VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS FAKULTETAS

MAŠINŲ GAMYBOS KATEDRA

Viktorija Januševskaja

SAUSO METALO PJOVIMO PROCESO EFEKTYVUMO TYRIMAS APLINKOSAUGINIU POŽIŪRIU
EFFECTIVENESS OF DRY METAL CUTTING WITH ENVIRONMENTAL ASPECT

Baigiamasis magistro darbas

Mechanikos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H33001

Aplinkos apsaugos įrenginių projektavimo ir gamybos specializacija

Mechanikos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2012

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS FAKULTETAS

MAŠINŲ GAMYBOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

_____
(Parašas)

prof. dr. Mindaugas Jurevičius
(Vardas, pavardė)

_____
(Data)

Viktorija Januševskaja

SAUSO METALO PJOVIMO PROCESO EFEKTYVUMO TYRIMAS APLINKOSAUGINIU POŽIŪRIU
EFFECTIVENESS OF DRY METAL CUTTING WITH ENVIRONMENTAL ASPECT

Baigiamasis magistro darbas

Mechanikos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H33001

Aplinkos apsaugos įrenginių projektavimo ir gamybos specializacija

Mechanikos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas doc. dr. Vytautas Striška_____ _____ _____
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Lietuvių kalbos konsultantas lekt. A. Petrėtienė_____ _____ _____
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Vilnius, 2012

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Viktorija Januševskaja

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Mechanikos fakultetas

(Fakultetas)

Mechanikos inžinerijos studijų programa, AIFm-10

(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2012 m. gegužės d.

(Data)

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas (projektas) tema sauso metalo pjovimo proceso efektyvumo tyrimas aplinkosauginiu požiūriu

patvirtintas 20 12 m. Lapkričio 25 d. dekano potvarkiu Nr. 306me, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe (projekte) pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Parenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą (projektą), mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: doc. dr. Vytautas Striška

Mano darbo (projekto) vadovas doc. dr. Vytautas Striška

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą (projektą) nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).

VIKTORIJA JANUŠEVSKAJA

(Parašas) (Vardas ir pavardė)

ANOTACIJA

Baigiamajame darbe tirtas metalo pjovimo procesas be tepimo – aušinimo skysčio, siekiant sumažinti neigiamą poveikį aplinkai ir žmogui. Tikslas pasiektas, atlikus literatūros apžvalgą, sukūrus darbo metodiką, matavimo metodiką, stendą bei atlikus eksperimentą.

Darbą sudaro: įvadas, greitaeigio pjovimo tyrimas, tepimo – aušinimo skysčio savybių tyrimas, TAS svarbos mechaniniam metalo pjovimui ir kenksmingumo aplinkosaugai tyrimas, metalo pjovimo būdų be TAS tyrimas, eksperimento rezultatų aptarimas , išvados, literatūros šaltiniai

Eksperimentinėje dalyje aprašomas eksperimentinis stendas, jo veikimo principas, naudotos matavimo priemonės, pateikta eksperimento atlikimo metodika. Darbo pabaigoje analizuojami gauti rezultatai pateikiamos darbo išvados.

Darbo apimtis – 52 psl. teksto be priedų, 28 iliustracijos, 8 lentelės, 15 bibliografinių šaltinių.

Atskirai pridedami darbo priedai.

Prasminiai žodžiai: tepimo ir aušinimo skystis, sausas metalo pjovimo procesas, metalo pjovimas PCBN plokštelėmis, aplinkosauga.

ANNOTATION

In the master's thesis was investigated the metal cutting process without lubrication - cooling liquid to reduce the negative impact on the environment and humans. The aim was achieved by the examination of literature, the development of work methods, measurement methods, and the stand after the experiment.

Final work consists of: introduction, high-speed cutting test, lubricating - cooling liquid properties investigation, the importance of mechanical metal cutting and harmful environmental study of metal cutting methods without coolants, study experimental discussion of the results, conclusions, references

The experimental part describes the experimental stand, its operating principle, the instrument used, the performance of the experimental methodology. At the end of analysis results are provided at the conclusion.

Thesis consist of: 52 p. text without appendixes, 28 pictures, 8 tables, 15 bibliographical entries.

Appendixes included

Keywords: lubricating and cooling liquid, dry metal cutting process, PCBN cutting tools, environment protection.

TURINYS

PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS 7

LENTELIŲ SĄRAŠAS 9

SANTRUPOS 10

ĮVADAS 11

1. PJOVIMO TEORIJA 13
   1.1 Bendros žinios 13
   1.2 Tekinimas 15
   1.3 Pjovimo įrankių medžiagos 16
2. PLIENŲ PJOVIMAS DIDELIAIS GREIČIAS 19
   2.1 Spartaus apdirbimo samprata 19
   2.2 Spartaus apdirbimo proceso ypatumai 20
3. AUŠINIMO SKYSTIS 24
4. SAUSI METALO PJOVIMO BŪDAI 28
   4.1 Sauso metalo pjovimo būdas aušinant įrankį suslėgtu oru 28
   4.2 Įrankiai sausam apdirbimui 31
   4.3 Sausas metalo pjovimo būdas naudojant įrankius su keičiamomis plokštelėmis 34
5. TYRIAMOJI DALIS 38
   5.1 tyrimo tikslas 38
   5.2 Tyrimo objektas 40
   5.3 Tyrimo eiga 43
   5.4 Rezultatų apdorojimas 43
   5.5 Tyrimo duomenų statistinis apdorojimas 45

IŠVADOS 50

LITERATŪRA 51

PRIEDAI 52

PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS

1 pav. Metalo pjovimo procesas šlifavimu: 1 - ruošinys, 2 – disko rišamoji medžiaga, 3 – abrazyvas 13

2 pav. Metalo pjovimas nuimant drožlę 14

3 pav. Apdirbimas gręžimu, sriegimu, gilinimu ir plėtimu 14

4 pav. a) tekinimo peilio elementai; b) pagrindiniai apdirbamosios detalės paviršiai ir plokštumos 15

5 pav. Temperatūra išreikšta pjovimo greičio funkcija (Pasko, 2002)..... 20

6 pav. Pjovimo briaunos temperatūros priklausomybė nuo pjovimo neaušinant greičio: ruošinio medžiaga – XC45; įrankis – P20/25; pjovimo sąlygos: sz = 0, 31 mm/aps.; hm = 0,05 mm; tz = 1,5 mm; tp = 5 mm. 21

7 pav. Patvarumas (T), debitas (Q) ir kraterinis dilimas (K), kaip pjovimo greičio funkcijos 22

8 pav. Pjovimo jėgos priklausomybė nuo greičio: apdirbama medžiaga – Ck 45 (XC 45); Įrankis – P20/25; pjovimo sąlygos: sz = 0,31 mm/aps.; tc = 0,5 mm; tp = 5 mm, pjaunama neaušinant..... 23

9 pav. Gamybos išlaidų pasiskirstymas..... 25

10 pav. Aušinimo skysčio kainos sandara..... 26

11 pav. Sūkurinis vamzdis naudojimas aušinti įrankį a) bendras vaizdas b) schema 28

12 pav. 1 – sūkurinis vamzdis, 2 – tangentinis įėjimas, 3 – sūkurio generatorius, 4 – diafragma, 5 – droselis 29

13 pav. Įrankio vidutinė temperatūra aušinant įrankį sūkuriniu vamzdžiu keičiant pjovimo režimus (pjovimo greitį: m/s; įrankio pastūmą: mm/aps.) (Jie Liu, 2006). 30

14 pav. Paviršiaus šiurkštumui įvertini skirtas grafikas, kai pjovimo greitis 252 m/min. 32

15 pav. Šiurkštumui įvertini skirtas grafikas, kai pjovimo greitis 306 m/min. 33

16 pav. Paviršiaus temperatūrai įvertinti skirtas grafikas, kai pjovimo greitis 252 m/min. 33

17 pav. Paviršiaus temperatūrai įvertinti skirtas grafikas, kai pjovimo greitis 306 m/min. (Galanis, 2008)..... 34

18 pav. CBN grūdeliai..... 35

19 pav. Paviršiaus šiurkštumo grafikas – a) CBN-SCM, b)PCBN-SS 37

20 pav. Ruošinys 38

21 pav. Tyrimo stendo, tekinimu su TAS, schema: 1 – apdirbamasis ruošinys, 2- pjovimo įrankis,

22 pav. Tyrimo stendo, tekinimu be TAS, schema: 1 – apdirbamasis ruošinys, 2- pjovimo įrankis, 3-nuotolinis termometras. 39

23 pav. Tekinimo staklės 1IS611B 40

24 pav. Termometras 42

25 pav. Paviršiaus šiurkštumo matavimo prietaisas 42

26 pav. Paviršiaus kietumo matavimo prietaisas 42

27 pav. Paviršiaus šiurkštumas 48

28 pav. Įrankio ir apdirbamo paviršiaus kontakto zonos temperatūra 48

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Metalo tekinimo (naudojant TAS) metu sunaudojamų tepalų, emulsijos ir vandens garų kiekis (Тищенко, 1991) 26

2 lentelė. Pjovimo režimai 40

3 lentelė. Režimai: greitis – 900m/min.; Pastūma – 0.55mm/aps.; Gylis – 0.75mm 43

4 lentelė. Režimai: greitis –1200 m/min.; Pastūma – 0.3mm/aps.; Gylis – 0.5mm 44

5 lentelė. Režimai: greitis – 1500m/min.; Pastūma – 0.2 mm/aps.; Gylis – 0.25mm 44

6 lentelė. Susisteminti rezultatai 46

7 lentelė. Svarbiausi statistiniai rodikliai paviršiaus šiurkštumui 46

8 lentelė . Svarbiausi statistiniai rodikliai įrankio ir ruošinio kontakto zonos temperatūrai 47

SANTRUPOS

TAS – tepimo-aušinimo skystis

HSM – greitaeigis pjovimas

PCBN – pilikarbidinis kubinis boro nitridas

CBN – kubinis boro nitridas

PCDD – polichlorinti dibenzo dioksinai

ĮVADAS

Metalo apdirbimo įmonių praktika vis dar grindžiama tradicine kainos/pelno modeliu, kuriuo siekiama užtikrinti aukštos kokybės produktą už nedidelę kainą ir gauti už tai didelį pelną. Pramoninkams aplinkosauginiai reikalavimai dažniausiai asocijuojasi su apribojimais ir papildomomis išlaidomis. Bet šiandiena susiduriant su vis griežtesniais reikalavimais gamybos sąnaudų, energijos sunaudojimo, atliekų tvarkymo, poveikio aplinkai, darbo saugos ir asmens sveikatos srityse, pradedama vis rimčiau žiūrėti į „žaliąjį metalo apdirbimą“. Apdirbimas nenaudojant tepimo - aušinimo skysčio (sausas arba „žaliasis“ apdirbimas) tampa vis populiaresnis. Tepimo - aušinimo skysčio (TAS) naudojimas metalo apdirbimo metu turi ne tik savų privalumų, bet ir trūkumų, kurie pradeda nusverti gerąsias savybes, todėl pradedama ieškoti alternatyvų.

Aušinimo skysčio teigiamos savybės yra visiem puikiai žinomos:

- Įrankis gali dirbti esant dideliems greičiams, net kai temperatūra pasieka 1000 laipsnių.
- Pašalinamos metalo drožlės nuo įrankio, apdirbamos medžiagos bei įrangos.
- Apsaugo įrankį nuo dilimo.
- Apsaugo įrangą, įrankį ir apdirbamą detalę nuo korozijos.
- Lengvina metalo apdirbimo procesą.

Neigiamos aušinimo skysčio savybės:

- Naudotas aušinimo skystis yra puiki terpė veistis bakterijom, mielėm ir grybeliams.
- Aušinimo skysčio sudėtyje yra etilenglikolio, kuris yra labai pavojingas žmogaus bei gyvūnų sveikatai.
- Aušinimo skysčio utilizavimas yra brangus, pavojingas ir sudėtingas procesas.
- Netinkamai utilizuotas aušinimo skystis yra kenksmingas aplinkai, žmogui ir gyvūnams.

Kiekvieną dieną vis labiau suprantama, kad aušinimo – tepimo skysčių daromas neigiamas poveikis aplinkosauginiu, ekonominiu ir žmonių sveikatos požiūriu nebeatperka geruųjų aušinimo skysčio savybių. Pagal galiojančias skaičiavimo formas, buvo paskaičiuota, kad vienam gaminiui apdirbti vidutiniškai reikia tiekti 20 l/min. aušinimo skysčio (Avallone, 2009). O tai sudaro 16-20% įmonės gamybinių išlaidų. Aušinimo skysčio utilizavimui reikalinga brangi valymo įranga, papildomi darbuotojai, o pats valymo procesas yra pavojingas. Taigi aušinimo skysčio naudojimas turėtų būti atsisakomas ne tik ekologiniu bet ir ekonominiu požiūriu.

Šio darbo tikslas ištirti metalo apdirbimo procesą nenaudojant tepimo - aušinimo skysčio, įvertinti perspektyvas ir įvertinti aplinkosauginiu požiūriu.

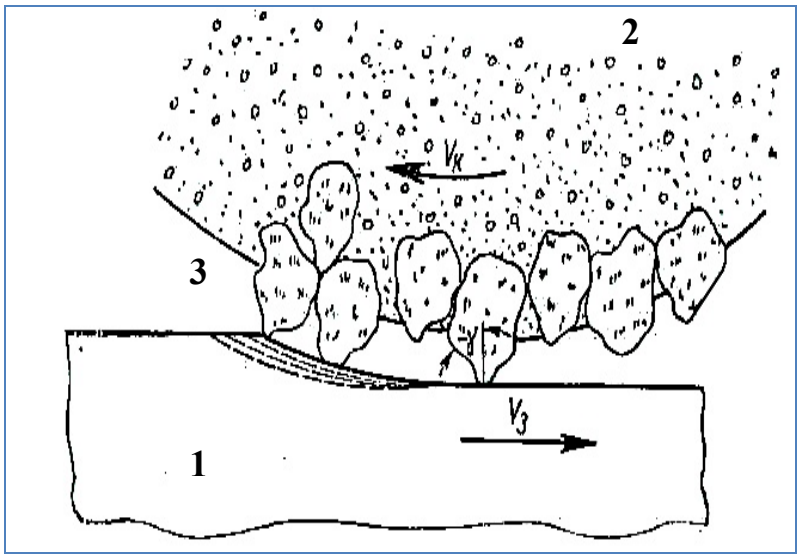
Darbo aktualumas yra sumažinti tepimo – aušinimo skysčio naudojimą metalo pjovimo procesuose, ir taip sumažinti TAS daromą poveikį aplinkai.

1. PJOVIMO TEORIJA

1.1 Bendros žinios

Metalo pjovimo procesas tai kai nuo ruošinio, mechaniniu būdu specialaus įrankio pagalba, nupjaunamas paviršius (drožlė) ir suteikiama detalei reikiama forma, reikiami matmenys ir gaunamas tam tikras kokybės paviršius. Pagrindiniai mechaniniai metalo pjovimo metodai yra šie:

- Gręžimas
- Drožimas
- Pratraukimas
- Gilinimas ir plėtimas
- Frezavimas
- Tekinimas
- Šlifavimas.

