

TEPIMO IR AUŠINIMO SKYSČIO SU SKYSTŪJŲ KRISTALŲ PRIEDAIS
TECHNOLOGINIŲ SAVYBIŲ TYRIMASVaidas Strolia¹, Vadim Mokšin², Robertas Urbanavičius³

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹vaidasstrolia@yahoo.com; ²vadim@vgtu.lt; ³robertasurbanavicius@gmail.com

Santrauka. Straipsnyje pateikti apdirbto paviršiaus šiurkštumo ir įrankių patvarumo matavimo rezultatai, kai plieno ir ketaus paviršiai buvo tekinami, plečiami ir sriegiami sriegikliais, pjovimo zoną tepant ir aušinant įvairiais tepimo ir aušinimo skysčiais su cholesterinių skystųjų kristalų priedais ir be priedų. Buvo naudojami skirtingos molekulinės masės vienos homologinės eilės cholesteriniai skystieji kristalai (cholesterolio esteriai) ir skirtingi tepimo ir aušinimo skysčiai: tepalai ir mineralinių tepalų vandens emulsijos. Nustatyta, kad didžiausias teigiamas skystųjų kristalų priedų efektas pasiekiamas tų operacijų metu, kai įrankio ir detalės kontakto plotas yra didesnis (pvz., plečiant, sriegiant). Taip pat nustatyta, kad didžiausiu tribologiniu efektu pasižymi didesnės molekulinės masės skystieji kristalai.

Reikšminiai žodžiai: cholesteriniai skystieji kristalai, tepimo ir aušinimo skystis, tekinimas, plėtimas, sriegimas.

Įvadas

Tepimo ir aušinimo skystis (toliau – TAS) plačiai naudojamas apdirbant metalus. Pjovimo zonoje TAS atlieka tris pagrindines funkcijas: tepimo, aušinimo ir plovimo. Tepimo funkcija pasireiškia mažesne pjovimo jėga, temperatūra, mažesniu įrankio dilimu ir apdirbto paviršiaus šiurkštumu. Aušinimo funkcija pasireiškia sumažėjusia temperatūra įrankio ir detalės kontakto zonoje. Plovimo funkcija pasireiškia efektyvesniu drožlių šalinimu iš pjovimo zonos. Taigi tobulinant technologines TAS savybes, galima padaryti įrankį patvaresnį, apdirbimą – tikslesnį, pagerinti apdirbtų detalių paviršiaus kokybę ir sumažinti apdirbimo išlaidas. Tai gali būti pasiekama naudojant TAS priedus.

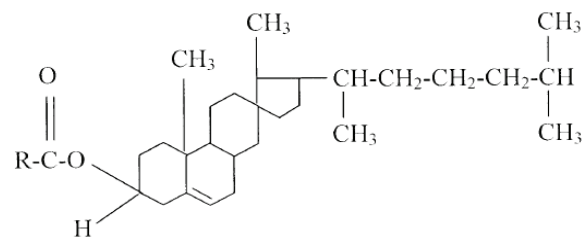
Tokiu atveju skystieji kristalai naudingi dėl dvejų priežasčių. Pirma, tepalai su cholesterinių skystųjų kristalų priedais efektyviai mažina trinties porų trinties koeficientą (tam tikrais atvejais, kai naudojami cholesteriniai skystieji kristalai, trinties koeficientas sumažėja 5 kartus (Kupchinov *et al.* 1993; Vekteris, Mokshin 2000, 2002; Vekteris *et al.* 2004), besitrinančių paviršių dilimą – 20 kartų (Kupchinov *et al.* 1993), o temperatūrą trinties zonoje – 2 kartus (Vekteris, Mokshin 2003), lyginant su tepalais be skystųjų kristalų). Antra, dauguma skystųjų kristalų yra aktyviosios paviršiaus medžiagos, galinčios sustiprinti Rebinderio efektą (Garkunov 1989) ir sumažinti ruošinio paviršinio sluoksnio atsparumą šlyčiai.

