul unor parametri.

Caracteristicile, denumite și operații de modelare, sunt instrumente de construcție predefinite în care utilizatorii atribuie valori sau expresii parametrilor. O piesă este descrisă ca fiind o secvență de operații de modelare (caracteristici) ce pot fi modificate sau schimbate în orice moment. În modelarea parametrică, modelele și desenele sunt actualizate automat în momentul modificării proiectului.

Modelarea parametrică oferă multe beneficii:

- o pornirea de la modele simple, conceptuale cu detalii minime; această abordare respectă filozofia de proiectare a „formeî înainte dimensiunii”.
- Urmează apoi aplicarea constrângerilor geometrice, dimensionale și

- ecuațiilor parametrice ce pot fi utilizate pentru capturarea obiectivului proiectării (design intent);
- o abilitatea actualizării întregului sistem, inclusiv a pieselor, ansamblurilor și desenelor, după modificarea unui parametru;
- o posibilitatea explorării rapide și evaluării diverselor variante și alternative de proiectare în vederea determinării celei mai bune soluții;
- o datele existente pot fi reutilizate și în alte proiecte.

3.3 Etapele proiectării

Proiectarea este activitatea tehnică mintală și grafică, desfășurată de la elaborarea temei(ideea de proiectare) și până la concretizarea imaginii grafice în desenele de execuție. Proiectarea are în vedere o serie de condiții pe care trebuie să le îndeplinească obiectul proiectării (mașină, dispozitiv, sculă sau organ de mașină).

a. Asigurarea funcționalității și siguranței în funcționare. Prin siguranța în funcționare se înțelege:

- rezistența la solicitările normale și accidentale pe durata estimată pentru buna funcționare;
- rigiditate la nivelele admise pentru categoria de utilaje și piese considerate;
- funcționare silențioasă;
- funcționarea în condiții de temperatură admisă.

b. Asigurarea unui randament maxim.

c. Proiectarea cu un grad de refolosire cât mai mare. Aceasta impune ca în componența mașinii să fie incluse cât mai multe piese standardizate, tipizate sau refolosite din proiecte de mașini proiectate anterior.

d. Realizarea pieselor din materialele și prin tehnologiile care implica cele mai reduse costuri, dar care sunt accesibile întreprinderii sau colaboratorilor direcți.

e. Asigurarea fiabilității economice. Pentru fiecare tip de mașină se apreciază o durată de bună funcționare economică. Această durată trebuie să fie suficient de lungă, pentru ca mașina să se amortizeze în condiții rentabile, dar în același timp să fie limitată astfel încât să nu se depășească uzura morală. Se caută ca toate piesele componente ale mașinii să iasă din funcționare datorită uzurii cam în același timp. În

cazul în care nu se poate asigura acest deziderat, piesele de uzură trebuie astfel plasate în mașină încât să poată fi înlocuite cu ușurință.

f. Respectarea normelor de protecția muncii și prevenirea incendiilor.

g. Asigurarea unei deserviri ergonomice.

h. Realizarea unui design care să respecte principiile esteticii industriale[37].

3.4. Softuri utilizate pentru proiectarea dispozitivelor

Pe piață există o multitudine de aplicații CAD, ele departajându-se în funcție de domeniul în care sunt specializate, sau prin faptul că pot performa în mai multe ramuri ale industriei. Din prima categorie fac parte programe precum Solid Edge, Inventor, Solid Works ele fiind considerate programe din categoria de mijloc, cu o integrare medie a modulelor și specializate mai mult pe partea de concepție a modelului 3D.

Softurile din cea de a doua categorie integrează în aceeași interfață mai multe domenii din ciclul de viață al produsului (concepție, fabricație, simulare). De asemenea au funcțiuni avansate de modelare a suprafețelor și o bună integrare în aplicații PLM (Product Life Management). Practic, le putem folosi în orice domeniu al industriei, indiferent de gradul de complexitate al produselor concepute. Există 3 programe software integrate: NX (fost Unigraphics), CATIA și Pro/ENGINEER. Softul utilizat pentru proiectarea, optimizarea și simularea dispozitivelor concepute este SolidWorks.

Pentru optimizarea instalației de extragere la turnarea continuă orizontală s-a propus realizarea de noi dispozitive de extragere care au condus la conceperea, proiectarea și simularea mișcării, a patru dispozitive de extragere originale, care sunt descrise în continuare [44].

3.5 Concepția dispozitivului de extragere cu bacuri semicilindrice

Dispozitivul de extragere care folosește în locul rolor de extragere, acestea având suprafață mică de contact cu semifabricatul, bacuri ajustabile orizontal cu suprafața de contact cu semifabricatul semicilindrică, este prezentat în Fig.3.2. în vedere isometrică. Fig.3.3. prezintă în vedere spațială dispozitivul de extragere cu bacuri semicilindrice, proiectat cu ajutorul platformei SolidWorks.

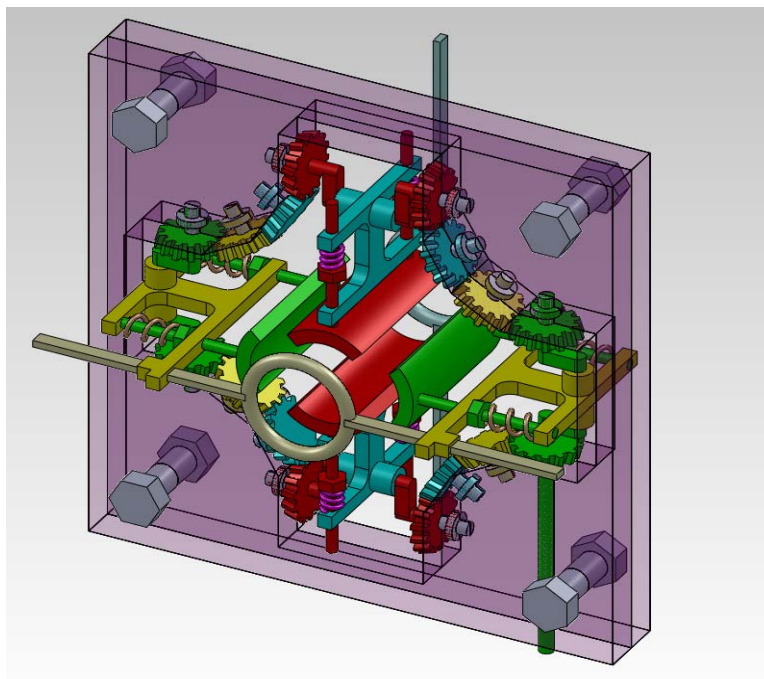


Fig.3.2. Vedere izometrică a dispozitivului de extragere cu bacuri semicilindrice

Această metodă de extragere a semifabricatului, asigură forța necesară extragerii, fără a crea defecte. Metoda extragerii cu bacuri a semifabricatelor la turnarea continuă orizontală, aduce o serie de avantaje față de cea clasică, cu role.

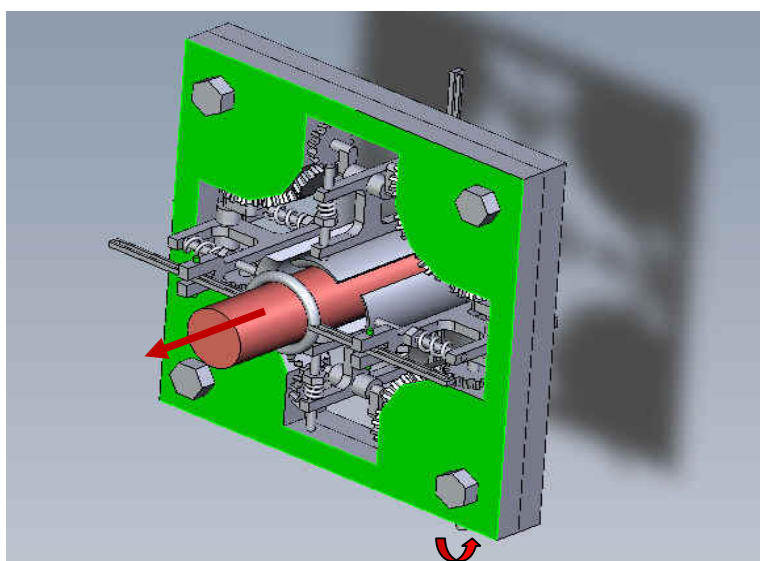


Fig.3.3. Vedere spațială a dispozitivului de extragere cu bacuri semicilindrice

Principalul avantaj constă în diminuarea urmelor vizibile pe semifabricat, comparativ cu urmele datorate presiunii mari exercitate la extragerea clasică, cu role.

Dispozitivul se bazează pe avansul mecanic impus bacurilor, pe care acestea îl transferă semifabricatului, rezultând o extragere secvențială sau intermitentă, într-o gamă largă de viteze și de timpi de extragere. Alte avantaje ale acestei metode de extragere sunt :

- eliminarea sistemului hidraulic pentru strângerea rolor pe semifabricat, forța de strângere în cazul dispozitivului propus, fiind asigurată cu arcuri elicoidale de compresiune;
- parametrii de reglare sunt ușor de introdus prin intermediul interfeței de automatizare;
- precizia și constanța parametrilor prescriși;
- stabilitatea și ușurința ajustării parametrilor de extragere, în strâns acord cu tipul de aliaj, gradul de vâscozitate și conductivitate termică.

Principalul dezavantaj al dispozitivului propus, îl reprezintă contactul intermitent cu profilul extras. Această metodă nu se poate aplica la extragerea continuă a semifabricatului.

Un alt dezavantaj, îl reprezintă utilizarea arcurilor de compresiune a căror constantă elastică este dependentă de temperatură. Pentru a înlătura acest dezavantaj se procedează la montarea arcurilor cât mai departe de bacuri (în partea exterioară a tijei suport).

Principalii parametrii cinematici ai instalației de extragere cu bacuri semicilindrice care trebuie asigurați sunt:

- cursa de întoarcere are valori între 0– 50 mm;
- timpul de strângere are valori între 0.5– 9.9 secunde;
- viteza de întoarcere are valori între 0.5– 9.9 și 10– 20 mm/secundă;
- timpul de menținere la întoarcere are valori între 0.1– 9.9 secunde;
- cursa de extragere are valori între 0- 50mm;
- viteza de extragere are valori între 0.5- 9.9 și 10- 20 mm/secundă;
- timpul de staționare are valori între 1- 9.9 secunde;
- timpul de eliberare are valori între 1- 9.9 secunde.

Programul de proiectare CAD, Solid Works, oferă posibilități funcționale largi, cum sunt (Fig.3.4) :

- ✓ modelarea solidelor;
- ✓ crearea geometriei de referință;

- ✓ modelarea pieselor din foi;
- ✓ schițarea;
- ✓ modelarea ansamblurilor;
- ✓ interfața aplicațiilor programului (API).

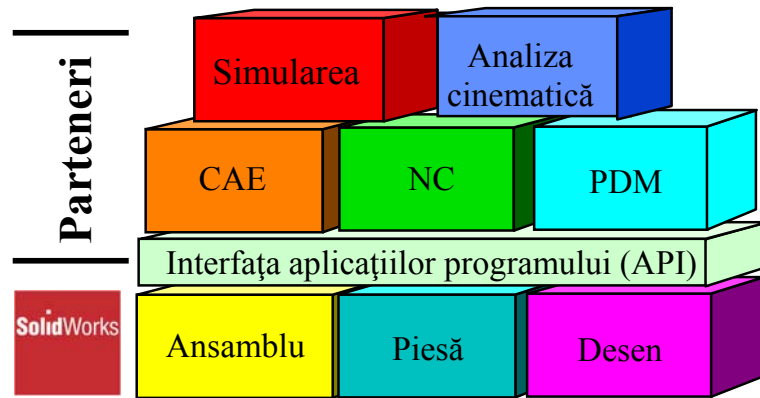


Fig. 3.4. Structura SolidWorks- Parteneri de soluționare

Fereastra principală de lucru SolidWorks, este prezentată în Fig.3.5 unde se observă mecanismul de extragere de tip “ansamblu” constituit din obiectele solide de tip “part”, create anterior asamblării.

După proiectarea și desenarea fiecărui element sau corp solid al dispozitivului, acestea se grupează într-un ansambl. Elementele proiectate se leagă între ele prin cuple cinematice (constrângeri între elemente), astfel încât să asigure funcționarea și desmodromia mecanismului.

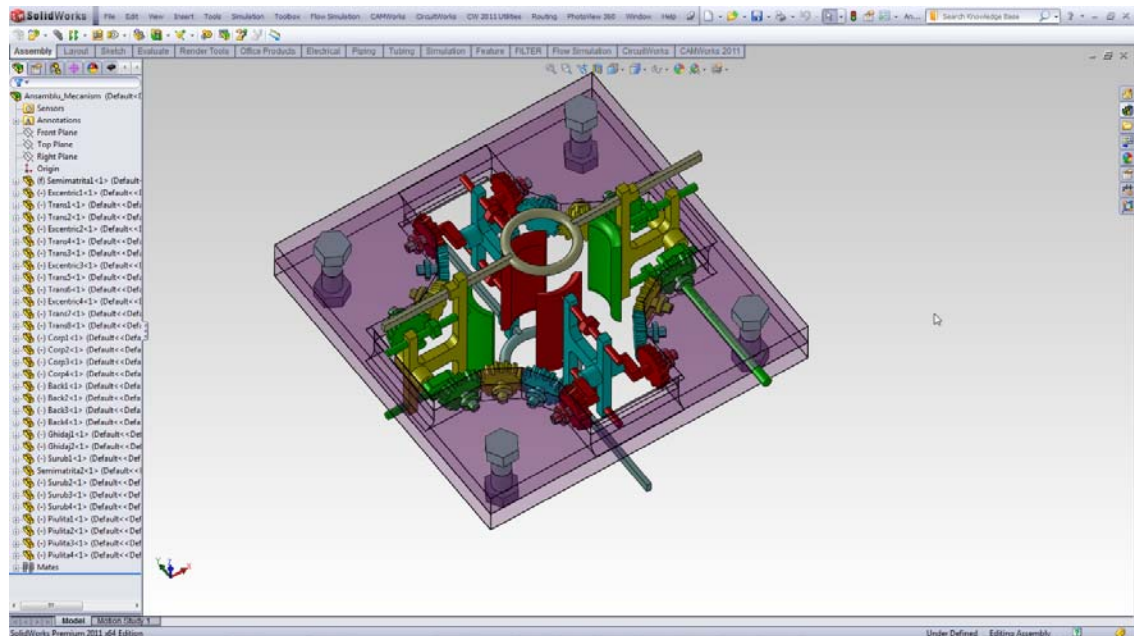


Fig. 3.5. Fereastra principală de tip “ansamblu” în SolidWorks

În Fig.3.5. se prezintă fereastra de lucru de tip ansamblu a programului SolidWorks. În partea stângă sunt afișate elementele din care este alcătuit dispozitivul conceput. Pentru realizarea unui mecanism se procedează astfel:

- se realizează elementele mecanismului, individual, fiecare element în parte, prin desenarea 2D și 3D, conform temei de proiectare;
- după realizarea tuturor elementelor mecanismului, se construiește mecanismul prin asamblarea pieselor (se realizează constrângerile între elemente rezultând cuplele cinematice);
- se selectează proprietățile de material pentru fiecare element;

În Fig.3.6 se prezintă elementele componente ale dispozitivului conceput.

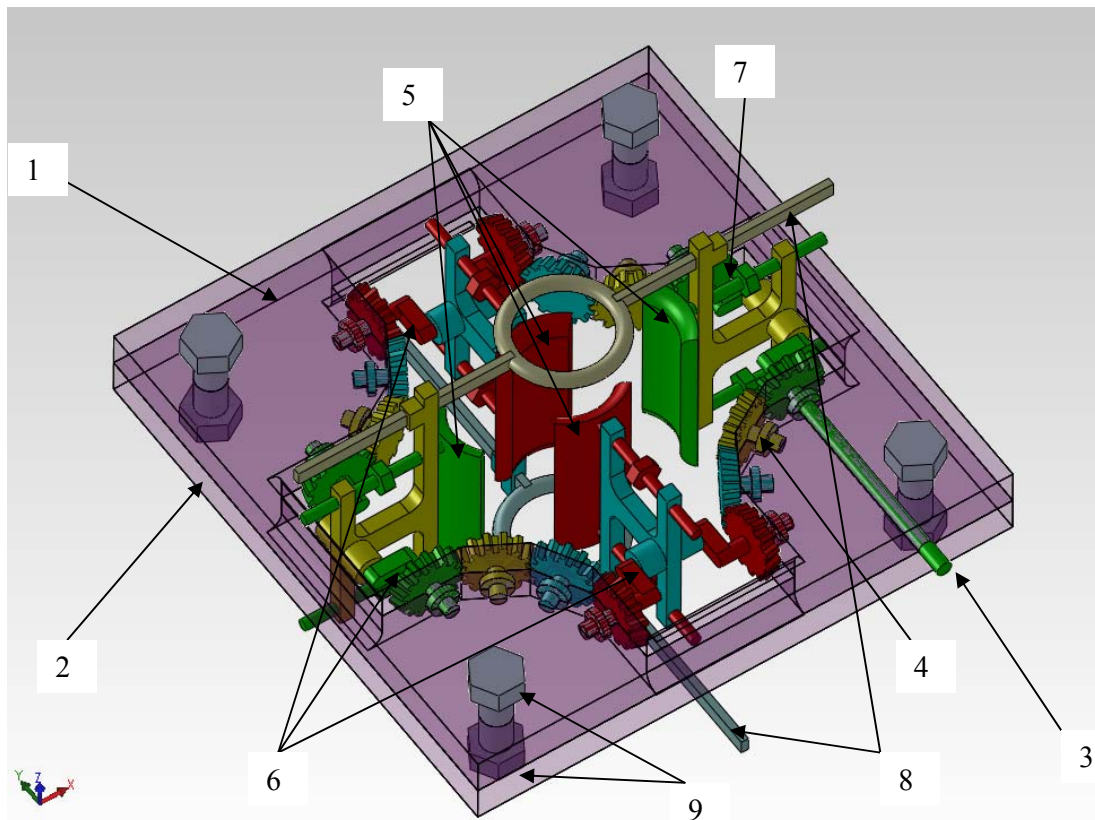


Fig. 3.6. Dispozitiv de extragere cu bacuri semicilindrice - părți componente

Dispozitivul este format din:

- 1 este semi-carcasă superioară;
- 2– semi-carcasă inferioară;
- 3– arbore de intrare;
- 4– angrenaj cu roți dințate conice;
- 5- bacuri semicilindrice cu tije;

- 6- arbori excentrici cu piese port-bacuri;
- 7- arcuri elicoidale de compresiune;
- 8- bare de centrare și rigidizare;
- 9- șurub/piuliță pentru îmbinare semi-carcase.

Funcționarea dispozitivului se bazează pe momentul de torsiune pe care acesta îl primește de la un reductor de turație prin intermediul arborelui de intrare 3. Mișcarea de rotație se transmite mai departe la arbori excentrici 6, prin intermediul angrenajelor cu roți dințate conice 4. Angrenajele cu roți dințate conice sunt fixate în semi-carcasele 1 și 2 și sunt sincronizate prin geometrie și montaj astfel încât să formeze un lanț cinematic închis. Arborii excentrici sunt montați doi câte doi, diametral opuși astfel încât, să se situeze în antifază. Astfel, când doi arbori excentrici, diametral opuși, sunt în poziția cea mai apropiată de axa Oz, ceilalți doi sunt în poziția cea mai departată de axa Oz.

Se asigură în acest fel funcționarea dispozitivului de extragere în regim intermitent, două bacuri extrag semifabricatul, iar celelalte două sunt retrase, urmând ca la următorul ciclu de extragere, să acționeze cealaltă pereche de bacuri. Forța de strângere între semifabricat și bacuri este asigurată de arcurile elicoidale 7, iar mișcarea de avans pentru extragere, este asigurată de deplasarea pe axa Oz a pieselor port-bacuri cuplate cu arborii excentrici printr-o cuplă de rotație. În raport cu semifabricatul, bacurile execută o mișcare de rototranslație și formează împreună cu acesta o cuplă cinematică deschisă, la care mișcarea este transmisă mixt, prin formă și forță.

În continuare se prezintă un calcul de dimensionare exemplificativ, pentru mecanismul reductor, care asigură momentul de torsiune de la intrarea dispozitivului descris anterior. Se prezintă, de asemenea, un calcul de dimensionare a unui arc de compresiune necesar pentru aplicarea forței de strângere. Calculele de dimensionare s-au efectuat pentru un extragerea unui semifabricat din oțel cu diametrul $\varnothing 120$ mm. În Fig.3.7. se prezintă schema cinematică a unui bac al dispozitivului, de la care s-a pornit calculul.

β - Unghiul de început de prindere al bacului la contactul cu profilul tras [°]

Având următoarele valori necesare pentru un profil rotund cu diametrul de 120 mm:

$D_2 = 100$ mm

$R_1 = 45$ mm

$L_1 = 140$ mm

$PQ = 130$ mm (distanța de la punctul de contact P la punctul Q al extremității bacului (Fig.3.7)

rezultă:

$$\beta := \operatorname{atan} \left[\frac{PQ}{\left(\frac{D_2}{2} + L_1 \right)} \right] \cdot \frac{180}{\pi} \quad [^\circ] \quad (3.1)$$

Reacțiunea la forța de tracțiune a mecanismului este dată de valoarea parametrilor procesului de solidificare în cristalizor și de coeficienții specifici materialului și cristalizorului, se determină pentru cristalizorul curb cu ajutorul relației:

$$F_1 = \mu \cdot B \cdot \gamma \cdot R^2 \cdot \phi^2 / 2 \quad [\text{N}] \quad (3.2)$$

unde:

μ este coeficientul de frecare pentru aliajul solidificat de către pereții cristalizorului ($\mu = 0,47 \dots 0,55$), se adoptă $\mu = 0,5$

B - perimetrul secțiunii semifabricatului [m]

γ - greutatea specifică a oțelului lichid $\gamma = 70000$ [N/m³]

R - raza cristalizorului [m]

ϕ -unghiul meniscului aliajului lichid în interiorul cristalizorului [rad]

Acestei relații i se adaugă doi coeficienți de corecție: $K_1 = 1,5 \dots 2$ funcție de gradul de rodaj al cristalizorului și $K_2 = 1,75 \dots 1,8$ funcție de natura aliajului.

Pentru cristalizorul orizontal valoarea forței de tracțiune s-a adoptat 1 (Tf), rezultată din studiul datelor experimentale publicate de diversi autori și firme producătoare de echipament, pentru diametrul $\varnothing = 120$ mm. În Fig. 3.8 se prezintă schema bloc a instalației de turnare continuă orizontală, la care rolele de extragere sunt înlocuite cu mecanismul de extragere cu bacuri.

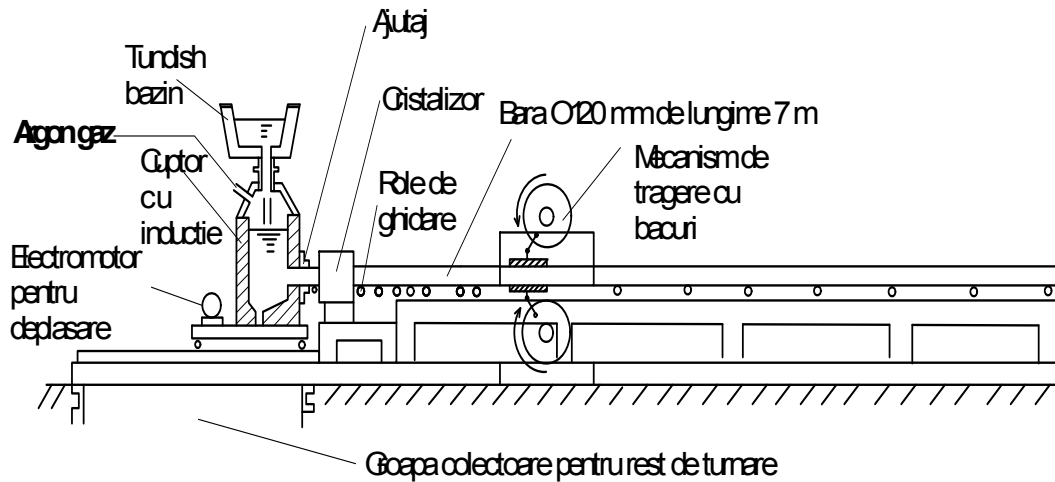


Fig. 3.8. Schema bloc a instalației de turnare continuă orizontală cu mecanism de tragere cu bacuri

Tabel 3.1 Specificații de utilaj

Element	Valoare	UM
Capacitate cuptor de inducție	1	t
Capacitate bazin distribuitor	0,5	t
Diametrul barei cilindrice extrase	120	mm
Lungimea barei cilindrice trase	7	m
Tip oțel	Inoxidabil	
Mecanism de extragere	Mecanic	
Tipul extragerii	Intermitent	
Sistem de răcire	Cupru răcit cu apă	
Răcire secundară	Nu	

Diagrama tipului de extragere intermitentă a profilelor, la turnarea continuă orizontală, cu privire la viteza de tragere în funcție de timp, utilizată în mod curent în practica industrială, este prezentată în Fig. 3.9. [x].

Condițiile experimentale propuse pentru dimensionarea motorului electric și a reductorului sunt prezentate în tabelul 3.2:

Tabel 3.2 Condiții experimentale ale instalației

--

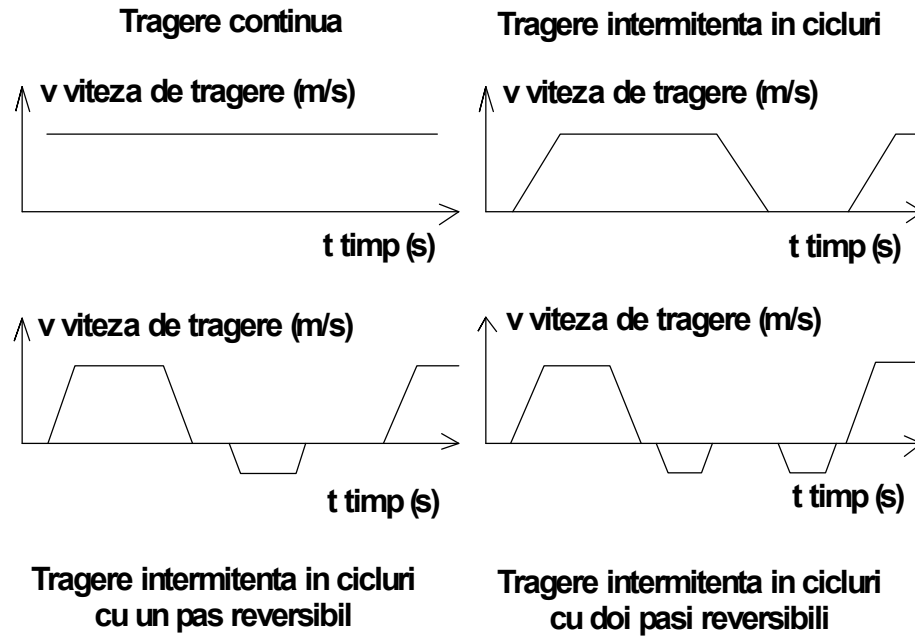


Fig. 3.9. Diagrame viteză-timp continue și intermitente la turnarea continuă orizontală

Schema de principiu a transmisiei mecanice propuse pentru acționarea dispozitivului de extragere este prezentată în Fig. 3.10:

ME Motor Electric
TCT Transmisie prin cureli trapezoidale
RT Reductor de turație cu roți dintate
C Cuplaj

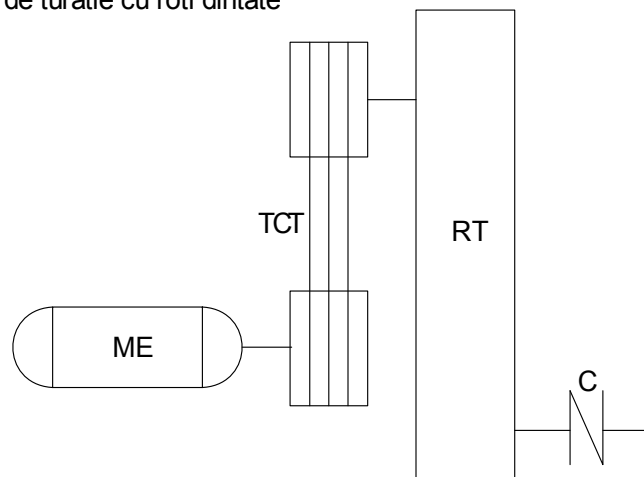


Fig. 3.10. Schema de principiu a transmisiei mecanice

a). Calculul de dimensionare al motorului și reductorului

Considerând deplasarea teoretică a barei trase ca fiind $D_t = 2 \cdot PQ$, datorită alunecării bacurilor pe semifabricat la solicitarea variabilă și, considerând maximul forței de prindere în punctul P, conform Fig. 3.7 rezultă:

Viteza de tragere minimă va fi: $V_{tmin}=300$ mm/min

Viteza de tragere maximă va fi: $V_{tmax}=1.200$ mm/min

Randamentul deplasării: $\eta_d=0.75$

$$D_t=2 \cdot PQ \cdot \eta_d \quad (3.3)$$

=> $D_t=195$ mm

Rezultă că o rotație completă asigură o deplasare a barei trase de 195 mm.

Numărul minim de rotații pe minut pentru asigurarea vitezei de tragere de 0,3 m/min va fi:

$$N_{rot_min}=V_{t_min}/D_t \quad (3.4)$$

$N_{rot_min}=1,538$ rot/min, la ieșirea din reductor.

Numărul maxim de rotații pe minut pentru asigurarea vitezei de tragere de 1,2 m/min va fi:

$$N_{rot_max}=V_{t_max}/D_t \quad (3.5)$$

$N_{rot_max}=6,154$ rot/min, la ieșirea din reductor.

Determinarea puterii P_r la ieșirea arborelui reductorului. Din datele de intrare, forța necesară tragerii barei este $F_t = 1000$ daN.

$1KW= 101,97162129$ daN·m/s

rezultând:

$$P_r= F_t/101,971 \quad (3.6)$$

$P_r= 9,807$ KW fiind valoarea puterii la arborele de ieșire din reductor.

Momentul creat la ieșirea arborelui reductorului va fi:

$$M_r= F_t \cdot PQ \quad (3.7)$$

$M_r=1,3 \cdot 10^5$ daN·m

Turația motorului asincron de curent alternativ trifazat ales este $\omega = 955$ rot / min. Pentru îndeplinirea condiției ca la ieșirea din reductor să avem $N_{rot_max} = 6,154$ rot/min, se impune alegerea unui reductor melcat cu următorul raport de transmitere:

$$R_{tr}= \omega/N_{rot_min} \quad (3.8)$$

$R_{tr}=155,188$.

Datorită raportului mare de transmitere, este necesară adoptarea unui reductor melcat.

b) Dimensionarea arcului cilindric elicoidal de compresiune:

Forța de compresiune fiind dată de cele 4 arcuri elicoidale și, datorită simetriei mecanismului, este suficient calculul parametrilor mecanici ai unui singur arc:

$R_{\max}$ - forța maximă de compresiune distribuită pe un arc cilindric elicoidal [N]

F_1 - forța de montaj [N]

h - cursa de funcționare a arcului [mm]

Materialul arcului OLC 65 A STAS 795

Indicele arcului $i=6$

K - coeficientul de formă al arcului.

λ_{at} - tensiunea tangențială admisibilă la torsiune pentru OLC 65 A și $D < 8$ mm

conform STAS fiind 650 Mpa:

Distribuția tensiunii în arc cilindric elicoidal este prezentată în Fig.3.11 [x].

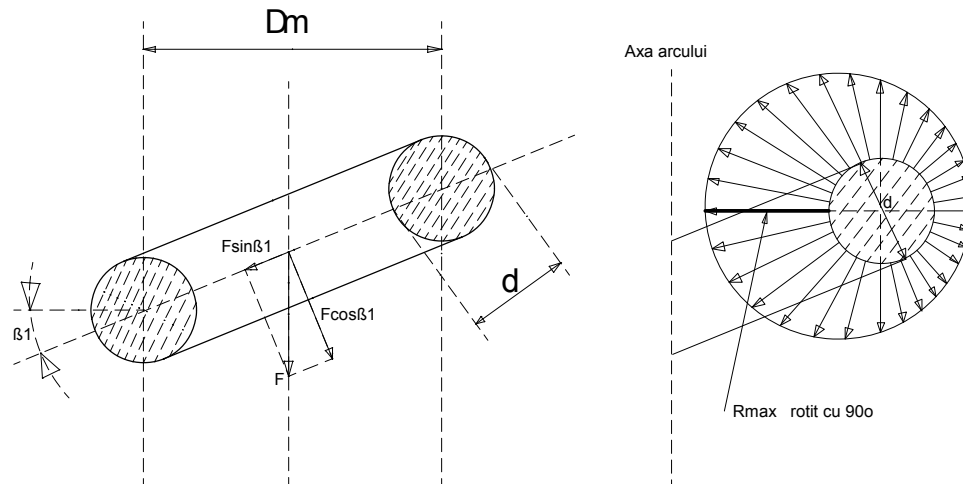


Fig. 3.11. Distribuția tensiunii în arc cilindric elicoidal

Calculul elementelor geometrice ale arcului au fost efectuate după cum urmează:[x].

$$R_{\max} = F_t \cdot 9,80665$$

$$R_{\max} = 9,807 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$F_1 = 50 \text{ N}$$

$$h = 80 \text{ mm}$$

$$i = 6$$

$\lambda_{at} = 650 \text{ Mpa}$, rezultă diametrul sârmei arcului:

$$d = \sqrt{\frac{8 \cdot k \cdot R_{\max}}{\pi \cdot \lambda_{at}}} \quad (3.9)$$

d= 6,976 mm.

Se alege d= 6 mm conform STAS.

Calculul deformațiilor:

c - rigiditatea impusă arcului [N/mm]

$$c = \frac{R_{\max} - F_1}{h} \quad (3.10)$$

c= 121,958 N/mm

Stabilirea numărului de spire active n (Fig.3.12):

Modulul de elasticitate transversal pentru OLC 65 A, $G_t = 85000$ [N/mm²]

D_m - diametrul mediu al spirei arcului [mm]

$D_m = i \cdot d \Rightarrow D_m = 41,856$ mm

$$n = \frac{G_t \cdot d^4}{8 \cdot c \cdot D_m} \quad (3.11)$$

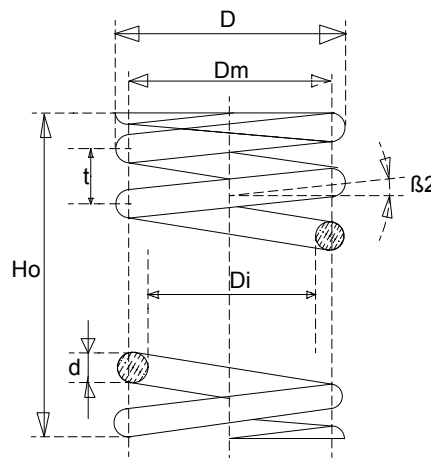


Fig. 3.12. Parametrii geometrici ai arcului elicoidal de compresiune

Săgeata maximă a arcului $\delta_{\max}$ [mm] fiind:

$$\delta_{\max} = \frac{8 \cdot R_{\max} \cdot D_m^3}{G_t \cdot d^4} \cdot n \quad (3.12)$$

$\delta_{\max} = 80,41$ mm

Săgeata de montaj a arcului δ_1 [mm] fiind:

$$\delta_1 = \delta_{\max} \cdot \frac{F_1}{R_{\max}} \quad (3.13)$$

Elementele geometrice ale arcului:

Numărul total de spire n_1 include și numărul de spire de reazem n_r ;

$n_r = 1,5$, $n_1 = n + n_r \Rightarrow n_1 = 4.314$ spire. Se adoptă 4 spire.

