



Universitatea *Transilvania* din Brașov

TEZĂ DE ABILITARE

**CONTRIBUȚII PRIVIND CREȘTEREA COMPETITIVITĂȚII
SCULELOR DIN OȚELURI ALIATE**

Domeniul: Inginerie industrială

**Autor: Conf. Dr. Ing. Dorin-Ioan CĂTANĂ
Universitatea Transilvania din Brașov**

BRASOV, 2016

CUPRINS

(A) Summary	2
(B) Realizări științifice și profesionale și planuri de evoluție și dezvoltare a carierei	5
(B-i) Realizări științifice și profesionale	5
Introducere	5
Capitolul 1 Materiale utilizate în construcția sculelor	7
1.1 Materiale utilizate în construcția sculelor – evoluție și tendințe	7
1.2 Compoziția chimică a oțelurilor rapide standardizate în România și echivalența lor internațională	14
1.3 Tendințe privind prelucrarea sculelor așchietoare	17
Capitolul 2 Tratamente termice neconvenționale aplicate materialelor destinate sculelor	21
2.1 Influența tratamentelor termomecanice asupra proprietăților oțelurilor rapide	21
2.2 Comportarea în așchiere a sculelor tratate termomecanic	36
2.3 Influența tratamentului termomecanic asupra durității și uzurii oțelului rapid HS 2-9-1-8	43
2.4 Influența tratamentului termic cu surse concentrate de energie asupra proprietăților oțelurilor aliate	48
2.5 Cercetări privind tratamentul termic cu energie solară aplicat oțelurilor aliate	50
2.6 Contribuții privind accelerarea îndepărtării straturilor subțiri dure	67
2.7 Influența tratamentelor termice asupra proprietăților oțelurilor aliate pentru scule	76
Capitolul 3 Simularea și modelarea proceselor tehnologice	83
3.1 Metoda elementelor finite	83
3.2 Aplicarea simulării în procesul de realizare a sculelor	87
(B-ii) Planuri de evoluție și dezvoltare a carierei	98
(B-iii) Bibliografie	100

(A) SUMMARY

The habilitation thesis reflects some of the author's achievements, in more than 30 years since from the graduation of the university studies. More than 25 years of my activity took place in academic education. I think that my professional evolution covered the necessary and natural steps for such an approach (supporting of the habilitation thesis). I started as process engineer, I continued as design engineer and university teacher since 1990. The habilitation thesis presents the author's scientific contributions made to increase the quality tools used by the industry. The personal achievements in the research area were the basis of information for the articles published in the indexed ISI and BDI journals. Understanding that classical technologies have consumed the development-innovation capacity of new products, I considered that only the technologies combination is the path that, I must follow for performing the proposed researches. This is why that, researches were directed towards unconventional technologies that can be applied to the mentioned field. They already have some practical application or tend to be widely applied at industrial or semi-industrial level. The habilitation thesis presents the results of the green and renewable energy application in the materials domain for tools. The thesis is divided into three chapters.

The first chapter presents the evolution of cutting tools globally and what are the trends in the field. The evolution of tools used in the production process is closely related to the machine-tools domain. The connection is of strong dependency because the progress of machine-tools causes immediately the development of the new tools type, or model. The tools are those parts of the processing chain that allow exploitation to the full potential of the capabilities owned by the new machine-tools. The chapter begins by the presenting of the tools production evolution, globally. This shows that except the last crisis period, when their production decreased, actually, the sector began to show slight increases. The European Union occupied the first place in 2012 in the export tools and predictions show that the tools production will record substantial increases until 2020. From the viewpoint of the materials used in tools manufacturing, the study shows that high speed steels (HSS) will still be very processed. The information is surprising because many consultants and in various environments, it is approved the idea that this type of material have not such weight in the tools production. The overall outcome of the tools production permits to be intuited how important are improvements that can be made to the tools, regardless of the ways they do. Also, in this section are presented which are the most efficient manufacturing methods of the materials used to obtain tools. From the viewpoint of the material

and energy consumption, the tools manufacturing exclusively based on the chip removal process is most disadvantageous.

In the chapter II, I presented the influence of the applying unconventional technologies on the material properties used at the tools manufacturing and the behaviour in cutting of the tools obtained by such technologies. A negative aspect met in the cutting tools manufacturing is the high consumption of the high alloy steels, because of the majority production of the cutting tools is obtained by chip removal process. For this reason, the combining of the two classical technologies was the idea applied to increase the materials performances used for the tools. The applying of thermomechanical treatment to the tool materials has not been without obstacles. As a result of tests it was determined the dependence between the deformation resistance and the deformation process parameters: speed and temperature. The hardness and resilience tests performed on the thermomechanical treated materials allowed to decide, which is the optimum deformation degree applied in the time of the thermomechanical treatment. The thermomechanical treatment conditions established, the research continued with the cutting behaviour tests of the cutting tools obtained by this process. The habilitation thesis presents the attempt results performed with the disk-type of milling cutter (cutter disk) obtained by thermomechanical treatment. In all performed tests, the tools manufactured by classical method had a behaviour more worse than those treated thermomechanical. The applying of thermomechanical treatment was extended to other steels to see if the same effect is obtained. The studies show that when applying the additional plastic deformation, the wear behaviour is better than when this operation is missing. Another treatment that was applied to materials used for tools was to use concentrated energy sources. For this type of treatment, the classic alternative offered the most unfavourable results. A last attempt was the using of clean energy for the tool steels treatment. For the mentioned operation it was used the solar energy that allowed the specimens heating at temperatures recommended by the literature, more precisely over 1200°C. The preliminary processing of the results shows that this energy can be used successfully in such operation. Also, the chapter presents the finding of technical solutions for to accelerate the removing of the hard thin layers deposited on tools. The study was performed at the request of the industrial partner that activates in the field. The solution consists in the applying of a mechanical energy surplus in the bath with solution dedicated to the removal operation. The last part of the chapter shows the influence of the heat treatments on the alloy steels properties, for tools.

The last chapter presents the opportunities for increase the tools competitiveness, using simulation process or 3D modelling. The relation between, deformation resistance, deformation speed and temperature established in the second chapter and the calculus of the elasticity

modulus for the tested materials permitted the study by simulation of the semi-finished product plastic deformation, from the start to end. The simulation results are close to those achieved in reality. Another way to study what happens during cutting process is to create virtual machine tools. Using this technique shows that optimization tools can be made more easily and quickly, still the design phase of them.

The studies presented in the habilitation thesis, were performed on several processes to show that, because of the wide diversity of the tools materials and types is excluded the applying of a single technological process for all cases. The tool geometry, utilization domain and material are those that will indicate the technological process fittest for maximizing the tool performances.

(B) REALIZĂRI ȘTIINȚIFICE ȘI PROFESIONALE ȘI PLANURI DE EVOLUȚIE ȘI DEZVOLTARE A CARIEREI

(B-i) Realizări științifice și profesionale

Introducere

Teza de abilitare cuprinde partea din cercetările efectuate de autor, care se referă la contribuțiile aduse de acesta la creșterea performanțelor sculelor realizate din oțeluri aliate. De asemenea, cercetările au fost efectuate după obținerea de autor în anul 1997, a titlului de Doctor inginer. Preocuparea legată de îmbunătățirea performanțelor sculelor, indiferent de domeniul de întrebuițare al lor, a fost o continuare a activității desfășurate în timpul doctoratului. Datorită volumului mare de scule care sunt folosite în industriile din întreaga lume, este firească preocuparea a numeroase grupuri de cercetători în ameliorarea caracteristicilor sculelor, cunoscându-se că orice beneficiu câștigat în perioada de exploatare, înseamnă importante economii în zona resurselor financiare. Activitatea de cercetare s-a desfășurat la sfârșitul anilor 1990 și începutul anilor 2000 cu sprijinul următoarelor societăți comerciale: SC Rulmentul SA, SC FSR SA și SC Mecod SA. Din cauza evoluției economiei, o parte din întreprinderile menționate și-au încetat activitatea iar altele au înregistrat reduceri semnificative ale volumului producției, cu implicații directe asupra fondurilor destinate cercetării, modernizării producției și dezvoltării de noi produse. Conjuctura creată a avut repercursiuni directe asupra numărului temelor de cercetare disponibile, suprapunându-se și cu o scădere a fondurilor guvernamentale investite în cercetare. Factorii prezentați, precum și înclinația autorului spre cercetările cu aplicabilitate practică, l-au forțat să găsească noi parteneri industriali care să fie interesați de cercetările cu caracter aplicativ. Eforturile depuse au avut succes, în acest moment existând colaborări, cei drept, în fază incipientă cu un partener industrial.

Pe lângă sprijinul mediului industrial, activitatea de cercetare a beneficiat și de infrastructura de cercetare a facultății de Știința și ingineria materialelor și în special de dotarea existentă în laboratoarele de cercetare ale departamentului de Ingineria materialelor și sudură. Creșterea performanțelor sculelor, presupune în viziunea autorului, acționarea asupra celor două elemente principale ale acestora și anume materialul și geometria sculei. Direcțiile de cercetare abordate au fost:

- tehnologii neconvenționale aplicate materialelor implicate în studiu;
- modelarea și simularea proceselor tehnologice.

Rezultatele obținute în timpul cercetărilor efectuate au fost comunicate prin articole publicate în reviste indexate ISI, BDI și la diverse conferințe naționale sau internaționale. Activitatea desfășurată de autor în învățământul superior în peste 25 de ani a permis dezvoltarea de competențe în:

- tehnologii de prelucrare primare și secundare;
- testarea materialelor;
- prelucrarea și interpretarea rezultatelor cercetărilor;
- optimizarea proceselor prin modelare matematică;
- modelarea și simularea proceselor tehnologice prin utilizarea programelor software

dedicate (Solid Edge, MSC-SuperForm, Femap).

Informațiile asimilate până în prezent au fost completate prin participarea în anul 2015 într-un contract de cercetare, câștigat prin competiție internațională și desfășurat în Spania. Experiența acumulată în timpul activității profesionale și care a urmat aproape linia ideală pentru orice cadru didactic implicat în învățământul superior (producție, proiectare, cercetare), precum și dorința de a transmite tinerilor pasiunea pentru cercetare-inovare, care i-a fost dezvoltată autorului de cadrele didactice cu care a avut onoarea și plăcerea să colaboreze, l-a determinat să elaborez această Teză de abilitare. Din punct de vedere al criteriilor minimale necesare obținerii abilitării, autorul consideră că acestea sunt îndeplinite.

Autorul este absolventul Universității din Brașov, Facultatea de Tehnologia Construcțiilor de Mașini, secția Mașini-unelte – promoția 1985. Din anul 1990 este cadru didactic titular al Universității Transilvania din Brașov, în cadrul departamentului de Ingineria Materialelor și Sudură. În 1993 și 1998 a ocupat prin concurs posturile de șef de lucrări și respectiv conferențiar. Câteva din disciplinele la care autorul din 1993 este titular sunt: Ingineria materialelor, Ingineria materialelor avansate și mai nou cele din domeniul securității și sănătății ocupaționale.

Teza de abilitare prezentată în următoarele capitole descrie realizările autorului în privința creșterii performanțelor sculelor din oțeluri aliate.

Capitolul 1 – Materiale utilizate în construcția sculelor

1.1 Materiale utilizate în construcția sculelor – evoluție și tendințe

Dezvoltarea sculelor (în particular a sculelor așchietoare) și a procedeelor de prelucrare prin așchiere a depins în mare măsură de apariția mașinilor-unelte și a diferitelor materiale utilizate pentru fabricarea sculelor. La început sculele așchietoare se executau din fontă. Dezvoltarea procedeelor de elaborare a oțelurilor aliate, a oțelurilor rapide și a posibilităților de călire la temperaturi înalte a însemnat un salt calitativ în domeniul fabricării acestor scule. Privind tabelul periodic al elementelor (fig. 1.1 [43]) se constată că numărul elementelor chimice cunoscute este de 118.

TABELUL PERIODIC AL ELEMENTELOR
(CONFORM RECOMANDĂRIILOR IUPAC)

numărul atomic → 1 ← configurația electronică
 Simbolul (stare solidă, lichidă, gazoasă) → H ← denumirea elementului
 masa atomică → 1,008 ← raza atomului Å
 temperatura de topire °C → 273,24

GRUPA 1 (IA) 2 (IIA) 13 (IIIA) 14 (IVA) 15 (VA) 16 (VIA) 17 (VIIA) 18 (VIIIA)

1 (I) H 2 (II) He
 3 (III) Li 4 (IV) Be 5 (III) B 6 (IV) C 7 (V) N 8 (VI) O 9 (VII) F 10 (VIII) Ne
 11 (II) Na 12 (III) Mg 13 (III) Al 14 (IV) Si 15 (V) P 16 (VI) S 17 (VII) Cl 18 (VIII) Ar
 19 (I) K 20 (II) Ca 21 (III) Sc 22 (IV) Ti 23 (V) V 24 (VI) Cr 25 (VII) Mn 26 (VIII) Fe 27 (VIII) Co 28 (VIII) Ni 29 (IX) Cu 30 (X) Zn 31 (III) Ga 32 (IV) Ge 33 (V) As 34 (VI) Se 35 (VII) Br 36 (VIII) Kr
 37 (I) Rb 38 (II) Sr 39 (III) Y 40 (IV) Zr 41 (V) Nb 42 (VI) Mo 43 (VII) Tc 44 (VIII) Ru 45 (VIII) Rh 46 (IX) Pd 47 (X) Ag 48 (XI) Cd 49 (III) In 50 (IV) Sn 51 (V) Sb 52 (VI) Te 53 (VII) I 54 (VIII) Xe
 55 (I) Cs 56 (II) Ba 57-71 (III) La-Lu 72 (IV) Hf 73 (V) Ta 74 (VI) W 75 (VII) Re 76 (VIII) Os 77 (VIII) Ir 78 (IX) Pt 79 (X) Au 80 (XI) Hg 81 (III) Tl 82 (IV) Pb 83 (V) Bi 84 (VI) Po 85 (VII) At 86 (VIII) Rn
 87 (I) Fr 88 (II) Ra 89-103 (III) Ac-Lr 104 (IV) Rf 105 (V) Db 106 (VI) Sg 107 (VII) Bh 108 (VIII) Hs 109 (VIII) Mt 110 (IX) Ds 111 (X) Rg 112 (XI) Uub 113 (III) Uut 114 (IV) Uuq 115 (V) Uup 116 (VI) Uuh 117 (VII) Uus 118 (VIII) Uuo

bloccul de elemente s bloccul de elemente d bloccul de elemente p metale nemetale
 LANTANIDE
 ACTINIDE
 bloccul de elemente f

Fig. 1.1 Tabelul periodic al elementelor[43]

Un număr considerabil de elemente, care induce ideea potrivit căreia aliaje disponibile pentru fabricarea sculelor este foarte mare. Considerând aliajele formate din două elemente chimice, numărul posibil de aliaje ce se pot forma este de 6.903 (C_{118}^2). Realitatea este alta, deoarece doar două elemente chimice Fe și C sunt cele folosite preponderent în construcția sculelor și acestea

sub forma celor două aliaje cunoscute: oțeluri și fonte. Pe lângă cele două elemente chimice ce formează aliajele menționate (Fe elementul metalic și majoritar), la elaborarea materialelor destinate sculelor mai sunt întrebuițate și alte elemente chimice, numite de aliere, care vor imprima anumite proprietăți aliajelor respective. Procentul acestora în aliaj, compuşii chimici rezultați și microstructura obținută vor influența decisiv proprietățile mecanice și tehnologice ale materialelor elaborate.

O altă observație ce trebuie menționată este că nu pot fi folosite ca elemente de aliere restul de 116 elemente chimice rămase, ci doar un număr destul de restrâns din acestea. Elementele de aliere cele mai des utilizate în materialele destinate sculelor sunt Si, Mn, Cr, Ni, Mo, V, W, Co, Cu, Al, Ti, Nb, Zr. O primă concluzie este aceea că materialele posibil a fi folosite la fabricarea sculelor este mic, motiv pentru care se încearcă permanent găsirea unor soluții pentru îmbunătățirea performanțelor acestor materiale.

În general, procesul de producție industrial presupune existența următoarelor elemente: materie primă (semifabricat), mașină-unealtă (m-u) și operator uman. Mașina-unealtă este parte a cuplului mașină-unealtă – sculă așchietoare (sculă). Se poate vorbi de scule doar în contextul existenței unei mașini-unelte (a unui echipament). De asemenea se cunoaște că durata normală de funcționare a unei mașini-unelte este de ordinul zecilor de ani, aceasta depinzând de numărul orelor de funcționare și modul de întreținere. În tot acest interval de timp m-u este deservită de un număr relativ mare de scule. Evoluția pieței de mașini-unelte (numărul de mașini-unelte ce se produc) este în strânsă legătură cu cererea înregistrată de alte domenii industriale. Pentru a anticipa evoluția pieței de mașini-unelte și scule s-a apelat la informațiile disponibile în momentul redactării tezei de abilitare. În studiul High speed steel (HSS) metal cutting tools markets trends – The global high speed steel (HSS) metal cutting tools market, trend, drivers & projections efectuat de cei de la Global Industry Analysts Inc. se prezintă evoluția pieței de scule așchietoare [45].

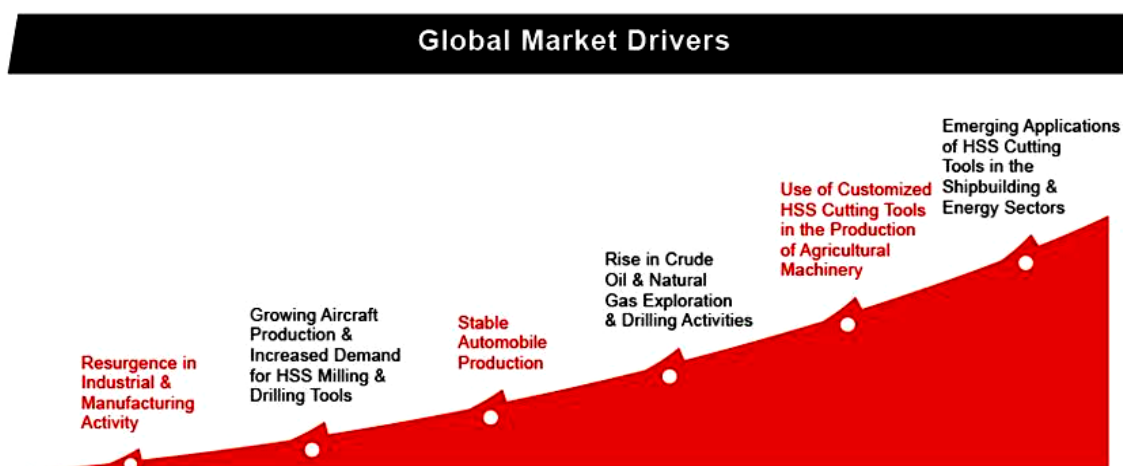


Fig. 1.2 Evoluția industriilor consumatoare de scule așchietoare [45]

Conform datelor disponibile [45] principalele industrii consumatoare de scule aşchietoare vor avea evoluţia prezentată în figura 1.2. Figura I.2 arată legătura care există între industriile luate în studiu, care vor avea creştere în următoarea perioadă de timp şi cererea de scule aşchietoare din oţel rapid (cunoscut sub denumirea de HSS).

Evoluţia viitoare a producţiei de scule din HSS la nivel global şi care este regiunea cu cea mai mare cerere se prezintă în figura 1.3.

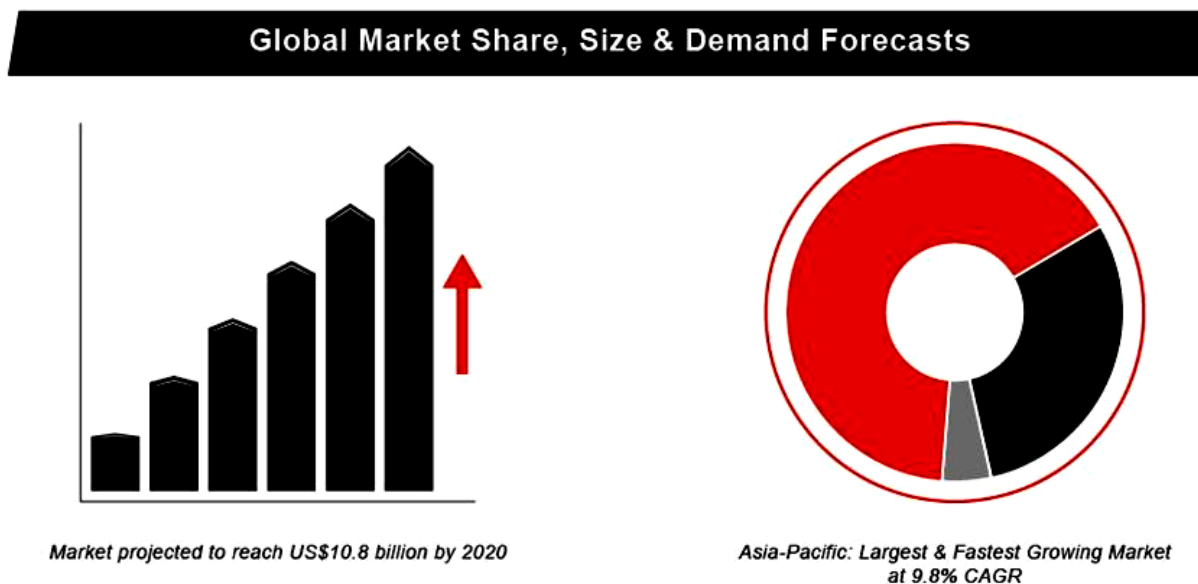


Fig. 1.3 *Evoluţia viitoare a producţiei de scule aşchietoare din HSS [45]*

Analiza arată, că la nivel global producţia şi implicit cererea de scule aşchietoare din HSS vor avea creşteri, cea mai mare cerere va proveni din partea regiunii Asia-Pacific.

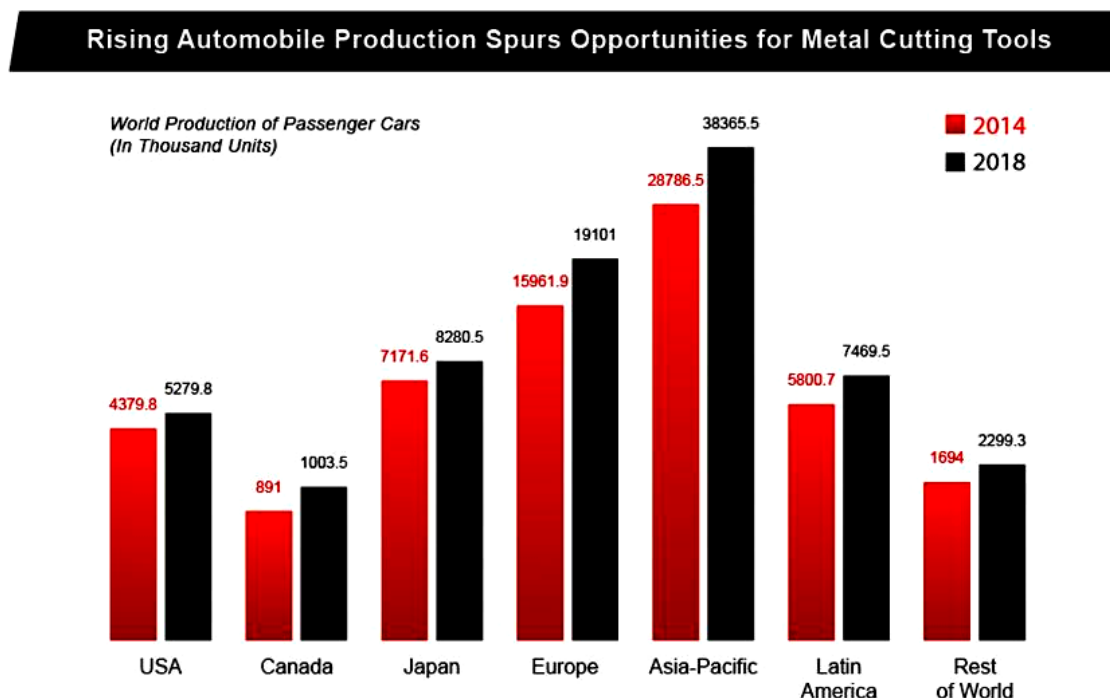


Fig. 1.4 *Evoluţia pieţei de autovehicule [45]*

O altă industrie care este studiată pentru a se înțelege cum va evolua cererea de scule și implicit a celei de scule așchietoare este a producției de autovehicule pentru pasageri. Figura 1.4 [45] prezintă modul de evoluție a producției de autovehicule.

Toate piețele importante din acest domeniu au creșteri de producție cea mai mare înregistrându-se tot în zona Asia-Pacific. Cerere de produse industriale mare înseamnă producție de m-u crescută și automat și consum foarte mare de scule așchietoare. Previțiunile referitoare la cele mai cerute tipuri de scule așchietoare și materialul din care ele sunt produse se prezintă în figura 1.5 [45].

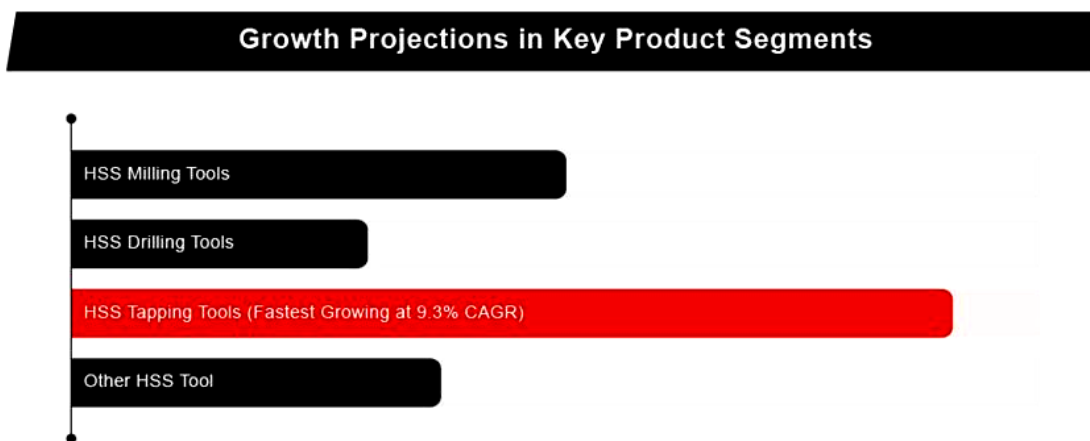


Fig. 1.5 Previțiuni privind producția de scule așchietoare pe tipuri [45]

Studiul arată că cererea cea mai mare va fi înregistrată la sculele de filetare urmată de cele pentru frezare. Studiul efectuat de The Statistics Portal arată că în America de Nord, mai precis Statele Unite ale Americii, producția de scule și accesorii pentru mașini-unelte a avut o evoluție ascendentă din anul 2009 până în prezent (fig. 1.6) [44].

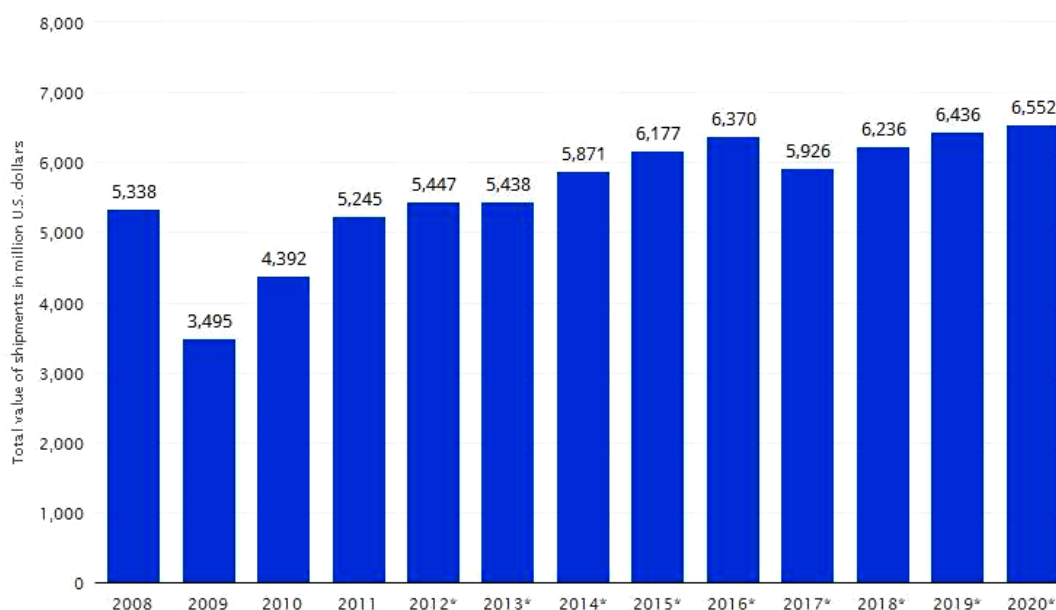


Fig. 1.6 Evoluția producției de scule și accesorii pentru mașini-unelte [44]

Producția de astfel de dispozitive din 2014 a depășit anul 2008, anul în care criza mondială s-a instalat. Previziunile privind producției de scule și accesorii pentru m-u arată că până în 2020 producția va avea creșteri ușoare, urmând să se stabilizeze. Asociația europeană a producătorilor de scule așchietoare (ECTA) arată că în perioada 2003-2012 exporturile de scule așchietoare ale Uniunii Europene (UE28) au crescut permanent (fig. 1.7) ajungând în 2012 la 6 miliarde de Euro. Valoarea exporturilor, reprezintă mai mult de 50% din valoarea producției de scule așchietoare. Pentru anul 2015 se așteaptă ca valoarea exporturilor menționate să fie de 8,5 miliarde Euro (6 miliarde scule așchietoare și 2,5 miliarde dispozitive de prindere) [40].

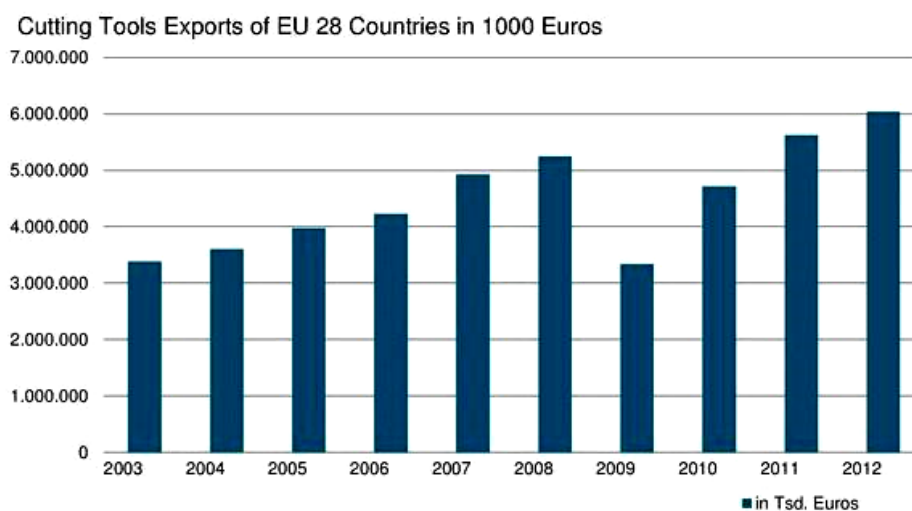


Fig. 1.7 Evoluția exporturilor de scule așchietoare din UE28 [40]

Evoluția graficului din figura 1.7 este asemănătoare cu cea din figura 1.6 pentru perioada 2008-2012, ceea ce ne face să înțelegem că în cele două regiuni analizate, evoluția producției și desfacerii (exportului) de scule așchietoare a fost aproape identică.

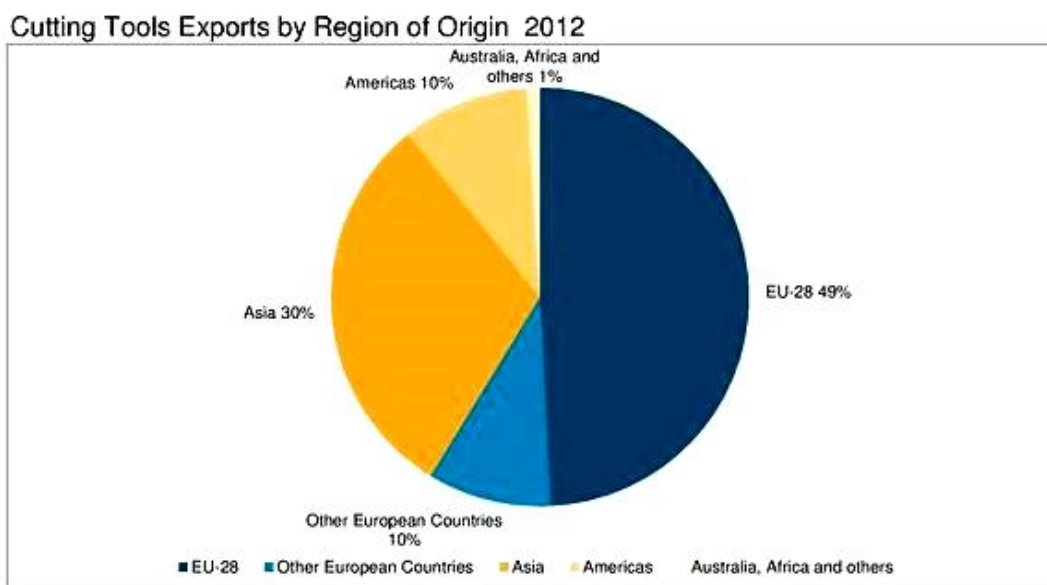


Fig. 1.8 Exporturilor de scule așchietoare în funcție de zona de producție [40]

ECTA prezintă și care este regiunea cu cele mai mari exporturi de scule așchietoare (fig. 1.8 [40]). Graficul din figura 1.8 arată că Europa este la nivel mondial, liderul producției și exportului de scule așchietoare.

Studiile prezentate arată că cererea mondială de mașini-unelte este în creștere cel puțin până în 2020 și implicit dependentă de aceasta va fi și producția de scule așchietoare. Tot studiile arată că atunci când se face referire la sculele așchietoare, materialul avut în vedere este cel din categoria oțelurilor rapide (HSS), valoarea producției de scule, scule așchietoare fiind de ordinul miliardelor de Euro anual. O piață semnificativă care va fi permanent sensibilă și receptivă la îmbunătățirile care apar în domeniul sculelor.

Ținând cont de cele prezentate, căile de îmbunătățire a performanțelor sculelor sunt foarte restrânse. Creșterea performanțelor sculelor (sculelor așchietoare) poate fi făcută prin:

- apelarea la noi aliaje, dar s-a arătat că acest lucru este practic imposibil;
- aplicarea de tehnologii noi aliajelor care deja sunt utilizate în producția de scule;
- optimizarea geometriei sculelor așchietoare.

Apelarea la tehnologiile noi se referă în primul rând la aplicarea tehnologiilor neconvenționale în tratamentul termic al materialelor folosite în fabricarea sculelor. Printre tratamentele neconvenționale care pot fi aplicate oțelurilor destinate sculelor așchietoare sunt: tratamente termice în vid, tratamente termomecanice și tratamente termice cu surse concentrate de energie (radiații laser, fascicul de electroni). O altă tehnologie ce poate fi folosită pentru îmbunătățirea performanțelor sculelor așchietoare și care în momentul de față este doar în fază incipientă, este cea a folosirii energiei solare la tratamentul termic aplicat oțelurilor rapide. Actual, o pondere însemnată din volumul sculelor așchietoare este reprezentat de cele acoperite cu straturi subțiri dure.

Cercetările mele efectuate preponderent asupra oțelurilor de scule se referă la câteva din tehnologiile amintite anterior.

În general, majoritatea pieselor executate din materiale metalice utilizate în industrie sunt prelucrate prin așchiere, motiv pentru care consumul de scule așchietoare este semnificativ. Deși materialele pentru fabricarea sculelor așchietoare s-au diversificat, gama lor extinzându-se continuu, vechile materiale nu au fost abandonate în totalitate, rolul lor fiind doar diminuat. Actual, sculele obținute prin metode fizice de depunere din vapori (PVD) ocupă peste 50% din consumul de scule așchietoare global, cu posibilități de creștere a acestui procent. Depunerea straturilor subțiri dure se face pe sculele așchietoare realizate din oțeluri rapide sau din carburi metalice. Datorită unui raport preț/calitate acceptabil și a tenacității bune, sculele din oțeluri rapide vor fi utilizate în continuare, nevoia de astfel de scule fiind prezentată anterior. Acesta este motivul pentru care autorul a inițiat și efectuat numeroase cercetări, pe materiale destinate

sculelor și sculelor așchietoare. Stabilirea legăturilor între proprietățile materialului sculei așchietoare și performanțele tehnice ale acesteia, reprezintă una din principalele probleme practice ce trebuie rezolvată și care în stadiul actual al industriei prelucrătoare este de o importanță majoră. De asemenea, se încearcă ca prin combinarea sau aplicarea de noi procedee de prelucrare a materialului, proprietățile acestora să se îmbunătățească. Admițând rolul, diversitatea și importanța majoră a sculelor așchietoare, orice efort depus în vederea creșterii fiabilității acestora este justificat.

Actual, piața sculelor este una a oțelurilor rapide care se disting printre oțelurile pentru scule așchietoare și pentru tăiere și deformare la rece prin valori ridicate ale rezistenței la cald și rezistenței la uzare. Alierea oțelurilor cu procente ridicate de Cr, W, Mo și V, la care se adaugă și Co are ca scop tocmai să asigure, după călirea martensitică și revenirea repetată pentru transformarea austenitei reziduale, îmbunătățirea proprietăților menționate. În acest mod, valorile caracteristicilor de exploatare ale sculelor așchietoare se îmbunătățesc semnificativ, permițând ca în timpul lucrului, sculele să reziste la solicitările la cald și la uzare [22, 23].

Temperatura părții active poate ajunge pînă la 600...650°C datorită regimului de lucru specific așchierii rapide (viteză mare de așchiere) și durității materialului prelucrat (260-320 HB). Denumirea de oțeluri rapide provine de la regimul intens de așchiere (viteza mare de așchiere) la care pot lucra sculele executate din aceste oțeluri, tocmai datorită faptului că rezistența la cald asigură menținerea durității la valori destul de ridicate (peste 60 HRC) pentru a permite continuarea așchierii, iar rezistența la uzare asigură prevenirea modificării geometriei părții active.

Concentrația elementelor de aliere conținute de oțelurile rapide a evoluat pe măsură ce s-a constatat influența lor asupra călibrității, rezistenței la cald, rezistenței la uzare și a celorlalte caracteristici tehnologice și de exploatare.

Diversificarea tipodimensiunilor de scule așchietoare, a regimurilor aplicate și materialelor prelucrate, precum și progresele metalurgiei fizice au determinat inițierea de cercetări sistematice în vederea stabilirii compoziției chimice și prelucrării la cald (în primul rând a tratamentului termic), corelate cu destinația oțelului, respectiv cu tipul, regimul și materialul de așchiere.

Rezultatele acestor cercetări și direcțiile noi de cercetare sunt de importanță esențială, deoarece dintre toate oțelurile pentru scule cele rapide sunt și cele mai scumpe.

O primă problemă de formulat și de rezolvat a fost clasificarea oțelurilor rapide. Principalele elemente de aliere sunt Cr, W, Mo, V și Co. Dintre acestea W și Mo pot servi drept criteriu de grupare a oțelurilor rapide. Păstrând drept criteriu de clasificare conținutul de W și

Mo, se poate face o grupare în patru clase: oțeluri cu 18% W, oțeluri cu 12% W, oțeluri cu 6% W și 5% Mo și oțeluri cu 9% Mo și 2% W.

1.2 Compoziția chimică a oțelurilor rapide standardizate în România și echivalența lor internațională

Deoarece perioada de desfășurare a cercetărilor prezentate în teză este de peste 20 de ani, consider bine venită, o prezentare a mărcilor de oțeluri rapide folosite frecvent de industrie, precum și echivalența lor internațională. Taylor în lucrarea sa, "On the art of cutting metal" apărută în 1907, prezintă compoziția chimică recomandată pentru oțelurile aliate care era foarte apropiată de cea a celui mai răspândit oțel rapid din lume, de tipul Rp₃ (românesc), 18-4-1 (american), P18 (sovietic) și 18-0-1 (conform EN). Compoziția chimică a oțelurilor rapide care erau elaborate sau mai sunt elaborate în țara noastră este dată în tabelul 1.1. Influența elementelor de aliere asupra calităților tehnologice și așchietoare ale oțelului rapid, este complexă datorită însăși compoziției complexe a oțelurilor rapide [15, 22]. În acest sens, prezența carbonului determină în cea mai mare măsură duritatea, rezistența mecanică, rezistența la șocuri, rezistența la uzură la rece, etc. Carbonul are o influență hotărâtoare asupra formării structurii martensitice (soluție solidă de carbon în fierul α) și în special asupra durității martensitei, celelalte elemente de aliere ne având o influență prea mare.

Tabelul 1.1

Mărcile și compoziția chimică a oțelurilor rapide

Marca oțelului	Compoziția chimică [%]					
	C	W	Cr	V	Mo	Co
Rp1	0,90÷1,00	9,00÷10,00	3,80÷4,40	2,30÷2,70	≤1,00	5,00÷6,00
Rp2	0,75÷0,83	17,50÷18,50	3,80÷4,50	1,40÷1,70	0,50÷0,08	4,50÷5,00
Rp3	0,70÷0,78	17,50÷18,50	3,80÷4,50	1,00÷1,20	≤0,60	≤0,60
Rp4	1,17÷1,27	6,00÷6,70	3,80÷4,50	2,70÷3,20	4,70÷5,20	-
Rp5	0,84÷0,94	6,00÷6,70	3,80÷4,50	1,70÷2,00	4,70÷5,20	≤0,60
Rp9	0,95÷1,03	2,70÷3,00	3,80÷4,50	2,20÷2,50	2,50÷2,80	≤0,60
Rp10	0,78÷0,86	1,50÷2,00	3,80÷4,20	1,00÷1,30	8,00÷9,20	≤0,60
Rp10 Sp	1,05÷1,15	1,20÷1,90	3,50÷4,50	0,90÷1,30	9,00÷10,0	7,50÷8,50
Rp11	0,97÷1,07	1,50÷2,00	3,80÷4,20	1,80÷2,20	8,00÷9,20	≤0,60

Cercetările au arătat că odată cu creșterea conținutului de carbon până la 0,6%, duritatea oțelului rapid Rp₄ crește până la 63 ... 64 HRC rămânând practic constantă cu creșterea ulterioară a conținutului de carbon până la 1%, scăzând apoi rapid ca urmare a creșterii procentului de austenită reziduală. Cromul trecând în soluția solidă de fier, determină o ridicare a călibilității,

dar creșterea procentului de Cr peste 5 ... 6% permite creșterea corespunzătoare a procentului de austenită reziduală și la scăderea pronunțată a prelucrabilității.

Oțelurile rapide fiind utilizate în majoritatea cazurilor pentru fabricarea sculelor așchietoare, în tabelul 1.2 se prezintă echivalența internațională a acestora.