Apibendrinant galima teigti, kad skystieji kristalai yra efektyvūs ne tik tepalų, bet ir TAS priedai, kurie mažina trintį tarp įrankio ir detalės, temperatūrą jų sąlyčio zonoje,

apdirbamo paviršiaus šiurkštumą, didina įrankio patvarumą. Ypač jie gali būti efektyvūs atliekant operacijas daugiaašmeniais įrankiais (pavyzdžiui, gręžiant, plečiant, sriegiant ir pan.), kur didelis sąlyčio plotas ir svarbiausios tampa TAS tepimo savybės.

TAS su skystųjų kristalų priedais technologinių savybių tyrimas plečiant skyles

Tyrimo metodika ir medžiagos. Tirti kaip TAS pasirinkta mineralinė pramoninė alyva И-40А su skystųjų kristalų (cholesterolio esterių) priedais ir be jų. Tirtų skystųjų kristalų molekulinė formulė ir savybės pateiktos 1 pav. ir 1 lentelėje.



1 pav. Cholesterinių skystųjų kristalų struktūrinė formulė: R – riebiosios rūgšties radikalas, R = C_mH_{2m+1}

Fig. 1. The structural formula of twisted nematic liquid crystals: R – fatty acid radical, R = C_mH_{2m+1}

Tyrimai atlikti vertikaliosiomis gręžimo staklėmis, pjovimo režimo elementai pateikti 2 lentelėje. Skylės buvo gręžiamos, gilinamos ir plečiamos. Plieno 45 ir pilkojo ke-

taus CЧ-15 ruošiniuose buvo plečiama 16 skylių: 1 skylė, kai visai nenaudotas TAS (t. y. aušinama oru), 3 skylės – aušinama laistant И-40A alyva be skystųjų kristalų priedų ir 12 skylių (po 3 skylės kiekvienam skystųjų kristalų tipui) – aušinama laistant И-40A alyva su skystųjų kristalų priedais.

1 lentelė. Tirtų skystųjų kristalų savybės

Table 1. Properties of tested liquid crystals

Skystieji kristalai	R (Fig. 1)	Lydimosi temperatūra, °C	Molekulinė masė
Valerijono rūgšties cholesterolio esteris (val.)	C4H9	93,0	470,8
Kaprono rūgšties cholesterolio esteris (kap.)	C5H11	99,5	484,8
Stearino rūgšties cholesterolio esteris (st.)	C17H35	83,0	653,1
Oleino rūgšties cholesterolio esteris (ol.)	C17H33	48,0	651,1

2 lentelė. Pjovimo režimo elementai

Table 2. Cutting data

Ruošinio medžiaga	Pakopa	Įrankis	Pastūma, mm/sūk.	Pjovimo greitis, m/min.	Sūkliai, sūk./min.
Plienas 45	Gręžimas	Grąžtas Ø13	0,28	30	710
	Gilinimas	Gilintuvas Ø15,75	0,56	17,6	355
	Plėtimas	Plėstuvas Ø16H9	1,12	2,26	45
Ketis CЧ-15	Gręžimas	Grąžtas Ø13	0,28	30,0	710
	Gilinimas	Gilintuvas Ø15,75	1,12	24,7	500
	Plėtimas	Plėstuvas Ø16H9	1,6	6,3	125

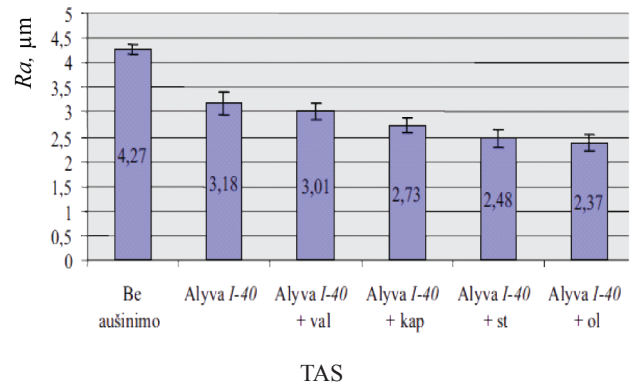
Skystųjų kristalų koncentracija sudarė 0,5 % alyvos tūrio. TAS buvo ruošiamas taip: pramoninė alyva ir skystieji kristalai kaitinti iki temperatūros, aukštesnės nei skystųjų kristalų lydymosi temperatūra, tada į įkaitintą alyvą supilti išlydyti skystieji kristalai ir mišinys ataušintas iki kambario temperatūros. Vėliau mišinys supiltas į talpyklą ir ten laikytas dvi paras. Plečiant skylės gautas TAS tiekias į pjovimo zoną mažo slėgio srove (aušinama laistant).