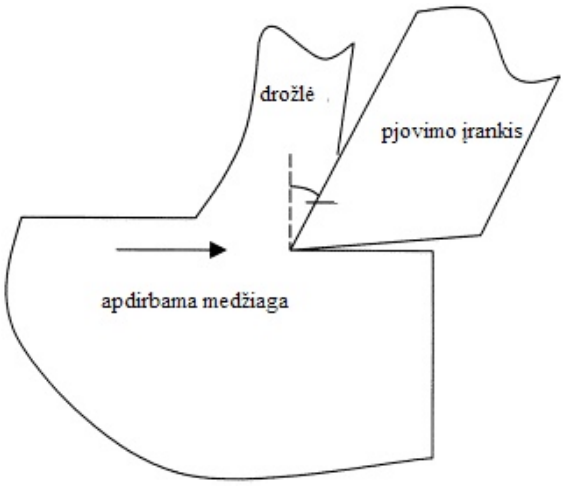


1 pav. Metalo pjovimo procesas šlifavimu: 1 - ruošinys, 2 – disko rišamoji medžiaga, 3 – abrazyvas

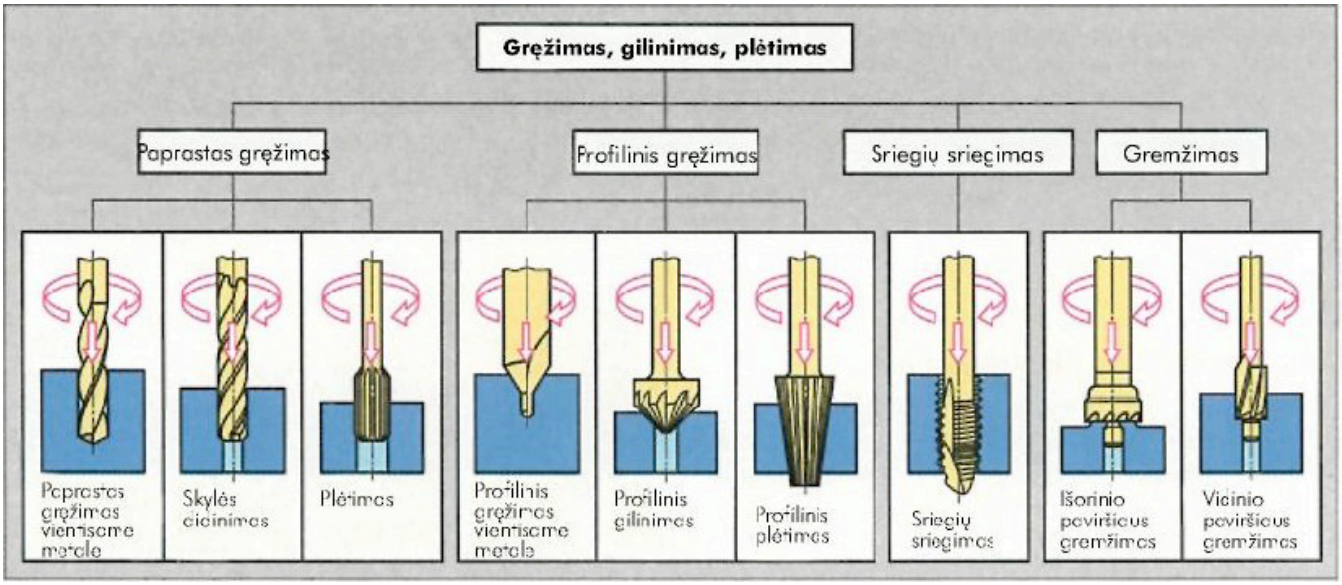
Medžiagų mechaninis apdirbimas abrazyvinėmis medžiagomis vadinamas šlifavimu (1 pav.). Šlifavimas yra daug sudėtingesnis už tekinimą, gręžimą, frezavimą ir kitus pjovimo būdus. Abrazyviniai grūdeliai pjauna metalą sunkiomis sąlygomis, nes daugumos jų pjovimo briaunelės yra suapvalintos, netaisyklingos formos, su neigiamais priekiniais kampais. Dėl netobulos ir atsitiktinės pjaunančiųjų grūdelių formos negalima reguliuoti pjovimo proceso, tuo tarpu, peilių, frezų ir kitų pjovimo įrankių pjaunančiąją dalį galima padaryti reikiamos formos ir reguliuoti pjovimo procesą.

Šlifavimas labai plačiai taikomos metalui ir kitoms konstrukcinėms medžiagoms apdirbti, kai reikia gauti didelio tikslumo (iki 5-ojo kvaliteto) ir mažo paviršiaus šiurkštumo (iki Ra 0,040μm) detales.

Metalo pjovimai nuimant drožlę (2 pav.), frezuojant, gręžiant, sriegiant, gilinant , tekinant ir pan. yra tarpusavyje panašūs.



2 pav. Metalo pjovimas nuimant drožlę



3 pav. Apdirbimas gręžimu, sriegimu, gilinimu ir plėtimu

Mašinų ir prietaisų gamybos bei remonto cechuose maždaug trečdalį metalo pjovimo staklių sudaro įvairios tekinimo stakles.

Tekinimas yra vienas iš populiariausių metalo apdirbimo būdų. Tekinimo staklėmis galima atlikti daug įvairių operacijų dėl to tyrimui atlikti pasirinktas metalo apdirbimas tekinimo staklėmis.

1.2 Tekinimas

Tekinimo staklėmis galima tekinti išorinius paviršius: cilindrinius, kūginius, rutulinius, plokščius (galinius), sraigtinius ir įvairius fasoninius (sukinių). Be to jomis galima gręžti, gilinti ir plėsti, o panaudojus specialius įtaisus, - frezuoti, įpjauti krumplius ir t.t.

Tekinimo peilis (4 pav. a)) sudarytas iš dviejų dalių: galvutės, t.y. darbinės dalies, ir koto.

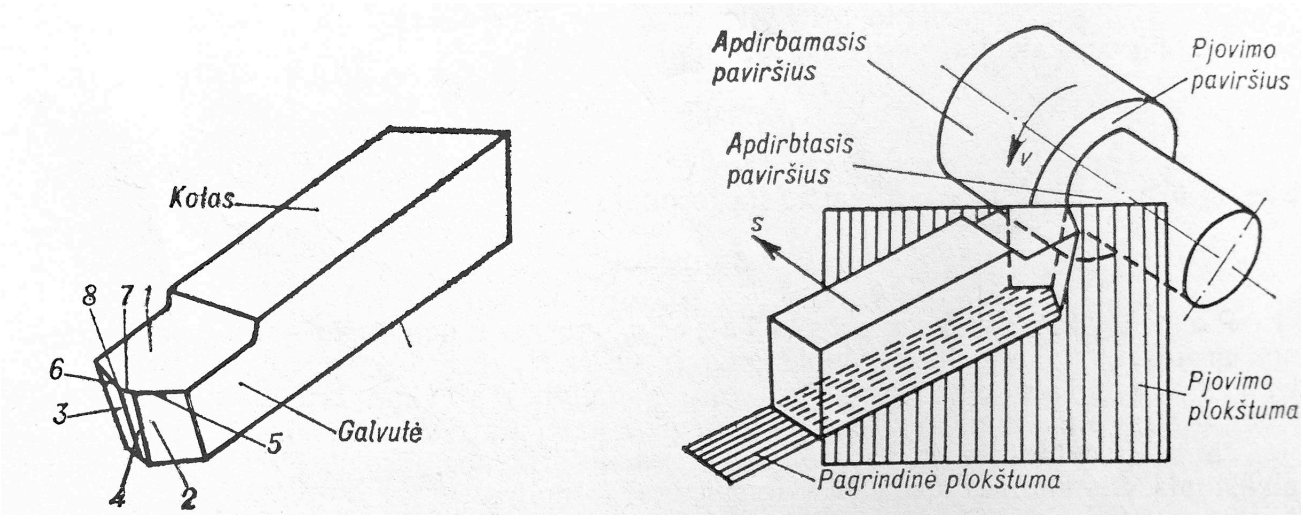
Peilio galvutėje yra šie paviršiai: priekinis paviršius 1, kuriuo slysta drožlė, ir užpakaliniai paviršiai, nukreipti į apdirbamąjį ruošinį. Užpakaliniai paviršiai yra du arba trys: pagrindinis 2, pagalbinis 3 ir pereinamasis 4. Šie paviršiai dažniausiai būna plokšti.

Peilio galvutės paviršių susikirtimai vadinami pjovimo briaunomis (ašmenimis): pagrindinė pjovimo briauna 5 (priekinio ir pagrindinio užpakalinio paviršiaus susikirtimo linija), pagalbinė briauna 6 (priekinio ir pagalbinio užpakalinio paviršiaus susikirtimas), pereinamąja pjovimo briauna 6 (priekinio ir pagalbinio užpakalinio paviršiaus susikirtimo linija; jos gali ir nebūti).

Peilio viršūnė 8 – tai pagrindinės ir pagalbinės arba pereinamosios pjovimo briaunos susikirtimo taškas.

Apdirbamoje detalėje skiriami trys paviršiai (4 pav. b)): a) apdirbamasis paviršius – tai paviršius, kurį reikia apdirbti; b) apdirbtasis paviršius – tai paviršius, kuris atsiranda, nupjovus drožlę; c) pjovimo paviršius – tai paviršius, kurį sudaro pjovimo briaunos. Jis jungia apdirbamąjį ir apdirbtąjį paviršių.

a) b)



4 pav. a) tekinimo peilio elementai; b) pagrindiniai apdirbamosios detalės paviršiai ir plokštumos

Pjovimo režimai. Pagrindiniai pjovimo režimo elementai – tai pjovimo gylis, pastūma, pjovimo greitis ir galingumas. Geriausiai parinktas pjovimo režimas bus tas, kuriuo staklės dirbs našiausiai ir ekonomiškiausiai, o apdirbtojo paviršiaus šiurkštumas atitiks reikalavimus.

Eksperimentiškai nustatyta, kad pjaunant peilis deformuojasi ir sukietina ne tik drožlę, bet ir apdirbtojo paviršiaus sluoksnį iki ~1mm gylio.

Paviršiaus sukietinimas tekinant. Apdirbtojo paviršiaus sukietinimas ir sukietinimo gylis priklauso nuo daugelio veiksnių. Paviršiaus kietumas didėja ir storėja sukietintas sluoksnis, didėjant pjovimo pastūmai ir gyliui, peilio ašmenų apvalinimo spinduliui. Mažiau sukietinama, didinant pjovimo greitį. Sukietinimas labai priklauso nuo peilio kampų, taip pat nuo metalo fizinių ir mechaninių savybių (Stasiūnas, 1979).

1.3 Pjovimo įrankių medžiagos

Įrankiniai lydiniai skirti štampams, pjovimo, matavimo ir kitokiems įrankiams gaminti. Skiriamos trys pagrindinės įrankinių medžiagų grupės: įrankiniai plienai, kietlydiniai ir nemetalinės medžiagos (natūralūs ir sintetiniai deimantai, elboras ir kt.). Daugiausia įrankių gaminama iš įrankinių plienų.

Daugeliui metalo apdorojimo įrankių labai svarbus reikalavimas yra šiluminis atsparumas – savybė neprarasti kietumo (neatsileisti) įkaitus. Pagal atsparumą šilumos poveikiui skiriamos tokios įrankinių medžiagų grupės:

- Angliniai ir mažai legiruoti įrankiniai plienai (iki 200 °C)
- Daug legiruoti greitapjūviai plienai (iki 600-640 °C)
- Kietlydiniai (iki 800-1000 0C)
- Superkietos nemetalinės medžiagos (iki 1200 °C).

Metalo pjovimo įrankiai turi būti kieti (60-65 HRC), atsparūs dilimui ir šilumos poveikiui. Pjovimo įrankiai gaminami iš metalinių ir nemetalinių medžiagų. Daugiausia pjovimo įrankių gaminama iš įrankinių plienų.

Angliniai įrankiniai plienai. Įrankiai, veikiami smūginių apkrovų (šaltkalviški, kalviški, medžio apdorojimo) atleidžiami 275-325 °C temperatūroje trostito struktūros susidarymui (48-55 HRC). Anglinių įrankinių plienų kritinis martensitinis skersmuo neviršija 15 mm, todėl jie labiausiai tinka smulkiems (iki Ø25 mm) įrankiams gaminti. Įrankių šerdis dažniausiai neužsigrūdina ir lieka tąsi. Dėl to įrankiai būna atsparesni smūgiams bei vibracijoms. Užgrūdintų anglinių įrankinių plienų kietumas sparčiai mažėja, jiems įkaitus virš 200 °C, dėl to jie tinka tik tokiems įrankiams, kurių pjovimo sąlygos lengvos: mažas pjovimo greitis, maža pastūma, apdorojamas minkštas metalas arba medis ir pan.

Padidinto įgrūdinamumo įrankiniai plienai. Pjovimo įrankių plienai turi 0,7-1,3 % anglies ir iki 5 % legiruojančiųjų elementų. Dažniausiai legiruojami Cr, Mn, Si,V, W. Legiruojantys elementai

sumažina kritinį aušinimo greitį. Dėl to padidėja plienų įgrūdinamumas, sumažėja grūdinimo deformacijos. Be to, silicis padidina šiluminį atsparumą, volframas - užgrūdinamumą ir pasipriešinimą dilimui. Atkaitinti šie plienai turi grūdelinio perlito struktūrą. Ją sudaro legiruotas feritas ir legiruoti karbidai (M3C). Įrankiai iš šių plienų grūdinami alyvoje arba karštose terpėse (laiptinis grūdinimas). Dėl to sumažėja įrankių deformacijos. Užgrūdintų plienų struktūrą sudaro martensitas, legiruoti M3C karbidai ir 15-20 % liekamojo austenito. Įrankiai atleidžiami 140-160 °C temperatūroje. Termiškai apdoroti turi 62-69 HRC kietumą ir yra atsparesni dilimui negu angliniai plienai.

Greitapjūviai plienai. šie plienai skirti gaminti pjovimo įrankiams, dirbantiems intensyviais pjovimo režimais (didelis pjovimo greitis, didelė pastūma, kieti metalai). Tokiems įrankiams ypatingą reikšmę įgyja šiluminis atsparumas. šiluminiam atsparumui padidinti greitapjūviai plienai gausiai legiruojami W, Mo, Co, Cr, V. Labiausiai šiluminį atsparumą didina volframas, molibdenas ir kobaltas.

Visos aukščiau išvardintos medžiagos naudojamos metalo apdirbimui su tepimo – aušinimo skysčiu.

Kietlydiniai ir nemetalinės pjovimo įrankių medžiagos. Metalo-keraminiai kietlydiniai gaunami presuojant ir sukepinant volframo, titano, tantalo karbidų miltelius. Karbidų milteliai maišomi su kobalto milteliais (rišančioji medžiaga), mišinys supresuojamas ir sukepinamas 1400- 1550 °C temperatūroje. Sukepinimo metu kobaltas lydosi, ištirpina dalį karbidų ir taip susidaro monolitinis lydinys, kurio sudėtyje yra 80-95 % karbidų. Didėjant metalo-keraminiuose kietlydiniuose kobalto kiekiui, mažėja jų kietumas, tačiau didėja stiprumas ir tąsumas. Metalokeraminių lydinių kietumas 85-92 HRA (74-76 HRC). Šiluminis atsparumas - iki 800-1000 °C. Jie gaminami kaip plokštelės, kurios tvirtinamos prie peilių, grąžtų, frezų ir kitų pjovimo įrankių darbinės dalies.

Šios medžiagos yra tinkamos gaminti įrankiams naudojimui be TAS.

Pjovimo įrankiai iš deimanto. Jo kietumas (100000 HV) 6 kartus didesnis negu volframo karbido (17000HV) ir apie 8 kartus už greitapjūvio plieno (13000 HV) kietumą. Natūralūs monokristaliniai deimantai labai brangūs, todėl įrankių pjovimo briaunos dažniau daromos iš sintetinių polikristalinių deimantų. Deimantų šiluminis atsparumas nelabai didelis (iki 800 °C). Aukštesnėje temperatūroje deimantas grafitizuojasi, tačiau pjovimo briauną nuo įkaitinimo saugo didelis deimanto šilumos laidumas. Deimanto įrankiai naudojami švariajam paviršiaus apdorojimui, pjaunant labai dideliais greičiais (100-200 m/min.). Tokiais įrankiais neverta apdoroti ketaus bei plieno dėl didelės adhezijos su geležimi deimantas greitai dyla. Deimantiniais įrankiais dažniausiai apdorojami spalvotieji metalai ir jų lydiniai, plastmasės, keramika.

Universalesni už deimantinius yra pjovimo įrankiai, kurių briaunos gaminamos iš polikristalinių boro nitridų. Tokie nitridai gaunami sukepinant aukštoje temperatūroje ir veikiant dideliam slėgiui boro nitrido (su heksagonine gardele) miltelius. Sukepintų miltelių kristalinė gardelė

kubinė (PCBN). Priklausomai nuo gamybos technologinių ypatumų PCBN vadinami elboru, elboru-P, barazonu. Šių medžiagų kietumas artimas deimantų kietumui (30000 HV), tačiau jie atsparesni šilumai (iki 1200 °C). Jie tinka ir sunkiai pjaunamų (užgrūdintų, cementuotų ir pan.) plienų apdorojimui (Juodelis, 2004).

Dauguma aukščiau išvardintintų medžiagų yra netinkamos įrankių, kurie skirti apdirbti metalus be TAS, gamybai. Bet pritaikius greitaeigio pjovimo teorija, galima daugelį medžiagų panaudoti apdirbimui be TAS.