Tabelul 1.2**Echivalența oțelurilor rapide în diferite standarde**

SR	JIS	GOST	Werkstoff	Bohler	AISI/SAE	DIN/EN
Rp₁	-	-	-	-	-	-
Rp₂	SKH3	-	W.1.3255	-	T4	HS 18-1-2-5
Rp₃	SKH2	R18	W.1.3355	S200	T1	HS 18-0-1
Rp₄	SKH52 SKH53	-	W.1.3344	S607	M3	HS 6-5-3 HS 6-5-4
Rp₅	SKH51	(R6AM5) R6M5	W.1.3343	S600	M2	HS 6-5-2 HS 6-5-2C
Rp₉	-	-	W.1.3333	-	-	HS 3-3-2
Rp₁₀	-	-	W.1.3346	S401	H41M1	HS 2-9-1 HS 2-8-1
Rp₁₁	-	-	W.1.3348	S400	M7	HS 2-9-2
Rp₁₀ Sp	SKH59	-	W.1.3247	S500	M42	HS 2-10-1-8 HS 2-9-1-8

Din analiza calității oțelurilor rapide folosite la fabricarea diverselor scule așchietoare a rezultat că cele mai des utilizate oțeluri rapide sunt Rp₃, Rp₅, Rp₉ și Rp₁₁. Studiile prezentate în teză au fost efectuate pe oțelurile HS 6-5-2 (Rp₅), HS 3-3-2 (Rp₉) și HS 2-9-1-8 (Rp₁₀ Sp). Ultima marcă de oțeluri este utilizată de puțin timp în producția autohtonă de scule așchietoare. Din oțelurile prezentate se construiesc: cuțite de strung, alezoare, burghie, tarozi, freze. În ultima perioadă datorită prețului ridicat al acestor oțeluri, fabricile de scule apelează tot mai des la oțelurile rapide aliate cu cobalt W 1.3247 (HS 2-9-1-8) conform standardizării Werkstoff /EN. Această marcă de oțel a fost asimilată recent de producătorii autohtoni de oțeluri speciale cât și de producătorii interni de scule așchietoare. Fiind o marcă de oțel recentă, ea încă nu figurează în standardul românesc de oțeluri rapide pentru scule SR EN ISO 4957-02. Deoarece compoziția chimică a acestei mărci de oțel rapid este apropiată de cea a lui Rp₁₀ și Rp₁₁ și nu este cuprinsă în standardul național, producătorul îl denumește Rp₁₀ Special iar utilizatorul (FSR) Rp₁₀ aliat cu Co sau HSS aliat cu Co. Acest oțel aliat cu cobalt în proporție de 8% poate fi folosit ca înlocuitor pentru alte mărci de oțeluri rapide.

Descoperirea oțelului rapid și a posibilităților de călire la temperaturi înalte, de către Taylor și White, în jurul anului 1900, a însemnat un salt calitativ în domeniul fabricării sculelor așchietoare, permițând utilizarea unor viteze de așchiere mari. Realizarea după primul război

mondial (perioada 1918-1932), a procedului de sintetizare a carburilor de wolfram în cobalt a permis obținerea unor materiale metalo-ceramice sau carburi metalice sinterizate, cu performanțe mai ridicate decât cele ale materialelor cunoscute până atunci. Carburile metalice folosite în prezent, se obțin prin sinterizarea carburilor de wolfram, carburilor de titan și carburilor de tantal, utilizându-se ca liant cobaltul. În ultimele decenii, practica industrială a impus recunoașterea unanimă a faptului că, în dezvoltarea și perfecționarea continuă a prelucrării prin așchiere, un rol hotărâtor îl are scula așchietoare care constituie unul din factorii de bază, de care depind parametrii principali ai prelucrării, cum sunt: productivitatea, precizia și rugozitatea suprafețelor prelucrate, precum și costul. În momentul de față există mai multe procedee de fabricare a sculelor așchietoare:

- fabricarea sculelor din semifabricate turnate;
- fabricarea sculelor din semifabricate laminate;
- fabricarea sculelor din component sinterizate.

Apariția carburilor metalice s-a făcut simțită și în construcția de scule așchietoare prin fabricarea de plăcuțe metalice și de scule compuse. Familia aliajelor dure sinterizate constituie o categorie de materiale relativ recent intrate în producție și cunoscute (în comparație cu HSS-ul), care prin proprietățile lor au revoluționat tehnica utilizării sculelor și pieselor rezistente la uzură ce se fabrică din ele.

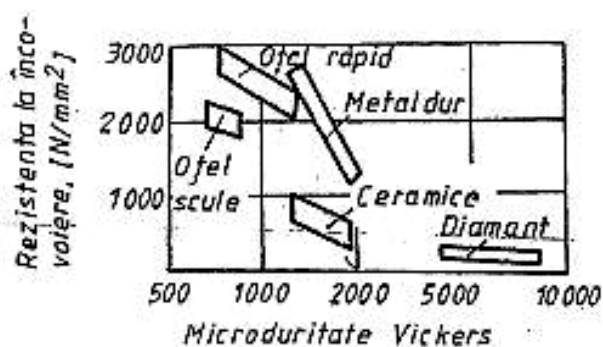


Fig. 1.9 Dependenta rezistenței la încovoiere de duritatea materialelor [12]

utilizarea și elaborarea acestor materiale s-a urmărit o cât mai bună rezolvare a corelației duritate-tenacitate, care în cazul unor valori crescute pentru ambele proprietăți conduce la o mai bună rezistență la uzură abrazivă și la șoc mecanic. O imagine sugestivă a poziției ocupate de fiecare categorie tipică de materiale dure, cunoscute și utilizate în prezent, în rezolvarea corelației duritate-tenacitate din domeniile de existență ale acestora, rezultă din figura 1.9 [12].

Materialele de tipul carburilor metalice sinterizate au cunoscut o nouă etapă a evoluției lor începând din 1968, când un nou procedeu a început să fie aplicat în vederea îmbunătățirii

Realizate prin tehnici ale metalurgiei pulberilor, fie că este vorba de carburi sinterizate sau de materiale ceramice, boruri, nitruri, carbonitruri, orice aliaj dur sinterizat este utilizat datorită proprietăților sale de duritate ridicată, asociată frecvent cu stabilitatea proprietăților fizico-mecanice la temperaturi ridicate (800 ... 2500°C). La

calității suprafețelor active ale plăcuțelor așchietoare. Noul procedeu consta în depunerea pe o bază dintr-un aliaj dur sinterizat din carburi și mai târziu pe cunoscutul și utilizatul oțel rapid de scule (HSS), a unui strat continuu și uniform antiuzură, având o grosime constantă ce nu depășea la acea vreme 10 μm . Procedul a luat amploare, s-a diversificat, astfel încât actual, sculele acoperite cu straturi subțiri dure, ocupă peste 50% din consumul mondial de scule așchietoare, cu posibilități de creștere a acestui procent.

Este un lucru deja cunoscut faptul că uzura, prin diferitele forme de manifestare prezente în conjuncturi de lucru specifice, conduce într-un timp mai scurt sau mai lung la scoaterea din uz a unei piese. Fenomenul de uzare în sine se produce și apare preponderent, sau în totalitate, în straturile superficiale ale pieselor, pe o adâncime care nu depășește câțiva micrometrii (excepție făcând fenomenele de oboseală). Prin aplicarea unui strat metalic se poate prelungi durata de funcționare, se îmbunătățesc condițiile de exploatare și se micșorează consumul de metal deficitar. După destinație, acoperirile metalice pot fi:

- propriu-zise;
- decorativ protectoare;
- speciale (rezistente la uzură, fricțiune etc.).

Cele mai întâlnite acoperiri cu straturi subțiri dure aplicate sculelor așchietoare sunt următoarele: TiN , AlTiN T, AlTiN T – Gold, AlTiCrN^3 , nACo^3 , nACRo și AlCrN^3 . În figura 1.10 [39] se prezintă câteva tipuri de scule care sunt acoperite cu straturi subțiri dure.

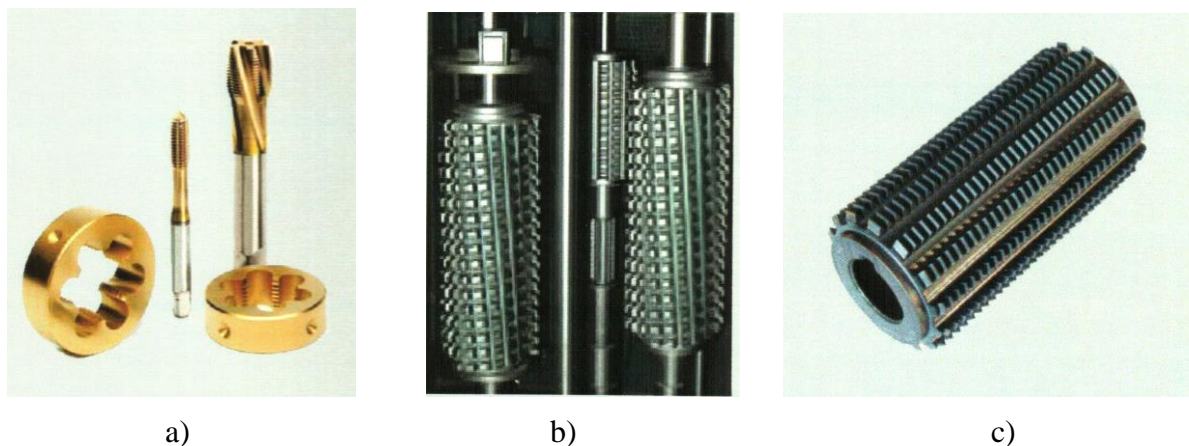


Fig. 1.10 Scule acoperite cu straturi subțiri dure: a) acoperire TiN ,
b) acoperire nACRo , c) AlCrN^3 [39]

1.3 Tendințe privind prelucrarea sculelor așchietoare

În ultima perioadă de timp atenția cercetătorilor din domeniul sculelor așchietoare s-a îndreptat spre următoarele direcții:

- tratamentul termomecanic aplicat sculelor așchietoare;
- optimizarea formei geometrice a sculelor așchietoare;
- materiale noi utilizate la fabricarea sculelor așchietoare;
- elaborarea de noi tehnologii privind obținerea sculelor așchietoare.

În privința tratamentului termic s-a trecut de la aplicarea formelor și relațiilor empirice existente în literatura de specialitate, la utilizarea relațiilor valabile în transferul termic. În acest mod s-a abandonat metoda de stabilire a timpilor de menținere la încălzire, în funcție de forma și dimensiunile sculei, fără indicarea mărimii și modului de alcătuire a încărcăturii și a caracteristicilor constructive și funcționale ale echipamentelor folosite pentru tratament. În particular regula ”ora și țolul” pentru stabilirea duratei de menținere la încălzire, nu are practic valabilitate în cazul sculelor.

Tehnica bazată pe legile transferului de căldură prezintă, în comparație cu calculele empirice bazate pe datele experimentale obținute în diferite condiții, următoarea particularitate de ordin tehnic și economic: o calitate superioară și uniformă de la o încărcătură la alta.

De asemenea au început să fie aplicate tratamente termice neconvenționale precum și tratamente termochimice în vederea ridicării fiabilității sculelor așchietoare.

Prin dezvoltarea unor programe software corespunzătoare s-a putut stabili o geometrie corespunzătoare pentru fiecare sculă în parte, în așa fel încât utilizarea acestora să conducă la o productivitate superioară.

O altă direcție pe care au abordat-o colectivele de cercetare a fost aceea a schimbării compoziției chimice a oțelurilor rapide în vederea îmbunătățirii anumitor proprietăți. Inclusiv la noi în țară există preocupări pentru creșterea durității, plasticității și rezistenței la uzare a oțelurilor rapide, prin obținerea unor noi mărci de oțeluri [28]. Spre exemplu, societatea SC Oțeluri pentru Scule SA – Cristuru Secuiesc a asimilat în producție noi tipuri oțeluri rapide destinate sculelor.

O direcție care începe să fie abordată mai des în ultima perioadă, după ce un interval de timp a stat în umbră este cea a procedeelor de prelucrare prin deformare plastică. Se cunoaște că acestea sunt în stare să producă piese pe cât posibil precise ca formă și dimensiune, cu o calitate ridicată a suprafeței care să nu necesite deloc prelucrări ulterioare sau numai prelucrări de finisare.

Caracteristic pentru aceasta sunt următoarele evoluții: materiale cu spectru larg de proprietăți de prelucrare și utilizare, scule cu performanțe ridicate.

La acesta se adaugă rezultatele cercetării fundamentale în teoria plasticității și tribologiei, care contribuie la o mai bună înțelegere a proceselor complexe ca o premiză a optimizării lor. O

comparație între deformarea plastică și prelucrarea prin așchiere este prezentată în figura 1.11 [14].

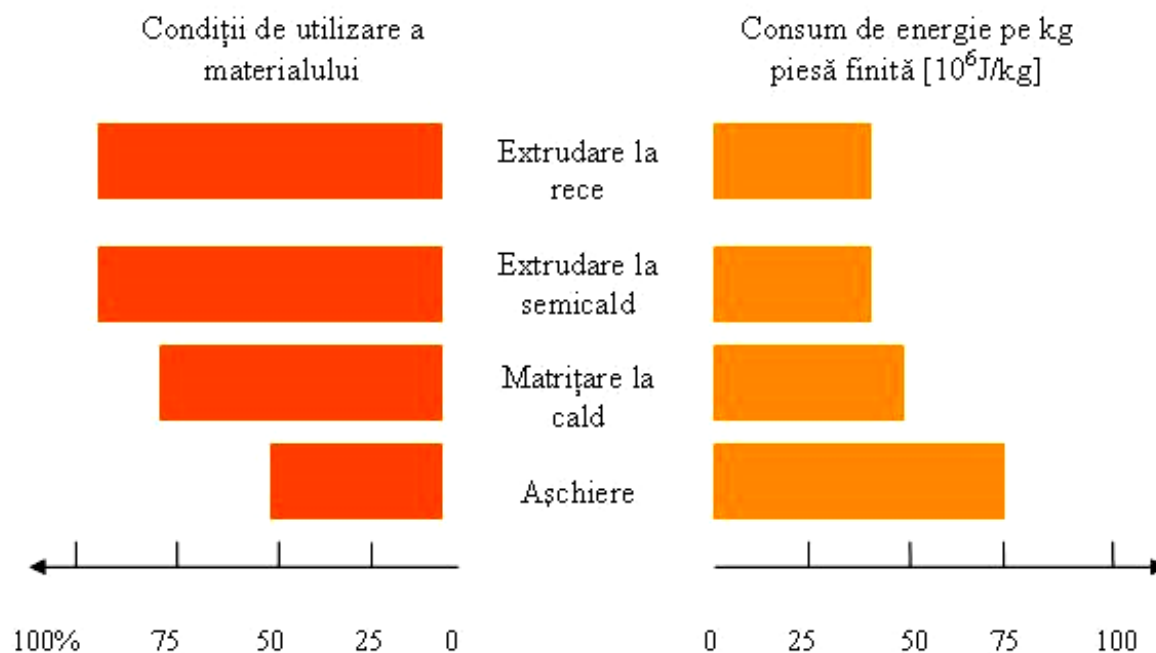


Fig. 1.11 Comparația între diverse procese de prelucrare a sculelor așchietoare

În general procedeele de deformare plastică au avantajul unor costuri materiale semnificativ mai scăzute față de așchiere. Procedeele de deformare plastică sunt în mod special eficiente prin economiile de energie și material. Prin optimizarea sistematică a procedeelelor de deformare se pot produce piese cu formă mai complexă și precizie mai mare. Această tehnologie "Near Net Shape" (aproape de forma finală) reduce sau elimină complet prelucrările ulterioare prin așchiere.

Procedeele de deformare plastică mai des utilizate sunt: forjarea de precizie, extrudarea, forjarea izotermă. Piesele obținute prin forjarea de precizie în comparație cu cele fabricate prin matrițare obișnuită au suprafețe funcționale finite. Acest avantaj se obține prin combinarea presării la cald cu calibrarea. În raport cu precizia matrițării, toleranțele pieselor obținute prin matrițare de precizie sunt cel puțin cu 50% mai reduse. În afară de precizia dimensională și calitatea suprafeței pieselor obținute prin matrițarea de precizie este foarte bună. Printr-un tratament preliminar al semifabricatului și măsuri de curățire a suprafeței acestuia se obțin prin matrițarea de precizie suprafețe echivalente cu cele obținute de prelucrările de finisare prin așchiere. O îmbunătățire suplimentară a preciziei și a rugozității se obține printr-o operație de calibrare ulterioară. [28].

Un alt proces tehnologic care începe să fie des utilizat în deformarea plastică a oțelurilor de scule este extrudarea. Pe lângă reducerea consumului de material, extrudarea oferă reduceri

semnificative ale costului prin eliminarea unor prelucrări prin aşchiere la piesele presate, datorită preciziei înalte obţinute. De aceea printre preocupările presării la rece în volum a fost realizarea unor piese cu proprietăţi mecanice superioare, cu precizie dimensională şi de formă ridicată, o calitate bună a suprafeţei şi având totodată un înalt grad de integrare funcţională. Pe lângă optimizarea operaţiilor cu rezultate care să poată fi vizibile, analiza întregului proces tehnologic devine esenţială. Aici se găsesc posibilităţile eficace şi de perspectivă pentru îmbunătăţirea eficienţei. O direcţie prioritară pentru aceasta o constituie creşterea preciziei de prelucrare a procedeelor de deformare în scopul reducerii sau chiar eliminării prelucrărilor prin aşchiere [14].

Matrişarea izotermă este un alt procedeu cu eficienţă mărită. Se ştie că formarea pieselor la contururi şi suprafeţe definite semnifică implicit economie de prelucrare şi material. Când se cere o rezistenţă ridicată împreună cu o bună tenacitate, structurile materialelor obţinute prin forjare sunt încă neîntrecute. În cazul pieselor cu geometrie simplă, pentru a obţine forma apropiată de cea definită, piesele trebuie matrişate în mai multe etape, cu reîncălzirea înainte de fiecare operaţie. O aplicaţie a matrişării izoterme o reprezintă forjarea izotermă care este un proces de punere în formă lent şi uniform. Datorită rezistenţei mult mai slabe, opuse de material, forţa totală pe care trebuie să o dezvolte presa este inferioară, deseori de 10 până la 30 de ori decât cele uzuale cerute la matrişarea clasică.

Totuşi, posibilităţile procedeelor tehnologice cunoscute în prezent privind obţinerea semifabricatelor pe baza deformării la cald, semicald şi rece sunt limitate din cauza plasticităţii reduse a oţelurilor de scule. Presarea la cald la 800 ... 1100⁰C în condiţiile de frecare lichidă la presele cu manivelă asigură o productivitate ridicată şi calitate bună dar totuşi numărul semifabricatelor este limitat. Deformarea izotermică este cel mai universal procedeu de execuţie a semifabricatelor complexe, din oţeluri rapide, totuşi şi acesta se aplică limitat din cauza necesităţii de utilizare în matrişele izotermice, a aliajelor refractare scumpe, deoarece temperatura de deformare a oţelurilor rapide este de 1100 ... 1200⁰C. Folosirea efectului de supraplasticitate al materialelor metalice permite lichidarea restricţiilor existente şi lărgirea considerabilă a gamei de piese şi a posibilităţilor tehnologice de obţinere a semifabricatelor destinate producţiei de scule prin metodele deformării volumetrice. În diverse lucrări s-a stabilit că oţelurile rapide Rp₃, Rp₄, sunt supraplastice la temperaturi cu 20 – 50⁰C sub linia solidus [5].

Capitolul 2 – Tratamente termice neconvenționale aplicate materialelor destinate sculelor

2.1 Influența tratamentelor termomecanice asupra proprietăților oțelurilor rapide

Rezistența mecanică a materialelor metalice poate fi sporită pe două căi diametral opuse [31]:

- prin realizarea unei structuri cristaline ideale, lipsită de defecte, dar care necesită asigurarea unor condiții tehnice deosebite;
- prin crearea de defecte (în special dislocații) și limitarea deplasării acestora, soluție care este realizabilă la scară industrială.

Mijloacele tehnologice ce corespund celei de-a doua căi de creștere a rezistenței mecanice sunt alierea rațională, tratamentele termice și deformarea plastică. Considerând un policristal (situație reală) ce posedă defecte de rețea, pentru a-i mări rezistența mecanică se apelează la limitarea deplasării acestora prin următoarele mecanisme [31]:

- creșterea densității de dislocații, ceea ce are drept urmare crearea unui câmp de tensiuni în jurul lor, astfel încât deplasarea acestora este serios limitată;
- crearea de bariere în calea dislocațiilor mobile, de tipul suprafețelor de separație (limite, sublimite);
- crearea de acumulări (atomii străini, segregatii, vacanțe), dispuse pe dislocațiile din rețeaua cristalină a soluțiilor solide;
- crearea de construcții atomice ordonate din punct de vedere al compoziției chimice și al orientării cristalografice ceea ce obligă dislocațiile să consume o mare parte din energia lor pentru realizarea acțiunilor de ordonare-dezordonare [31].

Mecanismele descrise trebuie numai să limiteze deplasarea dislocațiilor, în caz contrar, imobilizarea totală ar determina apariția unor tensiuni chiar mai mari decât rezistența mecanică teoretică – chiar și numai în volume microscopice, ceea ce ar atrage după sine ruperea fragilă.

Există două mecanisme care determină creșterea proprietăților de rezistență, punând în funcțiune toate cele patru mecanisme și anume [28]:

- Deformarea plastică la rece care realizează generarea de dislocații și apariția de sublimite, toate acestea constituind principalele bariere în calea deplasării dislocațiilor;*
- Tratamentul termic de călire la martensită urmată de revenire care determină:*
 - creșterea densității de dislocații ca urmare a ecruisajului fazic;

- apariția de sublimite (dintr-un grăunte de austenită apar mai multe plăci de martensită);
- precipitarea carburilor secundare durificatoare, fin dispersate, ca urmare a unei ulterioare reveniri;
- crearea unei structuri bine ordonate cristalografic – martensita are o orientare definită și o structură specifică maclată.

Tratamentele termomecanice pun în valoare toate cele patru mecanisme simultan și/sau succesiv, combinând cele două mijloace tehnologice menționate, în mod rațional și organizat.

Prin tratament termomecanic (TTM) se înțelege ansamblul operațiilor de deformare plastică, încălzire și răcire realizate în diferite succesiuni posibile care au ca rezultat obținerea unei structuri finale și a unor proprietăți corespunzătoare, în condițiile unei mari densități de dislocații și a unei distribuții specifice a imperfecțiunilor structurale create de deformarea plastică [31].

Rolul TTM este crearea de imperfecțiuni și limitarea deplasării acestora prin crearea unui câmp de tensiuni specific, orientarea planelor de alunecare după direcția tensiunii tangențiale maxime care determină simultan atât o creștere a proprietăților de rezistență cât și a celor de plasticitate – chiar în stare durificată – prin combinarea în diferite succesiuni a tratamentelor termice cu deformarea plastică, în prezența unor modificări ale transformărilor de fază. Scopul general al TTM este obținerea unui material metalic cu proprietăți de rezistență sporite, în condiții de plasticitate și ductibilitate, fără fragilitate completă, cu modificări ale fazelor structurale, paralel cu obținerea unor asociații optime de proprietăți mecanice, deosebite de cele determinate de tratamentele termice clasice.

Rezultatele TTM depind în mod esențial de aportul modificărilor la nivel de structură și substructură induse de deformarea plastică. Parametrii tehnologici ai TTM sunt temperatura de deformare (T_d), viteza de deformare (v_d), gradul de deformare (ϵ) și durata menținerii post deformațională (τ) – pentru cazul deformării plastice la cald.

Temperatura și viteza de deformare influențează îndeosebi comportarea la deformare plastică a materialului prin efectele majore pe care acestea le manifestă asupra rezistenței la deformare și alături de gradul de deformare și asupra proceselor specifice de deformare plastică la cald: destindere, poligonizare, recristalizare dinamică și/sau statică. Durata menținerii postdeformațională (τ) decide dacă efectele deformării plastice la cald sunt înlăturate parțial, total sau sunt, dimpotrivă, menținute integral. Între parametrii tehnologici ai TTM se înscriu și cei legați de condițiile în care se desfășoară tratamentul termic: viteza și temperatura de încălzire, durata menținerii și viteza de răcire.

Tratamentele termomecanice asociate cu deformarea plastică în cadrul TTM sunt călirile la martensită urmate de revenirile aferente sau călirile izoterme – pentru aliajele ce prezintă

transformări de faze, respectiv călirile de punere în soluție și îmbătrânirile – pentru aliajele și oțelurile fără transformări de faze și care îmbătrânesc. În funcție de compoziția chimică și de proprietățile mecanice urmărite, deformarea plastică poate fi asociată cu normalizări sau recoaceri izoterme.

Pentru oțelurile studiate s-a încercat îmbunătățirea proprietăților mecanice și tehnologice prin aplicarea tratamentelor termomecanice de temperatură înaltă (TTMTÎ). Schema de principiu a unui tratament termomecanic de temperatură înaltă este prezentată în figura 2.1.

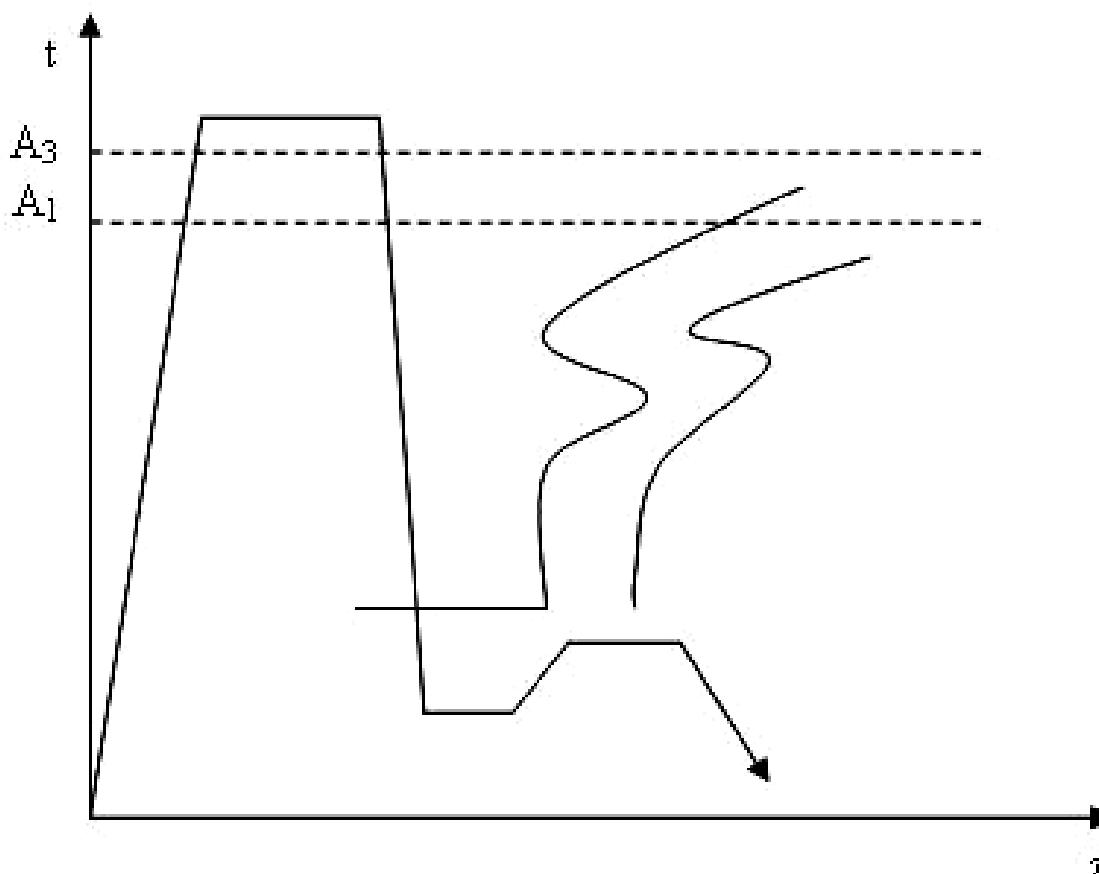


Fig. 2.1 Schema de principiu a tratamentului termomecanic de temperatură înaltă

Tratamentul termomecanic de temperatură înaltă corespunzător schemei din figura 2.1, are ca primă operație deformarea plastică la cald a austenitei urmată de operația de subrăcire care urmărește transformarea austenitei deformate în martensită. Pentru aplicarea corectă și eficientă a TTMTÎ trebuie să stabilim care este influența temperaturii de deformare, a vitezei de deformare și a gradului de deformare asupra proprietăților oțelurilor studiate. Pentru maximizarea rezultatelor TTMTÎ trebuie să se cunoască care sunt efectele parametrilor procesului de tratament, asupra proprietăților materialului procesat. O primă influență care se studiază este cea a rezistenței la deformare și a vitezei de deformare.

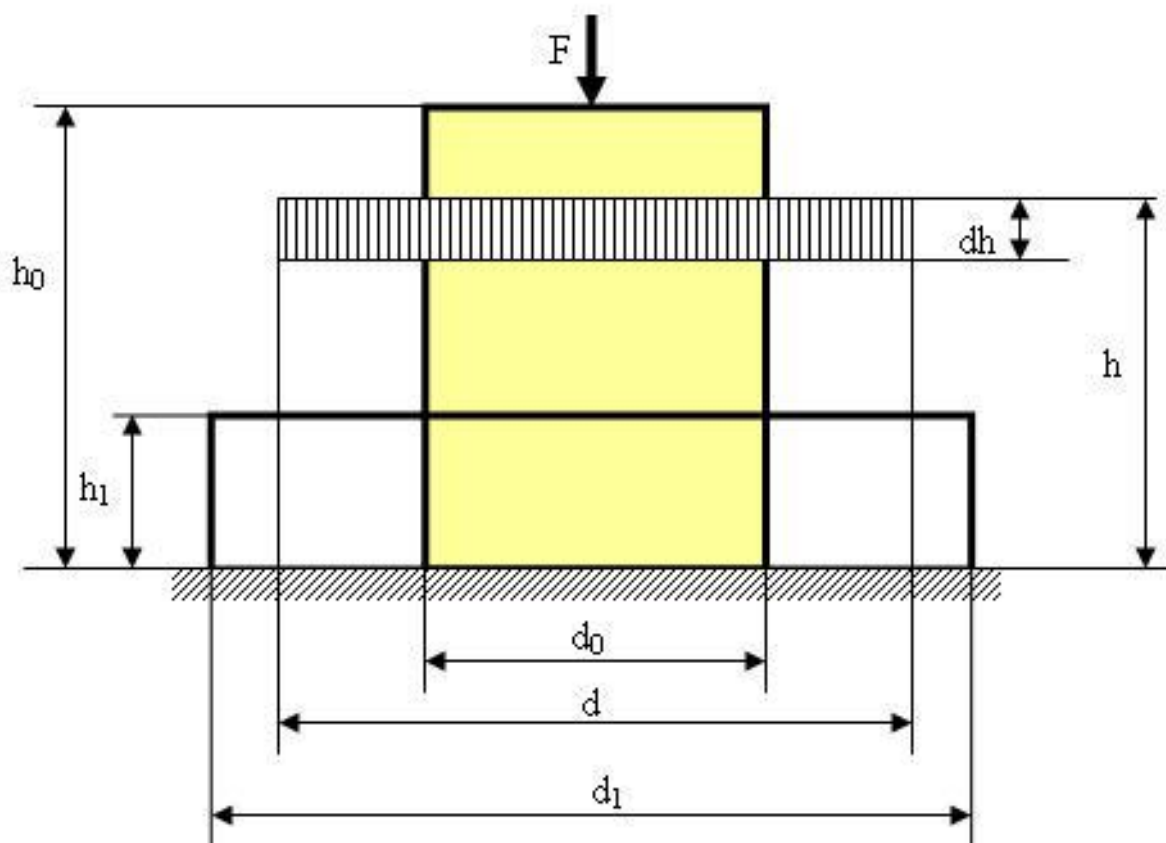


Fig. 2.2 Schema de principiu a refulării

Pentru refularea semifabricatelor cilindrice (fig. 2.1) [1, 14, 21] cu dimensiunile inițiale $d_0 \times h_0$ la dimensiunile $d_1 \times h_1$ este necesară o forță F . Lucrul mecanic efectuat de forța F pentru reducerea înălțimii semifabricatului cu dh va fi:

$$dL = Fdh . \quad (2.1)$$

Pentru refularea semifabricatului de la h_0 la h_1 se va consuma lucrul mecanic:

$$L = \int_{h_0}^{h_1} Fdh . \quad (2.2)$$

În cazul lucrului mecanic trebuie ținut cont și de forțele de frecare care apar la suprafața de contact sculă-semifabricat. Datorită frecării dintre sculă și material, deformarea materialului este neuniformă. Pe baza calculelor [1, 21] se poate determina distribuția pe suprafața de contact a presiunii de deformare. După cum se remarcă în figura 2.3, în centrul suprafeței de contact valoarea presiunii este mai mare decât la margine.

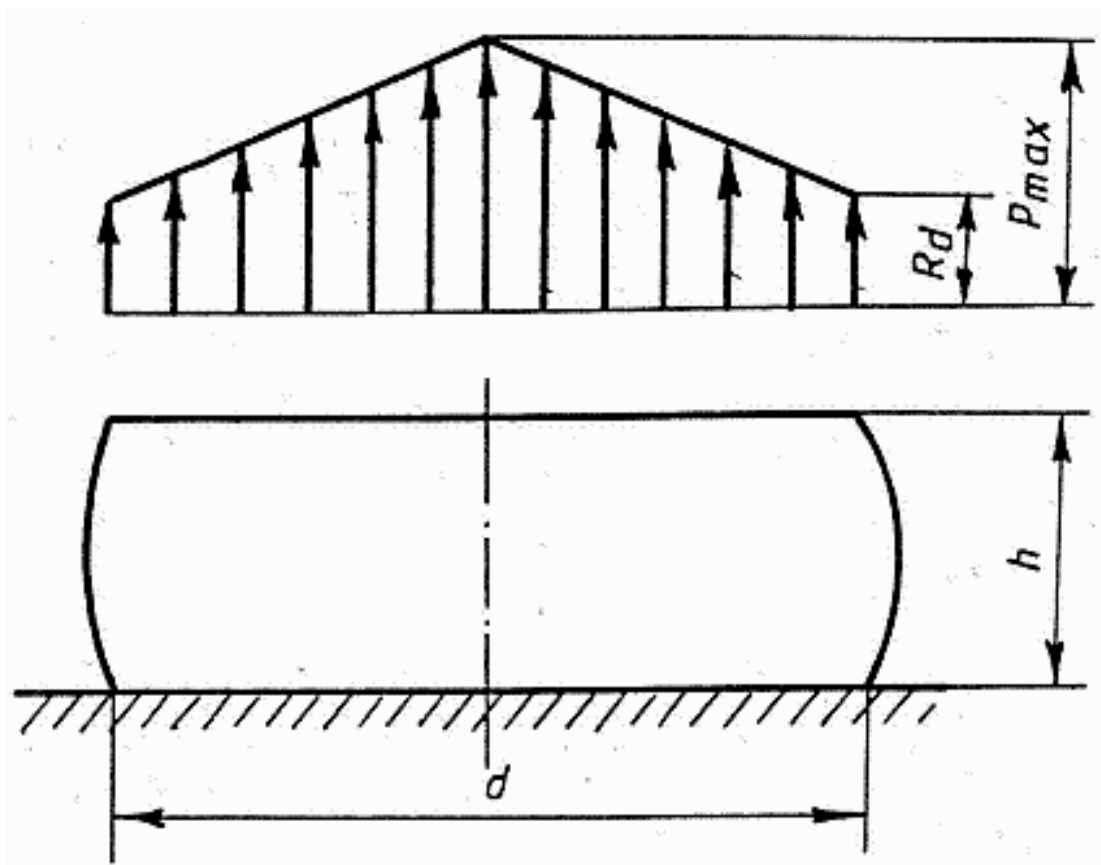


Fig. 2.3 Diagrama de variație a rezistenței la deformare în cazul refulării unui cilindru între suprafețe plane [12]

Relația care ține seama de influența frecării la refulare și în care se consideră că presiunea pe suprafața de contact cu scula se distribuie uniform, este denumită relația lui Siebel:

$$R_d = R_e + R_e \frac{\mu_f d}{3h} = R_e \left(1 + \mu_f \frac{d}{3h} \right) . \quad (2.3)$$

Dacă se presupune că zona de deformare îngreunată se extinde pe întreaga suprafață frontală de contact a semifabricatului cu sculele de lucru și dacă se aplică condiția plasticității Tresca, rezistența la deformare se va calcula cu relația:

$$R_d = R_e \left[1 + \frac{1}{6} \frac{d_1}{h_1} \right] . \quad (2.4)$$

Revenind la relația (2.2) se poate scrie că $F = R_d \cdot S$. Cu această înlocuire relația (2.2) devine:

$$L = R_e V \int_{h_0}^{h_1} \left(1 + \frac{1}{6} \frac{d}{h} \right) \frac{dh}{h} . \quad (2.5)$$

Rezolvând integrala, se obține:

$$L = R_e \cdot V \cdot [\ln(h_0/h_1) + (1/9) \cdot (d_1/h_1 - d_0/h_0)] \quad (2.6)$$

Valorile din relația 2.6 sunt cunoscute: dimensiunile inițiale și finale ale epruvetelor, volumul lor, dar și lucrul mecanic de deformare. Determinând valoarea rezistenței la curgere (R_e) se poate calcula rezistența la deformare R_d (cu relația 2.4) pentru materialele tratate termomecanic.

Deformabilitatea este influențată de viteza de deformare într-un mod foarte complex. La temperaturi ridicate influența vitezei de deformare asupra deformabilității trebuie luată în considerare din cel puțin trei puncte de vedere:

- influența vitezei de deformare asupra temperaturii reale de deformare;
- influența vitezei de deformare asupra echilibrului ce se realizează între procesul de ecruisare și cel de recristalizare;
- influența vitezei de deformare asupra deformării inter și intracristaline.

Se cunoaște că în timpul deformării o parte din lucrul mecanic de deformare se transformă în căldură. Prin urmare, temperatura reală, la un moment dat al deformării, poate fi mai mare decât a fost la începutul deformării. Creșterea temperaturii în timpul deformării va fi cu atât mai mare cu cât va fi mai mică temperatura inițială de deformare. Deci, în domeniile de temperatură în care, prin creșterea temperaturii deformabilitatea crește, este indicată deformarea cu viteze mari și invers, în domeniile de temperatură în care prin creșterea temperaturii deformabilitatea scade, deformarea se va efectua cu viteze mici. La deformarea la cald, prin creșterea vitezei de deformare crește și gradul de ecruisare a materialului deformat. Deci, din acest punct de vedere, prin creșterea vitezei de deformare ar urma ca deformabilitatea să scadă. Datorită influenței complexe a vitezei de deformare asupra deformabilității la cald a materialelor metalice, cunoașterea precisă a mărimii acestei caracteristici este posibilă numai dacă ea se determină prin încercări experimentale.

Prin viteză de deformare se înțelege variația gradului de deformare în unitate de timp, adică:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt} \text{ – viteza de deformare la un moment dat;}$$

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\varepsilon}{t} \text{ – viteza de deformare medie.}$$

Semnificația notațiilor este următoarea:

$$\dot{\varepsilon} \text{ – viteza de deformare în } s^{-1};$$

$$\varepsilon \text{ – gradul de deformare într-o direcție oarecare;}$$

t – timpul în secunde.

Cum deformarea plastică la care se apelează este refularea se obține:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{\Delta h}{h_0} \\ t &= \frac{\Delta h}{v} \end{aligned} \quad , \quad (2.7)$$

în care:

h_0 – este înălțimea inițială a semifabricatului;

Δh – micșorarea înălțimii semifabricatului la o deformare;

v – viteza medie de deplasare a sculei în timpul deformării plastice a semifabricatului.

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\varepsilon}{t} = \frac{\frac{\Delta h}{h_0}}{\frac{\Delta h}{v}} = \frac{v}{h_0} \quad . \quad (2.8)$$

Analizând relația (2.8) reiese că viteza de deformare la refulare depinde numai de viteza de deplasare a sculei și de înălțimea epruvetei, nedepinzând de mărimea gradului de refulare realizat. Din momentul inițial de deformare, când $h = h_0$, viteza de deformare absolută este egală cu viteza de impact (v_i) a sculei, respectiv:

$$v_i = \sqrt{2gH} \quad ,$$

în care:

H – înălțimea de cădere a berbecului, în cazul deformării cu soneta.

În momentul în care $h = h_0$:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{v_i}{h_0} \quad .$$

În momentul când $h = h_1$, adică la sfârșitul deformării se obține:

$$\dot{\varepsilon} = 0$$

Din cele trei relații rezultă că viteza de deformare medie de la h_0 la h_1 este:

$$v_m = \sqrt{2gH / 2h_0} = \sqrt{\frac{gH}{2h_0^2}} \quad (2.9)$$

Din relația (2.9) rezultă că viteza de deformare la sonetă depinde de înălțimea de cădere a berbecului (H) și de înălțimea inițială a epruvetei (h_0) și nu depinde de greutatea berbecului. Pentru a modifica viteza de deformare, este suficient doar să modificăm înălțimea de cădere a berbecului. Gradul de deformare la comprimare se va calcula prin variația înălțimii epruvetei deoarece măsurarea acestei dimensiuni se face mai facil și mai precis decât măsurarea diametrului care este mai dificil de stabilit, datorită fenomenului de apariție a formei de butoi a epruvetei.

În momentul de față ponderea producției de scule așchietoare o dețin cele obținute în totalitate prin prelucrări de așchiere, urmată de cele obținute din semifabricate laminate. Datorită progresului tehnic care a avut loc în ultimele decenii în domeniul științei materialelor precum și al punerii la punct a tehnologiilor de obținere a pulberilor sinterizate, în ultimul interval de timp producția sculelor din componente sinterizate a avut o creștere spectaculoasă. Cu toate că producția sculelor așchietoare a beneficiat de cele mai noi realizări ale tehnicii, acest domeniu are în momentul de față o serie de neajunsuri. Un aspect negativ întâlnit la producția sculelor așchietoare este acela al consumului mare de oțeluri înalt aliate (costisitoare) care practic sunt transformate în mare parte în așchii. Pe lângă cele prezentate mai înainte trebuie adăugat și faptul că această cantitate ridicată de așchii care se detașează în scopul fabricării sculei așchietoare este și mare consumatoare de manoperă, aspect care coroborat cu cel dinainte conduce la creșterea prețului de producție al sculei. Încă, o mare parte din scule sunt fabricate din semifabricate turnate, microstructura grosolană a acestora se regăsește în sculele fabricate ceea ce conduce la o comportare nu prea bună în timpul utilizării.

Din cauză că microstructura influențează atât proprietățile mecanice cât și cele tehnologice, de acestea depinzând proprietățile de exploatare ale sculelor, au început să se caute soluții pentru îmbunătățirea acestora în sensul finisării ei, deoarece o astfel de microstructură conduce la proprietăți mecanice și tehnologice superioare. Deoarece structura de turnare nu este propice fabricării de scule așchietoare, lingourile turnate sunt supuse deformării plastice cu scopul finisării structurii și obținerii de laminate care ulterior vor fi folosite la prelucrarea sculelor așchietoare. Datorită elementelor de aliere conținute de oțelurile folosite în construcția sculelor așchietoare operațiile de deformare plastică trebuiesc efectuate la cald. Din cauza rezistenței la deformare ridicate a acestor materiale, în timpul deformării plastice de multe ori apar fisuri, care sunt greu de depistat deoarece nu sunt la suprafață, prezența lor influențând

negativ calitatea sculei. De aceea parametrii deformării plastice trebuie atent supravegheați în vederea eliminării pe cât posibil a acestor neajunsuri.

O problemă care trebuie rezolvată în procesul tratamentului termomecanic de temperatură înaltă aplicat materialelor studiate este stabilirea parametrilor optimi la care acesta trebuie să se desfășoare. Rezistența la deformare este un asemenea parametru. Pentru a determina această valoare au fost efectuate încercări de deformabilitate la diferite temperaturi și viteze. Testele au fost efectuate la viteze de deformare care se apropie de cele utilizate în procesele de deformare plastică la cald [14].

Ca urmare a încercărilor experimentale efectuate la cald și a calculelor realizate pe baza relațiilor (2.4, 2.5, 2.6) s-a putut stabili evoluția rezistenței la deformare în funcție de temperatură pentru oțelurile rapide studiate: HS 6-5-2C (R_{p5}) și HS 3-3-2 (R_{p9}). În figura 2.4 se prezintă evoluția rezistenței la deformare în funcție de temperatura și viteza de deformare pentru oțelul rapid HS 6-5-2C.