Lungimea arcului blocat H_b [mm]

$$H_b = n_1 \cdot d$$

$$H_b = 30,092 \text{ mm}$$

Pasul arcului în stare liberă, t [mm]

Δ - coeficient de corecție [mm]

$$\Delta = 0,1 \cdot d \quad (3.14)$$

$$\Delta = 0,968 \text{ mm}$$

$$t = d + \frac{\delta_{\max}}{n} + \Delta \quad (3.15)$$

$$t = 36,252 \text{ mm}$$

Lungimea arcului în stare liberă H_0 [mm]

$$H_0 = H_b + n \cdot (t - d) \quad (3.16)$$

$$H_b = 30,092 \text{ mm}$$

$$H_0 = 112,465 \text{ mm}$$

Lungimea arcului montat H_1 [mm]

$$H_1 := H_0 - \delta_1 \quad (3.17)$$

$$H_1 = 112,055 \text{ mm}$$

Lungimea arcului la sarcină maximă H_m [mm]

$$H_m := H_0 - \delta_{\max} \quad (3.18)$$

$$H_m = 32,055 \text{ mm}$$

Diametrul exterior al arcului D [mm]

$$D := D_m + d \quad (3.19)$$

$$D = 48,832 \text{ mm}$$

Diametrul interior al arcului D_i [mm]

$$D_i := D_m - d \quad (3.20)$$

$$D_i = 34,88 \text{ mm}$$

Unghiul de înclinare al spirei în stare liberă β_2 [°]

$$\beta_2 := \operatorname{atan}\left(\frac{t}{\pi D_m}\right) \cdot \frac{180}{\pi} \quad (3.21)$$

$$\beta = 15,433^\circ$$

Lungimea sarmei pentru arc L_s [mm]

$$L_s := \frac{\pi \cdot D_m \cdot n_1}{\cos\left(\frac{\pi}{\beta_2}\right)} \quad (3.22)$$

$$L_s = 579,208 \text{ mm}$$

Săgeata de blocare δb [mm]

$$\delta b := \delta_{\max} + n \cdot \Delta \quad (3.23)$$

$$\delta b = 82,373 \text{ mm}$$

Forța de blocare F_b [N]

$$F_b := R_{\max} \frac{\delta b}{\delta_{\max}} \quad (3.24)$$

$$F_b = 1,005 \cdot 10^5 \text{ N}$$

$$\text{Verificare: } \frac{R_{\max}}{F_b} = 0.976 \Rightarrow \text{parametrii sunt optimi}$$

c). Determinarea solicitării dinamice prin presiune a bacului asupra suprafeței profilului barei supusă la compresie

Forța de compresie pe suprafața de contact cu semifabricatul unui bac, fiind dată de reacțiunea celor două arcuri elicoidale de compresie, rezultă:

- suprafața de contact a bacului $S_b = 16.847 \text{ mm}^2$;
- presiunea exercitată la suprafața de contact P_b [N/mm²] va fi:

$$P_b := 2 \cdot \frac{R_{\max}}{S_b} \quad (3.24)$$

$$P_b = 1.164 \text{ N/mm}^2 < P_{\text{admisibil}}, \text{ pentru oțel la temperatură de } 950^\circ \text{C}$$

d) Determinarea solicitării dinamice prin presiune a bacului asupra suprafeței profilului barei supusă la tracțiune.

S-a realizat prin simulare numerică utilizând aplicația SolidWorks, efectuând o simulare dinamică neliniară cu element finit asupra comportării semifabricatului la forța de compresiune exercitată de bac. Rezultatul simulării este prezentat în Fig.3.13.

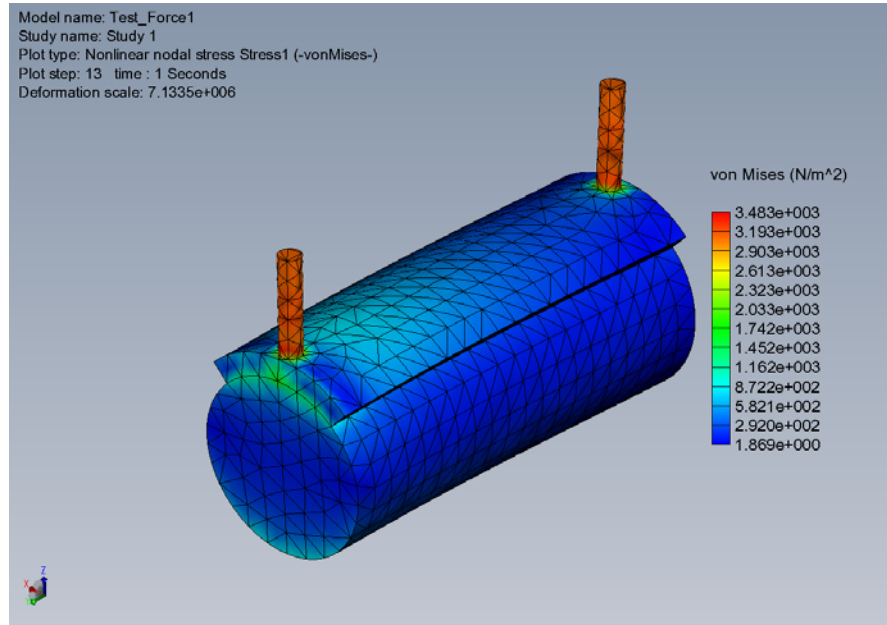


Fig. 3.13. Valoarea tensiunii von Misses determinată prin simulare numerică

Deși rezistența mecanică a aliajelor feroase ajunse la starea de incandescentă scade de cca. 10 ori, valoarea foarte mică a presiunii distribuite uniform pe suprafața semifabricatului, nu va afecta suprafața prin deformare mecanică.

3.6. Analiza structurală a dispozitivului de extragere cu bacuri semicilindrice

a) Structura unui mecanism

După natura fizică a elementelor componente ale mecanismului se observă utilizarea elementelor rigide, formate din mai multe organe de mașini.

După numărul legăturilor pe care elementul cinematic le are cu elementele vecine, rangul elementelor cinematice "j" este de tip "complex" unde $J > 2$.

După dependența legilor de mișcare, mecanismul este format din elemente conducătoare cât și elemente conduse.

Legătura mobilă dintre elementele cinematice care limitează libertățile de mișcare relativă ale componentelor, în vederea transmiterii mișcării de la un element la altul, formează cupla cinematică.

b) Clasificarea cuplelor cinematice

Din punct de vedere structural, după numărul gradelor de libertate interzise de cuplă sau al parametrilor scalari independenți ce determină poziția unui corp față de sistemul de referință, se poate determina clasa "C" a cuplei cinematice. Clasa cuplelor cinematice, fiind dată de numărul mișcărilor anulate, ținând cont de numărul gradelor de libertate ale mișcării elementelor cinematice "L" care poate fi maxim 6, rezultă faptul că o clasă cinematică poate lua valori în domeniul ($0 \leq L \leq 6$)

Din punct de vedere cinematic se observă posibilitatea executării de mișcări la componentele mecanismului în plane paralele.

Raportarea la nivelul constructiv al cuplei cinematice evidențiază utilizarea cuplei cinematice de tip închis, la care contactul dintre elemente este permanent, cat și cuple cinematice de tip deschis, la care contactul dintre elemente se asigură prin forță sau formă.

c) Clasificarea lanțurilor cinematice

Conform rangului elementelor componente, lanțurile cinematice pot fi simple, unde $j \leq 2$, sau complexe, dacă în componenta lor admit cel puțin un element de tip $j \geq 3$.

După forma lor așa cum s-a specificat anterior, ele pot fi de tip închise sau deschise. După felul mișcării elementelor, ele pot executa mișcări într-un singur plan sau în plane paralele.

d) Lanțul cinematic

Lanțul cinematic reprezintă ansamblul elementelor mobile, legate între ele prin cuple cinematice, de diferite clase. Clasificarea lanțurilor cinematice: Conform rangului elementelor componente, pot fi simple sau complexe, dacă în componența lor admit cel puțin un element de tip conducător. După forma lor așa cum s-a specificat anterior, ele pot fi de tip închis sau deschis. După felul mișcării elementelor, ele pot executa mișcări într-un singur plan sau în plane paralele. Conform descrierii, formula structurală a lanțului cinematic va fi:

$$L = 6e - \sum_{m=1}^5 (m \cdot C_m) \quad (3.25)$$

Pentru lanțul cinematic cu mișcare plană:

$$M = 3n - \sum_{m=1}^3 [(m-3) \cdot C_m] = 3n - (2 \cdot C_5 + C_4) \quad (3.26)$$

e) Mecanismul

Mecanismul reprezintă lanțul cinematic închis care presupune un element fix, la care mișcarea data unuia sau mai multor elemente în raport cu elementul fix imprimă celorlalte elemente mișcări univoc determinate, Astfel acel mecanism devine desmodrom.

Clasificarea mecanismelor

După direcțiile de mișcare ale elementelor:

Pot fi mecanisme plane sau mecanisme spațiale.

După varianta constructivă pot fi:

- mecanisme mecanice cu pârghii
- mecanisme mecanice cu came
- mecanisme mecanice cu roți
- mecanisme mecanice cu elemente flexibile

După destinație pot fi:

- mecanisme de strângere;
- mecanisme de blocare;
- mecanisme de cuplare;
- mecanisme de reglare;
- mecanisme de frânare;
- mecanisme de prindere;
- mecanisme de inversare;
- mecanisme de acționare;
- mecanisme de oprire-pornire

f) Gradul de mobilitate

Gradul de mobilitate reprezintă numărul posibilităților de mișcare sau numărul gradelor de libertate ale elementelor mobile în raport cu elementul fix. Gradul de mobilitate se notează cu "M".

Ținând cont de faptul că unul dintre elementele lanțului cinematic se consideră fix, gradul de mobilitate va fi:

$$M = 6 \cdot (e - 1) - \sum_{m=1}^5 (m \cdot C_m) \quad (3.27)$$

notând $e-1 = n$, unde n = numărul de elemente mobile, rezultă:

$$M = 6 \cdot n - \sum_{m=1}^5 (m \cdot C_m) \quad (3.28)$$

Pentru mecanisme plane relația va fi:

$$M = 3n - \sum_{m=1}^3 [(m-3) \cdot C_m] = 3n - (2 \cdot C_5 + C_4) \quad (3.29)$$

Valoarea gradului de mobilitate permite analiza funcționării mecanismului ($M > 0$) sau dacă mecanismul nu este funcțional ($M < 0$), indicând numărul elementelor conducătoare necesare îndeplinirii condiției de desmodromie.

g) Cazul excepțiilor în determinarea gradului de mobilitate

Elementele cinematice pasive, care consolidează mecanismul, ușurează trecerea prin poziții extreme și evită rigidizarea temporară sau inversarea mișcării, se exclud din calcul la determinarea gradului de mobilitate.

Elementele cu mișcare de prisos, introduse cu scop de micșorare a frecării, dar care nu influențează caracterul mișcării, de asemenea se exclud din calcul.

Situațiile în care numărul cuplelor nu este evident, în cazul în care pot face transformări structurale, dar care nu influențează caracterul mișcării, de asemenea se exclud din calcul.

Se definește cupla complexă de ordinul k ca fiind ansamblul de k cuple cinematice simple suprapuse în același punct. Dacă la o cuplă complexă sunt suprapuse (concurente) " n " elemente cinematice, atunci clasa cuplei este " $n-1$ " și se consideră suprapuse " $n-1$ " cuple simple. După familia " f " lanțurile cinematice și mecanismele sunt de cinci familii:

$$f = 0 \begin{cases} M_0 = 6n - 5c_2 - 4c_3 - 3c_4 - 2c_5 - c_6 \\ L_0 = 6n' - 5c_2 - 4c_3 - 3c_4 - 2c_5 - c_6 \end{cases}$$

$$\begin{aligned}
 f=1 & \begin{cases} M_1 = 3n - 4c_5 - 3c_4 - 2c_3 - c_2 \\ L_1 = 3n' - 4c_5 - 4c_4 - 3c_3 - c_2 \end{cases} \\
 f=2 & \begin{cases} M_2 = 4n - 3c_5 - 2c_4 - c_3 \\ L_2 = 4n' - 3c_5 - 2c_4 - c_3 \end{cases} \\
 f=3 & \begin{cases} M_3 = 3n - 2c_5 - c_4 \\ L_3 = 3n' - 2c_5 - c_4 \end{cases} \\
 f=4 & \begin{cases} M_4 = 2n - c_5 \\ L_4 = 2n' - c_5 \end{cases}
 \end{aligned} \quad (3.30)$$

În vederea determinării gradului de mobilitate al mecanismului de extragere cu bacuri semicilindrice, s-a procedat astfel:

- s-a realizat schema cinematică a mecanismului, Fig.3.14;
- s-a realizat tabelul 3.3. unde se completează cu semnul "+", respectiv cu cu semnul "-", mișcarea de rotație sau de translație pe care o execută fiecare element, raportată la axele sistemului de referință;
- se calculează gradele de libertate suprimate în comun tuturor elementelor, (semnul "-" pe toată coloana), rezultând familia mecanismului studiat ca fiind numărul total de coloane completate cu numai cu semnul "-";
- se calculează numărul cuplelor de clasă c_5 și c_4 , eliminând din calcul cuple și elemente de prisos;
- se aplică formula de calcul a gradului de mobilitate pentru familia $f=3$ din relația (3.30) și rezultă gradul de mobilitate al mecanismului.

Calculul gradului de mobilitate s-a realizat pentru fiecare tip de dispozitiv conceput.

În Fig.3.14 se prezintă schema cinematică a dispozitivului de extragere cu bacuri semicilindrice unde s-au notat, în ordine, elementele dispozitivului și cuplele cinematice realizate de elemente în urma constrângerilor de mișcare aplicate la asamblarea mecanismului.

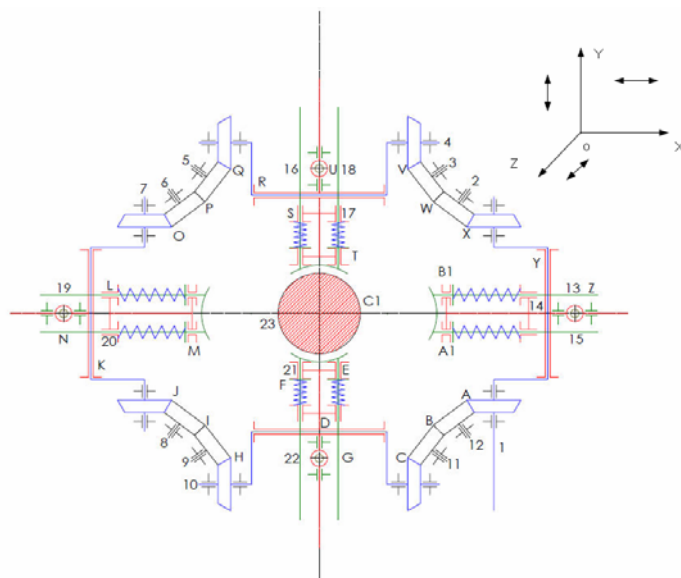


Fig. 3.14. Schema cinematică a dispozitivului cu bacuri semicilindrice

În tabelul 3.3. se analizează mișcarea fiecărui element în raport cu sistemul de referință ales.

Tabelul 3.3. Determinarea familiei mecanismului din Fig.3.14

Miscare/Element	T _x (V _x)	T _y (V _y)	T _z (V _z)	R _x (ω _x)	R _y (ω _y)	R _z (ω _z)
Semi-carcase 0	-	-	-	-	-	+
Arbore intrare 1	-	-	-	-	-	+
Roată 2	+	+	-	-	-	+
Roată 3	+	+	-	-	-	+
Arbore excentric 4	+	+	-	-	-	-
Roată 5	+	+	-	-	-	-
Roată 6	+	+	-	-	-	-
Arbore excentric 7	+	+	-	-	-	-
Roată 8	+	+	-	-	-	-
Roată 9	-	-	-	-	-	-
Arbore excentric 10	+	-	-	-	-	+
Roată 11	-	-	-	-	-	-
Roată 12	+	+	-	-	-	-
Bac cu tijă 13, 17, 19, 22	+	+	-	-	-	-
Piesă port-bac 14, 16, 20, 21	+	+	-	-	-	+
Bară de rigidizare 15, 18	+	-	-	-	-	-
Semifabricat 23	-	+	-	-	-	-

Analizând tabelul 3.3, rezultă trei grade de libertate suprimate în comun tuturor elementelor, deci familia mecanismului este $f = 3$.

Gradul de mobilitate M_f al unui mecanism de familia $f = 3$ va fi dat de formula:

$$M_f = (6 - f) \cdot \sum_{k=f+1}^5 [(k - f) \cdot C_k] \quad (3.31)$$

aceasta fiind formula lui Dobrovolski, unde:

n - reprezintă numărul elementelor mobile ale mecanismului;

f - reprezintă familia mecanismului;

C_k - reprezintă numărul cuplelor cinematice de clasa k .

Clasa cuplei fiind de tip (SS-S) Plan-plan cu mișcări suprimate T_z ; R_x ; R_y din familia cupla de clasa $k = 3$ ($f = 3$):

Deci, conform relațiilor de mai sus:

Numărul de cuple de clasa $c_5 = 21$

Numărul de cuple de clasa $c_4 = 5$

Numărul de cuple de clasa $c_3 = 0$

Numărul de cuple de clasa $c_2 = 0$

Numărul de cuple de clasa $c_1 = 0$

Rezultă gradul de mobilitate:

$$M_3 = 3 \cdot (n - 1) - 2 \cdot c_5 - c_4 = 48 - 47 = 1$$

$M_3 = 1$ - numărul elementelor motoare, rezultă că mecanismul este desmodrom și se îndeplinește condiția de desmodromie.

3.7. Concepția dispozitivului de extragere cu cilindrii melcați

A doua varianta de dispozitiv de extragere propus este realizată cu doi cilindrii melcați care se rotesc în antifază, unul față de celălalt și pe care se sprijină semifabricatul supus extragerii. Prin acțiunea celor doi cilindrii melcați, semifabricatul extras are o mișcare de avans datorită forțelor de frecare și de apăsare exercitate între el și cilindrii, apărând o deformare plastică, de suprafață a profilului, la contactul dintre cilindrii melcați și semifabricat.

Asupra acestuia din urmă, acționează perpendicular pe axa longitudinală a semifabricatului, două role presoare, profilate corespunzător, care asigură centarea și fixarea semifabricatului față de cadrul fix. În Fig.3.15. este prezentată vederea de ansamblu a dispozitivului de extragere cu arbori melcați fiind prezentate elementele componente ale dispozitivului.

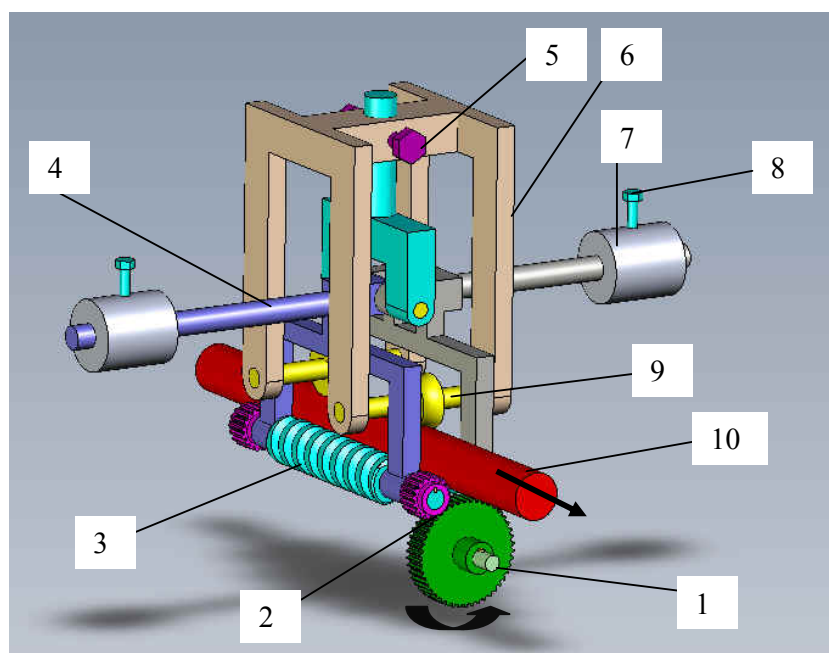


Fig. 3.15. Dispozitiv de extragere cu cilindri melcați

Dispozitivul este format din:

- 1 este arbore de intrare;
- 2- angrenaj reductor cu roți dințate cilindrice;
- 3- arbore melcat;
- 4- pârghie de apăsare cu greutate;
- 5- șurub de fixare;
- 6- cadru fix sau batiu;
- 7- piesă de apăsare;
- 8- șurub de fixare;
- 9- rolă presoare;
- 10-semifabricat.

Funcționarea dispozitivului este asigurată de arborele de intrare 1, antrenat în mișcare de rotație. Mișcarea de rotație este transmisă mai departe la arborele melcat 3, prin intermediul angrenajului reductor cu roți dințate cilindrice 2. Arborii melcați sunt tangenți cu semifabricatul 10, pe o generatoare dată de punctele de contact ale elicei arborelui melcat cu semifabricatul. Forța de apăsare necesară strângerii arborilor melcați pe semifabricat este asigurată prin intermediul pârghiei de apăsare 4, care este acționată gravitațional de piesa de apăsare 7.

Rolele presoare 9 asigură fixarea și condiția de tangență a semifabricatului în raport cu arborii melcați. În momentul rotirii arborilor melcați (arborele din dreapta se rotește în sens orar, iar cel din stânga în sens antiorar), componentele tangențiale ale forțelor de reacțiune dintre arborii melcați și semifabricat, împreună cu forțele de frecare de valoare mare între arbori și semifabricat (coeficient de frecare, $\mu=0,25$), se compun într-o rezultantă pe direcția axei longitudinale a semifabricatului. Acesată forță asigură extragere semifabricatului din cristalizator.

Avantaje:

- suprafață de contact mare între arborii melcați și semifabricat ceea ce reduce riscul de deformare a semifabricatului;
- mecanismul este reversibil, deci poate efectua și cursă de întoarcere pentru tragerea intermitentă;
- instalația este acționată de la o singură mișcare de intrare de rotație a arborelui de intrare, forța de strângere fiind asigurată gravitațional;
- eliminarea sistemului hidraulic care s-a înlocuit cu un mecanism de tip pârghie bazat pe gravitație pentru crearea forței de strângere pe profil.
- posibilitatea dublării mecanismului pentru o redundanță sporită;
- față de dispozitivul de extragere cu bacuri semicilindrice prezentat anterior, dispozitivul cu arborii melcați se poate utiliza și în cazul turnării continue verticale unde contactul cu semifabricatul extras trebuie să fie continuu.

Dezavantaje:

- deformarea plastică minimă a semifabricatului necesară mișcării de avans poate duce la urme vizibile reduse pe profil în funcție de materialul semifabricatului.

3.8 Analiza structurală a dispozitivului de extragere cu arbori melcați

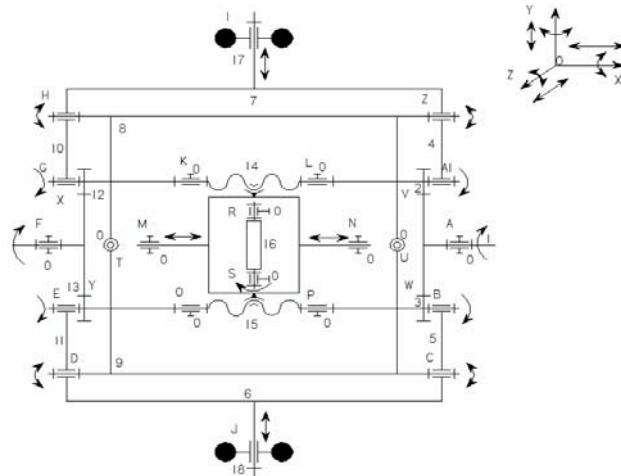


Fig. 3.16. Schema cinematică a dispozitivului cu cilindrii melcații

Tabelul 3.4. Determinarea familiei mecanismului din Fig.3.16

Mișcare/Element	Tx (Vx)	Ty (Vy)	Tz (Vz)	Rx (ωx)	Ry (ωy)	Rz (ωz)
Roată conducătoare 1	-	-	-	+	-	-
Roată condusă 2	-	-	-	+	-	-
Roată condusă 3	-	-	-	+	-	-
Roată condusă 12	-	-	-	+	-	-
Roată condusă 13	-	-	-	+	-	-
Roată condusă 19	-	-	-	+	-	-
Arbore melcat 14	-	-	-	+	-	-
Arbore melcat 15	-	-	-	+	-	-
Rolă presoare 16	-	-	-	-	+	-
Pârghie de apăsare 17	-	-	-	+	-	-
Pârghie de apăsare 18	-	-	-	+	-	-
Element de ghidare 4;5;6;7;8;9;10	-	-	-	+	-	-
Semifabricat 20	+	-	-	-	-	-
Batiu de fixare 0	-	-	-	-	-	-

Analizând tabelul 3.4, rezultă trei grade de libertate suprimate în comun tuturor elementelor, deci familia mecanismului este $f = 3$.

Clasa cuplei fiind de tip (SS-S) Plan-plan cu mișcări suprimate T_y , T_z , R_z din familia cupla de clasa $k = 3$ ($f = 3$):

Deci, conform relației 3.30:

Numărul de cuple de clasa $c_5 = 18$

Numărul de cuple de clasa $c_4 = 2$

Numărul de cuple de clasa $c_3 = 0$

Numărul de cuple de clasa $c_2 = 0$

Numărul de cuple de clasa $c_1 = 0$

Rezultă gradul de mobilitate:

$$M_3 = 3 \cdot (n-1) - 2 \cdot c_5 - c_4 = 39 - 38 = 1$$

$M_3=1$ - numărul elementelor motoare, rezultă că mecanismul este desmodrom și se îndeplinește condiția de desmodromie.

3.8 Concepția dispozitivului de extragere cu bacuri concentrice, varianta 1

În Fig. 3.17. este prezentat dispozitivul de extragere cu bacuri concentrice, varianta 1.

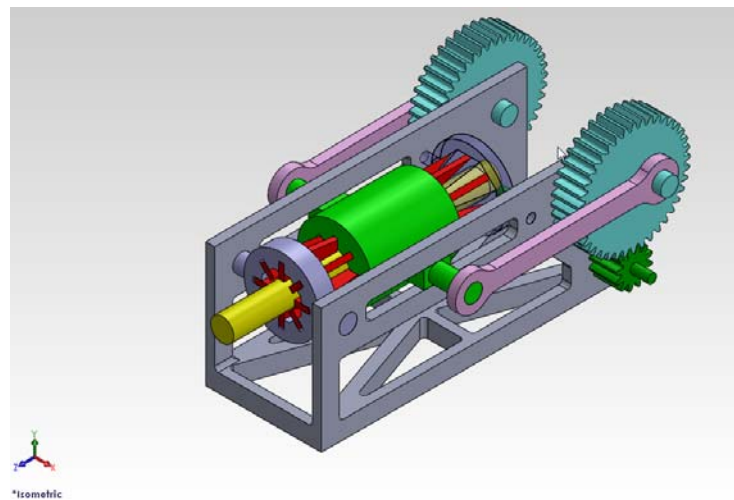


Fig. 3.17. Dispozitiv de extragere cu bacuri concentrice varianta 1, vedere izometrică

În Fig.3.18. se prezintă vederea de ansamblu a dispozitivului, în secțiune longitudinală și se observă părțile componente ale dispozitivului.

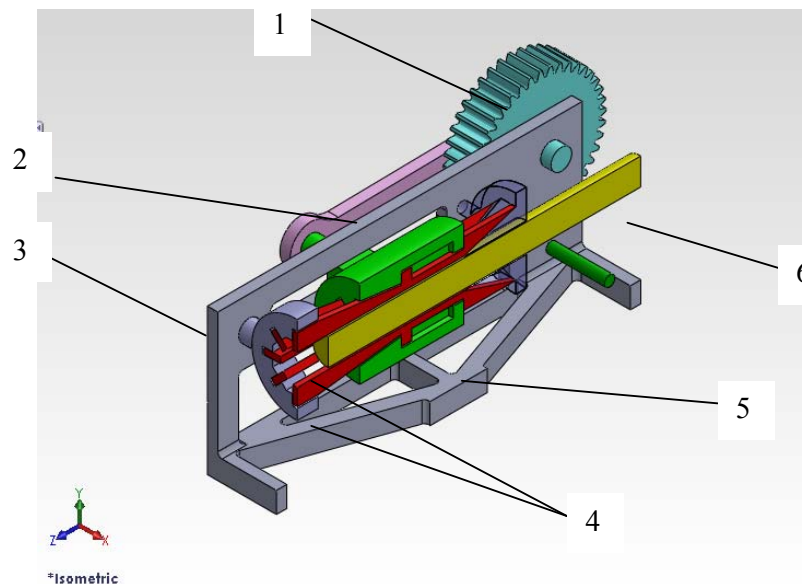


Fig. 3.18. Dispozitiv de extragere cu bacuri concentrice varianta 1, vedere izometrică

Dispozitivul este compus din:

- 1 este angrenaj reductor cu roți dințate cilindrice;
- 2- bielă;
- 3- batiu sau cadru fix;
- 4- bacuri concentrice față de semifabricat;
- 5- piesă de strângere cilindrică;
- 6- semifabricat.

Funcționarea dispozitivului se bazează pe mișcarea de rotație a angrenajului reductor cu roți dințate cilindrice 1. Această mișcare de rotație este transformată cu ajutorul bielei 2, în mișcare de translație care este transmisă mai departe piesei cilindrice de strângere 5, antrenată de asemenea în mișcare de translație. Bacurile 4, dispuse concentric față de semifabricat, sunt antrenate de piesa de strângere cilindrică până la contactul cu semifabricatul, înainte de sfârșitul cursei maxime a bielei.

Astfel, apare o autostrângere între bacuri și semifabricat, asigurând forța de strângere necesară extragerii semifabricatului. După strângerea bacurilor pe semifabricat, biela împreună cu bacurile și semifabricatul continuă mișcarea de translație până la maximul cursei, rezultând deplasarea (extragerea) semifabricatului.

Pe cusa inversă a bielei are loc destrângerea bacurilor și revenirea lor în poziția inițială. Astfel ciclul de strângere-destrângere a bacurilor se repetă periodic între minimul și maximul cursei bielei realizând o extragere intermitentă a semifabricatului. Avantajele dispozitivului de extragere cu bacuri concentrice, varianta 1, față de dispozitivele clasice de extragere sunt:

- suprafață de contact mare între bacuri și semifabricat ceea ce reduce riscul de deformare a semifabricatului;
- instalația este acționată de la o singură mișcare de intrare de rotație a arborelui de intrare, forța de strângere fiind asigurată prin autofrânarea bacurilor pe suprafața semifabricatului;
- mecanismul este reversibil, deci poate efectua și cursă de întoarcere pentru tragerea inversă;
- eliminarea sistemului hidraulic sau pneumatic necesar forței de strângere pe semifabricat.

Dezavantaje: nu se poate utiliza la turnarea continuă verticală deoarece nu asigură contact permanent cu semifabricatul și se poate utiliza doar pentru turnarea continuă orizontală cu extragere intermitentă.

3.9 Analiza structurală a dispozitivului

În Fig. 3.19. este prezentată schema cinematică a dispozitivului de extragere cu bacuri concentrice, varianta 1. Pe baza acesteia se determină gradul de mobilitate al mecanismului.

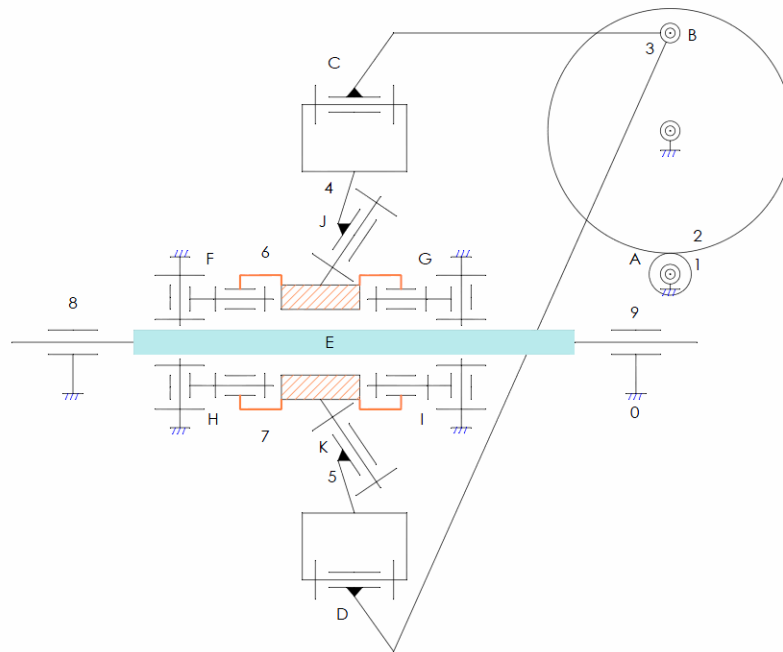


Fig. 3.19. Schema cinematică a dispozitivului cu bacuri concentrice, varianta 1

Tabelul 3.5. Determinarea familiei mecanismului din Fig.3.19

Miscare/Element	$T_x (V_x)$	$T_y (V_y)$	$T_z (V_z)$	$R_x (\omega_x)$	$R_y (\omega_y)$	$R_z (\omega_z)$
Roată conducătoare 1	-	-	-	-	-	+
Roată condusă 2	-	-	-	-	-	+
Manivela 3	+	+	-	-	-	+
Biela 4	+	+	-	-	-	+
Piesă de strângere 5	+	+	-	-	-	-
Bac 6	+	+	-	-	-	-
Bac 7	+	+	-	-	-	-
Ghidaj de sincronizare 8	+	+	-	-	-	-
Cupla deschisă 9	+	+	-	-	-	-

Analizând tabelul 3.5., rezultă trei grade de libertate suprimate în comun tuturor elementelor, deci familia mecanismului este $f = 3$.

Clasa cuplei fiind de tip (SS-S) Plan-plan cu mișcări suprimate T_z ; R_x ; R_y din familia cupla de clasa $k = 3$ ($f = 3$):

Deci, conform relației 3.30:

Numărul de cuple de clasa $c_5 = 12$

Numărul de cuple de clasa $c_4 = 2$

Numărul de cuple de clasa $c_3 = 0$

Numărul de cuple de clasa $c_2 = 0$

Numărul de cuple de clasa $c_1 = 0$

Rezultă gradul de mobilitate:

$$M_3 = 3 \cdot (n-1) - 2 \cdot c_5 - c_4 = 27 - 26 = 1$$

$M_3 = 1$ = numărul elementelor motoare, rezultă că mecanismul este desmodrom și se îndeplinește condiția de desmodromie.

3.11. Concepția dispozitivului de extragere cu bacuri concentrice, varianta 2

În Fig. 3.20. este prezentat dispozitivul de extragere cu bacuri concentrice, varianta 2. Ca și concepție, dispozitivul de extragere cu bacuri concentrice, varianta 2, este derivat din dispozitivul prezentat anterior. Diferența majoră este că se utilizează doar două bacuri de extragere cu formă simplă, capabile să extragă o largă gamă dimensională de semifabricate cu profil rotund ($\varnothing 100$ mm.. $\varnothing 350$ mm).

O altă diferență față de dispozitivul anterior este înlocuirea piesei cilindrice de strângere cu două piese simple, de forma literei “H” cuplate la bacuri prin bolțuri de fixare.

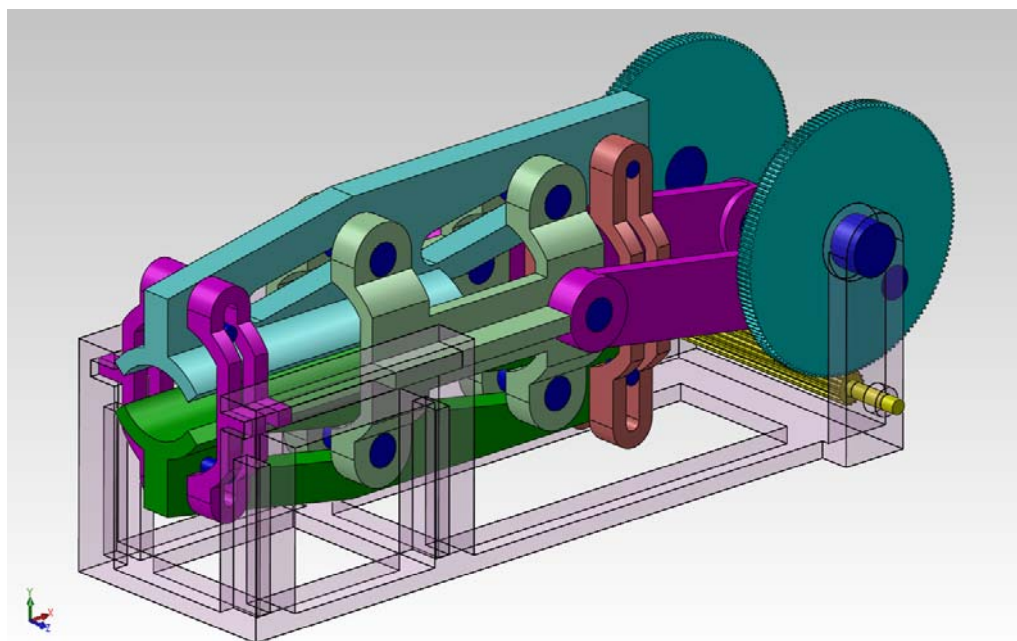


Fig. 3.20. Dispozitiv de extragere cu bacuri concentrice varianta 2, vedere izometrică

În Fig.3.21 se prezintă elementele componente ale dispozitivului de extragere cu bacuri concentrice, varianta 2.