Po bandymo, t. y. išplėtus skylės, profilometru „Talysurf 4“ išmatuotas kiekvienos skylės paviršiaus vi-

ditinis aritmetinis profilio nuokrypis Ra ir apskaičiuotas jo vidurkis kiekvienam tepimo ir aušinimo skysčiui.

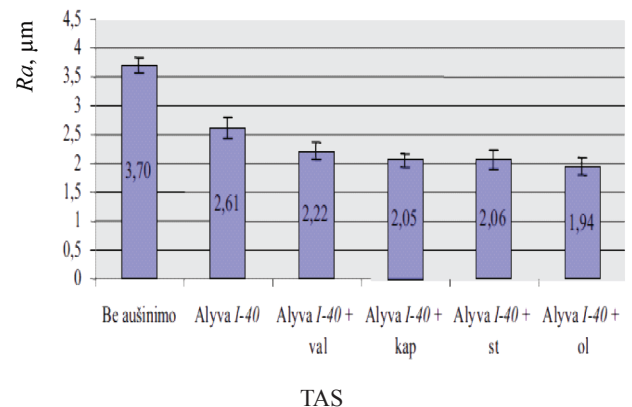
Tyrimo rezultatai. Tyrimo rezultatai, t. y. vidutinio aritmetinio profilio nuokrypio Ra priklausomybės nuo tepimo ir aušinimo skysčio sudėties grafikai, pateikti 2 ir 3 pav.

Visi ištirti cholesteriniai skystieji kristalai alyvoje visiškai ištirpo. Atšaldytame mišinyje po išlaikymo nebuvo pastebėta micelių. Tai rodo, kad tepale susidarė tikrasis skystųjų kristalų tirpalas, todėl galima tikėtis, kad toks TAS nepažeis staklių aušinimo sistemos filtrų.



2 pav. Vidutinio aritmetinio profilio nuokrypio Ra priklausomybė nuo TAS sudėties, kai plečiamas ketis CЧ-15

Fig. 2. The average roughness Ra of the surface of reamed cast iron CЧ-15 as a function of a coolant composition



3 pav. Vidutinio aritmetinio profilio nuokrypio Ra priklausomybė nuo TAS sudėties, kai plečiamas plienas 45

Fig. 3. Average roughness Ra of the surface of reamed steel 45 as a function of a coolant composition

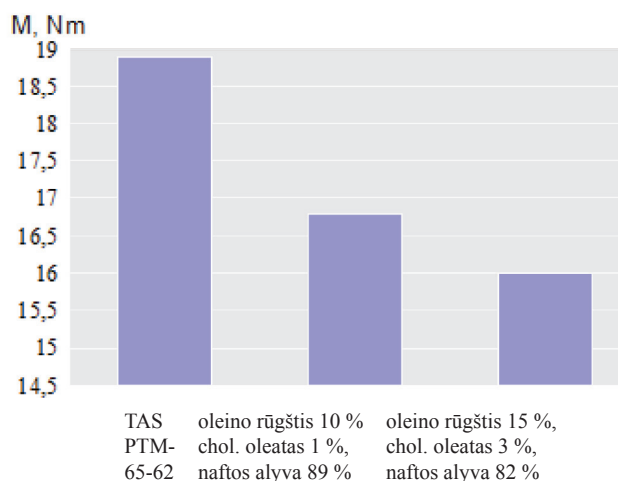
TAS su skystųjų kristalų priedais technologinių savybių tyrimas sriegiant skylės sriegikliu