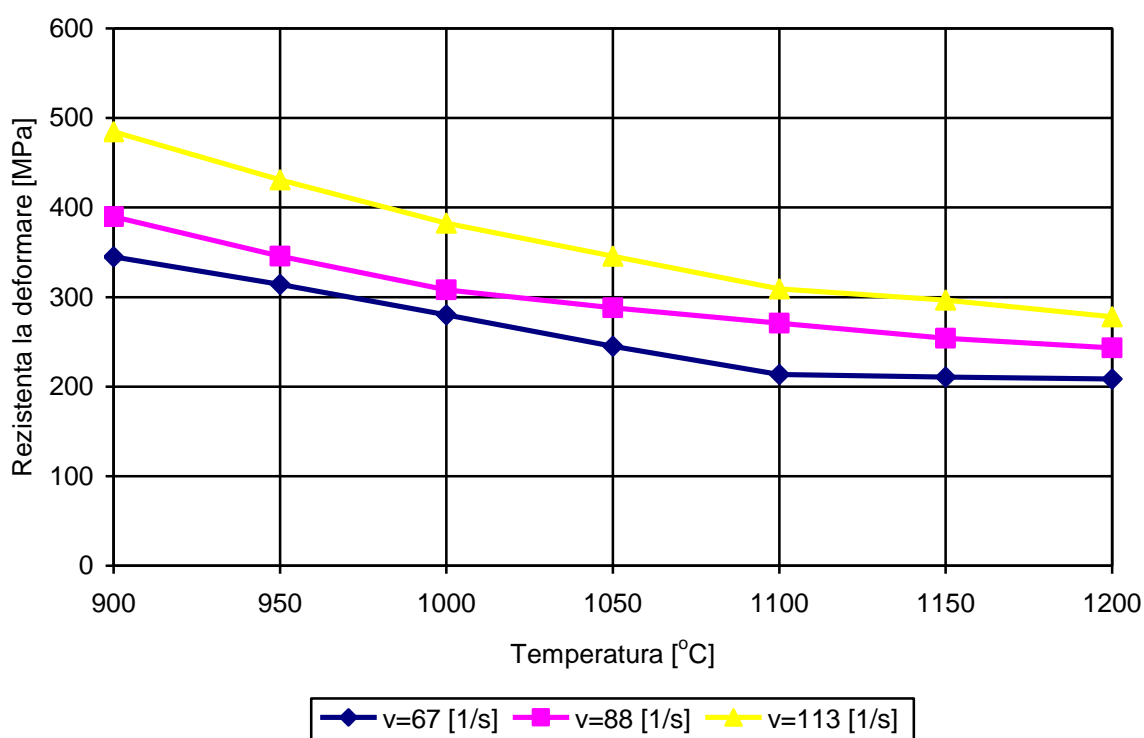


Fig. 2.4 *Evoluția rezistenței la deformare pentru HS 6-5-2C în funcție de temperatura și viteza de deformare*

Pentru aceasta trebuie să se determine care este tipul funcției care realizează cel mai bine legătura între cele trei categorii de valori. Rezolvarea acestui aspect necesită apelarea la anamorfozarea graficelor, adică deformarea față de forma inițială, astfel încât, prin alegerea corespunzătoare a scărilor, forma obținută să se apropie cât mai mult posibil de o dreaptă [36].

Așa cum arată graficul din figura 2.4, pentru astfel de curbe (valoarea funcției scade pe măsură ce valoarea argumentului crește), formulele empirice ce pot fi determinate sunt de forma:

- $y = a/x + b$;
- $y = a/x^2 + b$;
- $y = a \cdot e^{bx+cy}$.

După prelucrarea datelor experimentale, graficele anamorfozate după funcția de tipul $y = a/x + b$ sau după $y = a/x^2 + b$ nu se apropie de drepte.

În figura 2.5 este prezentată anamorfozarea curbelor din figura 2.4 după o scară logaritmică.

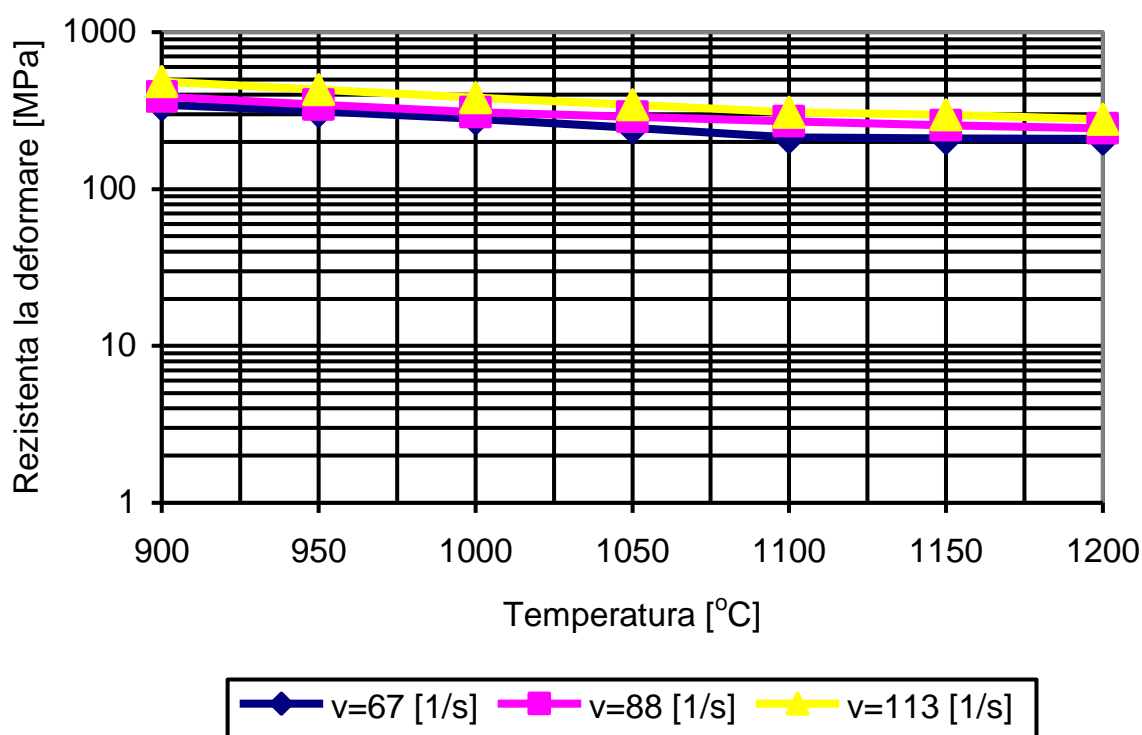


Fig. 2.5 Rezistența la deformare a oțelului HS 6-5-2C în funcție de temperatură și viteze de deformare (reprezentare pe scară logaritmică)

Concluzia care se desprinde interpretând graficul din figura 2.5 este că evoluția rezistenței la deformare în funcție de temperatura și viteza de deformare este o funcție exponențială de 2 variabile de tipul:

$$y = a \cdot e^{b \cdot x + c \cdot y} \quad (2.10)$$

Transpusă problemei pe care o avem de rezolvat relația (2.10) devine:

$$R_d = a \cdot e^{b \cdot v_d + c \cdot t_d} \quad (2.11)$$

unde:

R_d – rezistența la deformare;

v_d – viteza la deformare;

t_d – temperatura de deformare.

Prin logaritmarea relației (2.11) se obține:

$$\ln R_d = \ln a + (b \cdot v_d + c \cdot t_d) \cdot \ln e \Rightarrow \ln R_d = b \cdot v_d + c \cdot t_d + \ln a \quad , \quad (2.12)$$

care este o funcție de gradul I cu două variabile (v_d și t_d). Problema care trebuie rezolvată este determinarea valorilor parametrilor acestei funcții.

În cazul unei funcții de mai multe variabile, pentru determinarea parametrilor se utilizează următoarea relație:

$$z - \bar{z} = a \cdot (x - \bar{x}) + b \cdot (y - \bar{y}) \quad , \quad (2.13)$$

unde:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{k=1}^n x_k \cdot w_k}{\sum_{k=1}^n w_k} \quad \bar{y} = \frac{\sum_{k=1}^n y_k \cdot w_k}{\sum_{k=1}^n w_k} \quad \bar{z} = \frac{\sum_{k=1}^n z_k \cdot w_k}{\sum_{k=1}^n w_k} \quad .$$

Determinarea parametrilor a și b se face considerând metoda celor mai mici pătrate:

$$\sum_{k=1}^n \left\{ (z_k - \bar{z}) - [a \cdot (x_k - \bar{x}) + b \cdot (y_k - \bar{y})] \right\}^2 \cdot w_k = \text{minim} \quad . \quad (2.14)$$

Derivând în raport cu a și b și egalând cu 0, se obține un sistem de două ecuații:

$$\begin{cases} a \cdot \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2 \cdot w_k + b \cdot \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x}) \cdot (y_k - \bar{y}) \cdot w_k = \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x}) \cdot (z_k - \bar{z}) \cdot w_k \\ a \cdot \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x}) \cdot (y_k - \bar{y}) \cdot w_k + b \cdot \sum_{k=1}^n (y_k - \bar{y})^2 \cdot w_k = \sum_{k=1}^n (y_k - \bar{y}) \cdot (z_k - \bar{z}) \cdot w_k \end{cases} \quad . \quad (2.15)$$

Aplicând relațiile (2.13, 2.14, 2.15) pentru relația (2.12), funcția [7, 8] care face legătura între viteză, temperatură și rezistența la deformare este:

$$R_d = 993,14 \cdot e^{0,007181793 \cdot v_d - 0,00175468 \cdot t_d} \quad . \quad [\text{Mpa}] \quad (2.16)$$

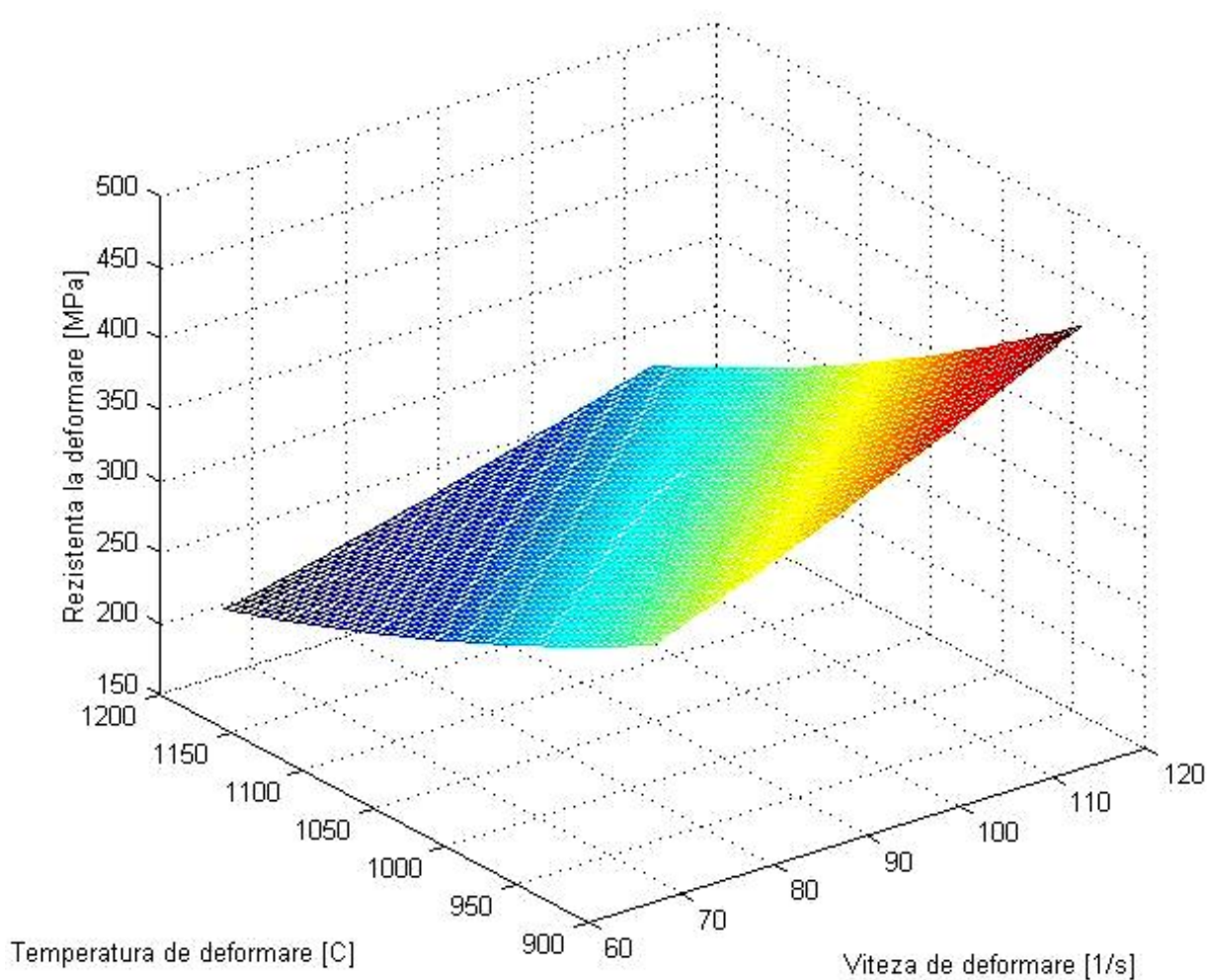


Fig. 2.6 *Evoluția rezistenței la deformare pentru oțelul HS 6-5-2C în funcție de viteza și temperatura de deformare*

În figura 2.6 se prezintă pe baza relației (2.16) evoluția rezistenței la deformare a oțelului rapid HS 6-5-2C în funcție de viteza de deformare și temperatura de deformare. Determinarea rezistenței la deformare pentru o gamă largă de viteze relative de deformare precum și pentru un interval suficient de mare de temperaturi permite alegerea ușoară a parametrilor cu care are loc deformarea plastică. În funcție de tipul utilajului pe care se va face deformarea se poate alege o astfel de temperatură de deformare care să permită desfășurarea procesului în condiții optime.

Optimizarea procesului de deformare va conduce pe lângă economie de material la o microstructură omogenă și fină care va determina proprietăți mecanice și tehnologice ridicate pentru viitoarea sculă.

În figura 2.7 se prezintă pe baza testelor efectuate, evoluția rezistenței la deformare în funcție de temperatura și viteza de deformare pentru oțelul rapid HS 3-3-2.

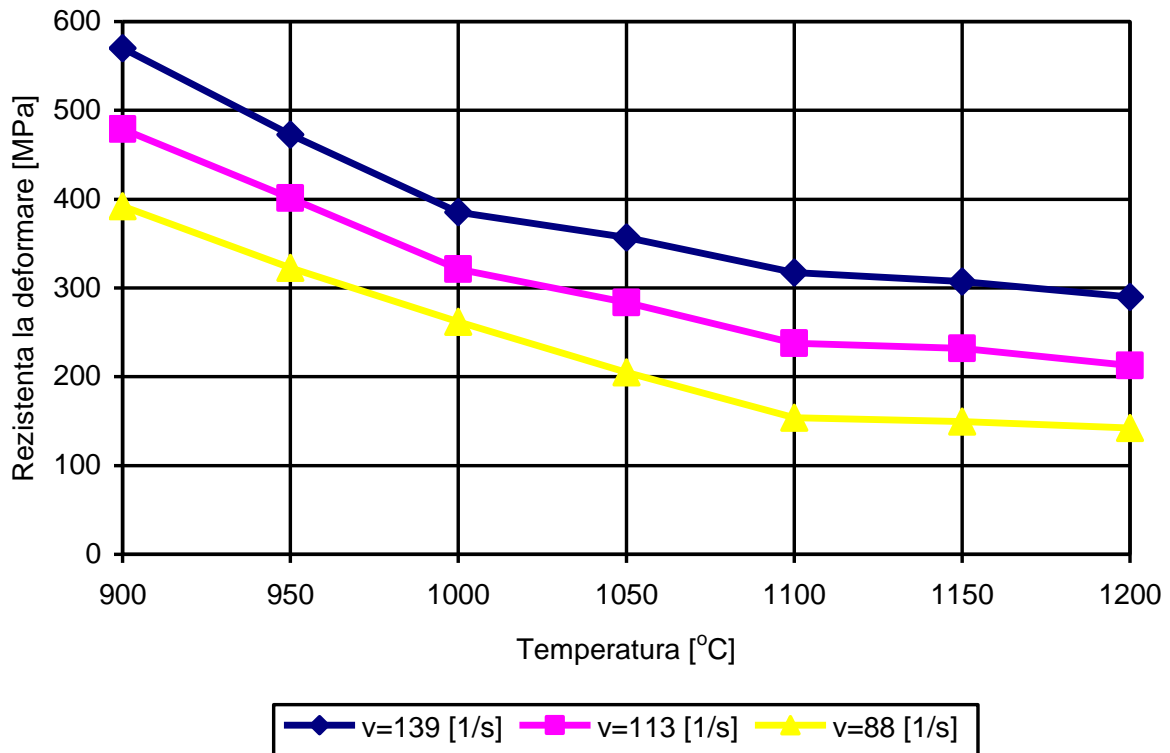


Fig. 2.7 Evoluția rezistenței la deformare pentru HS 3-3-2 în funcție de temperatura și viteza de deformare

Și pentru această marcă de oțel rapid se va determina dependența rezistenței la deformare în funcție de viteza și temperatura de deformare. Studiind graficul din figura 2.7 se constată că și în acest caz, rezistența la deformare scade pe măsură ce temperatura de deformare crește și viteza de deformare scade. Pentru stabilirea relației care face legătura între cele trei valori menționate s-a procedat în mod asemănător oțelului HS 6-5-2C. Prin aplicarea anamorfozării în cazul graficului din figura 2.7, concluzia care se desprinde arată că expresia care face legătura între cei trei parametri ai procesului de deformare este o funcție exponențială de forma:

$$y = a \cdot e^{b \cdot x + c \cdot y} \quad (2.17)$$

Realizând înlocuirile și calculele necesare, relația pentru calcularea rezistenței la deformare în cazul oțelului HS 3-3-2 are următoarea formă:

$$R_d = 1724,27 \cdot e^{0,010771915 \cdot v_d + 0,00286368 \cdot t_d} \quad [\text{MPa}] \quad (2.18)$$

În figura 2.8 se prezintă pe baza relației (2.18) evoluția rezistenței la deformare a oțelului rapid HS 3-3-2 în funcție de viteza și temperatura de deformare.

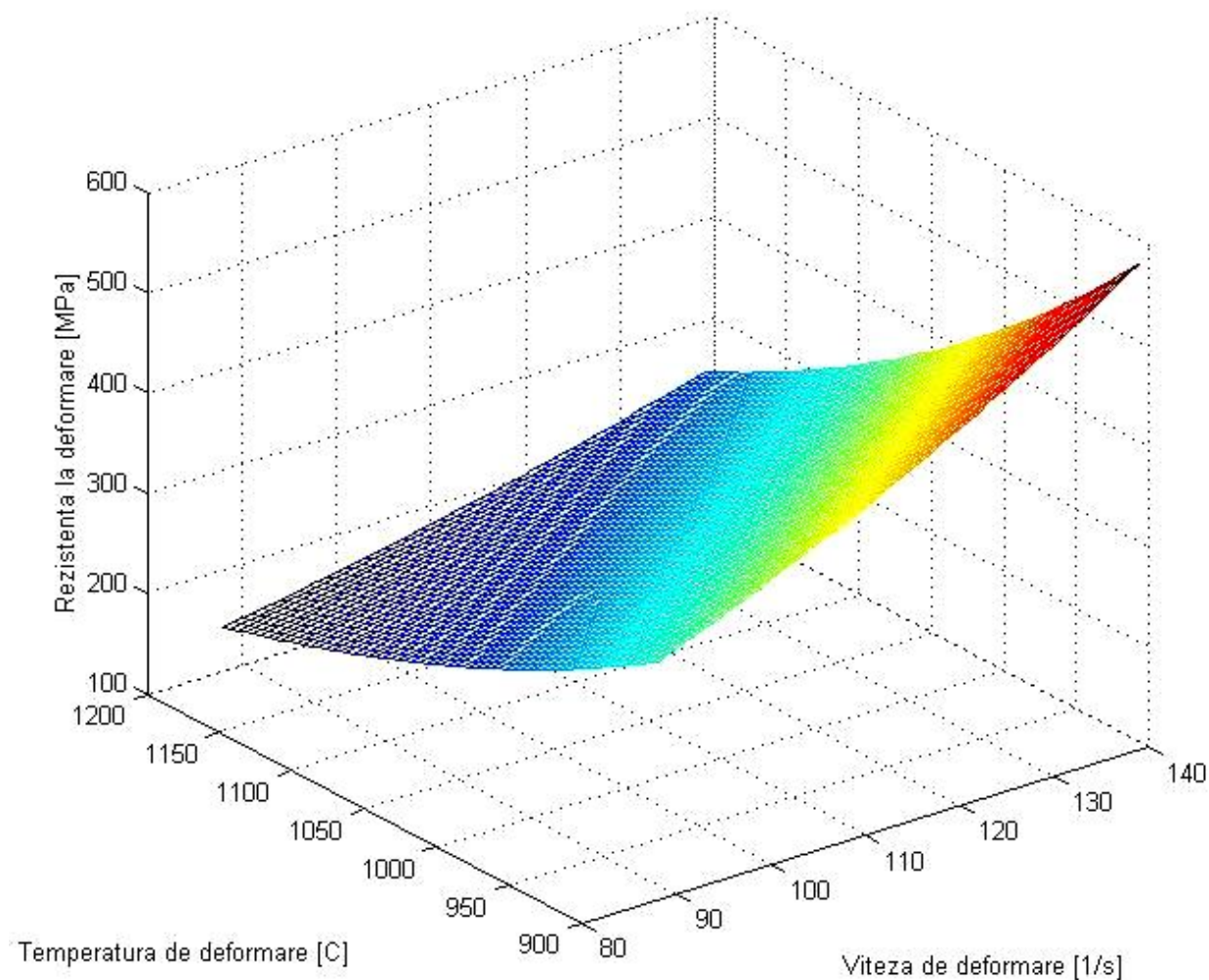


Fig. 2.8 *Evoluția rezistenței la deformare pentru oțelul HS 3-3-2 în funcție de viteza și temperatura de deformare*

În timpul tratamentului termomecanic de temperatură înaltă deformarea plastică a materialelor studiate a fost efectuată cu grade de deformare diferite, mai precis cuprinse între 45-75%. Proprietățile mecanice studiate au fost duritatea și reziliența. Duritatea a fost măsurată după ce epruvetele au fost supuse tratamentului termic de revenire [9]. Valorile medii ale durității obținute după ce rezultatele determinărilor au fost prelucrate sunt prezentate în figura 2.9.

Studiind rezultatele din figura 2.9 se observă că duritatea crește cu mărirea gradului de deformare, dar această creștere este destul de redusă, de maxim 5,5% în comparație cu duritatea epruvetei nedeformate (61,03 HRC pentru $\varepsilon=0\%$). Valoarea maximă a durității s-a obținut pentru $\varepsilon = 75\%$, dar care, nu corespunde pentru cel mai mare grad de deformare, la care a fost supus oțelul rapid HS 6-5-2C. Și pentru oțelul rapid HS3-3-2 există un maxim al durității care nu coincide cu cel mai mare grad de deformare aplicat. Duritatea maximă s-a obținut pentru $\varepsilon = 60\%$ și este cu 4,6% mai mare decât duritatea epruvetei nedeformate.

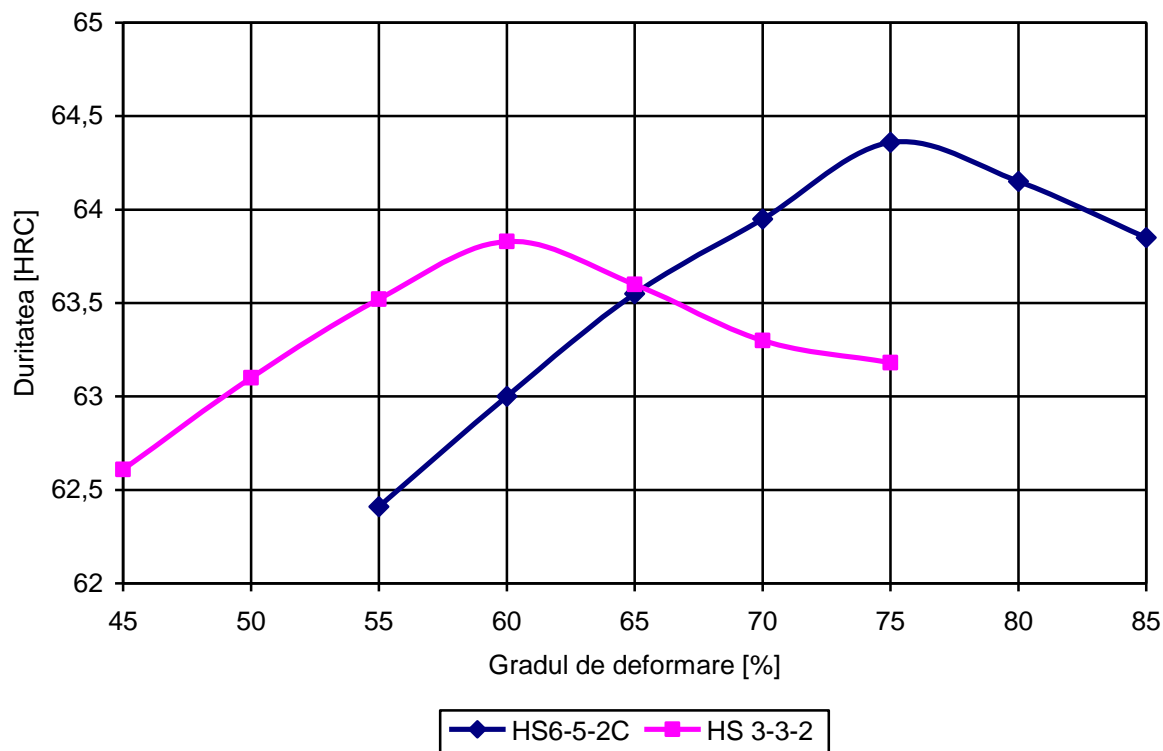


Fig. 2.9 Evoluția durității pentru oțelurile tratate termomecanic [9]

Deoarece în timpul utilizării sculelor așchietoare, acestea sunt supuse de multe ori la șocuri care conduc la distrugerea lor, s-a considerat necesară și o verificare a tenacității (rezilienței) semifabricatelor tratate termomecanic și revenite [9, 11]. Oțelurile rapide având tenacitate redusă, epruvetele testate la aceste încercări nu au fost prelucrate cu creștătură, deoarece existența acestora ar fi constituit un factor de amorsare al fisurilor, ceea ce ar determina scăderea accentuată a tenacității și implicit imposibilitatea unei departajări și interpretări corecte a rezultatelor obținute. Simbolizarea încercărilor de reziliență efectuate este $KC_{16,56/10}$.

Valorile medii ale rezultatelor încercărilor de reziliență sunt prezentate în figura 2.10. Din analiza figurii se constată că reziliența are creștere accentuată în cazul oțelului HS 6-5-2C pentru grade de deformare cuprinse între 55% și 70% iar pentru oțelul HS 2-3-2 pentru grade de deformare cuprinse între 45% și 60%. Peste aceste valori, reziliența crește ușor, iar față de reziliența epruvetei nedeformate plastic care este de $3,8 \text{ daJ/cm}^2$ pentru HS 6-5-2C și de $4,1 \text{ daJ/cm}^2$ pentru HS 2-3-2, tenacitatea este mai mare cu 78% pentru HS 6-5-2C și cu 89% pentru HS 3-2-2.

În funcție de proprietate cea mai importantă pentru sculă, se poate opta pentru gradul de deformare care aplicat în timpul tratamentului termomecanic să maximizeze respectiva proprietate, mai precis pentru o duritate sau o reziliență mărită.

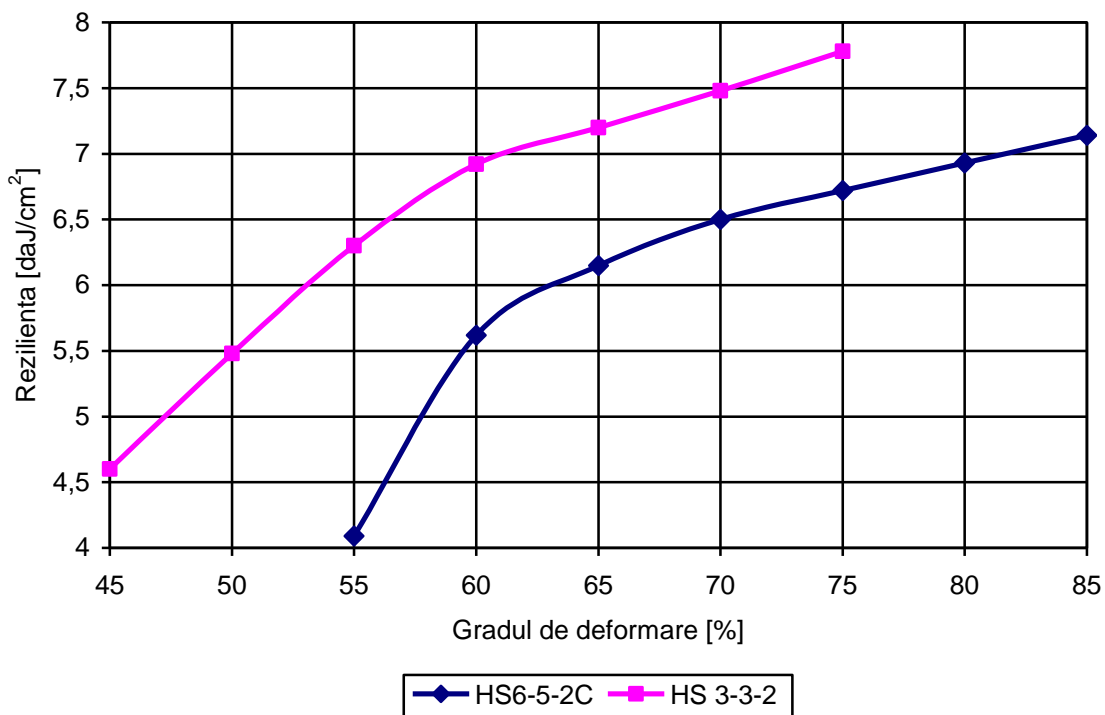


Fig. 2.10 Evoluția rezilienței pentru oțelurile tratate termomecanic [9]

Caracteristicile de exploatare cele mai semnificative și mai direct influențate de conținutul de carbon și elemente de aliere (prin intermediul caracteristicilor microstructurale și a factorilor care le determină și influențează) sunt duritatea și reziliența. Proprietățile mecanice studiate au o evoluție pozitivă în funcție de gradul de deformare aplicat materialului. Suprapunând evoluția durității și rezilienței peste același grafic se poate observa că valoarea gradului de deformare pentru care cele două proprietăți mecanice au o valoare aproape de maxim este de 60 – 75%. Deformarea plastică a oțelului rapid cu grade mari, determină atât îmbunătățirea microstructurii cât și a proprietăților mecanice studiate.

2.2 Comportarea în așchiere a sculelor tratate termomecanic

Deși materialele pentru fabricarea sculelor așchietoare s-au diversificat, gama lor extinzându-se continuu, categoria oțelurilor rapide nu a fost abandonată, rolul lor fiind doar diminuat. Domeniul oțelurilor rapide nu a fost explorat și exploatat în totalitate (la întreaga capacitate), motiv pentru care a fost inițiată și cercetarea prezentată în teza de abilitare. Datorită unui raport preț/calitate acceptabil, a durității și tenacității bune, sculele din oțeluri rapide vor fi produse în continuare, fapt confirmat și de studiile prezentate la începutul tezei.

Cercetările efectuate au evidențiat faptul că aplicarea tratamentului termomecanic de temperatură înaltă (deformare plastică la cald urmată de tratament termic specific oțelului rapid)

îmbunătățește atât duritatea cât și tenacitatea. Programul de cercetare s-a desfășurat în mai multe etape. Ultima etapă a cercetării care este prezentată în continuare a determinat comportarea în așchiere a sculelor obținute din oțeluri rapide tratate termomecanic.

Aplicarea tratamentului termomecanic la oțelurile rapide a avut un efect pozitiv asupra proprietăților mecanice și tehnologice. Mai precis, microstructura oțelurilor este mai fină, duritatea, tenacitatea și rezistența la încovoiere au crescut. Aceste proprietăți sunt fundamentale pentru scule așchietoare, motiv pentru care ele au și fost studiate. Studiile efectuate au arătat că aplicarea unei deformări suplimentare oțelurilor rapide, îmbunătățește proprietățile, dacă gradul de deformare este cuprins între 50-70 %. Deoarece deformarea plastică s-a efectuat cu grade de deformare între 50-70%, fapt care a necesitat mai multe etape, refularea a fost operația care s-a pretat cel mai bine pentru asigurarea unui asemenea grad de deformare. O categorie de scule așchietoare care să fie prelucrată printr-o astfel de succesiune de operații este cea a frezelor disc. Prin procedeul descris anterior s-au realizat scule așchietoare din categoria frezelor disc (fig. 2.11), procedeul fiind eficient economic doar pentru scule cu dimensiuni (diametre) mari și geometrii complexe [10]. După tratamentul termomecanic, sculele au trecut în etapa prelucrărilor de finisare pentru aducerea lor la geometria finală.

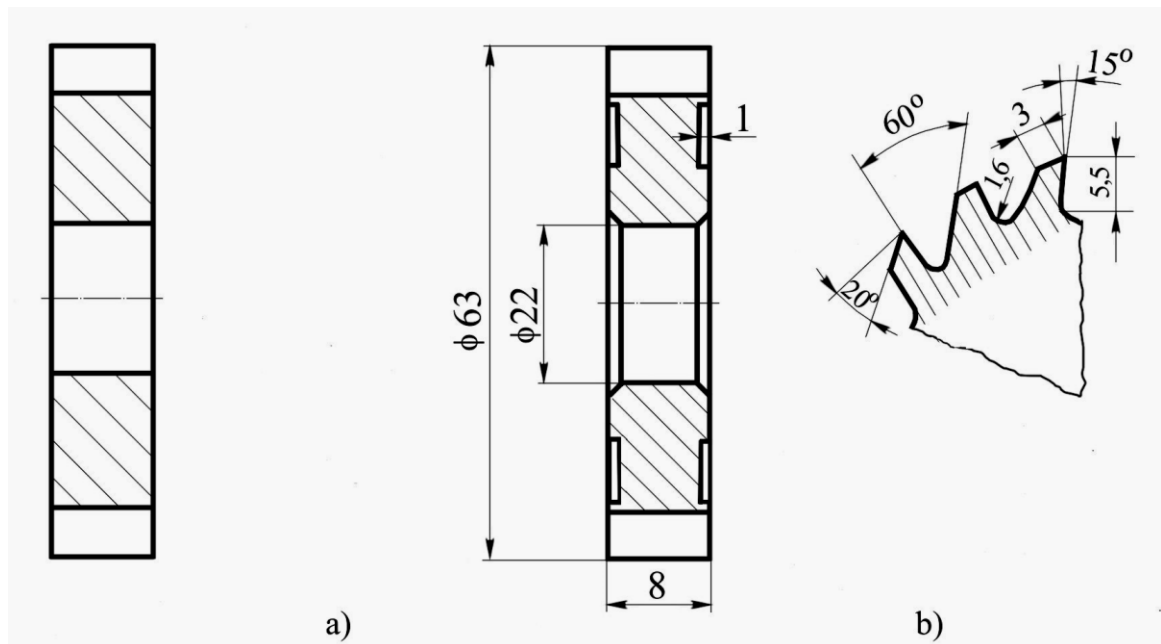


Fig. 2.11 Dimensiunile și geometria frezei disc testate

Frezele disc obținute prin tratament termomecanic au fost supuse unei încercări de comportarea în așchiere. Comparația a fost făcută între acest tip de freze disc și unele similare dar obținute prin metoda clasică. Comportarea în așchiere pentru aceste scule s-a efectuat atât în condiții grele cât și în condiții obișnuite. Toate încercările de așchiere efectuate s-au desfășurat

conform normelor de testare după care lucrează producătorul acestui tip de scule. Caracteristicile condițiilor de încercare grele au fost:

- materialul așchiat oțel C45 de lungime 500 mm, cu duritate de 182 HB;
- lichidul de răcire compus din ulei emulsionabil în apă (5 % ulei), debit 5 l/min.

Pentru frezele disc, normele prevăd ca lățimea de așchiere să fie identică cu lățimea frezei. Pentru obținerea unor rezultate cât mai relevante, testele s-au efectuat pe scule cu diametre, lățimi și număr de dinți diferiți. Comportarea în așchiere a tuturor acestor scule a fost mai bună decât a sculelor similare dar obținute prin procedeele clasice. Volumul rezultatelor testelor efectuate fiind mare, în teza de abilitare sunt prezentate doar rezultatele efectuate cu o freză disc cu diametrul de 63 mm, lățimea de 8 mm și un număr de 16 dinți. Materialul frezelor a fost oțel rapid marca HS 6-5-2C. De asemenea trebuie amintit faptul că frezele disc au fost obținute prin aplicarea unui tratament termomecanic ca cel descris anterior. Dimensiunile și geometria frezei disc au fost prezentate în figura 2.11.

Pentru încercările efectuate s-au menținut constanți următorii parametri:

- adâncimea de așchiere $t = 9,5$ mm;
- avansul pe dinte $f_d = 0.09$ mm.

Aceste valori au fost stabilite pe baza informațiilor furnizate de producătorul de scule. Norma impune și valoarea vitezei de așchiere: $v_p = 20 \dots 28$ m/min. Pentru tipul sculei testate ($\phi = 63$ mm), turația axului frezei adoptată a fost $n = 118$ rot/min (turație existentă pe mașina de frezat), adică $v_p = 23,35$ m/min, viteză care s-a înscris în intervalul din normă. Valoarea avansului a fost de $v_s = 150$ mm/min (1,27 mm/rot), existent pe mașina de frezat. Parametrii regimului de așchiere din cadrul testării dure sunt prezentați în tabelul 2.1.

Tabelul 2.1

Parametrii regimului dur

Regim \ Parameteru	v_p [m/min]	s [mm/rot]	t [mm]
A	23,35	1,27	9,5
B	29,68	1,56	9,5
C	37,60	1,57	9,5

Scopul încercării a fost de a determina valoarea uzurii pe fața de așezare, pentru a face o comparație între comportarea frezelor disc obținute prin tratament termomecanic și cele clasice. În urma încercării de comportare în așchiere nu trebuie să se constate smulgeri de material, urme de uzură, sau alte defecte. După încercare, freza trebuie să poată fi utilizată în continuare în așchiere. Lățimea uzurii pe fața de așezare nu trebuie să depășească 0.2 mm. În figura 2.12 se prezintă tipurile de uzură care pot apărea la sculele așchietoare:

VB – lățimea uzurii pe fața de așezare principală;

KB – lățimea craterului;

KL – distanța de la vârful frezei la originea craterului;

KT – adâncimea craterului.

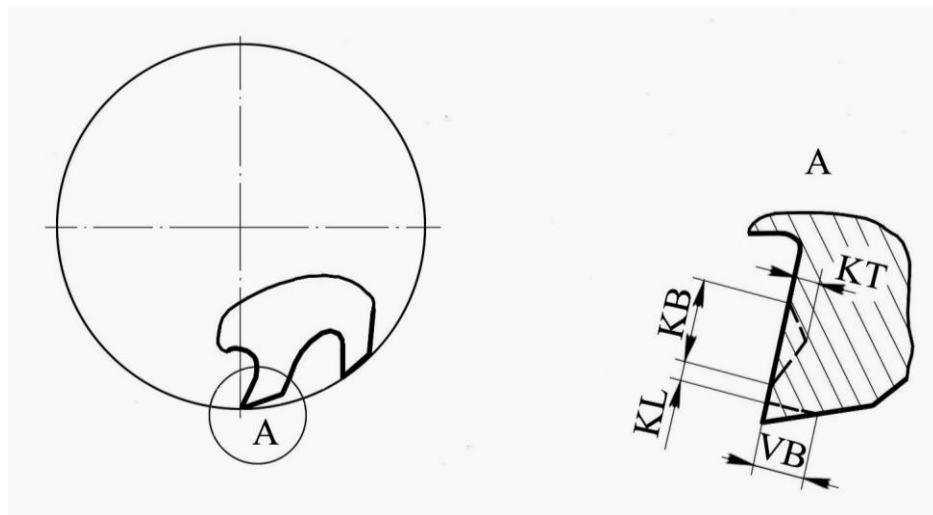


Fig. 2.12 Tipuri de uzură ale părții așchietoare

Măsurarea uzurii s-a efectuat după ce s-a așchiat cu frezele testate pe o distanță de 6 m și 12 m. Pentru un rezultat cât mai precis al modului de uzare al dinților frezei, măsurarea s-a efectuat din doi în doi dinți, mai precis la dinții impari. Rezultatele încercărilor efectuate sunt prezentate în figura 2.13.

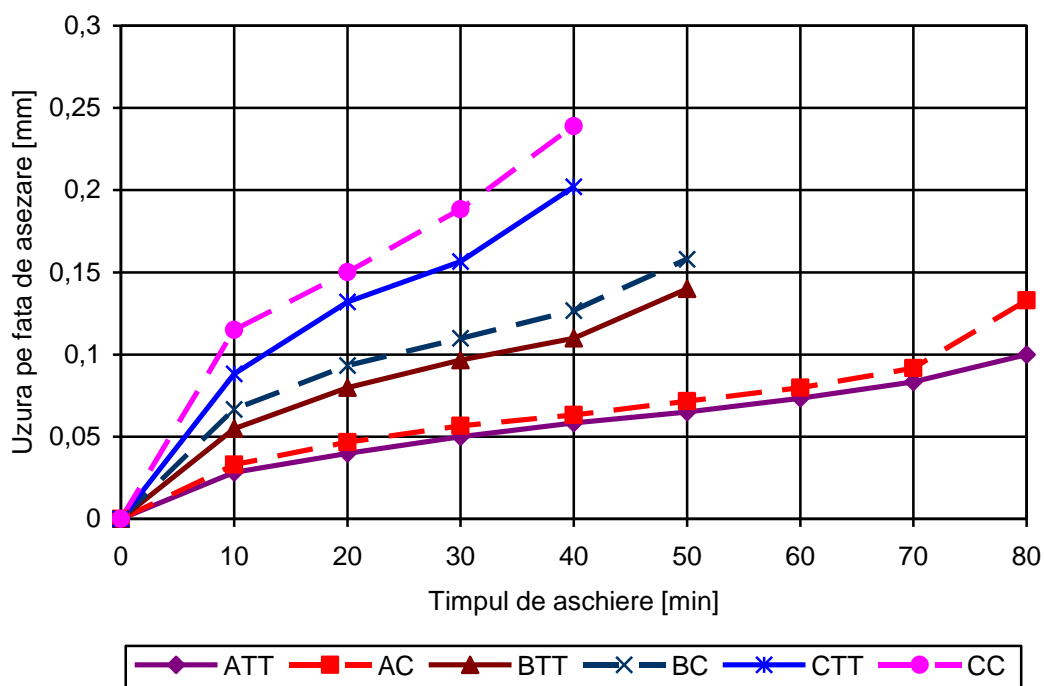


Fig. 2.13 Variația uzurii în timp, funcție de viteză: A, B, C – regim de așchiere, TT – tratament termomecanic, C – clasică (ATT – freză disc tratată termomecanic, testată în regim A)

Deși testul de aşchiere s-a efectuat pe o lungime mai mare decât cea prevăzută în norme, la frezele încercate nu s-a constatat apariția smulgerilor (ciupiturilor) sau dinților ruși, nici la frezele obținute prin tratament termomecanic nici la cele obținute prin metoda clasică. O primă concluzie este că tratamentul termomecanic, nu a determinat fragilizarea oțelului rapid care să conducă la deteriorarea proprietăților mecanice și tehnologice ale oțelului rapid HS 6-5-2C. Analiza graficului din fig. 2.13 arată că indiferent de viteza de aşchiere folosită în timpul încercărilor de comportare în aşchiere, uzura dinților este mai mică la frezele obținute prin deformare plastică.