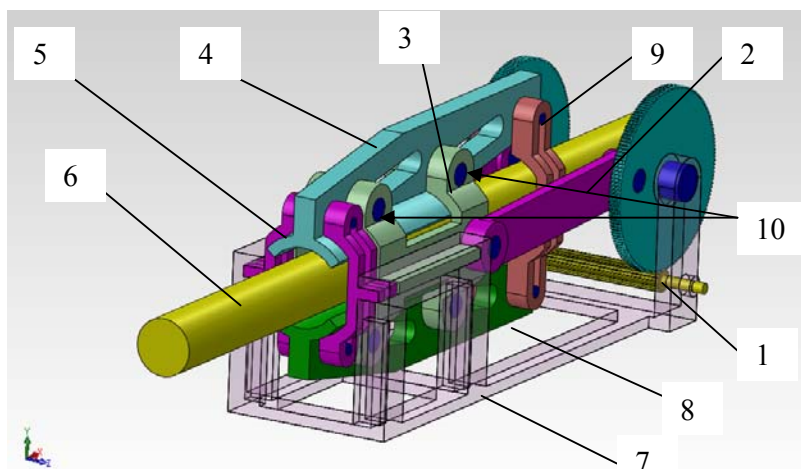


Fig. 3.21. Dispozitiv de extragere cu bacuri concentrice varianta 2, elemente componente
unde: 1 este angrenaj reductor cu roți dințate cilindrice

- 2- bielă;
- 3- piesă de strângere;
- 4- bac superior;
- 5- piesă de rigidizare;

- 6- semifabricat;
- 7- batiu;
- 8- bac inferior;
- 9- piesă de rigidizare.

Funcționarea dispozitivului se bazează pe mișcarea de rotație a angrenajului reductor cu roți dințate cilindrice 1. Această mișcare de rotație este transformată cu ajutorul bielei 2, în mișcare de translație care este transmisă mai departe pieselor de strângere 3, antrenate de asemenea în mișcare de translație. Bacul superior 4 și bacul inferior 8, dispuse concentric față de semifabricat, sunt antrenate de piesa de strângere prin intermediul bolțurilor 10, până la contactul cu semifabricatul, înainte de sfârșitul cursei maxime a bielei.

Astfel, apare o autostrângere între bacuri și semifabricat, asigurând forța de strângere necesară extragerii semifabricatului. După strângerea bacurilor pe semifabricat, biela împreună cu bacurile și semifabricatul continuă mișcarea de translație până la maximul cursei, rezultând deplasarea (extragerea) semifabricatului.

Pe cusa inversă a bielei are loc destrângerea bacurilor, superior și inferior și revenirea lor în poziția inițială. Astfel ciclul de strângere-destrângere a bacurilor se repetă periodic între minimul și maximul cursei bielei realizând o extragere intermitentă a semifabricatului.

Avantajele dispozitivului de extragere cu bacuri concentrice, varianta 1, față de dispozitivele clasice de extragere sunt:

- suprafață de contact mare între bacuri și semifabricat ceea ce reduce riscul de deformare a semifabricatului;
- posibilitatea extragerii unei game dimensionale largi de profile metalice rotunde;
- instalația este acționată de la o singură mișcare de intrare de rotație a arborelui de intrare, forța de strângere fiind asigurată prin autofrânarea bacurilor pe suprafața semifabricatului;
- mecanismul este reversibil, poate efectua și cursă de întoarcere pentru tragerea inversă;
- eliminarea sistemului hidraulic sau pneumatic necesar forței de strângere pe semifabricat.

Dezavantaje: similar cu dispozitivele 1 și 3 prezentate anterior, acest dispozitiv nu se poate utiliza la turnarea continuă verticală deoarece nu asigură contact

permanent cu semifabricatul . Dispozitivul se poate utiliza doar pentru turnarea continuă orizontală cu extragere intermitentă.

3.12. Analiza structurală a dispozitivului cu bacuri concentrice varianta 2

Fig.3.22 prezintă schema cinematică cu descrierea elementelor componente ale dispozitivului de extragere cu bacuri concentrice, varianta 2.

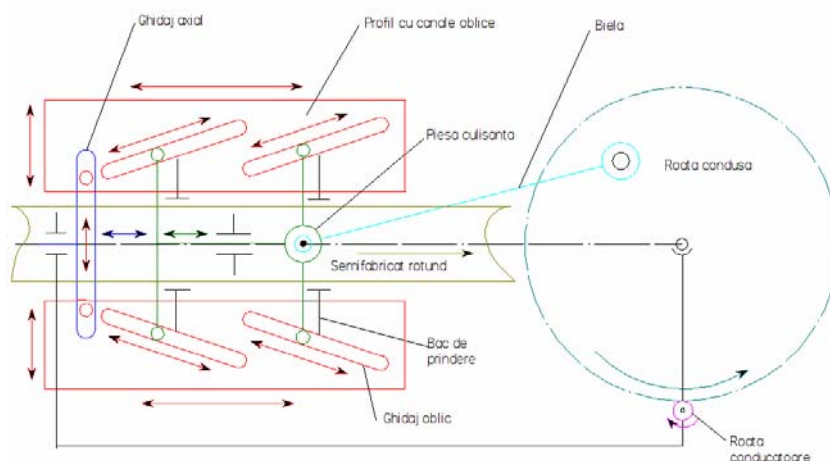


Fig. 3.22. Schema cinematică a dispozitivului cu elemente componente

Schema cinematică necesară stabilirii gradului de mobilitate este prezentată în Fig.3.23.

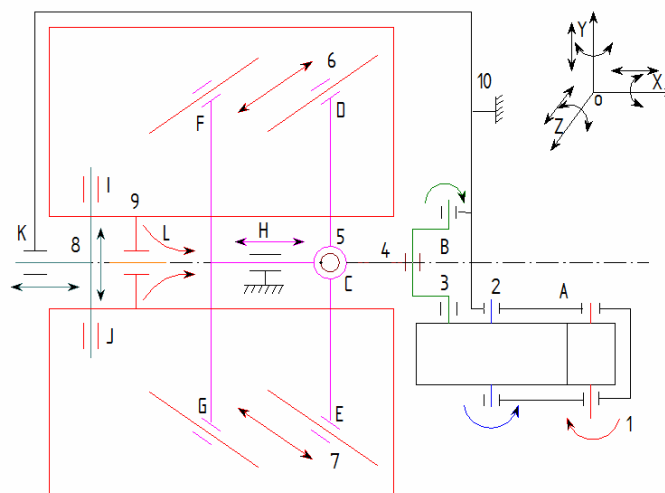


Fig. 3.23. Schema cinematică a dispozitivului de extragere cu bacuri concevtrice, varianta 2

Tabelul 3.6. Determinarea familiei mecanismului din Fig.3.23

Miscare/Element	T _x (V _x)	T _y (V _y)	T _z (V _z)	R _x (ω _x)	R _y (ω _y)	R _z (ω _z)
Roată conducătoare 1	-	-	-	-	-	+
Roată condusă 2	-	-	-	-	-	+
Manivela 3	+	+	-	-	-	+
Biela 4	+	+	-	-	-	+
Piesa de ghidaj 5	+	+	-	-	-	-
Bac superior 6	+	+	-	-	-	-
Bac inferior 7	+	+	-	-	-	-
Ghidaj de sincronizare 8	+	+	-	-	-	-
Cupla deschisă 9	+	+	-	-	-	-
Batiu 0	-	-	-	-	-	-

Deci, conform relației (3.30) avem:

Numărul de cuple de clasa $c_5 = 12$

Numărul de cuple de clasa $c_4 = 2$

Numărul de cuple de clasa $c_3 = 0$

Numărul de cuple de clasa $c_2 = 0$

Numărul de cuple de clasa $c_1 = 0$

Rezultă gradul de mobilitate:

$$M_3 = 3 \cdot (n-1) - 2 \cdot c_5 - c_4 = 27 - 26$$

$M_3 = 1$ - numărul elementelor motoare, rezultă că mecanismul este desmodrom și se îndeplinește condiția de desmodromie.

3.13. Determinarea funcției de transmitere și a caracteristicii mecanice a dispozitivelor

Menținerea în timp, a situației semifabricatului extras în raport cu sistemul de referință atașat ultimului element al dispozitivului de extragere, se realizează prin eliminarea celor 6 grade de libertate, pe care le are semifabricatul considerat în stare "liberă", față de același sistem de referință.

În consecință, semifabricatul extras trebuie să formeze, în urma contactului cu bacurile de extragere, o cuplă cinematică de clasa a VI-a. Închiderea acestei cuple cinematice se poate realiza prin formă sau forță. Închiderea prin forma a cuplei cinematice, bacuri-semifabricat, se realizează prin "învăluire" (wrapping) a semifabricatului de către bacuri. Imobilizarea semifabricatului în raport cu dispozitivul de extragere (cu totalitatea bacurilor acestuia), se realizează creând între semifabricat și bacuri un număr de puncte de contact cel puțin egale cu 12 (câte două puncte pentru fiecare grad de libertate). Această idee este exemplificată în Fig. 3.24., în care, se prezintă modul de imobilizare al unui obiect (semifabricat) paralelipipedic.

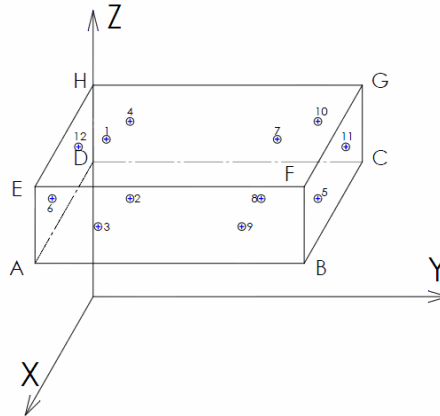


Fig.3.24. Amplasarea punctelor de contact pentru imobilizarea unui semifabricat

Punctele 1 (de pe fata EFGH) și 2 (de pe fata ABCD), aparținând bacurilor, împiedică translația obiectului în cele două sensuri de ale axei Oz; punctul 3 (de pe fata ABFE) și 4 (de pe fata DCGH) împiedică translația obiectului după axa Ox; punctul 5 (de pe fata BCGH) și 6 (de pe fata ADHE) împiedică translația obiectului după axa Oy; punctele 1 cu 7 (de pe fata EFGH) și 2 cu 8 (de pe fata ABCD) împreună împiedică rotația în ambele sensuri în jurul axei Ox; punctele 3 cu 9 (de pe fata ABFE) și 4 cu 10 (de pe fata CDHG) împreună, împiedică rotația în ambele sensuri în jurul axei Oy; iar punctele 5 cu 11 (de pe fata BCGF) și 6 cu 12 (de pe fata ADHE) împreună împiedică rotația în ambele sensuri în jurul axei Oz. Un număr mai mare de puncte de contact dintre semifabricat și bacuri mărește stabilitatea strângerii sau prehensiunii.

Se observă faptul că "norul de puncte 1 - 12" învâluie semifabricatul. Două puncte de contact pe aceeași fata înlocuiesc o linie de contact cu bacul, trei puncte de contact pe o fata înlocuiesc o suprafață de contact cu bacul. Închiderea prin forță a cuplei cinematice bacuri-semifabricat are loc prin strângere. În timpul extragerii semifabricatului de către dispozitivul de extragere a semifabricatului, asupra acestuia acționează forțe masice (gravitaționale și de inerție) și reacțiuni de contact cu alte corpuri.

Torsorul rezultat al acestor forțe tinde să smulgă semifabricatul dintre bacuri, "deschizând" cupla cinematică bacuri-semifabricat. În vederea împiedicării smulgerii, mecanismul de extragere impune bacurilor să apese asupra obiectului. În urma acestei apăsări, semifabricatul, dar și bacurile precum și celelalte elemente ale

mecanismului de extragere suferă deformații elastice de mică amplitudine, ceea ce generează reacțiuni între semifabricat și bacuri.

Reacțiunea, care lucrează de la bac spre semifabricat, constituie forța de strângere. Ea se menține în tot timpul în care bacurile sunt în contact cu semifabricatul datorită împiedicării dispariției deformațiilor elastice, fie prin menținerea forței generalizate de acționare a mecanismului, fie prin intercalarea în structura acestuia a unui element de autofrânare (valabil doar pentru dispozitivul 1, 3 și 4).

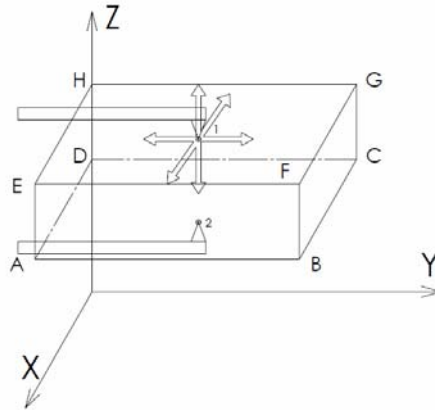


Fig.3.25. Corelația dintre "închiderea prin formă" și "închiderea prin forță" a cuplei cinematice bacuri-semifabricat

Se consideră obiectul paralelipedic din Fig.3.25., strâns cu ajutorul a două bacuri. Contactul în punctele 1 și 2 împiedică translația semifabricatului după cele două sensuri ale direcției Oz, iar forțele de frecare dintre bac și semifabricat împiedică mișcările de translație după direcțiile Ox și Oy. Cu alte cuvinte, punctul 1 joacă rolul pe care îl au 5 puncte de contact la cazul prezentat anterior în Fig.3.24.

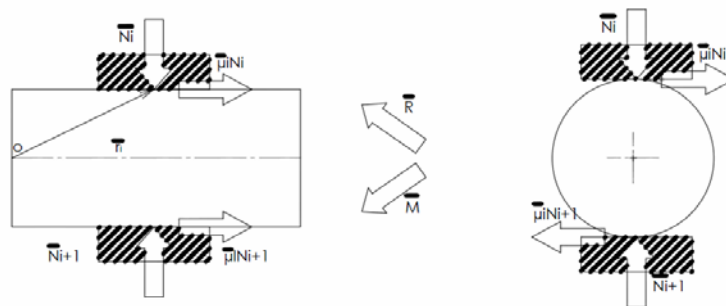


Fig.3.26. Forțele de strângere care lucrează asupra semifabricatului împiedică smulgerea lui

Deformarea elastică, a bacului și a semifabricatului, cauzată de forța de strângere, creează noi puncte de contact între acestea, care împiedică rotația obiectului în jurul axelor paralele cu Ox, Oy și Oz. Astfel, forța de strângere dezvoltată

de de bacul i (Fig.3.26) are o componentă normală $\bar{N}_i$ și două componente tangențiale $\bar{R}_i N_i$ și $\bar{R}_i N_i$, cu caracter de forțe de frecare ($\bar{R}_i$ și $\bar{R}_i$ sunt vectorii coeficienților de frecare). Pentru ca torsorul forțelor de strângere să anuleze torsorul forțelor care tind să smulgă semifabricatul dintre bacuri. Pentru “n” bacuri , trebuie îndeplinite următoarele condiții:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n (\bar{N}_i + \bar{R}_i N_i + \bar{R}_i N_i) \geq \bar{F} \\ \sum_{i=1}^n \bar{F}_i \times (\bar{N}_i + \bar{R}_i N_i + \bar{R}_i N_i) \geq \bar{M} \end{cases} \quad (3.32)$$

Notând forța generalizată de acționare a elementului conducător al mecanismului de extragere cu $\bar{F}_1$ și aplicând teorema deplasării virtuale se poate scrie:

$$\bar{F}_1 \cdot \delta \bar{s}_1 = \sum_{i=1}^n \bar{N}_i \cdot \delta \bar{s}_i \quad (3.33)$$

unde $\delta \bar{s}_1$ este deplasarea virtuală a punctului de aplicare a forței de acționare, iar $\delta \bar{s}_i$ este deplasarea virtuală a punctului de aplicație a forței de strângere a bacului “i”. Înlocuind deplasările virtuale cu cele de deformare elastică reale $\delta \bar{s}_1 = d\bar{s}_1$, respectiv $\delta \bar{s}_i = d\bar{s}_i$ și notând cu F_{1i} cota parte din forța de acționare care cauzează forța de strângere N_i , rezultă:

$$\frac{F_{1i}}{N_i} = \frac{ds_i}{ds_1} = \frac{\frac{ds_i}{dt}}{\frac{ds_1}{dt}} = \frac{v_i}{v_1} = f_i(s_1) \quad (3.34)$$

unde v_i și v_1 sunt vitezele punctelor de aplicație ale forțelor $\bar{N}_i$ și $\bar{F}_1$ iar $f_i(s_1)$ este funcția de transmitere de ordinul unu al mecanismului de extragere , având ca variabilă independentă deplasarea generalizată a elementului conducător, în cazul de față s_1 .

Inversa funcției de transmitere este caracteristica mecanică $C_m(s_1)$ a mecanismului de extragere, care exprimă variația raportului dintre forța de strângere a unui bac și cota parte din forța de acționare care o cauzează, în funcție de deplasarea elementului conducător.

$$C_m(\omega) = \frac{N_t}{F_{11}} = \frac{1}{A(\omega)} \quad (3.35)$$

Cum deplasarea elementului conducător până în momentul strângerii depinde de dimensiunea obiectului extras (spre exemplu de distanța dintre suprafețele de contact a două bacuri opuse), caracteristica mecanică a mecanismului de extragere este o funcție în care variabila independentă reprezintă o dimensiune D a obiectului (Fig.3.27. a și b).

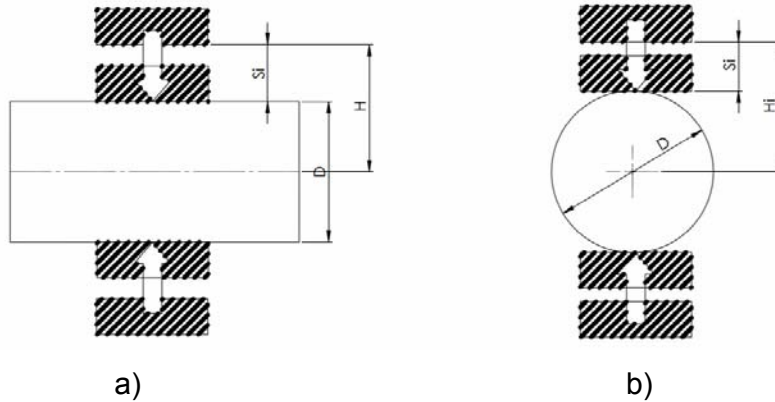


Fig.3.27. Corelația dintre deplasarea bacului și dimensiunea D a semifabricatului

Funcția de transmitere de ordinul unu al unui mecanism este:

$$\frac{s_1}{s_1} = f_0(\omega) \quad (3.36)$$

Pentru semifabricatele prismatice și bacuri în mișcare de translație, Fig.3.27 a., avem:

$$s_1 = H_1 - D/2 \quad (3.37)$$

unde H_1 este cursa maximă a bacului "i", iar D este o dimensiune a semifabricatului.

Prin urmare:

$$s_1 = \frac{H_1 - D/2}{f_0(H_1 - D/2)}$$

(3.38)

Pentru piesele cilindrice și bacuri în mișcare de translație, Fig.3.27.b. s_1 și H_1 au aceeași formă ca și în relația anterioară. Pe baza celor arătate, expresia caracteristicii mecanice a mecanismului de extragere are forma generală:

$$C_m(\omega) = \frac{N_t}{F_{11}} = \frac{1}{A(\omega)}$$

(3.39)

Dacă torsorul forțelor care tind să „smulgă” semifabricatul extras este influențat mai ales de forțe masice (gravitaționale și de inerție), forțele de strângere trebuie să varieze cu masa obiectului, deci și cu D^2 . Expresia caracteristicii mecanice a mecanismului de extragere trebuie să fie atunci de forma:

$$C_m(D) = a + b \cdot D^2 \quad (3.40)$$

unde a și b sunt constante, Fig.3.28., curba a.

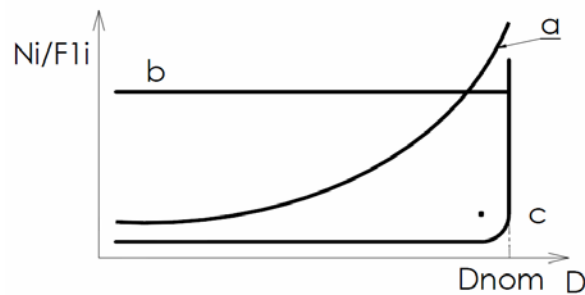


Fig.3.28. Caracteristici mecanice ale dispozitivelor de extragere

Dacă forțele masice au o influență neglijabilă asupra torsorului forțelor de smulgere ale semifabricatului, forța de strângere poate fi independentă de dimensiunile semifabricatului și expresia caracteristicii mecanice a mecanismului de extragere va avea expresia:

$$C_m(D) = a \quad (3.41)$$

unde a este o constantă, Fig.3.28., curba b.

În cazul în care dispozitivul de extragere este destinat extragerii de unor profile de dimensiuni neschimbate, el trebuie să asigure apropierea bacului de semifabricat cu viteză mare și apoi dezvoltarea unei forțe de strângere cu pantă crescătoare mare imediat ce bacul a luat contact cu semifabricatul extras, Fig.3.28., curba c.

Pentru dispozitivele de extragere concepute, la modelele 1, 3 și 4, se asigură închiderea cuplei cinematice bacuri-semifabricat, mixt, prin formă cât și prin forță. La închiderea mixtă a cuplei cinematice deschise, bacurile au mai puține puncte teoretice de contact decât 6, iar lipsa acestora este suplinită prin forțe de strângere de intensitate mai mică decât în cazul închiderii prin “forțe pure”. Pentru dispozitivul de extragere cu arborii melcați, cupla cinematică deschisă între arborii melcați și semifabricat, se închide exclusiv prin forță.

3.14 Concluzii și contribuții originale

În capitolul trei s-au prezentat cercetările efectuate de către autor privind concepția și proiectarea unui număr de patru dispozitive originale de extragere aplicabile pentru procedeul de turnarea continuă orizontală.

Aceste dispozitive au fost proiectate în vederea obținerii unei mișcări de extragere continue sau intermitente a semifabricatelor obținute în urma procesului tehnologic de turnare continuă orizontală, avându-se în vedere condițiile speciale de manipulare a semifabricatului aflat la o temperatură ridicată. Pentru aceasta, s-a pus accent atât pe valoarea forței necesare de strângere în vederea reducerii defectelor ce apar în cazul utilizării dispozitivelor clasice existente, cât și înlocuirea sistemelor de strângere hidraulice sau pneumatice cu un sistem mecanic simplu și fiabil.

Totodată, prin înlocuirea sistemelor clasice de strângere a semifabricatului se realizează atât importante reduceri a consumului energetic la instalațiile de turnare continuă cât și eliminarea cauzelor defectelor ce apar în timpul funcționării la dispozitivele pneumatice și hidraulice.

În urma analizei structurale efectuate, toate cele patru dispozitive concepute și proiectate sunt desmodrome și îndeplinesc condiția de desmodromie.

Contribuțiile originale ale autorului constau în:

- ✓ proiectarea dispozitivelor utilizând tehnici avansate de proiectare CAD;
- ✓ analiza din punct de vedere structural a celor patru variante de dispozitive concepute;
- ✓ efectuarea unui calcul de dimensionare pentru un semifabricat rotund cu diametrul de 120 mm al dispozitivul de extragere cu bacuri semicilindrice;
- ✓ determinarea funcției de transmitere de ordinul unu al dispozitivelor;
- ✓ determinarea caracteristicii mecanice a mecanismelor de extragere;

Capitolul 4. Verificarea constructiv-funcțională prin simulare numerică a dispozitivelor concepute

4.1 Simularea numerică. Generalități. Conceptul de simulare

În mediul înconjurător există produse care se utilizează zilnic. Ele trebuie să îndeplinească cu succes rolul pentru care au fost fabricate și proiectate, deci aceste produse trebuie să respecte cerințele de securitate și calitate în funcționare. Prin

utilizarea zilnică a acestor produse componentele acestora vor fi expuse la diferite solicitări, cum sunt: temperaturi extreme datorate fenomenelor din natură, solicitări ale mecanismelor care se datorează forțelor, accelerațiilor, vitezelor sau impacturilor de viteză mare. Funcție de intensitatea, tipul și frecvența solicitărilor la care sunt supuse componentele unui produs, produsele vor reacționa diferit modificându-și comportarea funcționării până la apariția defectelor.

Simularea numerică sau digitală utilizează modelarea și analiza computerizată pentru a verifica comportarea în timp a produselor supuse solicitărilor la diferite condiții de funcționare. Simularea și analiza numerică folosind un prototip virtual studiază aspectele descrise mai sus, eliminând sau reducând posibilitatea de apariție a defectelor cauzate de solicitările care apar în funcționare.

În ultimi ani, o dată cu dezvoltarea aplicațiilor software ingineresti pentru proiectarea și modelarea 3D a produselor, este posibilă optimizarea și dezvoltarea de produse folosind prototipul virtual. Etapele ulterioare concepției vor utiliza pentru simularea comportării și fabricației același prototip virtual. Principalele avantaje ale simulării numerice ale dispozitivelor sunt:

- prin simularea numerică a prototipului virtual se reduc costurile cu testarea fizică;
- intervalul de timp în care se dezvoltă un produs nou de la concepție până la fabricație, se reduce;
- este posibilă optimizarea produsului încă din faza de proiect, eliminând astfel costurile cu prototipurile fizice;
- calitatea, siguranța în funcționare și fiabilitatea cresc.

Proiectarea pieselor în construcția de mașini nu mai poate fi concepută azi fără utilizarea programelor specializate de proiectare asistată de calculator respectiv de analiză a comportării acestora din punct de vedere al rezistenței mecanice. Metoda de analiză cu element finit permite vizualizarea spațială a comportării unor piese supuse la solicitări și oferă inginerilor posibilitatea de optimizare a pieselor pe baza criteriilor impuse prin proiectare.

Utilizarea metodelor moderne de proiectare asistată de calculator și analiza comportării piesei la solicitării impuse prin metoda elementului finit, pune în mână inginerului instrumentul necesar de lucru pentru optimizarea proiectării, cu efecte puternic pozitive referitoare la cunoașterea răspunsului piesei la solicitările impuse și a deformației pieselor, reducerea greutății, detectare zonelor critice. Acest fapt

contribuie la creșterea încrederii inginerilor în soluția rezultată și permite luarea unor decizii de proiectare în cunoștință de cauză.

O astfel de analiză implică însă asimilarea modului de lucru cu un program specializat de proiectare asistată, precum și a programelor de simulare și analiză cu element finit. Fără a neglija ușurința în manipularea acestor programe, specializarea în operarea cu astfel de programe se poate face numai printr-o investiție intelectuală, ceea ce impune asimilarea acestor metode de proiectare, simulare și analiză.

Conceptul de simulare

Cuvântul simulare derivă de la latinescul „simulatio” care înseamnă capacitatea de a reproduce sau a imita ceva. Există mai multe definiții formulate de diferiți autori:

- simularea este procesul prin care se construiește un model al unui sistem real și se realizează experimente cu acest model în scopul înțelegerii comportamentului sistemului și/sau evaluării diferitelor strategii pentru sistemul analizat;
 - simularea pe calculator este procesul prin care se construiește un model matematico-logic al unui sistem real și se realizează experimente cu acest model pe un calculator;
 - simularea este imitarea modului de lucru al unui proces sau sistem real și include generarea unei istorii artificiale și observarea acesteia pentru a realiza inferențe privind caracteristicile funcționale ale sistemului real reprezentat. Ea este folosită în analiza comportamentului unui sistem, în analize de tip „Ce se întâmplă dacă...?” sau în proiectarea unor sisteme reale;
 - simularea se referă la o colecție largă de metode și aplicații pentru imitarea comportamentului unui sistem real, de obicei cu un calculator și cu un software adecvat;
 - simularea este o tehnică numerică de realizare a experimentelor cu un calculator numeric și presupune utilizarea unor tipuri de relații matematice și logice necesare pentru descrierea comportamentului și structurii unui sistem real complex de-a lungul unei perioade lungi de timp;
- În simulare se utilizează un calculator pentru a evalua din punct de vedere numeric un model de-a lungul unei perioade de timp specificate și se obțin date pentru a estima adevăratele caracteristici ale modelului.
- simularea pe calculator este o metodă care poate fi utilizată pentru studierea performanței unui sistem real;

- simularea este arta și știința prin care se creează o reprezentare a unui proces sau sistem în scopul experimentării și evaluării;
- simularea este o tehnică de realizare a experimentelor.

Din aceste definiții se pot deduce următoarele ipoteze care stau la baza simulării:

- se poate construi un model matematic și logic al sistemului analizat;
- sistemul analizat poate fi real sau teoretic.

De obicei se utilizează un calculator digital pentru realizarea simulării. De aceea, se presupune că sistemul poate fi descris în termeni acceptabili pentru un sistem de calcul.

Datele despre funcționarea sistemului analizat se obțin prin executarea unui model, generându-se astfel o istorie artificială.

Prin analiza istoriei artificiale se pot face inferențe referitoare la caracteristicile de funcționare ale sistemului real de-a lungul unei perioade de timp.

Scopul simulării este de a găsi „ceva” despre modul de funcționare al sistemului real.

Simularea este în special valoroasă pentru problemele care nu pot fi abordate prin metode matematice, analitice sau de optimizare. Deși atât simularea cât și optimizarea sunt metode cantitative care se bazează pe modelele matematice, diferența fundamentală dintre cele două abordări constă în rolul variabilelor de decizie.

În cazul optimizării, valorile variabilelor de decizie sunt date de ieșire ale modelului. Aceste valori sunt obținute cu o formulă sau cu un algoritm de optimizare astfel încât ele să maximizeze sau minimizeze valoarea unei funcții obiectiv care exprimă criteriul de performanță al modelului.

În cazul simulării, valorile variabilelor de decizie sunt date de intrare ale modelului. Prin simulare, pe baza modelelor matematice, se evaluează criteriul de performanță pentru anumite valori ale variabilelor decizionale.

În final, se va alege varianta care conduce la cea mai bună valoare a criteriului de performanță.

4.2 Etapele simulării

Simularea poate fi abordată în diferite moduri, în funcție de:

- 1) tipul calculatorului utilizat: analogic, digital, hibrid;

- 2) natura procesului de simulare (în funcție de domeniul în care se operează): proces tehnologic, proces chimic, sistem economic, sistem biologic etc.
- 3) desfășurarea "fluxului" de semnale în procesul de simulare: continuă, discretă sau mixtă;
- 4) relația temporală dintre evenimentele din procesul de simulare: desfășurare în timp real, mai rapid sau mai lent decât această modalitate, desfășurare în timp real cu "monitorizare" prin intermediul frecvenței de ceas sau a tactului propriu al procesului de simulare; posibilitatea de modificare a corelațiilor temporale care este foarte importantă pentru unele sisteme de simulat.

Cazurile particulare de simulare rezultă din combinarea categoriilor prezentate mai sus, precum și de modelele utilizate; ca exemple se pot da: simularea continuă și analogică, în timp real a unui sistem mecanic sau simularea discretă și digitală, la modul mai rapid decât cel în timp real a unui sistem economic.

Realizarea unui experiment de simulare este un proces care se desfășoară de obicei în mai multe etape:

- I) Formularea problemei.
- II) Colectarea și prelucrarea primară a datelor.
- III) Formularea modelului de simulare.
- IV) Estimarea parametrilor caracteristicilor operative din datele reale și a celorlalți parametri de intrare.
- V) Evaluarea performanțelor modelului și testarea parametrilor.
- VI) Construirea programului de calcul (algoritmul simulării).
- VII) Validarea programului.
- VIII) Planificarea experiențelor de simulare.
- IX) Analiza datelor simulate.

4.3 Simularea cinematicii dispozitivelor

Datorită dezvoltării fără precedent a tehnologiei informației au apărut aplicații software CAE (Computer Aided Engineering) cu ajutorul cărora se simulează și analizează prototipul virtual. Analiza unui produs care este supus la solicitări se poate realiza utilizând metoda elementelor finite denumită MEF.

Metoda elementelor finite își are originea de la necesitatea rezolvării unor probleme complexe de analiză structurală și de elasticitate din domeniul aeronautic și cel civil. Dezvoltarea domeniului MEF poate fi urmărită până în anul 1941-1942

(Alexander Hrennikof și Richard Courant) când s-au descoperit primele însemne privitoare la rezolvarea unor probleme ingineresti. Deși abordarea celor doi era total diferită, în ambele calcule ingineresti se folosea aceeași metodă, și anume amândoi utilizau discretizarea unui domeniu într-un set de sub-domenii de mici dimensiuni denumite ulterior elemente.

Courant a folosit abordarea care se utilizează și în prezent, și anume discretizarea cu triunghiuri pentru studiul torsiunii unui cilindru. Metoda elementelor finite s-a dezvoltat în anii 1950-1960 la universitatea din Stuttgart, Germania, de către Jhon Argyris și la Universitatea din Berkeley, SUA, de către Ray Clough. Acesta din urmă a introdus termeni ca matrice de rigiditate, element de nod, esențiali în domeniul analizei cu elemente finite. Prima carte despre metoda elementelor finite a apărut în anul 1967 și a fost scrisă de Zienkiewicz și Cheung. Prima aplicație software din domeniul analizei cu elemente finite a fost dezvoltată de către NASA (National Aeronautics and Space Administration) în cercetările aeronautice și spațiale, fiind astfel denumită **NASA Structural Analysis**. În anul 1968 a fost lansată și versiunea comercială cu denumirea de NASTRAN. În anii următori sunt dezvoltate și alte aplicații software în domeniul analizei cu element finit cum ar fi : Ansys-1970, Adina-1975, Abaqus-1978, Cosmos-1985 precum și alte aplicații ca: Patran, Ideas-ms, Algor.

Metoda elementelor finite este o metodă generală de rezolvare aproximativă a ecuațiilor diferențiale cu derivate parțiale care descriu sau nu fenomene fizice. MEF, ca și principiu, constă în descompunerea unui prototip virtual în porțiuni cu formă geometrică simplă, analiza acestora precum și recompunerea prototipului virtual respectând anumite cerințe matematice. În rezolvarea ecuațiilor diferențiale parțiale, cea mai importantă provocare o reprezintă crearea unei ecuații care să aproximeze ecuația care se va studia, dar care este și stabilă numeric. Înseamnă că erorile datelor de intrare și a calculelor intermediare nu se acumulează și fac ca rezultatul analizei să aibă sens.

În MEF se înlocuiește sistemul mecanic cu număr infinit de grade de libertate, cu un sistem echivalent cu un număr finit de grade de libertate, respectiv sistemul ecuațiilor diferențiale de echilibru – formă matematică tare: 6 Cauchy, 6 Hooke, 3 condiții interne de echilibru - este înlocuit de o formă echivalentă în sens integral - formă matematică slabă, în formularea variațională Rayleigh- ceea ce conduce la un sistem de ecuații algebrice. În esență, MEF reprezintă o implementare numerică a

metodei deformațiilor de la disciplina rezistența materialelor, respectiv necunoscutele - gradele de libertate nodale sunt la o analiză structurală deplasările și rotațiile.

Pentru simularea cinematicii dispozitivelor concepute s-a utilizat modulul “Motion Analysis” disponibil în programul SolidWorks. Modulul este capabil să simuleze mișcarea unui mecanism (corespunzător cu constrângerile dintre elementele mecanismului), fiind capabil să realizeze analiza cinematică și cinetostatică a ansamblui de elemente (mecanismului) supus analizei.

a) simularea mișcării pentru dispozitivul de extragere cu bacuri semicilindrice

În figura 4.1. este prezentată simularea cinematicii dispozitivului cu bacuri semicilindrice.