Siekiant padaryti įrankį patvaresnį ir pagerinti bazinio TAS tepimo savybes, kaip priedas prie mineralinės (naftos) alyvos kartu su oleino rūgštimi buvo naudojamas cholesterolio oleatas (oleino rūgšties cholesterolio esteris, 1 lentelė, 1 pav.). Skystis buvo ruošiamas taip: į iki 40–50° C temperatūros įkaitintą alyvą įpilta oleino rūgšties ir choleste-

rolio oleato (Kupchinov *et al.* 1993), mišinys kruopščiai išmaišytas ir ataušintas iki kambario temperatūros.

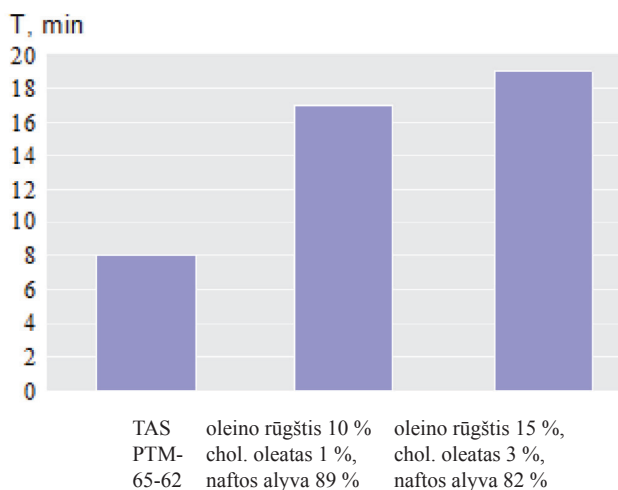
Šio TAS bandymai (palyginimui buvo atlikti ir TAS PTM-65-62 bandymai) atlikti sriegiant skyles sriegikliu iš greitapjovio plieno P6M5, ruošiniai pagaminti iš nerūdijančiojo plieno 1X18H10T, sriegiklio pjovimo greitis – 3,5 m/min. TAS į pjovimo zoną tiekta laistant, jo išėiga 2 l/min.

Tyrimų rezultatai pateikti 4–6 pav. Iš grafikų matyti, kad TAS su skystųjų kristalų priedu, lyginant su sriegimui rekomenduotu TAS PTM-65-62, užtikrina 2,4 karto didesnį sriegiklio patvarumą, 1,2 karto mažesnę pjovimo galingumą ir 1,5 karto mažesnę apdirbto paviršiaus šiurkštumą.



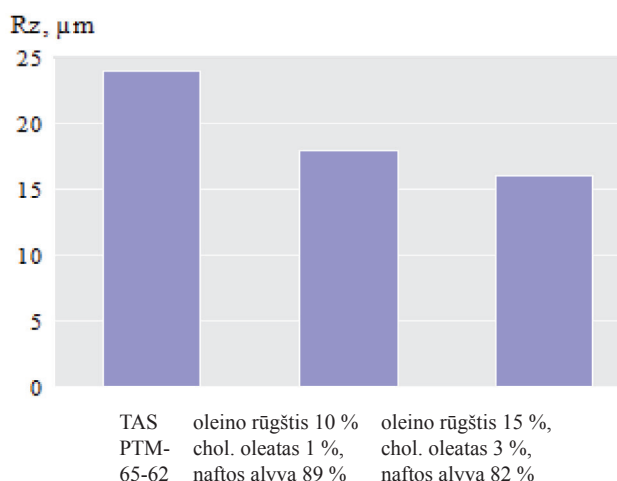
4 pav. Sriegiklio sukimo momento priklausomybės nuo TAS sudėties grafikas (Kupchinov *et al.* 1993)

Fig. 4. The torque of the tap as a function of a coolant composition (Kupchinov *et al.* 1993)



5 pav. Sriegiklio patvarumo priklausomybės nuo TAS sudėties grafikas (Kupchinov *et al.* 1993)

Fig. 5. Tool life of the tap as a function of a coolant composition (Kupchinov *et al.* 1993)