2. PLIENŲ PJOVIMAS DIDELIAIS GREIČIAS

2.1 Spartaus apdirbimo samprata

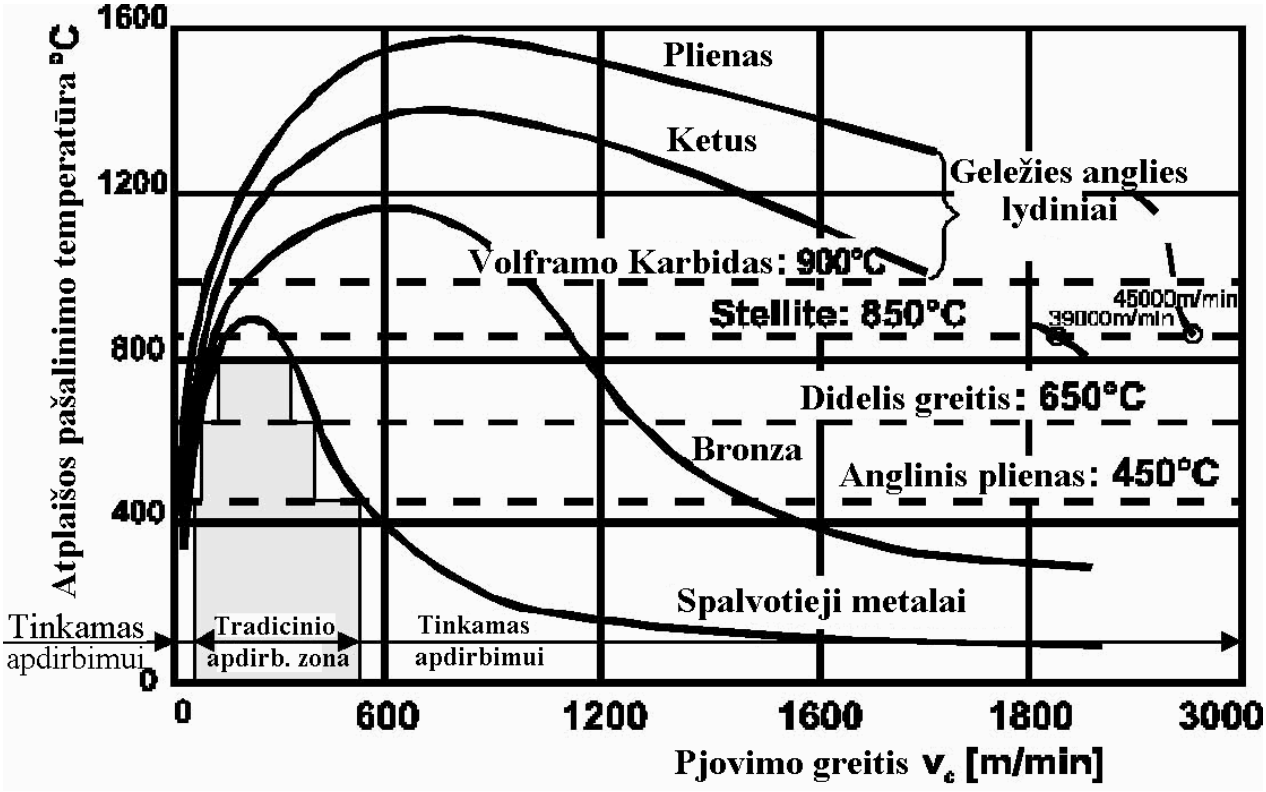
Greitaeigis apdirbimas (High Speed Machining - HSM) yra viena iš modernių technologijų, kuri, lyginant su tradiciniu pjovimu, didina našumą, tikslumą bei kokybę ir tuo pačiu metu mažina kaštus bei apdirbimo trukmę. HSM metalo apdirbimo būdą galima pritaikyti apdirbimui be TAS.

Nors greitaeigis apdirbimas žinomas jau seniai (pirmieji bandymai atlikti praeito amžiaus dvidešimtųjų metų pradžioje), tačiau lieka daug klausimų ir HSM pakankamai sudėtingų apibūdinimų.

Pirmąjį HSM apibrėžimą pasiūlė Carl Salomon 1931 metais. Jis manė, kad esant tam tikram pjovimo greičiui, kuris yra 5 – 10 kartų aukštesnis už tradicinio apdirbimo, pjovimo įrankio paviršiaus temperatūra ims kristi (5 pav.).

Santykinis temperatūros kritimas, kuris prasideda esant skirtingiems pjovimo greičiams skirtingoms medžiagoms, stebimas ties pjovimo kraštu. Egzistuoja daug įvairių būdų apibūdinti HSM, tame tarpe HSM apibūdinamas kaip:

- Apdirbimas dideliu pjovimo greičiu
- Apdirbimas dideliu sukimo greičiu
- Apdirbimas dideliu padavimu
- Apdirbimas dideliu greičiu ir padavimu.



5 pav. Temperatūra išreikšta pjovimo greičio funkcija (Pasko, 2002)

Nuspręsti, kada apdirbimą vadinti sparčiuoju, iš dalies galima pagal apdirbimo būdą. Apdirbimo būdai skirstomi taip (Vc- pjovimo greitis):

- Tradicinis pjovimas Vc < 500 m/min.
- Didelio našumo pjovimas 500 < Vc < 2500 m/min.
- Spartusis pjovimas Vc > 2500 m/min.
- Ultra - spartusis pjovimas Vc > 7400 m/min.

Didelio greičio apibrėžimo problema yra tai, kad pjovimo charakteristikos ir temperatūros labai priklauso nuo apdirbamos medžiagos. Todėl kitas pasiūlymas yra apdirbimą vadinti sparčiuoju, jei jo pjovimo greičiai yra 5 - 10 kartų didesni už tradicinio pjovimo. Ribinis greitis, nuo kurio prasideda spartaus apdirbimo sritis, tiesiogiai priklauso nuo galių santykio k, kuris priklauso nuo apdirbamos medžiagos. Svarbu ir tai, kad srityje iki ribinio greičio sparčiai mažėja pjovimo jėgos, o vėliau jos stabilizuojasi. Tekinimo procesui ribinį pjovimo greitį galima nustatyti iš grafiko (5 pav.).

2.2 Spartaus apdirbimo proceso ypatumai

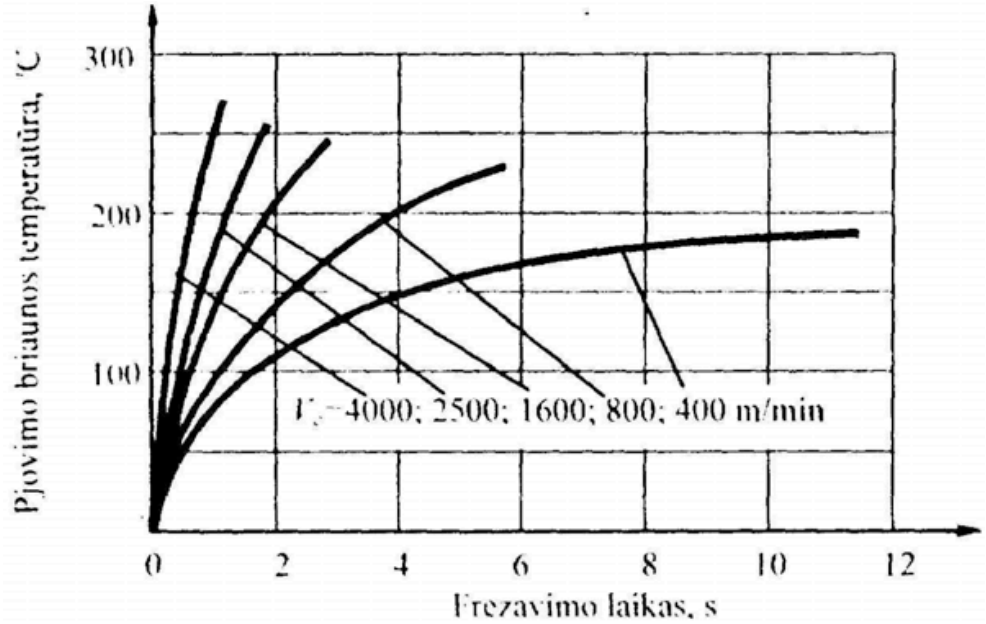
Pjovimo temperatūra. Nepriklausomai nuo drožlės susidarymo būdo metalo apdirbimo proceso metu atiranda du šilumos šaltiniai:

- susijęs su šilumos sudarymu drožlės formavimo zonoje,
- susijęs su šilumos susidarymu dėl drožlės trinties į įrankio pjaunančiosios dalies priekinį paviršių.

Didėjant pjovimo greičiui, pjovimo temperatūra kyla iki apdirbamos medžiagos lydymosi temperatūros. Tiksliau tariant, temperatūra drožlės ir įrankio priekiniame paviršiuje kyla tol, kol tarp jų susidaro tąsus sluoksnis ir trintis tampa klampi. Todėl pagerėja drožlės tekėjimas, vidutinis išspaudimas, o jos paviršiaus temperatūra būna aukštesnė nei vidaus. Dėl tokio greito fragmentinių drožlių susidarymo tarp ruošinio ir įrankio šilumos mainai nevyksta. Šis procesas vadinamas adiabatiniu pjovimu.

Pjovimo proceso metu išsiskirianti energija virsta šiluma. Šiluma išsiskiria pirminėje ir antrinėje šlyties zonose. Dėl detalės trinties į užpakalinį įrankio paviršių išsiskiria daug mažiau šilumos nei dviejose šlyties zonose. Bandymais su termoporomis, įmontuotomis po priekiniu įrankio paviršiumi, galima nustatyti temperatūrą šlyties zonoje ir įrankio priekiniame paviršiuje.

Temperatūros priklausomybė nuo pjovimo greičio įrankio priekiniame paviršiuje pavaizduota 6 paveiksle.



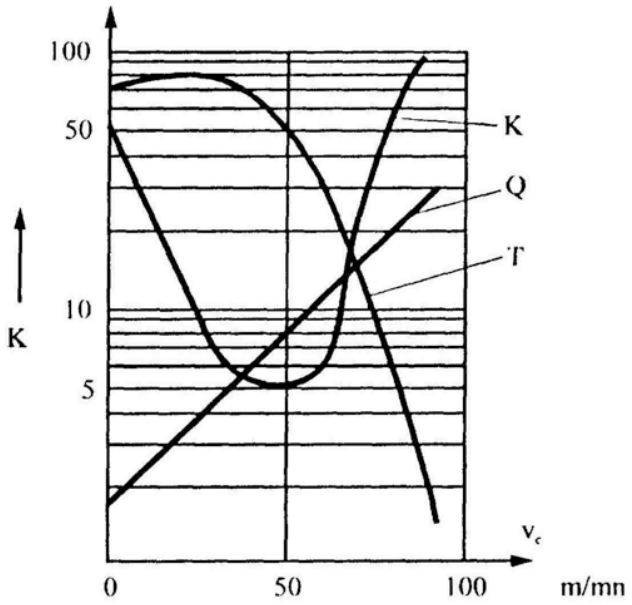
6 pav. Pjovimo briaunos temperatūros priklausomybė nuo pjovimo neaušinant greičio: ruošinio medžiaga – XC45; įrankis – P20/25; pjovimo sąlygos: sz = 0, 31 mm/aps.; hm = 0,05 mm; tz = 1,5 mm; tp = 5 mm.

Pjovimo įrankių dilimas. Apdirbant kietas medžiagas, visų pirma dyla pjovimo įrankis. Tradicinio apdirbimo metu įrankių patvarumas mažėja didėjant pjovimo greičiui, o drožlės debitas didėja, kas svarbu, paruošiamajam apdirbimui (7 pav.). Dilimą galima paaiškinti taip: esant palyginti mažiems pjovimo greičiams, drožlė susivirina su įrankio priekiniu paviršiumi, nes kontakto trukmė yra palyginti ilga, o kraterinis dilimas nedidelis. Didėjant pjovimo greičiui, padidėja inercijos jėgos ir sutrumpėja kontakto trukmė, drožlė su įrankio priekiniu paviršiumi nesusivirina ir kraterinis dilimas intensyvėja.

Papildomai padidinus pjovimo greitį, dėl šiluminių procesų pablogėja įrankio mechaninės savybės, įrankinė medžiaga užsiteršia drožle, todėl įrankis greitai dyla, mažėja jo patvarumas. Esant

dideliems pjovimo greičiams, dėl labai intensyvaus kraterinio dilimo įrankio priekiniame paviršiuje atsiranda įduba. Vadinasi, palankiausios pjovimo sąlygos susidaro pereinamuoju periodu tarp suvirinimo ir nesuvirinimo. Optimali pusiausvyra tarp patvarumo ir dilimo nusistovi kaip tik šioje zonoje.

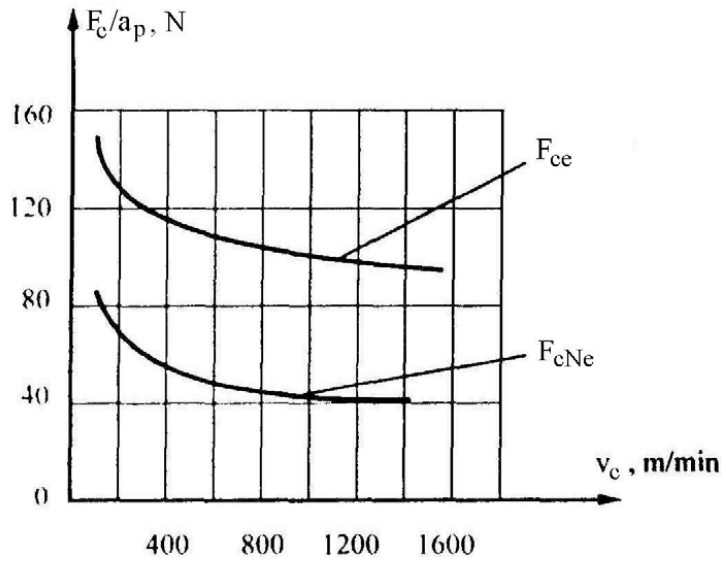
Paviršiaus kokybė. Esant dideliems pjovimo greičiams, detalės profilis būna toks pat kaip ir fasoninio įrankio, o pjaunant tradiciniais greičiais, galimi formos iškraipymai. Kuo įrankio pjaunančiosios dalies paviršiai glotnesni, net jei įrankis ir sudilęs, tuo didesnė tikimybė kad apdirbto paviršiaus kokybė nepablogės. Iš tikrųjų paviršiaus kokybė gerėja didėjant pjovimo greičiui ir esti optimali pjovimo greičių intervale 600 – 800 m/min. Esant mažesniems greičiams, drožlė atsiskiria netolygiai, todėl blogėja apdirbto paviršiau kokybė. Esant didesniems greičiams, paviršiaus kokybė išlieka tokia pat arba pablogėja.



7 pav. Patvarumas (T), debitas (Q) ir kraterinis dilimas (K), kaip pjovimo greičio funkcijos

Paviršiaus kokybė nepriklauso nuo to, ar kietlydinis turi dangą, ar ne, tačiau, mažėjant pastūmai, gerėja apdirbto paviršiaus kokybė. Apdirbtame paviršiuje atsiradę defektai labiau susiję su matmenų nuokrypiais dėl detalės deformacijų pjovimo zonoje.

Pjovimo jėgos. Teorijos, teigiančios, kad, didėjant pjovimo greičiui, jėgos mažėja, yra patvirtintos eksperimentiniais tyrimais. Padidėjus pjovimo greičiams iki 1600 m/min., pjovimo jėgos sumažėja iki 30%. Kai greičiai padidėja iki 2500 m/min., pjovimo jėgos stabilizuojasi, o paskui jos vėl pradeda didėti. Pjovimo jėgos priklausomybė nuo greičio pateikta 8 paveiksle (Štyps, 2006).



8 pav. Pjovimo jėgos priklausomybė nuo greičio: apdirbama medžiaga – Ck 45 (XC 45); Įrankis – P20/25; pjovimo sąlygos: sz = 0,31 mm/aps.; tc = 0,5 mm; tp = 5 mm, pjaunama neaušinant

3. AUŠINIMO SKYSTIS

Kaip aušinti ir tepti apdirbamus metalus buvo jau galvojama prieš daugiau nei 100 metų. Iš pradžių buvo naudojamas pats paprasčiausias aušinimo skystis – vanduo. Nors vanduo turi didelę šiluminę talpą, bet jo reikėjo atsisakyti dėl didelės įrankių ir įrengimų korozijos, bei blogų tepimo savybių.

Taip pat metalo apdirbimo procesuose buvo naudojami ir tepalai. Bet tepalai turėdami geras tepimo savybes, blogai aušino, todėl apdirbimo procesams jie taip pat netiko. Tada ir buvo sugalvotas „stebuklingasis“ aušinimo skystis kuris susidėjo iš tepalų, vandens ir emulsijos, todėl gerai, aušino ir tepė. Dabar metalo apdirbimo pramonė sunkiai įsivaizduojama be aušinimo skysčio, ypač apdirbant tokius metalus kaip aliuminio lydiniai ir nerūdijantis plienas, nes juos apdirbant drožlės turi savybė „prilipti“ prie įrankio ir keisti jo geometriją (Dainytė, 2006).

Tepimo ir aušinimo skysčiai –tai mechaniniam metalų apdirbimui plačiausiai naudojama technologinė terpė, nuo kurios savybių priklauso darbo našumas ir apdirbamų detalių kokybė. TAS – tai pasižymint kompleksu savybių, užtikrinančių optimalias metalų apdirbimo sąlygas. Pagal pagrindines fazės fizikines ir chemines savybes TAS skirstomi į tepalinius ir vandeninius (Totoraitis, 2001).