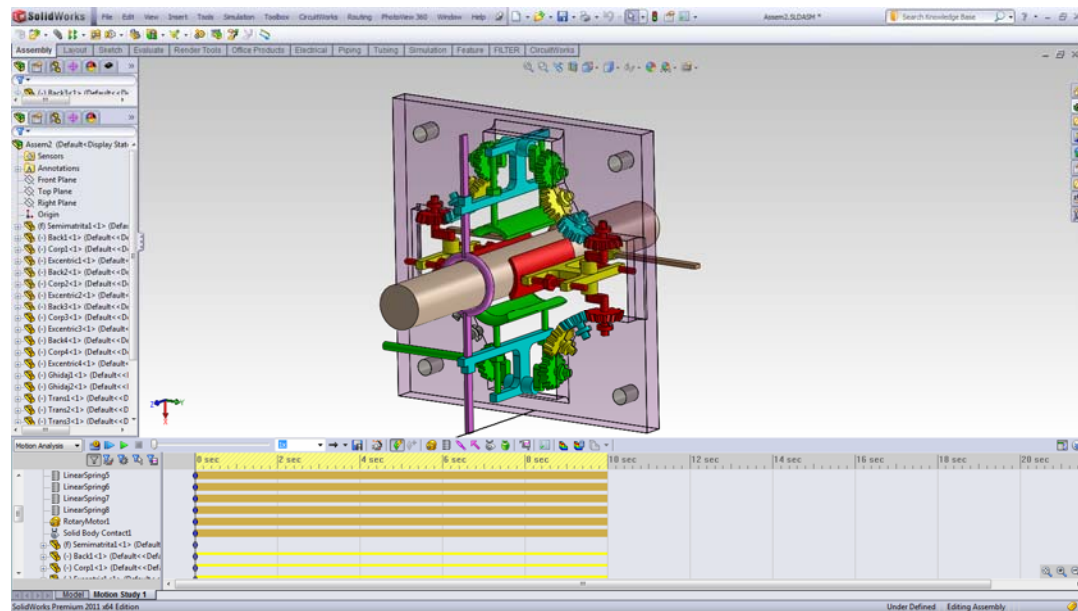


Fig.4.1. Utilizarea modului analizei mișcării, pentru studiul cinematic și cinetostatic al dispozitivului cu bacuri semicilindrice

În vederea simulării mișcării dispozitivului, se introduc parametrii de simulare necesari, în acord cu datele de proiectare, Fig.4.2.

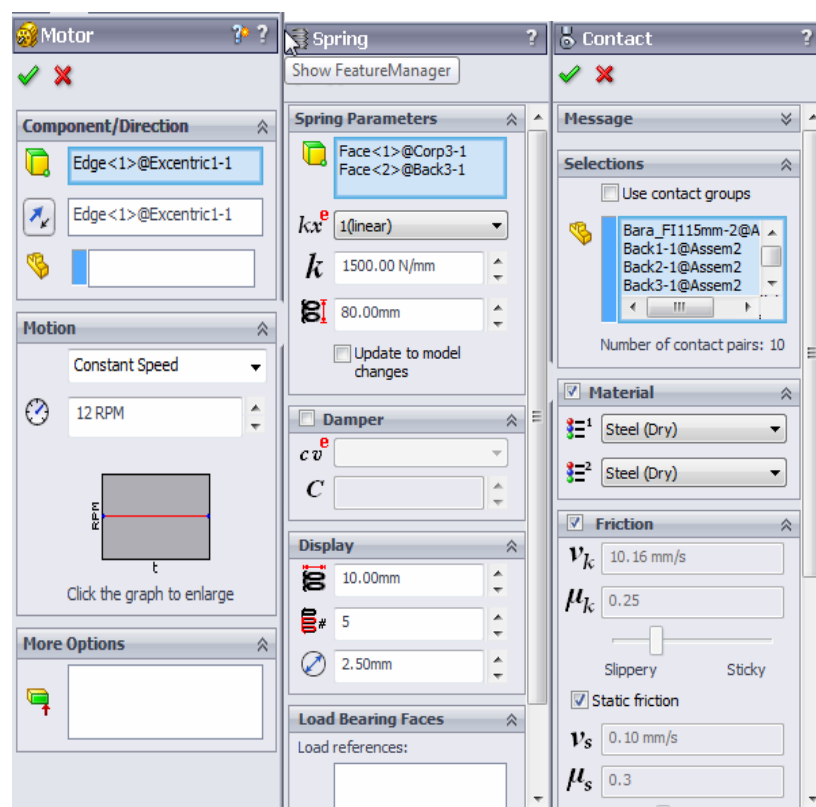


Fig.4.2. Introducerea parametrilor simulării mișcării dispozitivului Fig.4.1

Astfel, s-au considerat următorii parametri:

- turația arborelui de intrare $n=12$ rot/min;
- constanta elastică a arcului elicoidal $k=1500$ N/mm;
- tipul de material, oțel AISI 1020;
- tipul de simulare- analiză de mișcare cu contact între bacuri și semifabricat;
- durata simulării, $t= 10$ secunde.

În urma simulării, se constată că dispozitivul conceput este funcțional, îndeplinind funcția de extragere a semifabricatului pe care îl deplasează intrmitent, pe axa Oz a sistemului de referință considerat inițial (anexa F).

b) simularea mișcării pentru dispozitivul de extragere cu arbori melcați

În figura 4.3. este prezentată simularea cinematicii dispozitivului cu arbori melcați. În vederea simulării mișcării dispozitivului, se introduc parametrii de simulare necesari, în acord cu datele de proiectare, fig.4.4.

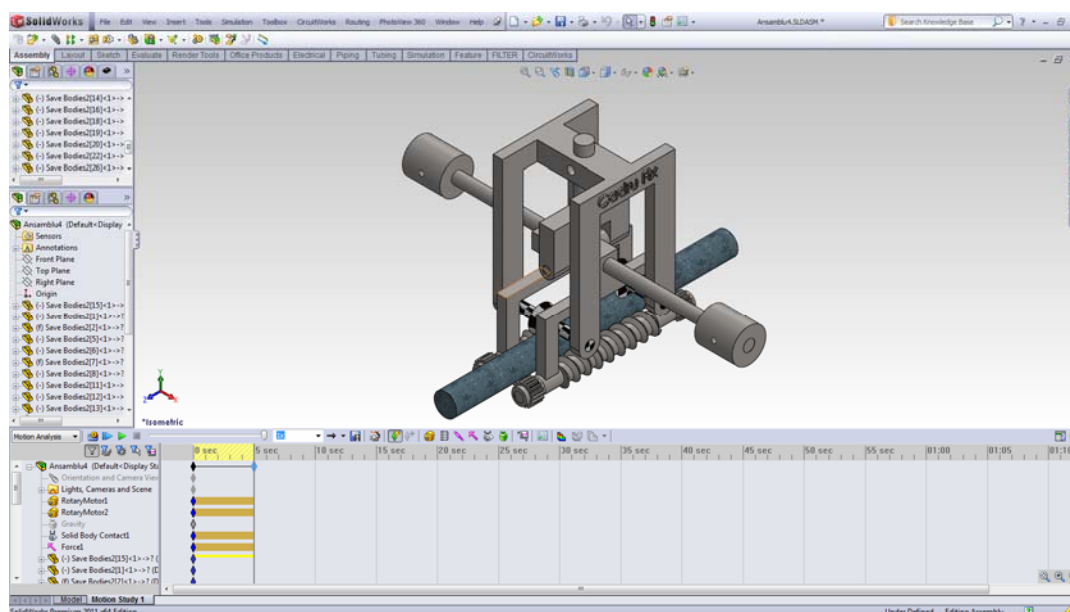


Fig.4.3. Utilizarea modulului analizei mișcării, pentru studiul cinematic și cinetostatic al dispozitivului cu arbori melcați

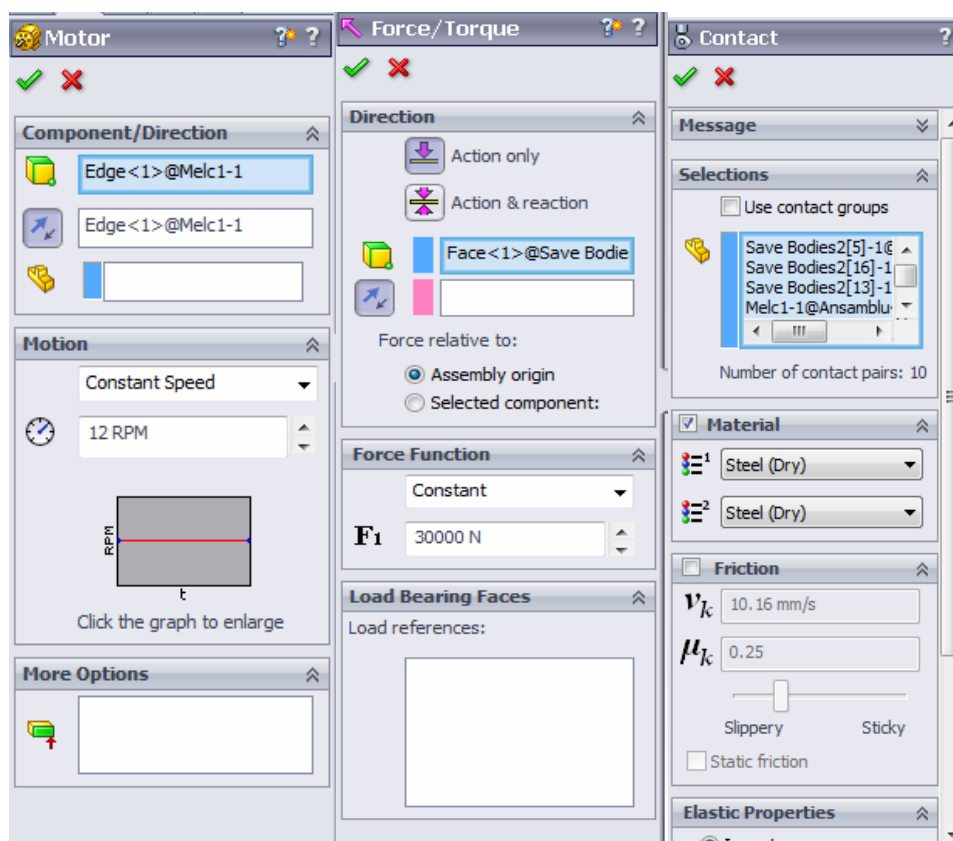


Fig.4.4. Introducerea parametrilor simulării mișcării dispozitivului din Fig.4.3

Astfel, s-au considerat următorii parametri:

- turația arborilor melcați, $n=12$ rot/min;
- forța de apăsare pe role, $f= 30.000$ N.
- tipul de material, oțel AISI 1020;
- tipul de simulare- analiză de mișcare cu contact între arborii melcați și semifabricat;
- durata simulării, $t= 5$ secunde.

Rezultatul simulării confirmă că dispozitivul conceput este funcțional, îndeplinind funcția de extragere a semifabricatului pe care îl deplasează continuu, pe axa Oz a sistemului de referință considerat inițial, (anexa F).

c) simularea mișcării pentru dispozitivul de extragere cu bacuri concentrice, varianta 1

În figura 4.5. este prezentată simularea cinematicii dispozitivului cu bacuri concentrice, varianta 1. În vederea simulării mișcării dispozitivului, se introduc parametri de simulare necesari, în acord cu datele de proiectare, Fig.4.6.

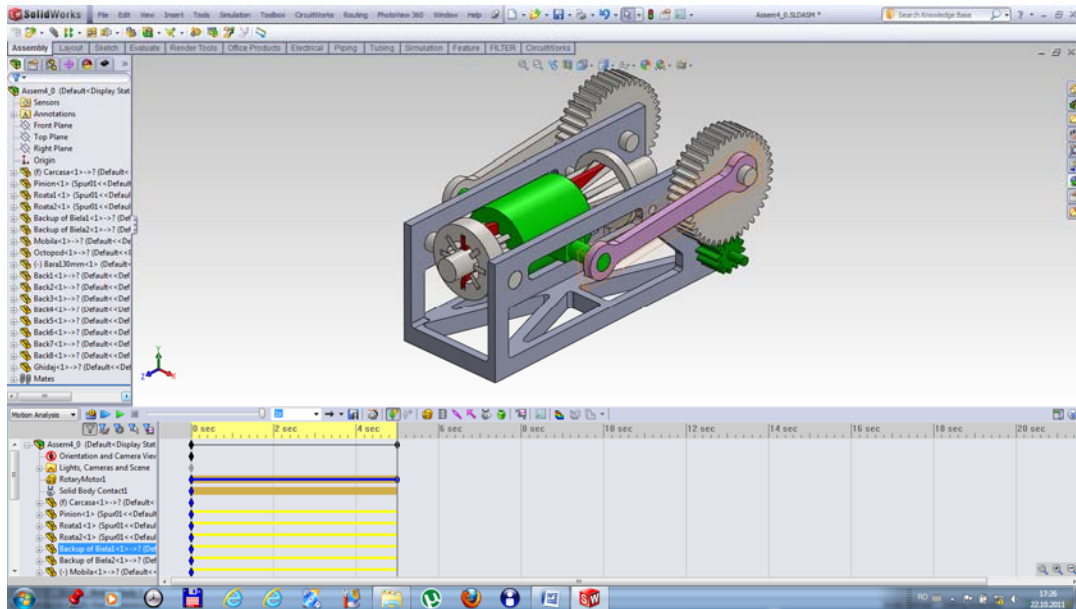


Fig.4.5. Utilizarea modului analizei mișcării, pentru studiul cinematic și cinetostatic al dispozitivului cu bacuri concentrice, varianta 2

Astfel, s-au considerat următorii parametri:

- turația arborilor melcați, $n=50$ rot/min;
- tipul de material, oțel AISI 1020;
- tipul de simulare- analiză de mișcare cu contact între bacuri și semifabricat;
- durata simulării, $t= 5$ secunde.

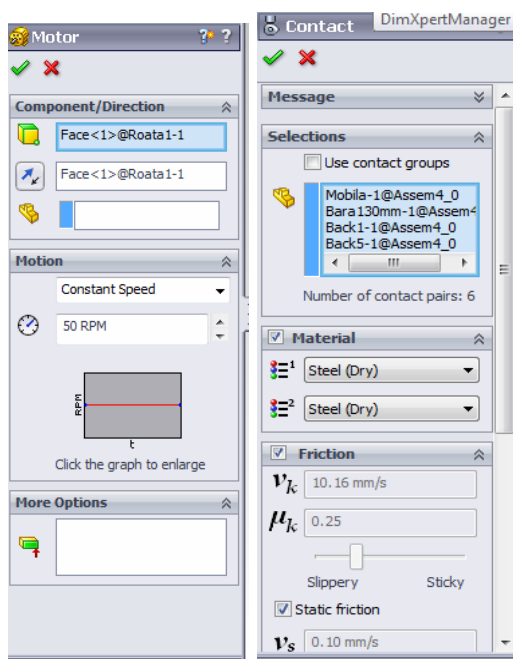


Fig.4.6. Introducerea parametrilor simulării mișcării dispozitivului din Fig.4.5

Rezultatul simulării confirmă că dispozitivul conceput este funcțional, îndeplinind funcția de extragere a semifabricatului pe care îl deplasează intermitent, pe axa Oz a sistemului de referință considerat inițial, (anexa F).

d) simularea mișcării pentru dispozitivul de extragere cu bacuri concentrice, varianta 2

În figura 4.7. este prezentată simularea cinematicii dispozitivului cu bacuri concentrice, varianta 2. În vederea simulării mișcării dispozitivului, se introduc parametri de simulare necesari, în acord cu datele de proiectare, Fig.4.8.

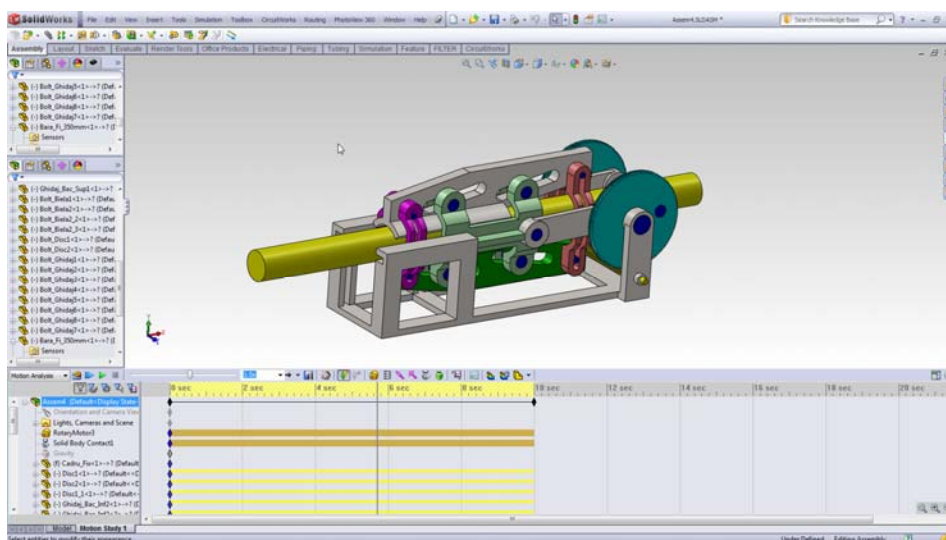


Fig.4.7. Utilizarea modului analizei mișcării, pentru studiul cinematic și cinetostatic al dispozitivului cu bacuri concentrice, varianta 2

Astfel, s-au considerat următorii parametri:

- turația arborilor melcați, $n=65$ rot/min;
- tipul de material, oțel AISI 1020;
- tipul de simulare- analiză de mișcare cu contact între arborii melcați și semifabricat;
- durata simulării, $t= 10$ secunde.

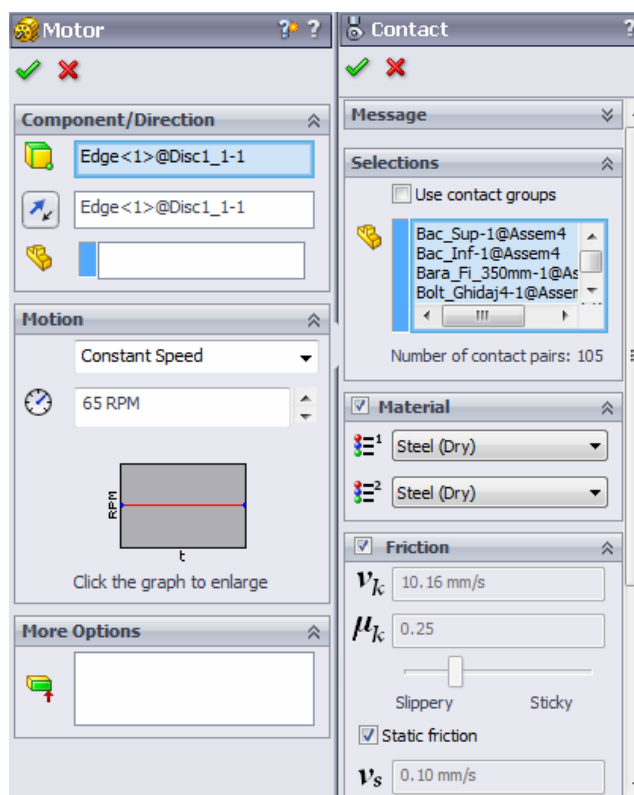


Fig.4.8. Introducerea parametrilor simulării mișcării dispozitivului din Fig.4.7

În urma simulării, se constată că dispozitivul conceput este funcțional, îndeplinind funcția de extragere a semifabricatului pe care îl deplasează intermitent, pe axa Oz a sistemului de referință considerat inițial.

4.5 Analiza cinematică a dispozitivelor concepute

Analiza cinematică a dispozitivelor de extragere concepute, rezultă din studiile de simulare a mișcării, prezentate în subcapitolul 4.4. Din aceste studii, rezultă principalii parametri cinematici care caracterizează deplasarea semifabricatului.

Parametrii cinematici ai elementelor dispozitivului (deplasări, viteze și accelerații) sunt calculați automat, pe parcursul simulării mișcării dispozitivului de softul utilizat pentru simularea cinematicii

În Fig. 4.9, Fig.4.10 și Fig.4.11 se prezintă graficele variației în timp ai parametrilor cinematici ce caracterizează mișcarea semifabricatului la dispozitivul de extragere cu bacuri semicilindrice.

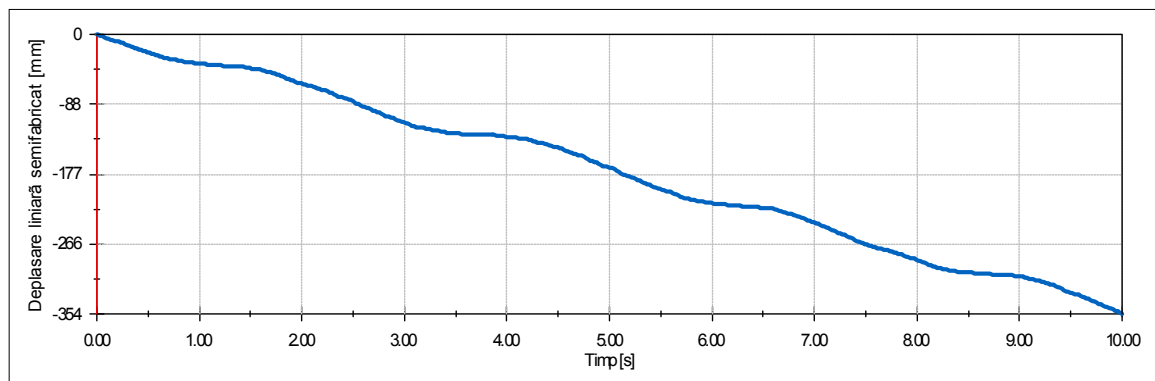


Fig.4.9. Variația deplasării pe axa Oz a semifabricatului funcție de timp

Forma analitică, ce descrie variația deplasării în raport cu timpul, pentru un ciclu de extragere, este următoarea:

$$y=A \cdot x+B \quad (4.1)$$

$$R^2=0,9429; A= - 32,7526; B= -17,6392;$$

unde: x = timp [s];

y = deplasarea pe axa Oz [mm];

R^2 =factor de încredere ($R^2=1$ factor de încredere maxim).

Se observă că deplasarea semifabricatului în raport cu timpul este o funcție aproximativ liniară și de datorează echipării dispozitivului cu două perechi de bacuri, diametral opuse, acționate elastic prin intermediul arcurilor de compresiune, fapt ce asigură o extragere relativ continuă.

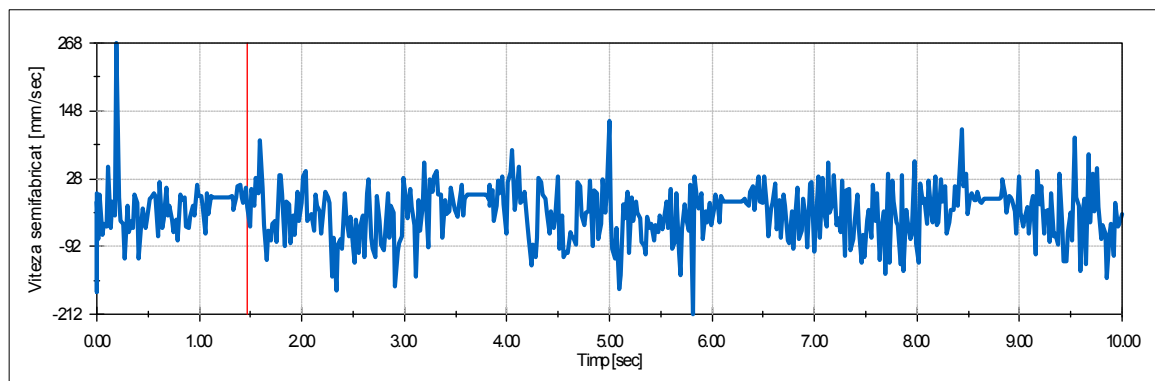


Fig.4.10. Variația vitezei de extragere a semifabricatului pe axa Oz funcție de timp

Aproximarea statistică prin ecuația de regresie liniară, descrie variația vitezei de extragere în raport cu timpul, pentru un ciclu de extragere, ca fiind următoarea:

$$y=A \cdot x+B \quad (4.2)$$

$$R^2=1; A= 0,1; B= -50;$$

unde: x= timp [s];

y= viteza pe axa Oz [mm/sec];

În Fig. 4.11 se prezintă graficul variației accelerației semifabricatului extras, în funcție de timp, pe axa Oz.

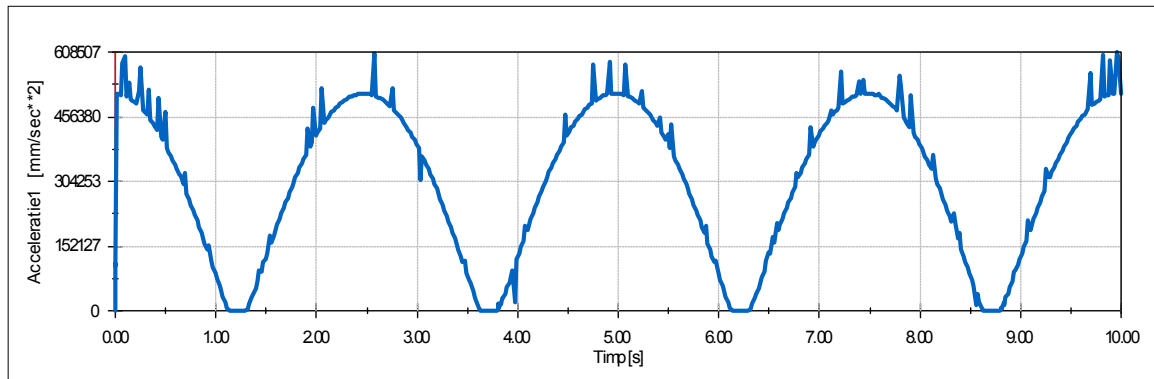


Fig.4.11. Variația accelerației pe axa Oz a semifabricatului funcție de timp

Forma analitică, ce descrie variația accelerației în raport cu timpul, pentru un ciclu de extragere, este următoarea:

$$y=A_0+A_1 \cdot x+A_2 \cdot x^2 \quad (4.3)$$

$$R^2=0,995719; A_0= -1,82312 \cdot 10^6; A_1= 1,90336 \cdot 10^6; A_2= -388214;$$

unde: x= timp [s]

y= accelerația [mm/sec²]

În Fig. 4.12, Fig.4.13 și Fig.4.14 se prezintă graficele variației în timp ai parametrilor cinematici ce caracterizează mișcarea semifabricatului la dispozitivul de extragere cu arbori melcați.

Forma analitică, ce descrie variația deplasării în raport cu timpul, pentru un ciclu de extragere, fiind următoarea:

$$y=A \cdot x+B \quad (4.4)$$

$$R^2=1; A= 60,8; B= -1,68754 \cdot 10^{-14}$$

unde: x= timp [s];

y= deplasarea pe axa Oz [mm];

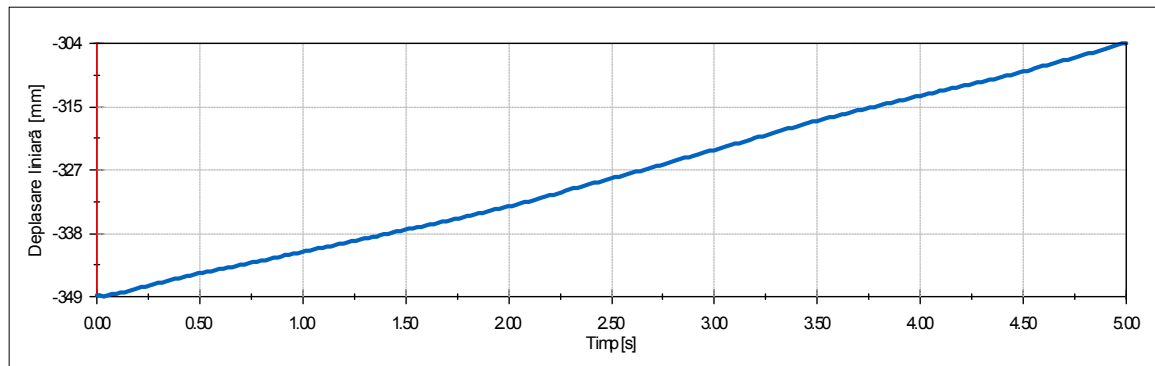


Fig.4.12 Variația deplasării pe axa Oz a semifabricatului funcție de timp

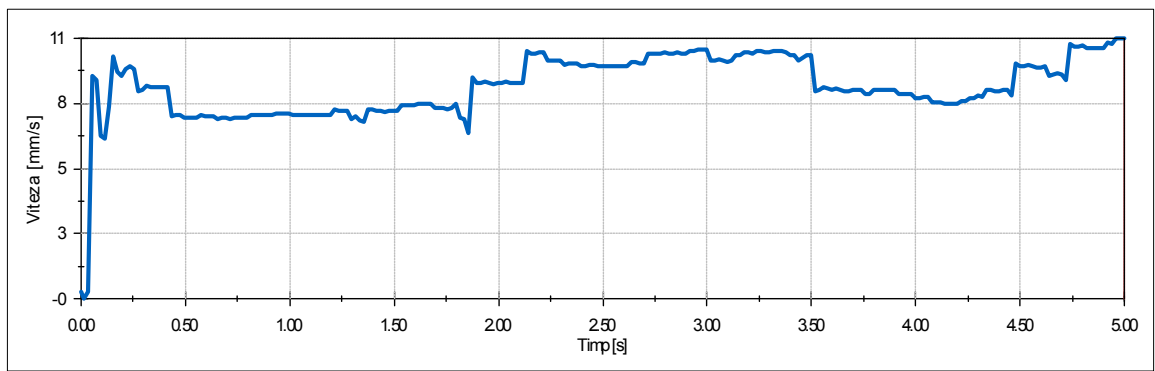


Fig.4.13. Variația vitezei de extragere a semifabricatului pe axa Oz funcție de timp

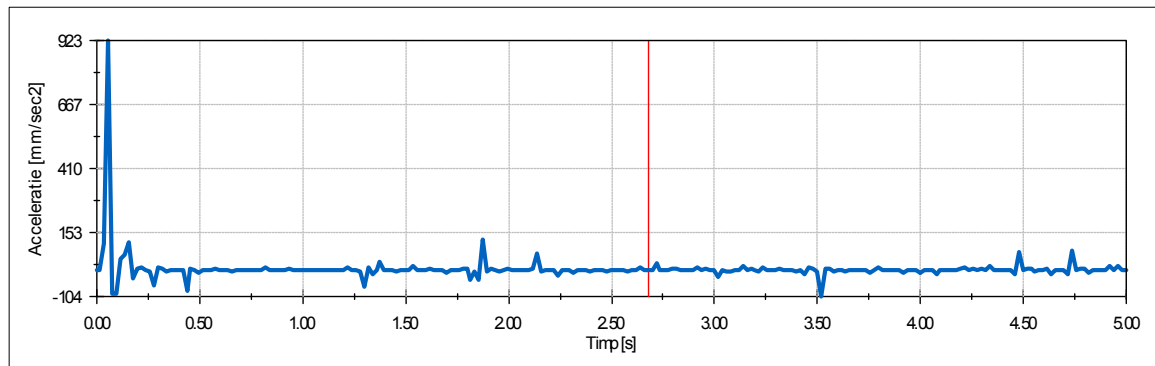


Fig.4.13. Variația accelerației pe axa Oz a semifabricatului funcție de timp

Se observă că, variația deplasării, vitezei și a accelerației semifabricatului extras în raport cu timpul sunt în directă corelație și pot fi approximate printr-o funcție liniară. Această observație permite concluzionarea posibilității de utilizare a dispozitivului de extragere cu arbori melcați și la turnarea continuă verticală cu fir curbiliniu.

În Fig. 4.15, 4.16 și 4.17 se prezintă graficele variației în timp ai parametrilor cinematici ce caracterizează mișcarea semifabricatului la dispozitivul de extragere cu bacuri concentrice, varianta1.

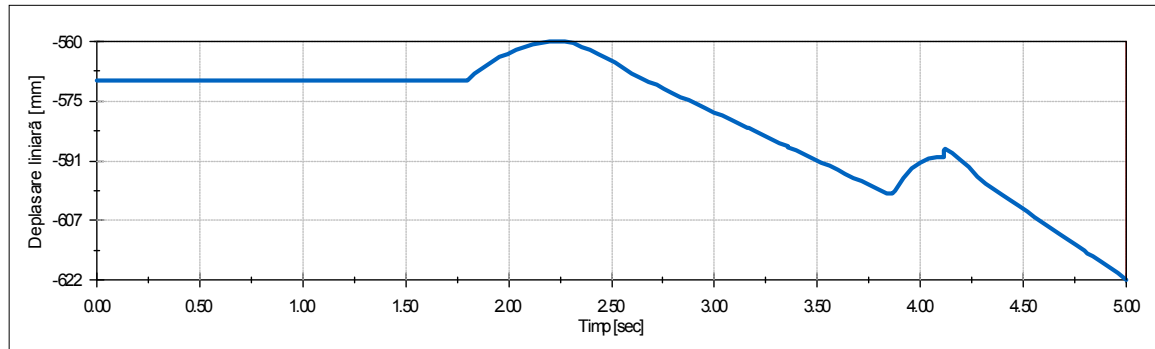


Fig.4.15. Variația deplasării pe axa Oz a semifabricatului funcție de timp

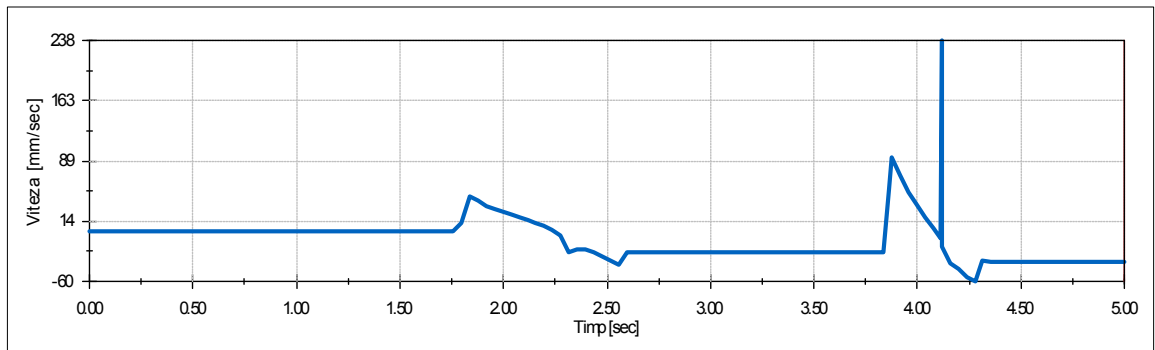


Fig.4.16 Variația vitezei de extragere a semifabricatului pe axa Oz funcție de timp

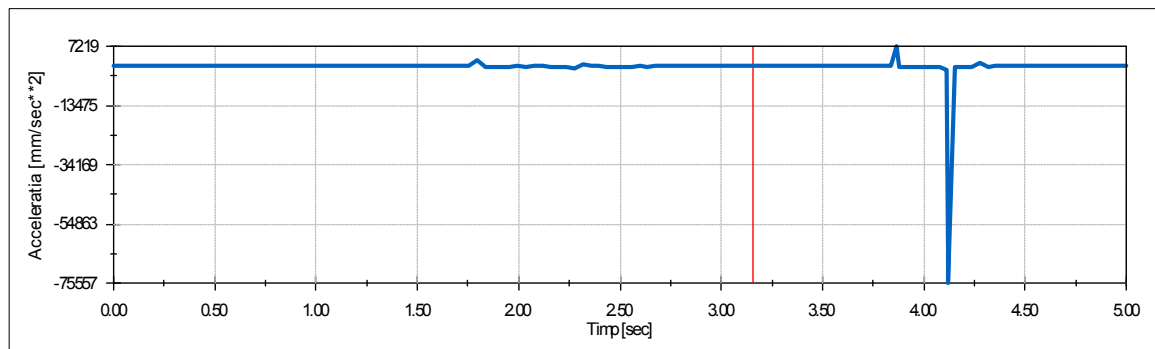


Fig.4.17. Variația accelerației pe axa Oz a semifabricatului funcție de timp

Se observă că, deplasarea semifabricatului în raport cu timpul este intermitentă, cu deplasări de $d=30\text{mm/s}$. Analiza cinematică permite observarea secvențelor de extragere prin autostrângerea bacurilor pe semifabricat, deplasarea lor comună, urmată de eliberarea semifabricatului prin destrângerea bacurilor.

În Fig. 4.18, 4.19 și 4.20 se prezintă graficele variației în timp ai parametrilor cinematici ce caracterizează mișcarea semifabricatului la dispozitivul de extragere cu bacuri concentrice varianta 2.

