

UNIVERSITATEA POLITEHNICĂ DIN BUCUREȘTI

**FACULTATEA DE INGINERIE MECANICĂ ȘI MECATRONICĂ
ȘCOALA DOCTORALĂ**

DEPARTAMENTUL DE ORGANE DE MAȘINI ȘI TRIBOLOGIE



REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

***CONTRIBUȚII PRIVIND STUDIUL PROCESELOR DE UZARE ÎN
MEDII ABRAZIVE, CU APLICAȚII LA ORGANELE DE LUCRU
ALE MAȘINILOR AGRICOLE***

/

***CONTRIBUTIONS REGARDING THE STUDY OF WEAR
PROCESSES IN ABRASIVE ENVIRONMENTS, WITH
APPLICATIONS TO THE WORKING BODIES OF AGRICULTURAL
MACHINERY***

Autor: Laurențiu-Constantin VLĂDUȚOIU

Conducător Științific: Prof. Dr. Ing. Andrei TUDOR

CUPINS TEZĂ	Pag.
1. Capitolul 1. Caracteristicile mecanice ale solurilor supuse prelucrării cu mașini agricole	1
1.1. Introducere	1
1.2. Proprietățile fizice ale solului	2
1.2.1 Textura solului	2
1.2.2 Structura solului	4
1.2.3 Densitatea solului	4
1.2.4 Porozitatea	5
1.2.5 Culoarea	6
1.2.6 Umiditatea	6
1.3. Optimizarea lucrărilor solului	7
1.4. Rezistența la penetrare a solului	7
1.4.1. Rezistența la lucrările solului	7
1.4.2 Uzura abrazivă și factori care determină uzura abrazivă	11
1.5. Determinarea caracteristicilor fizico-mecanice ale solurilor	16
1.6. Obiectivele tezei	25
1.7. Concluzii	25
2. Capitolul 2. Stadiul actual al cercetărilor privind uzura organelor active ale mașinilor agricole	26
2.1. Identificarea organelor de mare uzură în cadrul lucrărilor agricole	26
2.2. Tipuri de uzare	30
2.3. Mecanismul uzurii abrazive în cazul brazdarului	34
2.4. Metode de reducere a uzurii abrazive în cadrul cutitelor tip dalta de lucrat solul	41
2.5. Concluzii	51
3. Capitolul 3. Standuri, dispozitive, aparatura și metodologiile de experimentare folosite până în prezent la cercetările pentru determinarea uzurii organelor active ale mașinilor agricole	53
3.1 Penetrometre	53
3.2. Analiza caracteristicilor fizico-mecanice și de uzură ale materialelor de fricțiune	56
3.4. Standuri pentru determinarea interacțiunii dintre cutitul tip dalta de lucrat solul al mașinii agricole	60
4. Capitolul 4. Rezultate experimentale privind penetrarea și uzura cuțitului tip dalță	72
4.1. Condiții de testare	72

4.1.1 Alcătuirea granulometrică a materialului în care s-au făcut încercări	72
4.1.2. Cântar de precizie KERN EG	75
4.1.3. Senzor de umiditate a solului Theta Probe	75
4.2. Încercări experimentale privind determinarea uzurii cuțitelor tip daltă realizate din tipuri de materiale diferite încercate în soluri nisipoase uscate	76
4.2.1 Standul experimental de încercare a cuțitelor tip daltă de la U.T. Cluj-Napoca	76
4.2.2 Standul experimental de încercare a cuțitelor tip daltă de la INMA București	83
4.2.3 Standul experimental tribometrul universal CETR (Campbell, CA, USA)	93
4.3. Concluzii	101
5. Capitolul 5. Modele teoretice de uzare a cuțitelor mașinilor de prelucrat solul	103
5.1. Introducere	103
5.2. Model de uzare adezivă a cuțitului utilizat la mașinile de prelucrat program matchad modeluz adezcuțit cisel	105
5.2.1. Comportarea mecanică a solului	105
5.2.2. Geometria cuțitului daltă	110
5.2.3. Modelarea proceselor de contact pentru cuțitul daltă	116
5.2.4. Uzarea adezivă a cuțitului de tip daltă	118
5.3. Model teoretic de uzare prin abraziune a cuțitului de prelucrat solul	128
5.3.1. Introducere. Ipoteze de calcul	128
5.3.2. Cazul contactului dintre cuțit și particule abrazive de forma calotelor sferice	130
5.3.3. Cazul contactului dintre cuțit și particule abrazive de forma cilindrică	135
5.3.4. Cazul presiunilor de contact dintre particule și cuțit mai mari decât presiunea „shakedown”.	136
5.3.5. Uzarea abrazivă a cuțitului cu particule distribuite aleatoriu în matricea solului	142
5.4. Concluzii	149
6. Capitolul 6 Concluzii. Contributii. Perspective	151
6.1. Concluzii generale	151
6.2. Contributii aduse de aceasta teza	152
6.3. Perspective	153
Bibliografie	154

CUVINTE CHEIE: Organele de lucru; procese intensive de uzare, medii abrazive, cuțite tip daltă; coeficientul de frecare; rezistența de coeziune; uzare adezivă; deformare elastică; uzare abrazivă; procesul de penetrare.

REZUMAT TRZĂ

INTRODUCERE

Teza de doctorat intitulată **CONTRIBUȚII PRIVIND STUDIUL PROCESELOR DE UZARE ÎN MEDII ABRAZIVE, CU APLICAȚII LA ORGANELE DE LUCRU ALE MAȘINILOR AGRICOLE** a fost elaborată în cadrul Facultății de Inginerie Mecanică și Mecatronică școala Doctorală, Departamentul de Organe de Mașini și Tribologie și conține contribuții originale în procesele de uzare în medii abrazive, cu aplicații la organele de lucru ale mașinilor agricole. Teza se înscrie în preocupările colectivului Organe de Mașini și Tribologie de a determina coeficientul de frecare dintre cutit și nisip și a determina rezistența de coeziune a nisipului uscat și umed cu, cuțitul tip daltă de lucrat solul.

Prima parte a tezei (capitolele 1-3), prezintă datele de literatură cu privire la stadiul actual al cunoașterii în domeniul proceselor de uzare în medii abrazive, cu aplicații la organele de lucru ale mașinilor agricole.

Capitolul 1, intitulat **CARACTERISTICILE MECANICE ALE SOLURILOR SUPUSE PRELUCRĂRII CU MAȘINI AGRICOLE** cuprinde un studiu bibliografic privind proprietățile fizice și caracteristicile mecanice ale solului, cu influența asupra organelor de lucru ale mașinilor agricole și un studiu bibliografic al rezistenței la penetrare a solurilor și a aparatelor utilizabile (*Visa I., și alții, 2009; Dokuchaevev, 1983*).

Capitolul 2 intitulat **STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRIILOR PRIVIND UZURA ORGANELOR ACTIVE ALE MAȘINILOR AGRICOLE** prezintă un studiu al rezistentelor la uzare abrazivă și adezivă a materialelor și o sinteză privind definirea organelor mașinilor agricole cu procese intensive de uzare și cu scoaterea din funcțiune ca urmare a uzurilor excesive (*Braharu D. și alții 2007; Tanco C., 2011; Țenu I. și alții 2009; Tomescu, D., 1975*).

Capitolul 3 intitulat **STANDURI, DISPOZITIVE, APARATURA ȘI METODOLOGIILE DE EXPERIMENTARE FOLOSITE PÂNĂ ÎN PREZENT LA CERCETĂRIILE PENTRU DETERMINAREA UZURII ORGANELOR ACTIVE ALE MAȘINILOR AGRICOLE** prezintă analiza efectelor durificării suprafețelor brăzdarelor de plug pentru arat asupra uzurii brăzdarelor, pentru experimentele făcute anterior tezei, la INMA (*Visa I., și alții, 2009; Matache M. și alții, 2006; Epure I. C., 2011*).

Partea a doua a tezei, (capitolele 4-5), prezintă contribuțiile originale aduse de teză.

Capitolul 4 **REZULTATE EXPERIMENTALE PRIVIND PENETRAREA ȘI UZURA**

CUȚITULUI TIP DALȚĂ descrie aspectele particulare cu privire la experimentele realizate: echipamente folosite și metodologia de lucru folosită la realizarea experimentelor.