În figura 2.14 se prezintă evoluția uzurii funcție de viteza de aşchiere.

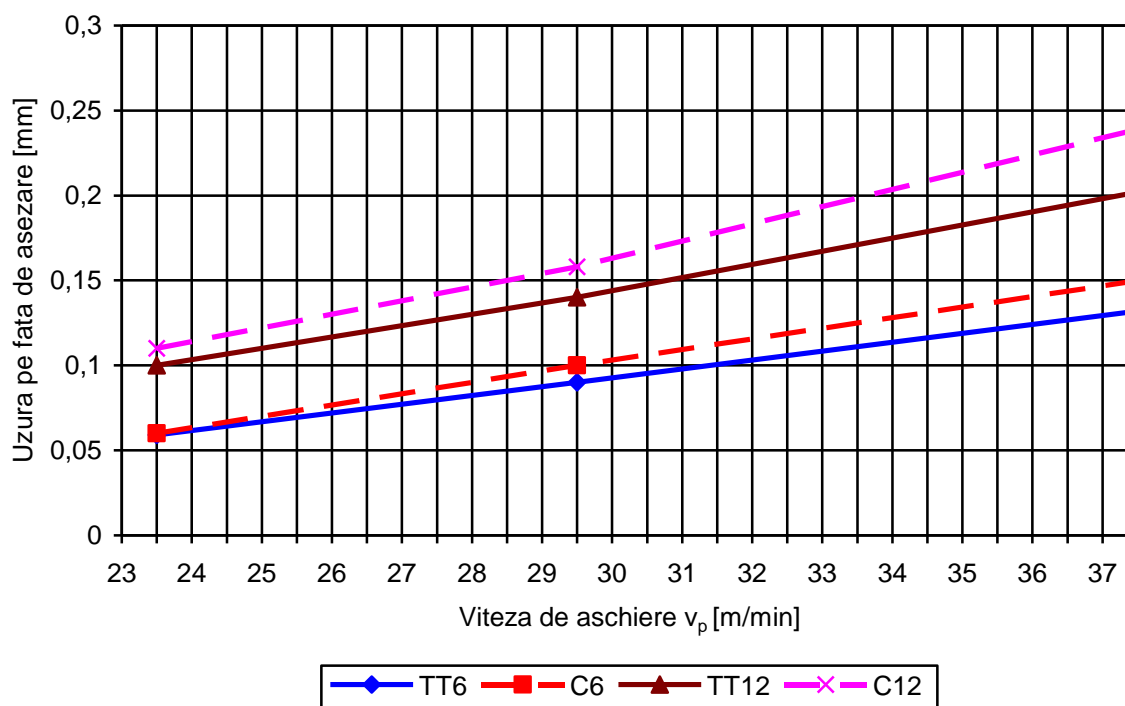


Fig. 2.14 Evoluția uzurii funcție de viteza de aşchiere: distanța de testare 6, 12 metri

Și din această figură se poate constata că la frezele obținute prin tratament termomecanic, uzura pe fața de aşezare este mai mică decât cele fabricate prin metoda clasică. La viteze de aşchiere mici diferențele de uzură sunt reduse, iar pe măsură ce viteza de aşchiere crește, diferențele dintre uzuri, cresc. Deoarece regimul de testare descris anterior a fost unul dur, aceleași teste se fac pentru regimuri de aşchiere obișnuite (normale) pentru astfel de scule și prelucrări. Scopul încercării a fost de completare a informațiilor despre comportarea în aşchiere a frezelor disc din oțel rapid HS 6-5-2C obținute prin tratament termomecanic. Parametrii regimului de aşchiere normal sunt prezentați în tabelul 2.2.

Tabelul 2.2
Parametrii regimului normal de aşchiere

Regim \ Parametru	v_p [m/min]/[rot/min]	s_d [mm]	t [mm]
A	11,70/60	0,06	1,4
B	14,60/745	0,06	1,4
C	18,60/95	0,06	1,4
D	23,35/120	0,06	1,4

Studierea uzurii se face cu ajutorul celor două categorii de freze disc prezentate anterior. Materialul aşchiat este tot un oţel marca C45 cu duritatea de 175 HB, debitul fluidului de răcire a fost de 3 l/min. Încercarea s-a făcut pentru fiecare viteză de aşchiere, prin măsurarea uzurii pe faţa de aşezare a dinţilor din 20 în 20 de minute. Rezultatele acestor încercări sunt prezentate în figura 2.15.

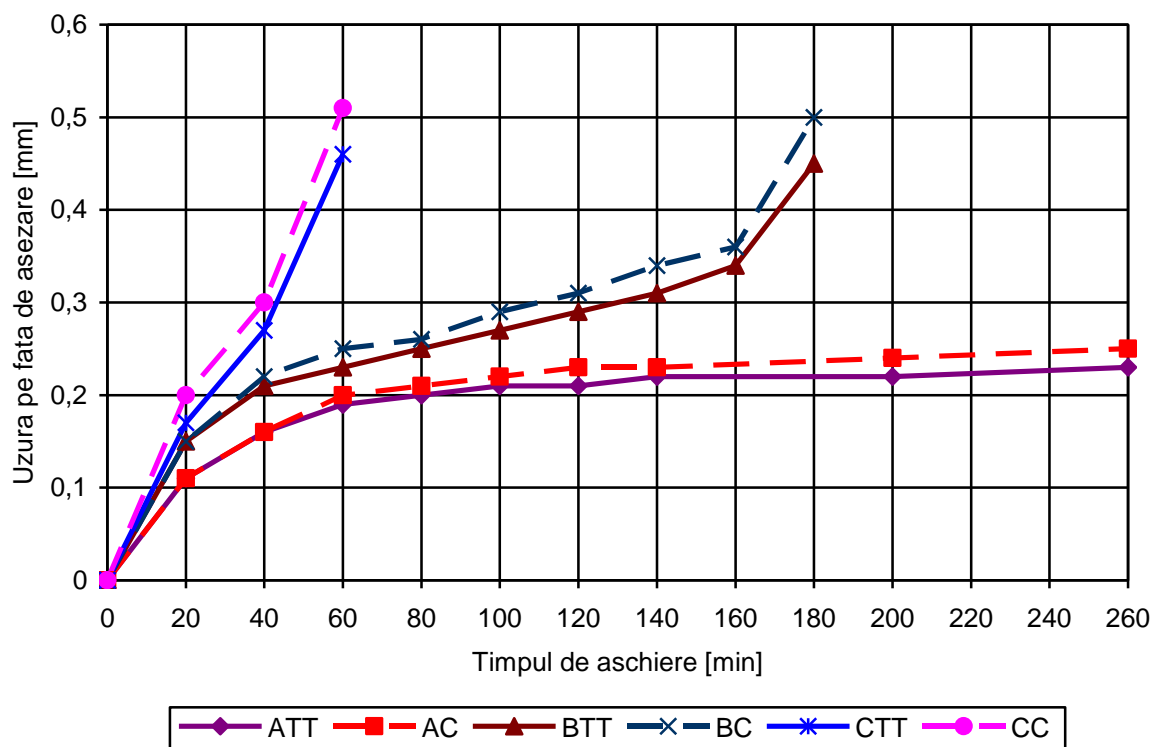


Fig. 2.15 Variaţia uzurii în timp funcţie de viteză: A, B, C – regim de aşchiere, TT – tratament termomecanic, C – clasică

Analiza graficului arată că la începutul testului uzura este aproape identică pentru cele două tipuri de freze, iar pe măsură ce timpul de aşchiere creşte, diferenţele de uzură sunt tot mai mari. Diferenţele de uzură sunt prezentate mai bine în figura 2.16. Analiza figurii arată că în prima parte a încercării uzura celor două categorii de freze este aproape identică. Pe măsură ce timpul de aşchiere creşte, diferenţele dintre uzuri încep să se accentueze.

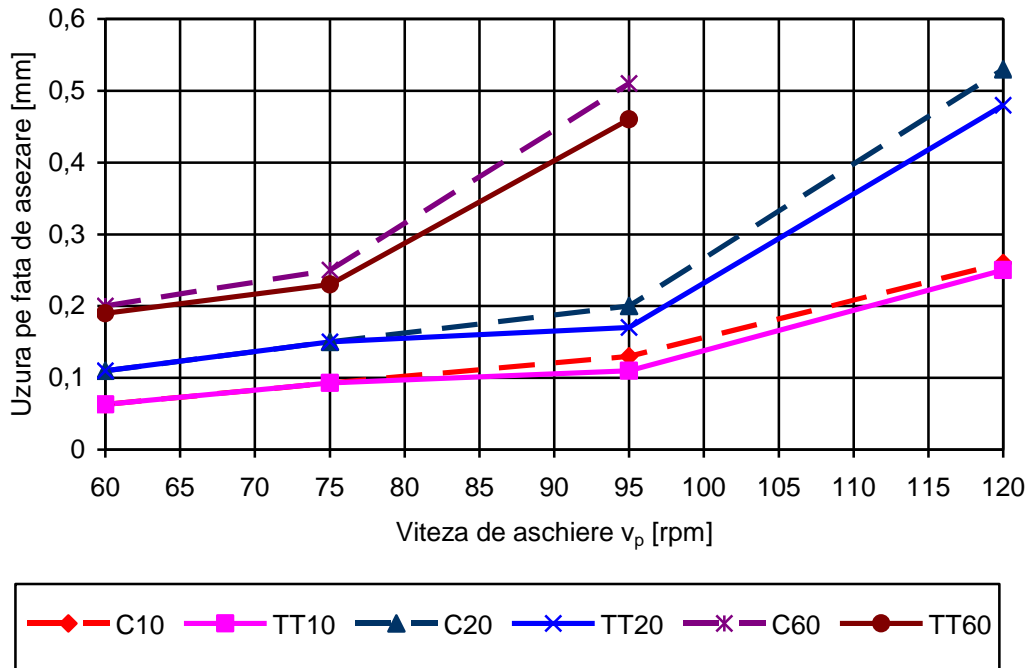


Fig. 2.16 Evoluția uzurii funcție de viteză: timp – 10, 20, 60 minute,
 TT – tratament termomecanic, C - clasică

Conform indicațiilor producătorului de freze disc, se consideră că scula a ajuns la valoarea admisibilă a uzurii, când valoarea acesteia pe fața de așezare este de 0,4 mm. Pentru cazul de față, s-a considerat ca uzură admisibilă valoarea $h_\alpha = 0,45$, valoare pentru care s-a construit graficul durabilității funcție de viteză (fig. 2.17).

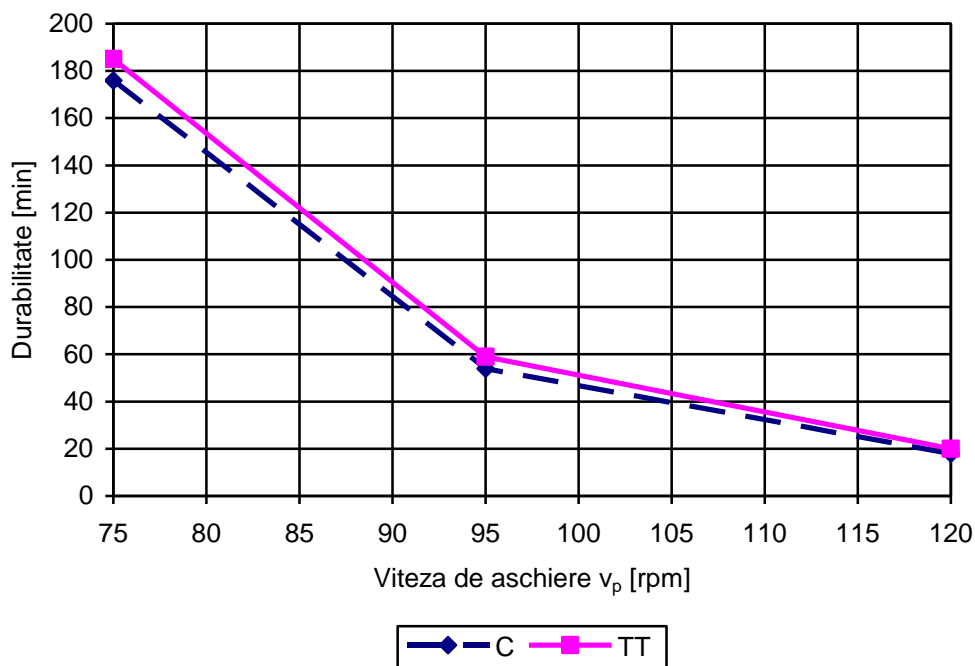


Fig. 2.17 Evoluția durabilității în funcție de viteza de așchiere

Analiza figurii 2.17 arată că în domeniul vitezelor testate, variația durabilității în funcție de viteză este monotonă și are o traiectorie descrescătoare. Rezultatele mai bune sunt pentru sculele din oțelul rapid care au fost tratate termomecanic.

Concluzia generală este că în așchiere, comportare sculelor obținute prin tratament termomecanic este net superioară celor produse prin metode clasice (prelucrare în totalitate prin așchiere). Comparând evoluția celor două tipuri de freze se pot trage următoarele concluzii:

- frezele disc realizate prin tratament termomecanic se uzează mai puțin decât cele clasice, indiferent de viteza de rotație sau timpul de așchiere;
- la viteze de așchiere mari, specifice acestui material, aceste diferențe încep să devină mai evidente, bineînțeles în favoarea celor tratate termomecanic.

Aplicarea unui tratament termomecanic oțelului rapid HS 6-5-2C conduce la proprietăți mecanice și tehnologice superioare în comparație cu cele obținute în urma prelucrării prin metode clasice. Evoluția pozitivă a proprietăților va influența comportarea în bine a sculelor obținute din materialele, astfel prelucrate. Un dezavantaj al aplicării tratamentului termomecanic este că devine rentabil pentru anumite tipuri de scule, mai precis pentru sculele cu dimensiuni mari și geometrii complicate.

2.3 Influența tratamentului termomecanic asupra durității și uzurii oțelului rapid HS 2-9-1-8

Tratamentul termomecanic de temperatură înaltă a fost aplicat și oțelului rapid HS 2-9-1-8 (Rp₁₀ Sp). Stabilirea legăturilor între proprietățile materialului sculei așchietoare și performanțele tehnice ale acesteia, reprezintă una din principalele probleme practice ce trebuie rezolvată și care în stadiul actual al industriei prelucrătoare este de importanță majoră. De asemenea, se încearcă ca prin combinarea sau aplicarea de noi procedee de prelucrare a materialului, proprietățile acestora să se îmbunătățească [25, 26]. Admitând rolul, diversitatea și importanța majoră a sculelor așchietoare, orice efort depus în vederea creșterii fiabilității acestora este justificat.

O sculă așchietoare apropiată de ideal ar trebui să aibă duritatea și tenacitatea ridicate. Actual sculele așchietoare au duritate mare, proprietate care poate fi asigurată și de oțelurile rapide, dar de multe ori tenacitatea lor este scăzută. Cercetările anterioare efectuate, au arătat că aplicarea unui tratament termomecanic (deformare plastică la cald urmată de tratament termic specific oțelului rapid), îmbunătățește atât duritatea cât și tenacitatea [3, 5, 6, 28].

Tratamentul termomecanic de temperatură înaltă a fost aplicat oțelului rapid HS 2-9-1-8, folosit la fabricarea sculelor așchietoare cu diametre mari și geometrie complexă (categoria frezelor disc cu alezaj) pentru care deformarea plastică prin refulare este adecvată. Compoziția chimică a oțelului rapid pe care s-au efectuat testele a fost prezentată în tabelul 1. S-a ales acest oțel deoarece procentul ridicat de Co (8%) determină creșterea termostabilității materialului, caracteristică necesară așchierii cu viteze mari. Rezistența mecanică a materialelor metalice poate fi mărită pe două cai diametral opuse:

- prin realizarea unei structuri ideale, lipsită de defecte, dar care necesită asigurarea unor condiții tehnice deosebite;
- prin crearea de defecte (în special dislocații) și limitarea deplasării acestora, soluție realizabilă la scară industrială.

A doua cale, mai ușor de aplicat din punct de vedere tehnologic, se bazează pe procese de deformare plastică și tratamente termice. Procesele menționate pot fi aplicate separat sau se poate aplica un tratament termomecanic, care va pune în valoare cele 2 procese simultan și/sau succesiv. Scopul general al tratamentului termomecanic este obținerea unor asocieri optime de proprietăți mecanice (duritate și plasticitate ridicate, uzură redusă), deosebite de cele determinate de tratamentele termice clasice. Prin aplicarea tratamentelor termomecanice [25, 32], proprietățile de rezistență cresc concomitent cu menținerea unor valori bune de plasticitate dacă gradul de deformare este cuprins între 40-50%. Dacă deformarea se face prin forjare, reziliența are valori maxime pentru un grad de deformare de 60-75%. În cazul altor oțeluri rapide [8, 19, 20] caracteristici îmbunătățite ale durității, rezistenței la încovoiere și rezilienței s-au obținut pentru grade de deformare de 45-85%.

Tratamentul termomecanic de temperatură înaltă aplicat oțelului rapid HS 2-9-1-8 s-a desfășurat astfel [5]:

- încălzire la 1200-1230°C;
- deformare plastică prin forjare liberă cu grade de deformare cuprinse între 50-70% până la 980-1000°C; gradul de deformare aplicat fiind ridicat, la unele epruvete a fost necesară oprirea deformării plastice, reîncălzirea epruvetelor și reluarea procesului de deformare plastică;
- călire în ulei sau aer comprimat (presiune 5 bari).

Procesul a continuat cu trei reveniri înalte (încălzire la 530-540°C urmată de răcire în aer comprimat), cu scopul îndepărtării austenitei reziduale. Deoarece s-a analizat influența tratamentului termomecanic asupra durității și uzurii, un grad de deformare mai mic de 50%, nu a determinat evoluții pozitive ale proprietăților studiate.

Încercările au fost făcute pe epruvete cilindrice din oțel rapid HS 2-9-1-8 având diametrul inițial de 25 mm și înălțimea inițială de 40 mm. Acestea au fost refulate prin forjare cu grade de

deformare diferite. Gradul de deformare s-a calculat cu relația (2.7). Aplicarea TTMTÎ determină îmbunătățirea semnificativă a microstructurii oțelului rapid HS 2-9-1-8 în comparație cu epruvetele care nu au beneficiat de deformarea plastică. Pentru epruvetele tratate termomecanic și călite în ulei s-a măsurat duritatea, evoluția acestei caracteristici fiind prezentată în figura 2.18.

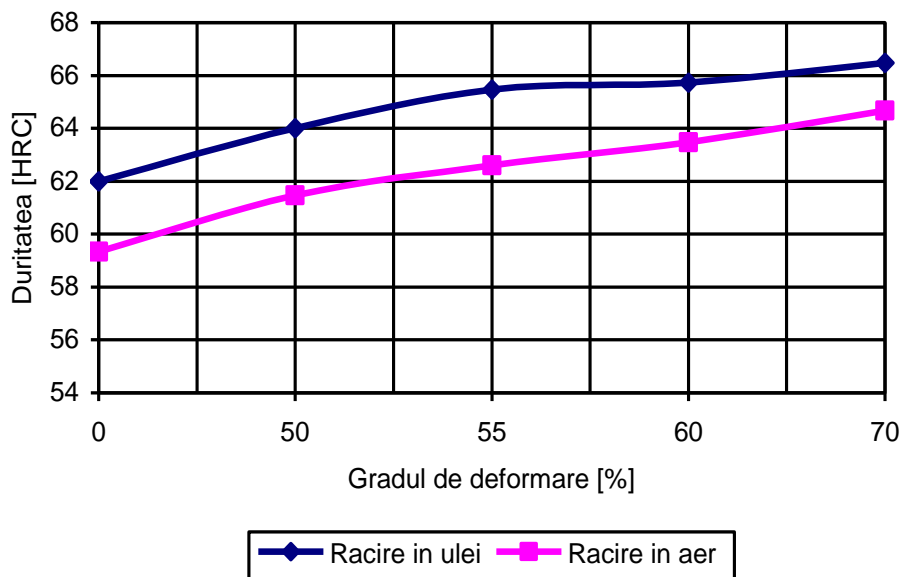


Fig. 2.18 Evoluția durității în funcție de gradul de deformare pentru oțelul HS2-9-1-8 tratat termomecanic și călit în ulei sau aer [5]

Creșterea de duritate este de peste 7% pentru epruvetele la care gradul de deformare a fost de 70%, în comparație cu duritatea epruvetelor care nu au fost deformate plastic ($\epsilon=0\%$), dar cărora s-a aplicat doar călirea în ulei și revenirea înaltă. De asemenea și pentru gradele de deformare 50-60% se constată o creștere de duritate. Creșterile de duritate fiind de câteva unități HRC, a fost verificată și influența acesteia asupra comportării la uzare a epruvetelor.

Stabilirea uzurii s-a făcut cu un dispozitiv care permite testarea simultană a două epruvete. Pentru ca uzura să fie mai accentuată, încercarea s-a făcut fără răcire și fără lubrifierea suprafețelor. Temperatura la care epruvetele au ajuns la sfârșitul intervalului de încercare a fost de 110-130°C, scăzută în comparație cu temperaturile la care ajung sculele așchietoare din oțeluri rapide în timpul operațiilor de așchiere. Stabilirea uzurii s-a făcut pe baza pierderii masei epruvetelor în timpul încercărilor, acestea fiind cântărite înainte și după încercare, cu ajutorul unei balențe electronice cu 4 zecimale. Uzură s-a determinat cu relația:

$$w = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100 \quad , \quad (2.18)$$

unde:

- m_i masa inițială a epruvetei;
- m_f masa epruvetei după încercare (după 30 minute).

Timul total de încercare al epruvetelor a fost de 180 minute, cântărirea epruvetelor fiind efectuată la intervale de 30 minute. În figura 2.19 se prezintă evoluția în timp a uzurii epruvetelor din oțel rapid HS 2-9-1-8 tratate termomecanic și călite în ulei.

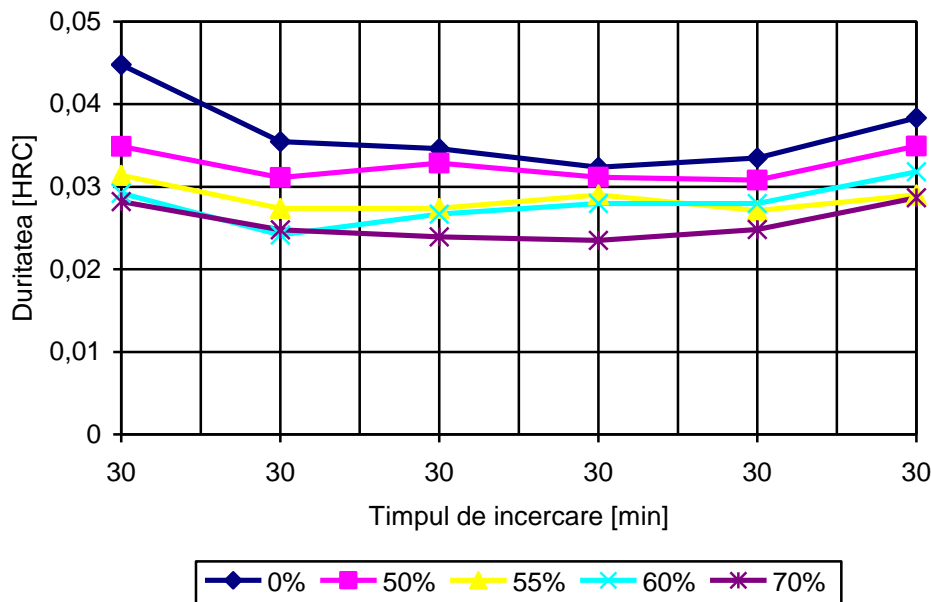


Fig. 2.19 Evoluția uzurii în timp pentru oțelul HS 2-9-1-8 tratat termomecanic și călit în ulei [5]

Graficul din figura 2.19 arată că tratamentul termomecanic de călire în ulei, aplicat oțelului rapid HS 2-9-1-8 determină o uzură mai redusă la epruvetele deformate plastic decât la cele care nu au fost deformate plastic.

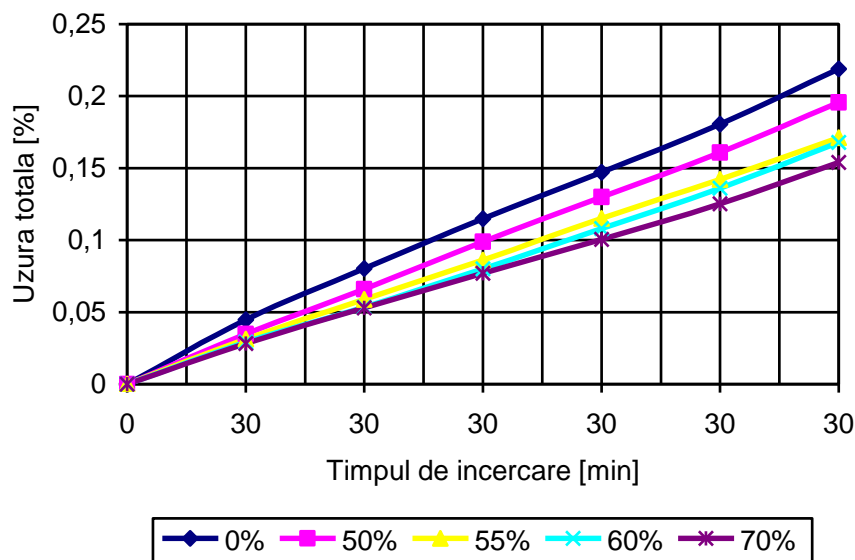


Fig. 2.20 Evoluția uzurii totale în timp pentru oțelul HS 2-9-1-8 tratat termomecanic și călit în ulei [5]

În figura 2.20 se prezintă evoluția uzurii oțelului HS 2-9-1-8 tratat termomecanic față de începutul testului, grafic ce prezintă mai bine diferențele între uzurile epruvetelor tratate termomecanic și acelea cărui tratament respectiv nu a fost aplicat.

În cazul călirii în aer evoluția uzurii totale se prezintă în figura 2.21.

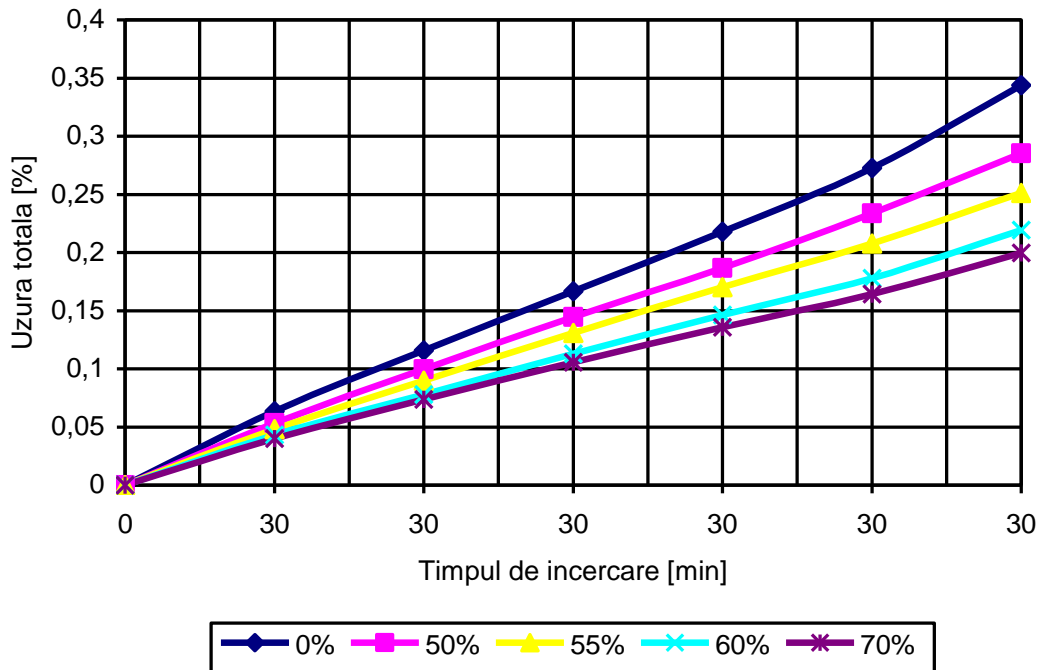


Fig. 2.21 Evoluția uzurii totale în timp pentru oțelul HS 2-9-1-8 tratat termomecanic și călit în aercomprimat [5]

Aplicarea tratamentului termomecanic de temperatură înaltă oțelului rapid HS 2-9-1-8 influențează în mod favorabil duritatea și uzura respectivului oțel. În cazul durității epruvetelor tratate termomecanic și călitate în ulei creșterea este de 7% pentru un grad de deformare de 70% în comparație cu acelea nedeformate. Pentru grade de deformare cuprinse între 50% și 60% există de asemenea creșteri ale durității ca urmare a aplicării TTMTÎ, dar nu cu aceleași valori ca cele precizate. Referitor la uzură, din figura 2.19 se constată că cea mai mică uzură s-a înregistrat pentru epruvetele la care gradul de deformare a fost de 70%. Evoluția uzurii este similară atât pentru probele la care tratamentul termomecanic a fost aplicat cât și la cele fără deformare (clasice). După o uzură mai accentuată la începutul încercării datorată rodării, aceasta a fost aproape constantă pe parcursul încercării.

Analizând figura 2.20 se poate observa mai bine evoluția uzurii pe întregul test. După 180 minute de testare, epruvetele tratate termomecanic au o uzură mult inferioară în comparație cu a celor care nu au fost deformate. Pentru un grad de deformare de 70% aplicat în timpul TTMTÎ uzura materialului este mai redusă cu 42% decât a materialului nedeformat ($\varepsilon=0\%$), aceleași

evoluții favorabile înregistrând și epruvetele deformate cu 50, 55 și 60%. Caracteristicile studiate ale oțelului HS 2-9-1-8 tratat termomecanic se îmbunătățesc semnificativ pentru grade de deformare cuprinse între 60 și 70%. Deși duritatea nu a avut creșteri semnificative (7%), impactul asupra uzurii este mult mai relevant, micșorarea acesteia fiind de 42%.

Aplicarea tratamentului termomecanic de temperatură înaltă oțelului HS 2-9-1-8 determină creșterea durității și reducerea uzurii, cu implicații în creșterea productivității prelucrărilor prin așchiere (reascuțirea ar fi mai rară) și a reducerii costului prelucrărilor (consum de scule așchietoare mai redus).

2.4 Influența tratamentului termic cu surse concentrate de energie asupra proprietăților mecanice ale oțelurilor aliate

Progresul înregistrat în ultima perioadă de cercetarea fundamentală a permis ca multe din noile aplicații dezvoltate să-și găsească utilizare în domeniul industrial. Din această categorie, fac parte și sursele concentrate de energie (cu laser sau fascicul de electroni) care datorită caracterului unic conferit de proprietățile lor specifice, au permis deschiderea unui câmp de aplicații de neimaginat, care au impulsionat și perfecționat numeroase tehnici existente sau au condus la apariția unor noi. Rezultatele prezentate în continuare fac parte dintr-un proiect mai amplu, care cuprinde studiul influenței tratamentelor termice cu surse concentrate asupra microstructurii și proprietăților mecanice, când acestea sunt aplicate oțelurilor aliate sau fontelor. Mai precis, sunt prezentate rezultatele obținute când sunt utilizate sursele concentrate, în tratamentul termic de suprafață al oțelurilor aliate X210Cr12 și HS 18-0-1 (Rp₃).

Tratamentele termice executate cu ajutorul surselor concentrate de energie (radiații laser sau fascicul de electroni) se bazează pe fenomene de origine termică. Fiecare din aceste surse după ce este produsă, trebuie transferată sub formă concentrată (energie mare pe suprafață mică) pe suprafața ce trebuie încălzită. Folosirea surselor concentrate de energie termică în tratamentele termice de suprafață, impune restricții deosebite privind alegerea corespunzătoare a acestora, pentru a nu se produce schimbări de fază nedorite în structura materialelor, în zonele afectate.

Îmbunătățirea proprietăților mecanice ale aliajelor prin tratamente termice este rezultatul modificării naturii, formei, mărimii și repartiției constituenților metalografici structurali, datorită transformărilor de fază în urma acțiunii termice produse de sursele concentrate. În cazul aplicării tratamentului termic cu laser, temperatura de încălzire a suprafeței piesei și adâncimea de pătrundere în material pot fi modificate prin reglarea puterii fascicului (focalizării) și a vitezei piesei în fața fascicului sau a duratei impulsului laser. Grosimea stratului tratat termic este

influențată și de conductivitatea termică a materialului piesei. Pentru tratamentele termice se utilizează de obicei instalații laser cu emisie continuă, cu gaze CO_2 , He și N_2 , dar se poate folosi și laser cu emisie în impulsuri. Schema de principiu a încălzirii superficiale cu laser este prezentată în figura 33 [32, 33, 34].

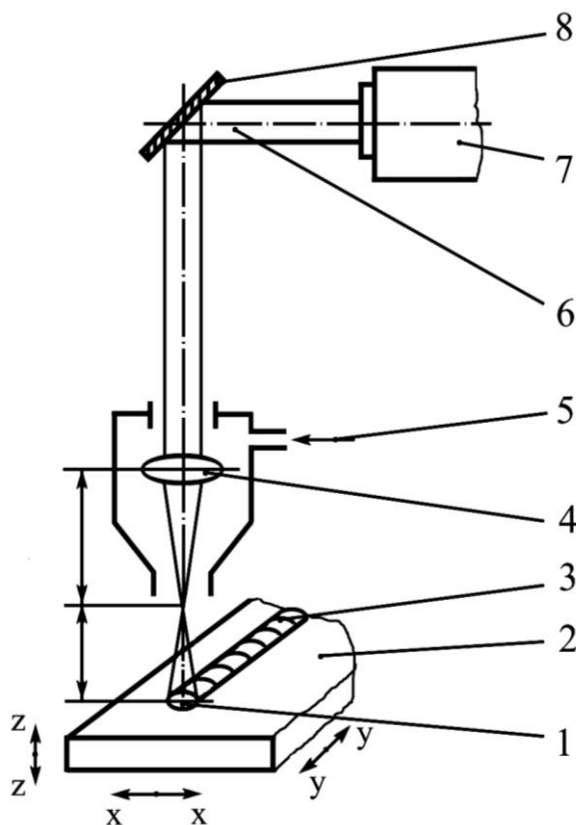


Fig. 2.22 Schema de principiu a tratamentului termic cu laser: 1 – spot laser, 2 – suprafața piesei, 3 – zonă tratată, 4 – sistem de focalizare, 5 – gaz inert, 6 – fascicul laser, 7 – generator de radiații laser, 8 – oglindă rotitoare [31]

Tratamentul termic cu fascicul de electroni este asemănător celui cu laser, în sensul că se folosește tot o sursă termică concentrată care asigură atât încălzirea ultra rapidă, cât și o răcire rapidă fără alte mijloace suplimentare a volumului de material încălzit. Aplicarea tratamentelor termice cu surse de energie concentrate pe oțeluri aliate reprezintă un domeniu mai puțin explorat de cercetători. Oțelurile aliate sunt utilizate pe scară largă, motiv care determină și multe posibilități de prelucrare a lor. Oțelurile analizate sunt folosite preponderent în domeniul construcțiilor de scule destinate deformărilor plastice (X210Cr12) sau prelucrărilor prin așchiere (HS 18-0-1). Aceste aplicații impun uneori proprietăți mai speciale (aparte) cum ar fi duritate mare la suprafață și în același timp tenacitate ridicată, toate acestea de multe ori pe suprafețe restrânse ca arie. Din aceste motive, studierea comportării oțelurilor analizate la aplicarea de tratamente termice cu surse concentrate poate fi un răspuns la cerințele prezentate anterior.

Realizarea unor piese și scule cu înaltă rezistență la uzare și șoc termic are o importanță din ce în ce mai mare ca urmare a mecanizării și automatizării continue a tuturor ramurilor industriale, care solicită permanent produse cu caracteristici mecanice și tehnologice cât mai ridicate. Rezistența la uzură a sculelor este oferită de o duritate superficială ridicată care se poate obține folosind oțelurilor cu conținut ridicat de carbon. Studiul influenței tratamentelor termice cu surse concentrate asupra proprietăților mecanice și tehnologice, s-a efectuat pe oțeluri de tip X210Cr12 și HS 18-0-1. În tabelul 2.3 se prezintă compoziția chimică a oțelului X210Cr12 iar a oțelului HS 18-0-1 a fost prezentată în tabelul 1.1.

Tabelul 2.3
Compoziția chimică a oțelului X210Cr12

Elementele de aliere (valori medii %)									
C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	W	V	P	S
1,97	0,37	0,30	12,3	0,33	-	-	-	-	-

Oțelul X210Cr12 face parte din categoria oțelurilor inoxidabile având o tenacitate ridicată, motiv pentru care este utilizat în industrie pentru realizarea matrițelor. Oțelurile înalt aliate pentru scule așchietoare (HS 18-0-1) sunt cunoscute sub denumirea de oțeluri rapide, acestea putând lucra la viteze mari de așchiere. Alierea cu wolfram imprimă oțelului o călăbilitate foarte bună. În figura 2.23 [32] se prezintă corelația dintre nivelul puterii radiațiilor laser, viteza de deplasare a piesei și adâncimea de călire. Graficul arată că pentru obținerea unor adâncimi mari de încălzire sunt necesare puteri ale radiațiilor laser scăzute și viteze de deplasare ale pieselor mici. Pentru adâncimi mici de încălzire, atât puterea radiațiilor cât și viteza piesei trebuie să fie mai mari.

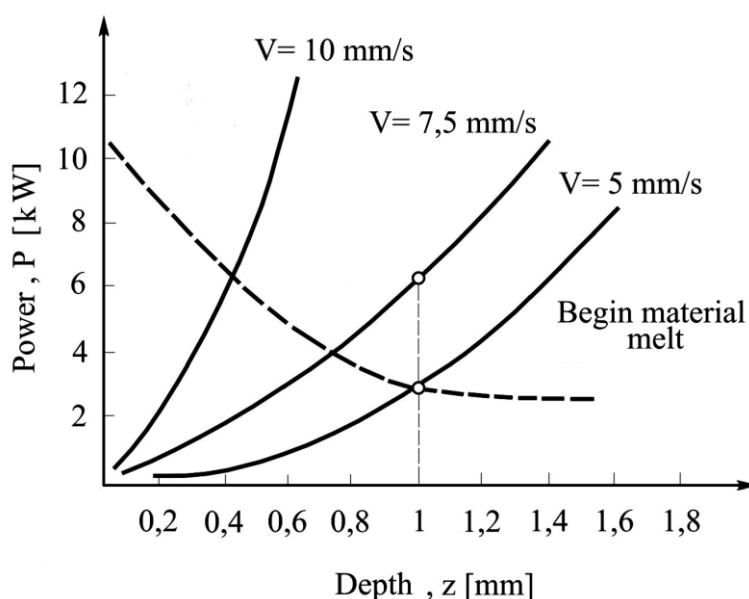


Fig. 2.23 Influența puterii radiațiilor laser și a vitezei piesei asupra adâncimii de călire [31]

În privința surselor concentrate de energie s-au făcut mai multe încercări pentru a stabili parametrii necesari realizării tratamentelor termice propuse. În urma testelor efectuate, tratamentele termice aplicate epruvetelor din oțel marca X210Cr12 s-au făcut cu următorii parametrii:

- varianta 1 – temperatura de încălzire a fost de 960°C, răcirea s-a efectuat în ulei timp de 10 minute; călirea a fost urmată de o revenire la 480°C, menținere timp de 2 ore și răcire în ulei; tratamentul termic aplicat a determinat creșteri ale durtității datorită separării particulelor fine de carburi de crom din martensită și austenită reziduală;

- varianta 2 – încălzire cu sursă concentrată laser, cu densitatea de putere $q = 5 \cdot 10 \text{ W/cm}^2$, timp de $6,5 \cdot 10^{-3} \text{ s}$ cu valoarea defocalizării $\Delta f = 4 \text{ mm}$, viteza de deplasare a epruvetei 7 mm/s, adâncimea de călire 0,3 mm și puterea laserului 10 kW;

- varianta 3 – încălzire cu sursă concentrată cu fascicul de electroni având tensiunea de accelerare 10 kV, durata de acțiune a fasciculului pe elementul de suprafață 10^{-2} s , adâncimea de călire 0,4 mm, viteza de deplasare a epruvetei 7 mm/s, intensitatea de 0,2 A, fluxul superficial $q = 4 \cdot 10 \text{ W/cm}^2$ și puterea de 7 kW.

Pentru oțelul HS 18-0-1 parametrii tratamentelor termice aplicate au fost:

- varianta 1 – preîncălzire în două etape la 550°C, menținere 2 ore și respectiv la 860°C menținere la 0,5 ore, urmată de încălzire până la 1260°C menținere de 3 ore și răcire în ulei; revenirea s-a făcut prin încălzire în două etape la 560°C timp de două ore continuată cu răcire în azot;

- varianta 2 și varianta 3 cu aceeași parametrii ca la tratamentul termic aplicat oțelului X210Cr12.

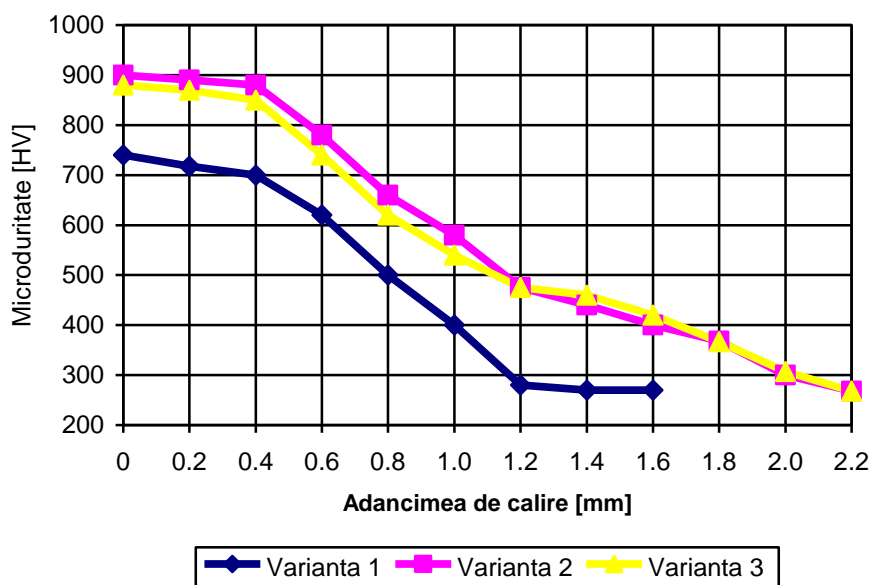


Fig. 2.24 Influența variantei de tratament termic asupra microdurtității oțelului X210Cr12

Se constată că parametrii tratamentelor termice aplicate celor două tipuri de oțel au fost identici. Toate încercările au fost făcute pe epruvete de formă cilindrică, cu dimensiunile $\phi 50 \times 30$. După aplicarea celor 3 variante de tratament termic s-a măsurat microdurețea epruvetelor. După prelucrarea rezultatelor obținute, evoluția microdureții pentru oțelul X210Cr12 sunt prezentate în figura 2.24.

Urmărind evoluția microdureții oțelului X210Cr12 se constată că profilul curbelor este asemănător, însă valorile cele mai mari au fost obținute pentru tratamentul termic cu laser (varianta 2). La epruvetele tratate termic cu surse concentrate, valori ridicate ale microdureții se obțin pentru adâncimi mai mari decât la probele tratate termic clasic (convențional). Pentru oțelul HS 18-0-1, valorile microdureții obținute în urma aplicării celor 3 variante de tratament termic sunt prezentate în figura 2.25.