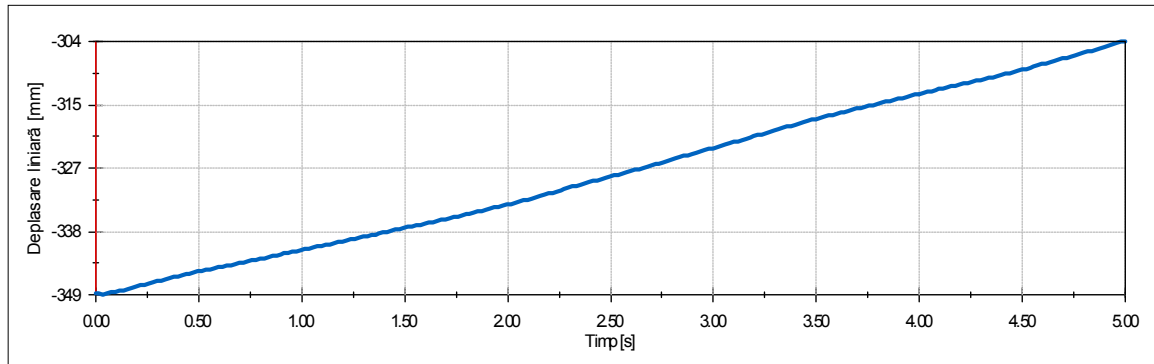


Fig.4.18 Variația deplasării pe axa Oz a semifabricatului funcție de timp

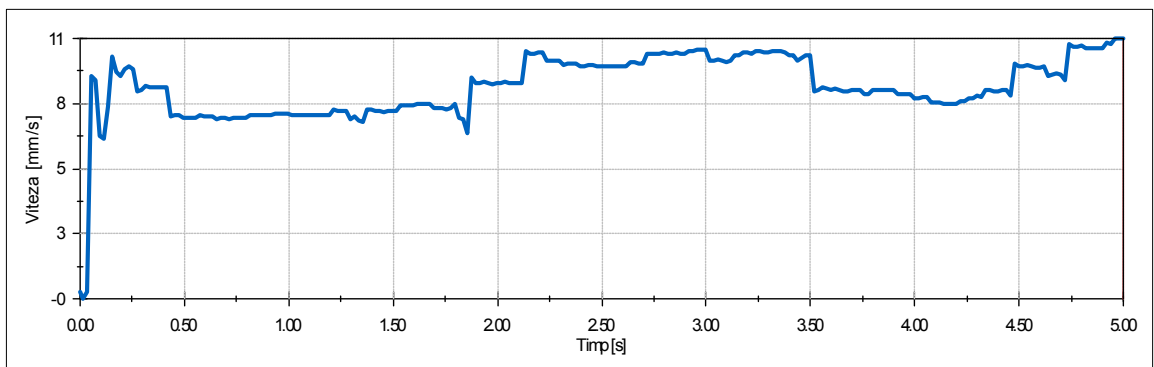


Fig.4.19. Variația vitezei de extragere a semifabricatului pe axa Oz funcție de timp

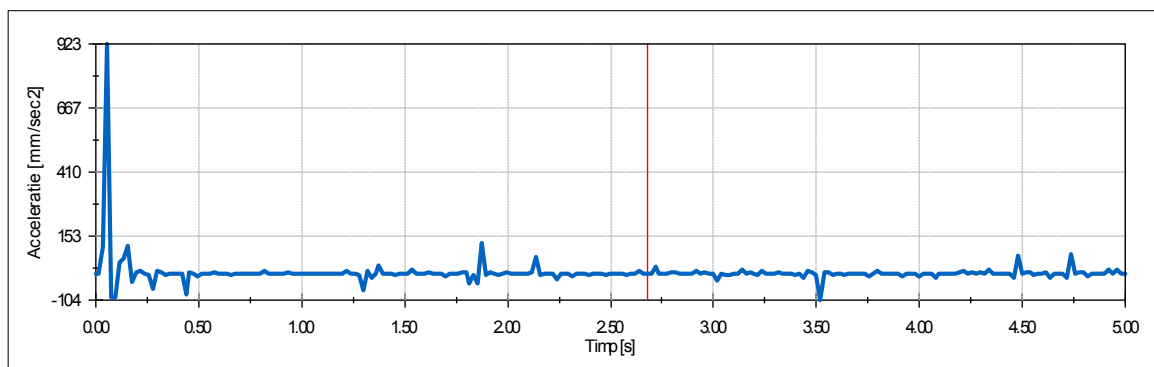


Fig.4.20. Variația accelerației pe axa Oz a semifabricatului funcție de timp

Forma analitică, ce descrie variația deplasării în raport cu timpul, pentru un ciclu de extragere, fiind următoarea:

$$y=A \cdot x+B \quad (4.5)$$

$$R^2=1; A= 60,8; B= -1,68754 \cdot 10^{-14}$$

unde: x= timp [s];

y= deplasarea pe axa Oz [mm];

Se observă că variația vitezei și a accelerației semifabricatului extras în raport cu timpul sunt în directă corelație și pot fi aproximate printr-o funcție liniară. Această observație permite concluzionarea posibilității de utilizare a dispozitivului de extragere cu arbori melcați și la turnarea continuă verticală cu fir curbiliniu.

4.6 Analiza cinetostatică a dispozitivelor concepute

Analiza cinetostatică a dispozitivelor de extragere concepute, rezultă din studiile de simulare a mișcării, prezentate în subcapitolul 4.4. Din aceste studii, rezultă principalii parametri cinetostatici care caracterizează deplasarea semifabricatului

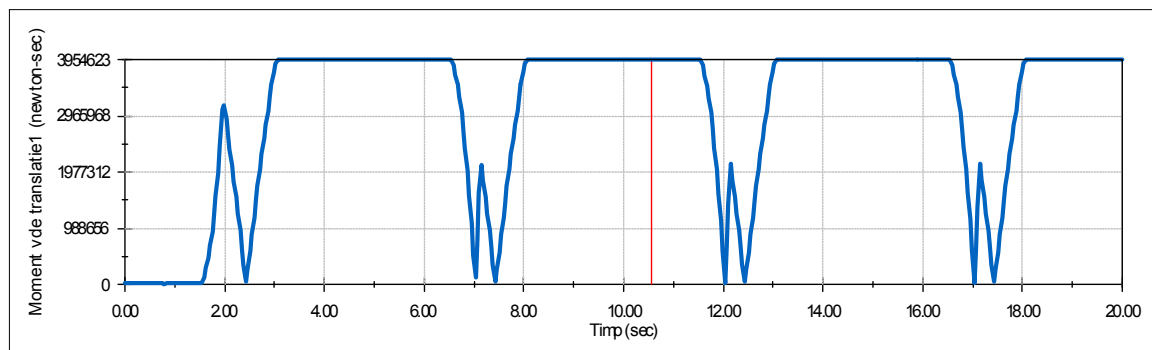


Fig.4.21. Variația momentului de translație pe axa Oz a semifabricatului funcție de timp

Forma analitică, ce descrie variația momentului de translație în raport cu timpul pentru un ciclu de extragere, fiind următoarea:

$$y=A_0+A_1 \cdot x+A_2 \cdot x^2+A_3 \cdot x^3+ A_4 \cdot x^4 \quad (4.5)$$

$$R^2=0,9924; A_0= - 9,36711 \cdot 10^7; A_1= - 9,34452 \cdot 10^7; A_2= - 3,27221 \cdot 10^7; A_3= 4,95681 \cdot 10^6; A_4= - 273766.$$

unde: x= timp [s]

y=moment de translație [N/sec]

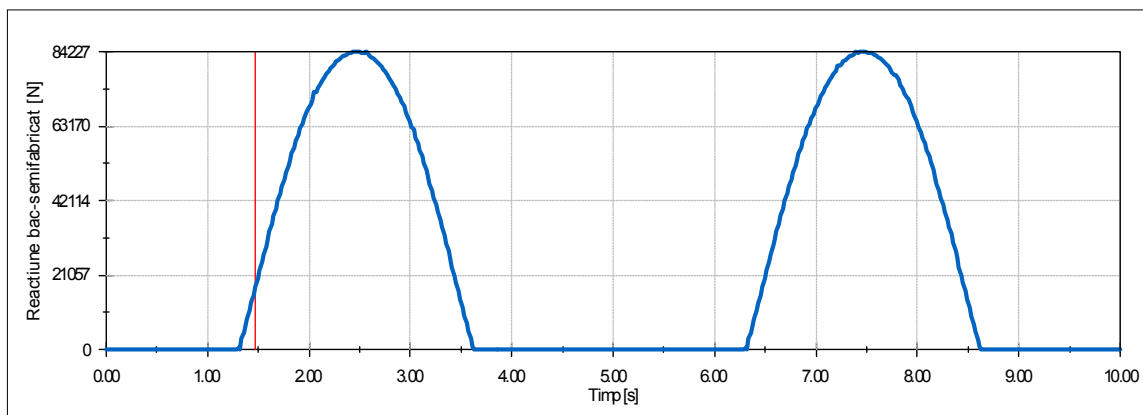


Fig.4.22. Variația forței de contact bac-semifabricat pe axa Oz funcție de timp

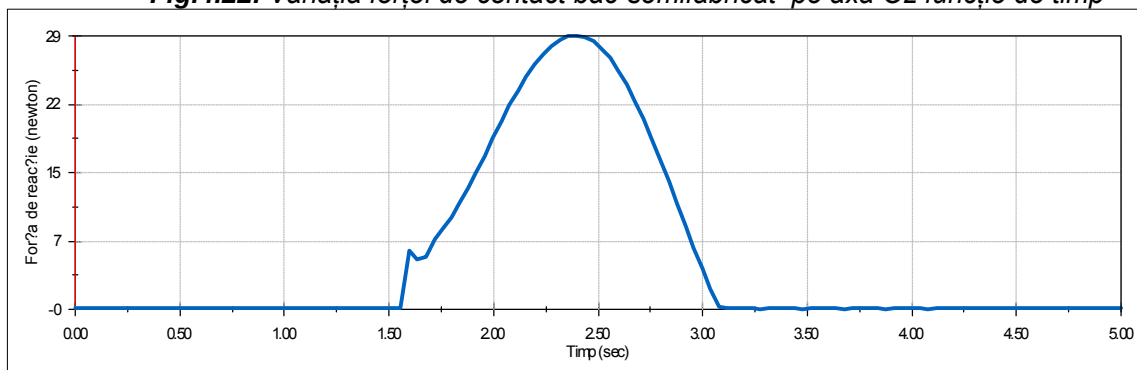


Fig.4.23. Variația forței de contact bac-semifabricat pe axa Oz funcție de timp

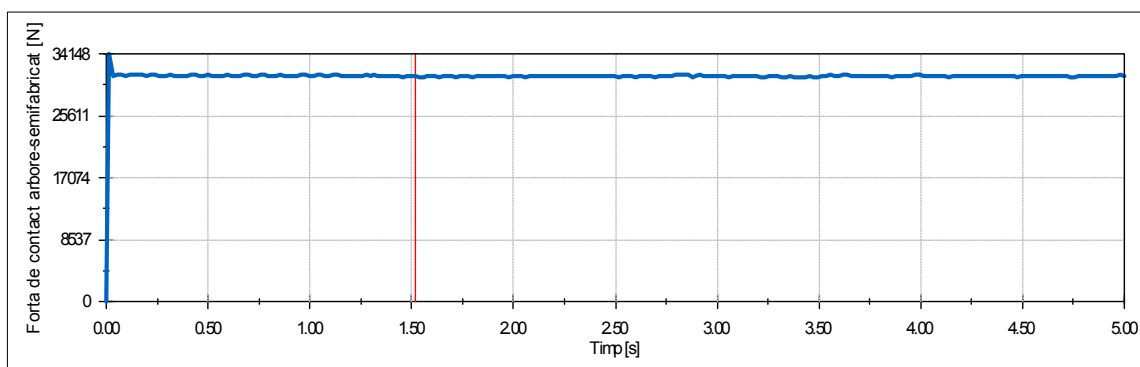


Fig.4.24. Variația forței de contact bac-semifabricat pe axa Oz funcție de timp

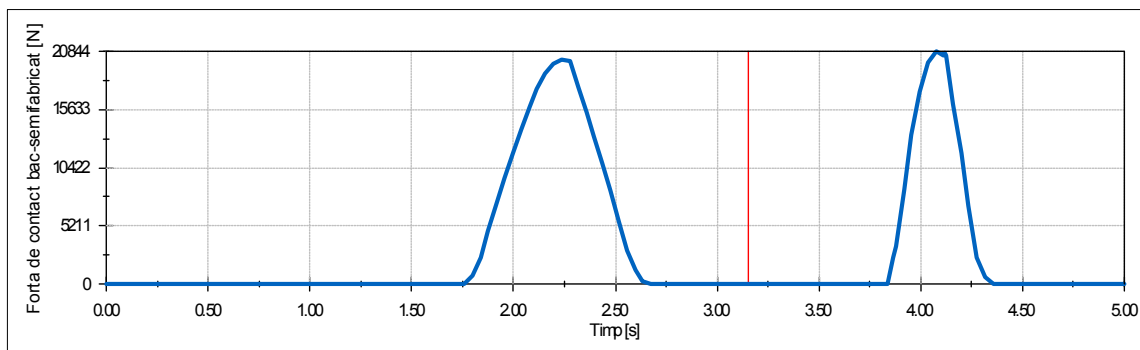


Fig.4.25. Variația forței de contact bac-semifabricat pe axa Oz funcție de timp

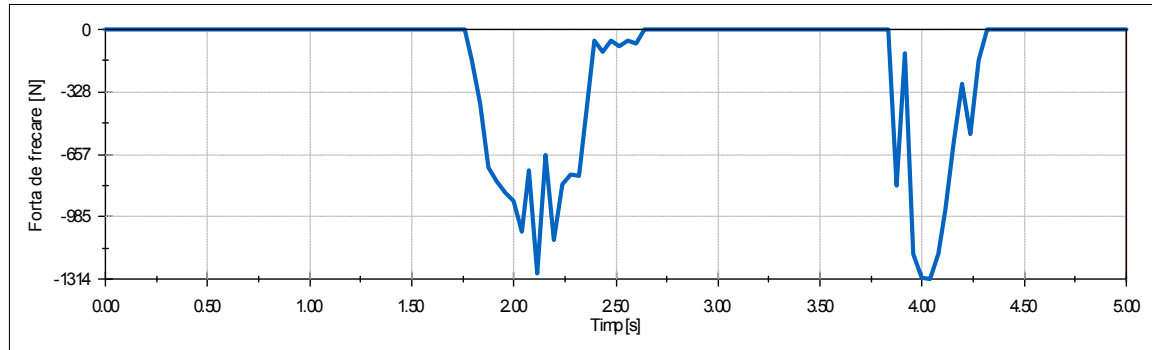


Fig.4.26. Variația forței de frecare bac-semifabricat pe axa Oz funcție de timp

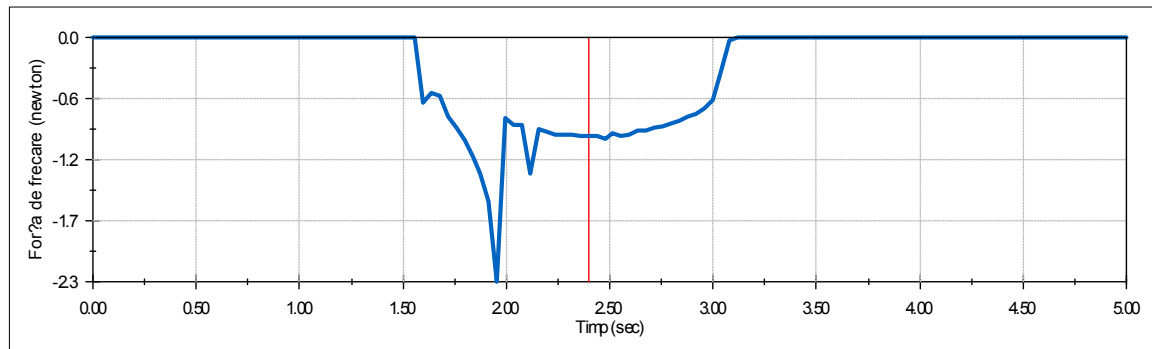


Fig.4.27. Variația forței de frecare bac-semifabricat pe axa Oz funcție de timp

4.6. Analiza cu element finit a stării de tensiune din semifabricat

În Fig.4.28 și Fig.4.29 se prezintă rezultatele simulărilor obținute utilizând metoda elementului finit pentru determinarea stării de tensiune și a deplasării semifabricatului extras în cazul dispozitivului cu bacuri concentrice, varianta 1.

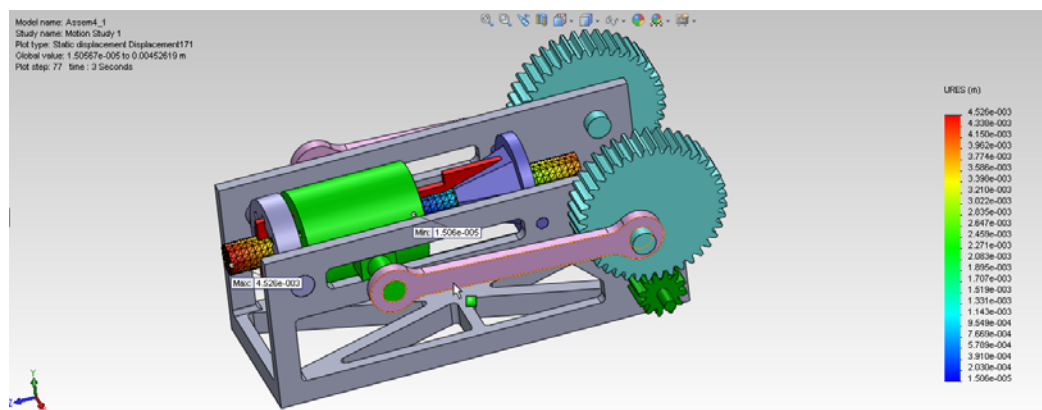


Fig.4.28. Deplasarea rezultantă pentru dispozitivul cu bacuri concentrice, varianta 1.

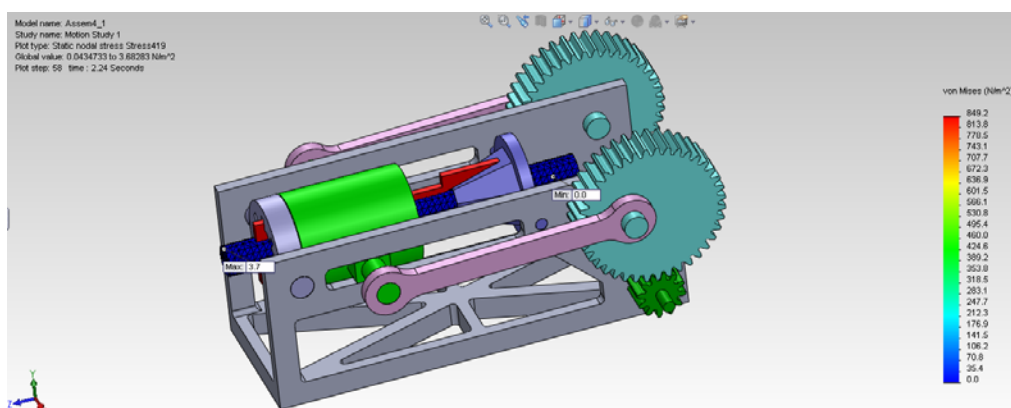


Fig.4.29. Tensiunea Von Mises pentru dispozitivul cu bacuri concentrice, varianta 1

4.7 Concluzii și contribuții personale

Capitolul patru al tezei prezintă cercetările autorului privind simularea funcționării dispozitivelor prezentate în capitolul trei, precum și analiza cinematică și cinetostatică a acestor dispozitive.

În finalul capitolului s-a efectuat calculul pentru determinarea stării de tensiune din semifabricatul extras.

Simularea mișcării dispozitivelor concepute s-a realizat cu modulul “Motion Analysis” al softului SolidWorks.

În urma analizei se constată:

- în cazul dispozitivelor de extragere cu bacuri semicilindrice și arbori melcați, variația vitezei și accelerației semifabricatului sunt în directă corelație și pot fi approximate printr-o funcție liniară, acest fapt conducând la concluzia că dispozitivele se pot utiliza și în cazul turnării continue verticale cu fir curbiliniu;

- în cazul dispozitivelor de extragere cu bacuri concentrice variația vitezelor și accelerațiilor semifabricatului funcție de timp nu au o caracteristică liniară, ci discontinuă, utilizarea acestora se pretează doar la instalațiile de turnare continuă orizontală unde extragere se face intermitent;

- valorile tensiunilor induse în semifabricat de forțele de strângere, se mențin în cadrul limitelor admise pentru evitarea apariției defectelor de formă a semifabricatelor.

Contribuțiile proprii ale autorului în acest capitol sunt:

- ✓ determinarea constrângerilor și a parametrilor mecanici (turații, contacte între elemente, timpi de simulare, forțe de apăsare) necesari realizării simulărilor;
- ✓ alegerea materialelor constitutive ale elementelor dispozitivelor studiate;

- ✓ analiza cinematică (determinarea deplasărilor, vitezelor și accelerațiilor) a semifabricatului pentru fiecare dispozitiv;
- ✓ analiza cinetostatică (forțele de contact și de frecare între semifabricat și bacuri sau arbori melcați) pentru fiecare dispozitiv;
- ✓ calculul prin metoda elementului finit pentru determinarea stării de tensiune a semifabricatului extras la mecanismul cu bacuri concentrice, varianta 1;

Capitolul 5. Optimizarea suprafețelor active de contact ale rolor cajelor de extragere-îndreptare la mașina de turnare continuă cu fir curbiliniu a oțelului la TMK Reșița

Mașina de turnare continuă verticală cu fir curbiliniu, de la TMK Reșița, este utilizată pentru obținerea semifabricatelor de oțel calmat de tip țagă cu profil rotund.

Uzual se toarnă patru dimensiuni de țagă rotundă din oțel, cu diametrele: Ø 180mm, Ø 250mm, Ø 280mm, Ø 350mm.

5.1 Prezentarea mașinii de turnare continuă a oțelului TMK- Reșița

Mașina de turnare are următoarele caracteristici tehnice:

- tip constructiv – cu cristalizator vertical cu fir curbiliniu;
- formatul semifabricatului – Ø 180mm, Ø 250mm, Ø 280mm, Ø 350mm;
- cristalizator tubular drept, cromat dur, cu colțuri racordate, monobloc;
- raza firului: 13.000 mm;
- numărul firelor: 3;
- lungimea zonei verticale: 14.300 mm;
- 4 de zone de răcire secundară, dintre care:
 - zona I: 650 mm;
 - segmentele: 1, 2, 3 sunt de tip curb.
- răcirea în zona secundară are ca agent de răcire, apa;
- reglarea debitelor de apă pentru zona secundară;
- lungimea metalurgică sprijinită: 22,1m;

Temperatura oțelului în oala de turnare, înaintea barbotării:

- inferioară: $T_{\text{lichidus}} + 80^{\circ} \text{ C}$ (T_{lichidus} este în funcție de marca oțelului);
- superioară: $T_{\text{lichidus}} + 100^{\circ} \text{ C}$.

Temperatura oțelului în oala de turnare, după barbotare:

- inferioară: $T_{\text{lichidus}} + 75^{\circ} \text{ C}$;
- superioară: $T_{\text{lichidus}} + 90^{\circ} \text{ C}$.

Temperatura oțelului în distribuitor:

- inferioară: $T_{\text{lichidus}} + 80^{\circ} \text{ C}$;
- superioară: $T_{\text{lichidus}} + 100^{\circ} \text{ C}$.

În Fig.5.1 se prezintă schema mașinii de turnare continuă verticală cu fir curbiliniu de la TMK Reșița.

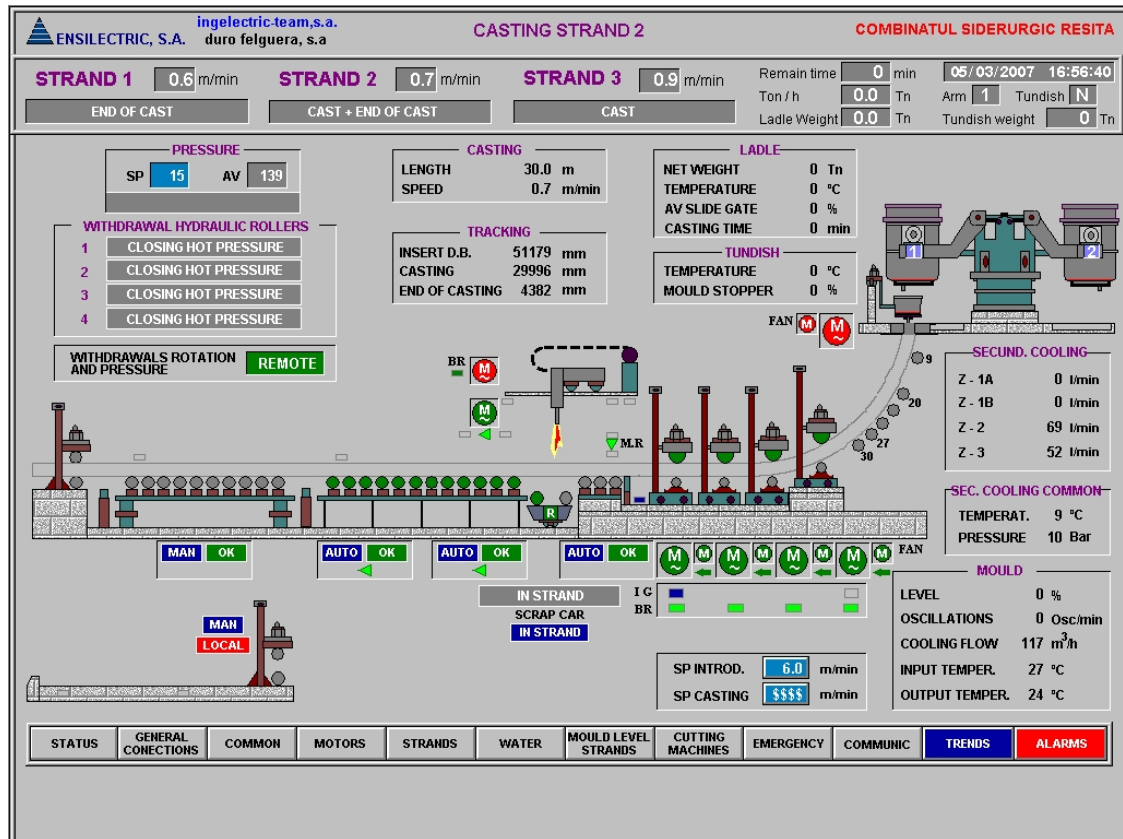


Fig.5.1. Schema mașinii de turnare continuă

Barbotarea se face cu argon la o presiune de 6 – 7 (atm., cu debite cuprinse între 0,4 – 0,5 (Nm³/min.), pentru o durată de timp de la 6 până la 18 minute (în general 14 minute). Operația se realizează pe la fundul oalei, utilizând dop poros.

La oală, pentru protecția împotriva răcirii excesive, se folosește material termoizolant, de regulă dolomită - 2kg/t. Oala este dotată cu închizător de sertar.

În distribuitor se folosește praf termoizolant ARO 4, în cantitate de 1 kg/t. Se deschid orificiile la $\frac{3}{4}$ din capacitate, în ordine I și IV, apoi II și III. Orificiile distribuitorului sunt de oxid de zirconiu sau silicat de zirconiu și au dimensiunile interioare de 13,5 mm.

Viteza de turnare:

- viteza sigură: 0,5 -1,8 m/min.;
- viteza critică: 2,0 -3,0 m/min.

Oscilarea cristalizatorului are loc sinusoidal de-a lungul axei verticale a cristalizatorului și este realizată de un motor de curent continuu cu poli comutabili printr-o bielă cu excentric. Cursa oscilatorului este de 16 mm la o frecvență de 80 - 81 curse/mm. Ungerea cristalizatorului se face cu un praf special, cu ajutorul unor pompe activate, separat, cu câte un motor de curent continuu. Acestea sunt amplasate la rezervoare care sunt echipate cu corpuri de imersie pentru încălzirea electrică, un termostat, un termometru cu ac indicator și dispozitiv de control. Cele patru canale de ungere au diametrul de 0,5 mm. Consumul de praf maxim este de 0,3 kg/t și fir.

Circuitul primar asigură răcirea următoarelor zone ale instalației de turnare continuă:

- cristalizatorul;
- cazele de tragere;
- debitarea cu oxigaz;
- căile cu role;
- transformatorul;
- patul de evacuare.

Circuitul secundar asigură răcirea țaglei de la zona I până la caja de tragere.

Consumul de apă în această zonă este de 520l/min.

Pentru răcirea cristalizatorului:

- operația se face cu apă tratată;
- consumul de apă: 1300 -1400 l/min.;
- diferențele de temperatură maximă (intrare - ieșire): 7 - 8° C;
- presiune la intrarea în cristalizator: 6 atm.;
- presiunea în pompă: 7,5 atm.;
- temperatura apei la intrarea în cristalizator: 25° C (maxim);
- cantitatea necesară de apă pentru completare reprezintă 0,5% cantitatea totală;
- utilizarea unor filtre cu ochiuri de maxim 0,2 mm.

Mașina de turnare este dotată cu instalație de aspirație a aburului de evacuare.

Caja de extragere-îndreptare are rolul de a:

- extrage firul turnat;
- îndrepta firul turnat;
- introduce bara falsă.

Ea constă din două role una antrenată și una neantrenată. Firele subrăcite pot fi îndreptate până la 25 daN/mm^2 . Pentru introducerea barei false, caja poate să execute și „mers înapoi”.

În timpul turnării, calea cu role este neantrenată. Ea este pusă în funcțiune numai la introducerea barei false. Debitarea se realizează cu oxigaz. Mașina de turnare este dotată și cu un transbordor lateral. Patul de răcire este cu grindă pășitoare, cu rotirea șaagelor. Capacitatea este de 100 tone, având 42 de treceri cu avansul la o trecere, de 350 mm.

Lungimea barei false este de 110 m și este completată cu:

- piesa de tragere -1200 mm;
- capul de pornire – 400 mm.

Bara falsă asigură preluarea semifabricatului din cristalizator la începutul turnării și deplasarea lui prin tragere.

5.2 Determinări experimentale ai parametrilor de turnare și de extragere a semifabricatelor

Factorii care influențează calitatea semifabricatelor de oțel turnate continuu sunt factori de natură termică și mecanică. Calitatea semifabricatelor din oțel turnate continuu, trebuie să corespundă standardelor în vigoare.

În vederea optimizării constructive a rolor de extragere, se efectuează analiza statistică a parametrilor termici și mecanici care intervin în timpul turnării continue, la instalația de extragere-îndreptare.

Pentru determinarea parametrilor de proces care contribuie la procesul de turnare continuă și, în special la instalația de extragere, s-au efectuat o serie de măsurători a unor mărimi de natură termică și mecanică, prezentate în continuare.

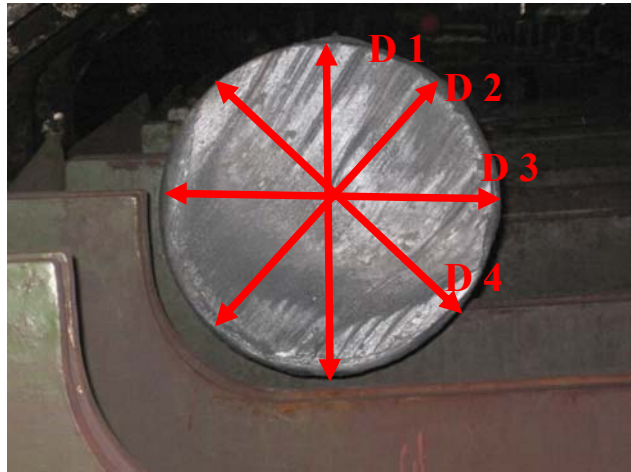


Fig. 5.2. Determinare abaterilor dimensionale ale semifabricatului turnat

În Fig.5.2. este prezentată determinarea abaterilor dimensionale ale unui semifabricat cu profil rotund cu diametrul $\varnothing$ 350 mm. S-a măsurat diametrul semifabricatului extras, în patru poziții decalate cu $\pi/2$, una față de cealaltă. Se obțin patru dimensiuni ale diametrului și se consideră ovalitatea semifabricatului, ca fiind rezultatul diferenței dintre cea mai mare și cea mai mică valoare:

$$O = \text{MAX}(D_1..D_4) - \text{MIN}(D_1..D_4) \quad (5.1)$$

S-au efectuat determinări experimentale ale următorilor parametrii:

- presiunile în pistoanele cajelor aferente fiecărui fir: **P1**, **P2**, **P3**, se supraveghează utilizând manometre cu membrană, cu domeniul de măsurare 0- 200 bar;
- pentru contrapresiunea **CP** din pistoanele cajelor, se utilizează tot manometre cu membrană;
- **ΔT** diferența dintre temperatura realizată în oala de turnare și temperatura liquidus, se măsoară cu pirometru laser pe domeniul de măsurare 600- 2400°C;
- viteza de extragere, **V_{tr}**;
- abaterile dimensionale sau ovalitatea **O**, se masoară cu șubler digital, cu domeniul de măsurare 0- 400 mm.

Temperatura liquidus T_{liq} este specifică mărcii de oțel turnat .

Au fost înregistrate: numărul șarjei turnate continuu, marca de oțel, diametrul semifabricatului pentru a realiza o bază de date cât mai complexă. Tabelul cu valorile măsurate este prezentat în Anexa A.

5.3. Analiza statistică a parametrilor măsurați

Datorită numărului mare de măsurători, pentru interpretarea acestora, într-un mod cât mai real, s-a apelat la un program specializat de interpretare statistică a datelor Statistica V8. Programul este capabil să furnizeze calcule statistice variate: diagrame carteziene 2D, diagrame 3D, diagrame ternare, histograme, funcții de corelație ale unor mărimi în funcție de altele, factor de încredere, eliminarea datelor achiziționate eronat.

În urma prelucrării statistice a datelor experimentale, s-au obținut dependențele între parametrii măsurați. Acestea sunt prezentate în: Fig. 5.3., Fig.5.4 și Fig.5.5. Interpretarea acestor caracteristici arată interdependența parametrilor mecanici și termici în procesul de extragere la turnarea continuă și constituie un mod de abordare științific în vederea optimizării procesului de extragere la turnarea continuă verticală.

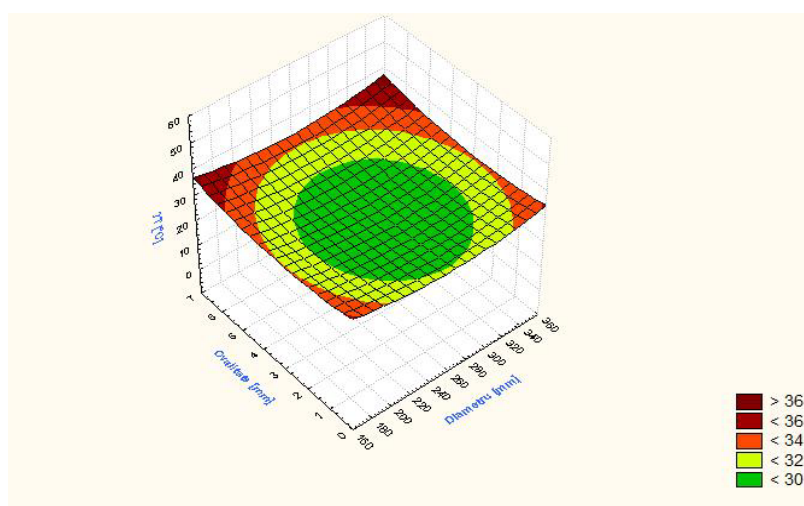


Fig. 5.3. Diagramă 3D ΔT în funcție de diametru și ovalitate

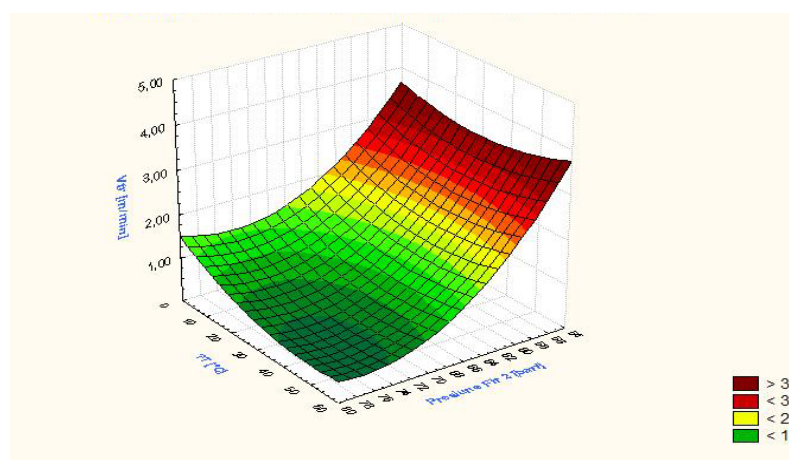


Fig. 5.4. Diagramă 3D Viteza în funcție de presiune fir 2 și ΔT

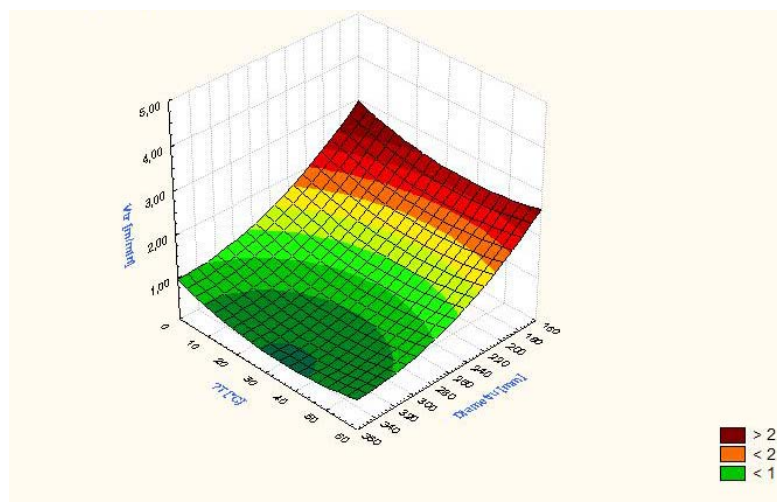


Fig. 5.5. Diagramă 3D Viteza în funcție de diametru și ΔT

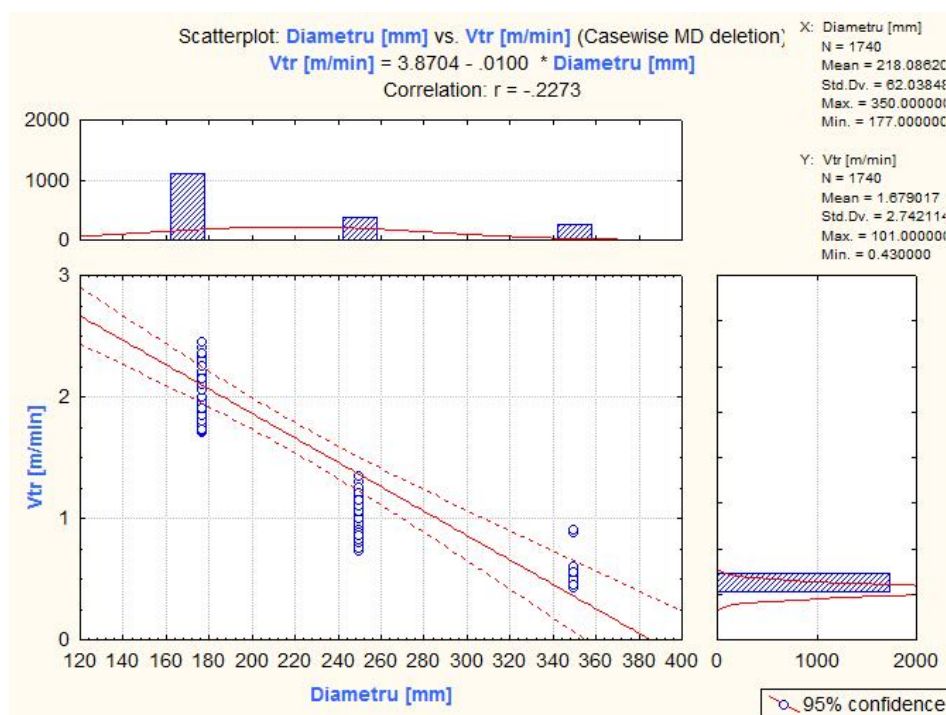


Fig. 5.6 Factorii de corelație între diametrele semifabricatelor și viteza de extragere

În graficul din Fig.5.6, conform dreptei de regresie, se poate observa o corelație inversă între diametrele semifabricatului și viteza de tragere, respectiv viteze mari de extragere la diametre mici și viteze mici de extragere pentru diametre mari. Limita de încredere acestei dependențe este de 95 %.