Capitolul 5 intitulat **MODELE TEORETICE DE UZARE A CUȚITELOR MAȘINILOR DE PRELUCRAT SOLUL** de asemenea prezintă adaptarea ingenioasă a unui model de uzare prin adeziune la cazul particular cutit-sol și folosirea unor parametrii adimensionali drept criteriu de similitudine (*Cardei P., 2008*). Prezintă realizarea unui model nou de uzare abrazivă a cuțitelor mașinilor de lucrat soluri cu particule abrazive fixate în matrice și în cadrul acestui program, s-au realizat 3 programe de calcul în utilitarul MATCHAD 14 privind uzarea prin adeziune, uzarea prin abraziune și a forțelor și tensiunilor în procesul de penetrare.

Partea a III-a a tezei, cuprinde concluziile lucrării de doctorat. Concluziile generale ale lucrării și posibilitățile de dezvoltare ulterioară sunt prezentate în finalul lucrării, alături de contribuțiile originale ale autoarei.

Teza se încheie cu un capitol de Bibliografie și cu anexarea lucrărilor publicate în extenso.

CONTRIBUȚII ORIGINALE

CAPITOLUL 4

REZULTATE EXPERIMENTALE PRIVIND PENETRAREA ȘI UZURA

CUȚITULUI TIP DALȚĂ

4.1. CONDIȚII DE TESTARE

S-a ales ca mediu de încercare nisip cuarțos fin pentru mortare adezive uscate ca aplicație comercială, obținut prin spălare și clasare mecanică. După scara Attenberg, acest nisip se încadrează în clasa granulometrică nisip fin și nisip grosier cu diametrul particulelor între 0 și 0,3 mm .

Pentru determinarea granulometriei materialului în care s-au făcut experimentările, s-a folosit un sistem de sitare vertical – vibrator RETSCH – AS – 200 beisec, dotat cu temporizator și variator de amplitudine.

Pentru determinarea greutateii cuțitelor tip dalță, s-a folosit și un cântar de precizie marca KERN EG.

Probele s-au realizat în condiții diferite de lucru, cu nisip uscat și cu nisip umed.

Umiditatea nisipului în care au fost făcute probele a fost determinată cu ajutorul unui senzor Theta Probe tip ML2x.

4.2 ÎNCERCĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND DETERMINAREA UZURII CUTITELOR TIP DALTĂ REALIZATE DIN TIPURI DE MATERIALE DIFERITE ÎNCERCATE ÎN SOLURI NISIPOASE USCATE

Standul experimental de încercare a cuțitelor tip daltă de la U.T. Cluj-Napoca

În prima fază, s-a folosit un stand de încercări realizat integral de Universitatea de Mecanică din Cluj-Napoca (Fechete L.V., 2008).

Pentru experimentări s-a realizat un suport tip daltă și 3 cuțite tip daltă din materiale diferite C 45 (1), C 45 tratat termic prin călire (2), E 295 (3).

Cuțitele tip daltă s-au montat pe rând în standul de încercări, unde au lucrat la o adâncime de 22 cm, astfel încât să se poată determina uzura acestora după un număr de ore de funcționare.

Aceste cuțite tip daltă au fost cântărite înainte de a fi montate pe standul de încercări, unde au fost lăsate să meargă timp de câte o oră, după care s-au cântărit și montat înapoi pe stand, pentru încă o oră de încercări (Vlăduțoiu L. 2021). Procedul s-a repetat de câte 7 ori pentru fiecare cuțit, urmărindu-se astfel pierderile de material prin uzură (tabel 4.1).

Tabelul 4.1 - Centralizator date obținute pentru cuțitele tip daltă supuse analizei asupra uzurii

Timp [h]	Cuțit tip daltă C 45 (1)		Cuțit tip daltă C 45 tratat termic prin călire (2)		Cuțit tip daltă E295 (3)	
	Greutate inițială [g]	Diferența de masă (uzură efectivă) [g]	Greutate inițială [g]	Diferența de masă (uzură efectivă) [g]	Greutate inițială [g]	Diferența de masă (uzură efectivă) [g]
0	259.52	0	257	0	238.16	0
1 h	259.1	0.42	256.47	0.53	237.89	0.27
2 h	258.77	0.33	256.18	0.29	237.65	0.24
3 h	258.43	0.34	255.99	0.19	237.44	0.21
4 h	258.12	0.31	255.78	0.21	237.3	0.14
5 h	257.78	0.34	255.6	0.18	237.18	0.12
6 h	257.52	0.26	255.44	0.16	237.02	0.16
7 h	257.27	0.25	255.3	0.14	236.84	0.18
Total uzură		2,25		1,7		1,32

Standul experimental de încercare a cuțitelor tip daltă de la INMA București

În a doua fază, s-a folosit un stand de încercări realizat de INMA București, asemănător cu cel de la Universitatea de Mecanică din Cluj.

Cu ajutorul acestui stand se pot încerca, în condiții de laborator, diferite tipuri de cuțite de lucrat solul, prin modificarea parametrilor funcționali ai acestora: adâncimea de lucru, unghiul cutitelor de lucrat solul, viteza de lucru (stabilită indirect ca viteza tangentială în mișcarea circulară a brațelor suport), granulația și umiditatea mediului de încercare.

Pentru teste s-au realizat 3 tipuri de cutite tip dalta din diferite tipuri de materiale: C 45 (1), C 45 tratat termic prin calire (2), E 295 (3), iar pentru fiecare tip de cuțit daltă s-au realizat 3 cuțite (Vlăduțoiu L, 2020).

Cuțitele tip daltă s-au montat pe rând în standul de încercări, unde au lucrat la un unghi de atac de 27° și la o adâncime de 22 cm, astfel încât să se poată determina uzura acestora după un număr de ore de funcționare, în figura 4.1, pentru datele noastre, alegându-se o distribuție polinomială.

De asemenea, este reprezentată evoluția creșterii gradului de uzură a celor 3 cuțite tip daltă în cele 8 ore de funcționare. Astfel se poate observa că cuțitul tip daltă din E295 a suferit o uzură mai mică pe toată perioada de funcționare, urmat de cuțitul tip daltă din C 45 tratat termic prin călire, iar cuțitul tip daltă din C 45 a suferit cea mai mare uzură.

Se mai poate observa că, cuțitele tip daltă au suferit cel mai mare grad de uzură în primele ore de funcționare, după care gradul de uzură scade.

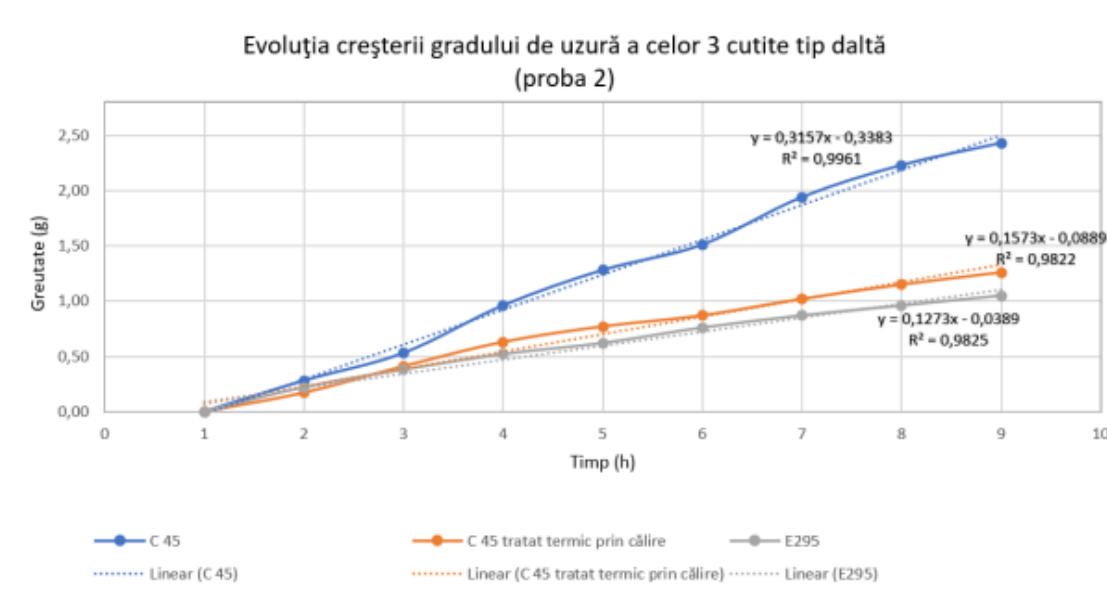


Figura 4.1. - Evoluția creșterii gradului de uzură a celor 3 cuțite tip daltă în nisip uscat

În cele 8 ore de funcționare în nisip umed (figura 4.2), cuțitul tip daltă din E 295 a suferit o uzură de 9.54 grame, cel din C 45 tratat termic prin călire a suferit o uzură de 12.55 grame, iar cuțitul tip daltă din C 45 o uzură de 14.3 grame.