Aušinimo skystis leidžia įrankiui dirbti dideliais greičiais, net kai temperatūra pasiekia virš 1000 laipsnių, taip pat aušinimo skystis padeda pašalinti drožles iš įrengimų ir ilgina įrankių tarnavimo laiką.

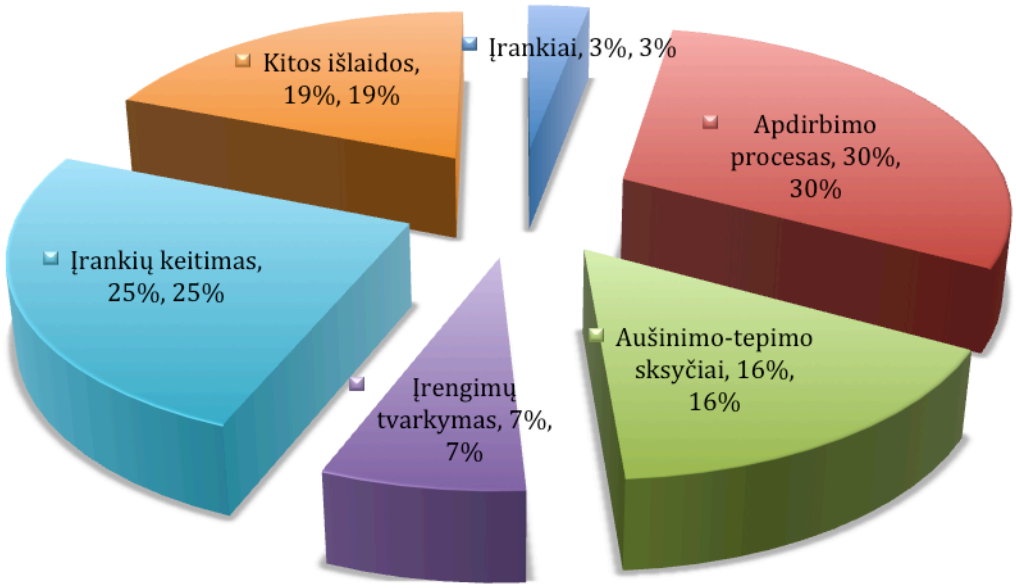
Lengvindamas metalo apdirbimo procesą aušinimo skystis tuo pačiu metu daro ir bloga - panaudoto aušinimo skysčio utilizavimas yra brangus, sudėtingas ir ne visai ekologiškas procesas, aušinimo skystis teršia aplinka ir kenkia darbininko sveikatai. Jo sudėtyje yra etilenglikolio, kuris yra labai pavojingas jį prarijus. Etilenglikolis į organizmą gali patekti ir per odą, o jo įkvėpus sukelia pykinimas. Salsas kvapas ir jo skonis labai traukia gyvūnus ir vaikus. Dėl netinkamoje vietoje išpilto aušinimo skysčio nuolat apsinuodija daug naminių gyvūnų (Dainytė, 2006).

Metalo aušinimas su TAS ne visada duoda teigiamą eektą. Pavyzdžiui, esant dažniems pertrūkiams pjovimo operacijų metu, žymūs temperatūrų pokyčiai sumažina įrankių iš kietlydinių patvarumą. Be to, per didelis temperatūros sumažinimas darbo zonoje padidina jėgas, nes padidėja metalo kietumas (Stasiūnas, 2011).

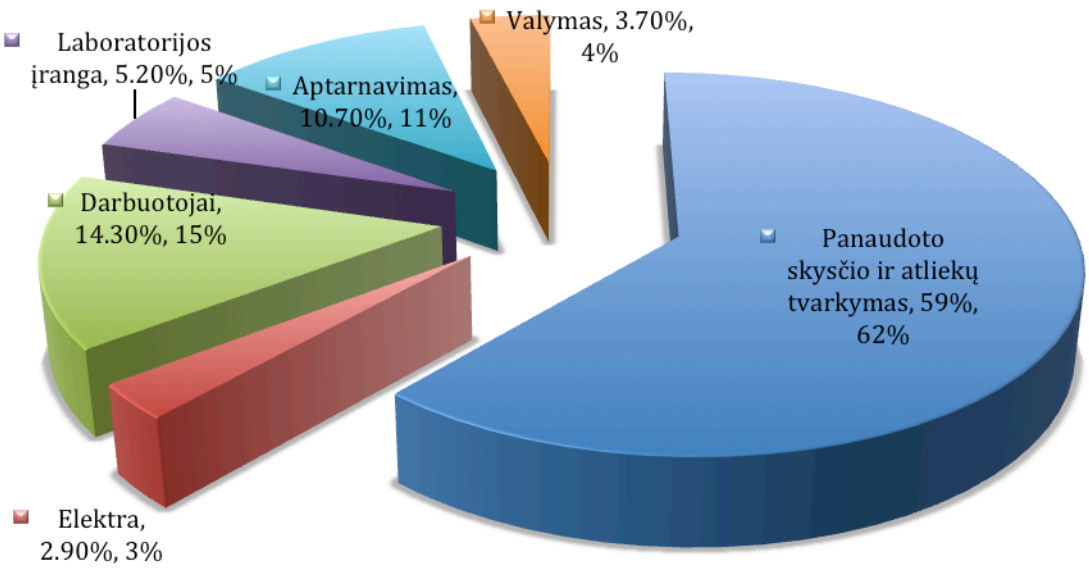
Aušinimo skystis susideda iš 94% vandens, 5% tepalų ir 0,5% - 1% priemaišų. Priemaišos turi cheminių savybių, kurios duoda tepimą ir papildomą naudą – apsaugą nuo korozijos, bet tuo pačiu metu emulsija yra puiki bakterijų, mielių ir grybelių dauginimosi vieta.

Draugiška aplinkai pramonės inžinerija metalo apdirbimą padaro daug efektyvesnį ir ekonomiškesnį. Aušinimo skysčiai yra naudojami daugiau nei 80 metų ir pasiekė kritinę ribą. Vien 2001 metais Vokietijoje buvo sunaudota apie vieną milijoną tonų emulsijos. Literatūroje, pagal galiojančias skaičiavimo normas, yra apskaičiuota, kad vidutinio dydžio detalei apdirbti sistemoje reikia tiekti apie 20 l/min. aušinimo skysčio (1 lentelė). Naudojant didelį kiekį emulsijos, reikia būti apsirūpinus brangia valymo ir filtravimo įranga, taip pat. Kaip jau minėta –aušinimo skystis puiki terpė veistis bakterijoms, jei mikrobų koncentracija yra per didelė - aušinimo skystis yra nebetinkamas nenaudojimui. Kai skystis yra nebetinkamas naudotis vanduo ir tepalai turi būti atskirti, kad būtu galima juos utilizuoti. Naudotas aušinimo skystis priskiriamas prie pavojingų atliekų (atliekų sąrašo kodas 160114), o Europos Bendrijos Tarybos direktyvos 91/689/EEB dėl pavojingų atliekų I A priedo 8-ajame punkte pažymėta, kad alyvos ir alyvų turinčios medžiagos (pvz., tepimo ir aušinimo skysčiai), priskiriamos pavojingų atliekų kategorijai.

1996 metais didžiausia automobilių gamintoja paskelbė, kad aušinimo-tepimo skysčių sąnaudos sudaro 16 % visų gamybos sąnaudų.



9 pav. Gamybos išlaidų pasiskirstymas



10 pav. Aušinimo skysčio kainos sandara

1 lentelė. Metalo tekinimo (naudojant TAS) metu sunaudojamų tepalų, emulsijos ir vandens garų kiekis (Тищенко, 1991)

Įrengimas	**Įrengimo galia, kW**	**Tepalai, g/h**	**Emulsija, mg/h**	**Vandens garai, kg/h**
Tekinimo staklės naudojamos apdirbti mažų gabaritų detalėms	0,65 – 14	0,1 – 2,8	4 – 88	0,1 - 21
Tekinimo staklės, naudojamos apdirbti didelių gabaritų detalėms	10 – 200	2 – 40	63 – 1260	1,5 - 30

Šios išlaidos dažnai yra nepakankamai įvertinamos, nes paprastai jos būna įtraukiamos kartu su kitomis bendrosiomis išlaidomos (Astakhov, 2008).

Aušinimo skystis susijungęs su metalo drožlėmis, sudaro didelių problemų metalo perdirbimui.

Polichlordibenzo-p-dioksinai (dioksinai arba PCCD) bei polichlordibenzofuranai yra būdingi iš liejyklų pramonės įrenginių išmetami teršalai dėl vykstančių terminių procesų.

Dioksinai (PCCD) yra netikslinio susidarymo cheminė medžiaga. Gamtoje ar organizme dioksinai skyla labai sunkiai, dėl to organizmai ir teritorijos, užteršti dioksinais, vertinami taikant „skilimo pusperiodžio" sąvoką. Šiltuose kraštuose dioksinų skilimo pusperiodis siekia 7 – 8 metus, šaltuose iki 10 metų, organizme – 3-4 metus. Organizme kaupiasi riebaliniuose audiniuose, kauluose. Dėl ypatingai didelio nuodingumo pavojingos dioksinų dozės gali būti tokios mažos, kad jas pavyksta nustatyti tik labai jautriais tyrimo metodais. Todėl vietovės ar maisto užteršimą mažomis dioksinų dozėmis, pavojingomis esant kelių mėnesių ar ilgesniam poveikiui, nustatyti sunku. Dėl tų pačių priežaščių gana sunku nustatyti ir žmonių apsinuodijimą dioksinais.

Po mechaninio apdirbimo drožlės būna užterštos TAS, todėl perlydant drožles, susidaro kenksmingos dujos, kurios kenkia gamtai bei žmogaus sveikatai. Drožlių užterštų TAS yra labai aktuali problema aplinkosaugai:

- Perlydant nevalytas drožles išsiskiria dioksinai, furanai
- Išsiskyrę dioksinai bei furanai sukelia žalą gamtai
- Užteršiamas maistas per lesalus ir kitus pašarus
- Dioksinai sukelia vėžinius susirgimus
- Tepimo ir aušinimo skysčiai nuvarvėję nuo drožlių užteršia gruntinius vandenis bei dirvas (Stasiūnas, 2011).

Aušinimo skysčio vartojimas metalo apdirbimo pramonei yra viena iš didžiausių problemų. Vis garsiau šnekama apie naudotu skysčiu užterštą dirvožemį ir vandenį. Taigi jo vartojimas turi būti mažinimas ekologiniu bei ekonominiu požiūriu. Norint sumažinti žalą aplinkai reikia drožles valyti – o tai labai brangus, sudėtingas ir dažnai nelabai veiksmingas procesas, todėl reiktų išviso atsisakyti aušinimo skysčio ir apdirbti metalą sausu būdų t.y nenaudojant aušinimo – tepimo skysčio.

4. SAUSI METALO PJOVIMO BŪDAI

Žinoma, kad aušinimo skysčiai metalo pjovimo procese sumažina įrankio dilimą, pjovimo zonos šilumą, padeda pašalinti drožles ir medžiagos liekanas nuo detalės, įrankio ir įrangos. Tai užtikrina nepertraukiamą gamybos procesą. Norint atsisakyti aušinimo skysčio metalo apdirbimo pramonėje, turime užtikrinti, kad metalo apdirbimo procesas vyktų taip pat sklandžiai, kaip ir su aušinimo skysčiu, t.y. būtu sumažinta trintis tarp įrankio ir apdirbamo metalo, būtų šalinamos drožlėsq nuo detalės, įrangos ir įrankio (Dainytė, 2006).

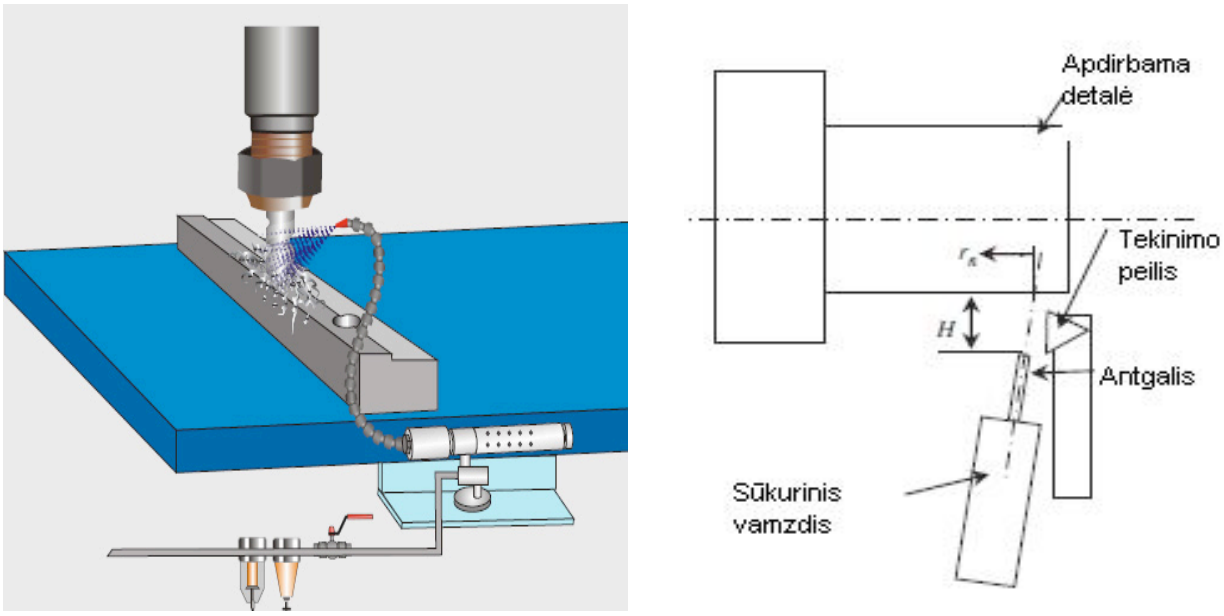
Sausas apdirbimas suskirstomas į tris metodus :

- Sausas metalo pjovimo būdas aušinant įrankį suspaustu oru
- Sausas metalo pjovimo būdas naudojant įrankius su keičiamomis plokštelėmis
- Sausas metalo pjovimo būdas su tam pritaikytais įrankiais.

4.1 Sauso metalo pjovimo būdas aušinant įrankį suslėgtu oru

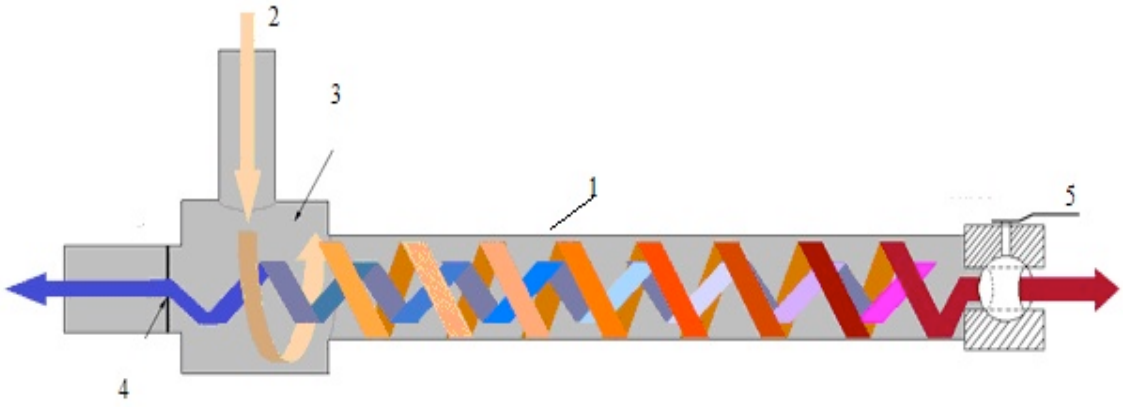
Vienas iš būdų pakeisti aušinimo skystį –aušinimas suslėgtu šaltu oru. Suspaustas oras tiekiamas per taip vadinamą „sūkurinį vamzdį“ (vortex tube) į įrankio ir apdirbamos detalės kontakto zoną (11 pav.).

a) b)



11 pav. Sūkurinis vamzdis naudojimas aušinti įrankį a) bendras vaizdas b) schema

Sūkurinio vamzdžio veikimo principas. Sūkurinis vamzdis – prietaisas, naudojamas šalčiui gaminti Ranko-Hilšo efekto pagrindu. Sūkurinis efektas (arba Ranko efektas) pasireiškia užsuktame klampių spaudžiamų dujų sraute ir realizuojamas labai paprastame prietaise, vadinamame sūkuriniu vamzdžiu (Ranko – Hilšo vamzdžiu, sūkuriniu šaldytuvu –šildytuvu), kurio principinė schema pavaizduota 12 paveiksle.