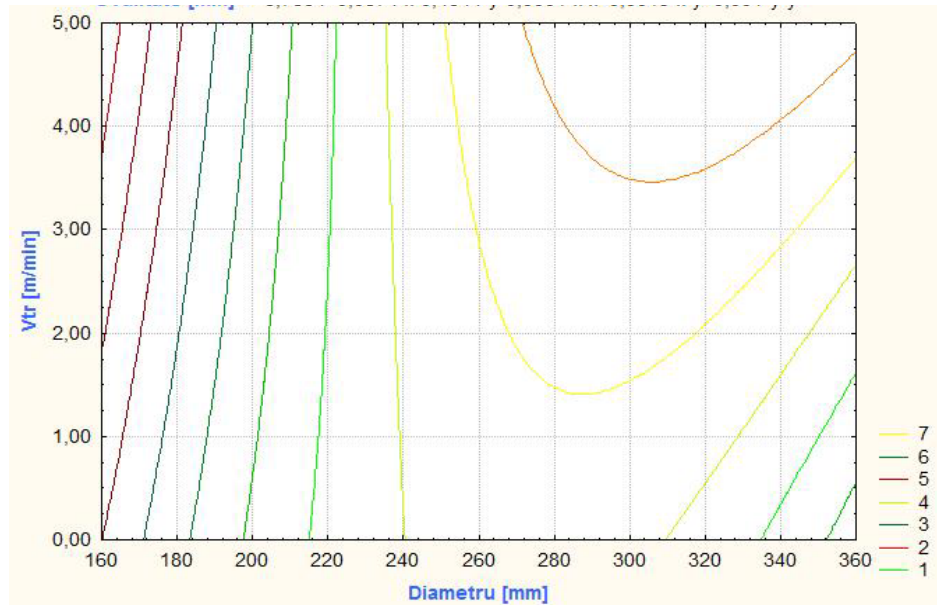


Fig. 5.7 Diagramă 3D Ovalitatea în funcție de diametru și viteza de extragere

În graficul din Fig.5.7 se observă un gradient ridicat al iso-liniilor pentru ovalitate în cazul semifabricatelor cu diametre mari. Rezultă din analiza graficului, că valorile de ovalitate mari, se regăsesc la semifabricatele cu diametre mari, unde și variațiile de presiune aplicate pe rola superioară sunt mari.

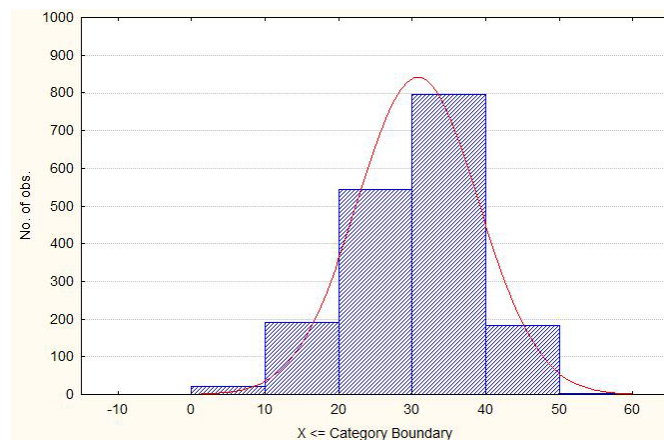


Fig. 5.8. Histograma pentru pentru parametru ΔT

În Fig.5.8 se observă o variație de tip Gauss la seriile de eșantioane măsurate pentru parametrul ce descrie surplusul de temperatură al oțelului peste temperatura liquidus la începutul extragerii semifabricatului.

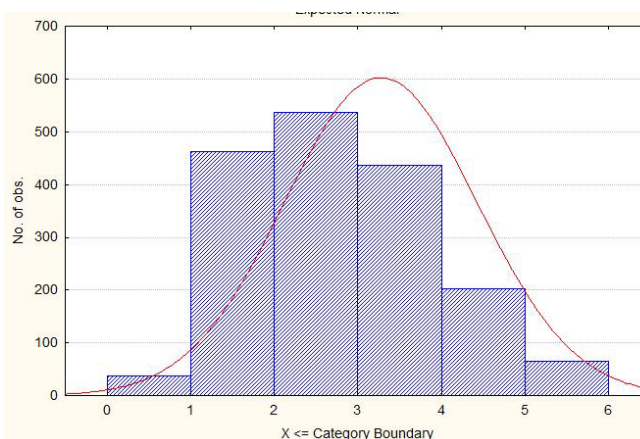


Fig.5.9 Histograma pentru ovalitate

În Fig.5.9 se observă același tip de variație la seriile de eșantioane măsurate pentru parametrul ce descrie ovalitatea semifabricatului, se observă distribuția normală a ovalității.

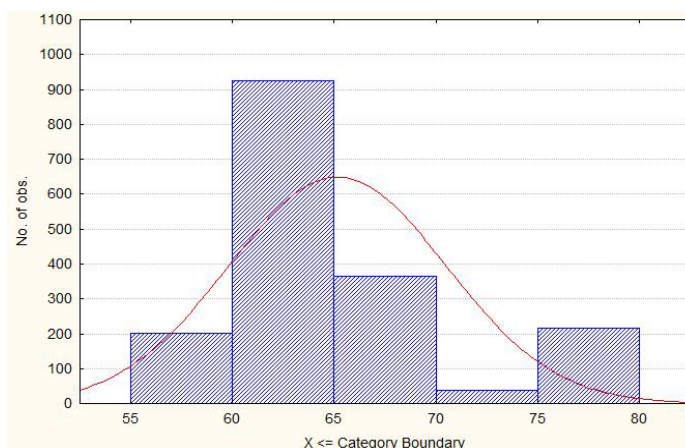


Fig.5.10 Histograma pentru Presiune fir 1

În Fig.5.10 numărul total de înregistrări este de 1700. Histograma se încadrează în distribuția Gauss.

5.4 Interpretarea rezultatelor

În urma prelucrării statistice a datelor experimentale, programul STATISTICA 8 ne permite scrierea relațiilor de dependență între parametrii mășurați, relații care arată interdependențele între parametri determinați ale procesului de tragere la turnarea continuă.

Câteva funcții de corelație sunt prezentate în relațiile care urmează:

$$\text{Ovalitate} = -3,7634 + 0,0574 \cdot x - 0,4344 \cdot y - 0,0001 \cdot x^2 + 0,0019 \cdot x \cdot y + 0,001 \cdot y^2 \quad [\text{mm}] \quad (5.1)$$

unde: x este viteza de tragere
y - ΔT

$$\Delta T = 58,3161 - 0,2141 \cdot x - 1,7265 \cdot y + 0,0004 \cdot x^2 + 0,0006 \cdot x \cdot y + 0,2794 \cdot y^2 \quad [^\circ\text{C}] \quad (5.2)$$

unde: x este diametrul semifabricatului
y - ovalitatea

$$V_{tr} = 33,9187 - 0,8821 \cdot x + 0,0138 \cdot y + 0,006 \cdot x^2 - 0,0007 \cdot x \cdot y + 0,0004 \cdot y^2 \quad [\text{m/min}] \quad (5.3)$$

unde: y este presiunea pe firul 2
z - ΔT

$$V_{tr} = 7,38 - 0,0355 \cdot x - 0,029 \cdot y + 4,904\text{E-}5 \cdot x^2 + 7,4798\text{E-}6 \cdot x \cdot y + 0,0004 \cdot y^2 \quad [\text{m/min}] \quad (5.4)$$

unde: x este diametrul semifabricatului
y - ΔT

$$V_{tr} = 1,5702 \cdot x + 84,417 \cdot y + 31,3844 \cdot z - 105,503 \cdot x \cdot y - 44,3299 \cdot x \cdot z - 100,7879 \cdot y \cdot z \quad [\text{m/min}] \quad (5.5)$$

unde: x este diametrul semifabricatului
y - presiune fir 1
z - ΔT

5.5. Evidențierea defectelor de turnare - metode de corecție

În urma prelucrării și interpretării datelor statistice precum și a observațiilor făcute asupra calității suprafeței și a dimensiunilor semifabricatelor din oțel turnate, se constată următoarele defecte de turnare:

- urme de oscilație a cristalizatorului pe suprafața semifabricatului în Fig.5.11;
- defecte de formă, ovalitate și abateri dimensionale ale diametrului semifabricatului, confirmate și de datele statistice ale măsurărilor, în Fig.5.12;
- urme vizibile pe suprafața semifabricatului, paralele cu axa longitudinală a acestuia, pe toată lungimea, în Fig.5.13.



Fig.5.11 Urme de oscilație pe suprafața semifabricatului



Fig.5.12 Defecte de formă și abateri dimensionale



Fig.5.13 Urme vizibile pe suprafața semifabricatului

Urmele de oscilație se datorează mișcării de oscilație sinusoidală a cristalizatorului necesară desprinderii crustei solidificate de pe peretele cristalizatorului.

Defectele de formă și urmele vizibile pe suprafața semifabricatului, se datorează geometriei necorespunzătoare a rolor de extragere-îndreptare. Acestea se pot corecta prin optimizarea suprafețelor de contact active, mai precis prin optimizarea geometriei razelor de extragere prelucrate pe suprafața rolei.

5.6. Optimizarea suprafețelor de contact active rolă-semifabricat

La turnarea continuă verticală în general semifabricatul are un traseu vertical, el putând fi și curbiliniu la instalațiile de turnare continuă verticală moderne. În acest ultim caz, turnarea continuă verticală se transformă, pe partea de extragere, într-o turnare continuă orizontală, Fig.5.14.

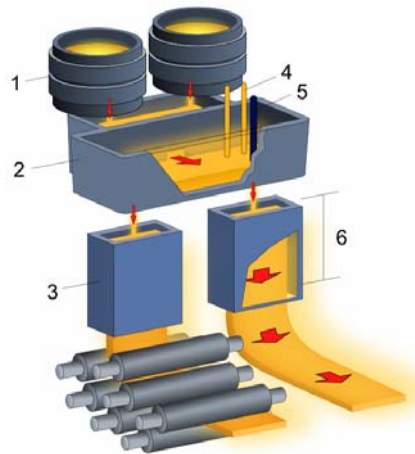


Fig.5.14 Turnare continuă verticală cu fir curbiliniu [44]

unde:

1 este oala de turnare;

2- distribuitor;

3- cristalizator;

4- termocuplu;

5- dop închidere distribuitor;

6- lungimea cristalizatorului.

Ținând cont de consumul mare de materie primă, energie și de complexitatea a proceselor tehnologice din industria metalurgică, este evidentă necesitatea implementării unor metode de conducere.

Ca orice sistem tehnic, procesele metalurgice au anumite performanțe tehnice și economice care depind de parametrii, condițiile și modul de exploatare a sistemului.

Optimizarea presupune analiza unei probleme. În urma analizei, se obține un rezultat, care în comparație cu celelalte este mai bun, mai indicat și în baza căruia se ia o decizie cu caracter tehnic și/sau economic. Aceasta se datorează faptului că orice proces tehnologic este supus unei evoluții continue pentru creșterea calității produselor și diminuării costurilor.

Etapile rezolvării problemelor de optimizare sunt:

- culegerea informațiilor referitoare la procesul analizat;
- stabilirea modelului de analiză care descrie acel proces;
- determinarea soluției optime și aplicarea ei.

Pentru optimizarea procesului de extragere la turnarea continuă verticală cu fir curbiliniu, de la TMK Reșița, s-a propus realizarea unei role de extragere-îndreptare

cu suprafețe de contact active. Căja de extragere echipată cu acest nou tip de rolă, este capabilă să extragă semifabricate cu profil rotund, având diametre diferite. Se obține astfel diminuarea defectelor de turnare prezentate anterior.

În Fig.5.15 se prezintă schematic căja de extragere-îndreptare de tip clește care este utilizată la mașina de turnare continuă TMK Reșița, fiind echipată cu role de extragere.

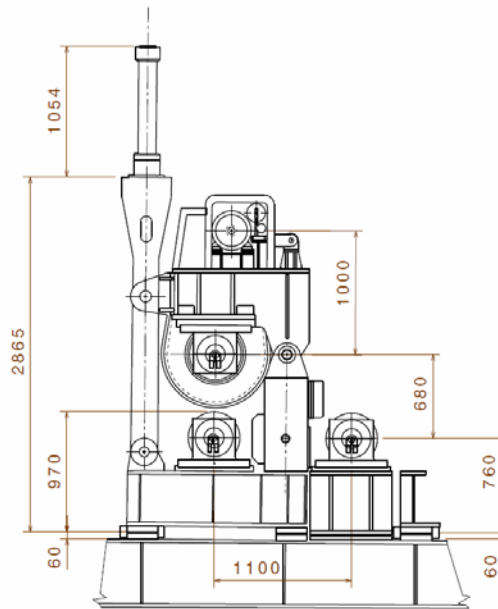


Fig.5.15 Căja de extragere-îndreptare de tip clește

Căja de extragere-îndreptare are rolul de a:

- extrage firul turnat;
- îndrepta firul turnat;
- introduce bara falsă.

În Fig. 5.16 se prezintă imagini edificatoare din procesul de turnare, evidențiindu-se căjele de extragere-îndreptare.



Fig.5.16 Căja de extragere-îndreptare echipată cu role de extragere

În prezent, se utilizează role prelucrate cu două raze, Fig.5.18.

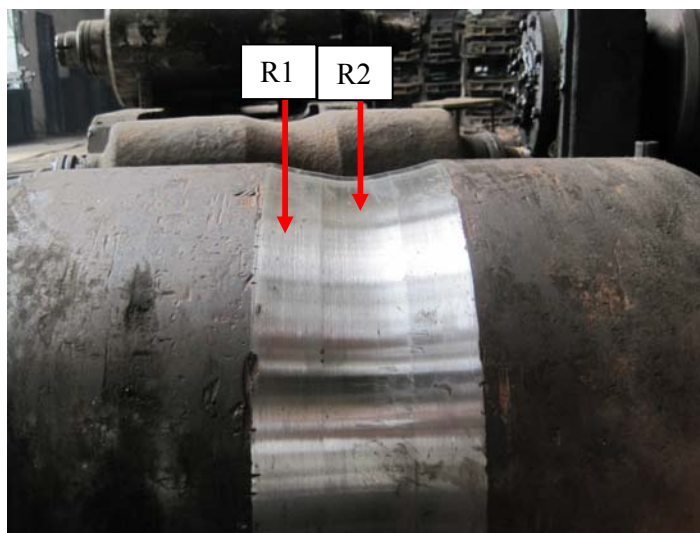
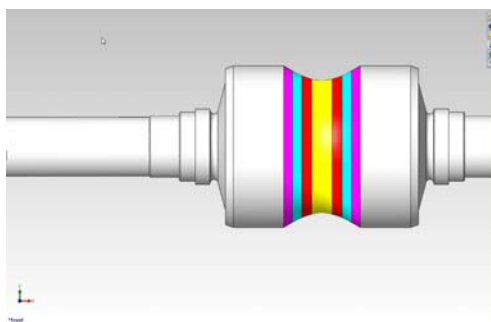
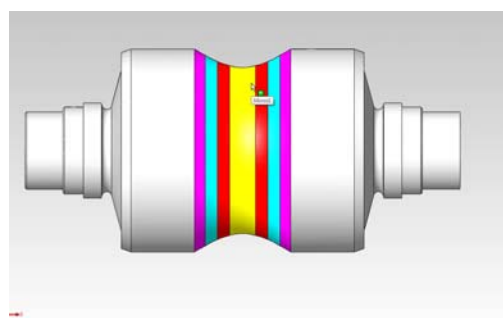


Fig. 5.18 Rolă prelucrată cu două raze

Se propune realizarea unei role care, prin forma sa geometrică, să permită optimizarea suprafeței active de contact cu semifabricatul în vederea reducerii defectelor de turnare (Fig.5.19). De asemenea, trebuie să permită extragerea tuturor celor patru dimensiuni de semifabricat rotund, Fig.5.19.



a) Rolă superioară



b) Rolă inferioară

Fig. 5.19. Rolă optimizată cu raze multiple de extragere

Parametrul decisiv care intervine în cazul unei role de extragere cu mai multe profile, este suprafața de contact dintre semifabricat și rolă, restul parametrilor de extragere rămânând constanți, fiind impuși de automatizarea procesului. De aceea, este necesar să se determine suprafața activă de contact între rolă și semifabricat.

În Fig.5.20 și Fig.5.21 se prezintă o metodă de determinare a suprafeței active de contact dintre semifabricat și rolă utilizând aplicații CAD.

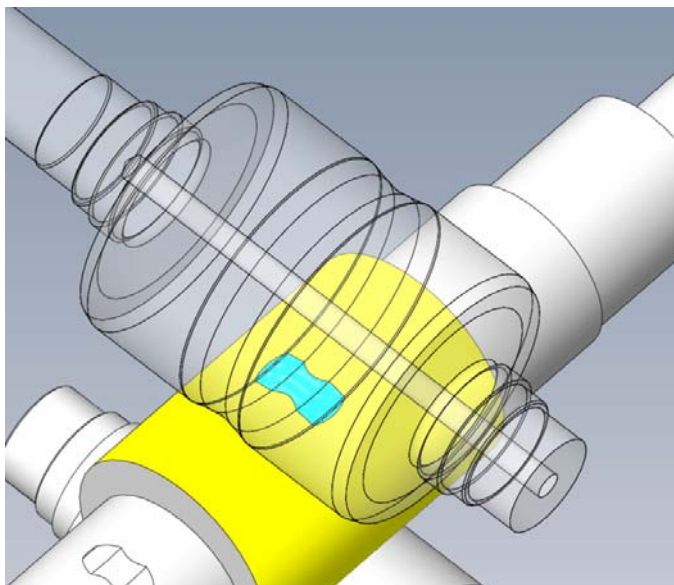


Fig. 5.20. Determinarea suprafeței active de contact rolă-semifabricat

Se determină astfel, suprafețele de contact active între rolă și semifabricat, pentru rola originală cu adâncime de 10 mm, cât și pentru rola optimizată, tabelele: 5.1, 5.2 și 5.3. Pentru rola optimizată, se propun două variante cu adâncimi diferite, de 20 mm și 60 mm, unde adâncimea reprezintă valoarea maximă a distanței de la suprafața rolei la cea mai mică cotă de pe axa Oy, Fig. 5.22, detaliu A.

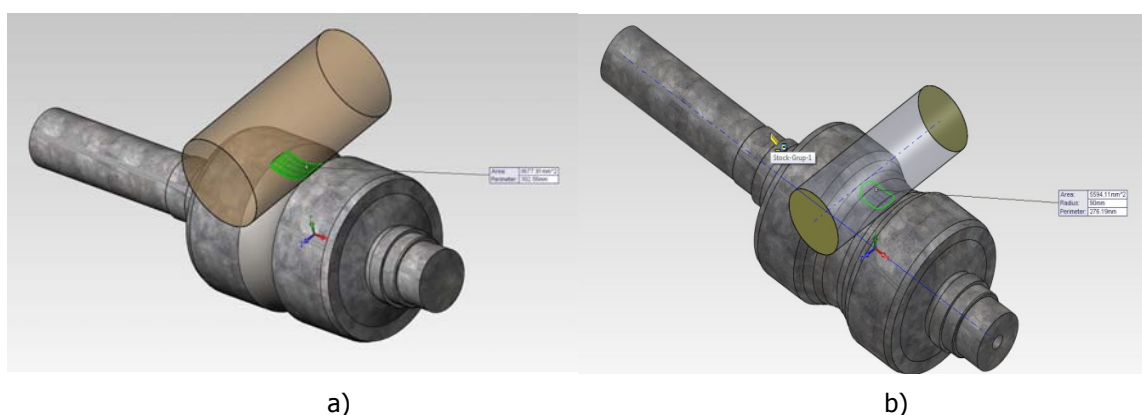


Fig. 5.21. Determinarea suprafețelor de contact active rolă-semifabricat, a) pentru rola originală, b) pentru rola propusă



Fig. 5.22. Detaliu de construcție al razelor de extragere-adâncimea detaliu A

Tabelul 5.1 Suprafețe active de contact pentru rola originală-adâncime 10 mm

Diametru semifabricat [mm]	Ovalitate [mm]	Suprafață Activă [mm²]	Suprafață Activă [m²]
Ø 180	1	2.136,65	0,00213665
	2	3.462,65	0,00346265
	3	4.689,81	0,00468981
Ø 250	1	290,12	0,00029012
	2	2.697,77	0,00269777
	3	4.692,98	0,00469298
Ø 280	1	758,24	0,00075824
	2	3.563,95	0,00356395
	3	5.850,78	0,00585078
Ø 350	1	2.994,22	0,00299422
	2	5.755,49	0,00575549
	3	7.774,23	0,00777423

Tabelul 5.2 Suprafețe active de contact pentru rola optimizată-adâncime 60 mm

Diametru semifabricat [mm]	Ovalitate [mm]	Suprafață Activă [mm²]	Suprafață Activă [m²]
Ø 180	1	2.595,52	0,00259552
	2	4.082,57	0,00408257
	3	5.454,01	0,00545401
Ø 250	1	2.013,21	0,00201321
	2	7.382,11	0,00738211
	3	10.004,76	0,01000476
Ø 280	1	5.504,80	0,00550480
	2	8.600,28	0,00860028
	3	12.110,09	0,01211009
Ø 350	1	4.732,38	0,00473238
	2	6.756,54	0,00675654
	3	8.846,84	0,00884684

Tabelul 5.3 Suprafețe active de contact pentru rola optimizată-adâncime 20 mm

Diametru semifabricat [mm]	Ovalitate [mm]	Suprafața Activă [mm ²]	Suprafața Activă [m ²]
Ø 180	1	2.120,83	0,00212083
	2	3.653,65	0,00365365
	3	5.069,70	0,0050697
Ø 250	1	3.660,99	0,00366099
	2	6.244,11	0,00624411
	3	8.343,40	0,0083434
Ø 280	1	3.845,20	0,0038452
	2	7.127,55	0,00712755
	3	8.381,20	0,0083812
Ø 350	1	2.216,44	0,00221644
	2	4.469,88	0,00446988
	3	7.101,08	0,00710108

Tabelul 5.4 Notații utilizate pentru calculul forței de apăsare

Notații:	F	Forța de apăsare a rolei presoare pe semifabricat [daN]
	A_piston	Aria secțiune Piston [cm ²]
	A_tije	Aria secțiune Tije [cm ²]
	P	Presiunea de apăsare [MPa]
	CP	Contra Presiunea [MPa]
	Randament	Randamentul mecanismului cu role (Randament = 0.95)
	D_piston	Diametru Piston [cm]
	D_tije	Diametru Tije [cm]
	D_Semifabricat	Diametru Semifabricat [mm]
	G_Mecanism	Greutatea mecanismului [daN]

Cunoscând dimensiunile și geometria cajei de extragere (a elementelor componente, Fig.5.15), precum și randamentul mecanismului de extragere cu role, cu relația 5.6 se calculează forța de apăsare a rolei superioare pe semifabricat pentru fiecare diametru de semifabricat extras, utilizând notațiile din tabelul 5.4.

$$F = (A_{\text{piston}} \cdot P \cdot 20 - A_{\text{tije}} \cdot CP \cdot 20) \cdot \text{Randament} + G_{\text{Mecanism}} \quad (5.6)$$

În tabelul 5.5 se prezintă valorile forțelor de apăsare a rolei superioare pe semifabricat.

Tabelul 5.5 Calculul forței de apăsare a rolei pe semifabricat

D_piston [cm]	D_tijă [cm]	D_Semifabricat [mm]	A_piston [cm ²]	A_tijă [cm ²]	G_Mecanism [daN]	P [MPa]	CP [MPa]	Randament	F [daN]
12,5	9	177	122,72	59,10	3000	4,44	10	0,95	2114
12,5	9	250	122,72	59,10	3000	4,77	10	0,95	2896
12,5	9	280	122,72	59,10	3000	5,30	10	0,95	4124
12,5	9	350	122,72	59,10	3000	6,67	10	0,95	7323

Variația suprafeței de contact este $S=1..7774 \text{ [mm}^2\text{]}$ (din tabele 5.1, 5.2, 5.3).

$$F1= 21.140 \text{ [N]}$$

$$F2= 28.960 \text{ [N]}$$

$$F3= 41.240 \text{ [N]}$$

$$F4= 73.230 \text{ [N]}$$

$$\text{Pres1}(S) := \frac{F1}{S} \quad (5.7)$$

$$\text{Pres2}(S) := \frac{F2}{S} \quad (5.8)$$

$$\text{Pres3}(S) := \frac{F3}{S} \quad (5.9)$$

$$\text{Pres4}(S) := \frac{F4}{S} \quad (5.10)$$

Pres1(S) =	Pres2(S) =	Pres3(S) =	Pres4(S) =
2.114·10 ⁴	2.896·10 ⁴	4.124·10 ⁴	7.323·10 ⁴
1.057·10 ⁴	1.448·10 ⁴	2.062·10 ⁴	3.662·10 ⁴
7.047·10 ³	9.653·10 ³	1.375·10 ⁴	2.441·10 ⁴
5.285·10 ³	7.24·10 ³	1.031·10 ⁴	1.831·10 ⁴
4.228·10 ³	5.792·10 ³	8.248·10 ³	1.465·10 ⁴
3.523·10 ³	4.827·10 ³	6.873·10 ³	1.22·10 ⁴
3.02·10 ³	4.137·10 ³	5.891·10 ³	1.046·10 ⁴
2.643·10 ³	3.62·10 ³	5.155·10 ³	9.154·10 ³
2.349·10 ³	3.218·10 ³	4.582·10 ³	8.137·10 ³
2.114·10 ³	2.896·10 ³	4.124·10 ³	7.323·10 ³
1.922·10 ³	2.633·10 ³	3.749·10 ³	6.657·10 ³
1.762·10 ³	2.413·10 ³	3.437·10 ³	6.103·10 ³
1.626·10 ³	2.228·10 ³	3.172·10 ³	5.633·10 ³
1.51·10 ³	2.069·10 ³	2.946·10 ³	5.231·10 ³
1.409·10 ³	1.931·10 ³	2.749·10 ³	4.882·10 ³
...	...	...	...

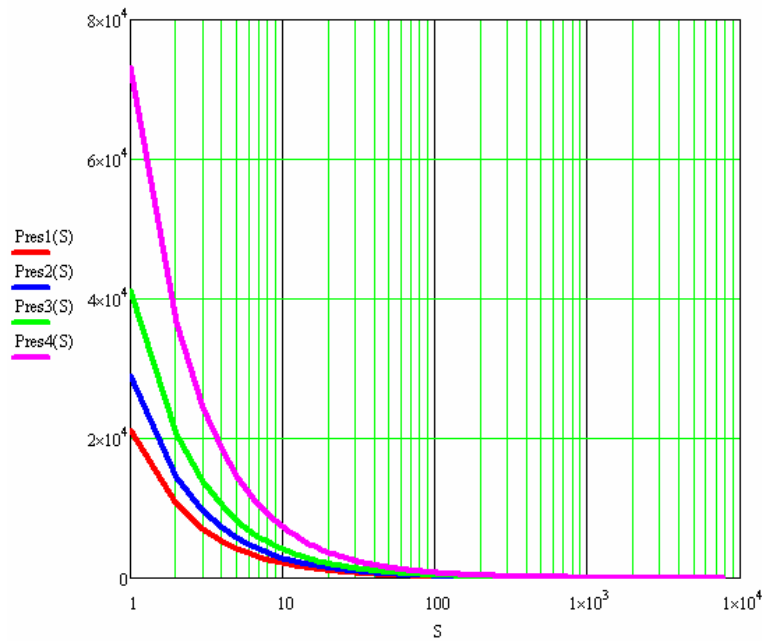


Fig.5.23. Graficul de variație a forței de apăsare pe role în raport cu variația secțiunii de contact cu semifabricatul în timpul deformării pe axa Oz de la 0 la 3 mm ovalitate pe raza semifabricatului.

Ariile de contact au fost determinate prin intersecția Booleană între rolă și semifabricat, prin intermediul softului CAD.

Pentru rola optimizată cu adâncime 20 mm, suprafața de contact funcție de ovalitate, are valorile cuprinse între: $S1=2136.7774 \text{ mm}^2$

Pentru rola originală TMK cu adâncime 10 mm suprafața de contact funcție de ovalitate, are valorile cuprinse între: $S2=2595.8846 \text{ mm}^2$

Pentru rola optimizată cu adâncime 60 mm, suprafața de contact funcție de ovalitate, are valorile cuprinse între: $S3=2120.7101 \text{ mm}^2$

$$P := 58.10 \dots 78$$

$$F1 = \int_1^{S1} P dS1$$

Condiția de echilibru TMK

$$H1 := 0 \dots 10$$

$$F2 = \int_1^{S2} P dS2$$

Condiția de echilibru

$$F_3 = \int_1^{S_3} P \, dS_3$$

Condiția de echilibru

$\int_1^{S_1} P \, dS_1 =$	$\int_1^{S_2} P \, dS_2 =$	$\int_1^{S_3} P \, dS_3 =$
$1.24 \cdot 10^5$	$1.507 \cdot 10^5$	$1.231 \cdot 10^5$
$1.262 \cdot 10^5$	$1.533 \cdot 10^5$	$1.252 \cdot 10^5$
$1.283 \cdot 10^5$	$1.559 \cdot 10^5$	$1.274 \cdot 10^5$
$1.305 \cdot 10^5$	$1.585 \cdot 10^5$	$1.295 \cdot 10^5$
$1.326 \cdot 10^5$	$1.611 \cdot 10^5$	$1.316 \cdot 10^5$
$1.347 \cdot 10^5$	$1.637 \cdot 10^5$	$1.337 \cdot 10^5$
$1.369 \cdot 10^5$	$1.663 \cdot 10^5$	$1.358 \cdot 10^5$
$1.39 \cdot 10^5$	$1.689 \cdot 10^5$	$1.38 \cdot 10^5$
$1.411 \cdot 10^5$	$1.715 \cdot 10^5$	$1.401 \cdot 10^5$
$1.433 \cdot 10^5$	$1.741 \cdot 10^5$	$1.422 \cdot 10^5$
$1.454 \cdot 10^5$	$1.767 \cdot 10^5$	$1.443 \cdot 10^5$
$1.475 \cdot 10^5$	$1.793 \cdot 10^5$	$1.464 \cdot 10^5$
$1.497 \cdot 10^5$	$1.818 \cdot 10^5$	$1.485 \cdot 10^5$
$1.518 \cdot 10^5$	$1.844 \cdot 10^5$	$1.507 \cdot 10^5$
$1.539 \cdot 10^5$	$1.87 \cdot 10^5$	$1.528 \cdot 10^5$
...	...	...

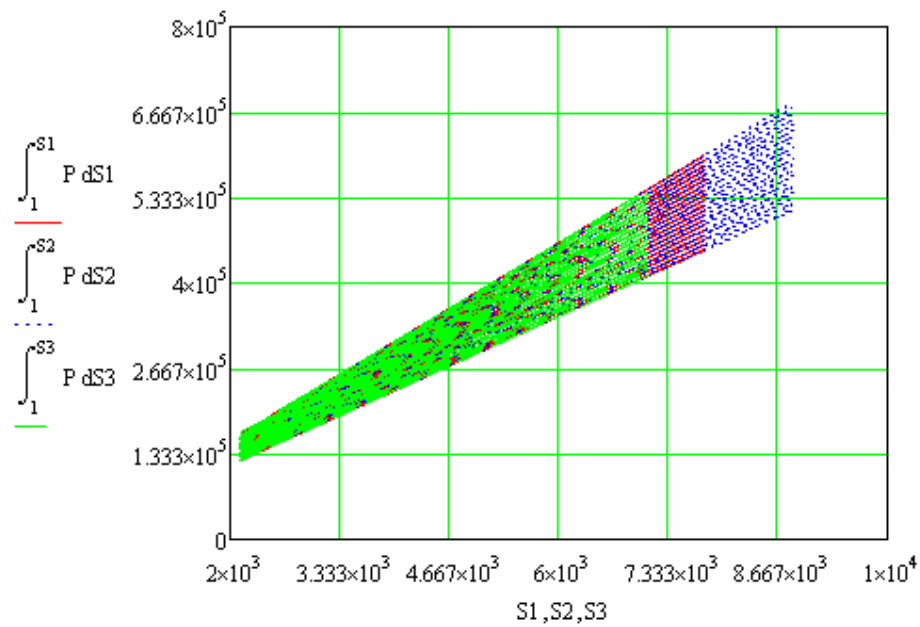


Fig.5.24. Graficul domeniului de variație a forței de presare a rolor pe suprafețele de contact pentru cele trei variante, respectiv varianta existentă și cele două variante propuse prin analiza CAD

Analizând domeniile de coincidență a presiunii de contact pe suprafețele rezultate, se poate concluziona, în alegerea variantei a treia de rolă, cu adâncimea de 20 mm. Implementarea ei în procesul de extragere nu necesită recalibrarea datelor înscrise în automatul programabil (PLC-ul) pentru comanda procesului, întrucât suprafața de contact rolă-semifabricat rămâne constantă.