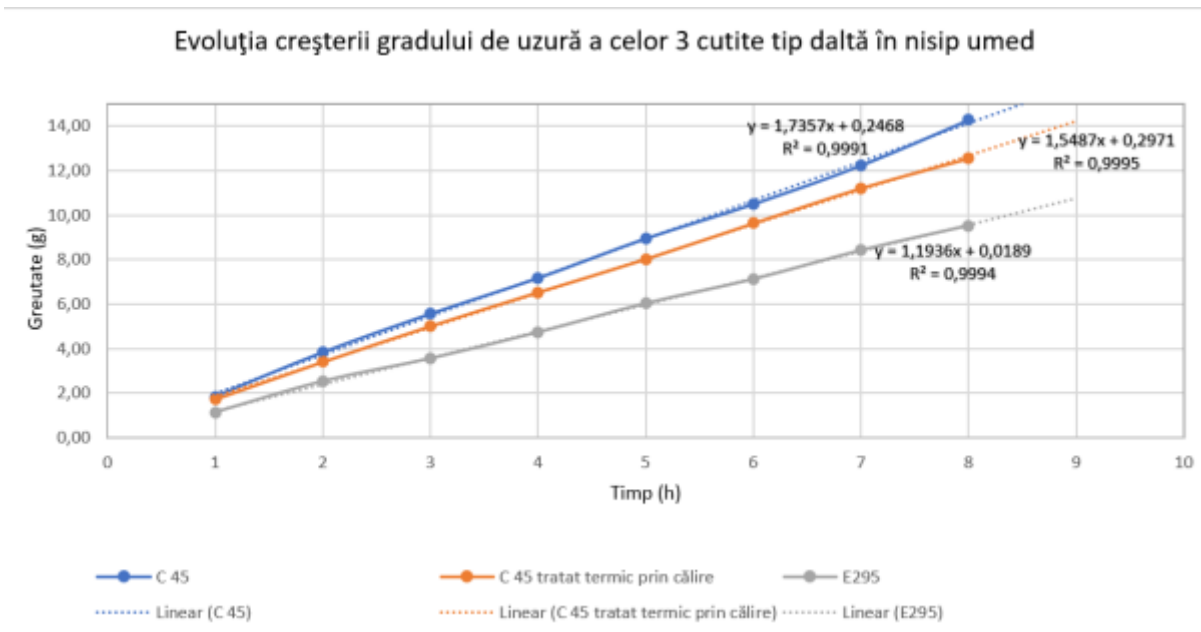


Figura 4.2. - Evoluția creșterii gradului de uzură a celor 3 cutite tip daltă în nisip umed

Standul experimental tribometrul universal CETR (Campbell, CA, USA)

Aceste experimentari s-au realizat cu ajutorul tribometrului universal CETR, aflat în dotarea Departamentului de Organe de mașini și Tribologie, UPB București. Acest aparat poate monitoriza și/sau controla forța pe 2 axe și mișcarea pe trei axe, astfel în acest caz s-au putut măsura cu acuratețe atât forța de încărcare, deplasările cât și viteza indenterului.

În figura 4.3 și 4.4 avem media testelor de penetrare a cuțitului tip daltă în condiția de nisip uscat și nisip umed unde se poate observa că forța maximă cea mai mare este $T_6 = 3,5$ N pentru nisipul ud și forța cea mai mică, avem la $T_5 = 0,5$ N pentru nisipul uscat.

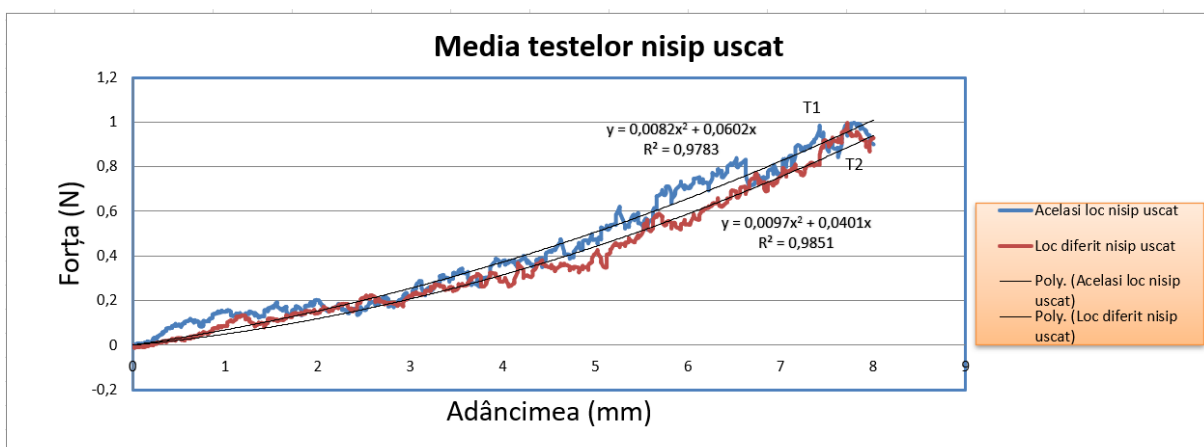


Figura 4.3. - Curbele experimentale rezultate în urma testelor efectuate cu cuțitul tip daltă în condiții de nisip uscat și umed în același loc (T_6 - nisip umed; T_5 - nisip uscat)

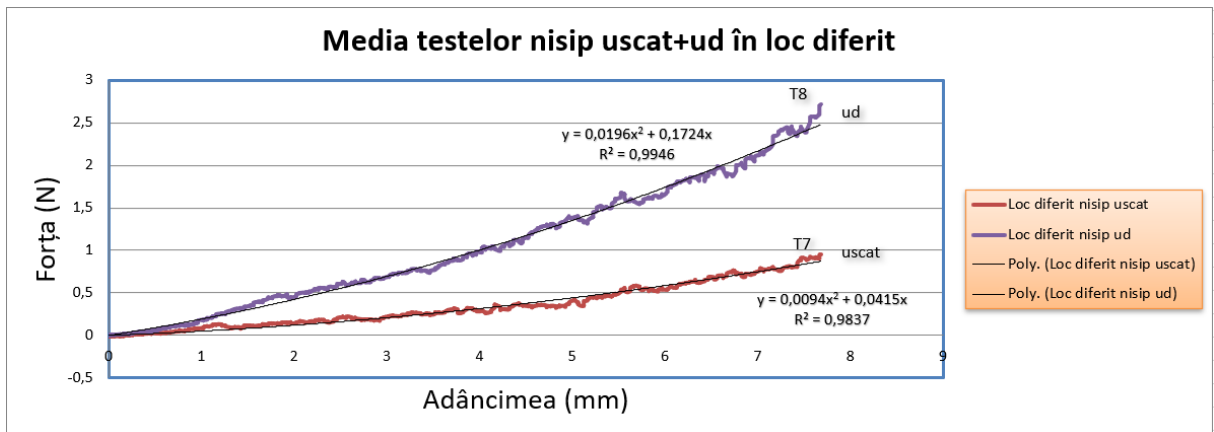


Figura 4.4. - Curbele experimentale rezultate în urma testelor efectuate cu cuțitul tip dalta în condiții de nisip uscat și umed în loc diferit (T_7 nisip uscat; T_8 - nisip umed)

Din analiza curbelor experimentale privind dependența forței de penetrare de adâncime, se observa că prezența apei în nisip (nisipul umed) conduce la creșterea semnificativă a forțelor atât când penetrarea se produce în același loc, cât și în locuri diferite.

CAPITOLUL 5. MODELE TEORETICE DE UZARE A CUȚITELOR MAȘINILOR DE PRELUCRAT SOLUL

Implicațiile economice ale efectelor proceselor de uzare și dezvoltarea cunoștințelor în domeniile mecanicii contactului, chimiei metalelor, reologiei, tribologiei, etc au determinat abordarea fenomenologică a desprinderii particulelor de uzură pentru diferite materiale cu funcționare în medii uscate sau lubrificate. Ecuțiile de uzare sunt "instrumentele" de analiză a comportării materialelor în diferite domenii de lucru și care au viteza relativă.