12 pav. 1 – sūkurinis vamzdis, 2 – tangentinis įėjimas, 3 – sūkurio generatorius, 4 – diafragma, 5 – droselis

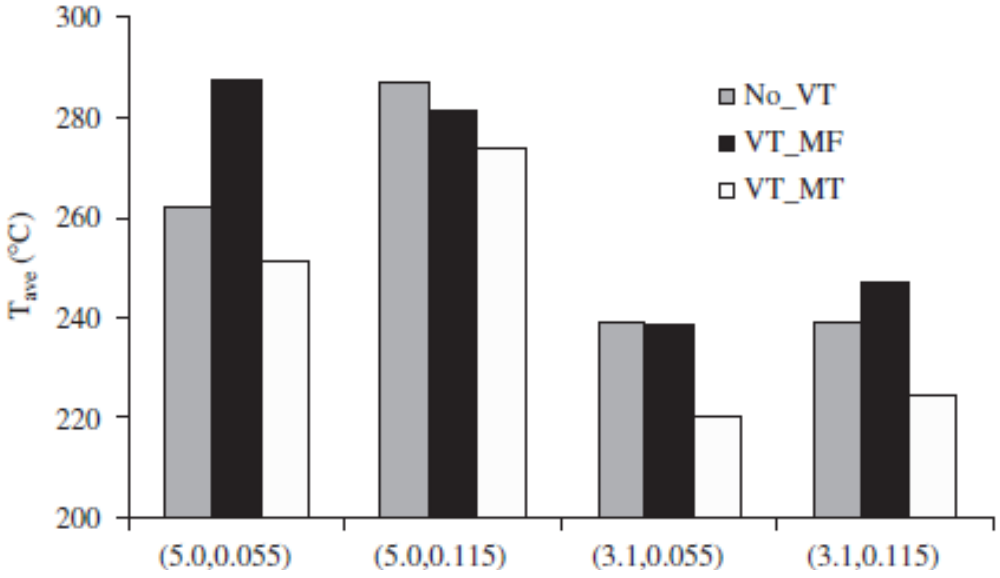
Ištekėdamos suslėgtos dujos per tangentinį korpusą įgauna sukamąjį judesį. Sukdamasis srautas juda link kūginio droselio, kuris oro srautą dalina į dvi dalis karšta ir šalta srautus. Dėl intensyvaus sukimosi suslėgtų dujų srauto energija nukreipiama link vamzdžio sienelės susidaro šiltas oro srautas, kuris nuvedamas per droselį 5. Oro srautas su mažesniu energijos kiekiu nukreipiamas į vamzdžio vidurį kur jis papildomai susispaudžia tačiau neprarasdamas sukimosi juda prieš priešais pagrindiniam oro srautui atiduodamas jam sukaupta energija. Oro srautas su mažu energijos kiekiu išeina lauk per diafragmą 4 gaunamas staigus plėtimasis ko pasekoje susidaro šalto oro srautas.

Slėgį sūkuriniame vamzdyje galima reguliuoti droseliu 5. Prisukus droselį 5 bendras slėgis vamzdyje 1 padidėja. Todėl šalto srauto debitas padidėja, atitinkamai sumažėjus karštam srautui. Taip pat keičiant droselio 5 padėtį keičiasi ir šalto bei karšto srauto temperatūra. sūkurinis vamzdis sukuria temperatūras ribose nuo – 60^{o}C iki + 200^{o}C. Sukuriamos temperatūros priklauso nuo sūkurinio vamzdžio išpildymo (Matutis, 2005)

Sūkurinio vamzdžio panaudojimas sausąjame apdirbime aprašomas Jie Liu moksliniame straipsnyje „On temperatures and tool wear in machining hypereutectic Al-Si alloys with vortex-tube cooling“.

Tekinimo procese vietoje aušinimo skysčio naudojamas sūkurinis vamzdis (angl. vortex tube). Buvo tekinamas A390 lydinys, o įrankis (AISI 4140) aušinamas pasitelkus sūkurinį vamzdį.

Keičiant sūkurinio vamzdžio temperatūra (1.No_VT –tekinimo procese nenaudojant sūkurinio vamzdžio, 2. VT_MF sūkurinio vamzdžio išleidžiama temperatūra svyravo nuo 5°C iki 15°C, oro srovės intensyvumas 1.32×10^{-2} m^3/s, 3. VT_MT sūkurinio vamzdžio išleidžiama temperatūra svyravo nuo -25°C iki -15°C, oro srovės intensyvumas 9.43×10^{-4} m^3/s, 3), bei įrankio pjovimo greičius ir pastūmą, buvo stebima įrankio temperatūra. Iš pateiktų rezultatų (13 pav.) matyti, kad aušinant įrankį sūkuriniu vamzdžiu temperatūra „numušama“ labai efektyviai. Bet straipsnyje neatsižvelgta į detalės kokybę šiurkštumo ir paviršiaus mikrokietumo atžvilgiu, tik į kontakto zonos temperatūrą.



13 pav. Įrankio vidutinė temperatūra aušinant įrankį sūkuriniu vamzdžiu keičiant pjovimo režimus (pjovimo greitį: m/s; įrankio pastūmą: mm/aps.) (Jie Liu, 2006).

Aušinant įrankį suspaustu oru privalumai:

- Gera šilumos sklaida įrankio paviršiuje
- Drožlės šalinamos iš apdirbimo zonos
- Sūkurinis vamzdis yra kompaktiškas, ir lengvai patvirtinamas.

O trūkumai:

- 7% didesnė trintis lyginant su apdirbimu naudojant aušinimo – tepimo skystį
- Keičiant padėtį sūkurinio vamzdžio antgalis gali kliūti už įrankio.

4.2 Įrankiai sausam apdirbimui

Kuriant įrankio dizainą ir siekiant geriausio rezultato reikia derinti tarpusavyje įrankio geometriją, įrankio medžiagą ir įrankio dangą.

Įrankio geometrija. Pagrindinė problema sausajame pjovime yra šilumos išsklaidymas. Todėl įrankis turi būti suprojektuotas taip, kad:

- nuo pat pradžių kauptų kuo mažiau šilumos;
- turėtu didelį posvyrio kampą ir būtų be stipriai užapvalintų kraštų (tokiu būdu įrankis naudojamos mažesnės jėgos apdirbimui);
- būtų atsparus trinčiai;
- gerai šalintų metalo drožles.

Įrankio medžiaga. Sauso apdirbimo įrankinės medžiagos turi pasižymėti dideliu atsparumu karščiui. Kadangi reikia dirbti su dideliu posvyrio kampu, šios medžiagos turi pasižymėti ir dideliu tvirtumu.

Karbidai geriausiai tinka gręžimui, plėtimui ir frezavimui. Kietlydiniai, sumaišyti su karbidais, atsparūs karščiui, tačiau jie nepakankamai tvirti. Kadangi darbo sąlygos reikalauja didelio posvyrio kampo, tai naudojami mikrokarbidai, kurie mažiau atsparūs karščiui, tačiau tvirti.

Taip pat sukurti įrankiai iš kermetų ir keramikos. Šios pjovimo medžiagos atsparios karščiui, bet nestiprios, neturi pergalandimo savybių, todėl jų naudojimo galimybės labai ribotos.

Greitapjūviai plienai mažai atsparūs karščiui. Tačiau didelis jų kietumas yra nepakeičiama savybė sriegimo įrankiams, rupaus apdirbimo frezoms ir labai ploniems bei mažo skersmens grąžtams. Greitapjūvius plienus galima pakeisti kobaltu praturtintais lydiniais ir milteline metalurgija.

Įrankio danga. Dangų funkcijos sauso apdirbimo metu:

- Atskirti įrankio ir apdirbamą medžiagas
- Sumažinti trintį kontakto zonoje
- Termoizoliuoti įrankį ir apsaugoti įrankį nuo dilimo.

Šios funkcijos atliekamos ir įprastinio apdirbimo metu, tačiau jos yra svarbesnės apdirbant be aušinimo ir tepimo. Sauso apdirbimo įrankiai dažniausiai yra padengti ir yra padengiami pakartotinai pergalandus [1].

Straipsnyje „Comparison between dry and wet machining of stainless steele“ autoriai N.I Galanis, D.E. Manolakos, N. M. Vaxevanidis atliko eksperimentą, kurio metu sausu ir šlapiu apdirbimo metodu CNC apdirbimo centru buvo apdirbamas nerūdijantis plienas AISI 422. Buvo naudojami identiški pjovimo parametrai, specialūs įrankiai sausajam bei metalo pjovimui su

aušinimo skysčiu įrankiai, abiejuose apdirbimo būduose siekiant kuo tiksliau juos tarpusavyje palyginti.

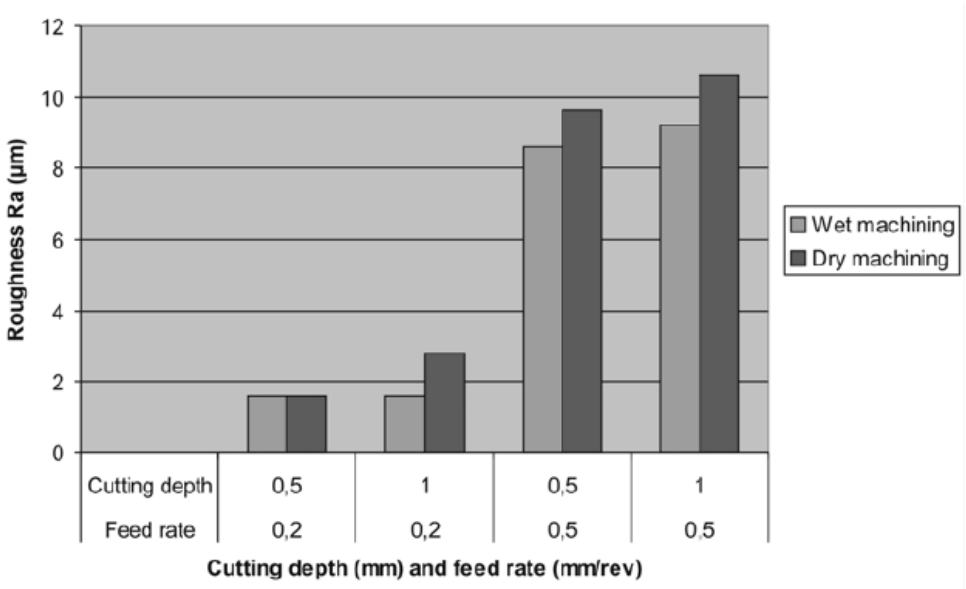
Eksperimento metu metodai buvo tarpusavyje palyginti pagal pagrindinius pjovimo parametrus:

- Pjovimo greitis
- Pjovimo gylis
- Įrankio pastūma
- Pjovimo įrankio temperatūra
- Apdirbamo paviršiaus šiurkštumas.

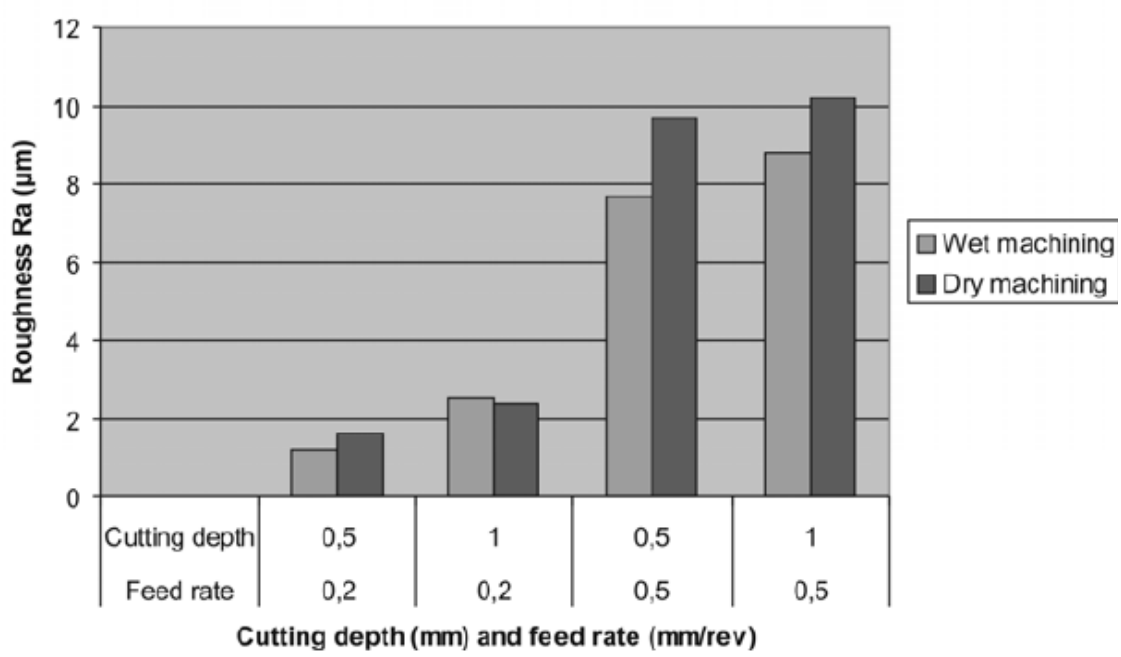
Bendri eksperimento rezultatai, įrankio temperatūros ir paviršiaus šiurkštumo atžvilgiu parametrai, kaip buvo tikėtasi, geresni šlapiojo pjovimo metodo. Bet yra keturi eksperimentai (14 pav.) kur apdirbtų detalių paviršiai buvo beveik vienodi, ir prie vieno iš eksperimentų (15 pav.) (pjovimo greitis 306 m/min.), sausojo metalo apdirbimo būdo rezultatai , paviršiau šiurkštumo atžvilgiu, yra geresni nei šlapiojo apdirbimo metodo. Bet įrankio temperatūra sausojo apdirbimo metodo metu yra didesnė, tai neigiamai veikia įrankio forma, ir dėl to jis greičiau susidėvi, nei įrankis aušinamas aušinimo – tepimo skysčiu.

Siekiant geriau įvertinti eksperimento rezultatus, jie buvo pavaizduoti grafiškai (14 pav., 15 pav., 16 pav., 17 pav.).

Paviršiaus šiurkštumui įvertinti skirti 14 pav., kur eksperimentas atliekamas, kai įrankio greitis 252 m/min., 15 pav., kur greitis 306 m/min. Iš grafikų matyti, kad paviršiaus šiurkštumai beveik vienodi, o kai kur apdirbant detales be TAS paviršiaus šiurkštumas yra geresnis.

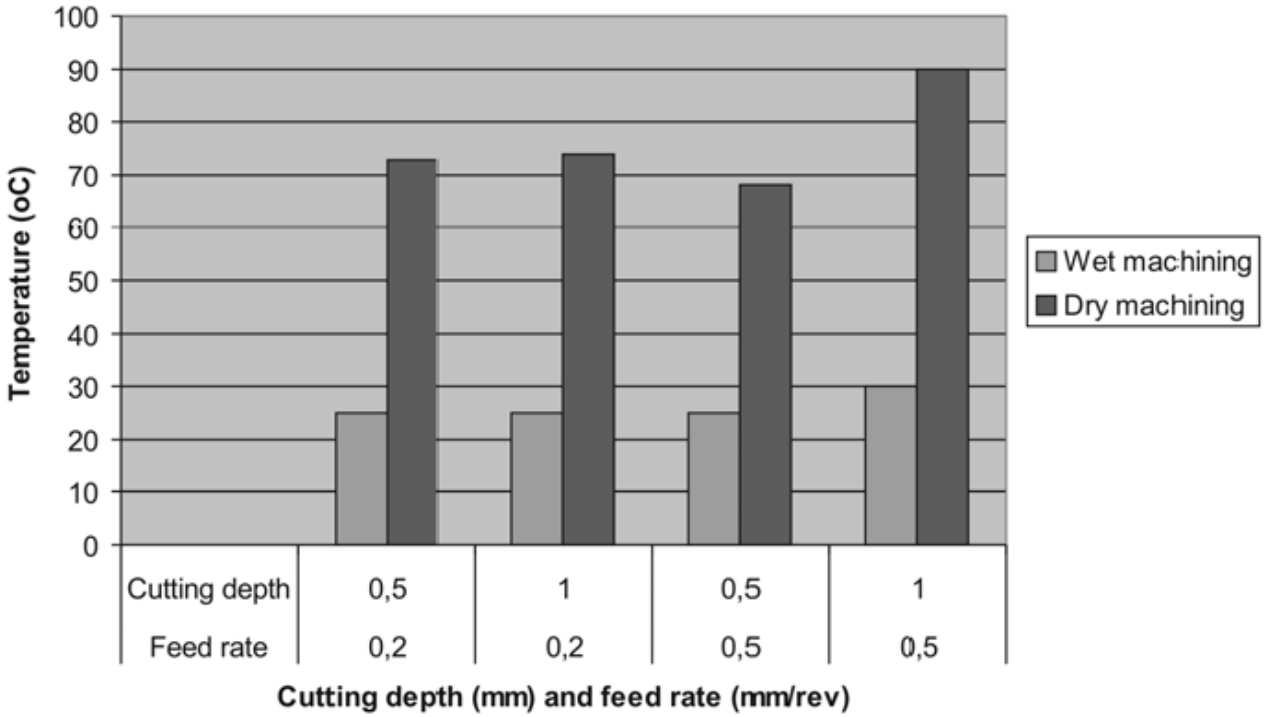


14 pav. Paviršiaus šiurkštumui įvertini skirtas grafikas, kai pjovimo greitis 252 m/min.