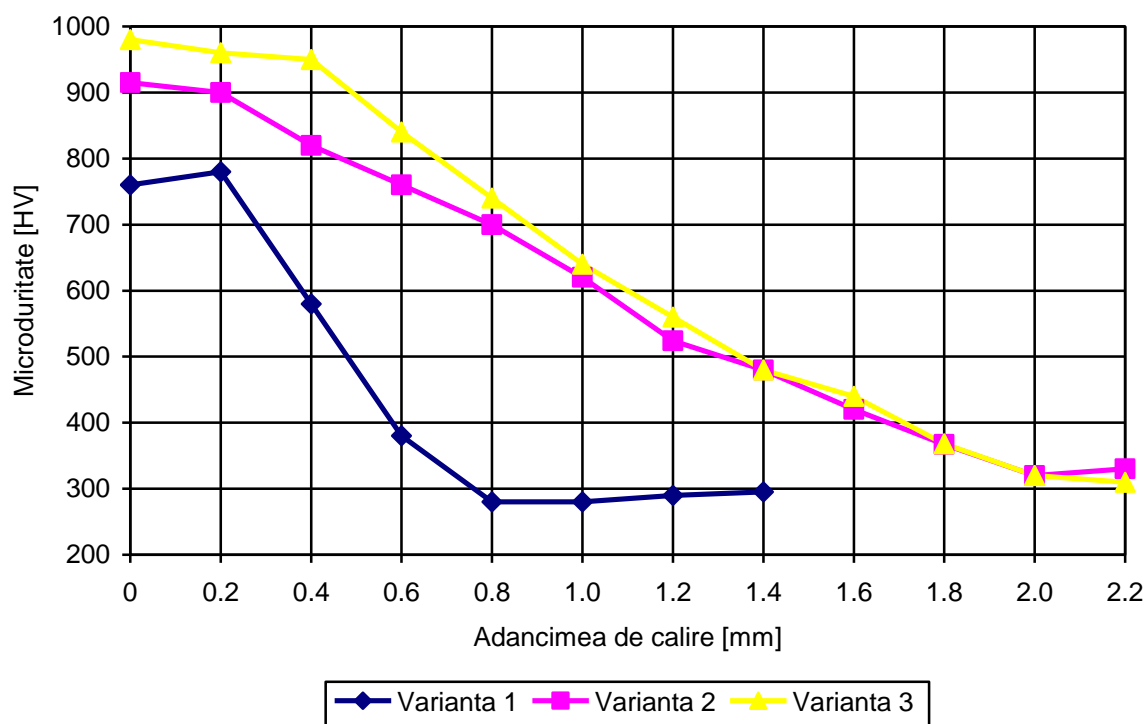


Fig. 2.25 Influența variantei de tratament termic asupra microdureții oțelului HS 18-0-1

Pentru oțelul rapid HS 18-0-1 profilurile curbelor care arată evoluția microdureții sunt asemănătoare pentru cele 3 variante de tratament termic aplicat, cu valori mai mari pentru tratamentul termic efectuat cu fascicul de electroni. Pentru tratamentul termic cu surse concentrate se obțin valori ridicate ale microdureții pentru adâncimi mai mari decât în cazul tratamentului termic clasic.

Tribologia evidențiază faptul că procesul de frecare are implicații deosebit de mari atât în reducerea consumului de energie cât și al reducerii consumului de materii prime și materiale. Uzura este procesul, iar uzura produsul acesteia (degradarea suprafețelor, smulgerea

particulelor). Realizarea unor piese sau scule cu rezistență mare la uzare a determinat ca în urma aplicării tratamentelor termice cu surse concentrate, să se analizeze și comportarea la uzare a respectivelor epruvete. Comportarea la uzare s-a făcut prin metoda gravimetrică (s-a determinat pierderea de masă), în acest scop utilizându-se o balanță analitică tip Sartorius.

Epruvetele destinate acestei încercări au fost de tip sabot și pentru o precizie cât mai bună, fiecare epruvetă a fost degresată cu ultrasunete în tetraclorură de carbon. Turația de încercare a fost de 1750 rot/min, iar forța de încercare de 100 daN. Compoziția chimică a materialelor testate și parametrii proceselor de tratament termic au fost prezentate anterior și menținute în timpul testelor de comportare la uzare. În figura 2.26 se prezintă evoluția pierderii de greutate pentru oțelul X210Cr12 la încercarea de uzare în mediu lubrifiant.

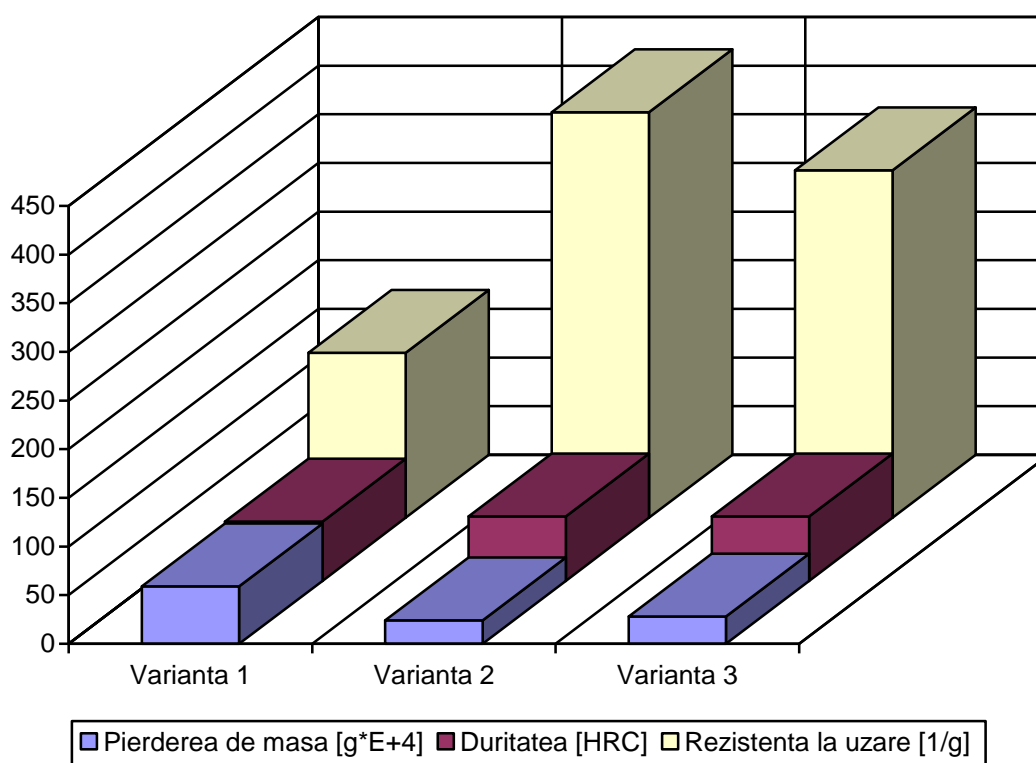


Fig. 2.26 *Influența tratamentelor termice asupra proprietăților oțelului X210Cr12*

Figura 2.26 arată că rezistența la uzare în mediu lubrifiant este diferită la cele trei variante de tratament termic propus. Rezistența la uzare maximă se înregistrează pentru încălzirea cu sursă laser, iar valoarea minimă pentru tratamentul termic clasic. Pentru probele tratate cu fascicul de electroni rezistența la uzare este apropiată de cea a tratamentului termic cu fascicul laser, în concordanță cu evoluția rezistenței la uzare fiind și evoluția durității.

În figura 2.27 se prezintă evoluția coeficientului de frecare pentru cele trei variante de tratament termic.

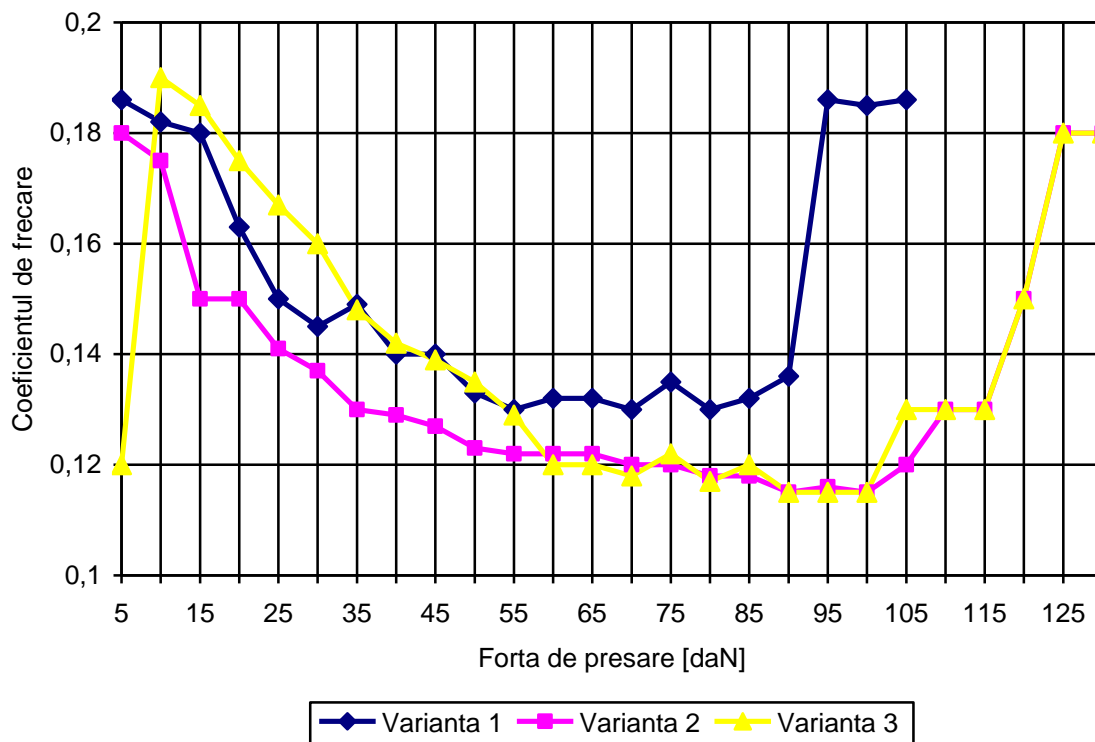


Fig. 2.27 Evoluția coeficientului de frecare în funcție de tratamentul termic aplicat oțelului X210Cr12

Figura 2.27 pune în evidență faptul că griparea pentru varianta de tratament termic clasic se produce la valori ale forței de apăsare de 90 daN, pentru varianta a 2-a la valori de 120 daN, asemănătoare cu varianta a 3-a.

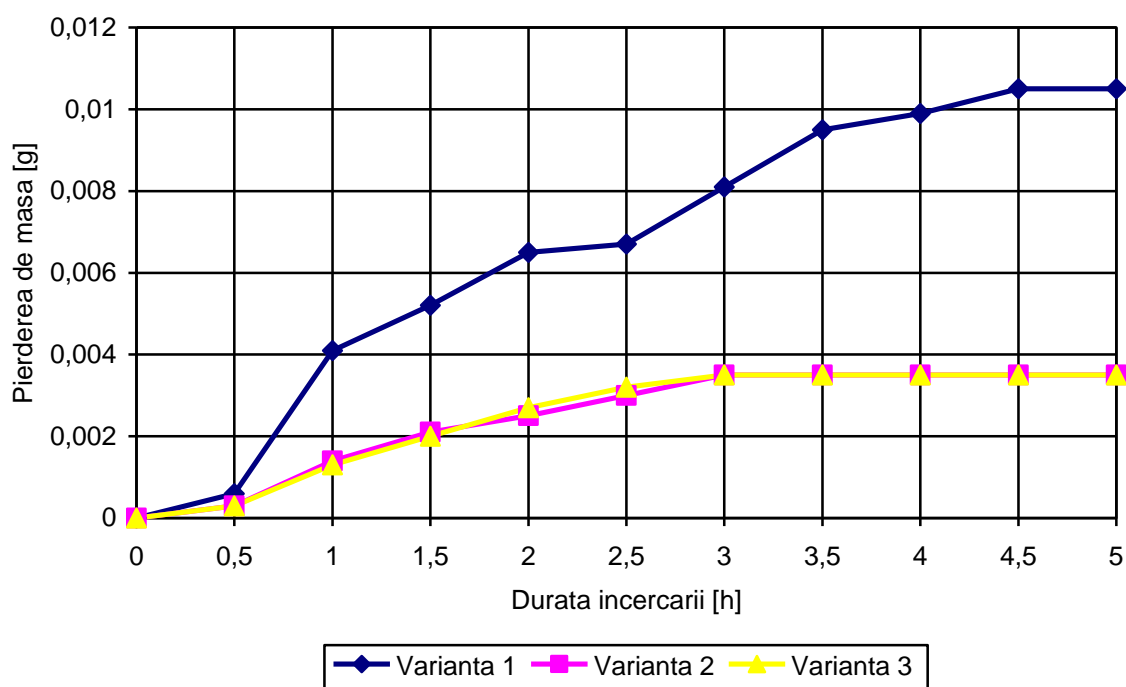


Fig. 2.28 Pierdere de masă în funcție de durata încercării pentru oțelul X210Cr12

În figura 2.28 se prezintă pierderea de masă în funcție de durata încercării pentru cele 3 variante de tratament termic ale oțelului X210Cr12. Din analiza figurii 2.28 se constată că perioada de lungă durată a uzurii se instalează mai repede în cazul tratamentelor termice cu surse concentrate comparativ cu tratamentul termic clasic. În schimb pierderea de masă este mai redusă pentru tratamentul termic cu surse concentrate.

Aceleași tipuri de teste au fost efectuate și în cazul oțelului rapid de tip HS 18-0-1. În figura 2.29 se prezintă rezultatele testelor la încercarea de uzare în mediu lubrifiant.

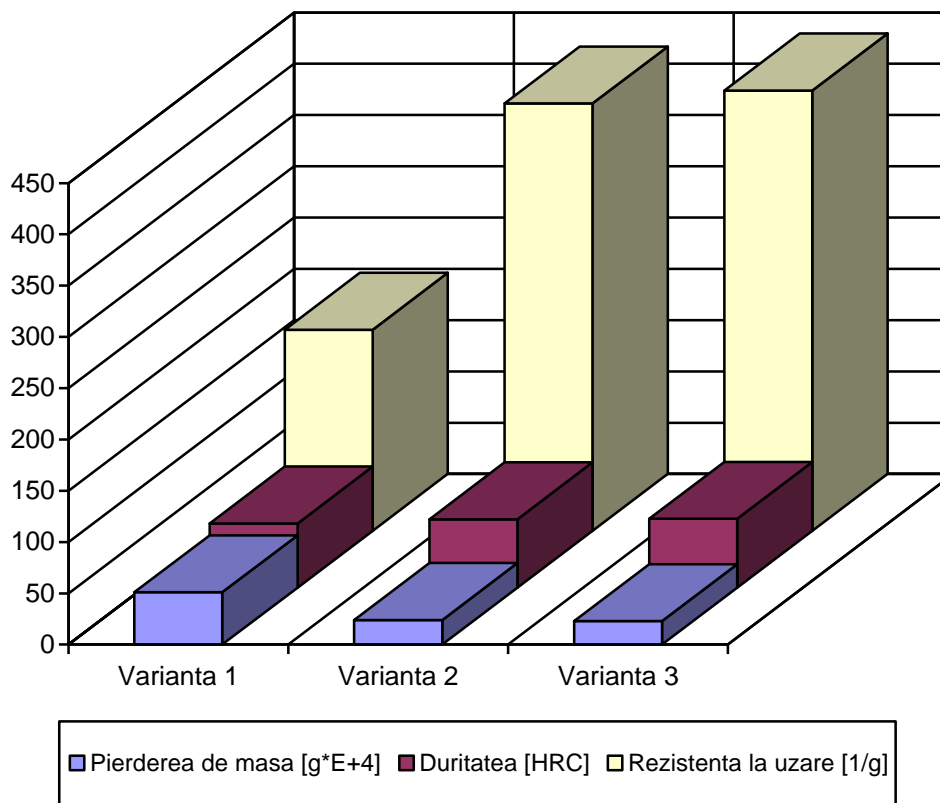


Fig. 2.29 *Influența tratamentelor termice asupra proprietăților oțelului HS 18-0-1*

Rezistența la uzare în mediu lubrifiant este maximă pentru tratamentul termic cu fascicul de electroni. Pentru varianta de tratament termic cu laser, rezistența la uzare este mai redusă, dar mult superioară probelor cărora li s-a aplicat tratament termic clasic. De asemenea pierderea de masă în mediu lubrifiant scoate în evidență faptul că pierderea de masă mare este înregistrată de epruvetele tratate clasic.

În figura 2.30 se prezintă evoluția coeficientului de frecare pentru variantele de tratament termic analizate. Testul arată că gripajul apare la sarcini de 105 daN pentru varianta clasică de tratament termic și la 120 daN pentru varianta de tratament termic cu surse concentrate. Valori ridicate ale rezistenței la uzare și coeficient de frecare scăzut se înregistrează la variantele de tratament termic cu surse concentrate.

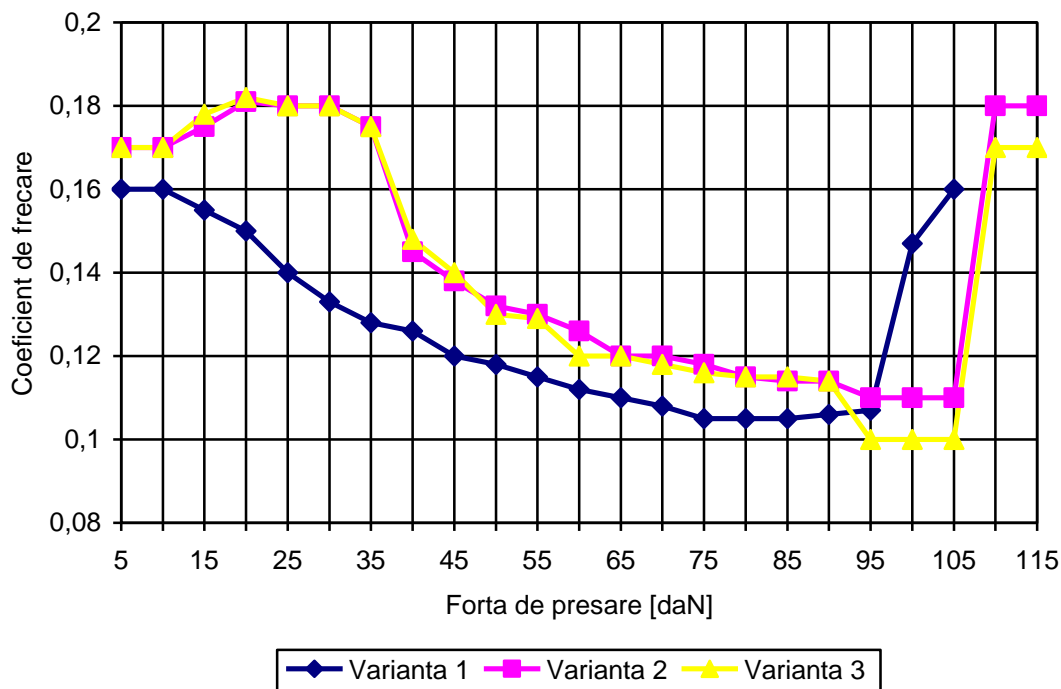


Fig. 2.30 Evoluția coeficientului de frecare în funcție de tratamentul termic aplicat oțelului HS 18-0-1

Figura 2.31 arată că pierderea de masă în funcție de durata încercării pune în evidență faptul că varianta stabilă a uzurii se instalează la varianta clasică după aproximativ 5 ore de funcționare, pe când la variantele cu surse concentrate după 3 ore, dar pierderea de masă este mai redusă pentru aceste variante.

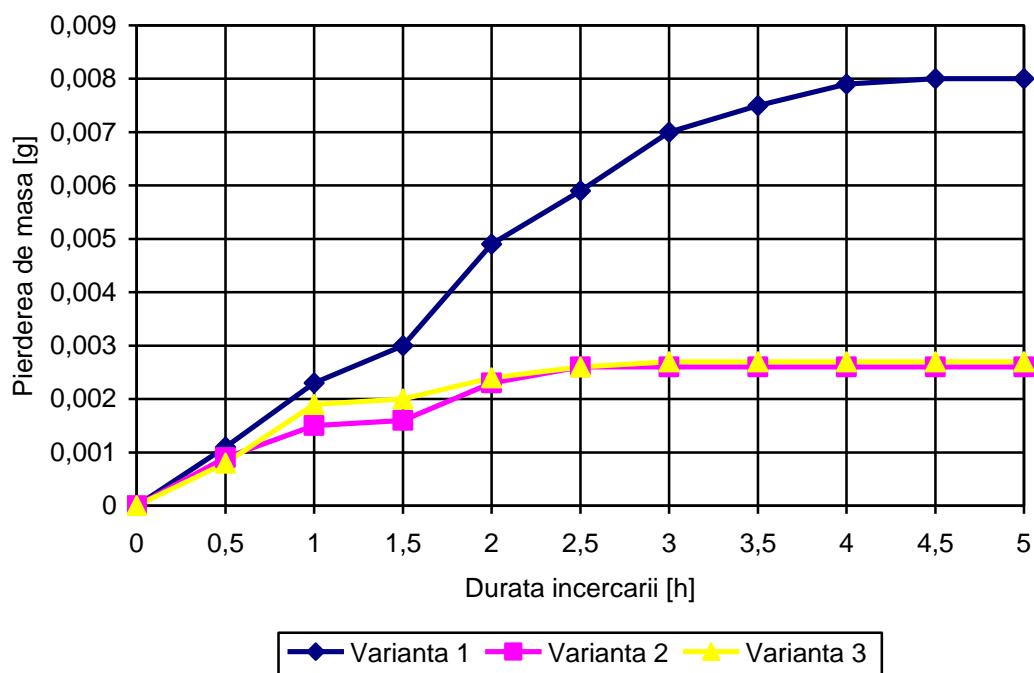


Fig. 2.31 Pierdere de masă în funcție de durata încercării pentru oțelul HS 18-0-1

Principala aplicație a surselor concentrate în domeniul tratamentului termic o constituie durificarea superficială a pieselor sau sculelor din oțeluri aliate. În domeniul tratamentelor termice sursele concentrate au început să înlocuiască unele tratamente termochimice precum și călirea superficială cu încălzire cu flacără sau prin inducție [34, 35, 37]. Răcirea la călirea superficială cu surse concentrate se face spontan, prin conducție, în masa mare și rece a piesei, ceea ce asigură viteză de răcire de 10^{-2} , 10^{-4} grad/s, care depășesc cu mult vitezele critice de călire ale oțelurilor. Testele efectuate au permis următoarele concluzii:

- la oțelul X210Cr12 tratat termic cu laser, grosimea stratului călit a fost de 0,3 – 0,5 mm, microduritatea măsurată fiind de 880 HV, respectiv 66,3 HRC; microstructura este de tip martensită, carburile sunt foarte fine; valori apropiate, dar mai reduse s-au înregistrat și la epruvetele încălzite cu fascicul de electroni;

- pentru oțelul HS 18-0-1 tratat termic cu laser, adâncimea de călire a fost de 0,3 – 0,5 mm, microduritatea de 900 HV; aplicarea tratamentului termic cu fascicul de electroni a determinat obținerea aceleiași adâncimi în schimb microduritatea a fost de 950 HV, superioară celei obținute cu laser;

- rezistența la uzare pentru oțelul X210Cr12 tratat termic cu laser este cu 245% mai ridicată decât cea obținută pentru tratamentul termic clasic și cu 221% mai mare în cazul tratamentului termic cu fascicul de electroni;

- rezistența la uzare pentru oțelul HS 18-0-1 tratat termic cu laser este cu 204% mai ridicată decât cea obținută pentru tratamentul termic clasic și cu 210% mai mare în cazul tratamentului termic cu fascicul de electroni;

- indiferent de tipul oțelului testat, pentru tratamentul termic cu surse de energie concentrată apariția gripării are loc la valori ale forței superioare, în comparație cu cazul variantei de tratament termic clasic.

În cazul oțelului rapid tratat termic cu fascicul de electroni, proprietățile mecanice sunt superioare celor obținute în cazul tratamentului termic cu fascicul laser, dar comportarea este vice versa în cazul oțelului X210Cr12.

Numeroasele teste efectuate arată că indiferent de proprietățile studiate: microstructură, duritate, microduritate sau rezistență la uzare, aplicarea tratamentelor termice cu surse concentrate a condus la valori mai mari ale proprietăților studiate în comparație cu cele obținute în cazul tratamentelor termice clasice. Diferența dintre valorile proprietăților obținute prin tratament termic cu laser și cel cu fascicul de electroni nu sunt foarte mari, mai ales că pentru unele proprietăți tratamentul termic cu laser oferă valori mai bune iar pentru altele cel cu fascicul de electroni. Studiul arată că în funcție de material, destinația sculelor și de proprietatea a cărei valoare se dorește a se maximiza se va aplica tratamentul termic cu surse concentrate adecvat,

mai precis cu laser sau fascicul de electroni. Concluzia generală este că folosirea tratamentelor termice cu surse concentrate pentru anumite tipuri de materiale și în anumite scopuri este benefică. Pentru piese cu configurații geometrice complexe costul durificării cu surse concentrate este mai mic decât în cazul utilizării altor surse de încălzire convenționale.

2.5 Cercetări privind tratamentul termic cu energie solară aplicat oțelurilor aliate

Îmbunătățirea proprietăților mecanice ale aliajelor prin tratament termic reprezintă o provocare pentru numeroase grupuri de cercetători. Realizarea unor piese și scule cu înaltă rezistență la uzare și șoc termic are o importanță din ce în ce mai mare ca urmare a mecanizării și automatizării tuturor ramurilor industriale. Aplicațiile tot mai neobișnuite la care materialele și în special oțelurile trebuie să le facă față, impun extinderea proprietăților pe care acestea trebuie să le dețină. Cele mai importante proprietăți necesare sculelor sunt duritatea și tenacitatea care trebuie să aibă valori ridicate. Nu toate oțelurile pot asigura aceste cerințe simultan, motiv pentru care în permanență se caută soluții de asigurare a acestor proprietăți cu scopul creșterii calității sculelor realizate. În general sculele și în special sculele așchietoare reprezintă unul din domeniile dinamice ale industriei, datorită numeroaselor noutăți care își găsesc aplicarea în el. Producerea de scule performante a determinat dezvoltarea materialelor cu caracteristici îmbunătățite, astfel, în trecut a fost necesară elaborarea oțelului rapid și apoi sculele acoperite cu straturi subțiri dure. Un alt pas în domeniul procesării materialelor a fost acela în care s-au aplicat tratamentele termice neconvenționale (tratamente termomecanice sau cu surse concentrate de energie). Numeroasele cercetări din domeniul tratamentelor termice neconvenționale pe care le-am inițiat și efectuat asupra oțelurilor aliate m-au determinat să fiu interesat de posibilitatea efectuării tratamentului termic de călire și revenire utilizând ca sursă de energie termică, energia solară. Cum era firesc, acest tratament trebuia să fie aplicat unor oțeluri înalt aliate. Cercetările ar fi fost o continuare a celor efectuate cu surse de energie concentrată de tip laser și fascicul de electroni pe oțelurile aliate. În momentul de față, pe plan mondial se fac numeroase încercări de valorificare a energiilor durabile în cât mai multe sectoare de activitate. Implementarea utilizării surselor de energie verde (curată) în domeniul tratamentelor termice reprezintă o provocare uriașă pentru cercetători. Distanța de la o posibilitate teoretică din punct de vedere tehnic la efectuarea reală a unui astfel de tratament a fost mică.

Mai precis, ideea tratamentului termic cu energie solară a fost transpusă în propunerea de proiect „Researches regarding the influence of the heat treatments with solar energy on the alloy steels properties” (P1502190097-RIHTSE). Propunerea de proiect a fost acceptată pentru

finanțare de Comisia Europeană și Ministerul Economiei și Competitivității din Spania. în cadrul proiectului EU-DG RTD „The European Solar Research Infrastructure for Concentrated Solar Power.

Pe oțelurile aliate marca HS 18-0-1 și X210Cr12 s-a aplicat tratamentul termic cu surse concentrate de energie (laser sau fascicul de electroni). În timpul testelor efectuate s-a studiat microduritatea, duritatea și rezistența la uzare pentru care valorile proprietăților studiate au fost mai mari decât în cazul tratamentului termic clasic. Avantajul acestei tehnici este că se poate aplica local (pe suprafață restrânsă ca arie și adâncime), în acest caz tenacitatea materialului ne fiind afectată. Practic tratamentul termic este aplicat local nu în tot volumul. Rezultatele obținute când sunt utilizate surse concentrate de energie în tratamentul termic de suprafață al oțelurilor aliate arată că, indiferent de proprietățile studiate (duritate, rezistență la uzare) valorile lor sunt superioare celor obținute cu tratamentul termic clasic. Oțelurile luate în studiu pentru efectuare tratamentului termic cu energie solară au fost HS 6-5-2-5 (W 1.3243) și X210Cr12. Compoziția chimică a oțelului X210Cr12 a fost prezentată în tabelul 2.3. Compoziția chimică a oțelului rapid HS 6-5-2-5 este prezentată în tabelul 2.4.

Tabelul 2.4
Compoziția chimică a oțelului HS 6-5-2-5

Elementele de aliere (valori medii %)									
C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	W	Co	V	S
0,92	0,30	0,40	4,1		5,0	6,4	4,8	1,9	-

Cercetările efectuate în cadrul proiectului au dorit să evidențieze dacă este fezabilă aplicarea tratamentelor termice de călire, oțelurilor aliate (HS 6-5-2-5 și X210Cr12), atunci când sursa de energie termică este energia solară. Mai precis în cadrul proiectului s-a încercat accelerarea procesului de încălzire necesar călirii. Provocarea este dată de faptul că încercările se vor face pe materiale care necesită temperaturi de încălzire ridicate pentru călire 1200 ... 1280°C. Pe baza experienței pozitive acumulate în testele efectuate anterior în tratamentul termomecanic și al tratamentului termic cu surse de energie concentrată s-a încerca o abordare asemănătoare și în cazul călirii cu energie solară. De asemenea se va încerca realizarea unor posibile căliri de suprafață (locală). În timp, au fost dezvoltate numeroase procese de tratamente termice dar aplicarea unuia sau altuia din ele este determinată (impusă) de tipul piesei căreia tratamentul termic este aplicat. Tratamentul termic care pentru anumite piese nu oferă rezultate mulțumitoare poate conduce la rezultate excelente pentru alte tipuri de piese. De asemenea, permanent va exista dorința pentru dezvoltarea de noi tehnologii destinate tratamentelor termice fie că este vorba de sursa de energie termică folosită, de mediul de încălzire/călire sau modificarea

intervalului de încălzire/răcire cu scopul îmbunătățirii proprietăților pieselor tratate. Tratamentele termice au fost efectuate pe cele două tipuri de oțeluri menționate.

Primul material este reprezentat de un oțel rapid care se distinge între oțelurile pentru scule (așchietoare, de tăiere sau deformare plastică la rece) prin valorile ridicate ale rezistenței la cald și rezistenței la uzare. În cazul așchierii, temperatura părții active ajunge până la 600 ... 650°C, datorită regimului de lucru specific așchierii rapide (viteză mare de așchiere, dimensiunea așchiei) și durității materialului așchiat. Al doilea material destinat tratamentului termic este oțelul X210Cr12 care face parte din categoria oțelurilor cu călibilitate mare. Aceste oțeluri se disting de celelalte, prin conținutul ridicat de carbon (1,2 ... 2,3%) și de Cr (12 ... 13%), conținutul de Mo, V, W, Ti având valori mai reduse, până la 1%. Pentru cele două oțeluri, în cadrul proiectului, s-a dorit, ca pentru tratamentul termic de călire să se studieze influența vitezei de încălzire asupra proprietăților mecanice ale probelor efectuate. Pentru oțelul rapid, timpul de încălzire prevăzut în călirea clasică este de 80-100 minute. Din testele anterioare efectuate cu surse concentrate de energie pe oțelurile rapide au arătat că viteze mai ridicate de încălzire sunt suportate de acestea, adică, poate fi aplicat un tratament termic de suprafață (călire superficială). Motivul încălzirii accelerate a fost de a verifica dacă valorile proprietăților studiate sunt comparabile cu cele obținute în timpul călirii cu surse concentrate de energie de tip laser sau fascicul de electroni. Din informarea făcută și disponibilă, am constatat că pentru cuptoarele solare (verticale sau și orizontale) există posibilitatea concentrării energiei solare pe suprafețe mici, adică este ca atunci când tratamentul termic este efectuat cu surse concentrate de energie.

Realizarea tratamentelor termice de călire prin folosirea energiei solară are următoarele avantaje:

- se pot obține caracteristici identice cu cele obținute prin metoda clasică;
- posibilitatea aplicării tratamentului termic dorit pe suprafețe restrânse conservând în acest mod anumite proprietăți indispensabile sculelor (tenacitatea); practic duritate ridicată se obține în zonele în care este necesară prezența ei;
- efectuarea de tratamente termice fără emisii de CO₂.

Mediul de răcire folosit pentru călire a fost argonul. La fel s-a procedat și în cazul oțelului X210Cr12, intenția fiind ca și în acest caz să se scurteze timpul de încălzire necesar călirii. Deoarece încălzirea accelerată este dependentă de densitatea fluxului termic, se va putea stabili legătura dintre cei doi parametri în vederea optimizării acestei etape. Studiul eficienței testelor efectuate va fi dat de valorile proprietăților studiate. O altă componentă a călirii este tratamentul termic de revenire, pentru care s-a aplicat tot încălzirea cu energie solară.

Deoarece s-au studiat oțeluri destinate sculelor (așchietoare sau pentru deformări plastice) se impune verificarea proprietăților obținute și care le caracterizează. Astfel s-a studiat,

microstructura, duritatea, microduritatea, urmând să fie studiate rezistența la uzare și comportarea în așchiere. După aceste teste, se vor putea trage concluziile finale, mai precis, dacă tratamentele termice aplicate în timpul proiectului au avut efectul dorit sau nu.

În cadrul proiectului, facilitatea folosită a fost cuptorul solar orizontal. Cuptorul solar orizontal este echipamentul pe care cercetătorii pot studia comportarea la temperaturi înalte a diferitelor materiale sau pur și simplu posibilitatea încălzirii cu energie solară a materialelor. Caracteristicile din zona focală (focus) cu atenuatorul deschis la maxim (100%) și radiația solară de 1.000 W/m^2 sunt: fluxul de căldură $3.000\text{-}5.000 \text{ kW/m}^2$ și puterea totală $40\text{-}60 \text{ kW}$. Energia poate fi focalizată pe o suprafață cu diametrul de până la 25 mm . Cuptorul dispune de o masă mobilă, deplasabilă pe cele 3 direcții, pentru ca energia termică să fie dirijată acolo unde se dorește.

Energia termică de care cuptorul solar dispune este echivalentul energiei furnizate de peste 10.000 de astre solare. În figura 2.32.a [38, 42] se prezintă schema de principiu a cuptorului solar.

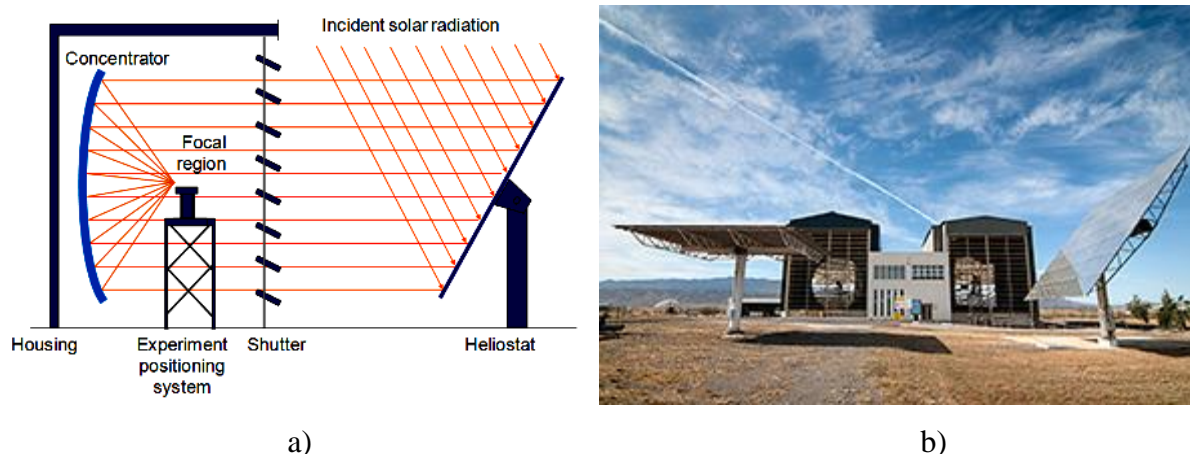


Fig. 2.32 Cuptor solar: a) schema de principiu, b) vedere generală a cuptorului solar [38, 42]

Oglinda colectoare sau heliostatul colectează razele soarelui și le reflectă sub formă de raze paralele spre concentratorul de tip oglindă parabolică. Razele solare sunt apoi concentrate spre un singur punct (focar sau zona focală) și spre cuptorul solar a cărui parte superioară (cupola) este transparentă. Elementele cuptorului solar sunt prezentate în figura 2.33. Cuptorul solar orizontal pe care au fost făcute testele avea puterea de 40 kW , diametrul oglinzii parabolice de $8,5 \text{ m}$ și distanța focală de $4,5 \text{ m}$. Masa deplasabilă se poate mișca pe X, Y și Z cu: 1000 mm , 700 mm și 600 mm . Cuptorul dispune de un atenuator (sistem de jaluzele) care controlează cantitatea de lumină care ajunge la concentrator. Heliostatul are o suprafață de 100 m^2 .



Fig. 2.33 Elementele cuptorului solar

Cuptorul solar orizontal (HSF) este utilizat cu precădere pentru tratamentul termic al materialelor. În cadrul proiectului, utilizând cuptorul solar a fost aplicat tratamentul termic de călire atât oțelului X210Cr12 cât și celui HS 6-5-2-5, singura sursă de energie termică fiind energia solară. Călirea a fost urmată de tratamentul de revenire care pentru o parte din epruvete s-a făcut în variantă clasică (cuptor cu energie electrică) iar pentru restul epruvetelor tot în cuptorul solar. Răcirea în cazul călirii s-a făcut cu jet de argon, iar în cazul revenirii în aer. Parametrii tratamentului termic care au fost modificați în timpul procesului au fost flux de energie termică prin modificarea poziției atenuatorului și distanța cuptorului față de focar. Prin schimbarea parametrilor menționați s-a putut influența viteza de încălzire (timpul de încălzire) și temperatura de încălzire. Pentru teste, au fost folosite epruvete cilindrice având diametrul între

15-10 mm și înălțimea între 15-2,5 mm. Faptul că actualul cuptor solar poate acomoda la o încercare epruvete cu diametrul de 30-35 mm, informație care nu era cunoscută în momentul scrierii propunerii de proiect, a determinat după cum se vede în figura 2.33, ca tratamentul termic să fie efectuat simultan pe 5 epruvete. În figura 2.34 se prezintă modul de încălzire al epruvetelor (de la partea superioară spre inferioară) în timpul tratamentelor cu energie solară.

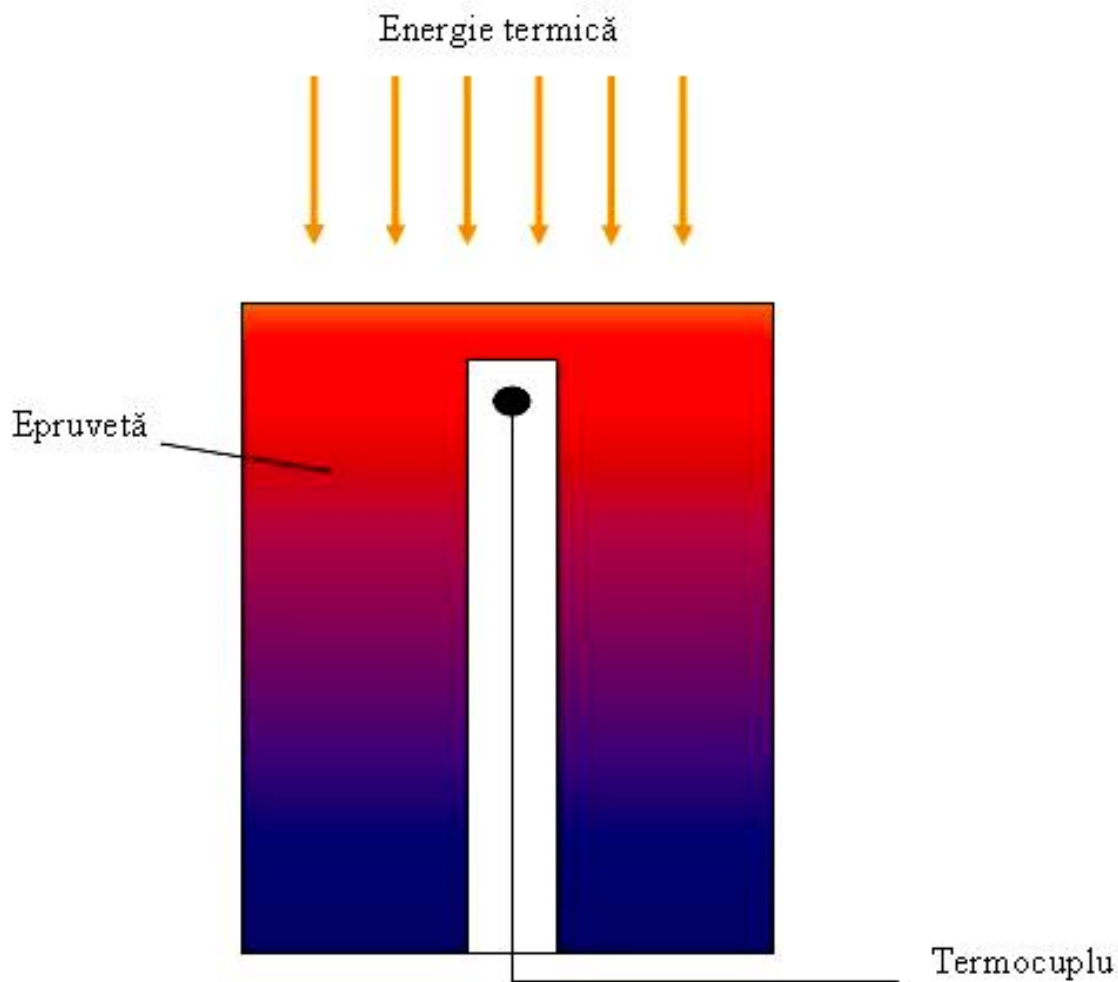


Fig. 2.34 Modul de încălzire al epruvetelor

Deoarece perioada de desfășurare a proiectului a fost septembrie-octombrie 2015 și pentru că volumul de date obținut în urma testelor efectuate a fost substanțial, în momentul elaborării tezei de abilitare, puține din aceste date au fost prelucrate, sistematizate și interpretate. Până în prezent s-a studiat microstructura și duritatea probelor efectuate, urmând ca în continuare să se efectueze și testele referitoare la rezistența la uzare.

În figura 2.35, pentru oțelul X210Cr12 se prezintă valorile parametrilor procesului de încălzire în vederea călirii epruvetelor ϕ 15 x 15 mm.