Meng și Ludema au identificat circa 200 de "ecuații de uzare" pentru diferite materiale și condiții de lucru (Meng, 1995). Ecuțiile de uzare au în vedere formele de deteriorare a suprafețelor și cuprind următorii parametri: forța normală, viteza de alunecare relativă sau viteza de rostogolire, geometria suprafețelor de contact (la nivel local și microscopic), mediul de lucru (aer, lubrifian, vid etc) și proprietățile materialelor implicate (termice, mecanice și chimice).

Ecuția de uzare inițială este cunoscută ca ecuația Archard sau Rabinowicz:

$$v_{uz} = k_{uz} \cdot \frac{F_n \cdot s}{H} \quad (5.1)$$

unde: v_{uz} – este volumul de material uzat și îndepărtat de pe suprafață;

F_n – forța normală;

s - distanța de alunecare;

H – duritatea materialului;

k_{uz} – coeficientul adimensional de uzare.

Model de uzare adezivă a cuțitului utilizat la mașinile de prelucrat program matchad model uz adezcuțit cisel

Comportarea mecanică a solului

Una dintre caracteristicile principale ale solului este aceea că deformațiile de forfecare cresc progresiv când tensiunile de forfecare cresc și la o anumită valoare a deformației apare deteriorarea legăturilor din interiorul materialului. Solul nu poate prelua tensiuni de tracțiune.

Potrivit modelului Coulomb, tensiunea critică de deformare prin forfecare a solului (τ_f) este

$$\tau_f = c_{oz} + \sigma \cdot \tan(\phi) \quad (5.2.1)$$

c_{oz} - este rezistența de coeziune a particulelor materialului sol;

σ - este tensiunea normală (efectivă) din planul considerat;

ϕ - este unghiul de frecare internă din sol (unghi de taluz natural).

Starea de tensiune care duce la deteriorare se analizează cu cercul Mohr. Forfecarea începe la tensiunea maximă și se produce în planul ce face unghiul $(\pi/4 - \phi/2)$ cu direcția principală a tensiunii maxime.

Criteriul de deteriorare Mohr-Coulomb corelează tensiunile dintr-un punct cu parametrii specifici ϕ și c_{oz} . Se disting două cazuri:

- 1) Pământul acționează asupra unui perete fix vertical (presiune activă a solului)
- 2) Un perete vertical "împinge" pământul (presiune pasivă a solului)

$$\sigma_{3p} = \sigma_{1p} \cdot \frac{1 - \sin(\phi)}{1 + \sin(\phi)} - 2c_{oz} \cdot \frac{\cos(\phi)}{1 + \sin(\phi)}$$

unde σ_{3p} și σ_{1p} sunt tensiunile efective principale (fără efectul apei din pori)

$$\text{sau } \sigma_{1p} = \sigma_{3p} \cdot \frac{1 + \sin(\phi)}{1 - \sin(\phi)} + 2c_{oz} \cdot \frac{\cos(\phi)}{1 - \sin(\phi)}$$

Se notează $k_{a(\phi)} = \frac{1 - \sin(\phi)}{1 + \sin(\phi)}$ coeficient al presiunii active a pământului

$$k_{p(\phi)} = \frac{1 + \sin(\phi)}{1 - \sin(\phi)} \quad \text{coeficient al presiunii pasive a pământului}$$

$$\sigma_{f(\phi)} = \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right)$$

Presiunea pasivă a solului- un perete vertical împinge solul cu o grosime z figura 5.1.

Acest caz corespunde cu modul de lucru al unui cuțit vertical care se deplasează pe o direcție orizontală

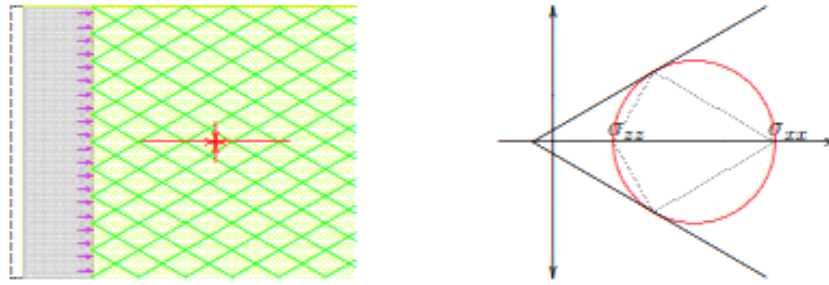


Figura 5.1. Presiunea pasivă a solului asupra unui perete vertical

$$\sigma_{xp}(\rho_s, z, c_{oz}, \phi) = k_p(\phi) \cdot \rho_s \cdot g \cdot z + 2c_{oz} \cdot \sqrt{k_p(\phi)} \quad (5.2.8)$$

variație liniară cu pragul de curgere $\tau_o = 2c_{oz} \cdot \sqrt{k_p(\phi)}$

Exemplu pentru solul cu caracteristicile

$$\rho_s = 2900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \phi = 5 \cdot \frac{\pi}{180} \quad c_{oz} = 2 \cdot 10^3 \quad p_a \quad \alpha_f(\phi) \cdot \frac{180}{\pi} = 42.5 \text{ grade}$$

$$\sigma_{xpa}(\rho_s, 0.3, c_{oz}, \phi) = 1.452 \times 10^4 \quad P_a$$

$$\sigma_{xaa}(\rho_s, z_a, c_{oz}, \phi, h) = k_p(\phi) \cdot z_a + 2 \frac{c_{oz}}{\rho_s \cdot g \cdot h} \cdot \sqrt{k_a(\phi)} \quad (5.2.9 a)$$

$$\sigma_{xpa}(\rho_s, z_a, c_{oz}, \phi, h) = k_p(\phi) \cdot z_a + 2 \frac{c_{oz}}{\rho_s \cdot g \cdot h} \cdot \sqrt{k_p(\phi)} \quad (5.2.9 b)$$

Geometria cuțitului daltă

Cuțitul are lățimea B și grosimea sg (figura 5.2.)

Se consideră $B > sg$.

Forța se consideră uniform distribuită pe lățimea cuțitului.

Unghiul cuțitului este β . Direcția cuțitului față de sol este α . Față de verticală, direcția cuțitului este γ

$$\alpha + \beta + \gamma = \frac{\pi}{2} \quad \gamma(\alpha, \beta) = \frac{\pi}{2} - \alpha - \beta \quad (5.2.10)$$

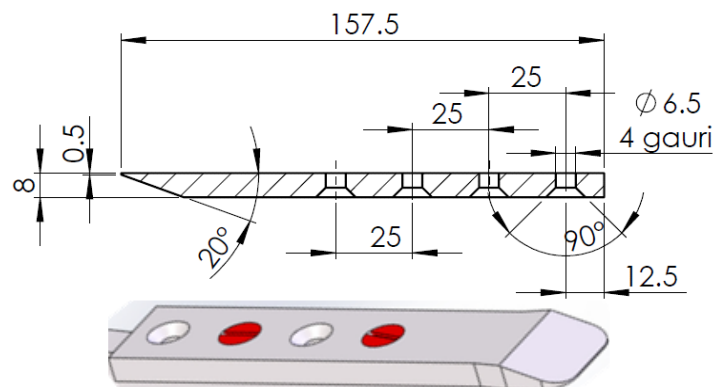


Figura 5.2. Geometria cuțitului daltă

Se atașează două sisteme de coordonate:

- unul fix, atașat de sol cu originea în vârful cuțitului, intrarea inițială a cuțitului în sol și unul mobil, atașat de cuțit care se deplasează față de sol cu viteza v . Axa Oy este pe direcția lățimii cuțitului (B). Între cele două sisteme de coordonate se poate scrie relația

$$\begin{aligned} x_s &= O_s^z & x &= O_z \\ x_s &= x + v \cdot t \\ z_s &= z - c(t) \end{aligned} \quad (5.2.11)$$

t - timpul de lucru

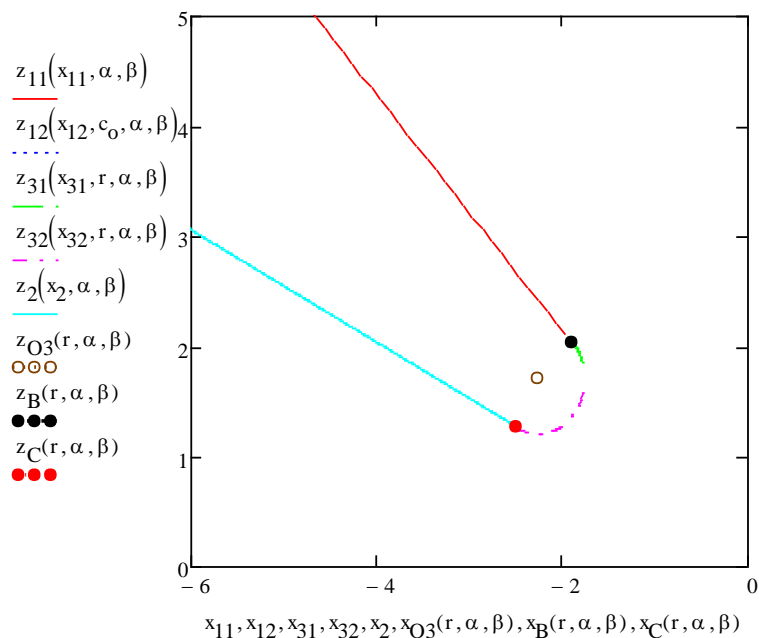
$c(t)$ - avansul pe verticală a cuțitului în sol

h - adâncimea stabilizată de lucru

Cuțitul are trei muchii:

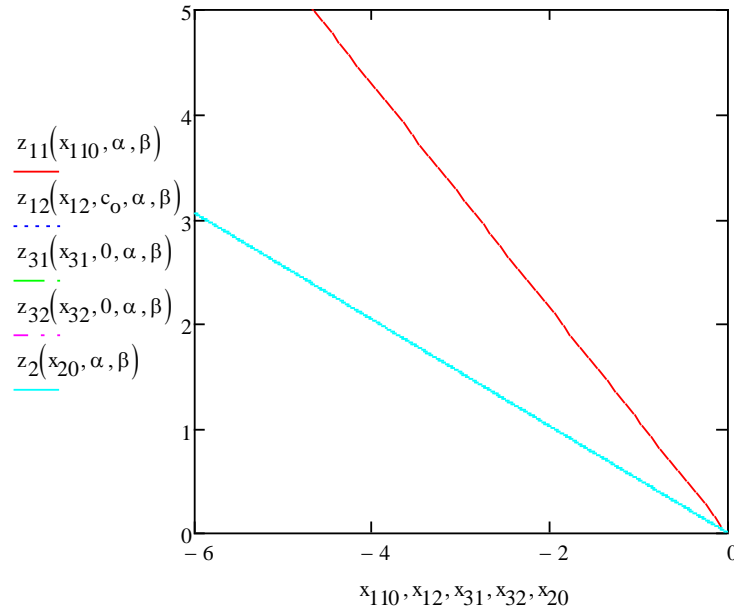
- una principală (1) în contact direct cu solul
- una secundară (2), în spatele cuțitului, în contact cu solul deformat elastic și revenit.

În figura 5.3. a,b se prezintă profilele taișurilor cuțitului de tip daltă, cu vârf rotunjit sau perfect ascuțit. Profilele sunt determinate prin geometrie analitică și realizate în Matchad, prin adimensionalizare față de adâncimea de lucru h .



a)

Cuțit cu vârfrotunjit cu raza



b)

Figura 5.3. Geometria cuțitului daltă cu vârful rotunjit (a) și cu vârful perfect ascuțit (b)

Cuțit perfect ascuțit $r = 0$

Geometria cuțitului daltă pe direcția lățimii:

Lățime cuțit

$B_c = 30 \text{ mm}$

Lățime tăiș $B_t = 32,5 \text{ mm}$

Lungime tăișului pe direcția axei $L_t = 20$

Razele de racordare a cuțitului pe lățime $R_c = 7.5$

Suprafața de contact a cuțitului (zona ascuțită) cu solul în plan frontal (dreptunghi cu baza B_t , lățimea H_c , 2 sectoare circulare S_c cu raza R_c și unghi $\pi/2$)

$$H_c = L_t - R_c$$

$$A_{ct} = H_c \cdot B_t \cdot \frac{\pi \cdot R_c^2}{4} \cdot 2 + R_c(B_t - 2R_c)$$

$$A_c = 625.857 \text{ mm}^2$$

Suprafața totală de contact a cuțitului cu solul atunci când adâncimea de lucru $h > L_t$ (caz normal de lucru)

$$A_{ct}(h) = A_c + (h - L_t)B_c$$

$$A_{ct}(300) = 9.026 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

Lungimea de lucru a cuțitului cu solul pe zona ascuțită

$$B_{cs} = 2H_c + \frac{2\pi R_c}{4} \cdot 2 + L_t - 2R_c =$$

$$B_{cs} = 53.562 \text{ mm}$$

Lungimea totală de lucru la funcționarea normală ($h > L_t$)

$$B_{cs}(h) = B_{cs} + 2(h - L_t) + B_c$$

$$B_{cs}(300) = 643562 \text{ mm}$$

Pe toată suprafața de lucru Act apar presiuni de contact și-n prezența unei viteze de alunecare dintre sol și cuțit vor rezulta uzări ale cuțitului.

Uzarea adezivă a cuțitului de tip daltă

Comportarea materialului cuțitului la uzare (sol = matrice visco-elasto-plastică cu particole abrazive libere) viteza de uzare U_z

$$U_z = \frac{d}{dt} f_n(x,t) = K_w \cdot p_n(x,t) \cdot v_a \quad (5.2.25)$$

unde $K_w \frac{mm^2}{N}$ este parametrul specific (coeficient) de uzare a materialului cuțitului în contact cu solul, dependent de materialul cuțitului și de caracterul abraziv și coroziv al solului.

Dacă se consideră particulele abrazive fixate în sol și cu geometria cunoscută, atunci parametrul de uzare se poate corela cu rezistența la curgere a materialului cuțitului.

De regulă, se determină experimental pentru diferite soluri.

$\frac{d}{dt} f_n(x,t)$ variația profilului pe direcția normală, specifică direcției presiunii $\frac{mm}{s}$

$$\frac{d}{dt} f_n(x,t) = \cos(\delta) \frac{d}{dt} f(x,t) \quad (5.2.26)$$

δ - unghiul tangentei la profil (curba tăișului) cu abscisa (axa Ox) și se determină pe baza derivației profilului

p_n -presiunea normală pe tais

$v_a = \frac{v}{\cos(\delta)}$ viteza de alunecare dintre cuțit și sol pe direcția cuțitului mm/s

Rezultă modificarea profilului cuțitului în timp, numită viteza de uzare a cuțitului pe direcția normală a profilului.

$$v_{uz} = \frac{d}{dt} f(x,t) = K_w \cdot p_n(x,t) \cdot \left[1 + \left(\frac{d}{dx} f(x,t) \right)^2 \right] \cdot v \quad (5.2.27)$$

Se consideră fenomenologic ca pentru un timp mic de lucru Δt , presiunea de contact pe cuțit depinde numai de poziția punctului de contact, poziție relativă la adâncimea de lucru. Se definește intensitatea liniară de uzare (I_{uh}) ca raportul dintre grosimea elementară a stratului uzat (ds_{uz}) și lungimea de frecare elementară (dL_f) care a generat (provocat) acea uzare:

$$I_{uh} = \frac{ds_{uz}}{dL_f} = \frac{d(v_{uz} \cdot t)}{d(v \cdot t)} = \frac{v_{uz}}{v} \quad (5.2.28)$$

$$I_{uh} = \frac{\frac{d}{dt} f(x,t)}{v} = K_w \cdot p(x,t) \cdot \left[1 + \left(\frac{d}{dx} f(x,t) \right)^2 \right] \quad (5.2.29)$$

Pe baza parametrilor specifici solului (E, ν, M, μ_1), geometriei cuțitului și adâncimea de lucru h , intensitatea de uzare cvasistaționară este $\alpha, \beta, c_o, B, r_B, r$

$$I_{uh} = \frac{v_{uz}}{v} = K_w \cdot p \cdot \left[1 + \left(\frac{d}{dx} f(x, t) \right)^2 \right] = K_w \cdot \frac{N_1}{M} \cdot p_a \cdot \left[1 + \left[\frac{d}{dxa} (z_a) \right]^2 \right] \quad (5.2.30)$$