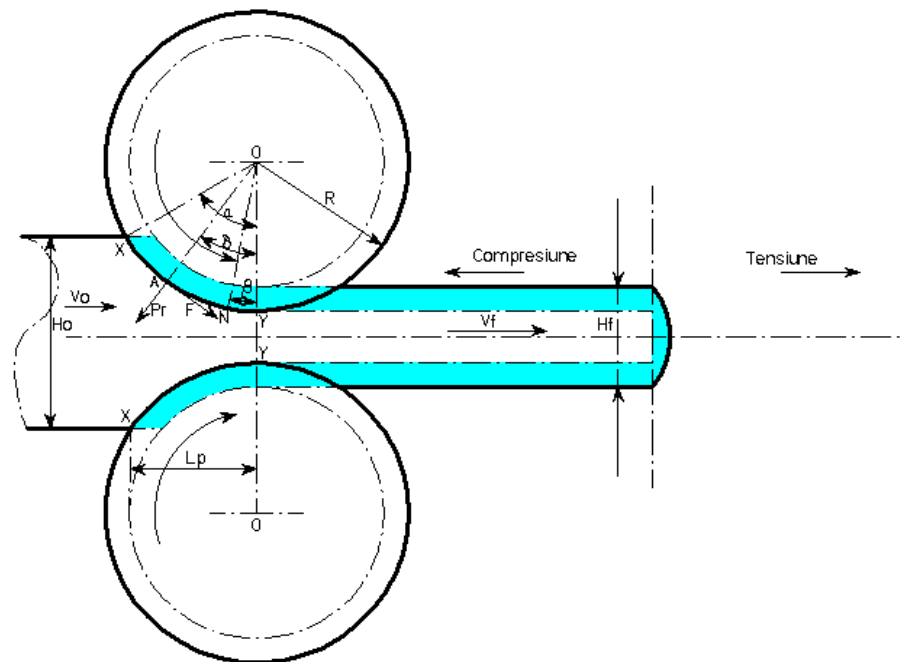


Fig.5.25.

Profilul din oțel la temperatura de 1150 ° C de grosime H_o , intră între roți, în planul Oy , unde are loc o reducere de grosime până la valoare H_f . Compresia metalului se translatează în alungire pe direcția de laminare. Microvolumele egale care trec în unitatea de timp vor fi:

$$bH_oV_o = bHV = bH_fV_f \quad (5.x)$$

Unde : b = lățimea materialului

V = Viteza fiecărui volum cu grosimea H intermediar între H_o și H_f .

Pentru a nu apărea distorsiuni în material întotdeauna $V_f > V_o$.

Se observă în desen forța de compresie Pr în direcție radială și forța de fricțiune F în direcție tangențială.

Aria de contact dintre oțel și rola va fi dependentă de lungimea de contact L_p , pe circumferința cilindrului.

$$L_p = \left[R(H_o - H_f) - \frac{(H_o - H_f)^2}{4} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.x)$$

Relația poate fi aproximată prin:

$$L_p = (H_o - H_f)^{\frac{1}{2}} \quad (5.x)$$

Presiunea specifică a rolei este dată de relația:

$$p = \frac{P}{bL_p} \quad (5.x)$$

Distribuția presiunii rolei pe lungimea arcului de contact va fi conform Fig.5.26:

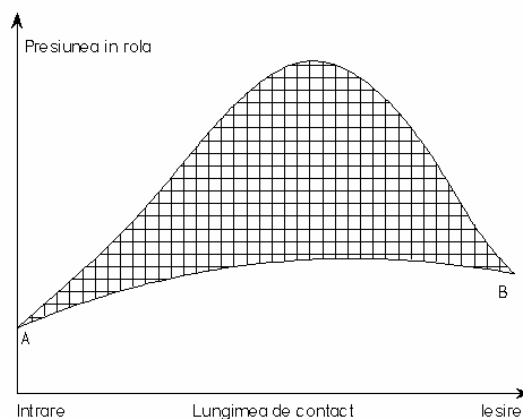


Fig.5.26. Distribuția presiunii rolei pe lungimea arcului de contact

Elementele geometrice specificate in fig.5.26 permit calculul condițiilor limită pentru extragere. Se cunoaște unghiul de contact α , forța normală de compresiune cât și forța tangențială dată de forța de frecare precum și unghiurile adiacente.

Relația condiției de prindere între role va fi:

$$F \cdot \cos(\alpha) = P_r \cdot \sin(\alpha) \quad (5.x)$$

$$\frac{F}{P_r} = \frac{\sin(\alpha)}{\cos(\alpha)} = \tan(\alpha) \quad (5.x)$$

$$F = \mu \cdot P_r \quad (5.x)$$

$$\mu = \tan(\alpha) \quad (5.x)$$

Se trage concluzia ca dacă, $\mu = 0$ profilul nu poate pătrunde prin tragere între role, deoarece intervine alunecarea.

Astfel se poate aproxima:

$$L_p = \sqrt{R \cdot \Delta H} \quad (5.x)$$

$$\tan(\alpha) = \frac{L_p}{R - \frac{\Delta H}{2}} = \frac{\sqrt{R \cdot \Delta H}}{R - \frac{\Delta H}{2}} = \frac{\sqrt{\Delta H}}{R} \quad (5.x)$$

deci:

$$\mu \geq \tan(\alpha) = \sqrt{\frac{\Delta H}{R}} \quad (5.x)$$

sau:

$$(\Delta H)_{\max} = \mu^2 \cdot R \quad (5.x)$$

Pentru cazul specific al tragerii profilului rotund la cald, unde deformările sunt în domeniul elasto-plastic la limita elasticității și contactul inițial pornește punctiform, evoluând spre o suprafață eliptică, apoi paraboloid hiperbolică, atunci raza de curbura la contact va crșete de la R la R'.

Conform relației:

$$R^{(1)} = R \cdot \left[1 + \frac{C \cdot P^1}{b \cdot (H_o - H_f)} \right] \quad (5.x)$$

unde:

$$C = 16 \cdot \frac{(1 - \nu^2)}{\pi \cdot E} \quad (5.x)$$

Pentru oțelul turnat continuu:

$$C = 2.16 \cdot 10^{-11}$$

Pentru verificarea numerică se introduc datele geometrice si parametrii:

Coeficientul de frecare:

$$\mu = 0,25$$

$$\tan(\alpha)_{\max} = \mu \quad (5.x)$$

$$\alpha = \alpha_{\max} = \tan^{-1}(0.08) \quad (5.x)$$

$$\alpha := \frac{1}{\tan(\mu)} \quad (5.x)$$

$$\alpha = 3,916^\circ$$

Diametrul rolei fiind: $D=420$ mm

$$R := \frac{D}{2} \quad (5.x)$$

$$R=210$$
 mm

$$\alpha = \frac{L_p}{R} \quad (5.x)$$

$$L_p := \alpha \cdot R \quad (5.x)$$

$$L_p=822,427$$
 mm

$$\Delta H_{\max} := \mu^2 \cdot R \quad (5.x)$$

$$\Delta H_{\max}=13,125$$
 mm

Astfel, reducerea pe rază (ovalitatea) va fi:

$$\text{Ovalitatea} := \frac{\Delta H_{\max}}{2} \quad (5.x)$$

$$\text{Ovalitatea}=6,563$$
 mm,

egală cu ovalitatea determinată experimental, prin măsurători. Încărcarea dată de presiunea rolei pe aria de contact, poate fi aproximată și prin relația următoare, dacă se face abstracție de coeficientul de frecare μ .

$$P = p \cdot b \cdot L_p = \sigma_0 \cdot b \cdot \sqrt{R \cdot \Delta H} \quad (5.x)$$

În aceasta relație se ia în calcul și rezistența la compresiune a profilului din oțel.

Deformația medie va fi dată de relația următoare:

$$\frac{p}{\sigma_0} = \frac{1}{Q} \cdot (e^Q - 1) \quad (5.x)$$

Unde Q se definește ca:

$$Q = \mu \cdot \frac{L_p}{H} \quad (5.x)$$

Cunoscând aproximația:

$$L_p = \sqrt{R \cdot \Delta H} \quad (5.x)$$

Se poate înlocui în ecuația generală a încărcării la compresiune:

D1 = Diametrul semifabricatului D1 = 250 mm

În cazul particular al semifabricatului rotund, lățimea maximă transversală de contact va fi:

D3 = 10 mm și diametrul minim Dmin = 366 mm

D2 = 366 mm

$$R2 := \frac{D2}{2} \quad (5.x)$$

R2 = 183

mm

D3 := 20

mm

$$P = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sigma_0 \cdot \left[\frac{1}{Q} \cdot (e^Q - 1) \cdot D3 \cdot \sqrt{R2 \cdot \Delta H} \right] \quad (5.x)$$

Verificarea numerică, ținând cont de datele de intrare:

Considerând reducerea de grosime de 1.5% și rezistența la tracțiune a oțelului $\sigma_0 = 140$ MPa la intrarea oțelului între cilindri și $\sigma = 200$ MPa la ieșirea dintre cilindri, rezultă:

$$\frac{h_0 - h_1}{h_0} = 1.5\% \quad (5.x)$$

$$h_1 := D - D \cdot \frac{1.5}{100} \quad (5.x)$$

h1=413,7 mm

$$\Delta h_1 := D - h_1 \quad (5.x)$$

$$\Delta h_1 = 6.3$$

$$h_{med} := \frac{D + h_1}{2} \quad (5.x)$$

$$h_{med} = 416.85$$

$$Q := \frac{\mu \cdot L_p}{h_{med}} \quad (5.x)$$

$$Q = 0.493$$

$$\sigma_o := \frac{140 + 200}{2} \quad (5.x)$$

$$\sigma_o = 170$$

MPa

$$P := \sigma_o \cdot \left[\frac{1}{Q} \cdot (\epsilon^Q - 1) \cdot \frac{D_3}{1000} \cdot \sqrt{\frac{R_2}{1000} \cdot \frac{h_1}{1000}} \right] \quad (5.x)$$

$$P = 1.209$$

MN

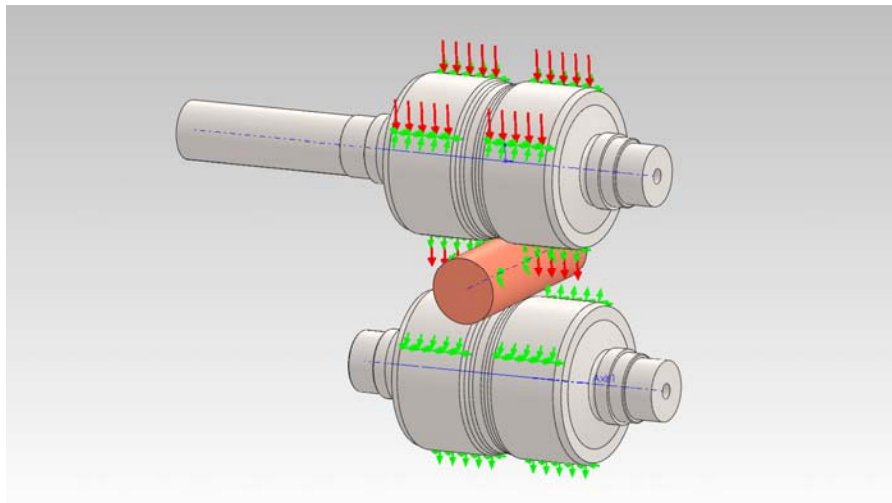


Fig.5.26.

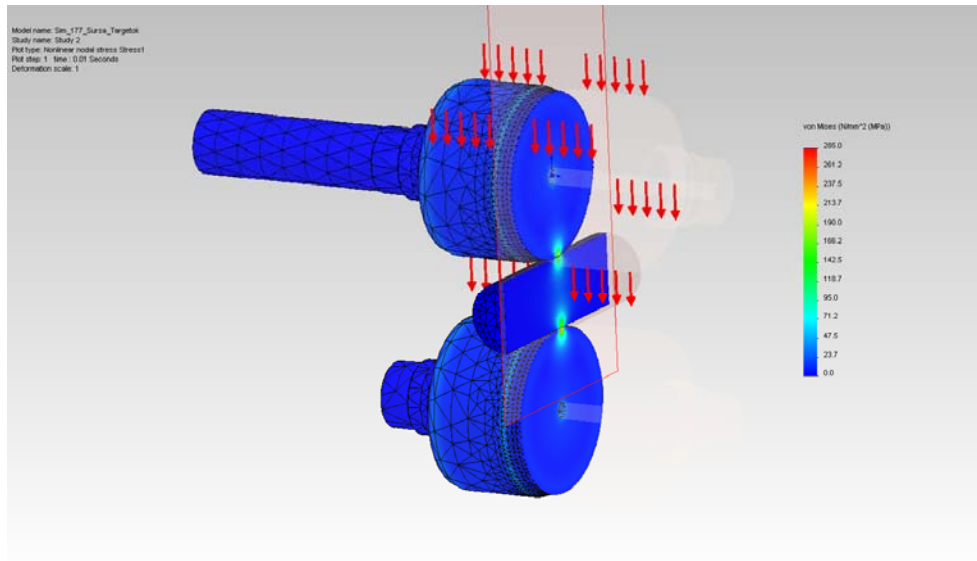


Fig.5.27.

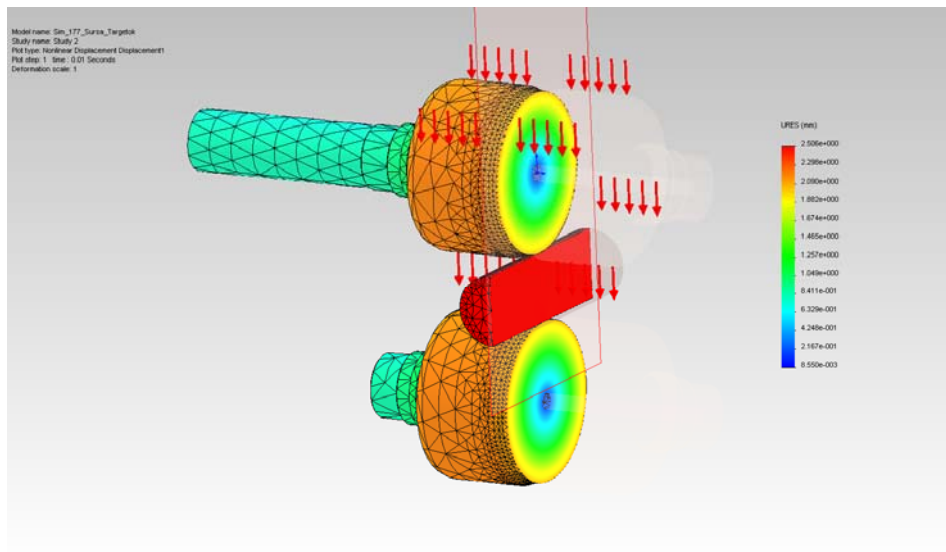


Fig.5.28.

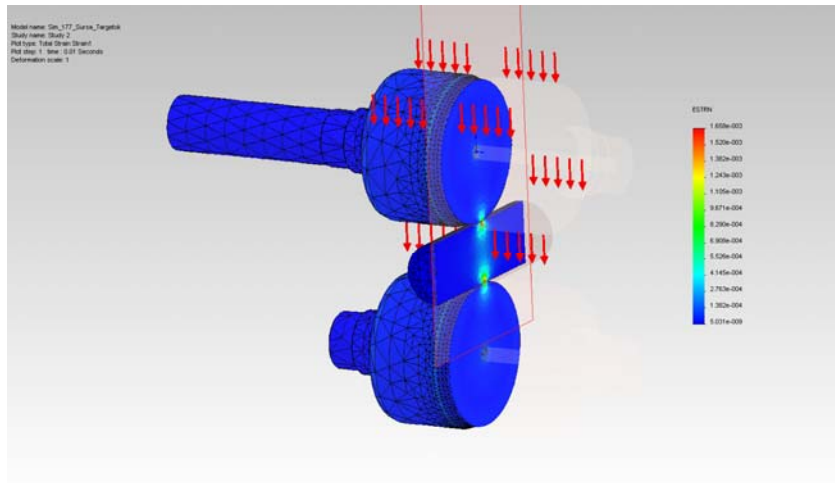


Fig.5.29.

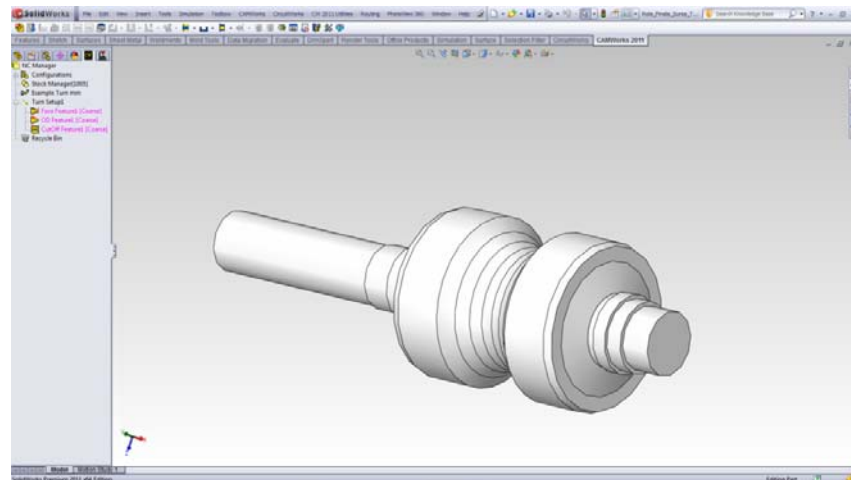


Fig.5.30.

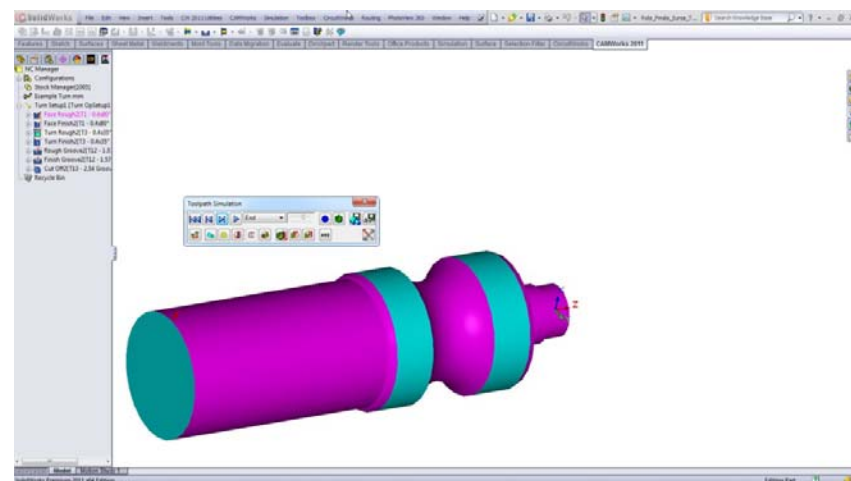


Fig.5.31

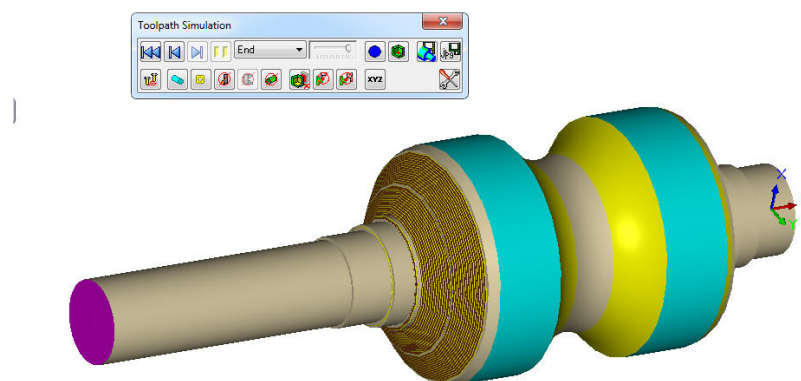


Fig.5.32

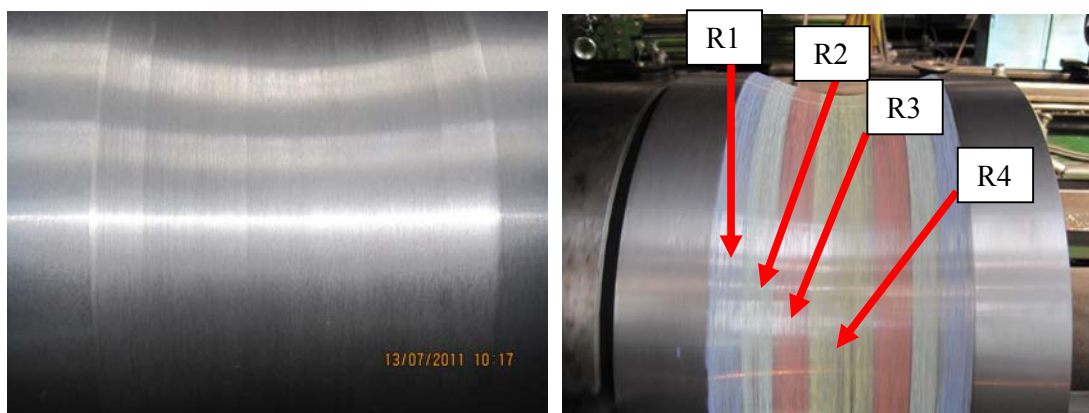


Fig. 5.33. Rolă inferioară cu patru raze prelucrată pe mașini cu comandă numerică

5.11 Concluzii și contribuții originale

În capitolul cinci al tezei se prezintă rezultatele cercetărilor și demersurile realizate în vederea introducerii rolor de extragere cu mai multe profile hiperbolice în procedeul de turnare continuă verticală cu fir curbiliniu.

În urma efectuării unei analize riguroase a instalației de turnare existente la TMK Reșița și a efectuării unui număr substanțial de determinări experimentale a valorilor parametrilor ce influențează extragerea semifabricatului, s-a structurat o bază de date care a constituit punctul de plecare pentru elaborarea modelului matematic.

Pe baza modelului matematic obținut, a fost posibilă realizarea simulării cu softul SolidWorks pentru determinarea suprafețelor active de contact, a forțelor și a deformărilor ce apar la interfața rolă - semifabricat în timpul procesului de extragere.

Soluția propusă, prin prelucrarea suprafețelor multiple de contact, conduce la reducerea ovalității și a urmelor vizibile de pe suprafața semifabricatului.

Contribuțiile proprii ale autorului în acest capitol sunt:

- determinări experimentale ai parametrilor ce influențează procesul de extragere a semifabricatelor
- crearea unei baze de date care cuprinde peste 1700 de măsurători ai parametrilor mecanici și termici ;
- prelucrarea statistică a parametrilor mășurați;
- întocmirea de grafice necesare interpretării datelor;
- interpretarea rezultatelor;
- identificarea posibilităților de reducere a defectelor semifabricatelor de oțel turnate continuu;
- identificarea metodelor de optimizare a rolor de extragere;
- modelare matematică a forței de apăsarea pe rola superioară de extragere;
- modelarea 3D a rolor de extragere utilizând tehnici CAD;
- optimizarea rolor prin metode CAE;
- simulare comportării la solicitare a rolor prin metoda elementului finit;
- execuția unei role prototip utilizând aplicații CAM;
- crearea desenelor de execuție pentru rolele optimizate.

Capitolul 6. Concluzii finale și contribuții personale. Direcții viitoare de cercetare

6.1 Concluzii finale

Utilizarea tot mai intensă în zilele noastre pe piața producătorilor de semifabricate feroase și neferoase a procedeelor de turnare continuă, atât cele orizontale cât și cele verticale, se datorează numeroaselor și importantelor avantaje metalurgice deținute față de procedeele de turnare clasică, spre exemplu:

- micșorarea substanțială a neomogenității chimice și structurale a produsului datorită răcirii rapide (zona II este puțin extinsă, elementele nu au timp să segege);
- se controlează ușor mărimea grăunților (se obțin grăunți primari relativi mici);
- incluziunile nemetalice sunt mai puține, mai mici și mai uniform distribuite în semifabricat (datorită vitezei mari de răcire ele nu au timp să coaguleze sau să se aglomereze);
- scoaterea cantității de metal este mare, ajungând la peste 96%, datorită faptului că se formează o singură dată retasură la sfârșitul turnării;
- suprafața semifabricatelor obținute este bună (curată), eliminându-se în cea mai mare parte prin acest procedeu defectele de suprafață.

De asemenea, aceste procedee de turnare continuă prezintă și avantaje de ordin economic, cum ar fi:

- instalațiile sunt mai intens utilizate;
- se asigură o deservire ritmică a laminoarelor;
- se elimină laminoarele primare;
- descresc substanțial cheltuielile materiale și de manoperă;
- aceste procedee pot fi complet mecanizate și automatizate.

Prezenta teză pornește de la observația că, deși turnarea continuă a metalelor are o suficient de largă utilizare în vederea obținerii de semifabricate metalice feroase și neferoase, utilizând diferite dispozitive de extragere a profilelor turnate, baza de cunoștințe referitoare la reducerea abaterilor dimensionale și creșterea calității suprafeței a semifabricatelor constituie încă subiect amplu de cercetare, cu un potențial de inovare ridicat.

Astfel, teza de doctorat își propune ca principal obiectiv conceperea unor noi dispozitive de extragere a semifabricatelor, precum și optimizarea suprafeței active de contact a rolelor de extragere-îndreptare la mașina de turnare continuă verticală a oțelului la TMK Reșița, în vederea reducerii defectelor de turnare și a consumurilor energetice.

Lucrarea, bazată pe un demers descriptiv, analitic, de modelare matematică și simulare numerică, a permis obținerea unor rezultate ale cercetărilor teoretice și experimentale, autorul ajungând la următoarele concluzii:

- dispozitivele originale proiectate în vederea obținerii mișcării de extragere liniare și/sau intermitente a semifabricatelor obținute în urma turnării continue orizontale au confirmat o bună funcționalitate, avându-se în vedere condițiile speciale de manipulare a semifabricatului aflat la o temperatură ridicată;
- prin înlocuirea sistemelor clasice de strângere a semifabricatului cu un sistem mecanic simplu și fiabil se pot realiza reduceri substanțiale ale consumului energetic precum și eliminarea defectelor de funcționare;
- pentru dispozitivele de extragere concepute, închiderea cuplei deschise bac-semifabricat se asigură atât prin formă cât și prin forță;
- pentru dispozitivul de extragere cu arborii melcați cupla cinematică deschisă arbore melcat-semifabricat, se închide exclusiv prin forță;
- în cazul dispozitivelor de extragere cu bacuri semicilindrice și arbori melcați, variația vitezei și accelerației semifabricatului sunt în directă corelație și pot fi approximate printr-o funcție liniară, dispozitivele putând fi utilizate și în cazul turnării continue verticale cu fir curbiliniu;
- în cazul dispozitivelor de extragere cu bacuri concentrice variația vitezelor și accelerațiilor semifabricatului în funcție de timp nu au o caracteristică liniară, utilizarea acestora se pretează doar la instalațiile de turnare continuă orizontală unde mișcarea de extragere este intermitentă;
- valorile tensiunilor induse în semifabricat de forțele de strângere, se mențin în cadrul limitelor admise, evitându-se defectele de formă ;
- defectele de formă și urmele vizibile pe suprafața semifabricatului se datorează geometriei necorespunzătoare a rolelor de extragere-îndreptare;
- rolele de extragere cu mai multe profile hiperbolice pot reduce considerabil defectele de formă, conducând la creșterea substanțială a productivității;

- utilizarea rolor propuse contribuie în mod cert la reducerea abaterilor dimensionale și de formă a semifabricatelor;
- un alt avantaj important al soluției propuse este eliminarea defectelor de suprafață (urmele vizibile longitudinale de pe semifabricate)

6.2 Contribuții personale și originale

În prezenta lucrare contribuțiile personale ale autorului sunt:

- Realizarea unei sinteze ample bibliografice privind:
 - ✓ stadiul actual al cercetărilor în domeniu;
 - ✓ construcția și funcționarea instalațiilor de turnare continuă a semifabricatelor;
 - ✓ construcția și funcționarea dispozitivelor de extragere utilizate;
 - ✓ identificarea posibilităților de reducere a defectelor semifabricatelor metalice turnate continuu;
 - ✓ identificarea posibilităților de modernizare a dispozitivelor de extragere la turnarea continuă a metalelor.
- Concepția și proiectarea unor dispozitive originale de extragere a semifabricatelor metalice pentru turnarea continuă orizontală
 - ✓ proiectare asistată de calculator a dispozitivelor;
 - ✓ optimizarea dispozitivelor;
 - ✓ descrierea funcționării dispozitivelor;
 - ✓ desene de ansamblu a dispozitivelor.
- Analiza structurală, cinematică și cinetostatică a dispozitivelor concepute
 - ✓ stabilirea gradelor de mobilitate a mecanismelor ;
 - ✓ determinarea desmodromiei mecanismelor;
 - ✓ studiul mișcării mecanismelor utilizând tehnici de simulare;
 - ✓ prezentarea avantajelor și dezavantajelor dispozitivelor concepute;
 - ✓ verificarea prin simulare a dispozitivelor concepute;
 - ✓ studiul mișcării mecanismelor utilizând tehnici de simulare;
 - ✓ analiza cinematică și cinetostatică a dispozitivelor propuse;
 - ✓ determinarea stării de tensiune din semifabricat în cazul utilizării dispozitivului de extragere cu bacuri concentrice.

- Optimizarea subrațelor active ale rotelor de extragere la instalația de extragere
 - îndreptare a semifabricatelor pentru turnarea continuă verticală cu fir curbiliniu la TMK Reșița
- ✓ determinări experimentale ai parametrilor ce influențează procesul de extragere a semifabricatelor;
- ✓ crearea unei baze de date care cuprinde peste 1700 de măsurători ai parametrilor mecanici și termici ;
- ✓ prelucrarea statistică a parametrilor măsurați;
- ✓ întocmirea de grafice necesare interpretării datelor;
- ✓ interpretarea rezultatelor;
- ✓ identificarea posibilităților de reducere a defectelor semifabricatelor de oțel turnate continuu;
- ✓ identificarea metodelor de optimizare a dispozitivului de extragere;
- ✓ modelare matematică a procesului de extragere;
- ✓ modelarea 3D a rotelor de extragere utilizând tehnici CAD;
- ✓ optimizarea cilindrilor prin metode CAE;
- ✓ simulare comportării la solicitare a rotelor prin metoda elementului finit;
- ✓ execuția unei role cu suprafața activă de contact optimizată utilizând aplicații CAM.
- ✓ crearea desenelor de execuție pentru rolele optimizate.

6.3 Direcții viitoare de cercetare

Pornind de la cercetările cuprinse în această lucrare și avându-se în vedere perfecționarea constructivă, îmbunătățirea parametrilor funcționali ai instalațiilor de turnare continuă a metalelor, precum și creșterea calității semifabricatelor metalice obținute prin acest procedeu, se propun următoarele direcții de cercetare viitoare:

- realizarea de prototipuri ale dispozitivelor originale propuse pentru turnarea continuă orizontală, la scară redusă, pentru a valida experimental funcționarea acestora;
- proiectarea, simularea, realizarea și testarea unui cristalizor cu geometria secțiunii ovale în vederea reducerii abaterii de formă a semifabricatelor la turnarea continuă a semifabricatelor cu secțiune rotundă;

- realizarea de role de extragere-îndreptare la care partea activă de contact cu semifabricatul să fie modulară, interschimbabilă și adaptată ca formă geometrică fiecărui tip de semifabricat în parte;

6.4 Diseminarea rezultatelor

Pe parcursul perioadei de doctorat am participat la o serie de cursuri, seminarii, module de studiu, precum și la conferințe locale, naționale și internaționale, workshop-uri, seminarii în domeniul ingineriei mecanice. În urma participării la aceste activități științifice enumerate mai sus unde am expus activitatea și rezultatele studiilor doctorale, au rezultat un număr de 30 de lucrări, ca autor sau coautor, publicate în reviste sau în volumele unor conferințe, indexate în baze de date ISI, internaționale BDI și B+.

Lista lucrărilor publicate pe parcursul perioadei de doctorat

[1]. **Tufoi M.**, Vela I., Marta C., Nedelcu I., Bizau V., Stroia M.D., *Modernization mechanical plant for withdrawal profiles in horizontal continuous casting*, 7th International DAAAM Baltic Conference "INDUSTRIAL ENGINEERING", 22-24 April 2010, Tallinn, Estonia, ISSN 1726-9679 , pag.221-225, indexată ISI

[2]. **Tufoi M.**, Vela I., Marta, C., Bizau, V., Suciuc L., Rosu M., *Method for the automation of the horizontal continuous casting installation with programmable logical automata*, Annals of DAAAM for 2009 & Proceedings of 20th DAAAM International Symposium International Scientific Conference CO-MAT- TECH 2009, ISSN 1726-9679, pag.1611-1613, indexată ISI

[3]. Ruja I., Bizau V., Marta, C., **Tufoi M.**, & Rosu M., *Study of the transitory regime performances of an electro-mechanic drive with asynchronous motor*, Annals of DAAAM for 2009 & Proceedings of 20th DAAAM International Symposium International Scientific Conference CO-MAT-TECH 2009, ISSN 1726-9679, pag. 1467-1468, indexată ISI

[4]. **Tufoi M.**, Vela I., Marta C., Nedelcu I., *The state of the art regarding of semi-finished products withdrawan in horizontal continuous casting. methods used to withdraw, future trends*, A X-a Conferință Națională Multidisciplinară cu participare Internațională "Profesorul Dorin PAVEL- fondatorul hidroenergeticii românești", ISSN 2067-7138 , pag. 589-596, indexată B+

[5]. **Tufoi M.**, Vela I., Marta C., Suciuc L., Mituletu C., *Comparative Study of Contact Stresses and Strains at Horizontal Continuous Casting Using Conventional and Innovative Methods of Withdrawing Profiles*, Proceedings of the 3rd WSEAS International Conference on ENGINEERING MECHANICS, STRUCTURES,

ENGINEERING GEOLOGY (EMESEG '10) Corfu, Grecia 2010, ISSN 1792-4294, ISBN 978-960-474-203-5, pag.478-482, indexată ISI

[6]. **Tufoi M.**, Vela I., Marta C., Tuță I. A., *Studies Regarding Design and Optimization of Mechanisms Using Modern Techniques of CAD and CAE*, 34th NATIONAL CONFERENCE ON MECHANICS OF SOLIDS 16-18 September 2010, Reșița, ANALELE UNIVERSITATII "EFTIMIE MURGU" RESITA ANUL XVII, NR. 1, 2010, ISSN 1453 – 7397, pag.191-202, indexată B+

[7]. **Tufoi M.**, Vela I., Amariei D., Tuta A. I., *Vibration experimental determination of internal combustion engines, using data acquisition and virtual instruments*, THE 9th INTERNATIONAL CONFERENCE ACOUSTICS and VIBRATIONS, 16-18 September, Reșița, Romania

[8]. **Tufoi, M.**, Vela, I., Marta, C., Mituletu, C., Amariei, D., Stroia, M. - D., *Design, Optimization and Realization of Mechanical Parts Using CAD, CAE and CAM Techniques*, Annals of DAAAM for 2010 & Proceedings of the 21st International DAAAM Symposium, Zadar, Croatia, 2010, indexată ISI

[9]. **Tufoi M.**, Vela I., Marta C., Amariei D., Tuta A.I., Mituletu C., *Studies on optimization of withdrawing cylinder at vertical continuous casting of steel*, European Conference of Mechanical Engineering (ECME '10), Puerto De La Cruz, Tenerife November 30-December 2, 2010, indexată ISI

[10]. **Tufoi, M.**, Vela, I., Marta, C., Amariei D., Tuta A. I., Mituletu C., *Optimization of withdrawing cylinder at vertical continuous casting of steel using CAD and CAE*, International Journal of Mechanics, Issue 1, Volume 5, 2011, ISSN 1998-4448

[11]. **Tufoi M.**, VELA I., MARTA C., AMARIEI D., *STUDIES REGARDING THE OPTIMIZATION OF WITDRAWING ROLLERS AT VERTICAL CONTINUOUS CASTING OF STEEL*, A XI-a Conferință Națională Multidiscilinară cu participare Internațională "Profesorul Dorin PAVEL- fondatorul hidroenergeticii românești", ISSN-2067-7138, pag.453-460

[12]. **Tufoi M.**, Vela I., Marta C., AMariei D., *Methods of Optimization of Facilities for Withdrawal from Horizontal Continuous Casting of Metals*, A XI-a Conferință Națională Multidiscilinară cu participare Internațională "Profesorul Dorin PAVEL- fondatorul hidroenergeticii românești", ISSN-2067-7138, pag.445-452

[13]. **Tufoi M.**, Vela I., Marta C., Suciu L., Tuta I.A., Mituletu I.C., *Comparative Study of Contact Stresses and Strains at Horizontal and Vertical Continuous Casting Using Conventional and Innovative Methods of Withdrawing Profiles*, WSEAS TRANSACTIONS on APPLIED and THEORETICAL MECHANICS, Issue 4, Volume 5, pag.

[14]. **Tufoi M.**, Vela I., Marta C., Stroia M. D., *Microcontroller's Applications in Driving of Industrial Robots*, Analele Universitatii "Eftimie Murgu" Reșița, Anul XVII, Nr. 2, 2010, ISSN 1453 – 7397, pag.