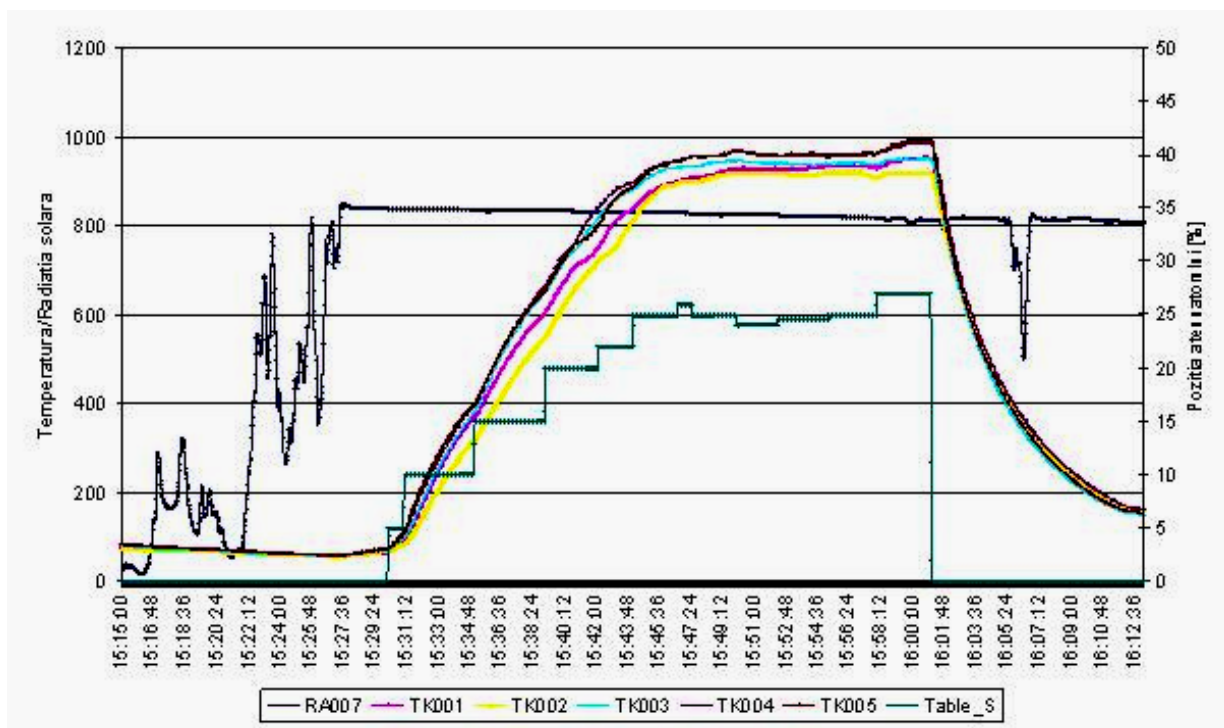


Fig. 2.35 Valorile parametrilor procesului de încălzire pentru oțelul X210Cr12

Epruvetele tratate cu energie solară au fost călite în jet de argon, după care s-a efectuat tratamentul termic de revenire clasică. Rezultatele determinărilor de duritate sunt prezentate în figura 2.36.

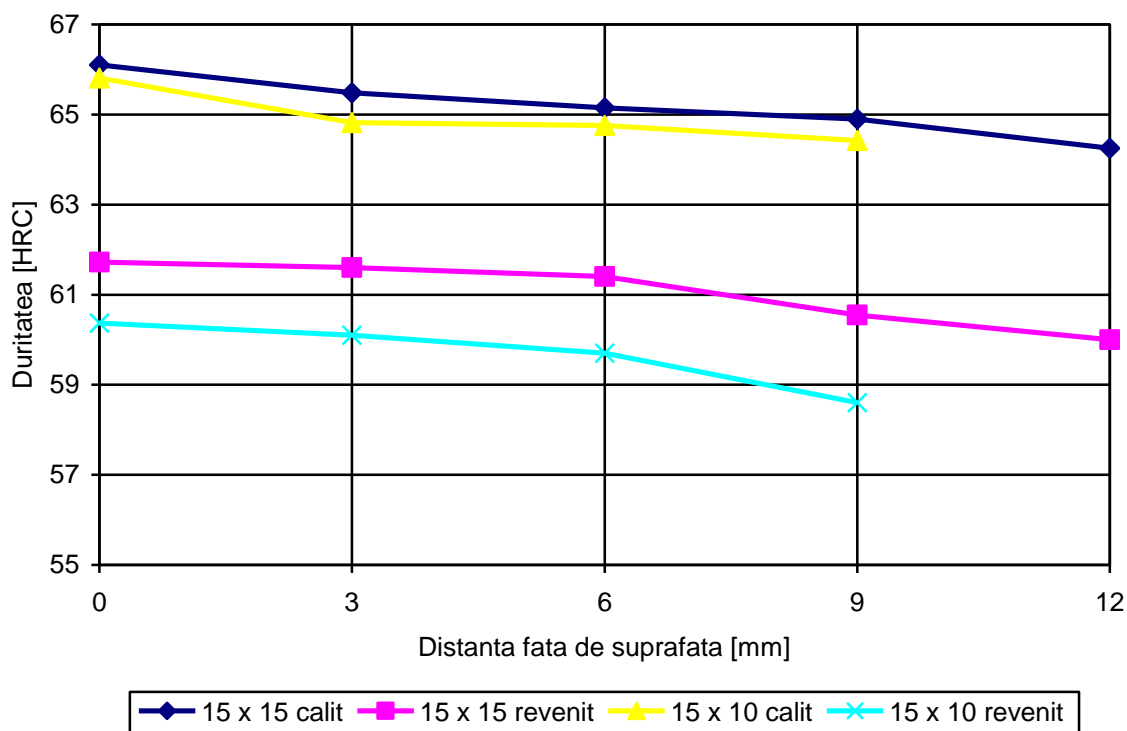


Fig. 2.36 Evoluția durității pentru oțelul X210Cr12 tratat cu energie solară

Datorită modului în care epruvetele au fost încălzite, temperatura cea mai mare a fost înregistrată la suprafața epruvetei, motiv pentru care în această zonă s-au înregistrat și cele mai ridicate valorile pentru duritate, atât după călire cât și după tratamentul termic de revenire.

În figura 2.37, pentru oțelul HS 6-5-2-5 se prezintă valorile parametrilor procesului de încălzire în vederea călirii epruvetelor ϕ 15 x 15 mm.

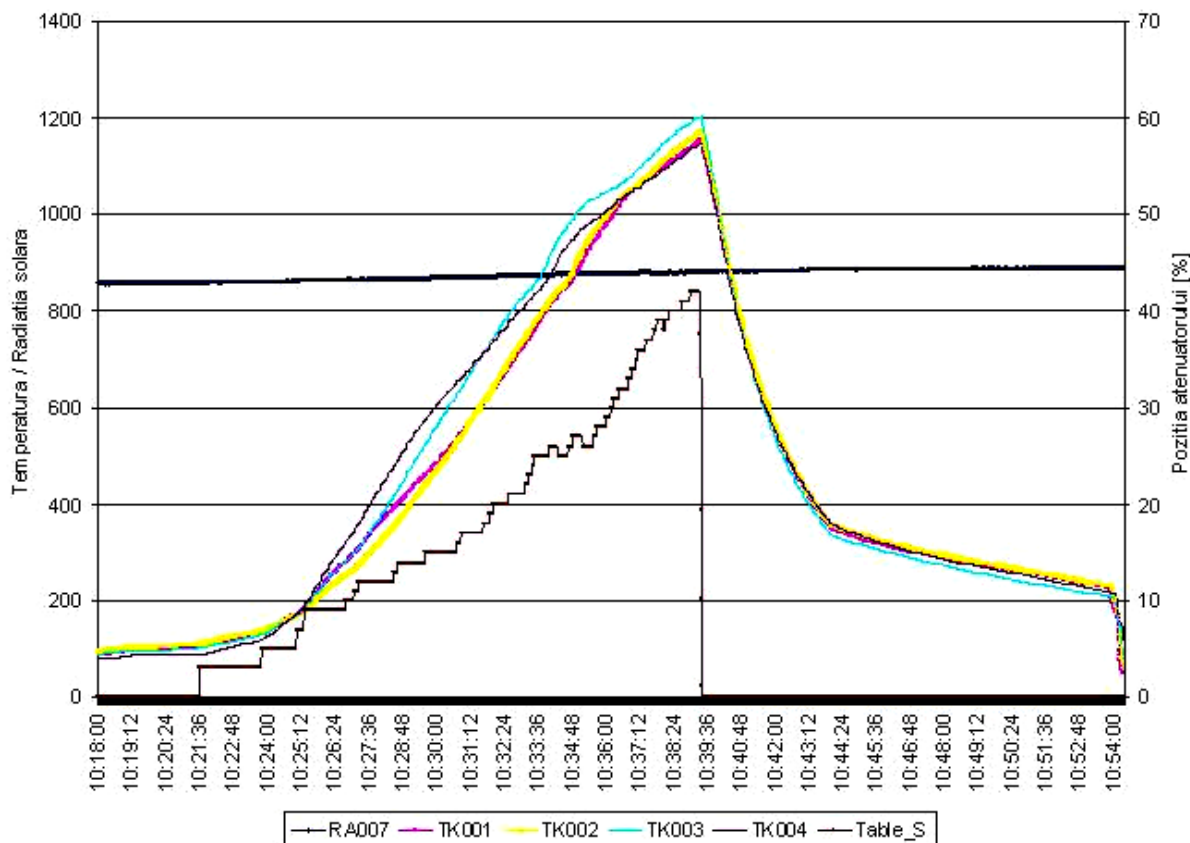


Fig. 2.37 Valorile parametrilor procesului de încălzire pentru oțelul HS 6-5-2-5

Epruvetele din oțel rapid tratate cu energie solară au fost călite în jet de argon, iar tratamentul termic de revenire a fost alcătuit dintr-o succesiune de 3 reveniri. Revenirile au fost efectuate într-un cuptor electric, iar pentru câteva epruvete, tratamentul termic de revenire a fost efectuate în cuptorul solar.

În figura 2.38 se prezintă rezultatele determinărilor de duritate obținute, în urma tratamentului termic cu energie solară efectuat asupra oțelului HS 6-5-2-5. Figura 2.38 arată că datorită încălzirii cu energie solară, suprafața epruvetelor au o temperatură mai mare decât restul volumului ceea ce determină și duritatea mai mare a acesteia. Diferența între duritatea suprafeței epruvetei și partea inferioară a acesteia are valoarea cea mai mare la epruveta cu dimensiunile 15 x 15. Epruvetele respective având volumul cel mai ridicat și ținând cont de modul în care energia termică se transferă de la suprafață expusă energiei solare spre cea inferioară, temperatura înregistrată pe înălțime a prezentat diferențe semnificative.

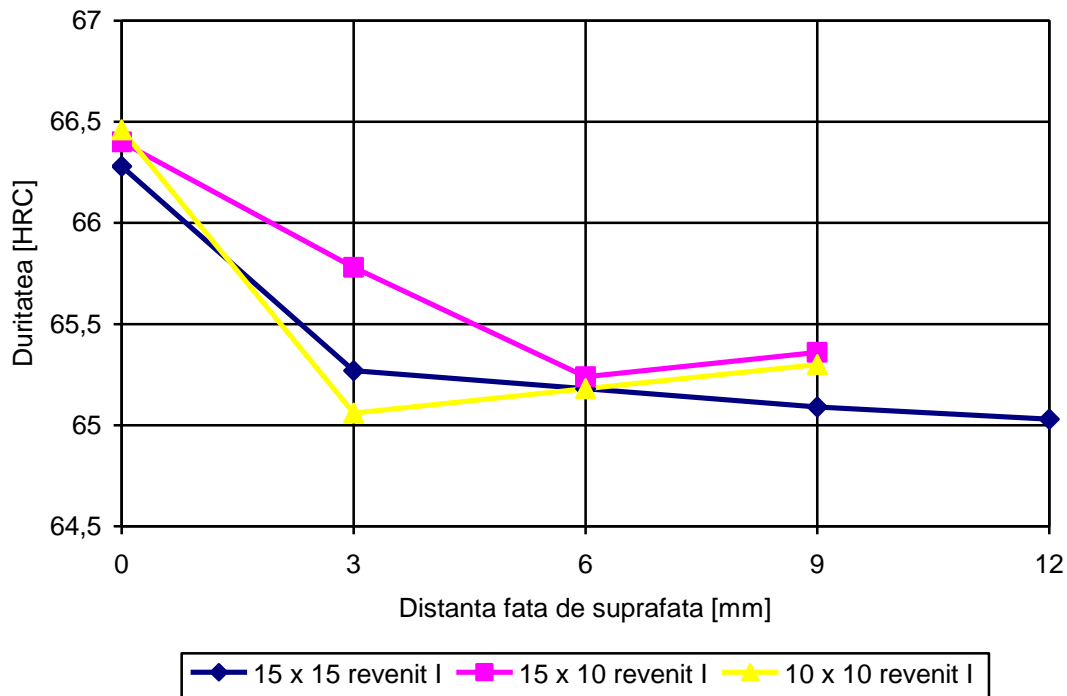


Fig. 2.38 Evoluția durtății pentru oțelul HS 6-5-2-5 tratat cu energie solară

Ca urmare a tratamentului termic cu energie solară aplicat oțelului rapid, durtățile înregistrate la suprafața epruvetelor pentru diferite tratamente termice, se prezintă în figura 2.39.

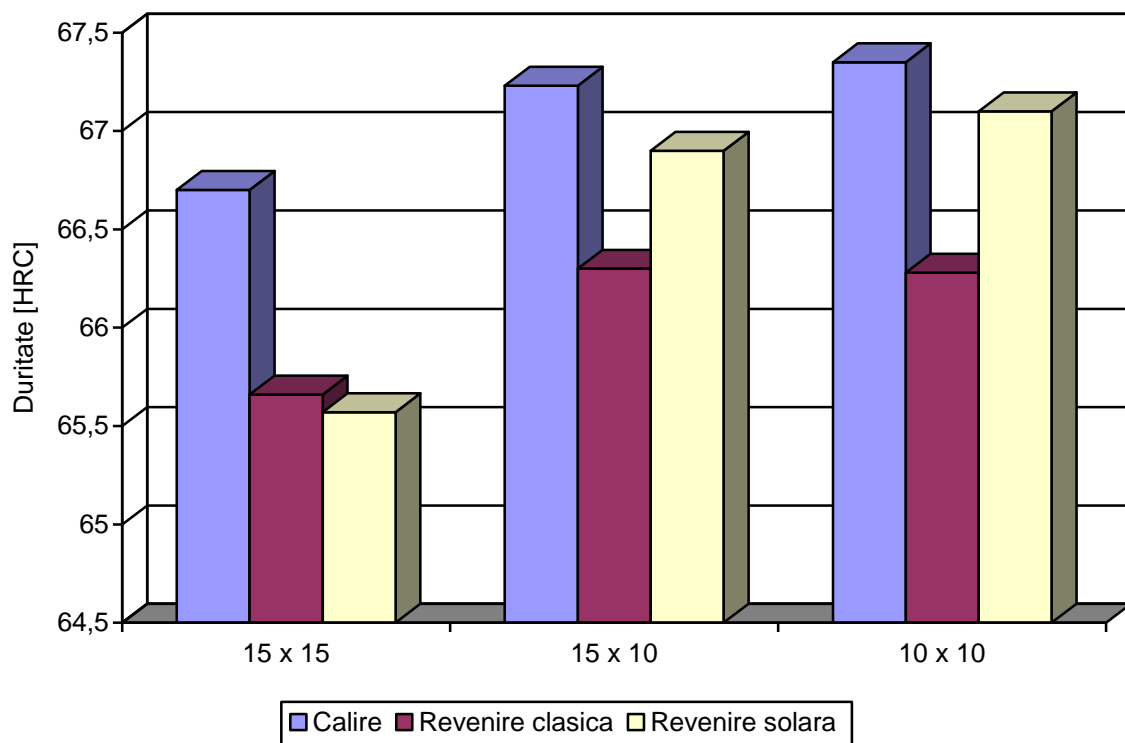


Fig. 2.39 Evoluția durtății pe suprafața epruvetelor pentru oțelul HS 6-5-2-5 tratat cu energie solară

Figura 2.39 arată că, folosind energia solară pentru tratamentul termic (călire urmată de revenire) aplicat oțelului rapid HS 6-5-2-5, se obțin valori ale durității comparabile sau chiar superioare celor rezultate printr-un tratament termic clasic.

Prin participarea la acest proiect se încheie încă o etapă dintr-un amplu studiu, în timpul căruia au fost aplicate mai multe tipuri de tratamente termice neconvenționale oțelurilor rapide. S-a ales această categorie de oțeluri pentru că încă acestea sunt utilizate pe larg în fabricarea sculelor așchietoare. Rezultatele obținute în urma derulării acestui proiect vor completa informațiile existente referitoare la călirea oțelurilor rapide și a celor aliate cu Cr. Aceste informații se referă la modul în care evoluează proprietățile oțelurilor studiate la aplicarea tratamentului termic de călire, când încălzirea se face accelerat. Prin adăugarea de noi informații privind tratamentul termic aplicat oțelurilor studiate, utilizatorii pot alege în funcție de material, destinație și dimensiunile pieselor, ce tip de călire se potrivește cel mai bine, astfel încât raportul cost/calitate să fie cât mai competitiv.

2.6 Contribuții privind accelerarea îndepărtării straturilor subțiri dure

Este un lucru deja cunoscut faptul că uzarea, prin diferitele forme de manifestare prezente în conjuncturi de lucru specifice, conduce într-un timp mai scurt sau mai lung la scoaterea din uz a unei piese. Fenomenul de uzare în sine se produce și apare preponderent, sau în totalitate, în straturile superficiale ale pieselor, pe o adâncime care nu depășește câțiva micrometrii (excepție făcând fenomenele de oboseală).

Prin aplicarea unui strat metalic se poate prelungi durata de funcționare, se îmbunătățesc condițiile de exploatare și se micșorează consumul de metal deficitar. După destinație, acoperirile metalice pot fi:

- propriu-zise;
- decorativ protectoare;
- speciale (rezistente la uzură, fricțiune etc.).

În industrie, pentru o lungă perioadă de timp, problemele privind uzarea și oboseala organelor de mașini și a pieselor în general, au fost rezolvate prin intermediul tratamentelor termice și termochimice clasice; având în vedere că frecvent proprietățile stratului superficial supus contactului direct diferă de cele impuse materialului de bază, procedeele clasice au fost completate în ultimul timp de o serie de tehnologii neconvenționale, cu aplicații majore în multiple domenii de cercetare și producție, respectiv *tehnologii de depunere a straturilor subțiri*. În cadrul acestor tehnologii, un rol important îl ocupă acoperirile metalice, cu rol decorativ, anticoroziv, lubrifiant și de durificare.

Prin straturi subțiri sau pelicule subțiri, se înțeleg depunerile (acoperirile), cu rolul funcțional amintit, care au o grosime mai mică de 10 μm . Majoritatea depunerilor realizate în condiții de vid, cu rol decorativ, lubrifiant, reflectorizant, de durificare sau de protecție, se realizează cu grosimi mai mici de 10 μm . Procedeele de depunere a straturilor subțiri reprezintă practic una din soluțiile cele mai moderne de realizare, după necesități, a proprietăților stratului superficial, independente de cele ale materialului de bază. Obținerea straturilor subțiri presupune utilizarea unei game largi de tehnologii, unele dintre ele bine cunoscute și aplicate cu succes de mulți ani (tratamentele superficiale difuzionale cu sau fără reacție, durificarea prin rulare, procedeele C.I.F., călirea superficială cu flacără, nitrurare ionică, etc), altele însă apelând la o serie de tehnologii foarte avansate, fapt pentru care s-au extins în cadrul comercial abia în ultimii 25-30 de ani, (depuerile de straturi aderente dure stimulate sau activate de plasmă, implantare ionică, tratamente cu laseri și fascicule de electroni, depuneri prin pulverizare, etc). În tabelul 2.5 sunt prezentați principalii compuși ai metalelor care întrunesc calitățile necesare pentru straturi de acoperire, precum și cei care nu le întrunesc.

Tabelul 2.5

Compuși pentru straturi de acoperire

		Titan	Hafniu	Tantal	Aluminiu
Boruri	Bor (B)	TiB ₂	HfB ₂	TaB ₂	AlB*
Nitruri	Azot (N)	TiN	HfN	TaN*	AlN*
Carburi	Carbon (C)	TiC	HfC	TaC	Al ₄ C ₃ *
Oxizi	Oxigen (O)	TiO ₂	HfO ₂	Ta ₂ O ₅	Al ₂ O ₃

* Compuși care nu au proprietățile necesare (duritate scăzută, mai mică de 1600 HV, temperatură de topire mai joasă).

Compușii chimici utilizați în acoperirile destinate sculelor așchietoare sau de alt tip (părțile active ale ștanțelor) sunt pe bază (sau combinații chimice) de:

- oxizi (O);
- carburi (C);
- nitruri (N);
- boruri (B).

Cele mai întâlnite elementele care intră în componența compușilor chimici sunt: Ti, Al, Cr și în ultimul timp Si. Referitor la clasificarea metodelor de depunere a straturilor de acoperire, cea mai utilizată clasificare, prezentă frecvent în multe publicații de specialitate, cuprinde următoarele grupe:

- metode fizice de depunere din vapori (PVD – Physical Vapour Deposition);
- metode chimice de depunere din vapori (CVD – Chemical Vapour Deposition).

Această clasificare este realizată, în principal, funcție de natura principalelor tehnici care contribuie la evaporarea materialului de depunere (sursa) și natura fenomenelor fizico-chimice care definesc procesul. Astfel, în cadrul procedeele de tip (PVD) pot fi enumerate următoarele variante:

- procedee (PVD) care utilizează surse principale solide, încălzite și evaporate rezistiv;
- procedee (PVD) care utilizează surse principale solide, încălzite și evaporate cu fascicul laser;
- procedee (PVD) care utilizează surse principale solide, încălzite și evaporate prin bombardament cu electroni;
- procedee (PVD) care utilizează surse principale solide, încălzite și evaporate cu ajutorul descărcărilor în arc electric;
- procedee (PVD) care utilizează surse principale solide, încălzite și evaporate prin pulverizare (sistem diodă sau magnetron).

Referitor la procedeele de tip (CVD) care utilizează surse (precursori principali și coreactanți) de natură gazoasă, acestea pot fi:

- procedee (CVD) cu activare termică (în reactor cu pereții reci sau calzi);
- procedee (CVD) cu activare în plasmă;
- procedee (CVD) cu activare laser (cu mecanism pirolitic sau fotolitic).

Conform altor lucrări de specialitate cu un caracter mai explicit, în cadrul acestei clasificări generale, nu-și găsesc locul metodele hibride, metode care combină atât fenomene cu caracter fizic și chimic în procesul propriu-zis de depunere (de generare, de transport și de nucleație). În plus, se susține ideea că o serie de procedee (pulverizarea, placarea ionică) sunt incluse incorect în cadrul metodei PVD, deoarece, particulele neutre obținute în urma pulverizării, cât și cele ionizate obținute la placarea ionică, nu posedă o comportare de vapori (nu se supun legilor gazelor ideale). Astfel, funcție de tipul proceselor fizice și chimice dominante din timpul depunerii, se poate aprecia că în cazul metodelor de depunere a straturilor subțiri în vid, există metode fizice, metode chimice și metode fizico-chimice.

Depunerile de straturi subțiri prin metode fizice se realizează într-un vid mediu ($10^{-2} - 10^{-4}$) mbar, în vid înaintat ($10^{-5} - 10^{-7}$) mbar, precum și în vid ultraînalt ($10^{-7} - 10^{-10}$) mbar și de aceea, dezvoltarea acestora este dependentă de dezvoltarea componentelor și a echipamentelor pentru realizarea vidului.

Materialul de depunere utilizat în procesele de depunere a straturilor subțiri în vid se poate afla:

- în stare solidă (vapori activi fiind generați prin evaporare termică rezistivă sau cu fascicul de electroni, prin pulverizare, prin evaporare termică în arc electric);

- în stare gazoasă (depunere chimică din vapori);
- materialul de bază în stare solidă, iar materialul de adaos (co-reactantul) în stare gazoasă (evaporare, pulverizare și placare ionică reactivă).

În procesele de depunere a straturilor subțiri în vid se pot distinge trei etape:

- crearea (generarea) particulelor de depunere;
- transportul particulelor de depunere de la locul de generare, la substrat;
- creșterea (nucleația) peliculei.

Pentru generarea materialului de depunere se utilizează:

- procese fizice (evaporarea termică prin diferite metode, pulverizarea, evaporarea prin descărcare în arc electric);
- procese chimice (reacții chimice de descompunere, disociere, oxidare, reducere).

Particulele de depunere generate în procesele de obținere a straturilor subțiri pot fi:

- neutre din punct de vedere electric (evaporare termică, pulverizare, reacțiile chimice);
- cu un grad de ionizare cuprins aproximativ între 0,5 – 20% (evaporare termică cu laser, descărcare în arc electric).

În scopul îmbunătățirii caracteristicilor particulelor depuse în vid, acestea pot fi ionizate în timpul perioadei de transport prin:

- traversarea unei zone cu plasmă;
- bombardarea cu electroni.

Parametrii tehnologici ai procesului de depunere (tensiune de polarizare substrat, natura substratului, temperatura de lucru, viteza de depunere, compoziția atmosferei de lucru) influențează sensibil caracteristicile fizice și chimice (compoziție, structură, aderență) a acoperirilor obținute.

Acoperirile cu straturi subțiri dure cunosc o permanentă dezvoltare, prin găsirea de noi aplicații pentru acestea. Lărgirea domeniului de aplicabilitate cu efecte benefice pentru întreprinderile care activează în domeniu (creșterea cifrei de afaceri, consolidarea poziției în sectorul de activitate) aduce și provocări noi, cărora aceste societăți trebuie să le facă față. În figura 2.40 [39] sunt prezentate tipuri de acoperiri realizate de o societate specializată în acoperiri cu straturi subțiri dure.

Întreprinderea care a realizat acoperirile din figura 2.40 dispune de o instalație de acoperire care funcționează pe baza metodei fizice de depunere din vapori (PVD), mai precis procedeul care utilizează surse principale solide, încălzite și evaporate cu ajutorul descărcărilor în arc electric.

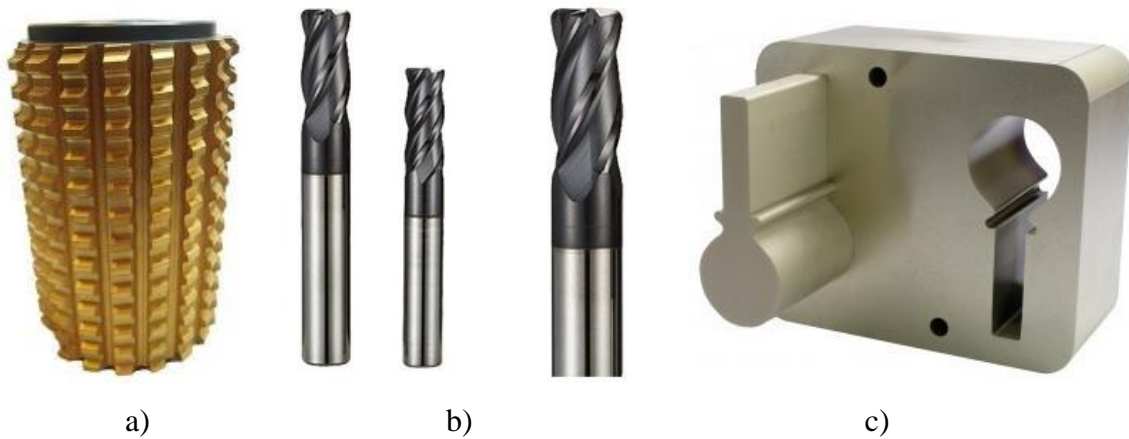


Fig. 2.40 Tipuri de acoperiri: a) TiN – monostrat b) AlTiN – multistrat c) TiCN – multistrat [39]

Linia de acoperire are în componență următoarele:

- unitate de îndepărtare (exfoliere) chimică sau electrochimică – se folosește o metodă sau alta de îndepărtare a acoperiri anterior depuse, în funcție de tipul acoperirii și de materialul suport (carburi metalice sau HSS); după un număr de 3 – 5 acoperiri este necesară această operație, care constă în îndepărtare completă a stratului depus;
- unități de sablare uscată sau umedă;
- mașină de spălat – înainte de acoperire sculele sunt spălate și uscate pentru a nu exista probleme în privința aderenței acoperirii la materialul suport;
- unitatea de acoperire – presiune de lucru $1,2 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-5}$ mbar, temperatura în incinta de acoperire 470°C , maxim patru catozi (elemente chimice diferite sau nu) pot fi activi în timpul depunerii (fig. 2.41 [41]), grosimea stratului depus $1 - 7 \mu\text{m}$, timpul de acoperire 5 – 9 ore (în funcție de acoperire);
- unitate de control a acoperirilor realizate, unde se verifică grosimea și aderența straturilor depuse, duritatea și raza muchiei așchiitoare.

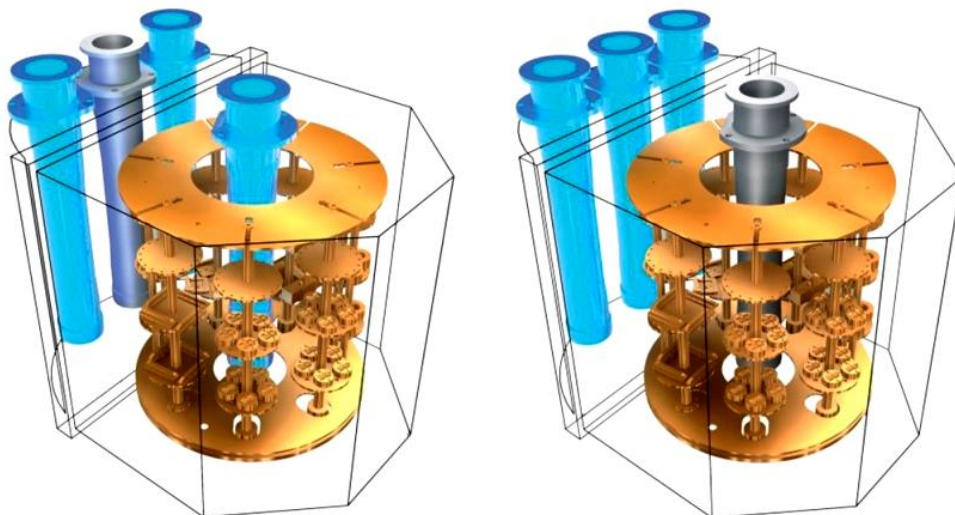


Fig. 2.41 Unitate de acoperire cu 4 catozi [41]

Gazele care pot fi utilizate în timpul acoperirii sunt: amestec de argon (Ar) 95% și hidrogen (H) 5% de calitate 5,0 ca și gaz de lucru, azot (N) calitate 5,0 și acetilenă (C_2H_2) cu rol de gaze reactive și heliu (He) calitate 5,0 cu scopul îmbunătățirii proprietăților straturilor. Unitatea care realizează efectiv acoperirea dispune de 3 catozi rotativi montați în ușa instalației și un catod central rotativ în jurul căruia sunt așezate sculele ce vor fi acoperite. Temperatura de acoperire este de 350 - 500°C pentru sculele din HSS și de 350 - 600°C pentru carburile metalice. Acoperirile standard sunt: TiN, TiAlN, AlTiN, $nAlCo_3$, acestea putându-se realiza sub formă monobloc, de multistrat, gradient și nano-compozite. Un ciclu de acoperire pentru scule cu coadă ϕ 10 x 70 durează 4,5 ore și se pot procesa 375-400 bucăți iar pentru scule de tip freză melc pentru danturat ϕ 80 x 180 durează 6 ore și capacitatea este de 7-14 bucăți. Cele mai solicitate acoperiri ale întreprinderii sunt: TiN, AlTiN T, AlTiN T – Gold, AlTiCrN³, $nAlCo_3$, nACRo și AlCrN³. Etapele prin care piesele trec în timpul procesului de acoperire sunt prezentate în figura 2.42 [39].

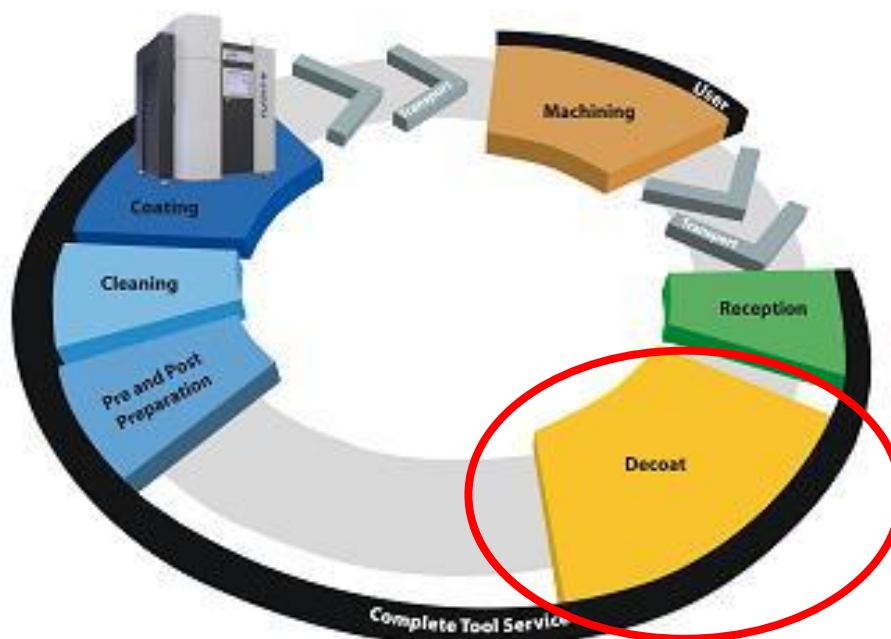


Fig. 2.42 Etapele procesului de acoperire [39]

Operația cunoscută sub denumirea „decoat” sau îndepărtarea acoperiri existente este una mare consumatoare de timp. Timpul necesar îndepărtării acoperiri este lung, putând ajunge la 5-6 ore pentru unele tipuri de acoperiri, sau chiar și la 28-30 ore pentru altele. Din acest motiv, întreprinderea a solicitat găsirea de soluții care să diminueze această durată. Tema a părut interesantă și de actualitate, fapt pentru care m-am implicat în rezolvarea ei. Soluția propusă de colectivul format pentru rezolvarea temei, a fost cea de accelerare a îndepărtării, prin introducerea unui surplus de energie mecanică, în baia cu soluții destinate respectivei operații

[26]. Testele efectuate pe epruvetele puse la dispoziție de către solicitant și folosind soluția propusă au condus la rezultate peste așteptări. În figura 2.43 se prezintă epruvetele folosite în teste.

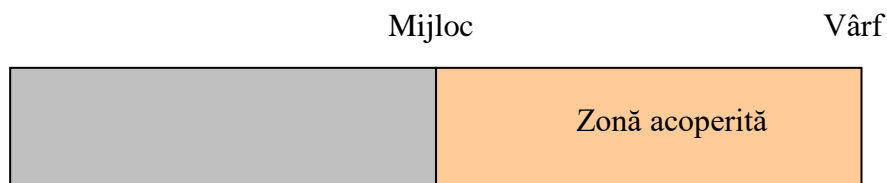


Fig. 2.43 Epruvete folosite în teste

În tabelul 2.6 se prezintă tipurile de acoperiri îndepărtate, grosimea stratului și regimul folosit. Pentru toate testele efectuate s-a folosit o soluție pe bază de AlZiRo (denumire comercială).

Tabelul 2.6
Grosimea stratului îndepărtat [$\mu\text{m}/\text{diametru}$]

Regim	Tipul acoperiri	Total	
		Mijloc	Vârf
I	AlTiNT	0,003	0,007
	AlTiNT G	0,006	0,014
II	AlTiNT	0,008	0,006
	AlTiNTG	0,007	0,007
III	AlTiNT G	0,005	0,005

În figura 2.44 se prezintă modul în care a evoluat îndepărtarea straturilor depuse de tip AlTiNT și AlTiN G, utilizând regimul I. Temperatura medie a soluției de îndepărtare a fost de 70°C . Aplicând soluția propusă pentru acoperirile testate timpul de îndepărtare a fost redus la 30 de minute.

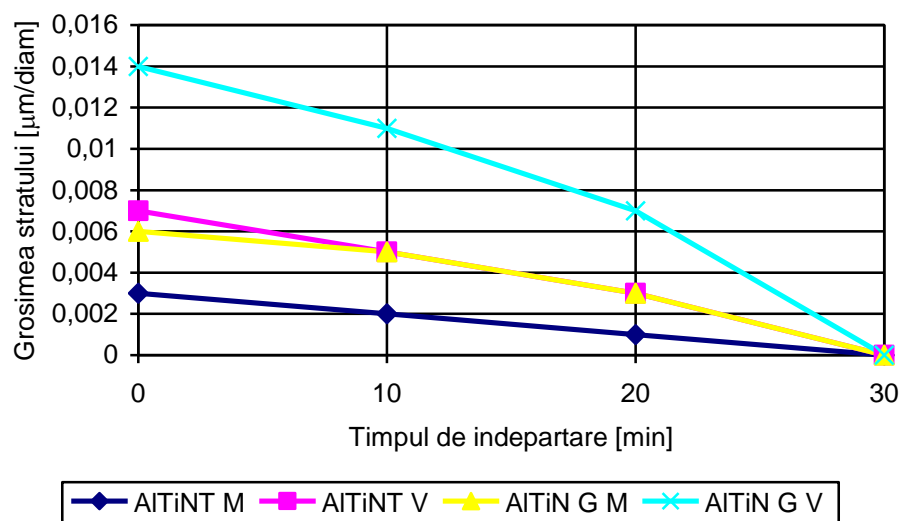


Fig. 2.44 Evoluția îndepărtării stratului dur în timp – regimul I

În cazul acelorași tipuri de acoperiri, dar utilizând regimul II și o temperatură medie a soluției de îndepărtare de 80°C, timpul îndepărtării acoperirilor a fost redus la 20 de minute (fig. 2.45).

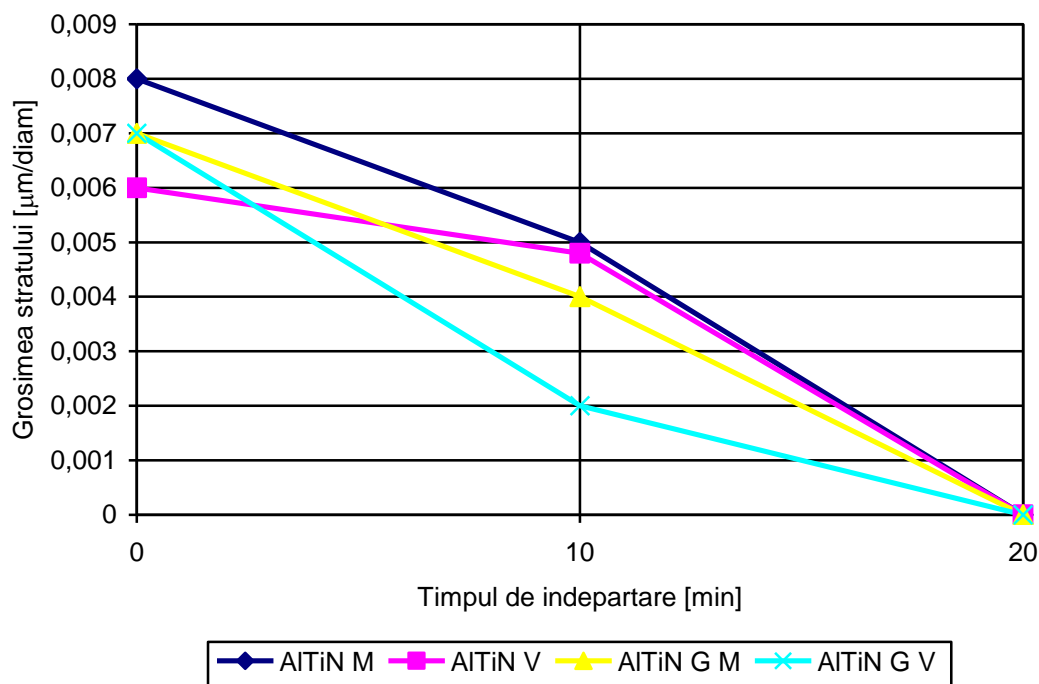


Fig. 2.45 Evoluția îndepărtării stratului dur în timp – regimul II

În figura 2.46 se prezintă evoluția îndepărtării în cazul în care a fost aplicat regimul III (temperatura medie a soluției a fost de 80°C). Și pentru acest caz timpul îndepărtării a fost de 20 minute.

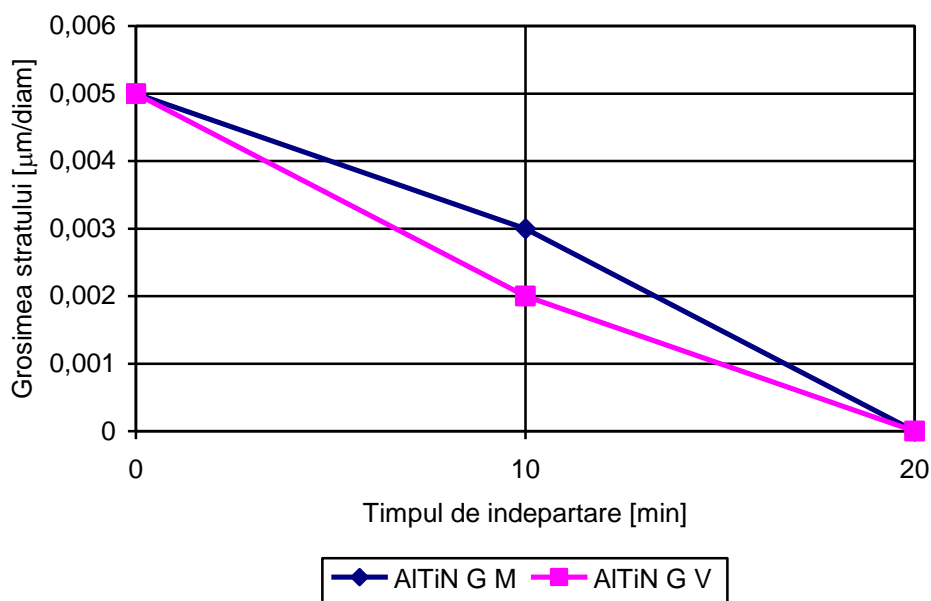


Fig. 2.46 Evoluția îndepărtării stratului dur în timp – regimul III

Testele efectuate au arătat că prin aplicarea soluției propuse, are loc o reducere semnificativă a timpului alocat operației de îndepărtare a vechilor straturi dure depuse, mai precis, timpul a scăzut de la o medie de 3-4 ore la 20-30 minute.

Aceași soluție a fost aplicată și altui tip de acoperire (AlCrN) care are timpul de îndepărtare de până la 25-30 de ore. Accelerarea îndepărtării a condus la reducerea timpului la 17-21 de ore, durata mai mare sau mai mică a operației depinzând de grosimea stratului depus. Accelerarea îndepărtării corespunde unei economii semnificative de timp alocat acestui tip de proces, economie de energie electrică și micșorarea perioadei în care beneficiarul reintră în posesia sculei trimisă pentru o nouă acoperire.

Succesul avut în rezolvarea temei propuse de societatea implicată în astfel de acoperiri, precum și dorința partenerului industrial de creștere a competitivității produselor realizate, prin diversificarea numărului și tipurilor de acoperiri oferite beneficiarilor a permis, ca aceasta să-și dea acceptul pentru participarea ca partener într-un proiect de cercetare cu finanțare oferită de Uniunea Europeană. Competiția existentă între societățile care oferă servicii de acoperire fiind deosebit de mare este firesc ca fiecare întreprindere să caute obținerea unui avantaj în fața competitorilor. Propunerea de proiect dorește abordarea și rezolvarea următoarelor aspecte:

- reducerea duratei de îndepărtare a acoperirilor depuse anterior;
- posibilitatea acoperirii sculelor cu noi tipuri de straturi subțiri dure care încep să fie cerute de utilizatorii sculelor acoperite; pentru aceste acoperiri trebuie făcute teste care să determine proprietățile dar și parametrii tehnologici necesari realizării lor;
- influența structurii acoperiri (monobloc, multistrat, gradient sau nano-compozite) asupra performanțelor tehnologice ale sculelor acoperite;
- posibilitatea aplicării acoperiri de tip Quad Layers (4 straturi) și influența ei asupra performanțelor;
- optimizarea geometriei sculelor așchietoare;
- determinarea potențialului comercial pe care noile tipuri de acoperiri monobloc, multistrat sau cu diverse structuri, le au în rândul utilizatorilor de scule acoperite.