Se definește coeficientul de uzare a cuțitului într-un anumit sol

$$v_{uza} = \frac{I_{uh}}{K_w \cdot \frac{N_1}{M}} = p_a \cdot \left[1 + \left[\frac{d}{dxa} (z_a) \right]^2 \right]$$

$$K_{wsc} = K_w \cdot \frac{N_1}{M} \quad \text{adimensional}$$

și viteza de uzare adimensională a cuțitului într-un anumit sol are expresia

$$v_{uzcs}(x_a, t) = \frac{I_{uh}}{K_{wsc}} = p_a(x_a, t) \cdot \left[1 + \left[\frac{d}{dxa} (z_a) \right]^2 \right] = p_a(x_a, t) \cdot (1 + dzax^2) \quad (5.2.31)$$

$$\text{cu } dzax = \frac{d}{dxa} (z_a)$$

Derivata profilului cuțitului $dzax$

$$\text{pe zona 1.1 a cuțitului} \quad dzax11 = m_{u1}(\alpha, \beta) \quad dzax11 = -1.072$$

$$\text{pe zona 1.2 a cuțitului} \quad dzax12 = m_{u2}(\alpha, \beta) \quad dzax12 = -0.51$$

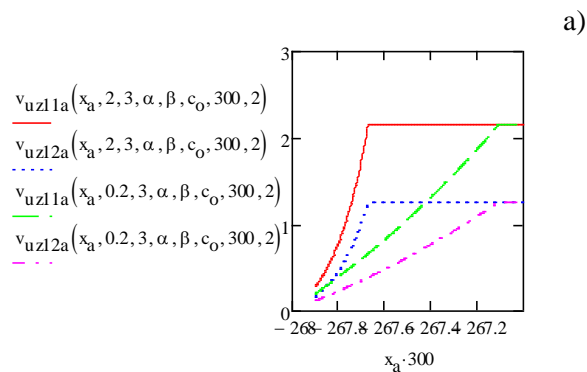
Viteza de uzare adimensională, pentru condiții normale de lucru (presiunea dintre sol și cuțit depășește presiunea critică de fisurare a solului de la vârf până la abscisa de fisurare)

Muchiile 1.1 și 1.2 au pante (derivate) diferite, astfel rezultă viteze de uzare adimensionale diferite:

$$v_{uz11a}(x_a, \mu_1, E, \alpha, \beta, c_o, h, p_{cr}) = p_a(x_a, \mu_1, E, \alpha, \beta, c_o, h, p_{cr}) (1 + m_{u1}(\alpha, \beta)^2) \quad (5.2.31)$$

$$v_{uz12a}(x_a, \mu_1, E, \alpha, \beta, c_o, h, p_{cr}) = p_a(x_a, \mu_1, E, \alpha, \beta, c_o, h, p_{cr}) (1 + m_{u2}(\alpha, \beta)^2) \quad (5.2.32)$$

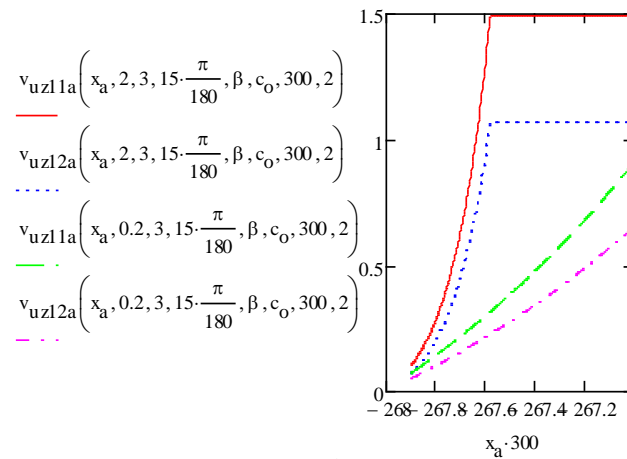
În figura 5.4. se exemplifică variația vitezei de uzare adimensionale pe muchia activă a cuțitului daltă (unghiurie $\alpha=27$ grade, $\beta=20$ grade, tăișul cu $c_o=23,39$ mm), pentru operarea unui sol la adâncimea $h=300$ mm, caracterizat prin $\mu_1=2$ și $\mu_1=0.2$, $E=3$ MPa, $p_{cr}=2$ MPa.



$$v_{uz12a}(x_a, \mu_1, E, \alpha, \beta, c_o, h, p_{cr})$$

$$\alpha \cdot \frac{180}{\pi} = 27 \quad \beta \cdot \frac{180}{\pi} = 20 \quad c_o = 23.39$$

$$v_{uz12a}(x_a, \mu_1, E, \alpha, \beta, c_o, h, p_{cr})$$



b)

$$v_{uz12a}(x_a, \mu_1, E, \alpha, \beta, c_o, h, p_{cr})$$

c)

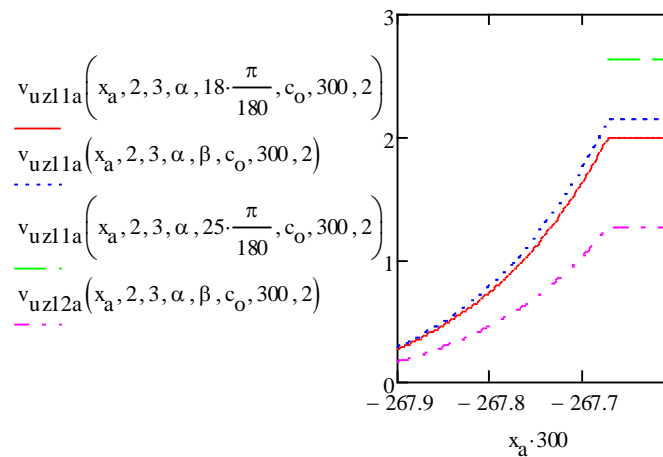


Figura 5.4. Distribuția vitezei de uzare a cuțitului în lungul tăișului pentru diferite caracteristici mecanice ale solului (a), unghiuri de reglare a cuțitului (b) și unghiuri de ascuțire

Deoarece grosimea stratului uzat și îndepărtat de pe cuțit este mică în comparație cu adâncimea de lucru (zecimi de mm față de zeci de mm), se consideră adâncimea de lucru ca fiind constantă chiar dacă se uzează cuțitul. În această ipoteză, poziția punctului de pe cuțit la intrarea în sol (punctul A12) este aceeași având aceleași coordonate.

$$s_{uz11}(x_a, \mu_1, E, \alpha, \beta, c_o, h, p_{cr}, K_w, v, \Delta t)$$

Inițial

$$d_{A00}(c_o) = c_o \quad c_o = 23.39$$

După timpul Δt

$$c_{01}(\mu_1, E, \alpha, \beta, c_o, h, p_{cr}, K_w, v, \Delta t) = c_o - \frac{u_{z11}^S\left(\frac{x_{A0}(\alpha, \beta, c_o)}{h}\right), \mu_1, E, \alpha, \beta, c_o, h, p_{cr}, K_w, v, \Delta t}{\tan(\beta)}$$

Coordonatele noului vârf

$$x_{01}(\mu_1, E, \alpha, \beta, c_o, h, p_{cr}, K_w, v, \Delta t) = \frac{-u_{z11}^S\left(\frac{x_{A0}(\alpha, \beta, c_o)}{h}\right), \mu_1, E, \alpha, \beta, c_o, h, p_{cr}, K_w, v, \Delta t}{\cos(\beta)} \cdot \cos(\alpha)$$

$$z_{01}(\mu_1, E, \alpha, \beta, c_o, h, p_{cr}, K_w, v, \Delta t) = -x_{01}(\mu_1, E, \alpha, \beta, c_o, h, p_{cr}, K_w, v, \Delta t) \cdot \tan(\beta)$$

Analog se determină coordonatele tuturor punctelor de pe profil.

După 2 Δt

$$c_{02}(\mu_1, E, \alpha, \beta, c_{olu}, h, p_{cr}, K_w, v, \Delta t) = 1(\mu_1, E, \alpha, \beta, c_{olu}, h, p_{cr}, K_w, v, 2 \cdot \Delta t)$$

După

$$c_{on}(\mu_1, E, \alpha, \beta, c_{onu}, h, p_{cr}, K_w, v, \Delta t) = c_{01}(\mu_1, E, \alpha, \beta, c_{olu}, h, p_{cr}, K_w, v, 2 \cdot \Delta t)$$

Cu această procedură se determină coordonatele tuturor punctelor de pe profilul cuțitului.