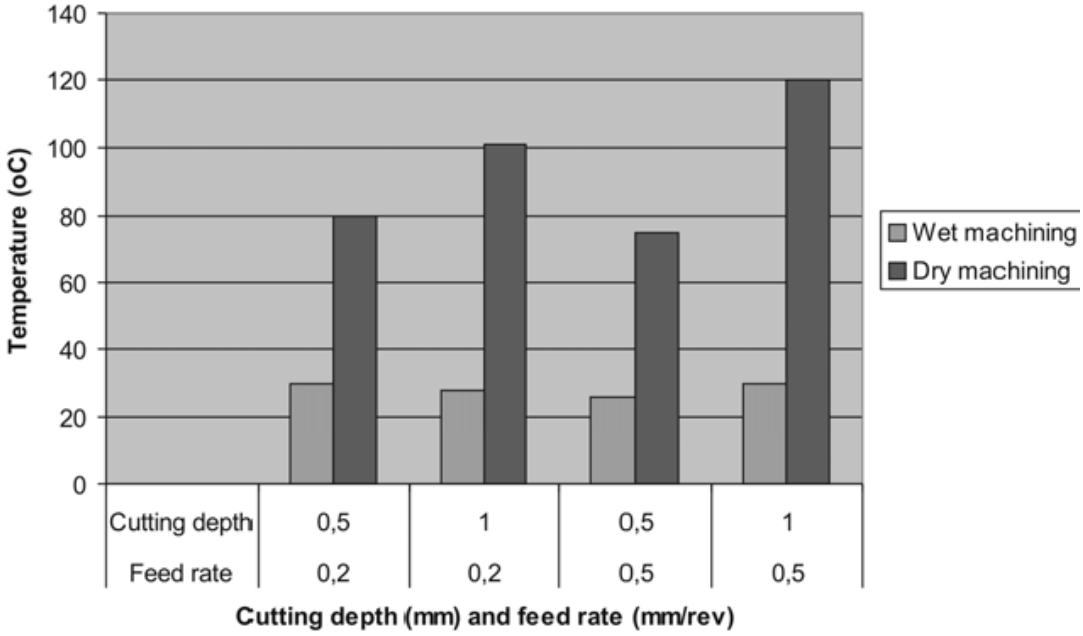


15 pav. Šiurkštumui įvertini skirtas grafikas, kai pjovimo greitis 306 m/min.

16 ir 17 paveikslėliai rodo apdirbamo paviršiaus temperatūrą, kai pjovimo sąlygos skirtingos. Temperatūros apdirbant be TAS su apdirbant metalą su TAS skiriasi žymiai.



16 pav. Paviršiaus temperatūrai įvertinti skirtas grafikas, kai pjovimo greitis 252 m/min.



17 pav. Paviršiaus temperatūrai įvertinti skirtas grafikas, kai pjovimo greitis 306 m/min. (Galanis, 2008)

Eksperimentas parodė, kad pasirinkus tinkamas pjovimo sąlygas (didesnis greitis ir mažesnė įrankio eiga), galima pasiekti tinkamą paviršiaus kokybę, tačiau dėl didelės įrankio temperatūros įrankis greičiau susidėvi ir būna nebetinkamas naudoti. Norint pasiekti geriausių rezultatų reikia ieškoti naujų medžiagų įrankiui gaminti, bei naujų dangų, kurie būtų atsparūs trinčiai, geriau dirbtų prie aukštų temperatūrų, ir apdirbtų paviršių reikiamu tikslumu.

4.3 Sausas metalo pjovimo būdas naudojant įrankius su keičiamomis plokštelėmis

Mechaninio apdirbimo ekonomiškumą labai mažina metalo pjovimo įrankių lūžimas, dilimas, įrankių medžiagos kaina. Vienas iš būdų padidinti gamybos ekonomiškumą yra atsisakyti TAS vartojimo ir naudoti įrankius su keičiamomis plokštelėmis.

Plokštelių medžiagos turi būti daug kietesnės už apdirbamąją medžiagą, stiprios ir atsparios smūgiams (įrankio pjovimo dalis, veikiama didelių pjovimo jėgų, neturi suirti arba plastiškai deformuotis), atsparios karščiui (jų pjovimo savybės ir kietumas turi mažai keistis nuo pjovimo metu išsiskiriančios šilumos), atsparios temperatūros pokyčiams (kai pjaunama nevienodo storio drožlė ir dirbama su pertraukomis), laidžios šilumai (kad pjaunant neperkaistų, netrūkinėtų ir nepridegtų įrankio pjaunančioji dalis), atsparios dilimui, kad mažai sukibtų su apdirbamąja medžiaga, technologiškos (lengvai šlifuojamos, grūdinamos, suvirinamos, nesioksiduojančios), pigios.

Iš anksčiau išvardintų medžiagų įrankių plokštelėms, apdirbimui be TAS labiausiai tiktų

nemetalinė pjovimo įrankio medžiaga –polikristalinis kubinis boro nitridas (PCBN). Panagrinėkime plačiau tekinimo plokšteles iš PCBN medžiagos.

PCBN medžiaga. Polikristalinis kubinis boro nitridas (PCBN) yra sudarytas vien tik iš žmogaus sukurtų medžiagų. Jų nėra gamtoje, jokioje formoje. Ši medžiaga yra unikali savo kietumu (antra po deimanto), savo sugebėjimu išlaikyti savo kietumą aukštoje temperatūroje. Todėl PCBN įrankiai gali tikti ir sunkiai apdirbamoms medžiagoms.



18 pav. CBN grūdeliai

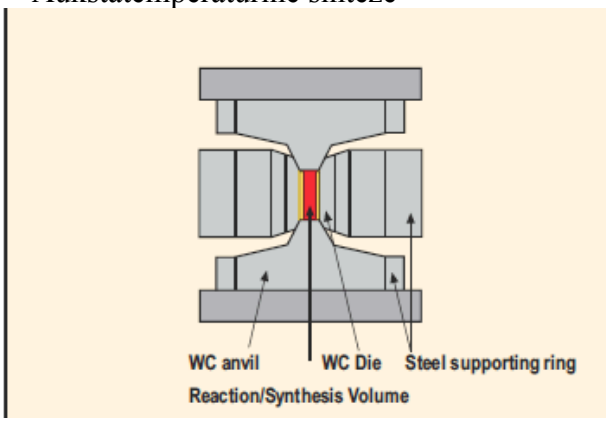
PCBN medžiaga sudaryta iš atrinktų CBN grūdelių (18 pav.), kurie surišti tarpusavyje naudojat keramikinius ar metalinius ryšius, kurie gaunami ultra aukštame slėgyje ir aukštoje temperatūroje. Šie ryšiai veikia kaip klijai, kurie suklijuoja kietus CBN grūdelius tarpusavyje.

PCBN medžiagos gamyba. Kaip matyti žemiau pateiktoje schemoje, PCBN medžiaga gaminama 2 pakopų sinteze, naudojant aukštatemperatūrį izostatinį presą. Procesas prasideda paėmus heksagoninius boro nitrido miltelius (hBN) ir dedant juos į aukštatemperatūrį presą, kurio slėgis 75kbar, o temperatūra 700°, taip gaunami smulkiai sukepintos kubinio boro nitrido dalelės (CBN). CBN grūdeliai yra surūšiuojami ir sumaišomi su specialiu rišikliu arba katalizatoriumi. Mišinys yra patalpinamas vėl į aukštatemperatūrį izobarinį presą. Taip gaunamas PCBN disko formos lakštas.

1. Hexagoninis boro nitridas – viena iš minkščiausių žinomų medžiagų



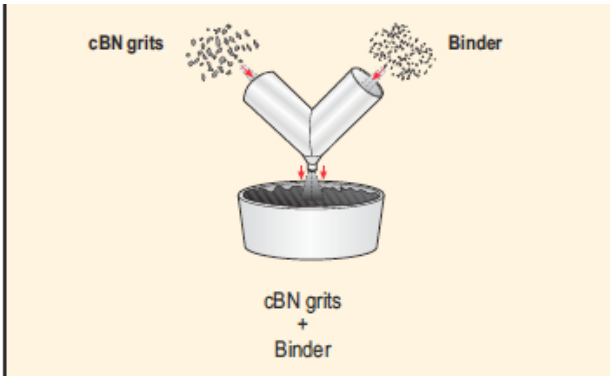
2. Aukštas slėgis
Aukštatemperatūrinė sintezė



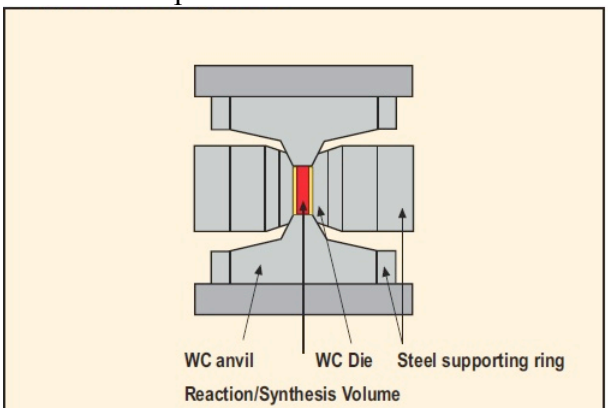
3. Kubinis boro nitrido grūdeliai – antra pagal kietuma žinoma medžiaga (cBN grūdeliai)



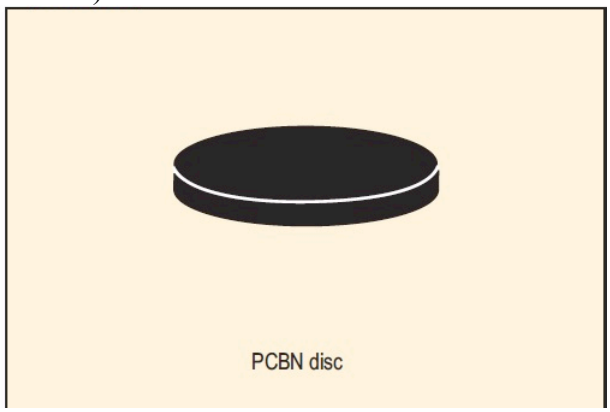
4.Maišymas



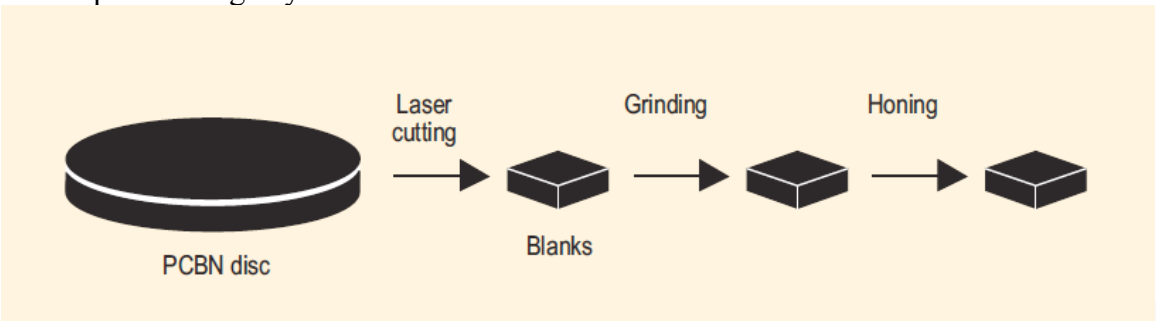
5. Aukštas slėgis
Aukštatemperatūrinė sintezė



6. Polikristalinis boro nitrido diskas (PCBN diskas)



PCBN plokštelės gamyba:

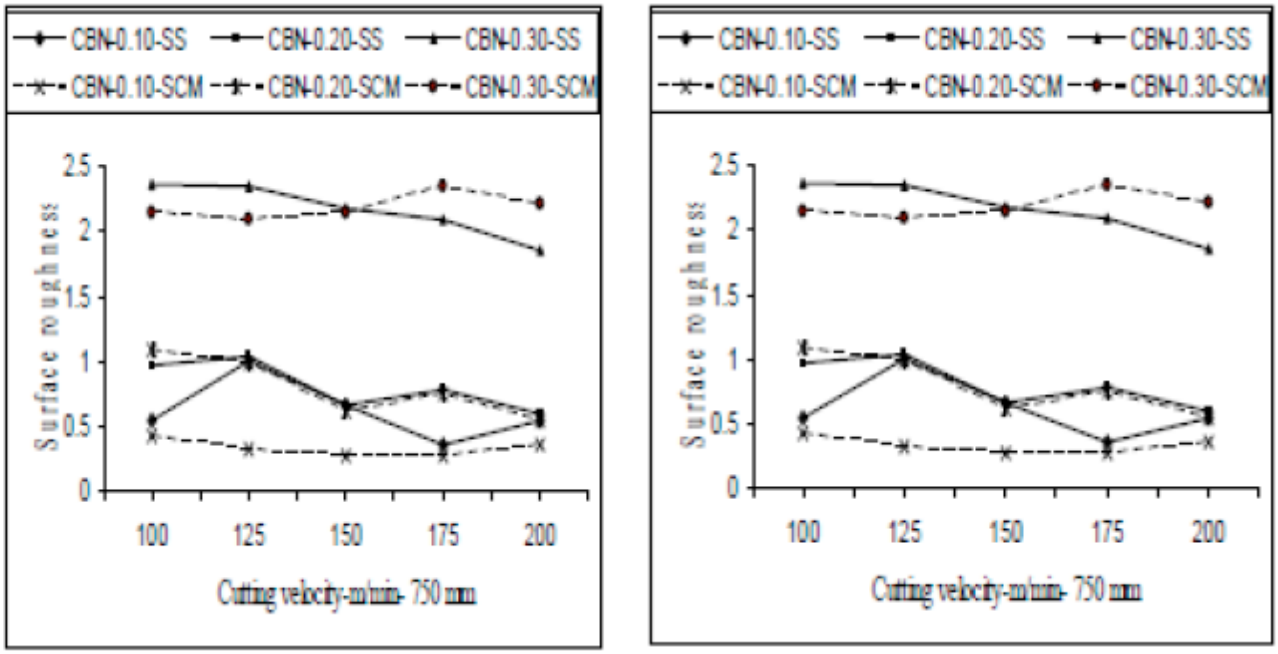


[2].

PCBN įrankių panaudojimą sausąjame apdirbime aprašo S.Thamizhmanii. Jo straipsnyje "Machinability of Hard Martensitic Stainless Steel and Hard Alloy Steel by CBN PCBN tools by turning Process" buvo atliktas eksperimentas ir tekinama PCBN ir CBN plokštelėmis plienas AISI 440C ir plieno lydinys SCM440. Keičiant pjovimo režimo parametrus, buvo stebimas paviršiaus šiurkštumas, pjovimo jėgos, įrankio nudilimas. Rezultatai buvo susisteminti ir pateikti grafikuose. Rezultatai atsižvelgiant į paviršiaus šiurkštumo parametrus pateikti pav.