Obiectivele proiectului, actualitatea temei și interesul față de domeniul acoperirilor cu straturi subțiri dure a permis formarea unui consorțiu din 5 parteneri: 2 parteneri industriali implicați în acoperiri (cu sediile sociale în România și Spania) și 3 universități (România, Portugalia și Spania). Asocierea dintre parteneri a fost posibilă deoarece, o parte dintre entități au colaborat în trecut la diverse contracte, colaborări benefice pentru toate părțile implicate.

Propunerea de proiect „Researches regarding competitiveness growth of the coated tools with hard thin layers – RERCOCCUTIL”, inițiată de Universitatea Transilvania din Brașov –

coordonatorul proiectului Cătană Dorin a trecut de prima fază a evaluării și a fost acceptată în a II-a fază (prounerile au două etape de evaluare).

2.7 Influența tratamentelor termice asupra proprietăților oțelurilor aliate pentru scule

Oțelurile de scule pentru prelucrări la rece sunt destinate fabricării sculelor utilizate în procesele de așchiere sau de deformare plastică. Diversitatea operațiilor de prelucrare mecanică sau plastică desfășurate în prezent dar și particularitățile specifice ale materialelor supuse prelucrării, a determinat crearea unui număr mare de tipuri de oțeluri pentru scule. Numărul mare de tipuri crează dificultăți în stabilirea de criterii pentru clasificarea lor. Una din aceste grupe o reprezintă cea a oțelurilor aliate pentru prelucrare la rece. Aceste oțeluri sunt aliate cu Mn, Cr, W și V, prezența respectivelor elemente chimice influențând favorabil proprietăților tehnologice și de utilizare. Deoarece elementele de aliere deplasează punctul eutectoid către valori mai mici, rezultă că, corelarea conținutului de carbon cu conținutul total al elementelor de aliere constituie problema principală. Influența elementelor de aliere se evidențiază prin:

- creșterea călibrității;
- creșterea rezistenței la uzură datorită prezenței carburilor aliate;
- rezistență mare la șocuri mecanice;
- stabilitate crescută a caracteristicilor mecanice ale sculei la temperatura de lucru.

Aceste oțeluri constituie o categorie aparte față de oțelurile carbon de scule (OSC), care sunt oțeluri hipereutectoide cu duritate ridicată. Oțelurile aliate de scule sunt tot oțeluri hipereutectoide slab și mediu aliate, la care datorită prezenței în structură a carburilor aliate, mult mai dure decât cementita, cresc rezistența la uzură. Aceasta este superioară celei obținute pentru oțelurile carbon de scule.

În cadrul cercetării au fost studiate două oțeluri 90VCr10 și 105MnCrW11 [4]. Sculele obținute din cele două oțeluri sunt: alezoare, freze, tarozi, burghie filiere și broșe, matrițe pentru prelucrări la rece sau pentru tragere. Compoziția chimică a oțelurilor studiate este prezentată în tabelul 2.7 [15].

Tabelul 2.7
Compoziția chimică a oțelurilor aliate pentru scule

Tipul oțelului	Compoziția chimică						
	C	Mn	Si	Cr	Ni	V	W
90VCr10	0.8-1	0.2-0.6	0.15-0.4	0.8-1.5	-	0.2	-
105MnCrW11	1-1.1	0.8-1.1	0.1-0.4	0.9-1.1	0-0.35	-	3.5-4

Elementele de aliere prezente în oțeluri au roluri bine definite, influențând anumite caracteristici. Sumar rolul acestor elemente este descris în continuare. Manganul (Mn) este un element gamagen, coborând temperatura de austenitizare a oțelurilor și reducând temperatura de călire. Siliciul (Si) este element alfagen, adică ridică temperatura de austenitizare, mai precis temperatura de călire. De asemenea siliciul ridică rezistența la uzură. Cromul (Cr) este tot element alfagen, formând carburi care îmbunătățesc rezistența la uzare și stabilitatea la temperaturi înalte. Nichelul (Ni) element gamagen, cu influență importantă asupra călibilității și

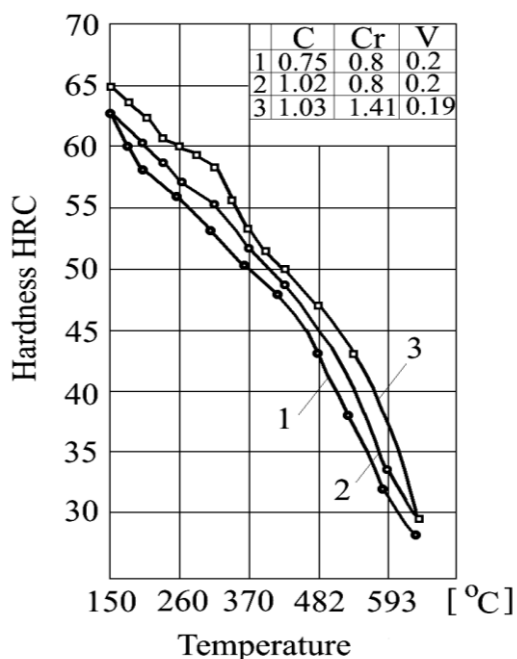


Fig.2.47 Dependența dintre duritate și temperatura de revenire [15]

tenacității la temperaturi scăzute. Este folosit ca element de aliere în oțeluri rezistente la șocuri termice. Vanadiul (V) formează cele mai dure carburi în oțelurile de scule. Vanadiul îmbunătățește rezistența la uzură în condiții de lucru la cald sau la rece. De asemenea crește duritatea și stabilitatea caracteristicilor la cald și micșorează tenacitatea. Wolframul (W) are tendință mai puternică în comparație cu cromul de formare a carburilor dure, favorizând mărirea rezistenței la uzură. De asemenea îmbunătățește stabilitatea caracteristicilor la cald și durificarea secundară a oțelurilor de scule. În figura 2.47 se prezintă influența temperaturii de revenire asupra durității pentru oțelul 90VCr10 în funcție de concentrația elementelor de aliere. Din punct de vedere teoretic viteza de formare a austenitei depinde de distanța dintre lamelele de perlită, sau de mărirea globulelor de cementită și de asemenea de mărirea grăuntelui obținut la elaborarea oțelului. Cu cât interfața de separație dintre faze este mai mare, viteza de formare a austenitei este și ea mai mare.

Tratamentul termic final (călire urmată de revenire) este cel care determină proprietățile sculelor. Temperatura de călire, viteza de răcire și durata de menținere vor avea influență asupra proprietăților oțelurilor aliate. Lucrarea prezintă influența temperaturii de călire și a timpului de menținere asupra caracteristicilor oțelurilor studiate. Intervalul de temperaturi în care tratamentele s-au efectuat, a fost de 760-820°C pentru oțelul 90Vcr10 și de 780-830°C pentru 105MnCrW11. Tipurile de tratamente termice aplicate oțelurilor au fost:

- călire I – temperatura de călire 780°C;
- călirea II – temperatura de călire 790°C;
- călirea III – temperatura de călire 800°C;

- călirea IV – temperatura de călire 810°C;
- călirea V – temperatura de călire 820°C;
- călirea VI – temperatura de călire 830°C.

Pentru toate tratamentele mediul de călire a fost uleiul iar epruvetele au avut dimensiunile de ϕ 25.4 x 100 mm. Saturația soluției solide și dizolvabilitatea carburilor se pot pune în evidență prin intermediul durtății (vezi fig. 2.48 – revenire 2 ore la 150°C).

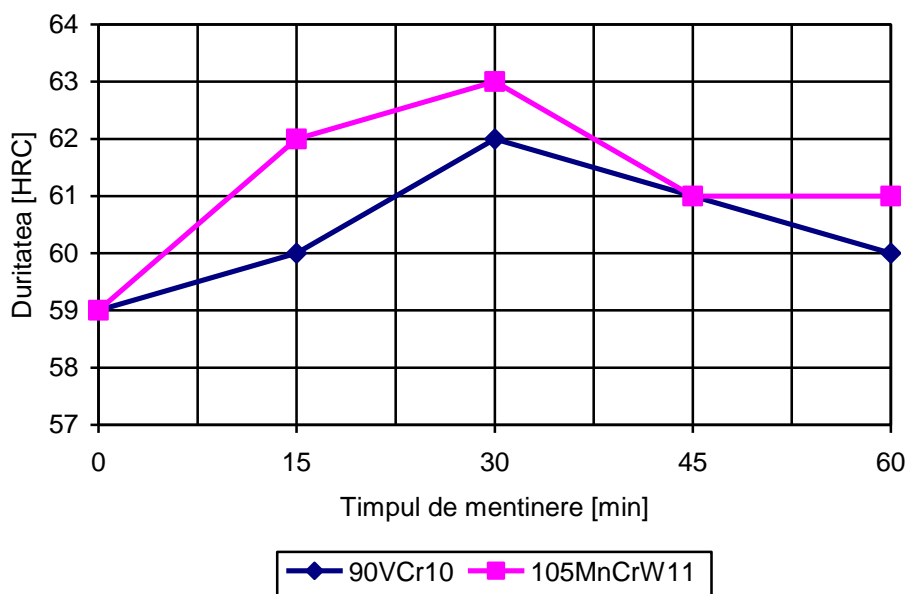


Fig. 2.48 Dependența dintre duritate și timp de menținere la 820°C [4]

Se observă că la oțelurile studiate aliura (forma) curbelor este asemănătoare. Imediat după încălzirea completă duritatea ajunge la maxim, pentru ca în următoarele minute ea să scadă puțin și apoi să crească din nou. Posibila explicație: prin creșterea timpului de menținere se produce dizolvarea în continuare a carburilor, ceea ce determină creșterea durtății.

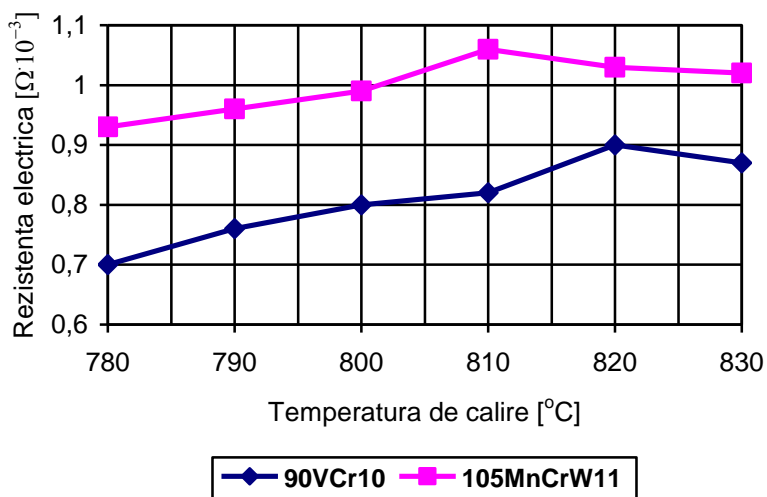


Fig. 2.49 Influența temperaturii de călire asupra rezistenței electrice [4]

Influența temperaturii de călire asupra gradului de saturare al soluției solide este prezentată în figura 2.49 (timpul de menținere 30 minute). Revenirea a fost de 2 ore la 150°C. Figura arată că pe măsură ce temperatura de călire crește, se mărește și rezistența electrică, după care începe să se plafoneze. În figura 2.50 se prezintă evoluția durtății în funcție de temperatura de revenire pentru epruvetele care au fost călite la 820°C. Timpul de menținere la temperatura de călire a fost de 30 minute, iar mediul de răcire uleiul. Pentru fiecare epruvetă, menținerea la temperatura de revenire a fost de 2 ore.

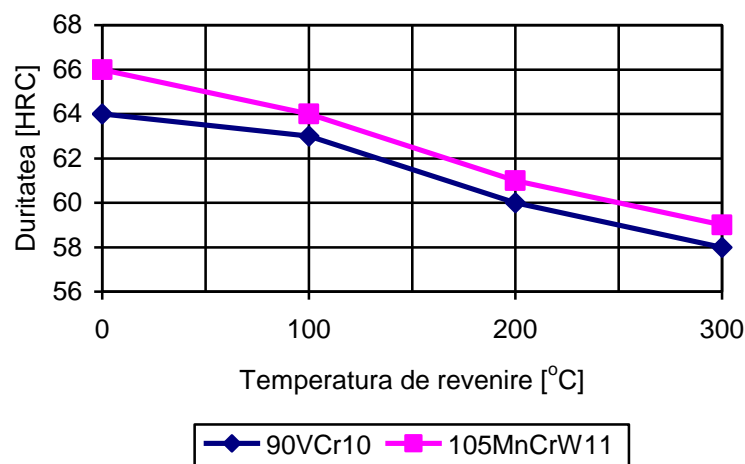


Fig. 2.50 Evoluția durtății în funcție de temperatura de revenire pentru probele călite la 820°C [4]

Figura 2.50 arată că durtatea scade pe măsură ce temperatura de revenire crește, această comportare fiind explicată prin existența structurii inițiale de perlită lamelară care influențează puternic gradul de aliere al soluției solide și respectiv al martensitei.

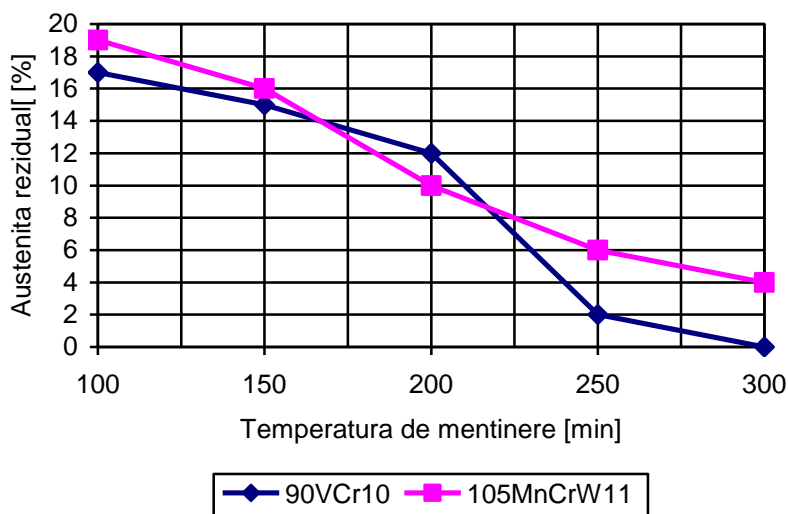


Fig. 2.51 Dependența dintre temperatura de revenire și proporția de austenită reziduală (probe călite la 820°C) [4]

Evoluția austenitei reziduale, se prezintă în figura 2.51, pentru acest test, timpul de menținere la temperatura de călire a fost de 30 minute, mediul de răcire fiind uleiul. Pentru fiecare epruvetă timpul de menținere la temperatura de revenire a fost de 2 ore. Figura 2.51 arată că procentul de austenită reziduală scade atunci când temperatura de revenire crește.

O altă proprietate studiată care este importantă pentru toate categoriile de scule a fost reziliența. Studiul influenței diferitelor procedee de tratament termic asupra rezilienței s-a efectuat pe epruvete standardizate cu creștătura în „U” și secțiune 10 x 10 mm. Influența temperaturii de călire asupra rezilienței (energia de impact 30 kgm) se prezintă în figura 2.52.

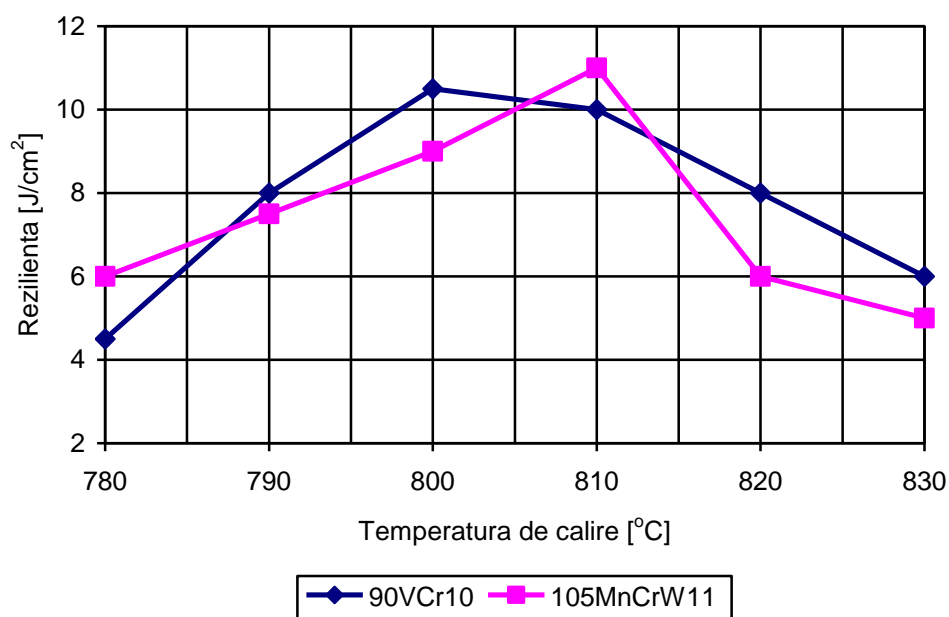


Fig. 2.52 Influența temperaturii de călire asupra rezilienței [4]

Timpul de menținere la temperatura de călire a fost tot de 30 minute și mediul de călire uleiul. Temperatura de revenire a fost de 200°C și timpul de menținere de 2 ore. Figura 2.52 arată că la ridicarea temperaturii de călire reziliența crește, deoarece se mărește și cantitatea de austenită reziduală. După depășirea temperaturi de 800-810°C (în funcție de marca oțelului) reziliența începe să scadă.

Oțelurile destinate sculelor pentru prelucrări la rece și în special cele destinate sculelor așchietoare sunt supuse acțiunii forțelor de așchiere. Acțiunea acestor forțe determină uzura muchiilor așchietoare și reascuțirea sculei. Pentru studiul uzurii s-au folosit epruvete în formă de plăcuțe având dimensiunile 44 x 21 x 8 mm. Încercarea s-a făcut fără ungere, timp de o oră, forța de apăsare a fost de 50 N și turația de 10.000 rot/min. Epruvetele folosite în test au fost călite la diferite temperaturi. Determinarea uzurii s-a făcut pe baza pierderii de masă înregistrate de epruvetele testate. În figura 2.53 se prezintă rezultatele încercării la uzură (timpul de menținere la temperatura de călire a fost de 2 ore).

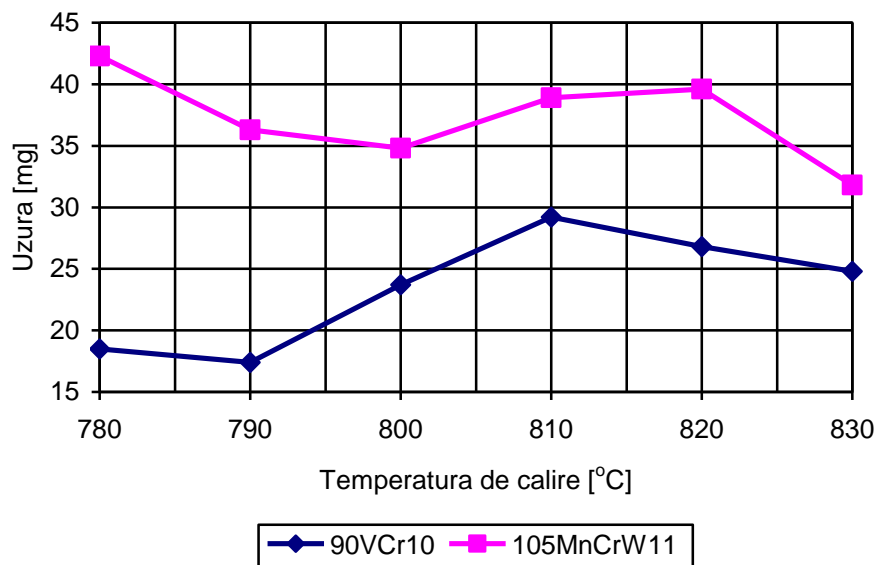


Fig. 2.53 Dependența uzurii de temperatura de călire (revenire 2 ore la 200°C) [4]

Figura 2.53 arată că rezultate bune din punct de vedere al uzurii sunt obținute când temperatura de călire este de 830°C pentru oțelul 105MnCrW11 și de 790°C pentru oțelul 90VCr10. Variația uzurii cu temperatura de revenire pentru probele călite la 820°C (timp de menținere 30 minute) se prezintă în figura 2.54. Timpul de menținere pentru fiecare temperatură a fost de 2 ore.

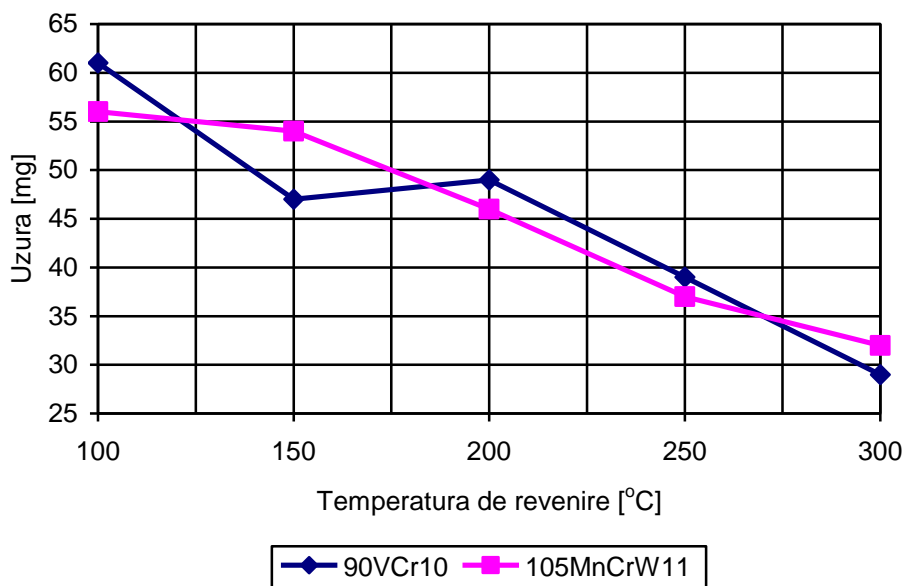


Fig. 2.54 Dependența uzurii de temperatura de revenire [4]

Figura arată că pe măsură ce temperatura de revenire crește, uzura scade, adică rezistența la uzare crește.

Studiul a prezentat influența pe care tratamentul termic final (călire și revenire) o are asupra proprietăților oțelurilor analizate: 90VCr10 și 105MnCrW11. Testele efectuate arată că

timpul de menținere la o anumită temperatură de călire influențează duritatea oțelurilor studiate. Cantitatea de soluție solidă ($Fe\gamma+Fe\alpha$), stabilită pe baza rezistenței electrice, depinde și ea de temperatura de călire, cu cât aceasta este mai ridicată cu atât crește și rezistența electrică. Duritatea oțelurilor studiate depinde de temperatura de menținere, durități ridicate obținându-se pentru temperaturi de menținere mai scăzute. O uzură redusă se obține pentru temperaturi de călire și revenire ridicate. În funcție de tipul și destinația sculelor, tratamentul termic al acestora se poate particulariza pentru a se obține proprietăți mecanice și tehnologice care să maximizeze durabilitatea sculelor.

Capitolul 3 – Simularea și modelarea proceselor tehnologice

3.1 Metoda elementelor finite

Metoda elementelor finite este un instrument deosebit de eficient de cercetare științifică și de proiectare, cu aplicații multiple și extrem de variate, dar și un component principal al cercetării și proiectării asistate de calculator. Folosită la început în domeniul calculului mecanic al structurilor, în special în industria aeronautică, metoda elementelor finite și-a extins ulterior aria de utilizare în întreaga sferă de activitate a inginerului, fiind folosită cu succes la soluționarea tuturor problemelor continuului material. Extinderea folosirii metodei elementelor finite se datorează pe de o parte caracterului foarte general al formulării conceptelor sale fundamentale, ceea ce a permis pătrunderea ei în numeroase domenii ale științei și tehnicii, iar pe de altă parte, capacității de a modela mai bine fenomenele fizice studiate, față de alte metode de calcul numeric, ceea ce a atras preferința multor specialiști [29].

Reflectarea cât mai fidelă a comportării structurilor și materialelor este o exigență majoră cerută de proiectanți metodelor de calcul pe care le folosesc, constituind condiția principală pentru dimensionarea riguroasă și realizarea pe această cale a unor importante economii de materiale, energie și manoperă. Metoda elementelor finite este, din acest punct de vedere, superioară tuturor celorlalte metode de calcul. Posibilitatea investigării mai precise a comportării materialelor a încurajat de asemenea studierea și răspândirea materialelor înlocuitoare, ceea ce constituie un alt avantaj economic.

Fiind o metodă de calcul numeric bazată pe utilizarea tehnicii de calcul, metoda elementelor finite s-a dezvoltat o dată cu perfecționarea și înmulțirea sistemelor de calcul electronic și cu creșterea numărului și a disponibilității produselor software de calcul cu elemente finite. Dezvoltarea metodei este reflectată printre altele de creșterea numărului de publicații și de manifestări științifice care îi sunt consacrate în întreaga lume. Semnificativă este creșterea numărului de programe de calcul cu elemente finite și faptul că firmele elaboratoare de soft se preocupă de furnizarea acestor produse o dată cu echipamentele de calcul în calitate de soft de bază. De asemenea, trebuie menționată apariția calculatoarelor specializate pentru calculul cu elemente finite și al componentelor hardware, cu programe încorporate, care fac apte calculatoarele de uz general pentru calculul cu elemente finite, prin simpla instalare a acestor componente în calculatoare.

Pentru extinderea utilizării în viitor a metodei elementelor finite este deosebit de importantă problema asimilării ei de către un cerc tot mai larg de specialiști, știut fiind că a

dispune numai de programe de calcul nu este, de cele mai multe ori, suficient pentru aplicarea cu succes a metodei.

Metoda elementelor finite este un procedeu de rezolvare aproximativă (vezi fig. 3.1 [13]), cu ajutorul calculatorului electronic, a unei varietăți largi de probleme ingineresti. Dintre aceste probleme, fac parte și cele care se ocupă de deformarea plastică a materialelor metalice.

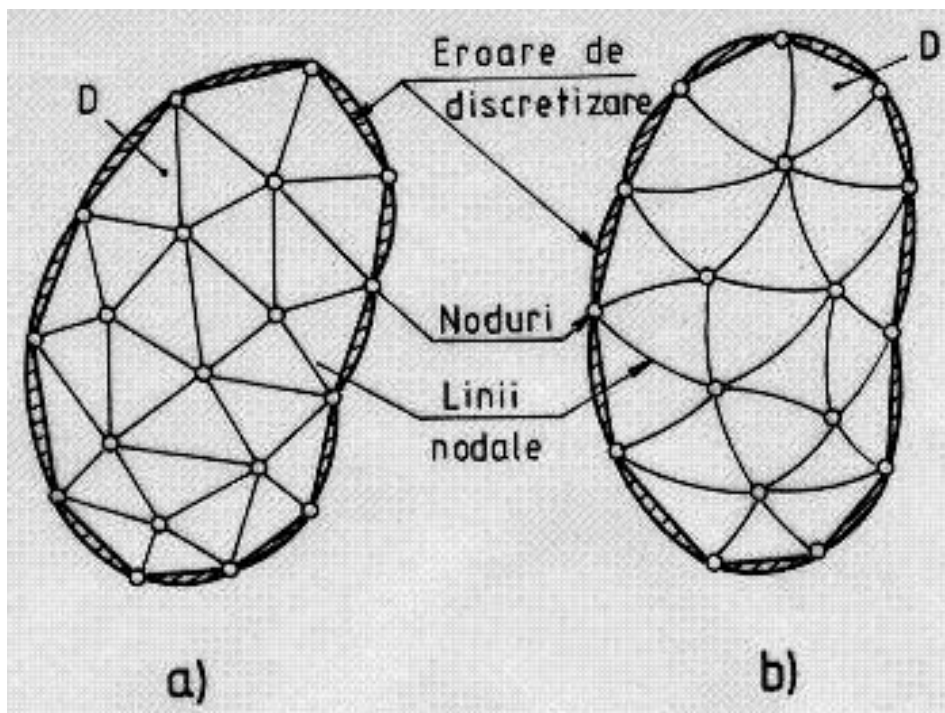


Fig. 3.1 Domeniu plan divizat în elemente finite [13]

În aceste probleme se urmărește determinarea într-un domeniu considerat, a valorilor uneia sau mai multor funcții necunoscute cum sunt de exemplu deplasările, tensiunile mecanice, deformațiile specifice, după natura problemei tratate. Cum domeniul are o infinitate de puncte, valorile funcției sunt în număr infinit. Operațiile efectuate la rezolvarea unei probleme prin metoda elementelor finite pot fi grupate convențional într-un număr de etape. O parte a acestor etape sunt parcurse în faza de analiză a problemei iar o altă parte sunt realizate de programul de calcul.

În prima etapă, aceea de împărțire a domeniului de analiză în elemente finite se alege tipul sau tipurile de elemente finite adecvate problemei de rezolvat, apoi urmează împărțirea structurii în elemente finite. Tipul de element finit este definit de mai multe caracteristici, cum sunt numărul de dimensiuni (uni-, bi-, tridimensional), numărul de noduri ale elementului, funcțiile de aproximare asociate și altele. Domeniul fiind plan, elementele finite sunt și ele plane, în acest caz patrulatere cu patru noduri. Funcția necunoscută pe domeniul considerat este

suprafața curbă $\Phi(x, y)$. Pe fiecare element finit funcția necunoscută Φ este aproximată printr-o funcție $\bar{\Phi}$, denumită funcție de aproximare (fig. 3.2 [13]).

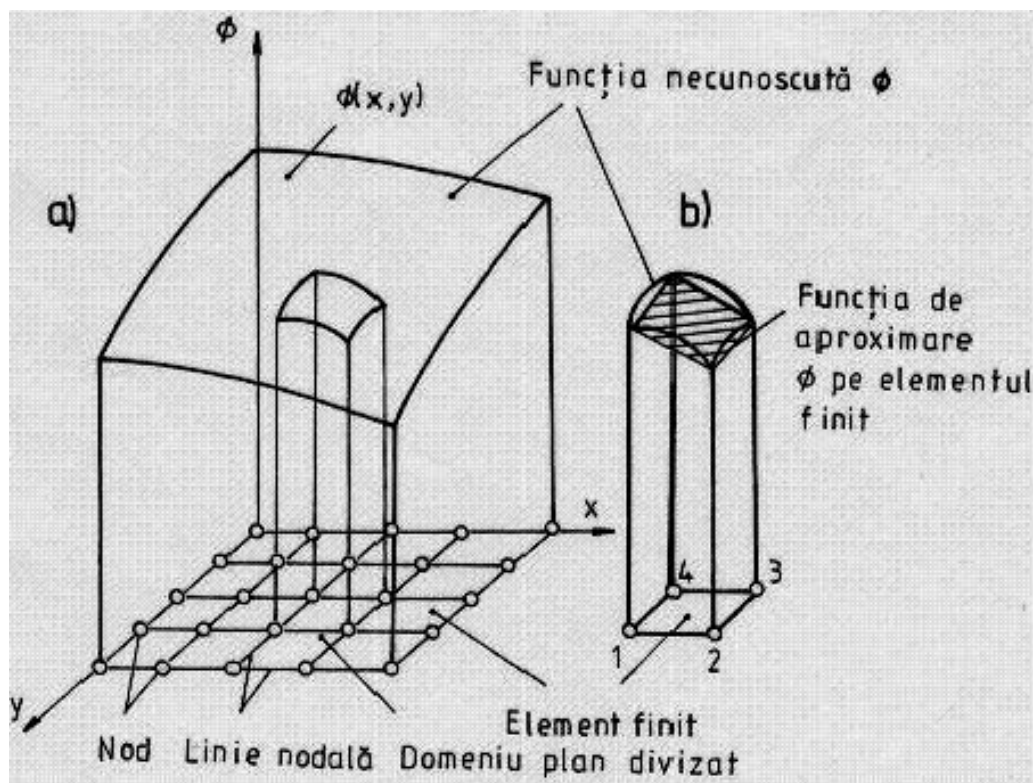


Fig. 3.2 Legătura element finit – funcție de aproximare [13]

Pentru funcțiile de aproximare se folosesc mai ales polinoame.

$$\bar{\Phi} = a_1 + a_2x + a_3y + a_4xy, \quad (3.1)$$

în care a_i sunt coeficienți necunoscuți, care se determină impunând ca în nodurile elementului finit funcția să capete valorile din noduri $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n$. În acest fel funcția de aproximare se scrie sub forma:

$$\bar{\Phi} = N_1 \cdot \Phi_1 + \dots + N_4 \Phi_4 = [N_1 N_2 N_3 N_4] \begin{Bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ \Phi_3 \\ \Phi_4 \end{Bmatrix} = [N] \{\Phi\}_e, \quad (3.2)$$

în care N_i se numesc funcții de formă iar $[N]$ – matricea funcțiilor de formă. Vectorul $\{\Phi\}_e$ se numește vectorul funcțiilor nodale pe elementul finit. El cuprinde valorile necunoscute ale funcției în noduri.

Etapa a II-a este cea de constituire a ecuațiilor elementelor finite. Comportarea materialului sau mediului în cuprinsul unui element finit este descrisă de ecuațiile elementelor finite denumite și ecuații elementale. Acestea alcătuiesc un sistem de ecuații al elementului. Numărul de ecuații ale sistemului este egal cu numărul gradelor de libertate pe element, motiv pentru care sistemul de ecuații care se obține este de forma:

$$[k] \cdot \{\Phi\}_e = \{p\}, \quad (3.3)$$

în care:

$[k]$ – matricea caracteristicilor fizico-geometrice ale materialului elementului finit;

$\{\Phi\}_e$ – vectorul funcțiilor nodale necunoscute pe elementul finit;

$\{p\}$ – vectorul încărcărilor (mecanice, termice, etc.) pe elementul finit.

Etapa a III-a este cea de asamblare a ecuațiilor elementelor, în sistemul de ecuații al structurii. Prin asamblare se impune ca, în nodurile comune elementelor, funcția sau funcțiile necunoscute să aibă aceeași valoare. În urma asamblării se obține sistemul de ecuații al structurii:

$$[K] \cdot \{\Phi\} = \{P\}, \quad (3.4)$$

în care $\{\Phi\}$ este vectorul funcțiilor necunoscute pentru întreaga structură. Deoarece matricea de rigiditate a structurii este simetrică față de diagonala principală, sistemul (3.4) poate fi transformat într-un sistem redus de ecuații care poate fi rezolvat (3.5).

$$[K_r] \cdot \{\Phi_r\} = \{P_r\} \quad (3.5)$$

Urmează etapa de rezolvare a sistemului de ecuații al structurii. Acesta se poate rezolva prin una din metodele cunoscute.

Ultima etapă este cea a efectuării de calcule suplimentare pentru determinarea necunoscutelor secundare. În unele probleme, după aflarea necunoscutelor primare analiza se încheie. Pentru deformările plastice această etapă există și anume constă în determinarea necunoscutelor secundare sau de ordinul doi. Pe baza deplasărilor nodale pot fi determinate necunoscutele secundare care sunt deformațiile specifice și tensiunile.

Utilizarea metodei elementelor finite ca o componentă principală a cercetării asistate de calculator, reprezintă în momentul de față cea mai eficientă metodă pentru analiza și optimizarea structurilor tehnice, indiferent de forma și de materialele din care sunt realizate. Prin folosirea metodei se scurtează timpul necesar asimilării în fabricație a unor noi produse.

3.2 Aplicarea simulării în procesul de realizare a sculelor

Performanțele actuale ale tuturor industriilor nu ar fi fost posibile fără existența programelor de modelare a solidelor și fără apelarea la o automatizare largă. Tehnologia digitală folosită astăzi pe scară largă de mai toate industriile prelucrătoare de piese și ansambluri mecanice (automobile, aeronave, nave maritime, electrocasnice, aparatură medicală, bunuri de larg consum) este cunoscută sub denumirea generică de CAD (Computer Aided Design – proiectare asistată de calculator). Soluțiile de proiectare asistată s-au diversificat permanent, motiv pentru care, noi programe de proiectare asistată, sau module ale acestora sunt disponibile în prezent, pentru a rezolva problemele concrete apărute în sectoarele de proiectare ale întreprinderilor. Două sunt cauzele principale care determină apariția frecventă de versiuni noi pentru programele de proiectare cu destinație industrială: concurența mare existentă în acest domeniu și cerințele concrete ale beneficiarilor actuali sau potențiali. Îmbunătățirile aduse pe parcurs privesc atât chestiuni cheie – cu impact care revoluționează de multe ori domeniul, cât și de rafinament – vizând eficiența și eleganța operării acestor programe.

Creșterea competitivității produselor folosite în tehnică nu ar fi posibilă, fără a se apela la simularea proceselor tehnologice sau la modelarea 3D. Utilizarea programelor de simulare nu este posibilă fără a se cunoaște valorile constantelor specifice materialelor din care sunt realizate piesele, pentru care procesul de simulare este aplicat. Respectivul programe au valorile acestor constante pentru cele mai folosite materiale dar pentru altele acestea lipsesc. În astfel de cazuri se vor folosi valorile generice cunoscute, iar dacă, acest lucru conduce la erori (majore), ar fi de preferat ca aceste valori să fie determinate. Pentru a putea simula procesul de obținere prin deformare plastică a unor piese din oțelurile X210Cr12 și HS 6-5-2-5, trebuie cunoscută valoarea modulului de elasticitate. Această valoare nu a fost furnizată de producătorii respectivelor oțeluri și nici nu se găsește în literatura de specialitate. Există posibilitatea să se folosească datele existente în literatura de specialitate sau să se determine valorile modulului de elasticitate pentru oțelurile respective.

De exemplu în literatura de specialitate există următoarele valori pentru densitate [28]:

- oțel nealiat sau slab aliat – $7.800 \dots 7.890 \text{ kg/m}^3$ ($7,8 \dots 7,89 \text{ g/cm}^3$);
- oțel inoxidabil – 7.900 kg/m^3 ($7,9 \text{ g/cm}^3$);
- oțel aliat cu wolfram – 8.700 kg/m^3 ($8,7 \text{ g/cm}^3$).

În cazul modulului de elasticitate (E) situația este similară:

- oțel cu conținut mediu de carbon $2,05 \cdot 10^5 \text{ MPa}$;
- oțel carbon slab aliat $2 \cdot 10^5 \text{ MPa}$;

- oțel înalt aliat $2,1 \cdot 10^5$ MPa.

Utilizarea acestor valori generice ar introduce erori în procesul de simulare, motiv pentru care se preferă determinarea valorilor acestor constante de material pentru oțelurile luate în studiu.

Pentru determinarea modulului de elasticitate s-a apelat la o metodă rapidă, recentă, eficientă, modernă și anume la interferometria Doppler [16, 17, 18]. Încercările au fost efectuate cu sprijinul colectivului de fizică aplicată din cadrul universității. Metoda constă în stabilirea frecvenței de rezonanță proprie pentru materialul analizat, pe baza acestei valori putându-se calcula valoarea modulului de elasticitate. Vibrațiile materialului, datorate excitației externe sunt preluate și prelucrate cu ajutorul unui sistem pe bază de raze laser. După ce oscilațiile proprii au fost stabilizate, prin aplicarea transformatei Fourier s-a putut determina frecvența proprie de oscilație pentru cele două oțeluri studiate (fig. 3.3 și 3.4).

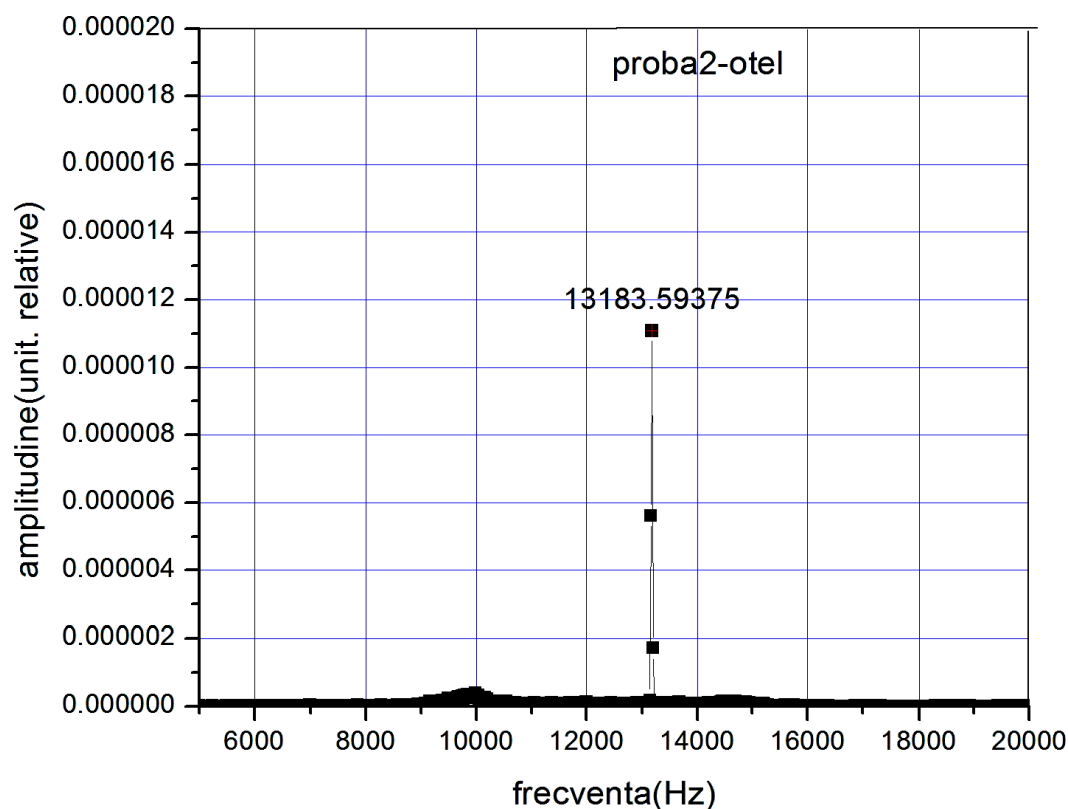


Fig. 3.3 Transformata Fourier pentru determinarea frecvenței proprii
a oțelului X210Cr12

Conform figurii 3.3, frecvența de rezonanță proprie pentru oțelul X210Cr12 este de 13.183,59375 Hz, iar conform figurii 3.4, frecvența proprie de rezonanță pentru oțelul HS 6-5-2-5 este de 13.222,65625 Hz.