Se exemplifică în figura 5.5., ca detaliu, forma vârfului cuțitului perfect ascuțit după

$\Delta t = 1000$ s de lucru în următoarele condiții:

- Caracteristicile de rezistență (fisurare) ale solului

$$\mu_1 = 1 \frac{mm^2}{N} \quad E = 3 \frac{N}{mm^2} \quad p_{cr} = 1 \frac{N}{mm^2}$$

- Geometria inițială a cuțitului

$$\alpha = 0,471 \quad \beta = 0,349 \quad c_o = 23,39 \text{ mm}$$

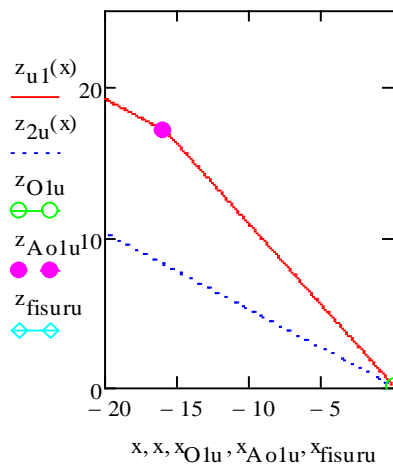
- Parametrul caracteristic uzării materialului cuțitului

$$K_w = 10^{-7} \frac{mm^2}{N}$$

- Viteza de lucru $v = 5 \frac{km}{h} = 1389 \frac{mm}{s}$

- Adâncimea de lucru $h = 300$ mm

Detaliu în zona noului vârf al cuțitului uzat



Detaliu în zona de intrare în sol

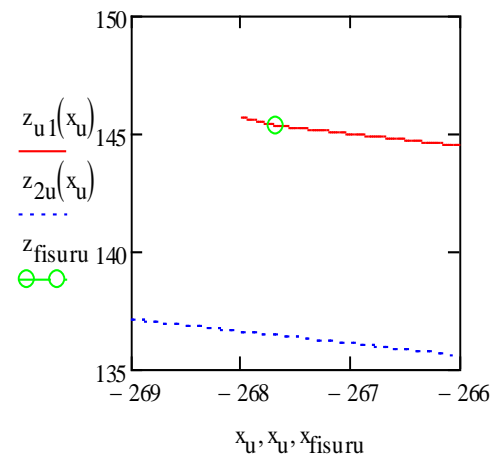


Figura 5.5. Detaliu privind vârful uzat (a) și zona de intrare în sol (b) a cuțitului perfect ascuțit

CAPITOLUL 6. CONCLUZII. CONTRIBUTII. PERSPECTIVE

Din analiza surselor bibliografice, experimentarilor proprii și din modelarea fenomenelor de uzare, specifice organelor active (cutite) ale mașinilor agricole, se pot trage următoarele concluzii

6.1. Concluzii generale.

1. Solul, ca obiect de lucru, este, din punct de vedere reologic, un material complex în continuă schimbare și care are limita de rezistență determinabilă după criteriul Mohr-Coulomb. Parametrii definatorii pentru caracterizarea proprietăților mecanice ale solului, utile fenomenelor tribologice, sunt coeziunea și unghiul de taluz natural, unghi ce evidențiază frecarea internă.

2. Coeziunea și unghiul de frecare dintre nisip și cutit sunt determinați pentru nisip uscat și umed pe un tribometru multifuncțional CETRE-UMT2, prin metoda penetrării. Epruveta are forma cutitului real și reprezintă un model redus la scară 1:8. Materialul și calitatea suprafeței epruvetei sunt similare cu cele ale cutitului real. Aproximarea rezultatelor experimentale privind forța de penetrare a epruvetei cutit, cu funcții polinomiale de gradul 2, permite determinarea energiei în timpul penetrării și evidențierea efectului apei adsorbită de nisip și a efectului penetrării repetate în același loc. Rezultatele experimentale privind forța de penetrare confirmă modelul teoretic referitor la echivalarea cutitului cu un perete vertical supus acțiunii solului.

3. Uzarea cutitelor de plug, realizate din materiale cu tratamente termice noi și depuneri cu straturi pe diferite direcții, are viteza aproximativ constantă. Experimentarile prezentate au

fost realizate la INMA Baneasa (paragraful 2.1) și confirma modelul teoretic privind uzarea prin adeziune, dezvoltat în capitolul .5

4. Uzarea cutitelor dalta în nisipul uscat și în cel umed are o evoluție liniară, viteza de uzare fiind relativ constantă. Aceasta viteză este diferită pentru funcționarea în nisip uscat și funcționarea în nisip umed și pentru materiale diferite. Au fost testate 3 materiale C45, C45 calit și E295. Determinările au fost făcute la INMA Baneasa și Univ. Tehnică din Cluj-Napoca.

5. Modelul teoretic privind tensiunile ce acționează asupra cutitului la penetrare este o adaptare a cazului unui perete vertical sau înclinat ce susține un semispaziu de pământ.

6. Utilizarea geometriei analitice pentru descrierea muchiilor cutitului dalta (funcții liniare, circulare), permite descrierea modelului teoretic de uzare adezivă cu utilizarea unor parametri adimensionalizați.

7. Ipoteza esențială a modelului teoretic de uzare adezivă este condiția de contact continuu dintre cutit și sol, cu deformări elastice și plastice ale solului. Ecuația diferențială a presiunii de contact este de gradul 1, tip liniar, și este rezolvată cu programul MATCHAD 15.

8. Viteza de uzare adezivă teoretică este maximă în vârful și în apropierea acestuia. Forma teoretică a vârfului uzat este similară cu varfurile uzate prezentate în fotografiile din multe surse bibliografice. Pentru varfurile cu muchia circulară, racordată la muchii liniare de pantă diferite, raza vârfului crește în procesul de uzare și se înrăutățește procesul de fisurare a solului în vederea formării brazdei.

9. Modelul teoretic de uzare prin abraziune a cutitului ia în considerare trei moduri de deformare a suprafeței de către particulele rigidizate în matricea solului: deformare elastică ("shakedown"), bordurare ("ploughing") și așchiere ("cutting").

10. Pentru analiza contactului dintre o particulă abrazivă rigidă și suprafața elastoplastică a cutitului se folosesc teoriile clasice ale contactului elastic (Hertz) și condițiile de apariție a deformărilor plastice pentru materiale cu sau fără ecruisare.

11. Se definesc viteza și intensitatea de uzare abrazivă a cutitului ca funcții de proprietățile mecanice ale materialului și de geometria particulei abrazive.

12. Pentru cazul particulelor abrazive ca variabile aleatoare, se analizează cazul înălțimii calotelor sferice ale particulelor, ca variabilă aleatoare, cu raza calotelor de rază constantă.

13. Starea de deformare a suprafeței cutitului se apreciază prin indicii de plasticitate sol-cutit.

14. Pentru evidențierea efectului "vecinătății" a două particule dure, rigidizate, asupra uzării cutitului, se adaptează modelul Xie, potrivit căruia există o distanță critică între două urme vecine la care apare microaschirea.

15. Parametrii principali în procesul de frecare dintre cutit și solul cu particule rigidizate în matrice, sunt coeficientul de uzare Archard și componenta de deformare a coeficientului de frecare. Acești parametri se explicitează pentru cele trei forme de deformare.

16. Parametrii Archard și componenta de deformare a coeficientului de frecare sunt detaliați pentru diferiți parametri statistici ai particulelor abrazive și caracteristici deterministe ale proprietăților de material.

6.2. Contribuții aduse de această teză

A) în domeniul documentar

- Studiul bibliografic privind proprietățile fizice și caracteristicile mecanice ale solului, cu influența asupra organelor de lucru ale mașinilor agricole.

- Studiul bibliografic al rezistenței la penetrare a solurilor și a aparatelor utilizabile.

- Studiul rezistențelor la uzare abrazivă și adezivă a materialelor.

- Sinteză privind definirea organelor mașinilor agricole cu procese intensive de uzare și cu scoaterea din funcțiune ca urmare a uzurilor excesive.

- Analiza efectelor durificării suprafețelor brazdărilor de plug pentru arat asupra uzurii brazdărilor, pentru experimentele făcute anterior tezei, la INMA.

B) în domeniul cercetărilor experimentale și al standurilor folosite

- Realizarea unui dispozitiv de montarea a cutitelor de tip dalta pentru un stand de la Universitatea Tehnică din Cluj Napoca.

- Participarea la realizarea unui stand nou de încercare la uzare a cutitelor de tip dalta în diferite tipuri de soluri, stand realizat la INMA.

- Clasificarea nisipului testat cu site calibrate.

- Determinarea vitezelor de uzare a cutitelor de tip dalta, realizate din 3 materiale, în nisip uscat și în nisip umed, evidențiind rolul umidității asupra creșterii vitezei de uzare.