Iš gautų rezultatų (19 pav.), matome, kad tekinti nerūdijanti plieną, be aušinimo skysčio,naudojant PCBN plokšteles, gaunama labai gerus rezultatus. Taip pat stebimas labai įdomus dalykas – a) grafike matyti, kad kuo greitis didesnis, tuo gaunamas mažesnis paviršiaus šiurkštumas, šį reiškinį galima paaiškinti remiantis HSM teorija. Eksperimento trūkumas yra tas, kad jo metu nebuvo matuojama temperatūra įrankio ir apdirbamo paviršiaus kontakto vietoje. Taip pat eksperimentas su TAS ir be TAS buvo atliekamas su tuo pačiu įrankiu, o tai neleidžia tiksliai vertinti ir palyginti, ar įrankiai naudojami su TAS yra pranašesni už įrankius kurie specialiai skirti naudoti be TAS. Todėl baigiamąjame darbe palyginsiu metalo apdirbimą be TAS, su PCBN plokštelėmis, su apdirbimu pjaunant įprastomis tekinimo plokštelėmis, kurių aušinimui naudojamas TAS.

a) b)



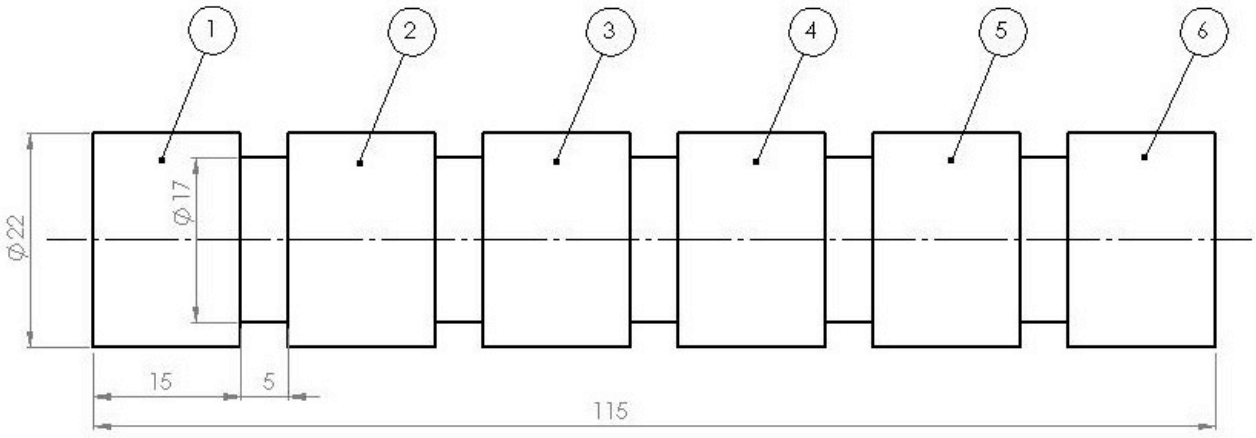
19 pav. Paviršiaus šiurkštumo grafikas – a) CBN-SCM, b)PCBN-SS

5. TYRIAMOJI DALIS

5.1 Tyrimo tikslas

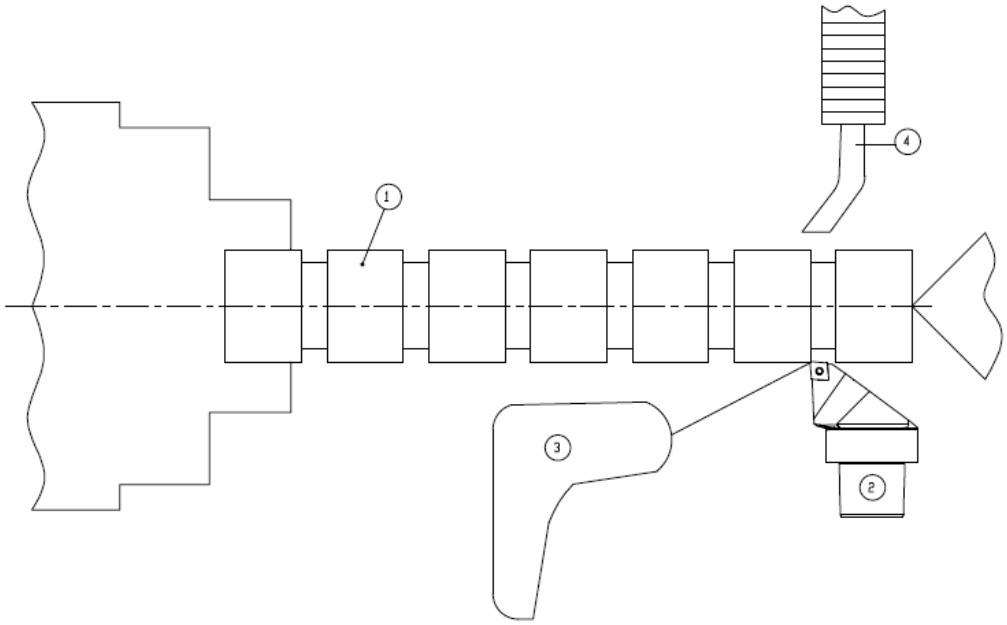
Šio tyrimo tikslas – ištirti ir palyginti, aplinkosauginiu požiūriu, du metalo apdirbimo būdus: tekinimas naudojant – aušinimo tepimo skystį (20 pav.) , ir tekinimas nenaudojant aušinimo-tepimo skysčio (21 pav.). Mechaniškai buvo apdirbami du vienodų formų ruošiniai, iš skirtingų medžiagų (22 pav.) - nerūdijančio plieno AISI 304 ir iš juodojo metalo S235JRG2.

Tekinant su TAS buvo naudojama CNMG 12.04.04 plokštele, o tekinimui be TAS buvo naudojam PCBN 12.04.04 tekinimo plokštelė.

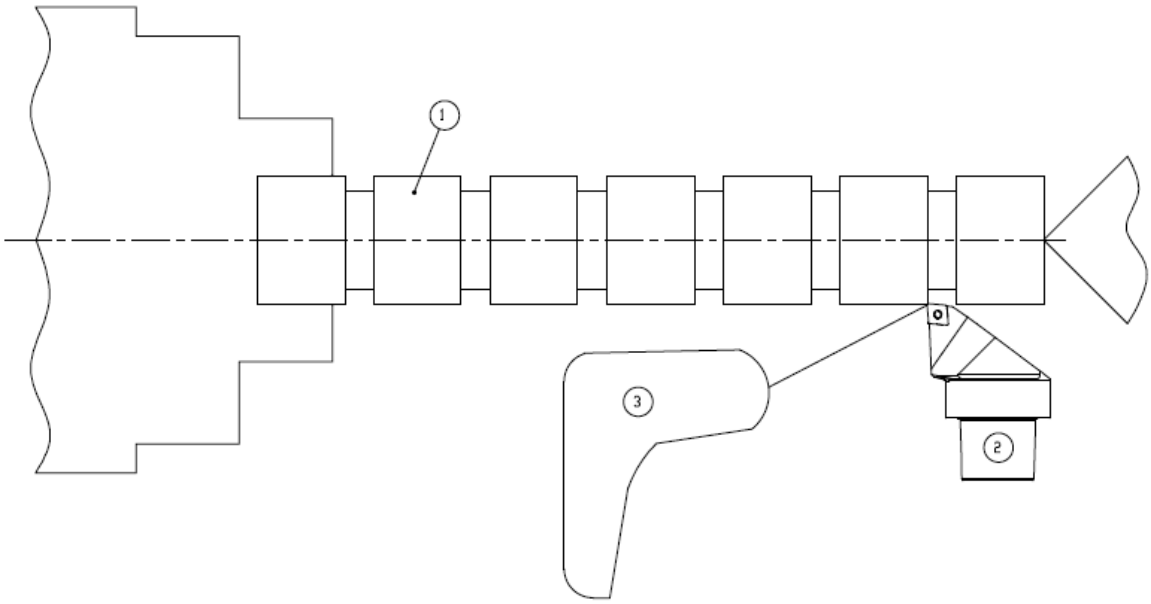


20 pav. Ruošinys

Ruošiniai tekinami skirtingais rėžimais (2 lentelė). Tyrimo metu matuojamas paviršiaus šiurkštumas, paviršiaus kietumas ir temperatūra įrankio ir ruošinio kontakto vietoje.



21 pav. Tyrimo stendo, tekinimu su TAS, schema: 1 – apdirbamasis ruošinys, 2- pjovimo įrankis, 3 – Nuotolinis termometras, 4-– TAS tiekimo sistema



22 pav. Tyrimo stendo, tekinimu be TAS, schema: 1 – apdirbamasis ruošinys, 2- pjovimo įrankis, 3- nuotolinis termometras.

2 lentelė. Pjovimo režimai

Pavadinimas	**Režimai**
Greitis, aps/min	900, 1200, 1500
Pastūma	0.55, 0.3, 0.2
Pjovimo gylis	0.75, 0.5, 0.25

5.2 Tyrimo objektas

Tirti pasirinkti du ruošiniai, kurie padalinti į 6 paviršius (22 pav.). Ruošiniai apdirbami skirtingais būdais – pjaunant su TAS ir be TAS, trimis skirtingais režimais. Tekinant su aušinimo skysčiu buvo pasirinktas CNMG 12.04.04 tekinimo plokštelė. Tekinant nenaudojant aušinimo skysčio buvo pasirinkta PCBN 12.04.04 tekinimo plokštelė.

Tekinimo staklės. Eksperimentas atliktas tekinimo staklėmis 1IS611B (23 pav.). Pagrindinės charakteristikos:

- Apdirbamo ruošinio maksimalus diametras: 250mm
- Maksimalus tarpcentrinis atstumas: 500mm
- Centrų aukštis: 130mm
- Maksimalus sukimosi greitis tekinant be TAS 1500 aps/min.
- Maksimalus sukimosi greitis tekinant su TAS 1500 aps/min.



23 pav. Tekinimo staklės 1IS611B

Tepimo –aušinimo skysčio charakteristikos. Pasirinktas TAS "Lactuca MS 7000". Tai vandenyje tirpi metalo tepimo – aušinimo alyva skirta sudėtingoms ir labai sudėtingos ketaus, labai anglingų, nerūdijančių, legiruotų ir aliuminio lydinių apdirbimo operacijoms. Skysčio klampa 150 mm^2/s.

Rekomenduojamos koncentracijos:

- Sunkus apdirbimo: nuo 6 iki 9%
- Labai sunkaus apdirbimo: 7 iki 12%

Privalumai:

- Puikus stabilumas laikui bėgant
- Labai paprasta naudoti: „Lactuca MS 7000" skiesti vandeniu, pagal rekomenduojamas proporcijas
- Gera apsauga nuo korozijos
- Naujos technologijos dėka „Lactuca MS 7000" ženkliai prailgina įrankio gyvavimo laiką ir apdirbimo paviršiaus kokybę.

Trūkumai:

- TAS priskiriamas prie pavojingų atliekų kategorijos
- Kenkia darbininko sveikatai.

Sveikata ir saugumas:

- „Lactuca MS 7000" neturi ypatingo kvapo ir jo sudėtyje nėra fenolių, nitritų, chloro. (Stasiūnas, 2011)

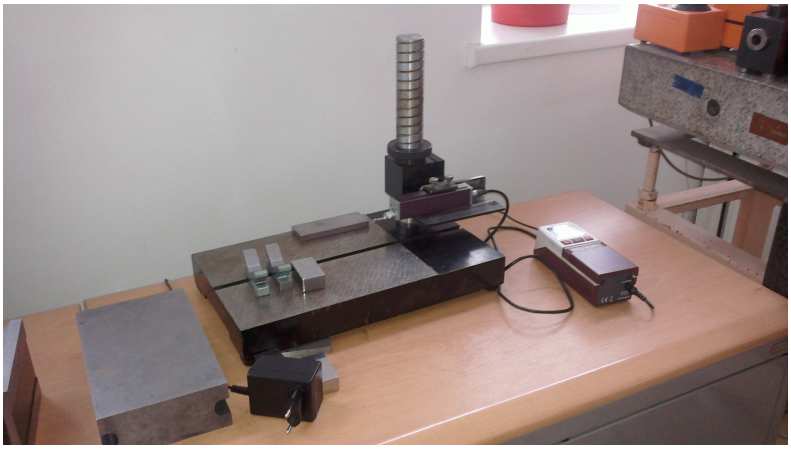
Termometro charakteristikos. Eksperimento metu tekinant, buvo matuojama temperatūra įrankio ir apdirbamos detalės kontakto vietoje nuotoliniu elektroniniu termometru (24 pav.). Pagrindinės termometro charakteristikos:

- Automatinis nuotolio matuoklis
- Platus temperatūros matavimo diapazonas
- Dvigubas skaitmeninis LCD ekranas su ekrano apšvietimu
- Diskinės dvylikos taškų lazerinis taikiklis
- Laipsniai: C/F galimas pasirinkimas
- Automatinis maitinimo išjungimas
- Matavimo diapazonas: nuo – 20 C° - 537 C° (-5 ° F - 999 ° F)
- Spinduliavimas: 0.95;
- Matomumo laikas: 12:1
- Rezoliucija: 0.1 C°



24 pav. Termometras

Kita įranga reikalinga eksperimentui. Taip pat laboratorijoje buvo matuojami paviršiaus šiurkštumas (25 pav.), paviršiaus kietumas (26 pav.) ir paviršiaus mikro kietumas.



25 pav. Paviršiaus šiurkštumo matavimo prietaisas



26 pav. Paviršiaus kietumo matavimo prietaisas

5.3 Tyrimo eiga

Bandymo atlikimo tvarka:

- Sureguliuojamos staklės, įtvirtinamas ir sureguliuojamas termometras ir parenkami pjovimo režimai: pjaunami ruošiniai trimis skirtingais režimais. Pirmasis – 900aps/min., r=0.55mm/aps., t=0.75mm; antrasis - 1200aps/min., r=0.3mm/aps., t=0.5mm; trečiasis – 1500aps/min., r=0.2mm/aps., t=0.25mm.
- Per kiekvieną pjovimą, užfiksuojama termometro reikšmės ant kiekvieno paviršiaus
- Po pjovimo matuojamas paviršiaus kietumas ir paviršiaus šiurkštumas
- Analogiškai atliekamas tas pats su kitu ruošiniu
- Įvertinama TAS išeiga, bei poveikis aplinkai, pagal galiojančias skaičiavimo metodikas.

5.4 Rezultatų apdorojimas

1 bandymas:

3 lentelė. Režimai: greitis – 900m/min.; Pastūma – 0.55mm/aps.; Gylis – 0.75mm

Medžiaga	Paviršiaus nr.	Rz (µm) su TAS	Rz (µm) be TAS	T (^{o}C) su TAS	T (^{o}C) be TAS	Pav. Kietumas (HB) su TAS	Pav. Kietumas (HB) be TAS
1_AISI304	1	26	25	35	39	210	210
	2	25	24	35	56	210	210
	3	25	23	38	68	210	210
	4	25	24	42	73	210	210
	5	26	24	43	77	210	210
	6	25	25	48	79	210	210
2_S235JRG2	1	33	42	26	39	186	186
	2	33	40	24	42	186	186
	3	32	40	23	45	186	186
	4	31	39	25	45	186	186
	5	32	40	25	46	186	186
	6	32	43	27	45	186	186

2 bandymas:

4 lentelė. Režimai: greitis –1200 m/min.; Pastūma – 0.3mm/aps.; Gylis – 0.5mm

Medžiaga	Paviršiaus nr.	Rz (µm) su TAS	Rz (µm) be TAS	T (^{0}C) su TAS	T (^{0}C) be TAS	Pav. Kietumas (HB) su TAS	Pav. Kietumas (HB) be TAS
3_AISI304	1	11	13	55	70	210	210
	2	10	12	60	73	210	210
	3	10	11	70	84	210	210
	4	10	11	75	89	210	210
	5	9	11	78	96	210	210
	6	10	13	80	96	210	210
4_S235JRG2	1	26	32	49	53	186	186
	2	25	30	56	69	186	186
	3	25	30	60	72	186	186
	4	25	30	61	78	186	186
	5	24	30	63	79	186	186
	6	26	31	64	80	186	186

3 bandymas:

5 lentelė. Režimai: greitis – 1500m/min.; Pastūma – 0.2 mm/aps.; Gylis – 0.25mm

Medžiaga	Paviršiaus nr.	Rz (µm) su TAS	Rz (µm) be TAS	T (^{0}C) su TAS	T (^{0}C) be TAS	Pav. Kietumas (HB) su TAS	Pav. Kietumas (HB) be TAS
5_AISI304	1	10	7	60	71	210	210
	2	8	6	73	83	210	210
	3	8	6	78	87	210	210
	4	8	5	82	87	210	210
	5	8	6	86	98	210	210
	6	8	6	87	97	210	210
6_S235JRG2	1	24	23	39	53	186	186
	2	23	21	42	68	186	186
	3	23	21	48	70	186	186
	4	22	20	52	78	186	186
	5	23	20	53	81	186	186
	6	23	22	56	83	186	186

5.5 Tyrimo duomenų statistinis apdorojimas

Stebėjimų rezultatų pasiskirstymas. Atlikus eksperimentą ir gavus tam tikras rezultatų skaitines reikšmes, reikalinga jas paruošti analizei bei išvadų formulavimui, t.y. matematiškai statistiškai apdoroti. Čia eksperimentatoriui padeda tikimybių teorija ir matematinė statistika.