- [15]. **Tufoi M.**, Ruja I., Vela I., Marta C., Amariei D., PIC 16F877 *microcontroller's applications in driving of industrial robots*, ROBOTICA & MANAGEMENT International Journal, Vol. 15, No. 2, December 2010, , ISSN-1453-2069, pag.48-52
- [16]. **Tufoi M.**, Bizău V., Marta C., *Management of Industrial Processes with Programmable Logic Controller*, ANALELE UNIVERSITĂȚII "EFTIMIE MURGU" REȘIȚA, ANUL XVI, NR. 1, 2009, ISSN 1453 – 7397
- [17]. **Tufoi M.**, Vela I., Marta C., *Optimization of the Withdrawal of Profiles at the Horizontal Continuous Casting Plant*, ANALELE UNIVERSITĂȚII "EFTIMIE MURGU" REȘIȚA, ANUL XVI, NR. 1, 2009, ISSN 1453 – 7397
- [18]. **Tufoi M.**, *Stadiul actual al cunoașterii la turnarea continuă a metalelor*, Conferința „Creativitatea tinerilor, tradiție a Banatului Montan, ediția a X- a”, 28-29.04.2010 Reșița
- [19]. Vela D. G., Miclosina C-O., **Tufoi M.**, Tuta A.I., *Length Determination of Flexible Toothed Wheel of a Double Harmonic Drive, Depending on the Deformation Elastic Force*, Proceedings of the 3rd WSEAS International Conference on ENGINEERING MECHANICS, STRUCTURES, ENGINEERING GEOLOGY (EMESEG '10), Corfu, Grecia, 2010, ISSN 1792-4294, ISBN 978-960-474-203-5, pag. 474-477, indexată ISI
- [20]. Amariei D., Miclosina C., Vela I., **Tufoi M.**, Mituletu C., *Contributions to Design of Systems Actuated by Shape Memory Active Elements*, World Academy of Science, Engineering and Technology, 2010, ICCASE "International Conference on Control, Automation and Systems Engineering" Venice, Italy, 2010,
- [21]. Tuta A. I., Vela I., **Tufoi M.**, Amariei D., Mituletu C., Suci L., *Analysis on the operation of gas regulators and optimization of their operation*, ADVANCES in CONTROL, CHEMICAL ENGINEERING, CIVIL ENGINEERING and MECHANICAL ENGINEERING, European Conference of Mechanical Engineering (ECME '10), Puerto De La Cruz, Tenerife, November 30-December 2, 2010, indexată ISI
- [22]. Tuta A. I.; Vela I., **Tufoi M.**, *Studies on Sizing the Coil Springs Gas Regulators to Optimize the Amplification Coefficient*, Annals of DAAAM for 2010 & Proceedings of the 21st International DAAAM Symposium, Zadar, Croatia, 2010, indexată ISI
- [23]. AMARIEI D., **Tufoi M.**, AMARIEI O.I., *DIMENSIONING METHOD OF SHAPE MEMORY ALLOYS ACTIVE ELEMENTS OF AN ACTUATOR FOR A ROBOTIC PREHENSION MODULE*, A XI-a Conferință Națională Multidisciplinară cu participare Internațională "Profesorul Dorin PAVEL- fondatorul hidroenergeticii românești"
- [24]. Marta C., Ruja I., **Tufoi M.**, Bizau V., Suci L., Rosu M., *Studies Regarding the Elaboration of the Manganese Austenitic Steel in the Induction Electric Furnace with Acid Coating*, ANALELE UNIVERSITATII "EFTIMIE MURGU" RESITA ANUL XVII, NR. 2, 2010, ISSN 1453 – 7397, nr.2/2010, pag.195-202
- [25]. Mituletu C., Vela I., **Tufoi M.**, Amariei D., *Mathematical Model for the Contact Stress Calculation of Fluoropolymerized Toothed Wheels*, ANALELE UNIVERSITATII

“EFTIMIE MURGU” RESITA ANUL XVII, NR. 2, 2010, ISSN 1453 – 7397, nr. 2/2010, pag.221-226

[26]. Ruja I., Breaban F., Marta C., **Tufoi M.**, Bizau V., *Laboratory Facilities for Testing Thermal Engines*, ANALELE UNIVERSITATII “EFTIMIE MURGU” RESITA ANUL XVII, NR. 2, 2010, ISSN 1453 – 7397, nr. 2/2010, pag.265-274

[27]. Suci L., Tatucu I., Marta C., **Tufoi M.**, Hatiegan C., *The Stand for Determination of Service Performance in Load of a Welding Transformer Using the LabVIEW Environment*, ANALELE UNIVERSITATII “EFTIMIE MURGU” RESITA ANUL XVII, NR. 2, 2010, ISSN 1453 – 7397, nr. 2/2010, pag.285-292

[28]. Tuta A.I. , Vela I., **Tufoi M.**, *Sizing of Compression Coil Springs Gas Regulators Using Modern Methods CAD and CAE*, ANALELE UNIVERSITATII “EFTIMIE MURGU” RESITA ANUL XVII, NR. 2, 2010, ISSN 1453 – 7397, nr. 2/2010, pag. 315-322

[29]. Ruja I., **Tufoi M.**, Marta C., Bizau V., *STUDY ON THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE LOADED WITH RESISTANT TORQUE PRODUCED BY ELECTRICAL MACHINES*, ROBOTICA & MANAGEMENT International Journal, Vol. 15, No. 2, December 2010, ISSN-1453-2069, pag.42-47

[30]. Tuta A.I., Vela I., **Tufoi M.**, Milos O., Mituletu I.C., *Consideration about Optimized Functionality of Natural Gas Regulator Type RTG25 by Changing its Internal Command Membrane*, IAASAT Conference :ENVIRONMENT, ECONOMICS, ENERGY, DEVICES, SYSTEMS, COMMUNICATIONS, COMPUTERS, MATHEMATICS, University of Craiova, Drobeta Turnu Severin Center, Romania October , 2011, pag.318-324

BIBLIOGRAFIE

- 1 Ardelean E., Ardelean M., Hepuț T., *Studiul Parametrilor Tehnologici La Turnarea Continuă A Țagtelor Cu Secțiunea $\Phi 180\text{mm}$* , Annals Of The Oradea University, Fascicle Of Management And Technological Engineering, 2006, pag.905-912
- 2 Ardelean E., Hepuț T., Ardelean M., *Turnarea continuă a oțelului*, Ed Politehnica Timișoara, 2001
- 3 Ardelean, E., Hepuț, T., Ardelean, M., Socalici, A., Abrudean, C., *Optimizarea proceselor la turnarea continuă a oțelului*, -Ed. CERMI, Iași, 2007
- 4 Arth G. et al., *Mould powder consumption in continuous casting of steel*, Department of Metallurgy, University of Leoben, 2004
- 5 Bejan, M., *Rezistența Materialelor*, vol. 1. – ediția a II-a, Editura AGIR, București, 2005
- 6 Bratu V., *Fenomenul convectiv și implicațiile acestuia asupra solidificării aliajelor turnate continuu*-, Metalurgia nr.10-2002
- 7 Bratu.V., *Problematika corelării parametrilor turnării continue cu îmbunătățirea calitatii semifabricatelor* , -Referatul 2, Universitatea "Politehnica" București.
- 8 Butnariu I., Geantă V., ș.a, *Turnarea continuă a semifabricatelor de oțel*, Ed. Tehnică, București, 2000
- 9 Butnariu, I., *Turnarea continuă și semicontinuă a materialelor metalice*, Ed. Tehnica București, 1977.
- 10 Butnariu, V Geanta, S. Ene, V. Munteanu, N. Constantin, R. Stefanoiu, *Turnarea continua a semifabricatelor de oțel*- Ed. Tehnica, Bucuresti, 2007
- 11 Ciuca,I. Bunea D., Cazimirovici E., Nitescu D. , Rosca R. , Teodorescu N.N. , *Consideratii geometrice referitoare la unele deformatii ale corpurilor cilindrice*, Metalurgia vol. 49 nr. 6 1997, pp. 39-41.
- 12 Ciuca,I. Bunea, D. Teodorescu N.N., *The Utilisation of Methods of the Differential Geometry at the Plastic Deformation of the Tube Cylindrical Bodies* in Proceedinds of Fifth International Conference on Computational Plasticity, pp. 1879-1883, 17th-20th March, 1997, Barcelona, Spain.
- 13 Ciuca,I. Popescu, T. Teodorescu, N.N. Cazimirovici E., *Consideratii geometrice privind torsiunea barelor cilindrice*, Metalurgia vol 47, nr. 6, 1995, pp. 13-14.
- 14 Cramb A., *"Continuous Casting," in The Making, Shaping, and Treating of Steel*, Pittsburgh, PA: Assoc. of Iron & Steel Engineers, 2001.
- 15 Crețu, A., Abrudan, C., Bal, N., Bejan, M., Hărdău, M., Istrate, M., Suciu M., *Tensiuni ... Stresses ... Contraintes ...*, Editura Mediamira, Cluj Napoca, 2001,
- 16 Crivacucea O., Stângu E., Hamat C., Negoîțescu A., *Mecanică- Cinematică*, Editura « Eftimie Murgu », , Reșița, 1997
- 17 Curtu I., Ciofoaia M., Baba M., Cerbu C., Repanovici A., Sperchez F., - *Rezistența materialelor*, Probleme IV, Ed. Infomarket, Brașov, 2005
- 18 Dragomir I. "Câteva aspecte ale tratamentului oțelului lichid în vid",- Metalurgia nr.3, 1996.
- 19 Dumitru I., Neguț N., - *Elemente de Elasticitate, Plasticitate și Rezistența Materialelor*, vol. I, Ed. Politehnică, Timișoara, 2003
- 20 Efimov V.A. , *Turnarea și cristalizarea oțelurilor*- Editura Tehnică – București,

1980

- 21 Geantă V., Suci V., Ștefănoiu R., Suci V. Stan Șt., Ene P., Mihăilescu D., Cercetări Privind Factorii Care Determină Calitatea Țagtelor Rotunde Destinate Laminării Țevilor Din Oțel Fără Sudură, Proiect CEEEX, 2006
- 22 Gheorghe G., *Măsurarea debitelor de fluide*, Editura Tehnică București-1978
- 23 Gillich R.G., *Dinamica mașinilor, Modelarea sistemelor tehnice*, Editura AGIR, București, 2003
- 24 Guțu, M., Takacs, O., *Turnarea continuă și semi-continuă a materialelor metalice*, Editura Tehnică, București, 1977.
- 25 Han Z. K., Liu B., *Prediction and Analysis of Internal Cracks in Continuous Cast Slabs by Mathematical Models*, ISIJ International, vol. 41, 2001,
- 26 Hepuș T., Ardelean E., Popa E., Ardelean M., *Research And Experiments Regarding The Quality Of Continous Steel*, Scientific Conference Research And Development Of Mechanical Elements And Systems Jahorina – Irmes, Sarajevo, 2002, Bosnia, pag. 349-354
- 27 Hepuș T., Socalici A., Popa E., Ardelean E., *Cercetări Privind Utilizarea Deșeurilor Industriale Și Producerea Prafurilor De Turnare Continuă A Oțelului*, Simpozionul Internațional Universitaria Ropet, Petroșani, 2001;
- 28 Ianici S., *Ingineria sistemelor mecanice, vol 1*, editura „Eftimie Murgu”, Reșița, 2001
- 29 Ianici S., *Ingineria sistemelor mecanice, vol 2*, editura „Eftimie Murgu”, Reșița, 2001
- 30 Ivanescu A., Ene A., Ivanescu L., *Study of the heat losses at the continuous casting of slabs*, METAL 2008, 17th International Metallurgical & Materials Conference, May 13 – 15, 2008, Hradec nad Moravicí, Czech Republic
- 31 Ivanescu A., Ivanescu L., Ene A., *Study of the evolution of the heat exchange coefficient at the continuous casting of steel*, Editura Fundației Universitare „Dunărea de Jos” din Galați, ISBN 978-973-627-376-6, p.61-, Galați 15-16 June 2007, 3rd National Conference on Applied Physics
- 32 Ivanescu, Al., Ene, A., Cocindau, C., Ivanescu, L., Doniga, A., *Study of the thermodynamic regime at continuous casting of steel*, METAL 2007, 16th International Metallurgical & Materials Conference, May 22 – 24, Hradec nad Moravicí, Czech Republic
- 33 Lang O., Sandner R., *Up to date measurement devices for continuous caster*, - Voestalpine Stahl Linz, Austria S. Buoro - Acciaierie Venete SpA, Italy, 6th European Conference on Continuous Casting 2008
- 34 Lixin Tang, Ji Yin Liu, Aiying Rong, Zihou Yang, *A mathematical programming model for scheduling steelmaking-continuous casting production*, European Journal of Operational Research, Theory and Methodology, Vol 120, 16 January 2000,
- 35 Mănescu T.Ș., Nedelcu D., *Analiza structurală prin metoda elementului finit*, Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2005
- 36 Marsavina L., Craciun M., *The asymptotic stress field for free edge joints under small - scale yielding conditions*, An. Șt. Univ. Ovidius Constanța ,Vol. 17(3), 2009, pag. 171–181
- 37 Marta C., *Metode numerice de simularea turnării și solidificării aliajelor metalice*, Editura « Eftimie Murgu », Reșița, 2005

- 38 Marta, C, *Metode numerice de simularea turnării și solidificării aliajelor metalice*, Editura « Eftimie Murgu », Reșița, 2004
- 39 Mocanu F., - *Rezistența materialelor*, vol1, Ed. Tehnopress, Iași, 2006
- 40 Nanu A., *Dimensional processing in the far-off future*, A XI - A Conferință Internațională de Tehnologii Neconvenționale, 6 - 7 noiembrie 2003, Sibiu
- 41 Nicoară, I., Mădăras, L., *Bazele proiectării transmisiilor mecanice. Transmisii prin fricțiune* Editura de Vest, Timișoara 1996, ISBN 973-36-0271-X.
- 42 Nicoară, I., Gruescu C., *Fiabilitate și terotehnică*, Editura Politehnica, Timișoara, 2008.
- 43 Nedelcu D., *Modelarea parametrică prin Autodesk Inventor*, Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2004
- 44 Pasca S., Vesselenyi T., Fireteanu V., Tudorache T., Mudura P., Tomse M., Popa M., *Electromagnetic Forming - an Efficient Technology for Metallic Sheet Processing*, Przegląd Elektrotechniczny (Electrotechnical Review), November 2008,
- 45 Pop M., *Elemente de teoria deformării plastice*, Editura Mega, 2010, Cluj-Napoca
- 46 Popa E., *Experimentări Privind Influența Parametrilor Turnării Asupra Temperaturii Suprafeței Semifabricatului Turnat Continuu*, Analele Facultății De Inginerie Hunedoara, Fașcicola 4/2002.
- 47 Popa E., Mihuț G., *The Influences Of The Casting Parameters Upon The Surface Emperatures Of The Continous Cast Semiproducts*, Analele Universitatii "Eftimie Murgu" Reșița 2006
- 48 Popa E., Scurt M., Șerban S., *Posibilități De Creștere A Ponderii Oțelului Turnat Continuu*, Analele Facultății De Inginerie Hunedoara, Fascicola 1/2001,
- 49 Popa M.E., Kiss I., Danciu A., *Cercetari Si Experimentari Privind Influenta Parametrilor Turnarii Asupra Temperaturii Suprafetei Semifabricatului Turnat Continuu*, ANNALS of the Oradea University. Fascicle of Management and Technological Engineering, 2007
- 50 Rădoi M., Deciu. E., *Mecanică*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1989.
- 51 Sofroni L., Brabie V. , Bratu C., *Bazele teoretice ale turnării*, Editura Didactică și Pedagogică- București -1980
- 52 Stanciu, C., s.a., *Corelarea parametrilor tehnologici de racire secundara a semifabricatelor turnate continuu pe baza masurarii temperaturii suprafetei*, Metalurgia nr.4, 2000.
- 53 Stewart B., McDonald M., Hopkins M., Burniston R., *Understanding the role of mould slag and slag film in surface quality of continously cast semis*, Grangetown, United Kingdom, 6th European Conference on Continuous Casting 2008, 6th European Conference on Continuous Casting, 2008.
- 54 Szuder A., Zapciu M., Ispas C., Savu T., *Bazale cercetării experimentale în ingineria mecanică*, editura Tehnică, București, 1999
- 55 Thomas B.G., Buschow K.H. J., Cahn R., Flemings M., Ilshner B., Kramer E. J., Mahajan S., *"Continuous Casting," The Encyclopedia of Materials: Science and Technology*, Elsevier Science Ltd., Oxford, UK, Vol. 2, 2001,
- 56 Tudor A., Petre I., *Organe de mașini*, Editura Bren, București, 2003

- 57 **Tufoi M.**, I. Vela, C. Marta, I. Nedelcu, *The state of the art regarding of semi-finished products withdrawn in horizontal continuous casting. methods used to withdraw, future trends*, A X-a Conferință Națională Multidisciplinară cu participare Internațională "Profesorul Dorin PAVEL- fondatorul hidroenergeticii românești",
- 58 **Tufoi M.**, *Optimizarea cilindrilor cajelor de extragere la turnarea continuă verticală cu fir curbiliniu a oțelului*, Referat de doctorat nr. 3 susținut la 11.02.2011
- 59 **Tufoi M.**, *Optimizarea instalațiilor de extragere la turnarea continuă orizontală și verticală a metalelor. Metode de optimizare propuse*, Referat de doctorat nr. 2 susținut la 21.06.2010
- 60 **Tufoi M.**, *Stadiul actual al cunoașterii în domeniul extragerii semifabricatelor la turnarea continuă orizontală. Metode de extragere utilizate*, Referat de doctorat nr. 1 susținut la 12.02.2010
- 61 **Tufoi M.**, Vela I., Marta C., Amariei D., Tuta A.I., Mituletu C., *Studies on optimization of withdrawing cylinder at vertical continuous casting of steel*, European Conference of Mechanical Engineering (ECME '10), Puerto De La Cruz, Tenerife November 30-December 2, 2010
- 62 **Tufoi M.**, Vela I., Marta C., Nedelcu I., Bizau V., Stroia M.D., *Modernization mechanical plant for withdrawal profiles in horizontal continuous casting*, 7th International DAAAM Baltic Conference "Industrial Engineering", 22-24 April 2010, Tallinn, Estonia
- 63 **Tufoi M.**, Vela I., Marta C., Suciu L., Mituletu C., *Comparative Study of Contact Stresses and Strains at Horizontal Continuous Casting Using Conventional and Innovative Methods of Withdrawing Profiles*, Proceedings of the 3rd WSEAS International Conference on Engineering mechanics, structures, engineering geology (EMESEG '10)
- 64 **Tufoi M.**, Vela I., Marta C., Suciu L., Tuta A. I., Mituletu C., *Comparative Study of Contact Stresses and Strains at Horizontal and Vertical Continuous Casting Using Conventional and Innovative Methods of Withdrawing Profiles*, WSEAS transactions on applied and theoretical mechanics Issue 4, Volume 5
- 65 **Tufoi M.**, Vela I., Marta C., Tuță A. I., *Studies Regarding Design and Optimization of Mechanisms Using Modern Techniques of CAD and CAE*, 34th National Conference on Mechanics of Solids 16-18 September, Reșița, România
- 66 **Tufoi M.**, Vela, I. Marta, C. Mituletu, C. Amariei, D., Stroia, M. - D., *Design, Optimization and Realization of Mechanical Parts Using CAD, CAE and CAM Techniques*, Annals of DAAAM for 2010 & Proceedings of the 21st International DAAAM Symposium, Zadar, Croatia
- 67 Vela I., *Proiectarea dispozitivelor*, Editura « Eftimie Murgu », , Reșița, 1997.
- 68 Vela I., *Cercetări privind funcționarea și construcția mecanismelor cu elemente dințate elastice*, Teză de doctorat, Timișoara, 1987
- 69 Vela I., Rădulescu C., Varga S., Vela D. G., *Proiectarea dispozitivelor. Robotică*, Vol. 1, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 2006
- 70 Vela I., Rădulescu C., Varga S., Vela D. G., *Proiectarea dispozitivelor. Robotică*, Vol. 2, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 2006
- 71 Vela I., Rădulescu C., *Proiectarea dispozitivelor, Robotică*, vol I și II, București 2007;

- 72 Viorel D., Romi L.T., Nemes O., Riti M. E., Soporan V.F., *Modelarea Matematica A Proceselor Care Au Loc La Turnarea Pieselor Metalice*, Editura Casa Cartii de Stiinta, 2010, Cluj-Napoca
- 73 Won Y. M. et al., *A New Criterion for Internal Crack Formation in Continuously Cast Steels*, *Met. Mat. Trans*, 2000,
- 74 Wong H., *Methods Identified To Produce Cleaner Steel Castings*, *Advanced Steel Casting Technology, Project Fact Sheet*, June 2002.
- 75 Zubac, V., *Utilaje pentru turnătorie*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1989.
- 76 ***** <http://www.sfsa.org/sfsa/pubs/hbk/s9.pdf>, Steel Founders' Society of America, CASTINGS HANDBOOK, Supplement 9 High Alloy Data Sheets Heat Series, 2004
- 77 ***** http://www.sfsa.org/tutorials/cs1_text/example1.pdf, An Example in Steel Casting The One Person Hitch Housing for the 2 ½ and 5 Ton Trucks, June 2000
- 78 *****http://www.mhprofessional.com/downloads/products/0071428674/0071428674_Section13.pdf, Fennell C., Manufacturing Processes.
- 79 *****http://www.smsconcast.ch/user_content/editor/files/Brochures/brochure_continuous%20casting.pdf
- 80 *****http://www.steeluniversity.org/content/html/eng/CC_UserGuide.pdf, Continuous Casting Simulation, version 1.60 User Guide, 2007 The University of Liverpool

Anexa B

ANEXA C

Determinări experimentale parametrii de turnare la instalația de turnare continuă la TMK Reșița iulie-august 2010

TABELUL 6.1

Diametru profil turnat [mm]	Nr. sarja	Marca oțel	Presiune Fir 1 [barr]	Presiune Fir 2 [barr]	Presiune Fir 3 [barr]	Contrapresiune [barr]	Diametrul măsurat D1 [mm]	Diametrul măsurat D2 [mm]	Diametrul măsurat D3 [mm]	Diametrul măsurat D4 [mm]	Ovalitate [mm]	Secțiune [mm]	Tliq [°C]	ΔT [°C]	Vtr [m/min]
177	29155	ST37-0	63	60	58	130	176,00	178,00	177,00	177,00	2,0	180	1523	44	1,85 *
177	29155	ST37-0	63	60	58	130	176,00	178,00	177,00	177,00	2,0	180	1523	39	1,95
177	29155	ST37-0	63	60	58	130	176,00	178,00	177,00	177,00	2,0	180	1523	32	2,05
177	29155	ST37-0	63	60	58	130	176,00	178,00	177,00	177,00	2,0	180	1523	24	2,20
177	29156	ST37-0	62	60	60	130	176,00	178,00	177,00	177,00	2,0	180	1522	33	1,95
177	29156	ST37-0	62	60	60	130	176,00	178,00	177,00	177,00	2,0	180	1522	34	2,00
177	29156	ST37-0	62	60	60	130	176,00	178,00	177,00	177,00	2,0	180	1522	33	2,10
177	29156	ST37-0	62	60	60	130	176,00	178,00	177,00	177,00	2,0	180	1522	32	2,10
177	29157	ST37-0	62	60	60	130	176,00	178,00	177,00	177,00	2,0	180	1523	34	2,00
177	29157	ST37-0	62	60	60	130	176,00	178,00	177,00	177,00	2,0	180	1523	34	2,05
177	29157	ST37-0	62	60	60	130	176,00	178,00	177,00	177,00	2,0	180	1523	32	2,10
177	29157	ST37-0	62	60	60	130	176,00	178,00	177,00	177,00	2,0	180	1523	29	2,20
177	29158	ST37-0	62	60	60	130	175,00	176,00	176,50	177,00	2,0	180	1522	36	1,90
177	29158	ST37-0	62	60	60	130	175,00	176,00	176,50	177,00	2,0	180	1522	31	2,15
177	29158	ST37-0	62	60	60	130	175,00	176,00	176,50	177,00	2,0	180	1522	30	2,20
177	29158	ST37-0	62	60	60	130	175,00	176,00	176,50	177,00	2,0	180	1522	29	2,20
177	29159	ST37-0	62	60	60	130	175,00	176,00	176,50	177,00	2,0	180	1523	42	1,80
177	29159	ST37-0	62	60	60	130	175,00	176,00	176,50	177,00	2,0	180	1523	40	1,80
177	29159	ST37-0	62	60	60	130	175,00	176,00	176,50	177,00	2,0	180	1523	40	1,85
177	29160	ST37-0	62	60	60	130	175,00	176,00	176,50	177,00	2,0	180	1523	37	1,90
177	29160	ST37-0	62	60	60	130	175,00	176,00	176,50	177,00	2,0	180	1523	36	1,90
177	29160	ST37-0	62	60	60	130	175,00	176,00	176,50	177,00	2,0	180	1523	33	2,00
177	29160	ST37-0	62	60	60	130	175,00	176,00	176,50	177,00	2,0	180	1523	29	2,20
177	29160	ST37-0	62	60	60	130	175,00	176,00	176,50	177,00	2,0	180	1523	25	2,30
177	29160	ST37-0	62	60	60	130	175,00	176,00	176,50	177,00	2,0	180	1523	24	2,30

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA INSTALAȚIEI DE EXTRAGERE A SEMIFABRICATELOR LA TURNAREA CONTINUĂ A METALELOR

Diametru profil turnat [mm]	Nr. sarja	Marca oțel	Presiune Fir 1 [barr]	Presiune Fir 2 [barr]	Presiune Fir 3 [barr]	Contrapresiune [barr]	Diametrul măsurat D1 [mm]	Diametrul măsurat D2 [mm]	Diametrul măsurat D3 [mm]	Diametrul măsurat D4 [mm]	Ovalitate [mm]	Secțiune [mm]	Tliq [°C]	ΔT [°C]	Vtr [m/min]
177	29744	ST52-3	60	59	59	130	175,00	177,00	176,00	178,00	3,0	180	1513	30	2,05
177	29744	ST52-3	60	59	59	130	175,00	177,00	176,00	178,00	3,0	180	1513	21	2,20
177	29744	ST52-3	60	59	59	130	175,00	177,00	176,00	178,00	3,0	180	1513	12	2,20
177	29745	ST52-3	60	59	59	130	174,50	177,00	176,00	177,00	2,5	180	1512	37	1,80
177	29745	ST52-3	60	59	59	130	174,50	177,00	176,00	177,00	2,5	180	1512	35	1,90
177	29745	ST52-3	60	59	59	130	174,50	177,00	176,00	177,00	2,5	180	1512	32	2,00
177	29745	ST52-3	60	59	59	130	174,50	177,00	176,00	177,00	2,5	180	1512	26	2,15
177	29745	ST52-3	60	59	59	130	174,50	177,00	176,00	177,00	2,5	180	1512	22	2,20
177	29745	ST52-3	60	59	59	130	174,50	177,00	176,00	177,00	2,5	180	1512	18	2,20
177	29746	ST52-3	60	59	59	130	175,00	177,00	177,00	176,00	2,0	180	1513	40	1,80
177	29746	ST52-3	60	59	59	130	175,00	177,00	177,00	176,00	2,0	180	1513	37	1,85
177	29746	ST52-3	60	59	59	130	175,00	177,00	177,00	176,00	2,0	180	1513	36	1,90
177	29746	ST52-3	60	59	59	130	175,00	177,00	177,00	176,00	2,0	180	1513	35	1,90
177	29747	ST52-3	60	59	59	130	175,00	177,00	176,00	178,00	3,0	180	1513	42	1,75
177	29747	ST52-3	60	59	59	130	175,00	177,00	176,00	178,00	3,0	180	1513	40	1,80
177	29747	ST52-3	60	59	59	130	175,00	177,00	176,00	178,00	3,0	180	1513	34	1,95
177	29747	ST52-3	60	59	59	130	175,00	177,00	176,00	178,00	3,0	180	1513	29	2,10
177	29747	ST52-3	60	59	59	130	175,00	177,00	176,00	178,00	3,0	180	1513	26	2,15
177	29747	ST52-3	60	59	59	130	175,00	177,00	176,00	178,00	3,0	180	1513	22	2,25
177	29747	ST52-3	60	59	59	130	175,00	177,00	176,00	178,00	3,0	180	1513	10	2,25
177	29748	ST52-3	60	59	59	130	175,00	177,00	176,00	178,00	3,0	180	1513	44	1,75
177	29748	ST52-3	60	59	59	130	175,00	177,00	176,00	178,00	3,0	180	1513	41	1,75
177	29748	ST52-3	60	59	59	130	175,00	177,00	176,00	178,00	3,0	180	1513	37	1,85
177	29748	ST52-3	60	59	59	130	175,00	177,00	176,00	178,00	3,0	180	1513	35	1,90
177	29748	ST52-3	60	59	59	130	175,00	177,00	176,00	178,00	3,0	180	1513	30	2,00
177	29749	X42	60	60	61	130	175,00	177,00	176,00	178,00	3,0	180	1521	48	1,72
177	29749	X42	60	60	61	130	175,00	177,00	176,00	178,00	3,0	180	1521	45	1,72
177	29749	X42	60	60	61	130	175,00	177,00	176,00	178,00	3,0	180	1521	40	1,75

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA INSTALAȚIEI DE EXTRAGERE A SEMIFABRICATELOR LA TURNAREA CONTINUĂ A METALELOR

Diametru profil turnat [mm]	Nr. sarja	Marca oțel	Presiune Fir 1 [barr]	Presiune Fir 2 [barr]	Presiune Fir 3 [barr]	Contrapresiune [barr]	Diametrul măsurat D1 [mm]	Diametrul măsurat D2 [mm]	Diametrul măsurat D3 [mm]	Diametrul măsurat D4 [mm]	Ovalitate [mm]	Secțiune [mm]	Tliq [°C]	ΔT [°C]	Vtr [m/min]
177	29886	X42	64	58	60	130	177,00	178,00	178,50	179,00	2,0	180	1520	34	2,05
177	29886	X42	64	58	60	130	177,00	178,00	178,50	179,00	2,0	180	1520	32	2,10
177	29886	X42	64	58	60	130	177,00	178,00	178,50	179,00	2,0	180	1520	29	2,15
177	29886	X42	64	58	60	130	177,00	178,00	178,50	179,00	2,0	180	1520	25	2,25
250	29887	C1026	69	66	68	130	250,00	251,00	250,00	246,00	5,0	250	1508	35	0,80
250	29887	C1026	69	66	68	130	250,00	251,00	250,00	246,00	5,0	250	1508	33	0,85
250	29887	C1026	69	66	68	130	250,00	251,00	250,00	246,00	5,0	250	1508	31	0,90
250	29887	C1026	69	66	68	130	250,00	251,00	250,00	246,00	5,0	250	1508	28	0,95
250	29887	C1026	69	66	68	130	250,00	251,00	250,00	246,00	5,0	250	1508	27	0,95
250	29887	C1026	69	66	68	130	250,00	251,00	250,00	246,00	5,0	250	1508	19	0,95
250	29887	C1026	69	66	68	130	250,00	251,00	250,00	246,00	5,0	250	1508	14	0,95
250	29888	C1026	67	67	68	130	246,00	245,00	249,00	248,00	4,0	250	1509	36	0,77
250	29888	C1026	67	67	68	130	246,00	245,00	249,00	248,00	4,0	250	1509	36	0,80
250	29888	C1026	67	67	68	130	246,00	245,00	249,00	248,00	4,0	250	1509	33	0,80
250	29888	C1026	67	67	68	130	246,00	245,00	249,00	248,00	4,0	250	1509	31	0,85
250	29888	C1026	67	67	68	130	246,00	245,00	249,00	248,00	4,0	250	1509	29	0,90
250	29888	C1026	67	67	68	130	246,00	245,00	249,00	248,00	4,0	250	1509	28	0,90
250	29889	C1026	69	67	67	130	248,00	246,00	247,00	251,00	5,0	250	1509	25	0,80
250	29889	C1026	69	67	67	130	248,00	246,00	247,00	251,00	5,0	250	1509	24	0,85
250	29889	C1026	69	67	67	130	248,00	246,00	247,00	251,00	5,0	250	1509	21	0,95
250	29889	C1026	69	67	67	130	248,00	246,00	247,00	251,00	5,0	250	1509	19	0,95
250	29889	C1026	69	67	67	130	248,00	246,00	247,00	251,00	5,0	250	1509	15	0,95
250	29890	C1026	68	67	66	130	250,00	248,00	249,00	250,00	2,0	250	1510	32	0,75
250	29890	C1026	68	67	66	130	250,00	248,00	249,00	250,00	2,0	250	1510	30	0,80
250	29890	C1026	68	67	66	130	250,00	248,00	249,00	250,00	2,0	250	1510	16	0,85
250	29890	C1026	68	67	66	130	250,00	248,00	249,00	250,00	2,0	250	1510	15	0,95
250	29890	C1026	68	67	66	130	250,00	248,00	249,00	250,00	2,0	250	1510	5	0,95
250	29891	C1026	68	67	67	130	249,00	246,00	246,00	247,00	3,0	250	1509	35	0,75

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA INSTALAȚIEI DE EXTRAGERE A SEMIFABRICATELOR LA TURNAREA CONTINUĂ A METALELOR

Diametru profil turnat [mm]	Nr. sarja	Marca oțel	Presiune Fir 1 [barr]	Presiune Fir 2 [barr]	Presiune Fir 3 [barr]	Contrapresiune [barr]	Diametrul măsurat D1 [mm]	Diametrul măsurat D2 [mm]	Diametrul măsurat D3 [mm]	Diametrul măsurat D4 [mm]	Ovalitate [mm]	Secțiune [mm]	Tliq [°C]	ΔT [°C]	Vtr [m/min]
250	29933	20MnV6	68	68	65	130	248,00	248,00	248,00	247,00	1,0	250	1509	32	0,80
250	29933	20MnV6	68	68	65	130	248,00	248,00	248,00	247,00	1,0	250	1509	28	0,85
250	29933	20MnV6	68	68	65	130	248,00	248,00	248,00	247,00	1,0	250	1509	24	0,90
250	29932	ST52-3S	67	68	65	130	247,00	246,00	249,00	250,00	4,0	250	1512	43	0,75
250	29932	ST52-3S	67	68	65	130	247,00	246,00	249,00	250,00	4,0	250	1512	42	0,75
250	29932	ST52-3S	67	68	65	130	247,00	246,00	249,00	250,00	4,0	250	1512	37	0,75
250	29932	ST52-3S	67	68	65	130	247,00	246,00	249,00	250,00	4,0	250	1512	36	0,75
250	29932	ST52-3S	67	68	65	130	247,00	246,00	249,00	250,00	4,0	250	1512	34	0,80
250	29932	ST52-3S	67	68	65	130	247,00	246,00	249,00	250,00	4,0	250	1512	32	0,80
250	29932	ST52-3S	67	68	65	130	247,00	246,00	249,00	250,00	4,0	250	1512	26	0,88
250	29934	ST52-3S	67	69	65	130	248,00	250,00	246,00	251,00	5,0	250	1512	38	0,75
250	29934	ST52-3S	67	69	65	130	248,00	250,00	246,00	251,00	5,0	250	1512	34	0,80
250	29934	ST52-3S	67	69	65	130	248,00	250,00	246,00	251,00	5,0	250	1512	32	0,82
250	29934	ST52-3S	67	69	65	130	248,00	250,00	246,00	251,00	5,0	250	1512	31	0,85
350	29934	ST52-3S	67	69	65	130	248,00	250,00	246,00	251,00	5,0	250	1512	29	0,88
350	29934	ST52-3S	67	69	65	130	248,00	250,00	246,00	251,00	5,0	250	1512	28	0,90
350	29935	101	76	79	77	130	348,00	351,00	352,00	348,00	4,0	350	1515	46	0,45
350	29935	101	76	79	77	130	348,00	351,00	352,00	348,00	4,0	350	1515	37	0,50
350	29936	101	76	79	77	130	351,00	352,00	348,00	350,00	4,0	350	1515	48	0,45
350	29936	101	76	79	77	130	351,00	352,00	348,00	350,00	4,0	350	1515	45	0,45
350	29937	101	76	74	77	130	352,00	347,00	351,00	350,00	5,0	350	1516	47	0,45
350	29937	101	76	74	77	130	352,00	347,00	351,00	350,00	5,0	350	1516	46	0,45
350	29937	101	76	74	77	130	352,00	347,00	351,00	350,00	5,0	350	1516	44	0,45
350	29938	101	75	77	77	130	347,00	351,00	352,00	352,00	5,0	350	1516	49	0,45
350	29938	101	75	77	77	130	347,00	351,00	352,00	352,00	5,0	350	1516	43	0,45
350	29938	101	75	77	77	130	347,00	351,00	352,00	352,00	5,0	350	1516	41	0,45
350	29938	101	75	77	77	130	347,00	351,00	352,00	352,00	5,0	350	1516	37	0,50
350	29939	101	77	77	77	130	352,00	350,00	349,00	351,00	3,0	350	1515	36	0,50

* - valorile determinate la începutul procesului de extragere pentru fiecare șarjă turnată continuu