- Determinarea rezistenței de coeziune a nisipului uscat și umed și a coeficientului de frecare dintre cutit și nisip, utilizând o metodă nouă - metoda penetrării cu cutit epruvetă.

- Adaptarea tribometrului CETRE-UMT2 pentru determinarea parametrilor de rezistență ai solului (coeziune, frecare cutit sol).

C) În domeniul teoretic și al programelor de calcul

- Deducerea dependenței forței de penetrare în sol de adâncime, de proprietățile mecanice ale solului (coeziune, unghi de frecare internă - unghi de taluz natural) și de frecarea dintre cutit și sol.

- Adaptarea ingenioasă a unui model de uzare prin adeziune la cazul particular cutit-sol și folosirea unor parametrii adimensionali drept criteriu de similitudine.

- Realizarea unui model nou de uzare abrazivă a cutitelor mașinilor de lucrat soluri cu particule abrazive fixate în matrice.

- Realizarea a 3 programe de calcul în utilitarul MATCHAD 14 privind uzarea prin adeziune, uzarea prin abraziune și a forțelor și tensiunilor în procesul de penetrare.

6.3. Perspective

Lucrarea deschide câteva perspective de continuare a cercetărilor:

- luarea în considerare a efectului coroziv al solului asupra uzurii globale

- efectul cumulativ al uzurilor de adeziune- abraziune și coroziune

- soluții tehnologice și geometrice pentru creșterea rezistenței la uzare.

7. Listă de lucrări

CARDEI P., VLADUTOIU L., CHISIU G., TUDORA, SORICA C., GHERES M., GHEORGHE G. AND MURARU S. (2018), Research on friction influence on the working process of agricultural machines for soil tillage, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. **444 (2)**;

VLĂDUȚOIU L, T. L. FECHETE, I. A. GRIGORE, E. SORICA, A. PETRE, O. D. CRISTEA (2020), Experimental researches on determination of wear of working part of chisel type made of three types of materials, Scientific Papers INMATEH - Agricultural Engineering appearing in print (ISSN 2068 – 4215) and on-line (ISSN 2068 – 2239), Volume **62/No.3/2020**, p.p. 269-276;

ANDREI TUDOR, LAURENTIU VLADUTOIU, SORIN STEFAN BIRIS (2014), Wearing model of soil processing machines knives”, în cadrul Conferinței Internaționale de Tribologie organizată de „Balkan Tribological Association” în perioada 30.10-01.11.2014 în Sinaia;

VLADUTOIU L., A.TUDOR, S.BIRIS, V.VLADUT (2014), Un model de uzură a cutitelor utilajelor din agricultură” în cadrul Conferinței Internaționale 5th ICMEN and 11th THE "A" Coatings International Conferences Salonik, Grecia;

VLĂDUȚOIU L., VLĂDUȚ V., VOICULESCU I., MATAȘCHE M., RADU O., BIRIȘ S., VOICEA I., PARASCHIV G., ATANASOV AT., USENKO M. (2015), „The increase of active bodies of agricultural machines in work by hardening”, în cadrul conferinței 43rd International Symposium "Actual Tasks on Agricultural Engineering", în perioada Martie/2015;

VLĂDUȚOIUL., A. TUDOR, V. VLADUT, C. MURARU, O. RADU, A. PETCU (2015), „Apparatus and equipment for determination of soil physical and mechanical characteristics”, în cadrul

conferinței 4 th International conference on thermal equipment, renewable energy and rural development, perioada 04-06.06.2015;

VLĂDUȚOIU L, CROITORU ST., A. TUDOR, ATANASOV AT., V. VLADUT, S. BIRIS, O. RADU, DUMITRU I. (2015), „Optimization of soil works for maintaining a good agrophysics state of the soil”, în cadrul Conferinței Internaționale Research people and actual tasks on multidisciplinary sciences, volume 1 Agriculture and Veterinary medicine Technical sciences, Processing & Post Harvest Technology and Logistics, Power and machinery, Lozenc, Bulgaria, 24-28 iunie 2015;

VLĂDUȚOIU Laurențiu, TUDOR Andrei, FECHETE-TUTUNARU Lucian, GRIGORE Iulia, SORICĂ Elena, DETERMINAREA UZURII ORGANELOR ACTIVE ALE UNUI SCARIFICATOR, ÎN REGIM ACCELERAT, FUNCȚIE DE TIPUL DE MATERIAL UTILIZAT, Târgul Internațional de Invenții și Idei Practice Invent–Invest Constantin-Marin Antohi, ediția a 12-a, 10 Decembrie 2021 - Iași, România.

Vladutoiu, L., Andrei, T., Fechete, L., Marin, E., Vladut, V., Matache, M., Dumitru, I. "DETERMINING THE WEAR OF ACTIVE ORGANS FOR PROCESSING SOIL DEPENDING ON THE WORKING DEPTH", Annals of the University of Craiova -2016.

Bibliografie (Extras)

- 1. Braharu D., Băjenaru S., Vlăduț V., Matache M. 2007.** *Researches regarding materials selection of the operating parts manufacturing for soil cultivation.* Materials and treatments used for their design, Annals of University of Craiova - Agriculture, Montanology, Survey, vol. XXXVII / B 2007, Craiova - Romania, pag. 48-55, ISSN 1841-8317;
- 2. Cardei P., Vladutoiu L., Chisuiu G., Tudor A., Sorica C., Gheres M., Gheorghe G. And Muraru S. 2018,** *Research on friction influence on the working process of agricultural machines for soil tillage,* IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. **444 (2)**;
- 3. Dokuchaev VV., 1883,** *Cernoziom rusesc:* (Raport către Societatea Economică Liberă). Sankt Petersburg: tip. Decleron și Evdokimov, 376 p;
- 4. Epure (Totolici) I. Ioana Cătălina, 2011.** *„Modelarea teoretică și experimentală a procesului de afânare-scarificare a solului”,* Teza doctorat Universitatea TRANSILVANIA din Brașov - Facultatea de Alimentație și Turism, Brașov;
- 5. Fechete L.V. 2008.** *„Cercetări privind optimizarea procesului de prelucrare mecanică a solului”,* Teza de doctorat, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca;

6. **Matache M. și alții 2006**, Proiect “*Materiale de fricțiune complexe pe bază de fier și/sau cupru pentru sistemele de frânare ale mașinilor și echipamentelor destinate agriculturii realizate prin tehnologii integrate*”, Program CEEEX, INMA Bucuresti;
7. **Meng H.C., Ludema K.C., 1995**, *Wear models and predictive equations: their form and content*, ELSEVIER Wear 181-183 (1995) 443-457, SSDI 0043-1648(94)07102-O;
8. **Tanco Corneliu 2011**, “*Cercetări privind îmbunătățirea calitativa a partilor active, supuse uzurii la utilajele agricole aplicand tehnologii de incarcare prin sudare*” teza de doctorat, Brasov;
9. **Țenu I., Jităreanu1 G., Muraru-Ionel C., Cojocariu1 P., Muraru V.M. 2009**, *The impact of mechanization technologies on soil*. Environmental Engineering and Management Journal 8(5), pag. 1263-1267;
10. **Tomescu D., Mitrol C., Florea St., 1975**, *Repararea utilajului agricol*, București: CERES, 340 pag.;
11. **Visa I., Rus F. și alții 2009**, *Studiu privind sistemele complexe și metodologiile utilizate pentru determinarea caracteristicilor fizico mecanice ale solurilor*, Proiect ”Cercetari privind promovarea unui sistem complex pentru evaluarea caracteristicilor fizico mecanice ale solurilor in vederea cresterii sigurantei si securitatii productiei agricole”, Universitatea Transilvania din Brașov;
12. **Vlăduțoiu L., T. L. Fechete, I. A. Grigore, E. Sorica, A. Petre, O. D. Cristea 2020**, *Experimental researches on determination of wear of working part of chisel type made of three types of materials*, Scientific Papers INMATEH - Agricultural Engineering appearing in print (ISSN 2068 – 4215) and on-line (ISSN 2068 – 2239), Volume 62/No.3/2020, p.p. 269-276;
13. **Vlăduțoiu L., Tudor A., Fechete T. L., Grigore I., Sorică E., 2021**. *Determinarea Uzurii Organelor Active Ale Unui Scarificator, În Regim Accelerat, Funcție De Tipul De Material Utilizat*, Târgul Internațional de Invenții și Idei Practice Invent–Invest Constantin-Marin Antohi, ediția a 12-a, 10 Decembrie 2021 - Iași, România;