Apskaičiuoti svarbiausi statistiniai rodikliai:

1. Aritmetinis vidurkis. Aritmetinis, paviršiaus šiurkštumo, bei įrankio ir apdirbamos detalės kontakto zonos temperatūros, vidurkis apskaičiuojamas pagal formulę (5.1), o gauti rezultatai surašomi į lentelę 6.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \tag{5.1}$$

2. Dispersija s^2:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - x)^2}{n-1} \tag{5.2}$$

3. Vidutinis kvadratinis nuokrypis *s:*

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - x)^2}{n-1}} \tag{5.3}$$

4. Variacijos koeficientas *v*:

$$v = \frac{s}{x} 100, \% \tag{5.4}$$

5. Atsitiktinė (matavimo rezultato) paklaida Δ:

$$\Delta = t_\beta \frac{s}{\sqrt{n}} \tag{5.5}$$

6. Pasikliautinis intervalas I_β

$$I_\beta = (\bar{x} - \Delta;\ \bar{x} + \Delta) \tag{5.6}$$

Šis intervalas apibūdina rezultato (aritmetinio vidurkio) tikslumą. Kuo intervalas mažesnis tuo geriau.

Apsakičiuotus svarbiausius statistinius rodiklius, paviršiaus šiurkštumui ir temperatūrai, įrašome į 7 ir 8 lenteles.

6 lentelė. Susisteminti rezultatai

Eksperimento Nr.	Greitis (m/min)	Pastūma (mm/aps)	Gylis (mm)	Rz (µm) su TAS	Rz (µm) be TAS	T (°C) su TAS	T (°C) be TAS	Pav. Kietumas (HB) su TAS	Pav. Kietumas (HB) be TAS
1_AISI304	900	0.55	0.75	25	24	40	65	210	210
2_S235JRG2	900	0.55	0.75	32	40	25	45	186	186
3_AISI304	1200	0.3	0.5	10	12	70	89	210	210
4_S235JRG2	1200	0.3	0.5	25	30	58	71	186	186
5_AISI304	1500	0.2	0.25	8	6	78	87	210	210
6_S235JRG2	1500	0.2	0.25	23	21	50	72	186	186

7 lentelė. Svarbiausi statistiniai rodikliai paviršiaus šiurkštumui

	Su TAS						Be TAS			
	Dispersija	Vidutinis kvadratinis nuokrypis	Variacijos koeficientas, %	Atsitiktinė paklaida	Pasikliautinis intervalas	Dispersija	Vidutinis kvadratinis nuokrypis	Variacijos koeficientas, %	Atsitiktinė paklaida	Pasikliautinis intervalas
1_AISI304	0.4	0.63	2.53	0.73	[24.27 ; 26.46]	0.4	0.63	2.64	0.73	[23.27 ; 25.46]
2_S235JRG2	0.6	0.78	2.42	0.89	[31.11 ; 33.79]	2.8	1.67	4.18	1.93	[38.08 ; 43.85]
3_AISI304	0.4	0.63	6.33	0.73	[9.27 ; 11.46]	1	1	8.33	1.15	[10.85 ; 14.30]
4_S235JRG2	0.6	0.78	3.1	0.89	[24.11 ; 26.78]	1	1	3.33	1.15	[28.85 ; 32.30]
5_AISI304	0.8	0.89	11.18	1.03	[6.97 ; 10.01]	0.4	0.63	10.54	0.73	[5.27 ; 7.46]
6_S235JRG2	0.4	0.63	2.75	0.73	[22.27 ; 24.46]	1.4	1.18	5.63	1.36	[19.64 ; 23.72]

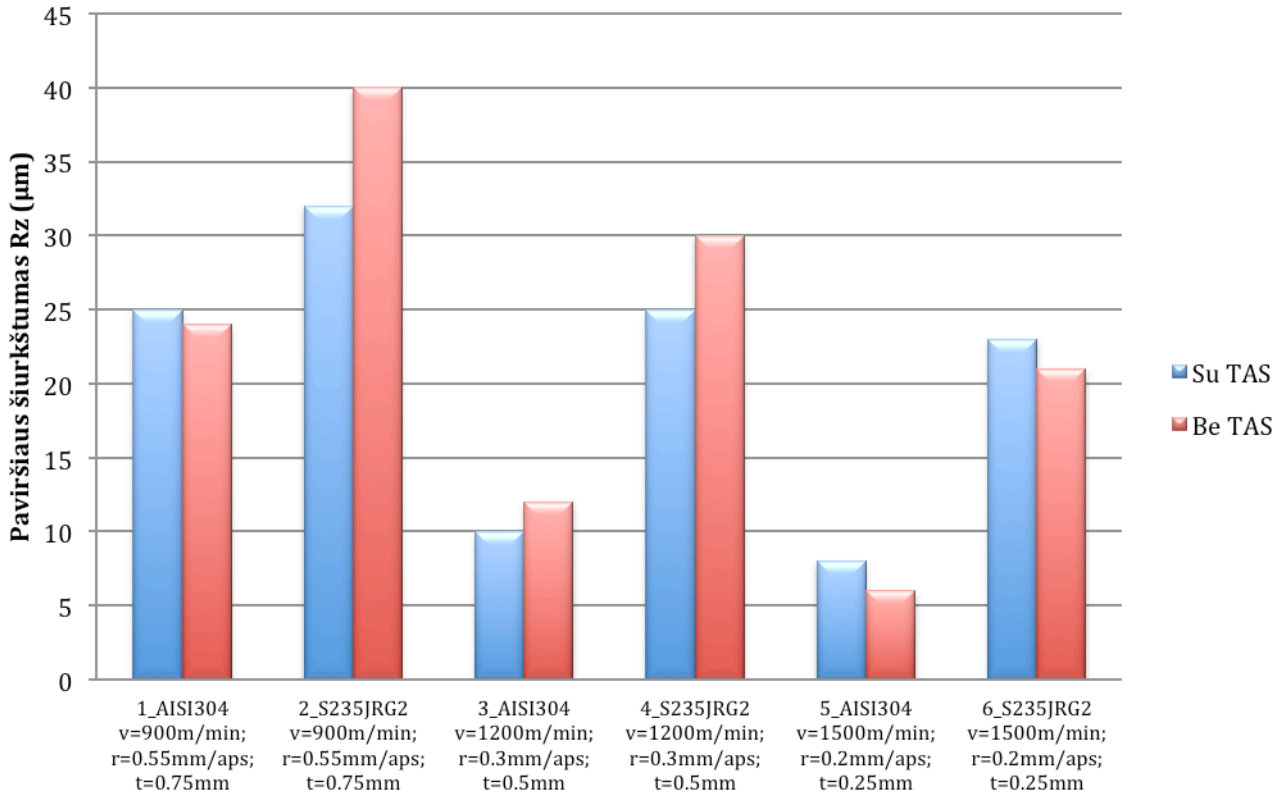
8 lentelė . Svarbiausi statistiniai rodikliai įrankio ir ruošinio kontakto zonos temperatūrai

	Su TAS					Be TAS				
	Dispersija	Vid. kvadratinis nuokrypis	Variacijos koeficientas, %	Atsitiktinė paklaida	Pasikliautinis intervalas	Dispersija	Vid. kvadratinis nuokrypis	Variacijos koeficientas, %	Atsitiktinė paklaida	Pasikliautinis intervalas
1_AISI 304	26.2	5.12	12.8	5.89	[34.11 ; 51.78]	234	15.3	23.53	17.6	[47.41 ; 100.19]
2_S235 JRG2	2	1.41	5.66	1.63	[23.37 ; 28.25]	9.2	3.03	6.74	3.49	[41.51 ; 51.98]
3_AISI 304	102.8	10.14	14.48	11.66	[58.34 ; 93.33]	148	12.17	13.67	13.99	[75.01 ; 116.99]
4_S235 JRG2	31.8	5.64	9.72	6.49	[51.51 ; 70.97]	104.6	10.23	14.41	11.76	[59.24 ; 94.53]
5_AISI 304	102	10.1	12.95	11.62	[66.38 ; 101.23]	98.6	9.93	11.41	11.42	[75.58 ; 109.84]
6_S235 JRG2	47.6	6.9	13.8	7.94	[42.06 ; 65.87]	123.8	11.13	15.45	12.8	[59.20 ; 97.60]

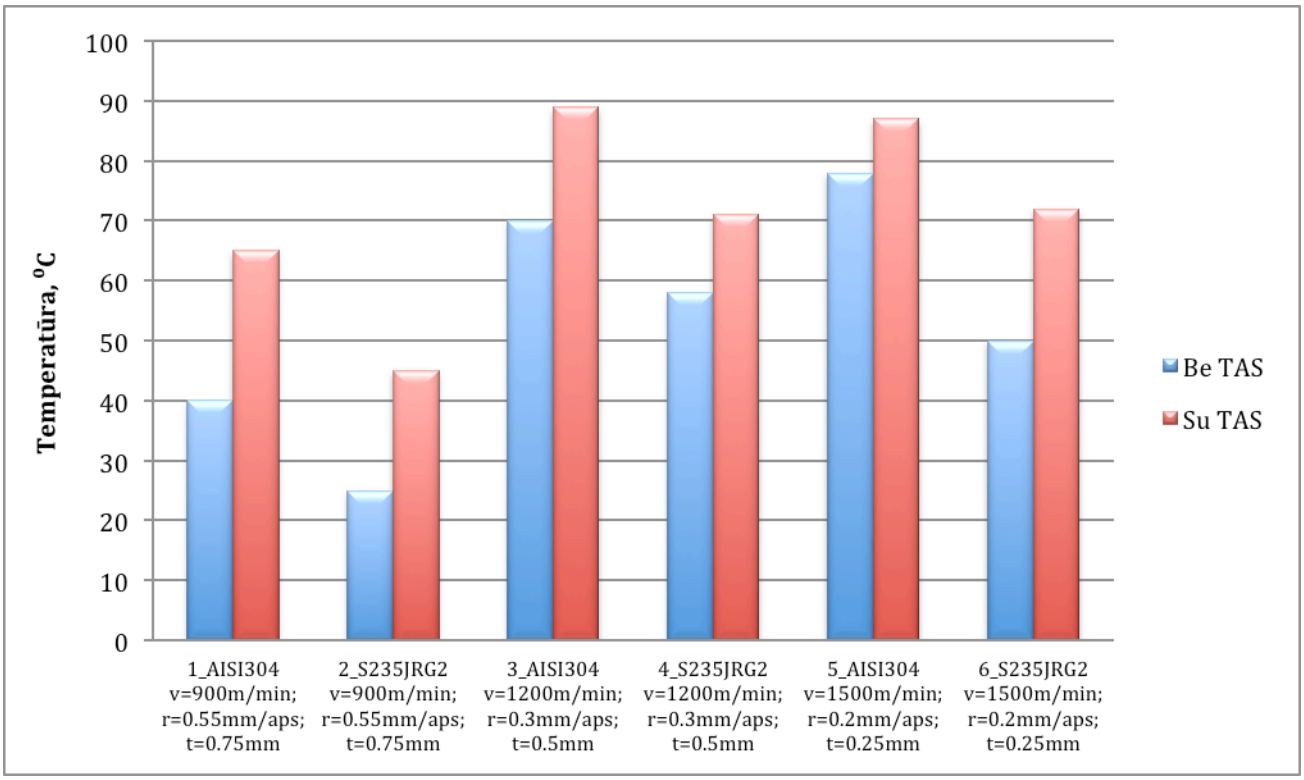
Paskaičiavus pagrindinius statistinius rodiklius matome, kad rezultatų sklaida tarp nedidelės ir didelės (Jei variacijos koeficientas $v \leq 5 – 10$ %, tai laikoma, kad rezultatų _sklaida nedidelė; 15 – 20 % – didelė; $v \geq 20$ % – labai didelė).

Taip pat matome, kad pasikliautinas intervalas nėra didelis, tai reiškia, kad padaryto eksperimento matavimo duomenų vidurkis gana tikslus.

Kad rezultatai būtų aiškesni ir vaizdingesni, jie pateikti grafiškai – stulpelinėmis diagramomis 27 ir 28 paveikslėliuose.



27 pav. Paviršiaus šiurkštumas



28 pav. Įrankio ir apdirbamo paviršiaus kontakto zonos temperatūra

Iš diagramų matyti, kad kuo didesnis greitis, tuo paviršiaus šiurkštumas geresnis, temperatūra stabilesne – visą šitą galima paaiškinti HSM teorija. Tai pat pastebėta, kad abi

parinktos plokštelės abiem atvejais geriau apdirbo kietesnį metalą t.y nerūdijantį plieną. Tai tik patvirtiną išvadą, kad apdirbant skirtingus metalus, būtina parinkti tik jiem tinkamus įrankius ir apskaičiuoti reikiamą pastūmą, greitį ir pjovimo gylį.

D. Stasiūnas magistro darbe “Metalo apdirbimo proceso atliekų utilizavimas” tyrė drožlių valymą nuo TAS. Darbe paskaičiuota, kad teršalų kiekis drožlėse yra tiesiogiai proporcingas tepimo ir aušinimo skysčio klampao, kuo didesnė klampa tuo daugiau pasilieka TAS ant drožlių. Keičiantis klampai nuo 7 mm^2/s iki 350 mm^2/s teršalų kiekis padidėja iki 5 kartų, o kadangi drožlės, gautos apdirbant ruošinį su TAS priskiriamas prie pavojingų atliekų (pagal direktyvą 91/689/EEB), tai apdirbant metalą be TAS ne tik sutaupome pinigų, bet ir apsaygome aplinką nuo pavojingų teršalų.

IŠVADOS

1. Vienai detalei apdirbti vidutiniškai reikia tiekti 20 l/min. aušinimo skysčio. O tai sudaro 16-20% įmonės gamybinių išlaidų. Metalo drožlės, gautos apdirbant ruošinį su TAS, priskiriamos pavojingų atliekų grupei pagal 91/689/EEB direktyvą.
2. Lyginant tarpusavyje metalo pjovimą su TAS ir be TAS, buvo pastebėta, kad PCBN plokštelėmis tekinant be TAS geresni rezultatai gaunami tekinant nerūdijantį plieną, prastesni tekinant juodąjį metalą.
3. Eksperimento metu pastebėta, kad lyginant polikristalinę kubinio boro nitrido plokštelę (PCBN) su įprasta tekinimo plokštele rezultatai paviršiaus kokybės atžvilgiu gauti panašūs ar net vienodi.
4. Geriausi rezultatai tekinant be TAS gauti tekinant nerūdijančio plieno ruošinius, kai režimai 1500aps/min.; r=0.2, t=0.25 (27 ir 28 paveikslai).
5. Parinkus tinkamus režimus, tinkamus įrankius tinkamiems ruošiniams – sėkmingai galima dirbti be aušinimo – tepimo skysčio ir perdirbti metalo drožles nekenkiant aplinkai.

LITERATŪRA

A. Stasiūnas. Tekintojo vadovas. Vilnius: Mokslas, 1979. 348 p.

Arvydas Matutis. Aeravimo sistemose sūkurinio vamzdžio panaudojimo galimybių tyrimas. Baigiamasis magistro darbas. Vilnius, 2005. 57 p.

Darius Stasiūnas. Metalo apdirbimo proceso atliekų utilizavimas. Baigiamasis magistro darbas. Vilnius, 2011. 73 p.

Eleonora Dainytė, Edvinas Dubinskas. Naujausi metalo apdirbimo įrankiai. Vilnius, 2006. 41 p.

Eugene Avallone. Standard Handbook for Mechanical Engineers. New York, 2009. 1863p.

Jie Liu, Y. Kevin Chou. 2006. On temperatures and tool wear in machining hypereutectic Al-Si alloys with vortex – tube cooling. International Journal of Machine Tools and Manufacture 50(11), 933-942

N.I. Galanis, D.E. Manolakos. 2008. Comparison between dry and wet machining of stainless steel. Manufacturing

Pasko, R. –Przybylski. High speed machining (HSM) – the efective way of modern cutting. Internation workshop CA Systems And Technologies, 2002.

Štyps, E., Graževičiūtė J. Spartūs metalo apdirbimo būdai. Vilnius: 2006. 45psl.

Totoraitis, Evaristas, A. Pjovimo teorijos ir staklių, projektavimo pagrindų, įrankių ir įtaisų projektavimo kursinių ir namų darbų atlikimo metodikos nurodymai neakivaizdinio skyriaus studentams. Vilnius: Technika, 2001.

V. Juodelis ir kt. Metalotyros pagrindai. Vilnius: Technika, 2004. 158 p.

Viktor P. Astakhov.2008 Ecological machining: near dry machining. "Machining: Fundamentals and Recent Advances", 1 -17.

Н.Ф.Тищенко. Охрана атмосферного воздуха : расчет содержания вредных веществ и их распределение в воздухе : справочник. Москва, 1991. 362 p.

1. http://vnedrenie.info/files/Titex_drymachining.pdf žiūrėta [2012-05-19 14:49].

2.http://www.secotools.com/CorpWeb/switzerland/Downloads/Drehen/GB_PCBN_TechGuide_IV_Inlay_LR.pdf Žiūrėta [2012-05-19 12:14].

PRIEDAI