6 pav. Sriegio paviršiaus vidutinio mikronelygumų aukščio R_z priklausomybės nuo TAS sudėties grafikas (Kupchinov *et al.* 1993)

Fig. 6. Roughness parameter R_z of the thread surface as a function of a coolant composition (Kupchinov *et al.* 1993)

TAS su skystųjų kristalų priedais technologinių savybių tyrimas tekinant

Tyrimo metodika ir medžiagos. Šio tyrimo objektas buvo 6 % mineralinio tepalo emulsija („Blasocut“, firmos „Blaser“) vandenyje su skystųjų kristalų (cholesterolio stearatas, 1 pav., 1 lentelė) priedu. Pagerintos sudėties TAS naudotas tekinimo staklių mažo slėgio TAS sistemoje (aušinama laistant) aptekinant išorinį plieno 45 ruošinio paviršių. Tekinant naudoti nepadengto titano ir volframo karbido (TiC-WC) tekinimo peiliai.

Aušinimo skysčio su cholesterolinių skystųjų kristalų priedais technologinių savybių eksperimentinis tyrimas atliktas remiantis dviejų faktorių antrosios eilės ortogonalų eksperimentų planu.

Šie parametrai nustatyti kaip kintamieji faktoriai: skystųjų kristalų koncentracija tepimo ir aušinimo skystyje ir pjovimo greitis. Tekinto paviršiaus profilio nuokrypio R_a vidurkis laikytas išvesties parametru. Eksperimento planas pateiktas 3 lentelėje.

3 lentelė. Eksperimentų planas

Table 3. Design of the experiment

Nr.	Koduotosios faktorių vertės			Tikrosios faktorių vertės	
	X0	X1 (c)	X2 (v)	c, %	v, m/min.
1	+1	-1	-1	0,1	85
2	+1	+1	-1	0,5	85
3	+1	-1	+1	0,1	267
4	+1	+1	+1	0,5	267
5	+1	-1	0	0,1	176
6	+1	+1	0	0,5	176
7	+1	0	-1	0,3	85
8	+1	0	+1	0,3	267
9	+1	0	0	0,3	176

Pagal planą atlikti 9 eksperimentai tiekiant į pjovimo zoną TAS su skystųjų kristalų priedu. Kiekvienas eksperimentas atliktas tris kartus atsitiktine tvarka.

Siekiant palyginti rezultatus ir įvertinti skystųjų kristalų priedų efektyvumą taip pat atliktas eksperimentinis tyrimas su TAS be priedų. Šiuo atveju vienintelis kintamasis faktorius buvo pjovimo greitis. Jo kitimo diapazonas buvo toks pat.

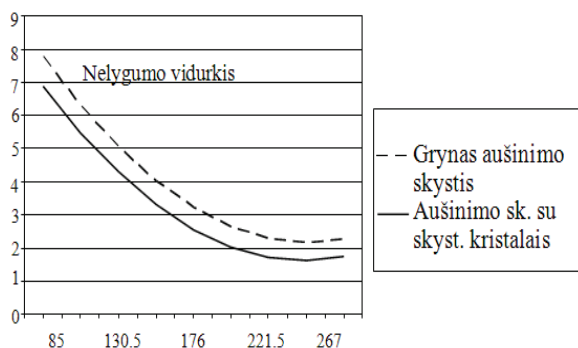
Tyrimų rezultatai. Statistiškai apdorojus eksperimentų rezultatus pagal rekomendacijas (Yevdokimov *et al.* 1980), TAS su skystųjų kristalų priedu buvo gauta ši regresijos lygtis:

$$Ra = 2,56 - 2,57X_2 + 1,76X_2^2, \quad (1)$$

čia X_2 – pjovimo greičio koduotoji vertė ($-1 \leq X_2 \leq +1$).

(1) lygtis yra adekvati visame greičio faktoriaus kitimo intervale. Atliekant statistinę eksperimento rezultatų analizę paaiškėjo, kad skystųjų kristalų koncentracijos faktorius yra nereikšmingas (nagrinėjame kitimo intervale) ir gali būti pašalintas iš regresijos lygties.