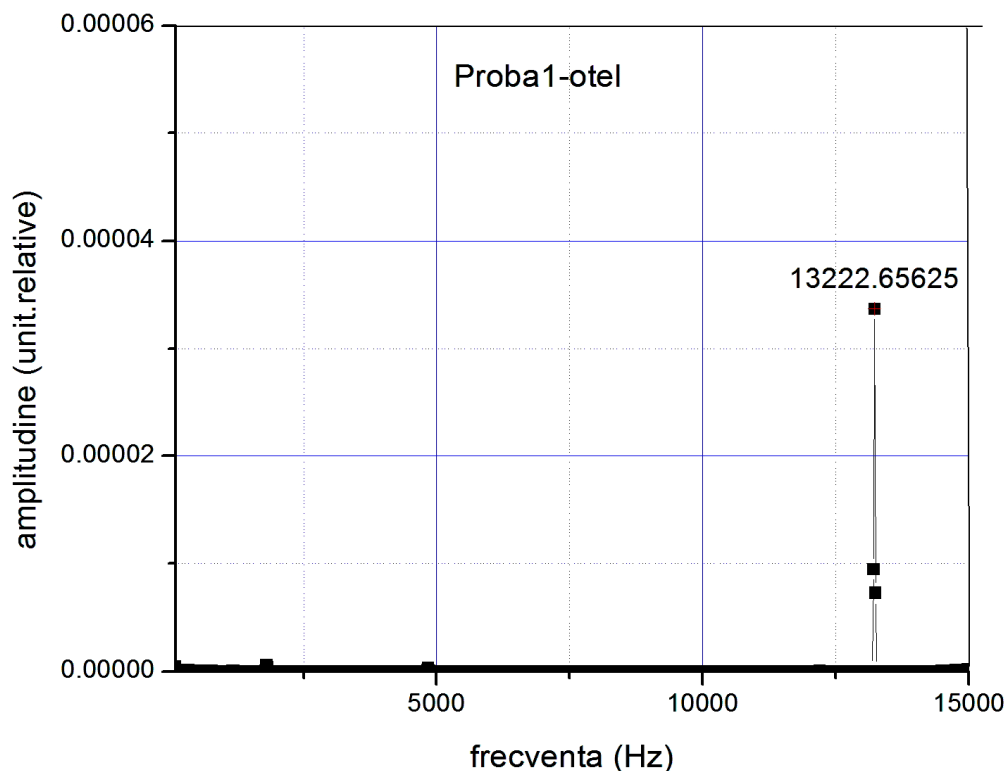


Fig. 3.4 Transformata Fourier pentru determinarea frecvenței proprii a oțelului HS 6-5-2-5

Viteza oscilației sonore este:

$$v = 2 \cdot l \cdot \nu_0 \quad , \quad [\text{m/s}] \quad (3.6)$$

unde:

v – viteza oscilației sonore;

l – lungimea materialului; lungimea materialului a fost de $201 \cdot 10^3$ m pentru oțelul X210Cr12 și de $200 \cdot 10^3$ m pentru oțelul HS 6-5-2-5;

ν_0 – frecvența de rezonanță proprie.

Legătura între viteza oscilației sonore și modul de elasticitate este dată de relația:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \Rightarrow E = v^2 \cdot \rho \quad , \quad [\text{MPa}] \quad (3.7)$$

unde:

ρ - densitatea materialului ($\rho = m / V$); pentru oțelul X210Cr12 densitatea este de $7.647,593 \text{ kg/m}^3$, iar pentru oțelul HS 6-5-2-5 densitatea este de $8.109,476 \text{ kg/m}^3$.

Pe baza relațiilor (3.6 și 3.7) s-a putut calcula modulul de elasticitate (E) al oțelului X210Cr12, care este de $2,15 \cdot 10^5$ MPa, iar pentru oțelul HS 6-5-2-5 modulul de elasticitate este

$2,27 \cdot 10^5$ MPa. Aceste valori sunt superioare celor generice (oțel carbon slab aliat și oțel carbon înalt aliat), deoarece elementele de aliere și volumul lor în compoziția oțelurilor au ponderi însemnate. În cazul oțelului rapid HS 6-5-2-5, valoarea modulului de elasticitate se va folosi pentru simularea prin deformare plastică la cald a semifabricatului destinat unei freze disc.

Pentru a obține scule așchietoare cu performanțe îmbunătățite (vezi cap. 2.1) se apelează la deformarea plastică la cald prin refulare. În acest fel se pot obține semifabricate cilindrice cu alezaje interioare destinate fabricării frezelor disc. Modul în care are loc deformarea plastică a semifabricatului se poate studia prin simulare.

Pentru procesul de simulare, semifabricatul care se dorește a se deforma plastic este divizat în entități geometrice elementare, linii, suprafețe, care la rândul lor sunt divizate în elemente finite [29]. Simularea comportării materialului la deformare plastică, în vederea obținerii unui semifabricat destinat frezelor disc, a fost efectuată pe oțelul rapid marca HS 2-9-1-8 [28]. Cunoscând materialul, urmează etapa în care semifabricatului i se atribuie proprietățile materialului, mai precis: modulul de elasticitate longitudinal (E), coeficientul Poisson și în funcție de tipul problemei care se simulează rezistența la rupere, curgere sau deformare la diverse temperaturi.

Următoarea etapă este cea de încărcare a modelului care constă în introducerea de forțe sau presiuni în noduri, de asemenea stabilirea temperaturilor din fiecare nod mai ales pentru cazul analizat, în care este vorba de deformarea plastică la cald. Se aplică forțele de frecare care apar între diferitele suprafețe aflate în contact. Se mai stabilește tipul utilajului pe care se va face deformarea.

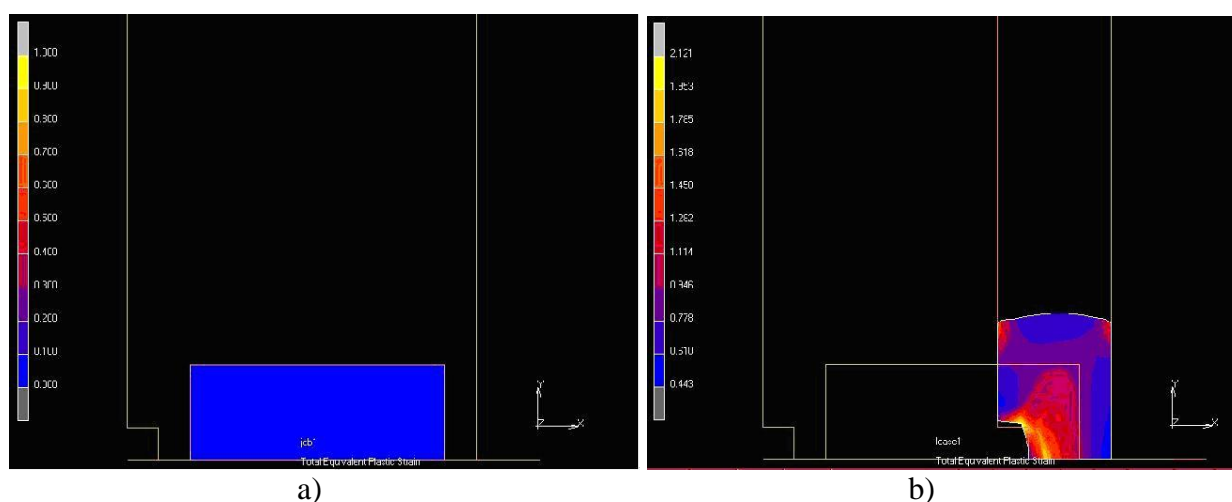


Fig. 3.5 Simularea procesului de deformare plastică pentru oțelul HS 2-9-1-8:

a) stare inițială, b) stare intermediară [6]

Cu toate aceste informații, se poate trece la procesarea datelor, în urma căreia prin rezolvarea problemei, sunt furnizate datele de ieșire care pentru simularea deformării plastice a semifabricatului destinat frezei disc sunt deplasări și tensiuni [11, 28]. În figura 3.5 se prezintă semifabricatul în starea inițială și în stare intermediară.

În figura 3.5.a în partea centrală (culoare albastră) este semifabricatul destinat deformării plastice. În partea stângă se conturază forma sculei de deformare care este atașată părții mobile a utilajului de deformare. În partea dreaptă a figurii 3.5.a este reprezentată cealaltă parte a sculei, masa (partea fixă) utilajului de deformare, în cazul de față este vorba de o suprafață plană. În figura 3.5.b se poate observa forma semifabricatului de pornire și modul în care el a fost deformat până în acel moment. Deoarece simularea deformării este făcută cu frecare, se constată că diametrul cel mai mare al semifabricatului este în partea centrală. Deoarece figura prezintă tensiunile totale echivalente se constată că valori ridicate apar doar în zona care reprezintă generarea alezajului central al frezei disc. În restul volumului semifabricatului tensiunile sunt relativ scăzute, doar în zona centrală apărând tensiuni totale echivalente medii. Etapa intermediară arată că deformarea plastică la cald a oțelului rapid studiat poate fi făcută fără probleme majore dacă procesul tehnologic este condus cu atenție.

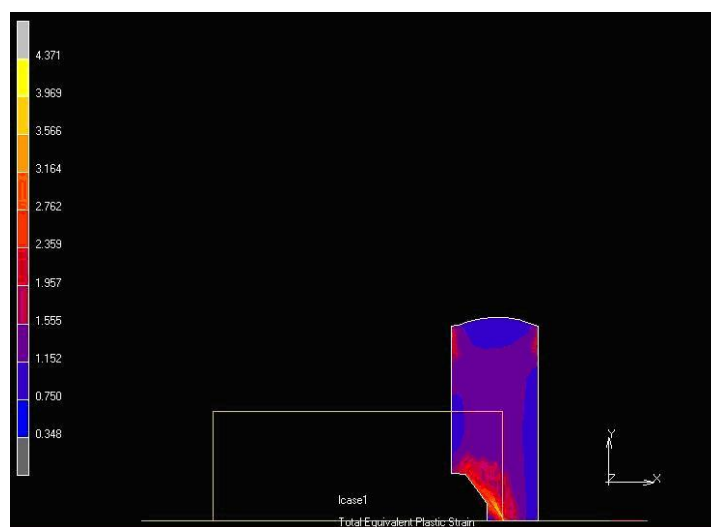


Fig. 3.6 Sfârșitul procesului de deformare plastică [6, 28]

Figura 3.6 prezintă sfârșitul procesului de deformare plastică și implicit a celui de simulare. Din figură se constată o diminuare semnificativă a tensiunilor totale echivalente din zona centrală. Rezultatul simulării din punct de vedere al dimensiunilor epruvetei pe axa y sunt prezentate în figura 3.7. Figura prezintă deformarea prin refulare a unui semifabricat cilindric cu dimensiunile 25 x 40 (ϕ x h) din oțel rapid HS 2-9-1-8. Înălțimea semifabricatului a fost micșorată de la 40 mm la 8 mm adică s-a redus cu 32 mm.

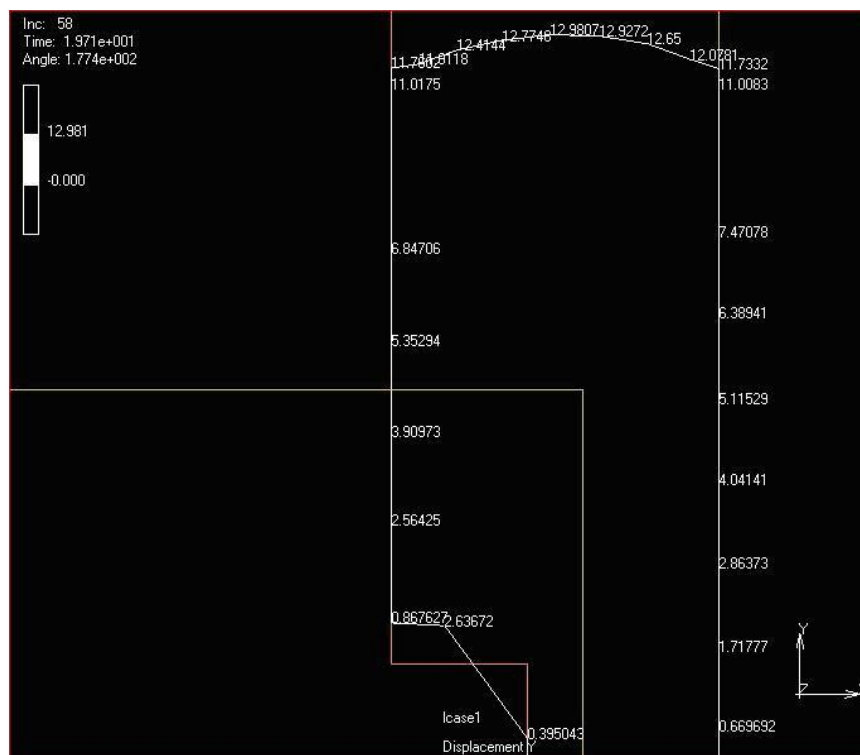


Fig. 3.7 Dimensiunile pe axa y a semifabricatului din oțel rapid HS 2-9-1-8 deformat plastic prin refulare [6, 28]

În figura 3.7, prin detalierea valorilor coordonatelor pe axa y , se constată că în urma refulării semifabricatului de la 40 mm la 8 mm, punctele de pe generatoarea semifabricatului s-au deplasat (raza semifabricatului a crescut) în timpul refulării cu 12,98 mm. Conform calculelor diametrul la finalul refulării este de:

$$\phi = 2 \cdot (r_0 + r_d) = 2 \cdot (12,5 + 12,98) = 50,96 \text{ [mm]} \quad (3.8)$$

La finalul refulării prin simulare, diametrul semifabricatului a fost de 50,96 mm iar în cazul refulării reale, semifabricatul a avut diametrul de 52,33 mm. Eroarea în cazul de față a fost de 2,7%, o valoare redusă.

O altă posibilitate de aplicare a simulării în domeniul sculelor așchietoare este prin apelarea la mașinile-unelte virtuale. Folosind capacitățile diverselor programe de proiectare CAD, pot fi create mașini-unelte virtuale cu ajutorul cărora se poate studia și optimiza geometria sculei sau ce se întâmplă în procesul de așchiere, când parametrii acestuia se modifică. Folosind programul de proiectare Solid Edge V20, fiecare element principal al mașinii-unelte este modelat în mediul 3D, după care, elementele sunt asamblate într-o mașină-unealtă virtuală [2, 30]. În figura 3.8 se prezintă o mașină de frezat virtuală. Scula așchietoare care simulează procesul de frezare este de tip freză disc și a fost modelată în două variante: cu un dinte și cu 16 dinți.

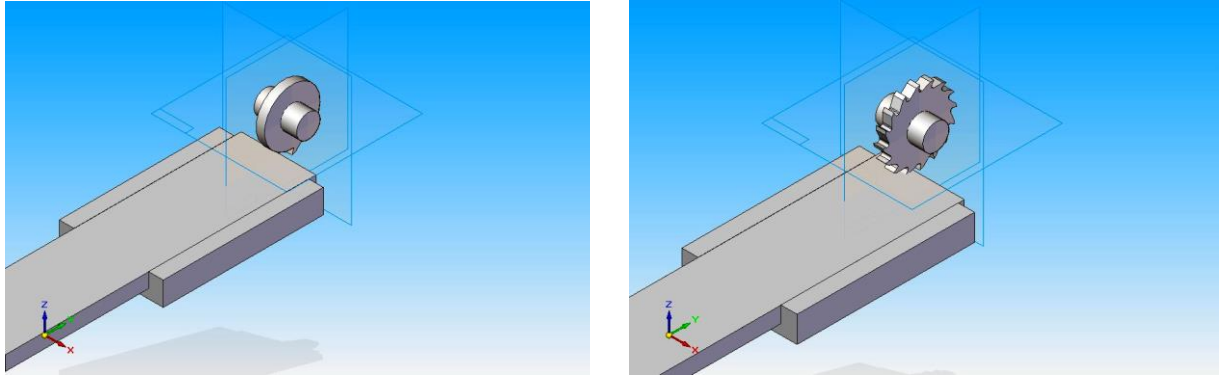


Fig. 3.8 Mașină de frezat virtuală

Apelând aplicația „Motion” (fig. 3.9) de care programul dispune, se crează lanțul cinematic al frezei virtuale. Astfel se simulează cele două mișcări care trebuie efectuate de mașina de frezat și anume mișcarea principală executată de freză (mișcare de rotație) și cea de avans executată de piesă (masa mașinii), care este o mișcare rectilinie.

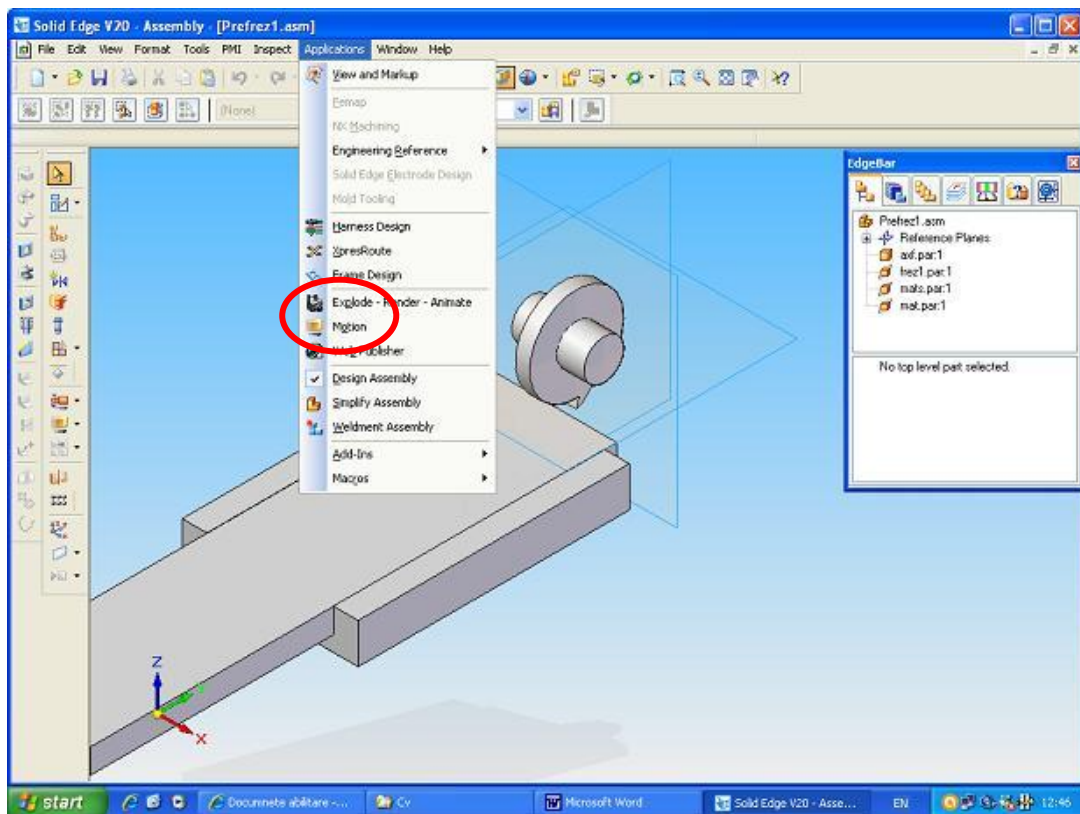


Fig. 3.9 Aplicația „Motion” a programului de proiectare

Valorile mișcărilor menționate pot fi modificate în funcție de cerințele procesului de așchiere (fig. 3.10). După atribuirea mișcărilor specifice elementelor principale și stabilirea

valorilor pentru fiecare din ele, mașina-unealtă virtuală a fost creată și poate să se treacă la etapa de simulare.

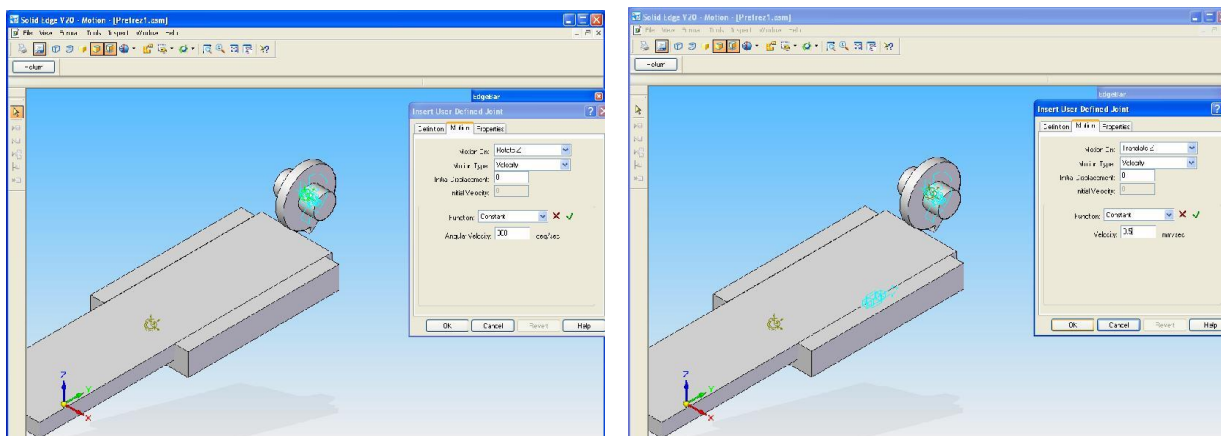


Fig. 3.10 Modificarea valorilor mișcărilor principale

Prin startul simulării, începe desfășurarea virtuală a procesului de frezare. Funcția „Interferență” de care aplicația dispune, va identifica fiecare interferență care apare între sculă (freză) și piesa de prelucrat (fig. 3.11).

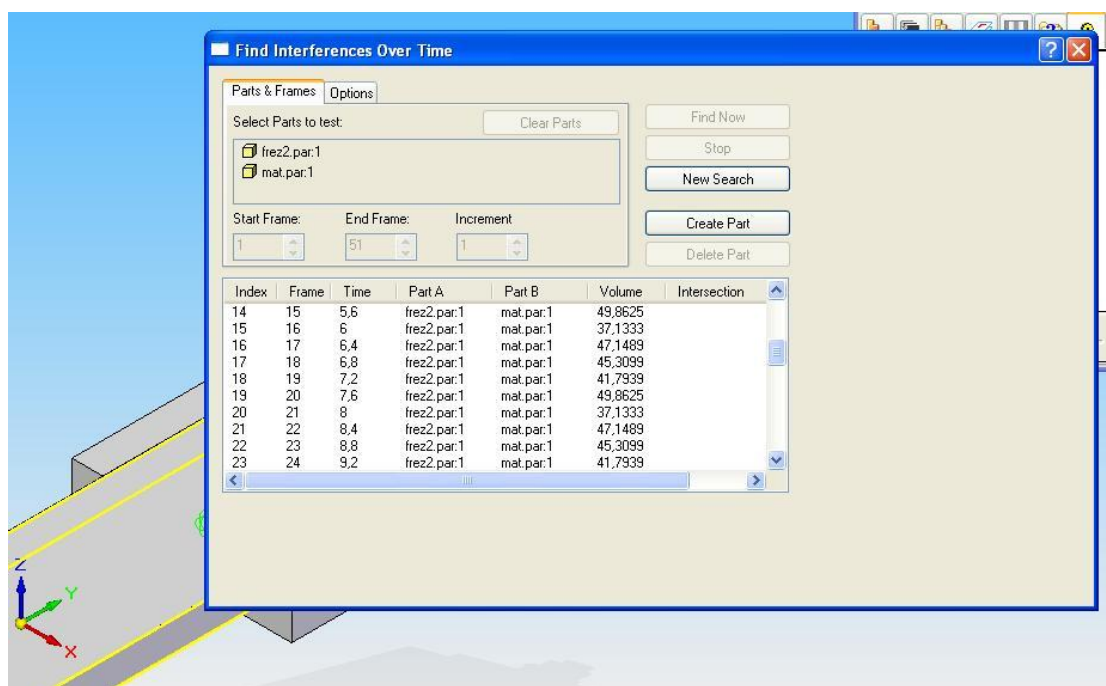


Fig. 3.11 Interferențele generate de simulare

La sfârșitul simulării vor apărea toate interferențele din timpul aşchierii virtuale, altfel spus sunt detectate toate aşchile care au fost generate datorită contactului dintre sculă și material. Fiecare interferență este salvată ca un element 3D, cu valoarea volumului atașată și care ulterior poate fi analizată din punct de vedere al formei și dimensiunilor (fig. 3.12).

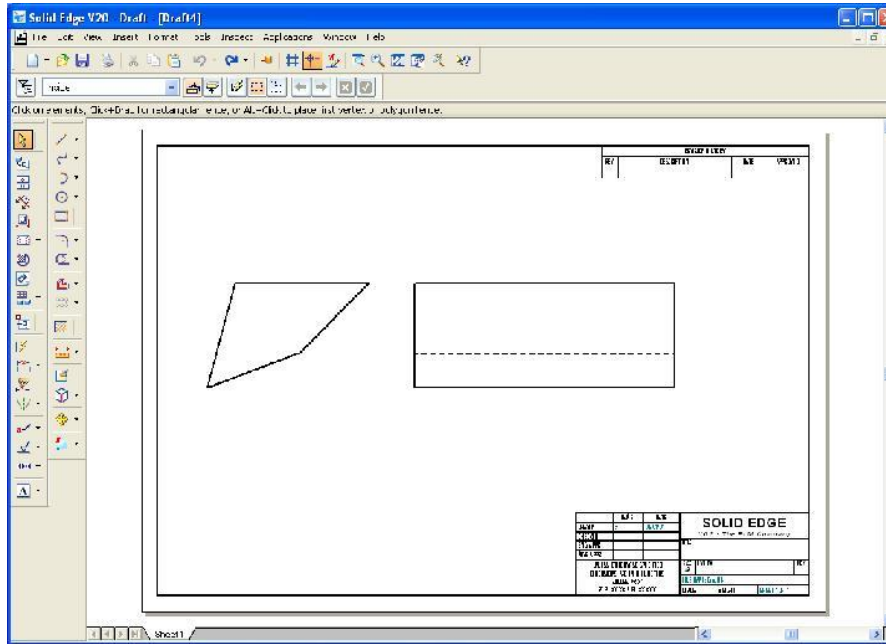


Fig. 3.12 Interferență generată în timpul frezării virtuale

Prin modificarea parametrilor regimului de așchiere (turație, viteză de avans, adâncime) și a geometriei sculei, se identifică direcțiile în care trebuie acționat pentru ca procesul de așchiere să se desfășoare în condiții optime.

3.3 Concluzii

Așa cum s-a arătat la începutul tezei, domeniul sculelor și în special acela al sculelor așchietoare este permanent în atenția cercetătorilor și al tehnicienilor din ramurile industriale, datorită volumelor mari care sunt folosite în procesele de producție. În decursul timpului, și este vorba de peste 18 ani, cercetările efectuate de autor au avut ca obiectiv îmbunătățirea performanțelor acestor elemente. Pentru acest obiectiv au fost abordate mai multe tehnologii, unele dintre ele fiind greu accesibile cu ani în urmă. Din cauza numărului mare de tipuri dimensiuni, destinații și forme geometrice pentru sculele folosite în prezent, abordarea unitară a acestui domeniu nu este posibilă. Acesta este motivul pentru care cercetările au abordat în general tehnologii noi și foarte noi de procesare a sculelor.

Contrar prognozelor existente în trecut este deja recunoscut faptul că oțelurile rapide au fost utilizate și vor fi folosite și în continuare la producția de scule. Aplicarea tratamentelor termomecanice materialelor destinate sculelor conduce la îmbunătățirea anumitor proprietăți (duritate, reziliență, rezistență la uzare), proprietăți indispensabile oricărei scule, dacă gradul de deformare din timpul tratamentului are valorile stabilite în timpul cercetărilor. Datorită gradului de deformare mare care trebuie aplicat semifabricatului, acest tratament poate fi utilizat doar la sculele cu diametre mari și grosimi reduse. Pentru tipul de scule considerat adecvat, comportarea în așchiere a fost superioară în comparație cu cea a unei scule obținută prin metode clasice. Indiferent de materialul asupra căruia tratamentul termomecanic a fost aplicat, comportarea a fost asemănătoare.

Folosirea surselor concentrate de energie a avut la rândul lor efecte benefice, atunci când s-a aplicat pe oțelurilor aliate. Și în acest caz, utilizarea acestei tehnologii este limitată datorită posibilităților echipamentelor care generează astfel de energii. Se poate aplica cu succes pentru suprafețele plane sau muchiile rectilinii. Rezultatele obținute sunt promițătoare mai ales că suprafețele tratate au caracteristici de duritate ridicată, iar interiorul rămâne cu o duritate mai scăzută și o tenacitate ridicată, altfel spus, caracteristicile unei scule ideale, cunoscându-se că tenacitatea este de multe ori precară. Utilizarea energiei solare în domeniul tratamentelor termice aplicate cu precădere oțelurilor de scule a constituit o altă temă de cercetare în care autorul a dorit să se implice. Rezultatele obținute și interpretate până în acest moment arată că respectiva soluție poate fi aplicată cu succes în domeniul sculelor din oțeluri aliate. Păstrarea legăturii cu mediul industrial permite contactul permanent cu problemele care apar în acest sector. Astfel, a fost lansată o nouă temă de cercetare și anume, cea referitoare la accelerarea procesului de îndepărtare a straturilor subțiri dure depuse pe sculele așchietoare. Deoarece soluțiile propuse și

încercările efectuate au permis micșorarea consistentă a timpului alocat operației, implementarea în producție a fost consecința firească a acestui demers.

Pregătirea dobândită în domeniul informaticii pe parcursul liceului și a studiilor universitare, permite autorului tezei de abilitare să folosească cu ușurință programele software. Din acest considerent, implicarea în simularea proceselor tehnologice, prin folosirea programelor dedicate a reprezentat o altă metodă de abordare a problemelor apărute în domeniul de cercetare în care autorul activează. Prin utilizarea unor astfel de programe, calitatea produselor crește iar timpul necesar proiectării și realizării prototipurilor, scade.

(B-ii) Planuri de evoluție și dezvoltare a carierei

Planurile de evoluție și dezvoltare a carierei profesionale vor reprezenta o continuare a activității de cercetare începută cu peste 24 de ani în urmă, odată cu debutul stagiului pentru obținerea titlului de doctor (1992). Autorul tezei de abilitare a obținut titlul de doctor în anul 1997, iar în anul 1998 a promovat prin concurs pe postul de conferențiar. Ponderea cercetărilor efectuate după această perioadă a fost legată de domeniul sculelor și în special al sculelor așchietoare, deoarece tema tezei de doctorat a făcut parte din această arie. Cercetările au implicat atât găsirea de soluții pentru îmbunătățirea proprietăților materialelor utilizate preponderent la fabricarea sculelor, cât și studierea proceselor în care acestea sunt implicate prin modelare și simulare. Dreptul de a conduce teze de doctorat reprezintă pe de o parte o nouă etapă în evoluția profesională, iar pe de altă parte o mare responsabilitate față de doctorand. Doctorandul va trebui să conștientizeze că din momentul publicării, rezultatele devin bun public și vor putea fi exploatate nu în folosul acestuia, de cei cu abilități în valorificarea către sectoarele industriale, a unor astfel de informații. Îndrumarea tezelor de doctorat va însemna un contact permanent cu evoluția cercetărilor în domeniile de interes pentru autor, actualizarea cunoștințelor pe care le are și desigur o sursă pentru completarea cursurilor de specialitate.

Planul de evoluție și dezvoltare a carierei din punct de vedere al cercetării cuprinde:

- implicarea în redactarea de proiecte cu finanțare de la UE de tipul Orizont 2020, prin care se dorește creșterea competitivității sectorului industrial al Uniunii Europene; experiența dobândită în propunerea de proiect „Researches regarding the competitiveness growth of the coated cutting tools with hard thin layers”, care a trecut de prima fază a evaluării în septembrie 2015, constituie o dovadă a opțiunii autorului față de această activitate;

- menținerea și extinderea colaborării cu mediul industrial – necesitatea creșterii competitivității produselor realizate de întreprinderile autohtone reprezentând o prioritate națională, le motivează pe acestea în a căuta sprijin pentru îmbunătățirea tehnologiilor existente sau implementarea unora noi, care să le permită rămânerea în activitate;

- cercetările în care autorul tezei de abilitare se va implica vor fi efectuate ca urmare a participării la proiecte naționale (de tip Parteneriate) sau internaționale (de tip Era) deoarece acestea implică în mod obligatoriu participarea mediului economic în schema de finanțare;

- aderarea la echipele de cercetare multidisciplinare – simpla utilizare doar a tehnologiilor clasice și a participării echipelor unidisciplinare arată că s-a ajuns la o limitare a posibilităților de inovare-dezvoltare, motiv pentru care la nivelul UE se pune un accent deosebit pe cooperarea echipelor de cercetători din diverse domenii, sau formarea de echipe

multidisciplinare; consider că multidisciplinaritatea echipelor de cercetare va constitui cheia succesului viitoarelor proiecte de cercetare;

- temele tezelor de doctorat vor trebui să aibă aplicabilitate practică, altfel spus, să creeze valoare;

- dobândirea de noi competențe (cunoștințe, aptitudini) atât în ce privește activitatea de cercetare cât și cea didactică; autorul intenționează să participe la stagii de instruire pentru dobândirea de noi abilități în folosirea programelor de proiectare de tip CAD și al celor de simulare; apelarea tot mai frecventă la programele de simulare direct în browser, care încep să câștige teren în defavoarea celor tradiționale;

- îmbunătățirea cunoștințelor în domeniul modelării matematice va asigura repetabilitatea, precizia, verificarea și predictibilitatea rezultatelor obținute în urma cercetărilor; în acest fel, rezultatele obținute vor avea relevanța așteptată;

- participarea la dotarea cu noi echipamente a bazei de cercetare, disponibilă în cadrul centrului de cercetare „Eco-tehnologii avansate de sudare” din cadrul Institutului de Cercetare-Dezvoltare al Universității Transilvania din Brașov;

- valorificarea rezultatelor cercetărilor prin publicarea de articole științifice în publicații indexate ISI și BDI;

- stagiul de cercetare efectuat în Spania în cadrul proiectului 7th Frame Work Programme of the EU – The European Solar Research Infrastructure for Concentrated Solar Power, va permite creșterea vizibilității și reputației de cercetător, atât la nivel național cât și internațional;

- menținerea legăturii cu grupurile de cercetare din străinătate cu care autorul deja a colaborat (Spania, Portugalia, Turcia);

- extinderea colaborării și cu alte grupuri de cercetare din străinătate, ținând cont că propunerilor de noi proiecte cu finanțare de la UE implică participarea a cel puțin trei entități din două țări diferite;

- studierea cercetărilor și realizărilor altor colective de cercetare, pentru a fi informat și documentat în privința preocupărilor existente în domeniul de interes și pentru a avea elemente de referință în activitatea de cercetare;

- continuarea participărilor la conferințele internaționale în scopul menținerii conexiunilor cu cercetătorii și specialiștii din alte universități sau institute de cercetare;

- stabilirea temelor de cercetare în concordanță cu preocupările anterioare dar și cu relevanță pentru mediul industrial;

- extinderea echipei de cercetători prin includerea tinerilor care au chemare pentru această activitate.

Activitatea de producție și cea de cercetare sunt pilonii pe care se sprijină orice carieră didactică din învățământul superior și care permite modernizarea și actualizarea cursurilor universitare. Planul de evoluție și dezvoltare a carierei din punct de vedere didactic cuprinde:

- actualizarea, îmbunătățirea și modernizarea suporturilor de curs destinate studenților, pentru disciplinele la care autorul este titular;
- în cazul lucrărilor de laborator, autorul va crește atractivitatea acestora pentru a capta interesul și atenția studenților pe tot parcursul orelor de laborator;
- participarea prin programul ERASMUS+ la stagii de predare la universități din străinătate pentru realizarea schimburilor de experiență legate de organizarea activității de predare;
- creșterea ponderii lucrărilor de licență și disertație care se vor finaliza cu realizări practice, cunoscând că în România, există un dezechilibru între volumul de cunoștințe teoretice și cel de aptitudini practice pe care studenții le asimilează, în perioada studiilor universitare;
- continuarea activității de publicare a unor capitole de monografii în edituri internaționale, activitate demarată din anul 2014;
- implicarea în continuare în coordonarea centrului de instruire Solid Edge din cadrul departamentului IMS, prin intermediul căruia studenții sunt instruiți pe cele mai noi programe de proiectare CAD, furnizate cu licențe academice de Siemens PLM Software;
- înglobarea cunoștințelor și rezultatelor dobândite în timpul cercetărilor, în edițiile revizuite ale cursurilor; prin aceasta se estompează decalajul dintre tehnologiile întâlnite în mediul industrial și cele care le sunt prezentate studenților.

Competitivitatea internațională a cercetării românești și dezvoltarea de produse inovatoare realizate în țară vor depinde de finanțările acordate cercetării. Este recunoscut faptul că, multe dintre întreprinderile existente oricât de bine intenționate ar fi și de doritoare în modernizarea și actualizarea produsele din portofoliu, conștientizează că nu vor putea susține singure cercetarea de care au nevoie, în atingerea acestui deziderat. Din acest motiv, centrele de cercetare care dispun de dotare tehnică adecvată și de capital uman, vor fi din ce în ce mai căutate de agenții economici pentru cooperare în activitatea de cercetare.

(B-iii) Bibliografie

- 1 Adrian M., Badea S. *Bazele proceselor de deformare plastică*, Editura Tehnică, București, 1983
- 2 Băduț M, Iosip M. *Bazele proiectării cu Solid Edge*, Editura Albastră, Cluj-Napoca, 2003
- 3 Berkowski L. *The influence of warm plastic deformation on the structure and on the applicable properties of high-speed steel*, Journal of Materials Processing Technology, Volume 60, Issues 1-4, 637-641, Proceedings of the 6th International Conference on Metal Forming, doi:10.1016/0924-0136(96)02398-9
- 4 Catana D. *Influence of the heat treatments on the wear-resistant steels properties*, Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Vol. 8 (57), No. 2, pp. 87-92, 2015, Series I, Engineering Sciences, ISSN 2065-2119 (print), ISSN 2065-2127 (CD-ROM)
- 5 Catana D. *Thermomechanical treatment influence on the high-speed steel hardness and wear*, Universal Journal of Materials Science, Vol. 3 (3), pp. 44-48, 2015, ISSN 2331-6691 print, ISSN 2331-6705 online, DOI: 10.13189/ujms.2015.030302
- 6 Catana D. *Plastic deformation speed influence on HS2-9-1-8 high-speed steel plastic deformation strength*, Metalurgia International 2012, 17, pp. 21-24, ISSN 1582-2214
- 7 Catana D. *Dependence between deformation speeds and high speed steel plastic deformation strength*, Metalurgia Internațional Vol. XVI, no. 3, pp. 68-70, 2011, ISSN 1582 –2214
- 8 Catana D. *High speed steel HS 2-9-1-8 (W 1.3247) plastic deformation strength*, Metalurgia International Vol. XVI, no. 2, pp. 80-83, 2011, ISSN 1582-2214
- 9 Catana D., Catana D.A. *Thermo-mechanic treatment influence on microstructure and mechanical properties of high-speed steel*, Metalurgia International, Volume XV, No. 9, pp. 44-46, 2010, ISSN 1582 – 2214
- 10 Catana D. *Durability and wear of cutting tools with detachable plastic deformed teeth*, The International Conference on Design, Technologies & Management In Manufacturing, Iasi, 14-16th May, 2010, pp. 73-78, Bulletin of the Polytechnic Institute of Iasi, Tomul LVI (LX), Fasc. 2a, Published by the “Gheorghe Asachi” University of Iasi, Editor Cozminca Irina, ISSN 1011-2855
- 11 Catana D., Catana D-A. *Temperature and speed influence on plastic deformation strength of high speed steel*, Annals of DAAAM for 2009 & Proceedings of the 20th International DAAAM Symposium “Intelligent Manufacturing & Automation: Theory, Practice & Education” 25-28th November, Vienna, Austria – published by DAAAM International Vienna – editor B. Katalinic, pp. 211-212, ISSN 1726-9679, ISBN 978-3-901509-70-4

- 12 Catana D. *Procesarea materialelor avansate*, Editura Lux Libris, Brasov, 2004
- 13 Catana D., Eftimie L. *Study of plastic deformation process with the model help*, Annals of DAAAM 1998 Proceedings of 9th International DAAAM Symposium 1998, pp. 103-104, Vienna, ISBN 3-901509-08-9
- 14 Catana, D. *Contribuții la obținerea sculelor așchietoare prin deformare plastică*, Universitatea Transilvania din Brasov, Brasov, 1997
- 15 Cheșa I. *Alegerea și utilizarea oțelurilor*, Editura Tehnică, București, 1984
- 16 Crețu N., Niță G. *A simplified modal analysis based on properties of the transfer matrix*, Mechanics of Materials 60, pp. 121-128
- 17 Cretu N., Niță G., Ioan Pop M. *Wave transmission approach on modal analysis for embedded mechanical system*, Journal of Sound and Vibration, 322 (20), pp. 4940-4947
- 18 Crawford Jr. F. *Unde – Curs de Fizica Berkeley*, Editura Didactică și Pedagogică, Bucuresti, 1983
- 19 Da Silva F. J., Franco S. D., Machado A. R., Ezugwu E. O., Souza Jr., A. M. *Performance of cryogenically treated HSS tools*, Wear, Vol. 261, Issues 5-6, 2006, September, pp. 674-685, doi: 10.1016/j.wear.2006.01.017
- 20 Dobrzanski L.A. *High temperature thermo-mechanical treatment of 12-0-2-C type high-speed steel*, Journal of Materials Processing Technology, Volume 38, Issues 1-2, 123-133, doi:10.1016/0924-0136(93)90191-8
- 21 Drăgan I., ș. a. *Tehnologia deformărilor plastice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979
- 22 Dulamiță T. *Oțeluri de scule*, Editura Tehnică, București, 1990
- 23 Dulamiță T. *Tratamente termice și termochimice*, Editura Tehnică, București, 1990
- 24 Edmonds D. V. *Quenching and partitioning martensite-A novel steel heat treatment*, Material Science and Engineering A, vol. 438-440, 25 November, 2006, pp. 25-34, doi 10.1016/j.msea.2006.02.133
- 25 Klocke F., Arntz K., Cabral G. F., Stolorz M., Busch M. *Characterization of tools wear in high-speed milling of hardened powder metallurgical steels*, Advance in Tribology, Vol. 2011 (2011), doi: 10.1155/2011/906481
- 26 Luca M. A., Machedon Pisu T. *Vibration influence on polycrystalline structure and internal friction of the material deposited by welding*, Journal of Optoelectronics and Advances Material, Vol. 15, No. 7-8, 2013, pp. 655-661
- 27 Mendes de Aguiar M., Diniz A. E., Pederiva R. *Correlating surface roughness, tool wear and tool vibration in the milling process of hardened steel using long slender tools*,

- International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 68, May, 2013, pp. 1-10, doi: 10.1016/j.ijmachtools. 2013.01.002
- 28 Micu D.A. *Contribuții și cercetări privind aplicarea tratamentelor termomecanice la oțelurile de scule și implicațiile lor asupra securității și sănătății în munca a operatorului*, Teză de doctorat, Universitatea Transilvania din Brasov, Brasov, 2010
- 29 Mogan Gh.L. *Metoda elementelor finite în inginerie*, Editura Lux Libris, Brașov, 1997
- 30 Muscă G. *Proiectarea asistată folosind Solid Edge*, Editura Junimea, Iași, 2006
- 31 Popescu N., Gheorghe C., Popescu O. *Tratamente termice neconvenționale*, Editura Tehnică, București, 1990
- 32 Popescu R. *Contribuții teoretice și experimentale asupra tratamentelor termice de suprafață utilizând surse de energie concentrate cu aplicații la unele aliaje de fier-carbon*, Teză de doctorat, Universitatea Transilvania din Brasov, Brasov, 1994
- 33 Tokarev A. O. *Treatment of wear-resistance metallic coatings with highly concentrated energy sources*, Metal Science and Heat Treatment, 01/2001, 43 (1), pp. 61-64, 2001, doi 10.1023/A:1010478408048
- 34 Samotogin S.S. *Combined induction-plasma hardening of tool steels*, Welding International, vol. 14, Issue 12, 2000, DOI 10.1080/09507110009549307
- 35 Sri Siva R., Arockia Jaswin M., Mohan Lal D. *Enhancing the wear resistance of 100Cr6 bearing steel using cryogenic treatment*, Tribology Transaction, 2012, Vol. 55, No. 3, pp. 387-393
- 36 Ștețiu C., Oprean C-tin. *Măsurări geometrice în construcția de mașini*, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1988
- 37 Wang Q., Huang C., Zhang L. *Microstructure and tribological properties of plasma nitriding cast CoCrMo alloy*, Journal of Materials Science & Technology, Vol. 28, No. 1, 60-66, 2012
- 38 *** <http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-13612>
- 39 *** <http://www.duratek.ro>
- 40 *** <http://www.ecta-tools.org>
- 41 *** <http://www.platit.com>
- 42 *** <http://www.psa.org>
- 43 *** <http://www.rol.ro>
- 44 *** <http://www.statista.com>
- 45 *** <http://www.strategyr.com/MarketResearch>