Iš 7 pav. matyti, kad, esant 85 m/min. pjovimo greičiui, tekinto paviršiaus profilio nuokrypio vidurkis Ra mažėja nuo 7,8 iki 6,9 μm , arba 1,13 karto, lyginant su reikšme, gauta aušinant TAS be priedų. Kai pjovimo greitis yra 176 m/min., Ra mažėja nuo 3,2 iki 2,6 μm , arba 1,23 karto, lyginant su TAS be priedų. Pjovimo greičiui esant 267 m/min. Ra mažėja nuo 2,3 iki 1,7 μm , arba 1,35 karto.



7 pav. Tekinto plieno paviršiaus vidutinio profilio nuokrypio Ra priklausomybės nuo pjovimo greičio ir TAS sudėties grafikas

Fig. 7. The average roughness Ra of turned steel surface as a function of cutting speed and a coolant composition

Išvados

1. Ypač efektyvūs TAS priedai yra didesnės molekulinės masės skystieji kristalai (cholesterolio stearatas ir oleatas). Plečiant skyles plieno ir ketaus ruošiniuose, didžiausias Ra sumažėjimas siekė 1,35 karto, sriegiant – 1,5 karto, lyginant su TAS be priedų.
2. Didelis skystųjų kristalų priedų tribologinis efektas

pasiekiamas tų operacijų metu, kai yra didesnis įrankio ir detalės kontakto plotas. Sriegiant sriegį įrankio patvarumas padidėjo 2,3 karto, sukimo momentas sumažėjo 1,2 karto, apdirbto paviršiaus šurkštumas – 1,5 karto. Tekinant šurkštumas sumažėjo vidutiniškai tik 1,25 karto, lyginant su TAS be priedų.

Literatūra

- Garkunov, D. N. 1989. *Tribology*. Moscow: Mashinostroyenie. 327 p.
- Yevdokimov, Y. A.; Kolesnikov, V. I.; Teterin, A. I. 1980. *Design and Analysis of Experiment for Problems of Friction and Wear*. Moscow: Mashinostroyenie. 230 p.
- Kupchinov, B. I.; Rodnenkov, V. G.; Yermakov, S. F. 1993. *Introduction into the Tribology of Liquid Crystals*. Gomel: IMMS ANB. 156 p.
- Vekteris, V.; Mokshin, V.; Buchinskas, V. 2004. Influence of liquid crystals to friction characteristics of mineral lubricants, in *Proceedings of the 11th World Congress in Mechanism and Machine Science*, vol. 5. Tianjin. China, 2320–2323.
- Vekteris, V.; Mokshin, V. 2000. Cholesterinių skystųjų kristalų įtaka mineralinės variklinės alyvos tribologinėms charakteristikoms, *Transportas* 6: 297–301.
- Vekteris, V.; Mokshin, V. 2002. Use of the liquid crystals to improve tribological properties of mineral lubricants. Part I: Friction coefficient, *Mechanika* 6(38): 67–72.
- Vekteris, V.; Mokshin, V. 2003. Use of the liquid crystals to improve tribological properties of mineral lubricants. Part II: Friction zone temperature, *Mechanika* 1(39): 56–60.

INVESTIGATION INTO THE TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF COOLANTS WITH LIQUID CRYSTAL ADDITIVES

V. Strolia, V. Mokšin, R. Urbanavičius

Abstract

The paper presents the results of comparative research on the roughness and tool life of the machined surface when steel and cast iron work pieces were turned, reamed and tapped and the cutting zone was lubricated by various coolants (mineral oils, oil emulsions) with and without twisted nematic liquid crystals. The tested liquid crystals were taken from the same homologous series (fatty acid cholesterol esters) but had different molecular mass. It has been established that the most positive tribological effect of liquid crystalline additives is achieved when high-molecular liquid crystals are used in operations characterized by the largest tool-work piece interface area (reaming, threading).

Keywords: twisted nematic liquid crystals, coolant, turning, reaming, tapping.